دانشکده مهندسی برق

دستورکار آزمایشگاه میکروپروسسور

فهرست مطالب

آزمایش ۱:

کار با پورت‌های ورودی – خروجی عمومی

(GPIO)

۱-۱- درسنامه

ورودی/خروجی همه منظوره (GPIO) شامل یک پین در مدار مجتمع به همراه تمامی مدهای عملکرد آن می‌شود که ممکن است به عنوان ورودی یا خروجی یا هر دو مورد استفاده قرار گیرد و در زمان اجرا توسط کاربر قابل کنترل است.

به مجموعهای از پین‌های GPIO که برای هر میکروکنترلر تعداد ثابتی هستند، GPIO PORT گفته می‌شود.

۱-۱-۱- پیکربندی ورودی

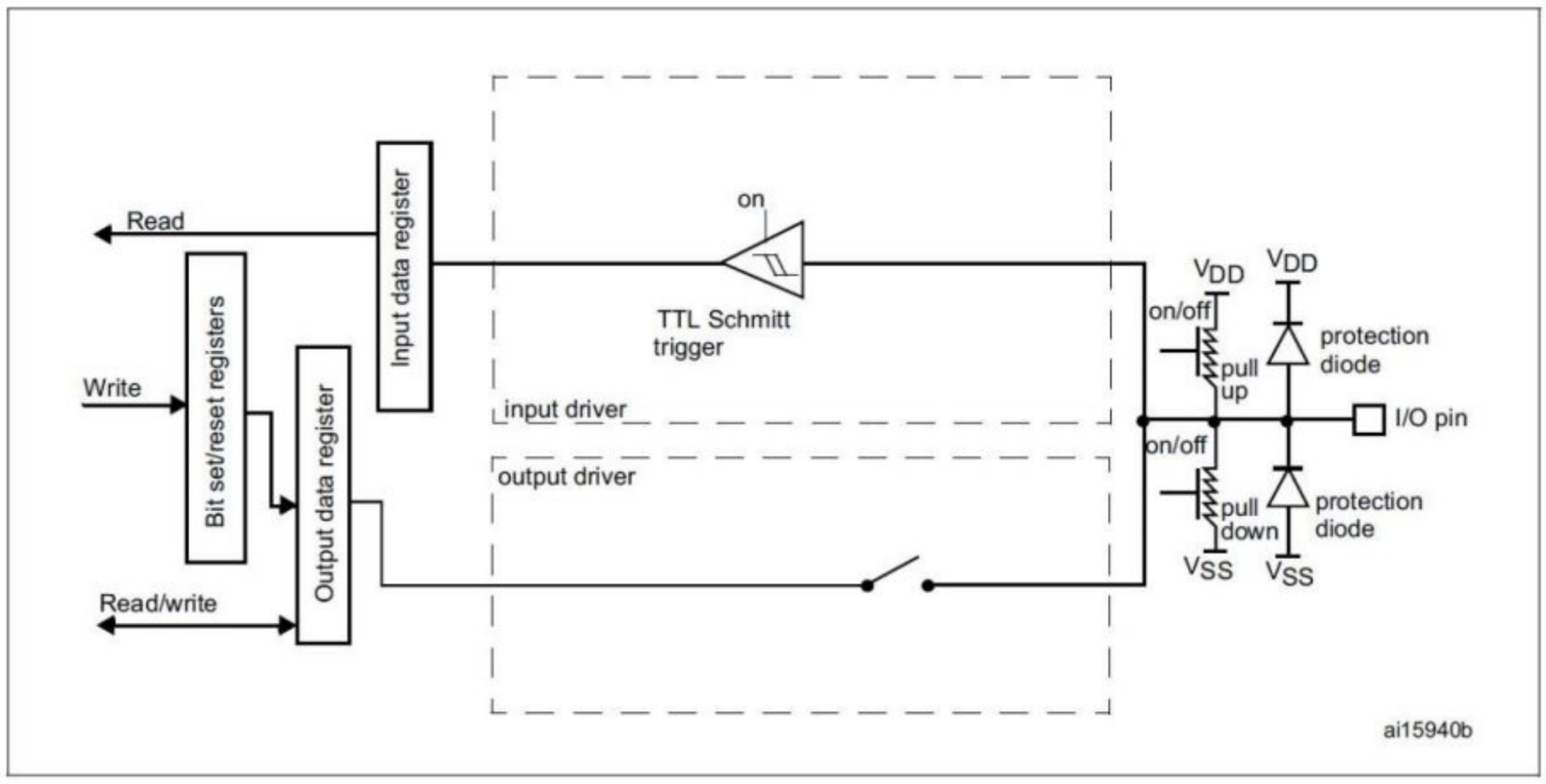
زمانی که پین I/O به عنوان ورودی برنامه‌نویسی می‌شود:

- بافر خروجی غیرفعال می‌شود.
- اشمیت تریگر ورودی فعال می‌شود.
- مقاومت‌های PUUL-UP/PULL-DOWN داخلی بسته به مقدار رجیستر GPIOx_PUPDR می‌توانند فعال شوند.
- دیتای حاضر روی پین با هر کلاک AHB1 (دقت شود این باس بسته به هر میکروکنترلر می‌تواند متفاوت باشد) نمونه برداری می‌شود.
- با مراجعه به رجیستر دیتای ورودی میتوان این مقدار را خواند.

با اتصال مقاومتهای PULL-UP/DOWN داخلی یا خارجی از نوسانات ولتاژ و همچنین تلفات توان جلوگیری می‌شود.

در نهایت سه عملکرد ممکن در مد ورودی عبارتند از:

- Input floating
- Input pull-up
- Input pull-down



شکل ۱- ۱ پیکربندی ورودی

۲-۱-۱- پیکربندی خروجی

زمانی که پین I/O به عنوان خروجی برنامه‌نویسی می‌شود:

- بافر خروجی فعال می‌شود.

- مد OPEN-DRAIN: با نوشتن صفر در رجیستر خروجی NMOS فعال شده و با نوشتن یک در رجیستر خروجی، خروجی امپدانس بالا HI-Z می‌شود.(ترانزیستور PMOS هیچگاه فعال نمی‌شود.)

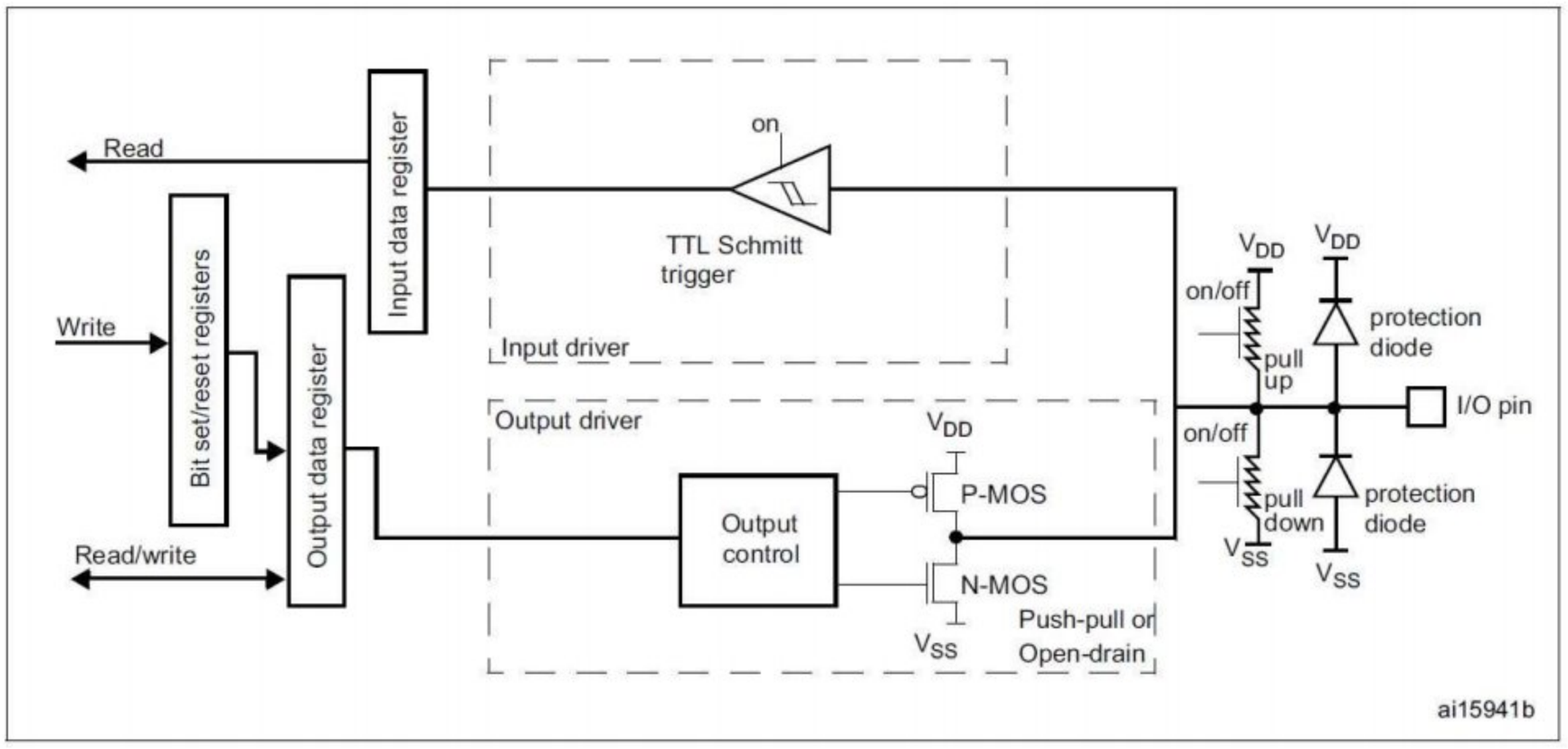
- مد PUSH-PULL: با نوشتن صفر در رجیستر خروجی NMOS فعال شده و با نوشتن یک ترانزیستور PMOS فعال می‌شود.

- اشمیت تریگر ورودی فعال می‌شود.

- مقاومت‌های PULL UP / PULL DOWN داخلی بسته به مقدار رجیستر GPIOx_PUPDR می‌توانند فعال شوند.

- دیتای حاضر روی پین با هر کلاک AHB1 (دقت شود این باس بسته به هر میکروکنترلر می‌تواند متفاوت باشد) نمونه برداری می‌شود.

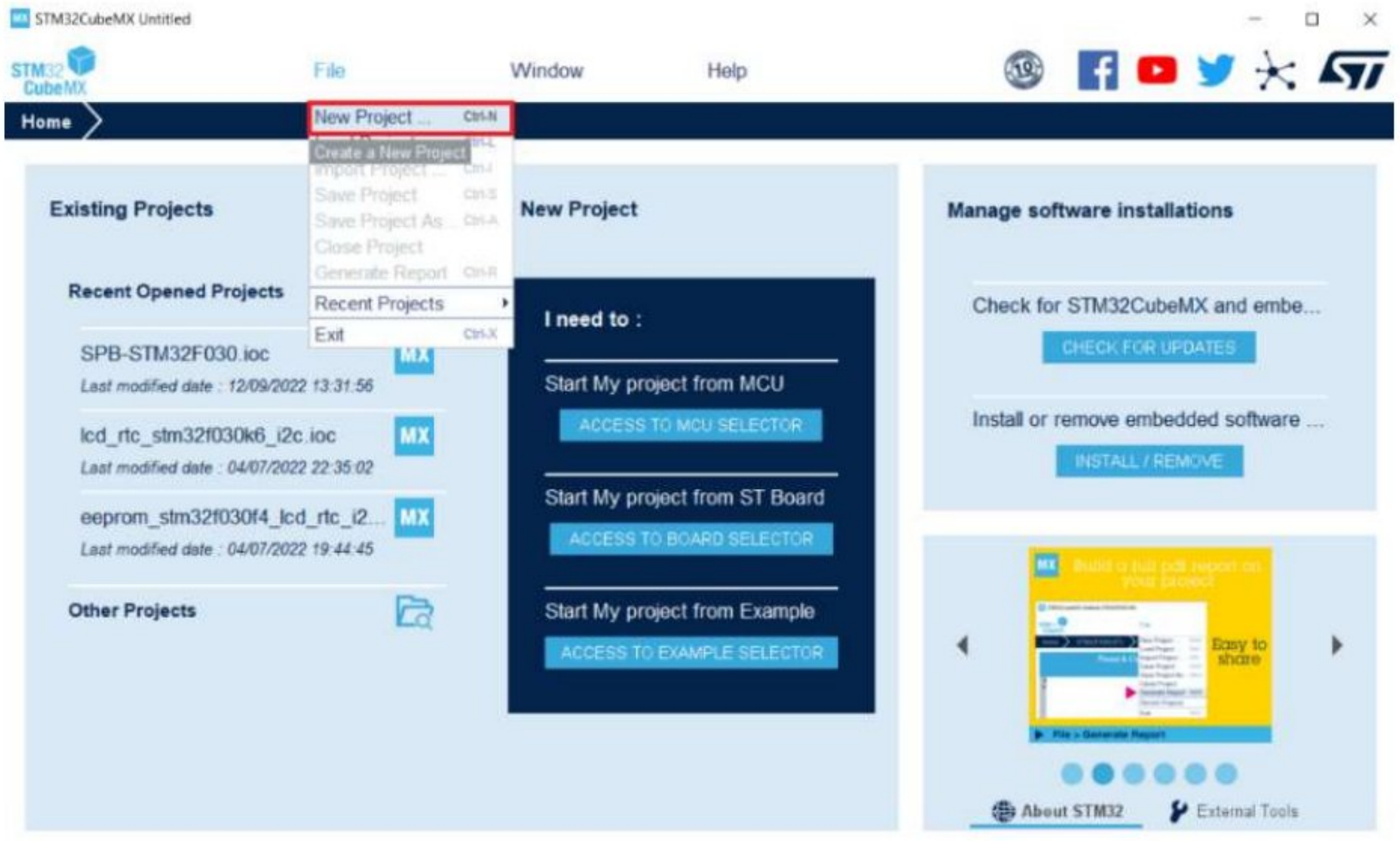
- با مراجعه به رجیستر دیتای ورودی می‌توان این مقدار را خواند.
- با مراجعه به رجیستر دیتای خروجی می‌توان این مقدار را خواند.



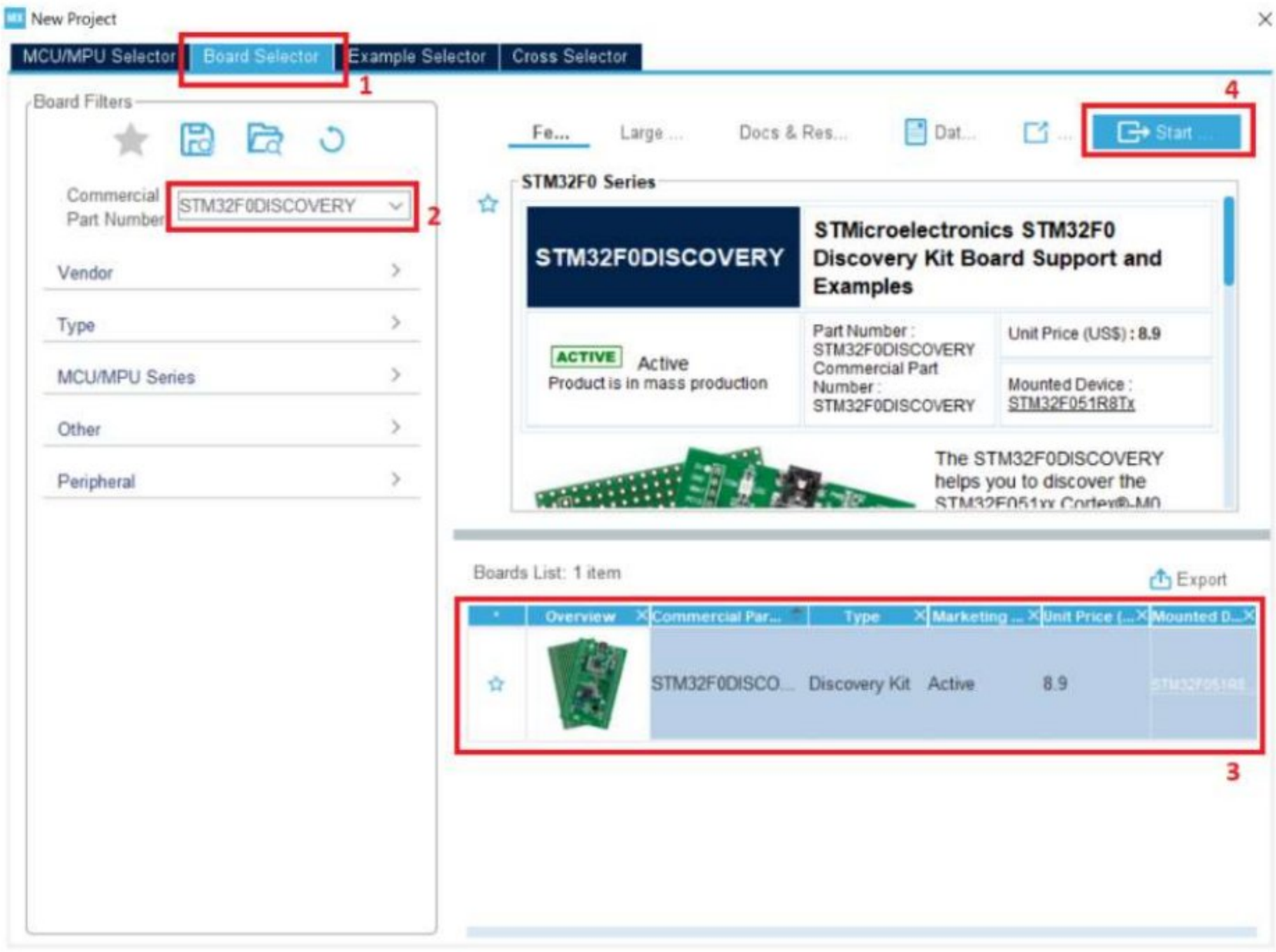
شکل ۱- ۲ پیکربندی خروجی

۲-۱- آزمایش

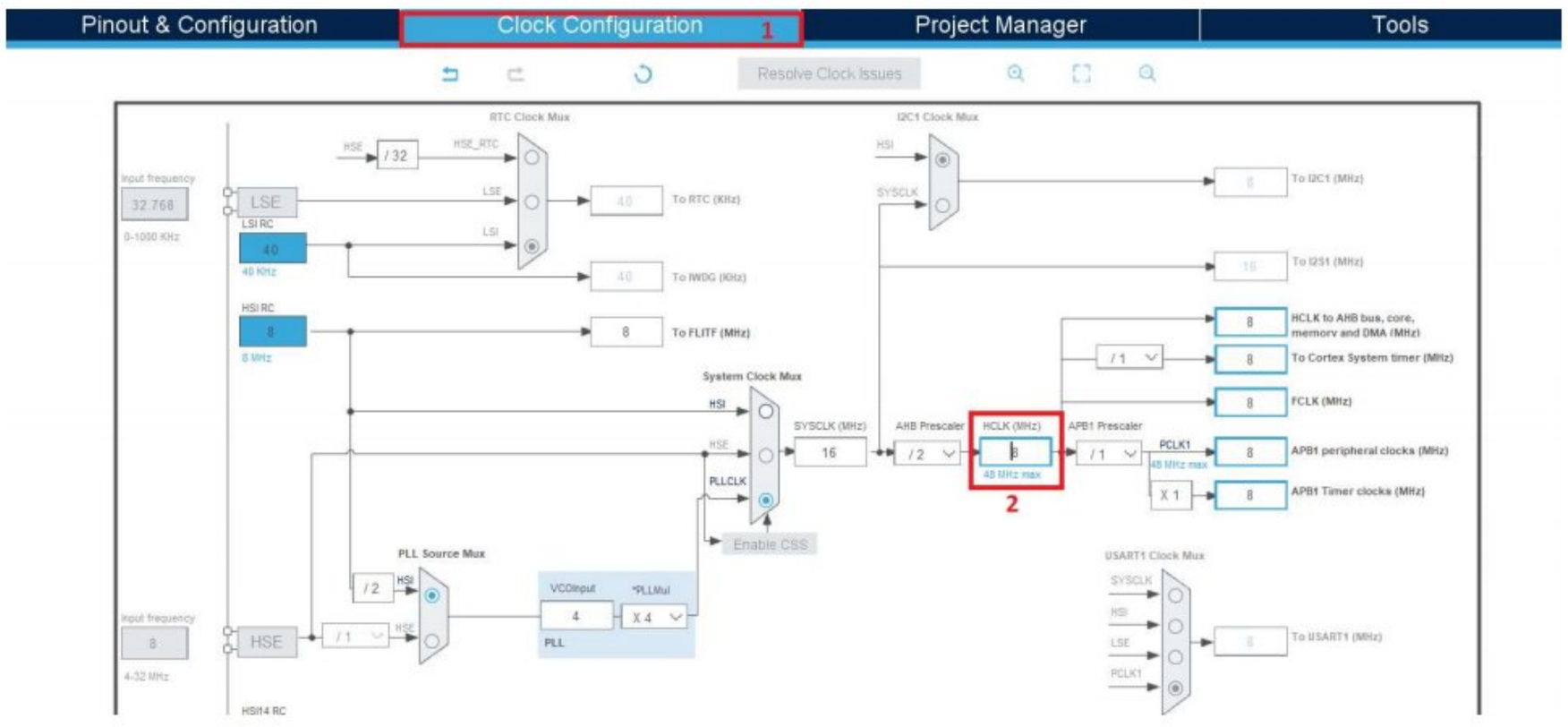
برای تنظیمات اولیه ابتدا یک پروژه جدید برای هر کدام از آزمایش‌ها ایجاد می‌کنیم:



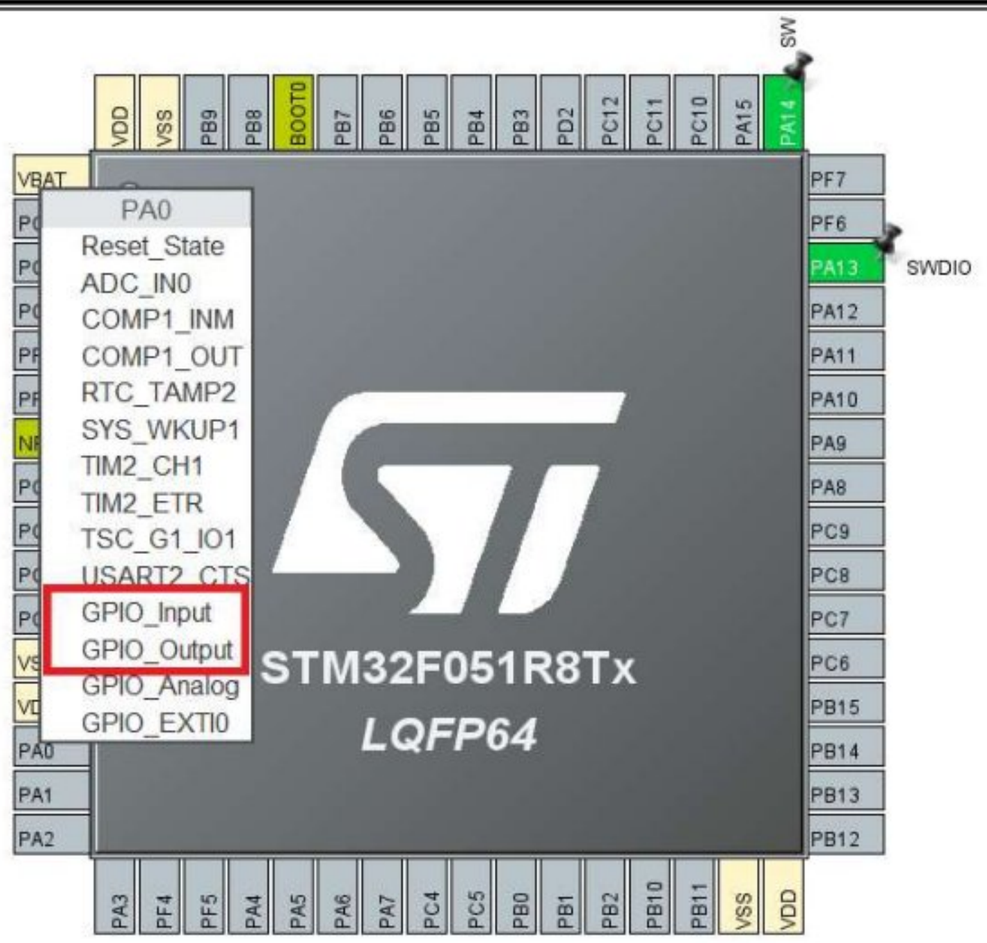
برد یا میکروکنترلر مورد نظر را انتخاب می‌کنیم:



کلاک میکروکنترلر را برابر با مقدار 8MHz قرار می‌دهیم:



روی پایه‌ی مورد نظر کلیک کرده و بر حسب نیاز خروجی یا ورودی را انتخاب می‌کنیم.



برای خواند ورودی می‌توان از تابع زیر استفاده نمود:

```
/* USER CODE BEGIN 2 */

HAL_GPIO_ReadPin(GPIOA, GPIO_PIN_0);

/* USER CODE END 2 */
```

برای نوشتن خروجی یا Toggle (تغییر وضعیت) نیز می‌توان از توابع زیر استفاده نمود:

```
/* USER CODE BEGIN 2 */

HAL_GPIO_WritePin(GPIOC, GPIO_PIN_9, GPIO_PIN_SET);
HAL_GPIO_TogglePin(GPIOC, GPIO_PIN_8);

/* USER CODE END 2 */
```

برای ایجاد تاخیر به منظور حذف بانس کلید نیز می‌توان از تابع زیر استفاده کرد:

```
/* USER CODE BEGIN 2 */

HAL_Delay(100);

/* USER CODE END 2 */
```

۱-۲-۱- الای‌دی چشمک‌زن

برنامه‌ای بنویسید که در آن یک الای‌دی هر ۵۰۰ میلی‌ثانیه خاموش و روشن شود.

۱-۲-۲- روشن و خاموش کردن الای‌دی به کمک دو Pushbutton

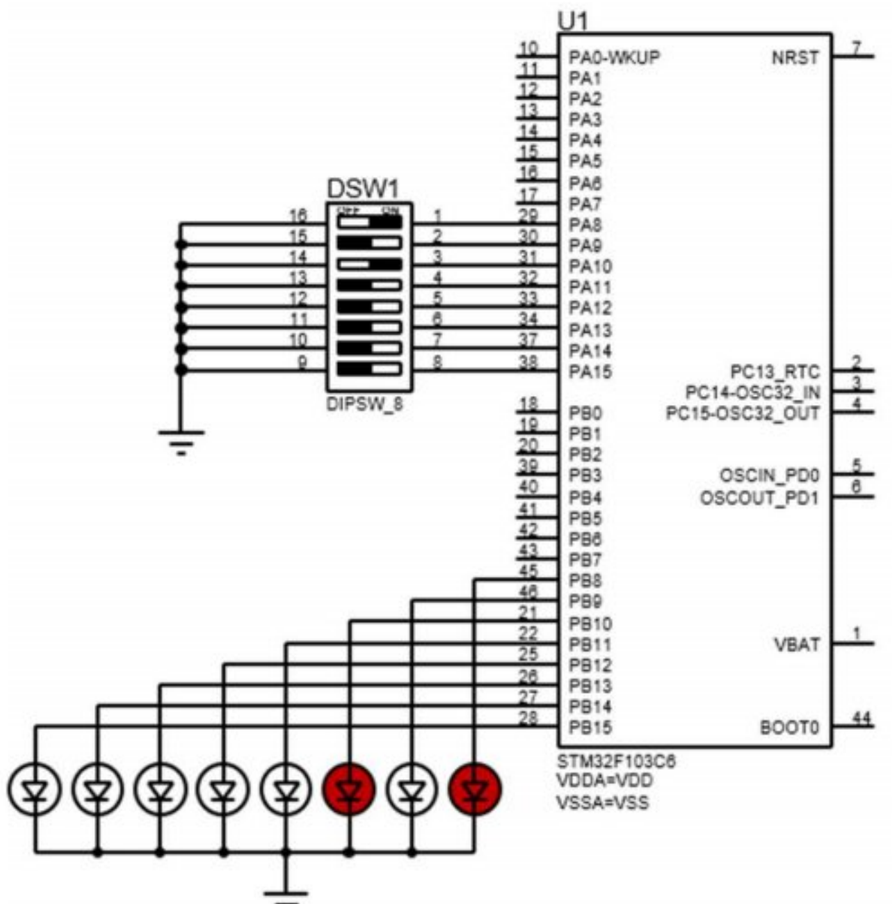
با دو عدد Pushbutton برنامه‌ای بنویسید که با فشردن یک کلید، الای‌دی روشن و با فشردن دیگری خاموش شود.

۱-۳- تنظیمات نرم‌افزاری و کدنویسی

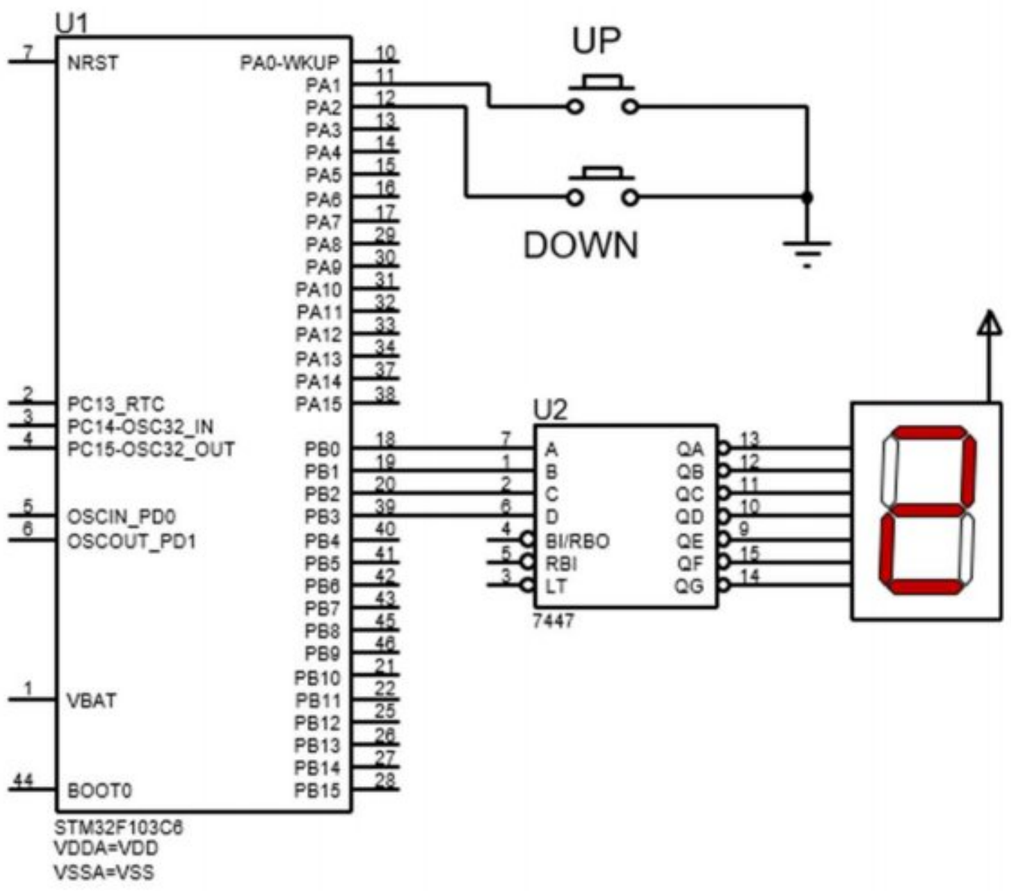
برای ایجاد پروژه جدید، از نرم‌افزار CubeIDE وارد قسمت File شده، گزینه‌ی New و سپس STM32 Project را انتخاب کنید. پس از انتخاب میکروکنترلر مورد نظر فایل ioc. به شما نمایش داده می‌شود که تمام تنظیمات اولیه به کمک همین فایل انجام می‌شود. دقت کنید که پس از انجام تنظیمات Ctrl+s را زده تا پروژه ذخیره شود. در نهایت شروع به کدنویسی داخل فایل main.c کنید.

۱-۴- پرسش‌ها و تمرین‌های برنامه نویسی

۱- برای شمای مدار زیر کدی بنویسید که با تغییر وضعیت هر کلید از دیپ سوییچ از OFF به ON و بالعکس LED متناظر آن روشن و خاموش شود.



۲- با استفاده از آی‌سی7447 مطابق شمای مدار ترسیم شده، کدی برای یک شمارنده‌ی ساده‌ی تک رقمی بنویسید که با فشردن UP عدد شمارنده افزایش یابد و با فشردن DOWN مقدار شمارنده کاهش یابد.(بازه‌ی شمارش باید بین ۰ تا ۹ باشد و زمانی که شمارنده به مقدار ۹ رسید با فشردن مجدد UP، شمارنده به ابتدای بازه‌ی شمارشی یعنی صفر برگردد. به همین ترتیب برای ۰ با فشردن دکمه‌ی DOWN شمارنده به انتهای بازه‌ی شمارشی یعنی ۹ برود.)

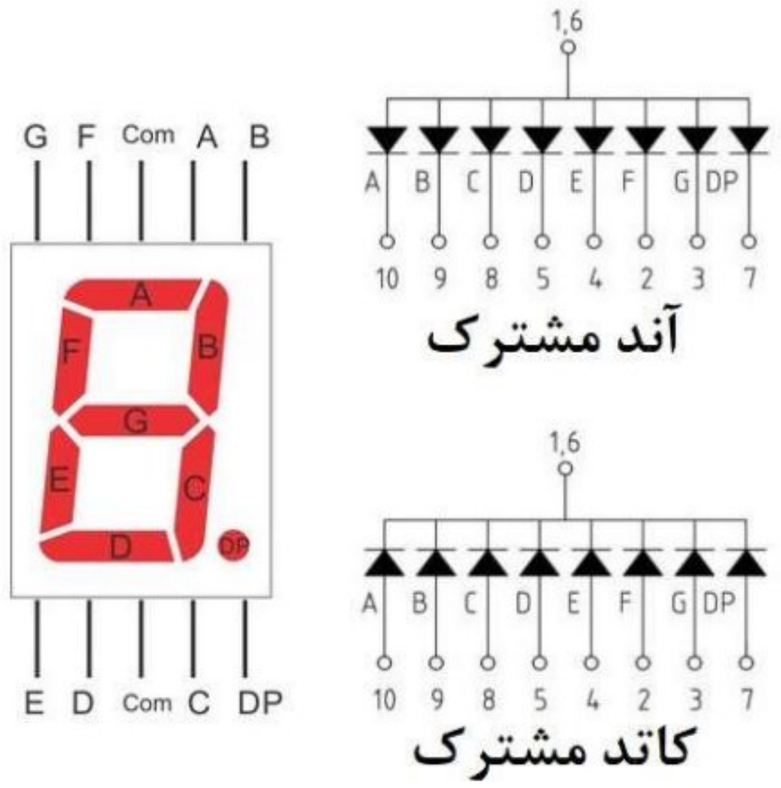


آزمایش ۲:

راه‌اندازی نمایشگر هفت‌قطعه‌ای (7-Segment)

۱-۲- درسنامه

برای نمایش اعداد و برخی از حروف انگلیسی در سامانه‌های نهفته، می‌توان از نمایشگرهای هفت قسمتی (7Segment) استفاده نمود. سون سگمنت‌های یکی از پرکاربردترین نمایشگرها در صنعت هستند. یک سون‌سگمنت شامل هفت عدد LED نمایش ارقام و حروف و همچنین یک عدد LED برای نمایش نقطه ممیز اعداد اعشاری است. سون سگمنت‌ها در دو نوع کاتدمشترک و آندمشترک ساخته می‌شوند. در سون‌سگمنت‌های آند مشترک ،تمام پایه های آند دیودها را به هم وصل می‌کنند و در نوع کاتد مشترک پایه‌های کاتد دیودها به هم متصل هستند.



شکل ۲- ۱ نمایشگر هفت قطعه‌ای

مثال: برای نمایش عدد 7 روی یک سون سگمنت کاتد مشترک، پایه‌ی COM باید به زمین متصل بوده و LED های a، b و c مقدار High یا 3.3v داشته باشند و سایر LED ها خاموش باشند.

مثال: برنامه‌ای بنویسید که یک سون سگمنت کاتد مشترک را راه‌اندازی کرده و در فاصله‌ی زمانی تقریبی 500 ms اعداد صفر تا نه را شمارش کند.

کاتد مشترک			آند مشترک		
Hex Code	g f e d c b a	Number	Hex code	g f e d c b a	Number
3F	0111111	0	C0	1000000	0
06	0000110	1	F9	1111001	1
5B	1011011	2	A4	0100100	2
4F	1001111	3	B0	0110000	3
66	1100110	4	99	0011001	4
6D	1101101	5	92	0010010	5
7D	1111101	6	82	0000010	6
07	0000111	7	F8	1111000	7
7F	1111111	8	80	0000000	8
4F	1001111	9	90	0010000	9

۱-۱-۲- روش مالتی پلکس

عیب اصلی سون سگمنت‌ها در این است که با افـزایش تعـداد ارقـام و اسـتفاده از چنـدین سون‌سـگمنت تعدادی زیادی از پین‌های میکروکنترلر اشغال می‌شود. بـرای رفـع ایـن مشـکل پایـه‌های a, b, c,.. , f, DP همه‌ی سون‌سگمنت‌ها را به یکدیگر متصل نموده و پایه‌های مشترک آن‌ها را کنترل می‌کنیم. بـه طـور مثـال اگر چهار عدد سون‌سگمنت کاتد مشترک در اختیار داشته‌باشیم و بخواهیم ال‌ای‌دی a را در سون سـگمنت دوم روشن کنیم، باید پایه‌های کاتد سون‌سگمنت‌های یک، سه و چهار غیرفعال باشـند (در اینجـا بـه دلیـل کاتد مشترک بودن High) و پایه‌ی کاتد سون سگمنت دوم فعال باشد. به این ترتیب ال‌ای‌دی دلخـواه روی سون سگمنت دلخواه روشن می‌شود.

مثال: می‌خواهیم عدد ۷٤٥۸ را در یک سون سگمنت چهارتایی نشان دهیم.

مطابق مراحل زیر پیش می‌رویم:

سون سگمنت اول را روشن می‌کنیم.

عدد ۷ را روی پایه‌های a تا g بار گذاری می‌کنیم.

یک تاخیر حدوداً ۲۰ میلی ثانیه‌ای ایجاد می‌کنیم.

سون سگمنت اول را خاموش و سون سگمنت دوم را روشن می‌کنیم.

عدد ٤ را روی پایه‌های a تا g بار گذاری می‌کنیم.

یک تاخیر حدوداً ۲۰ میلی ثانیه‌ای ایجاد می‌کنیم.

سون سگمنت دوم را خاموش و سون سگمنت سوم را روشن می‌کنیم.

عدد ۵ را روی پایه‌های a تا g بار گذاری می‌کنیم.

یک تاخیر حدوداً ۲۰ میلی ثانیه‌ای ایجاد می‌کنیم.

سون سگمنت سوم را خاموش و سون سگمنت چهارم را روشن می‌کنیم.

عدد ۸ را روی پایه‌های a تا g بار گذاری می‌کنیم.

یک تاخیر حدوداً ۲۰ میلی ثانیه‌ای ایجاد می‌کنیم.

و این حلقه باید دائماً تکرار شود.

۲-۲- آزمایش

۱-۲-۲- شمارنده‌ی تک رقمی ۰ تا ۹

برنامه‌ای بنویسید که اعداد ۰ تا ۹ را به فاصله‌ی ۵۰۰ میلی‌ثانیه روی سون سگمنت شمارش کند.

۲-۲-۲- شمارنده‌ی تک رقمی ۰ تا ۹۹

با استفاده از یک سون‌سگمنت دو رقمی و روش مالتی پلکسینگ برنامه‌ای بنویسید که اعداد ۰ تا ۹۹ را به فاصله‌ی ۵۰۰ میلی ثانیه شمارش کند.

۳-۲- تنظیمات نرم‌افزاری و کدنویسی

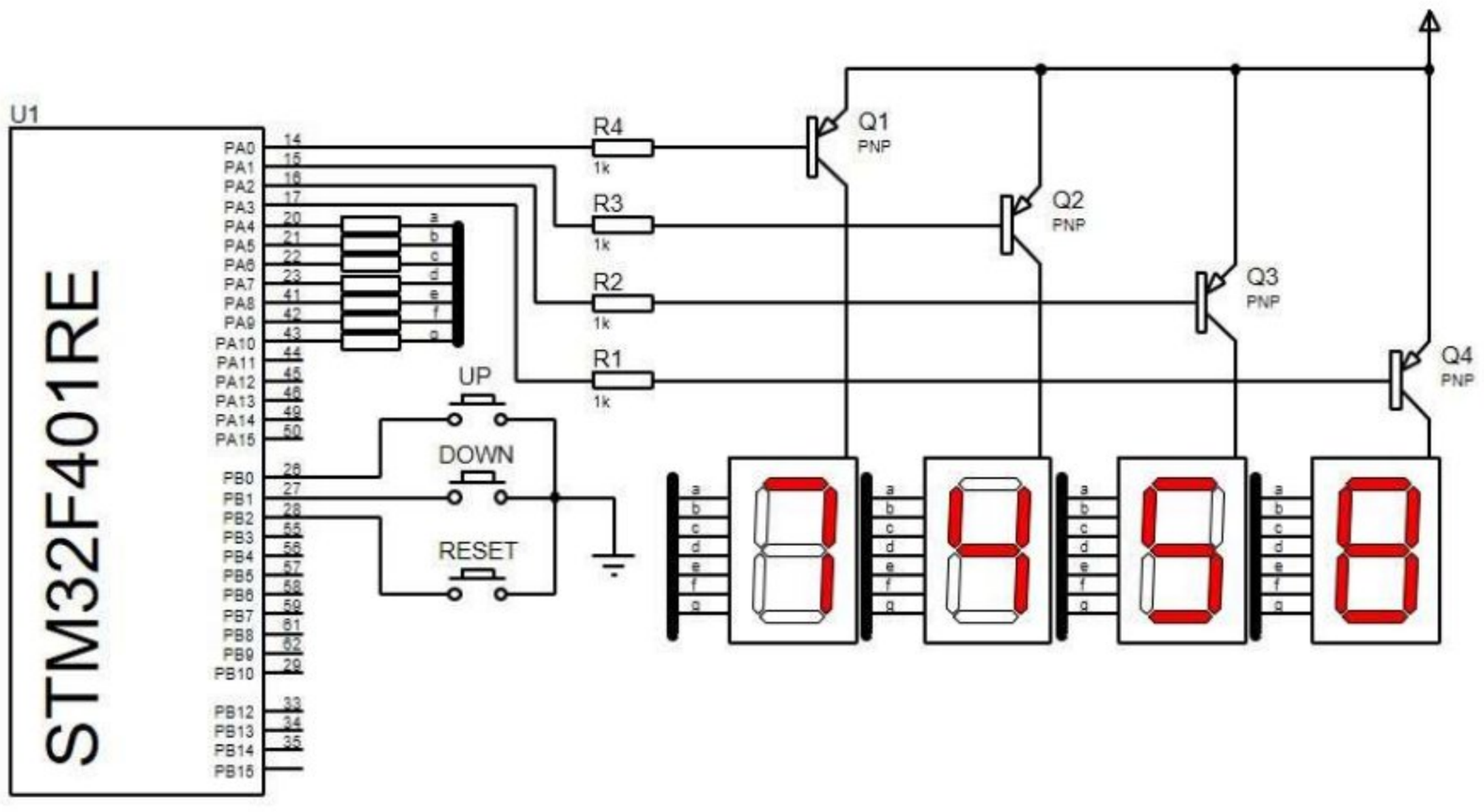
همانند آزمایش جلسه‌ی قبل یک پروژه بسازید و برای روشن نمودن سون‌سگمنت از تابع

HAL_GPIO_WritePin استفاده کنید.

۴-۲- پرسش‌ها و تمرین‌های برنامه نویسی

۱- با استفاده از سه عدد Push Button برای کلیدهای افزایش، کاهش و ریست و همچنین یک 7segment چهارتایی، با استفاده از روش مالتی پلکسینگ شمارنده‌ای چهار رقمی از ۰ تا ۹۹۹۹ بسازید.

- با فشردن کلید افزایش مقدار شمارنده یک عدد افزایش می‌یابد.
- با فشردن کلید کاهش مقدار شمارنده یک عدد کاهش می‌یابد.
- با فشردن کلید ریست شمارنده صفر می‌شود.

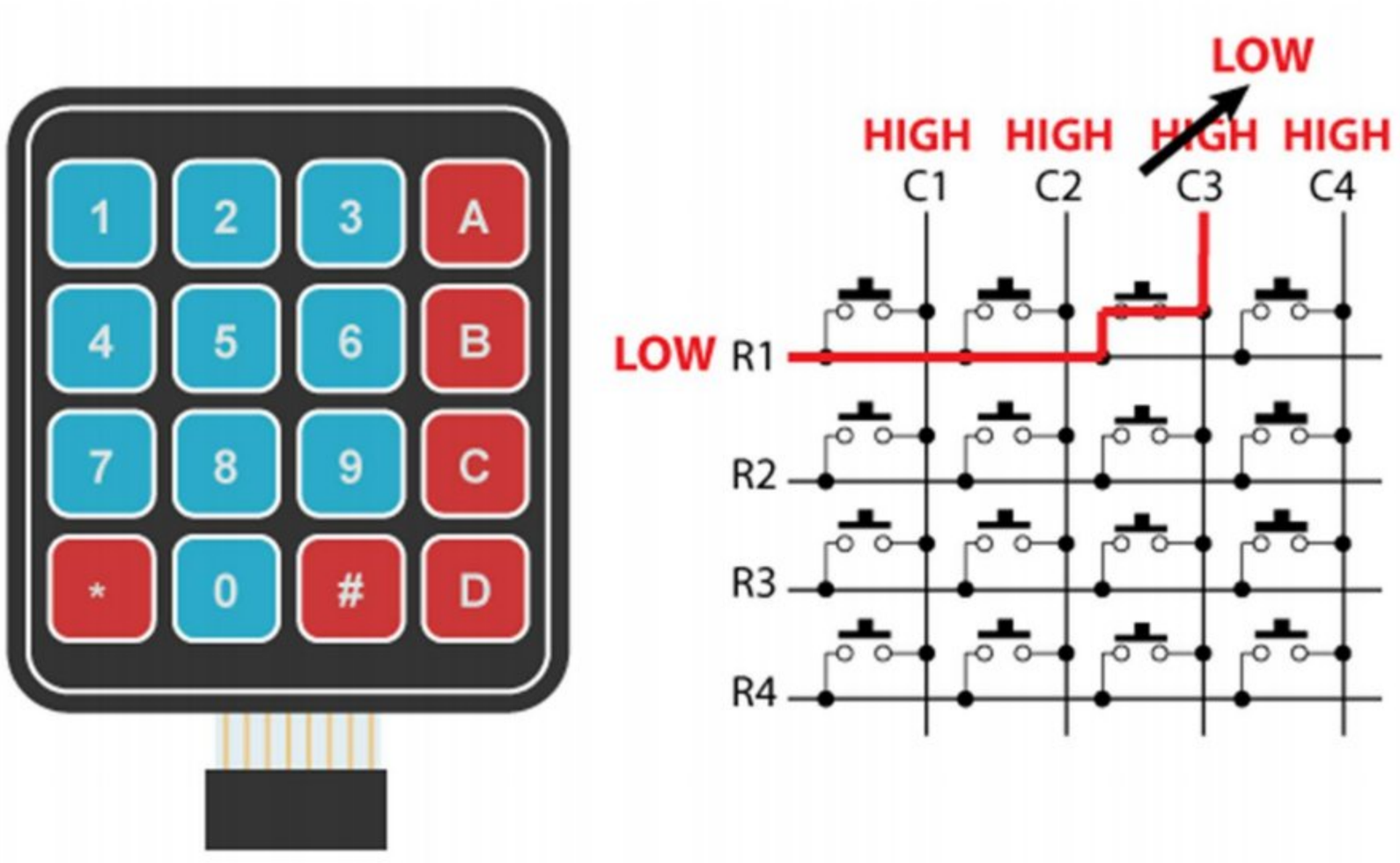


آزمایش ۳:

راه‌اندازی صفحه‌کلید ماتریسی (Keypad)

۱-۳- درسنامه

صفحه کلید ماتریسی یکی از پرکاربردترین قطعات مورد استفاده در مدارهای مبتنی بر میکروکنترلر است. به کمک این قطعه می‌توان اطلاعات را از دنیای بیرون به میکروکنترلر منتقل نمود. صفحه‌کلید ماتریسی متشکل از تعدادی دکمه فشاری (Push Button) است که در قالب سطرها و ستون‌ها کنار هم قرار گرفته‌اند. مزیت استفاده از صفحه‌کلید ماتریسی به جای استفاده از دکمه‌های فشاری به صورت تکی، کاهش پین‌های اشغال شده از میکروکنترلر است.



با اتصال سطرها و ستون‌ها به میکروکنترلر، برای خواندن کلید فشرده شده باید از میان سطرها و ستون‌ها یکی را ورودی و دیگری را خروجی تعریف کنیم. فرض شود سطرها ورودی تعریف و Pull-Up شده‌اند. همچنین تمام ستون‌ها خروجی و با مقدار اولیه‌ی High می‌باشند. میکروکنترلر در یک حلقه باید تک تک ستون‌ها را از حالت High به Low ببرد و ورودی را بخواند. در صورتی که ورودی تغییر مقدار دهد، آنگاه میکروکنترلر نتیجه می‌گیرد که کلید متناظر با آن سطر و ستون فشرده شده است.

مثال: در شکل بالا زمانی که کاربر کلید شماره‌ی ۳ را بفشارد و میکرو در حلقه‌ی ورودی کلید باشد، ستون سه و سطر یک به هم متصل شده‌اند. زمانی که میکرو مقدار ستون ۳ را به Low تغییر می‌دهد و ورودی را

می‌خواند متوجه می‌شود که سطر ۱ نیز Low شده‌است و نتیجه می‌گیرد که کلید سطر ۱ و ستون ۳ فشرده شده است (یعنی کلید 3).

۲-۳- آزمایش

۱-۲-۳- راه‌اندازی صفحه‌کلید ماتریسی

برنامه‌ای برای صفحه‌کلید ماتریسی ۳×٤ بنویسید که کلید فشرده شده از Keypad روی سون سگمنت نمایش داده شود.

۳-۳- تنظیمات نرم‌افزاری و کدنویسی

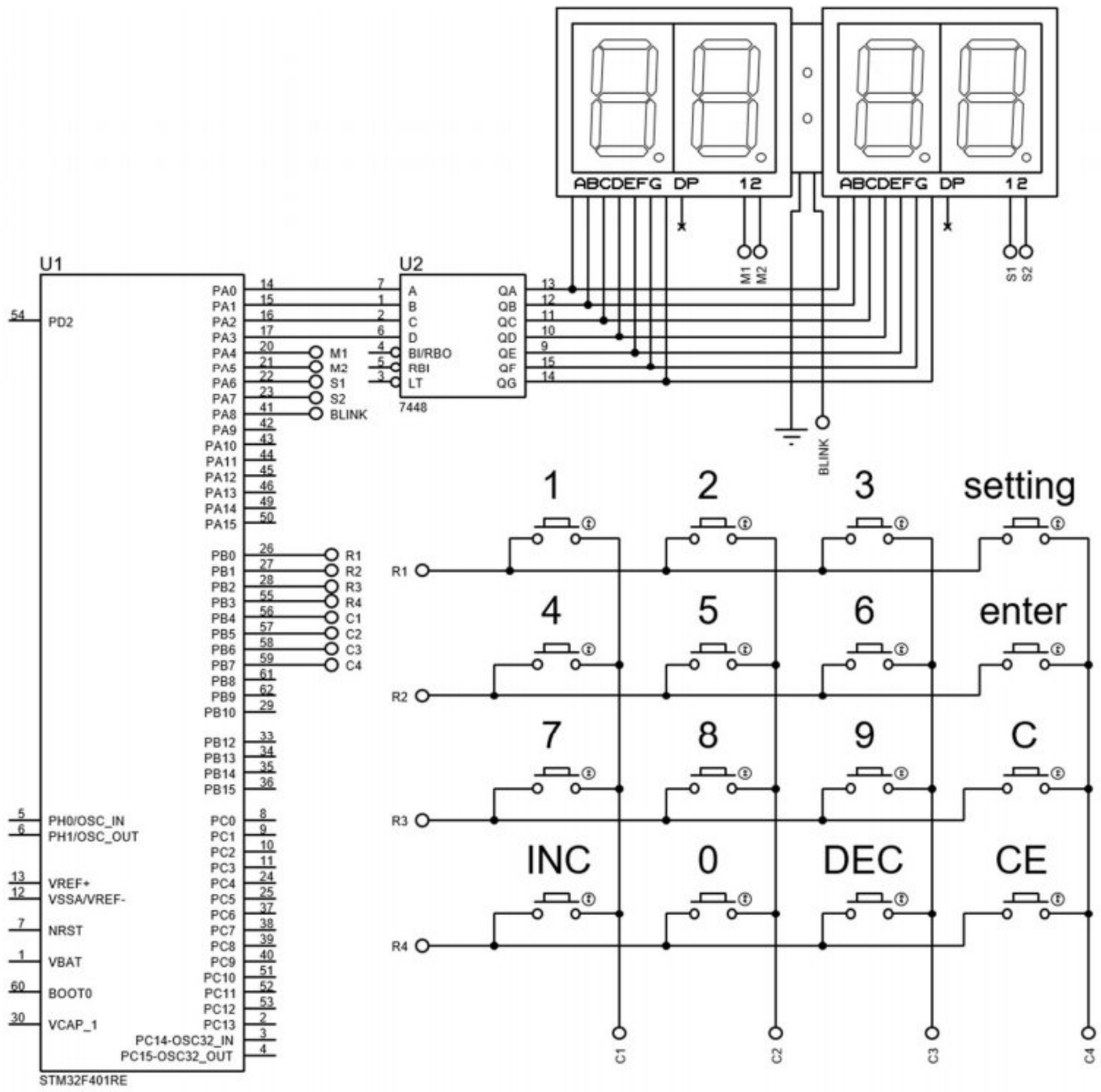
در این آزمایش نیاز است تا از درسنامه کمک گرفته و درایوری برای صفحه کلید ماتریسی بنویسید. دقت شود که می‌بایست دو فایل با پسوند c. و h. ایجاد کرده و پس از تکمیل درایور این فایل‌ها را به پوشه‌ی پروژه‌ی خود بیافزایید تا بتوانید از توابعی که نوشته‌اید داخل فایل main.c استفاده کنید.

۴-۳- پرسش‌ها و تمرین‌های برنامه نویسی

۱- برای شماتیک شکل زیر برنامه‌ای بنویسید با این مشخصات:

- با فشردن کلید setting وارد برنامه شده و برنامه آماده‌ی دریافت دو عدد دو رقمی برای ثانیه و دقیقه باشد. (محدودیتی برای این دو عدد وجود ندارد.)
- ابتدا کاربر عدد دقیقه را وارد کند با فشردن کلید enter عدد دقیقه ذخیره شده و کاربر عدد ثانیه را وارد می‌کند.
- بعد از وارد کردن عدد ثانیه و فشردن کلید enter این عدد نیز ذخیره و از setting خارج شده و

هر دو عدد ثانیه و دقیقه به روش مالتی پلکس نمایش داده می‌شوند و هم چنین led دو تـایی بـین آن‌ها به صورت چشمک زن خاموش و روشن می‌شود. (نیازی نیست تـا اعـداد ثانیـه و دقیقـه بـا گذشت زمان تغییر کنند و تنها لازم است تا ال‌ای‌دی میان آن‌ها با زمـان تقریبـی بـین ۲۰۰ تـا ۶۰۰ میلی ثانیه خاموش و روشن شود.)



در setting دکمه‌ها باید بدین گونه عمل کنند:

۱- دکمه‌ی setting: تنها در ابتدای ورود به تنظیمات کار کند و در سایر موارد عملکردی نداشته باشد.

۲- دکمه‌ی enter: پس از وارد کردن هر رقم با فشردن این دکمه آن رقم ذخیره شده و برنامه آماده دریافت رقم بعدی شود.

۳- کلید C : کل ارقام وارد شده را پاک کند و برنامه منتظر بماند تا کاربر دوباره ارقام را از اول وارد کند.

٤- کلید CE : آخرین رقمی که کابرد وارد کرده را پاک کند و منتظر دریافت یک عدد جدید باشد. مثلن اگر کاربر در حال وارد کردن رقم دهگان ثانیه شمار است با فشردن کلید CE باید به رقم یکان دقیقه شمار برود و آن را از اول وارد. کند.

۵- کلیدهای DEC و INC رقم وارده را می‌توانند قبل از فشردن کلید enter کاهش یا افـزایش دهنـد. مـثلا فرض کنید در حال ورود عدد یکان ثانیه شمار هستیم و کلید ۸ را فشرده‌ایم اما هنـوز enter را نـزده‌ایم بـا فشردن کلید INC عدد به ۹ تغییر پیدا می‌کند و با فشردن کلید DEC عدد ۷ می‌شود.

آزمایش ۴:

وقفه‌ی خارجی در میکروکنترلرهای STM32

۱-۴- درسنامه

وقفه یک سیگنال به ریزپردازنده است که به توجه و پاسخ سریع پروسسور نیاز دارد. هنگامی که یک وقفه رخ می‌دهد، پردازنده عملیات جاری خود را متوقف می‌کند تا به درخواست وقفه رسیدگی کند.

مثال: خود را به عنوان میزبان (پروسسور) در نظر بگیرید که منتظر مهمان (دستورالعمل) هستید. در صورتی که زنگ در وجود نداشت برای این که بدانید مهمان آمده است یا خیر، مدام باید از پنجره سرکشی (Polling) کنید تا در صورت وجود مهمان در را برایش باز کنید. اما در صورتی که زنگ در یا آیفون به درستی کار کند، لازم نیست که میزبان دائماً وجود مهمان را چک کند به محض این که مهمان زنگ در را بزند (Interrupt)، میزبان از وجود وی مطلع شده و در را برایش باز می‌کند.

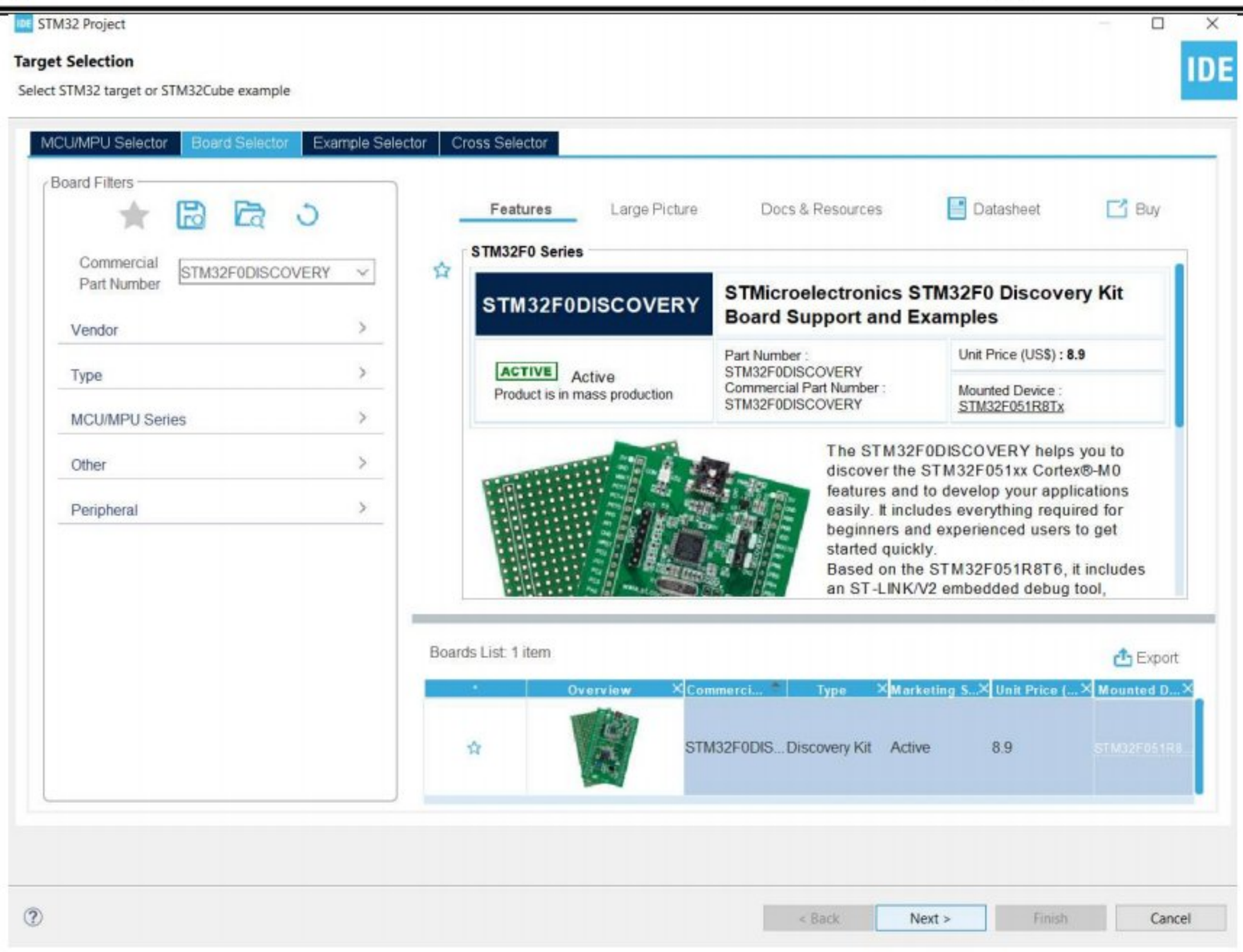
۲-۴- آزمایش

۱-۲-۴- تغییر وضعیت LED به کمک وقفه‌ی خارجی

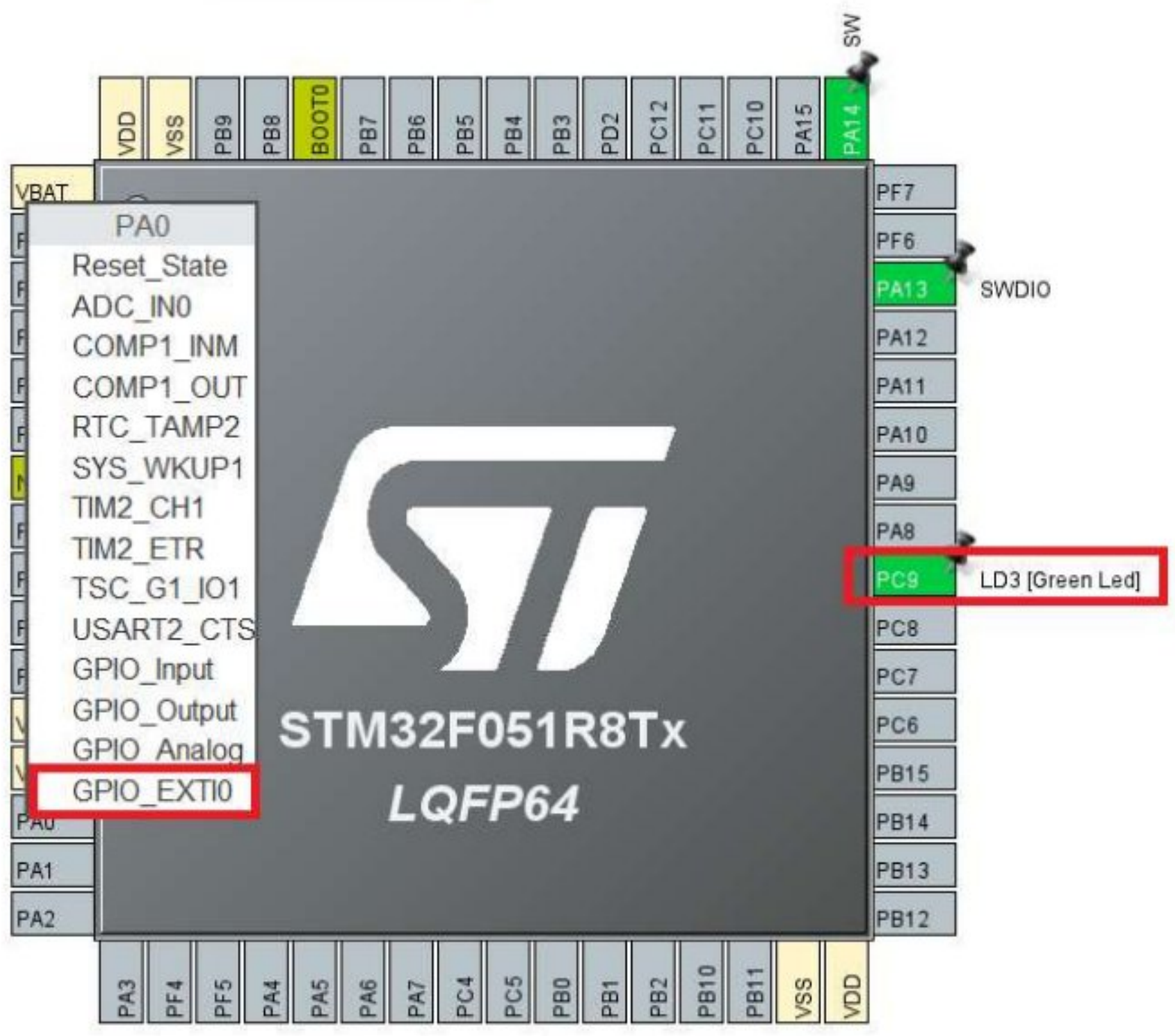
با استفاده از وقفه های خارجی یک پین دلخواه از میکروکنترلر را به نحوی پیکره بندی کنید که وقفه ی خارجی برای آن فعال شود. سپس یک Push-button به این پایه متصل کنید که با هر بار فشردن کلید یک LED از وضعیت روشن به خاموش و بالعکس تغییر وضعیت دهد. دقت شود از وقفه استفاده کنید نه (Polling).

۳-۴- تنظیمات نرم‌افزاری و کدنویسی

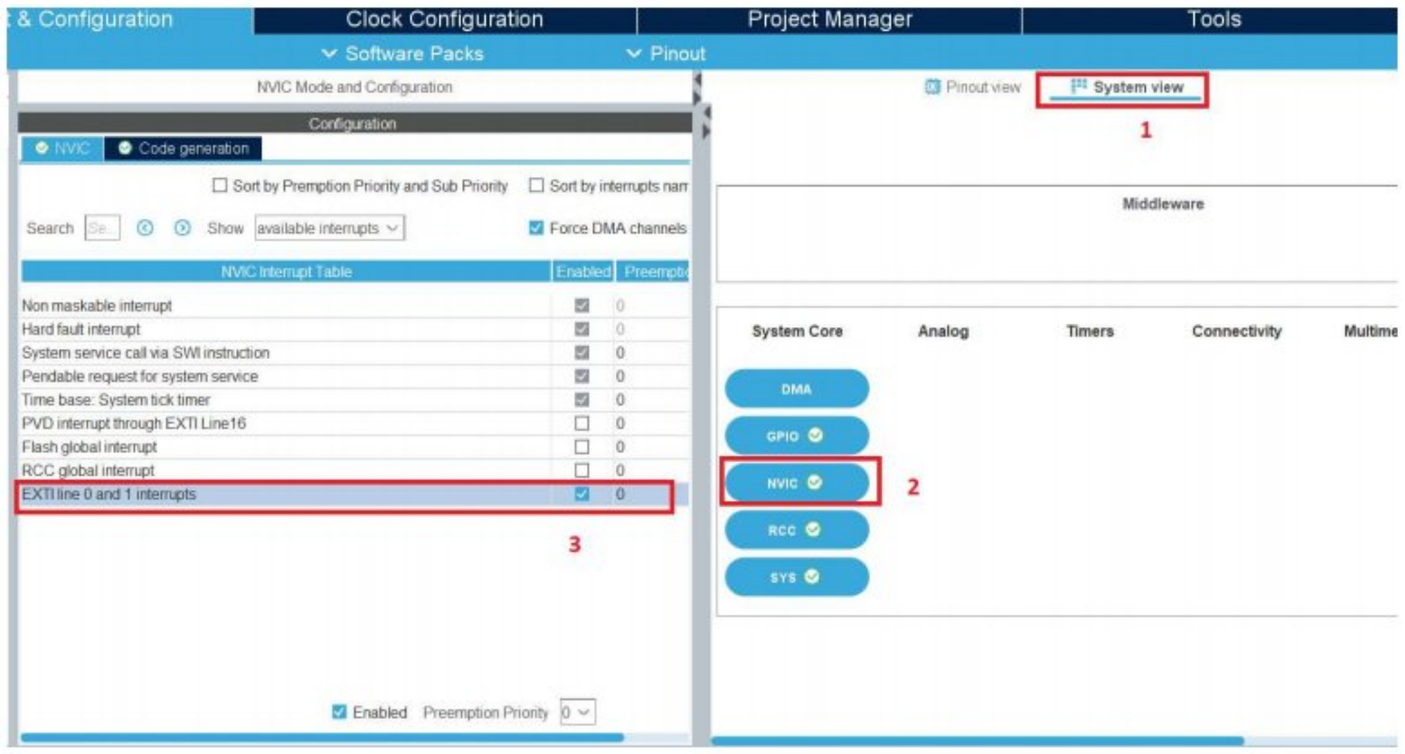
- ابتدا وارد نرم افزار CubeMX شده از قسمت File-New Project میکروکنترلر یا برد موردنظر خود را انتخاب کنید و یک پروژه بسازید. (STM32F0DISCOVERY)



- روی یک پین برای پوش باتن کلیک کنیـد و GPIO_EXTI را انتخـاب کنیـد. روی پـین دیگـری کلیک کرده و برای GPIO_OUTPUT LED را انتخاب کنید.



- از بخش NVIC system view را بـاز کنیـد و تیـک EXTI_LINE_X_INTERRUPT را بزنیـد. (متناسب با شماره پایه برای پوش باتن).
- از بخش system view، قسمت GPIO تنظیمات مناسب را برای پایه‌ها انجام دهید. (حسـاس بـه لبه ی بالارونده یا پایین رونده مقاومت پول آپ یا پول‌داون و ... برای پوش باتن)



- پروژه ایجاد شده توسط Cube MX را به Cube IDE وارد کنید.
- در قسمت کتابخانه ی HAL فایـل GPIO را بـاز نمـوده و تـابع Callback را بـه main.c اضـافه کنید.(weak_ حذف شود)

```
/* USER CODE BEGIN 4 */
void HAL_GPIO_EXTI_Callback(uint16_t GPIO_Pin)
{
  /* Prevent unused argument(s) compilation warning */
  UNUSED(GPIO_Pin);

  /* NOTE: This function should not be modified, when the callback is
needed,
           the HAL_GPIO_EXTI_Callback could be implemented in the
user file
   */
}
/* USER CODE END 4 */
```

- داخل تابع Callback مقدار ولتاژ led را با هر بار رخ دادن وقفه تغییر دهید.

۴-۴- پرسش‌ها و تمرین‌های برنامه نویسی

۱- با استفاده از مفهوم وقفه‌ی خارجی دو عدد Pushbutton را به نحوی راه‌اندازی کنید که با فشـردن یکی led روشن و با فشردن دیگری led خاموش شود.

آزمایش ۵:

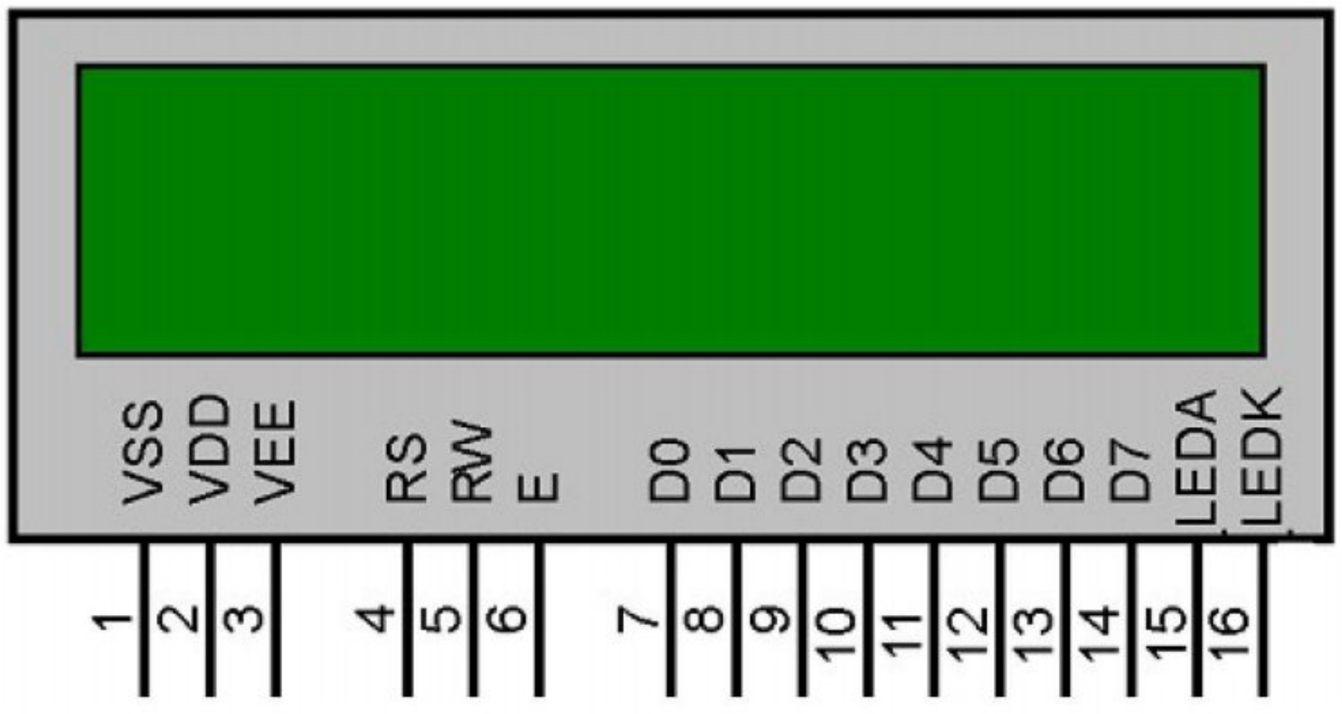
راه‌اندازی نمایشگر کاراکتری

۱-۵- درسنامه

نمایشگرهای کاراکتری همان گونه که از نامشان پیداست برای نمایش کاراکترهای اسکی مناسب هستند. این نمایشگرها می توانند چندین سطر و ستون داشته باشند و دارای نور پس زمینه سبز یا آبی هستند. ترکیبات زیادی مانند۱×۸، ۲×۸، ۱۰×۲و ۱۶×۱ وجود دارد. نمایشگر استفاده شده در این آزمایشگاه دارای دو سطر و شانزده ستون می‌باشد. تراشه ی کنترلر این نمایشگر HD44780 نام دارد که با مراجعه به دیتاشیت این قطعه میتوان به نحوه راه اندازی نمایشگر کاراکتری پی برد.

تمامی نمایشگرهای کاراکتری فوق دارای ۱۶ پین هستند و رویکرد برنامه نویسی نیز برای آنها یکسان است.

در ادامه توضیحات پینهای نمایشگر ۲×۱۶ آمده است:



شماره‌ی پایه	نام پایه	نوع عملکرد	تفسیر عملکرد	اتصال
Pin 1	Ground	Source Pin	پایه‌ی زمین نمایشگر	Connected to the ground of the MCU/ Power source
Pin 2	VCC	Source Pin	پایه‌ی ولتاژ تغذیه	Connected to the supply pin of Power source
Pin 3	V0/VEE	Control Pin	تنظیم کنتراست	Connected to a variable POT that can source 0-5V
Pin 4	Register Select	Control Pin	انتخاب بین دستور و داده	Connected to a MCU pin and gets either 0 or 1. 0 -> Command Mode 1-> Data Mode
Pin 5	Read/Write	Control Pin	انتخاب بین عملیات نوشتن یا خواند	Connected to a MCU pin and gets either 0 or 1. 0 -> Write Operation 1-> Read Operation
Pin 6	Enable	Control Pin	برای انجام خواندن و یا نوشتن سطح ولتاژ این پایه باید بالا باشد	Connected to MCU and always held high.
Pin 7-14	Data Bits (0-7)	Data/Command Pin	مجموعه‌ای از پایه‌ها برای ارسال دستور یا داده	In 4-Wire Mode Only 4 pins (0-3) is connected to MCU In 8-Wire Mode All 8 pins(0-7) are connected to MCU
Pin 15	LED Positive	LED Pin	پایه مثبت نور پس‌زمینه	Connected to +5V
Pin 16	LED Negative	LED Pin	پایه‌ی منفی نور پس‌زمینه	Connected to ground

Hex Code Command to LCD Instruction Register

```
0F      LCD ON, cursor ON
01      Clear display screen
02      Return home
04      Decrement cursor (shift cursor to left)
06      Increment cursor (shift cursor to right)
05      Shift display right
07      Shift display left
0E      Display ON, cursor blinking
80      Force cursor to beginning of first line
C0      Force cursor to beginning of second line
38      2 lines and 5×7 matrix
83      Cursor line 1 position 3
3C      Activate second line
08      Display OFF, cursor OFF
OC      Display ON, cursor OFF
C1      Jump to second line, position 1
C2      Jump to second line, position 2
```

```
void lcd_cmd(uint8_t cmd)
{
	RS_LOW;
	EN_LOW;

	HAL_GPIO_WritePin(GPIOC, GPIO_PIN_2, (cmd>>0)&0x01);
	HAL_GPIO_WritePin(GPIOC, GPIO_PIN_3, (cmd>>1)&0x01);
	HAL_GPIO_WritePin(GPIOC, GPIO_PIN_4, (cmd>>2)&0x01);
	HAL_GPIO_WritePin(GPIOC, GPIO_PIN_5, (cmd>>3)&0x01);
	HAL_GPIO_WritePin(GPIOC, GPIO_PIN_6, (cmd>>4)&0x01);
	HAL_GPIO_WritePin(GPIOC, GPIO_PIN_7, (cmd>>5)&0x01);
	HAL_GPIO_WritePin(GPIOC, GPIO_PIN_8, (cmd>>6)&0x01);
	HAL_GPIO_WritePin(GPIOC, GPIO_PIN_9, (cmd>>7)&0x01);

	HAL_Delay(5);
	EN_HIGH;
	HAL_Delay(1);
	EN_LOW;
	HAL_Delay(5);
}
```

کد تابع دستور مشاهده می‌شود. دقت شود که تابع داده نیز مانند کد تابع دستور است با این تفاوت که سطح ولتاژ پایه ی RS در تابع داده باید High و در تابع دستور باید Low باشد.

۲-۵- آزمایش

۱-۲-۵- درایورنویسی نمایشگر کاراکتری مد ٤ بیتی

با استفاده از برنامه نویسی رجیستری درایوری برای نمایشگر کاراکتری در مد ٤ بیت بنویسید به نحوی که: دارای توابع init، clear، send_data، send_command، put_string و gotoxy باشد.

- تابع init برای مقدار دهی اولیه باشد.
- تابع clear برای پاک کردن صفحه ی نمایش است.
- توابع send_command و send_data به ترتیب دستور و داده را به نمایشگر ارسال می کنند.
- تابع gotoxy نشانگر نمایشگر را به موقعیت (x,y) می‌برد تا بتوان در آن نقطه کاراکتری چاپ نمود.

- تابع put_string باید سه ورودی داشته باشد یک ورودی رشته ای برای چاپ باشـد و دو ورودی دیگر موقعیت سطر و ستون در نمایشگر تا به نقطه مورد نظر برود و یک رشته را چاپ کند.

۲-۲-۵- استفاده از نمایشگر

با استفاده از درایوری که برای نمایشگر گرافیکی در اختیار دارید (مد ۸ بیت یا ٤ بیت تفاوتی نمـی کنـد) و دو عدد پوش باتن برنامه ای بنویسید به نحوی که:

- ابتدا رشته ی .... welcome را در ابتدای سطر اول نمایش دهد.
- دو ثانیه صبر و سپس صفحه نمایش گر پاک شود.
- متغیری با نام count داخل برنامه ایجاد کنید با مقدار اولیه صفر.
- مقدار count روی نمایشگر به نمایش در آید. (مقدار این متغیر بین تا ۱۲۰ تغییر کند)
- با فشردن یکی از کلیدها این مقدار افزایش و با فشردن کلید دیگر این مقـدار کـاهش یابـد و روی نمایشگر مقدار جدید نمایش داده شود.
- برنامه را به نحوی بنویسید که با توجه به تغییر count از یک تا سه رقم ، جای ایـن عـدد همیشـه ثابت باشد به چپ و راست جابه جا نشود.

سوال: با توجه به مقدار حـداقل و حـداکثر متغیـر count از چـه نـوع داده ای بایـد بهـره بـرد و Format specifier متناسب آن چیست؟

۳-۵- پرسش‌ها و تمرین‌های برنامه نویسی

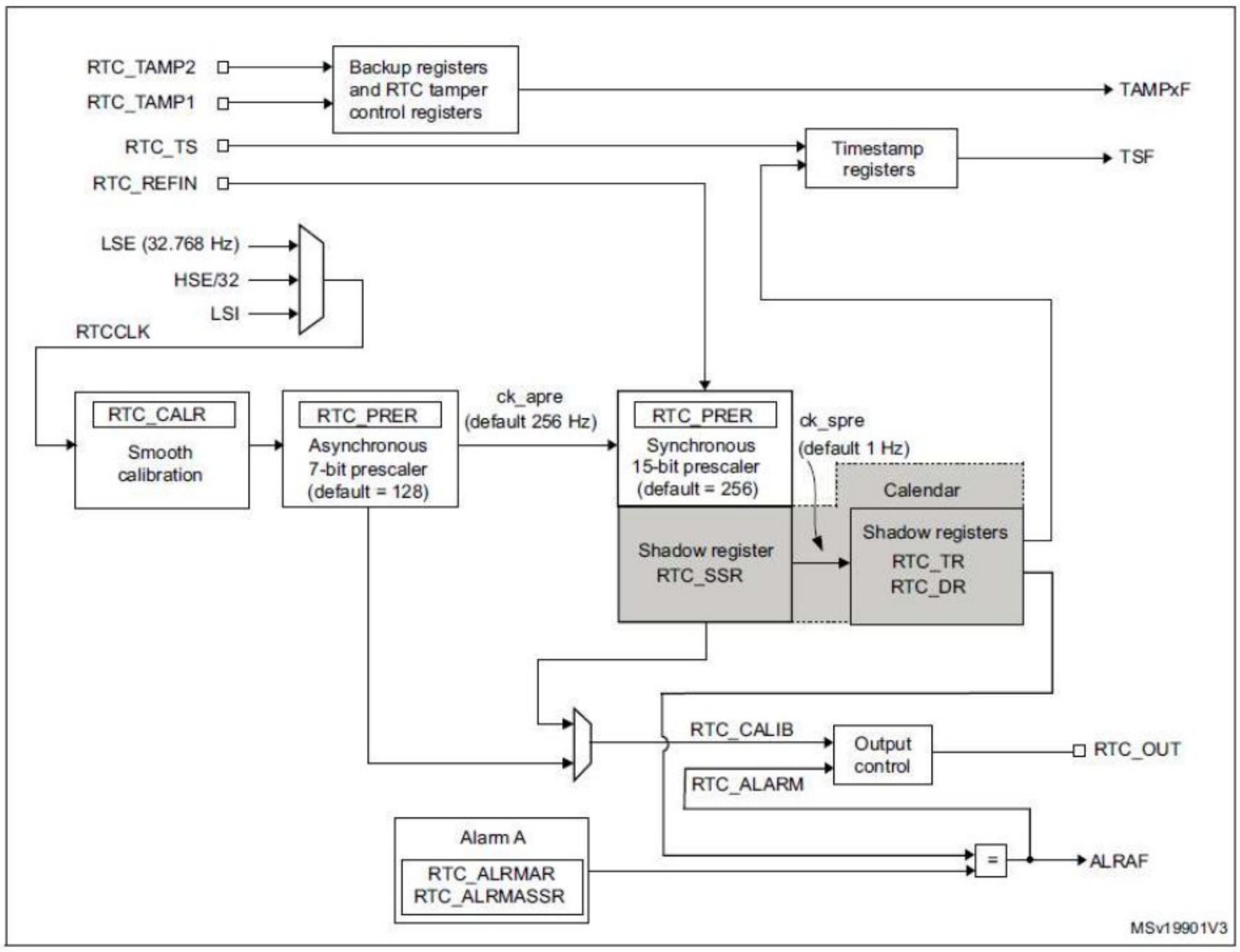
۱- نام یا نام خانوادگی خود را به زبان فارسی روی نمایشگر کاراکتری ۱٦۲ نمایش دهید.(در صـورتی کـه هم نام و هم نام خانوادگی شما بیش از ۸ کاراکتر است می‌توانید کلمه ی دیگری کـه بـین ٤ تـا ۸ کـاراکتر داشته باشد انتخاب کنید

آزمایش ۶:

کار با واحد زمان‌سنج حقیقی (RTC)

۱-۶- درسنامه

زمان پارامتر مهمی است که در اکثر سامانه‌های میکروکنترلری از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در میکروکنترلرهای خانواده st نیز برای نگه‌داری و شمارش زمان واقعی واحدی به نام RTC تعبیه شده‌است. این بخش تراشه‌ای مجهز به شمارنده‌ی ۳۲ بیتی است که می‌تواند از کریستال خارجی به خصوصی که برای این منظور تعبیه شده است به عنوان منبع کلاک خارجی بهره ببرد. از آن جایی که بایستی زمان شمارش شده وقتی که تغذیه اصلی تراشه قطع می‌شود به کار خود ادامه دهد، این بخش به باتری پشتیبانی می‌تواند مجهز شود که برای این منظور طراحی شده است. کلاک بخش RTC ابتدا توسط Prescaler تقسیم می‌شود. معمولا مقدار این پیش تقسیم‌کننده طوری تنظیم می‌شود که پالس یک هرتز به واحد RTC برسد.



شکل ٦- ابلوک دیاگرام RTC در STM32F051xxxx

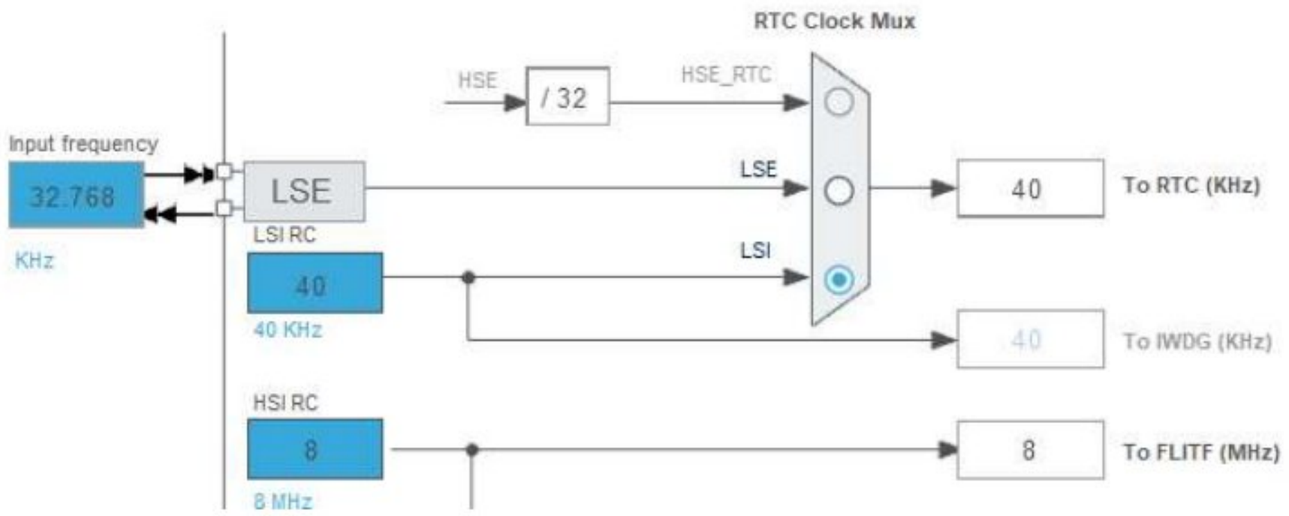
۲-۶- آزمایش

۱-۲-۶- ساعت دیجیتال

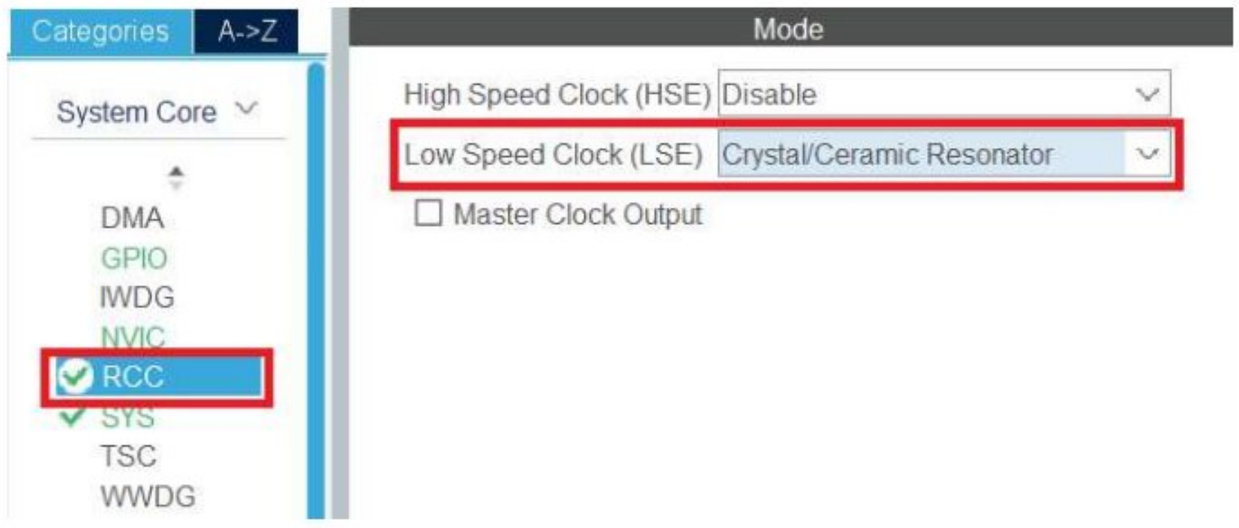
با کمک نمایشگر کاراکتری و بخش RTC میکروکنترلر یک ساعت دیجیتال بسازید که ساعت، دقیقه و ثانیه را در سطر اول نمایشگر و آلارم را در سطر دوم آن نمایش دهد. با تنظیم آلارم A و برابر شدن زمان با این آلارم یک الای‌دی روشن شود.

۳-۶- تنظیمات نرم‌افزاری و کدنویسی

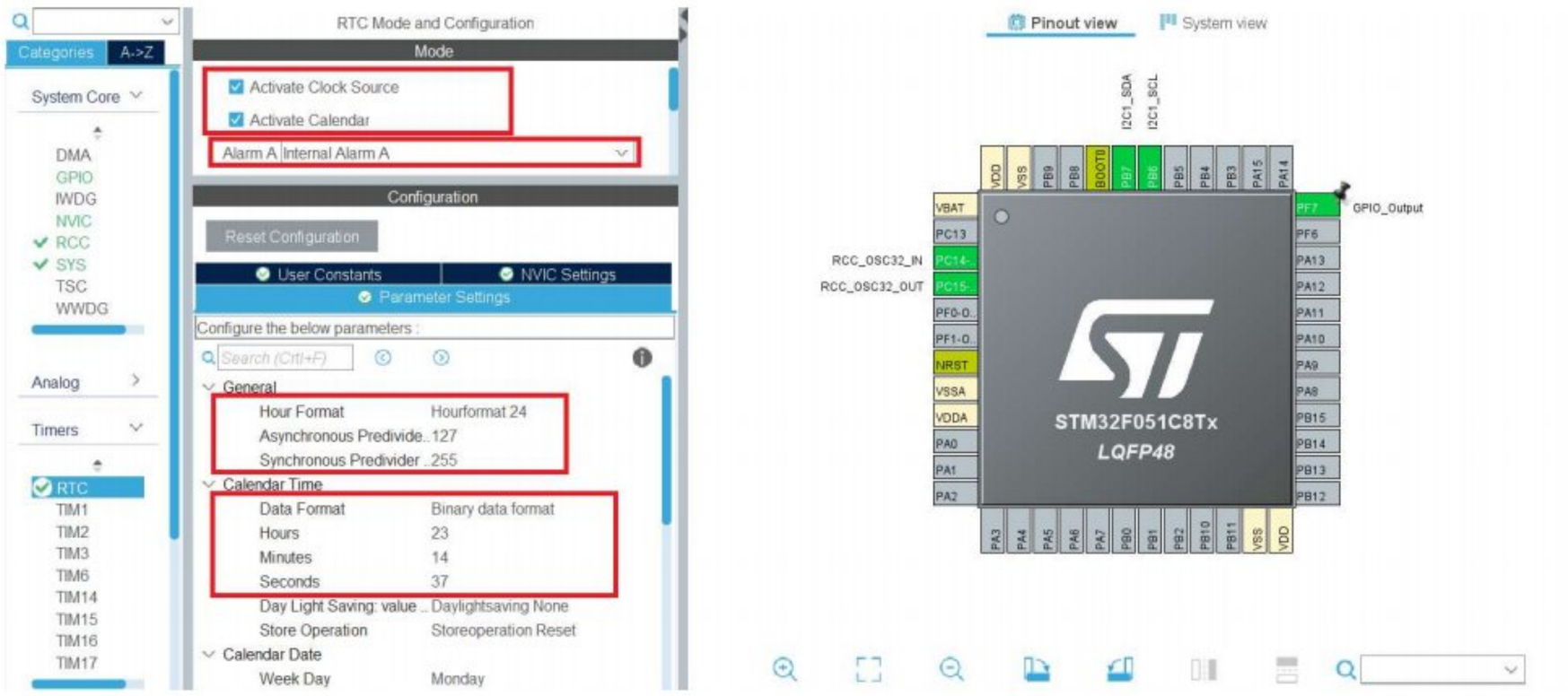
بردی که در اختیار داریم (STM32F0DISCOVERY) فاقد کریستال 32.768KHz است پس ما باید از منبع کلاک داخلی میکرو که مقدار 40KHz را دارد استفاده کنیم:



در صورتی که امکان تغذیه RTC از کریستال خارجی فراهم بود منبع کلاک را LSE انتخاب می‌کنیم اما ابتدا باید از بخش RCC دسترسی به این منبع را ممکن کنیم:



در ادامه:



وقفه‌ی آلارم را فعال می‌کنیم:

برای خواند زمان، تاریخ و آلارم به سه استراکچر نیاز داریم:

```
/* USER CODE BEGIN PV */

RTC_TimeTypeDef gTime = {0};
RTC_DateTypeDef gDate = {0};
RTC_AlarmTypeDef gAlarm = {0};

/* USER CODE END PV */
```

داخل حلقه زمان و تاریخ را می‌خوانیم:

```
  /* Infinite loop */
  /* USER CODE BEGIN WHILE */
  while (1)
  {
        HAL_RTC_GetTime(&hrtc, &gTime, RTC_FORMAT_BIN);
        HAL_RTC_GetDate(&hrtc, &gDate, RTC_FORMAT_BIN);
        HAL_RTC_GetAlarm(&hrtc, &gAlarm, RTC_ALARM_A, RTC_FORMAT_BIN);
        sprintf(buffer_1,"Time:
%02u:%02u:%02u",gTime.Hours,gTime.Minutes,gTime.Seconds);
        lcd_send_string(buffer_1, 0, 0);
        sprintf(buffer_1,"Alarm:
%02u:%02u:%02u",gAlarm.AlarmTime.Hours,gAlarm.AlarmTime.Minutes,gAlarm
.AlarmTime.Seconds);
        lcd_send_string(buffer_1, 0, 1);
        HAL_Delay(200);
    /* USER CODE END WHILE */

    /* USER CODE BEGIN 3 */
  }
```

فراموش نشود که تابع Callback مربوط به وقفه‌ی آلارم را به main.c اضافه کنید:

```
/* USER CODE BEGIN 4 */
void HAL_RTC_AlarmAEventCallback(RTC_HandleTypeDef *hrtc)
{
  /* Prevent unused argument(s) compilation warning */
  UNUSED(hrtc);

  /* NOTE : This function should not be modified, when the callback is
needed,
            the HAL_RTC_AlarmAEventCallback could be implemented in
the user file
   */
  HAL_GPIO_WritePin(GPIOF, GPIO_PIN_7, GPIO_PIN_SET);
}
/* USER CODE END 4 */
```

۴-۶- پرسش‌ها و تمرین‌های برنامه نویسی

۱- با افزودن کیپد به این آزمایش، زمان و آلارم باید توسط کاربر قابل تنظیم باشد.

آزمایش ۷:

کار با واحد زمان‌سنج‌ها و شمارنده‌ها

(Timer/Counter) – بخش اول

۱-۷- درسنامه

به‌جرئت می‌توان گفت که بحث Timer در میکروکنترلرها و مشخصاً در میکروکنترلرهای STM32، گسترده‌ترین مبحث است. به‌علاوه Timer از آن مواردی است که تقریباً در تمامی پروژه‌ها به‌وفور استفاده می‌شود و اهمیت بسیار مهمی دارد.

۱-۱-۷- زمان‌سنج چیست و چگونه ساخته می‌شود؟

به‌عنوان یک تعریف ساده و کلی می‌گوییم که Timer ابزاری است که زمان را برای ما می‌سنجد، و سنجش زمان می‌تواند با استفاده از سیستم‌ها و روش‌های مختلفی ساخته شود. مثلاً زمان می‌تواند با استفاده از یک سیستم مکانیکی، پنوماتیکی و یا الکترونیکی ساخته شود. اما روش ساختی که در این آزمایش مدنظر ما است، روش الکترونیکی و مشخصاً الکترونیک دیجیتال است. ساعت مچی نمونه‌ی خوبی از یک سیستم الکترونیکی-مکانیکی که زمان را برای ما می‌سنجد و معمولاً مبنای عملکرد آن بر اساس یک کریستال کوارتز با فرکانس ۳۲.۷۶۸ کیلوهرتز است.

در میکروکنترلر هم معمولاً با استفاده از کریستال یا یک روش مشابه دیگر، یک سیگنال کلاک تولید می‌شود و ما با استفاده از همین سیگنال کلاک، زمان را می‌سنجیم. در این آزمایش با اینکه سیگنال کلاک چگونه ساخته می‌شود و سایر مقدمات آن کاری نداریم و فرض می‌کنیم که یک سیگنال کلاک با فرکانس مشخص داریم و می‌خواهیم با استفاده از ادوات دیجیتالی که در اختیارداریم، یک Timer بسازیم.

۲-۱-۷- ساخت زمان‌سنج دیجیتال

قبل از اینکه نحوه‌ی ساخت Timer دیجیتال را توضیح بدهیم باید با یک مفهوم دیگر به اسم Counter یا شمارنده و ارتباط آن با Timer آشنا بشویم. اصول ساخت Timer بر اساس یک شمارنده است. یعنی ما

برای سنجش زمان، یک شمارنده داریم که عمل شمارش را انجام می‌دهد و برای محاسبه‌ی زمان، باید عدد شمارش‌شده توسط شمارنده را در مدت‌زمان هر شمارش ضرب کنیم.

فرض کنید یک شمارنده ٤ بیتی داریم که کلاک این شمارنده از یک منبع کلاک با فرکانس یک کیلوهرتز تأمین می‌شود. این شمارنده ٤ بیتی می‌تواند از عدد ۰ تا ۱۵ را شمارش کند و با توجه به فرکانس، میزان هر شمارش یک میلی ثانیه است. پس با استفاده از یک شمارنده توانستیم تایمری بسازیم که می‌تواند زمان را با پایه زمانی یک میلی ثانیه بسنجد و برای زمان‌های دیگر هم می‌توانیم عدد ۱ تا ١٦ (با احتساب عدد ۰ به‌عنوان اولین عدد شمارش) را در یک میلی ثانیه ضرب کنیم.

تا اینجا با Timer و روش ساخت آن با استفاده از کانتر و همچنین با نحوه‌ی عملکردش آشنا شدیم. در ادامه می‌خواهیم Timer در میکروکنترلرهای STM32 را بررسی کنیم.

۳-۱-۷- زمان‌سنج‌ها در میکروکنترلرهای STM32

تعداد Timer در میکروکنترلرهای STM32 درمجموع ١٤ عدد است که این ١٤ عدد به انواع زیر تقسیم می‌شوند:

- Advanced-control timers
- General-purpose timers
- Basic timers

تایمرهای ۱ و ۸ از نوع Advanced-control، تایمرهای ۲ تا ۵ و ۹ تا ١٤ از نوع General-purpose و درنهایت تایمرهای ٦ و ۷ از نوع Basic هستند. تفاوت عمده‌ی Timer در میکروکنترلرهای STM32 در امکاناتی که دارند، می‌باشد. به‌عنوان مثال در تایمرهای Advanced-control، مُدهایی برای اینترفیس انکودر و سنسور هال وجود دارد که در سایر تایمرها موجود نیست یا در تایمرهای General-purpose، قابلیت PWM و Input capture وجود دارد که این امکانات در تایمرهای Basic موجود نیست.

قابل‌ذکر است که با توجه به میکروکنترلر، نوع و تعداد تایمرهای موجود در میکروکنترلر می‌تواند متفاوت باشد. مثلاً در میکروکنترلر STM32F103C8T6، تایمر نوع Basic وجود ندارد. همان‌طور که قبلاً هم گفتیم Timer در میکروکنترلرهای STM32 بسیار گسترده است و دارای قابلیت‌ها و امکانات بسیار زیادی

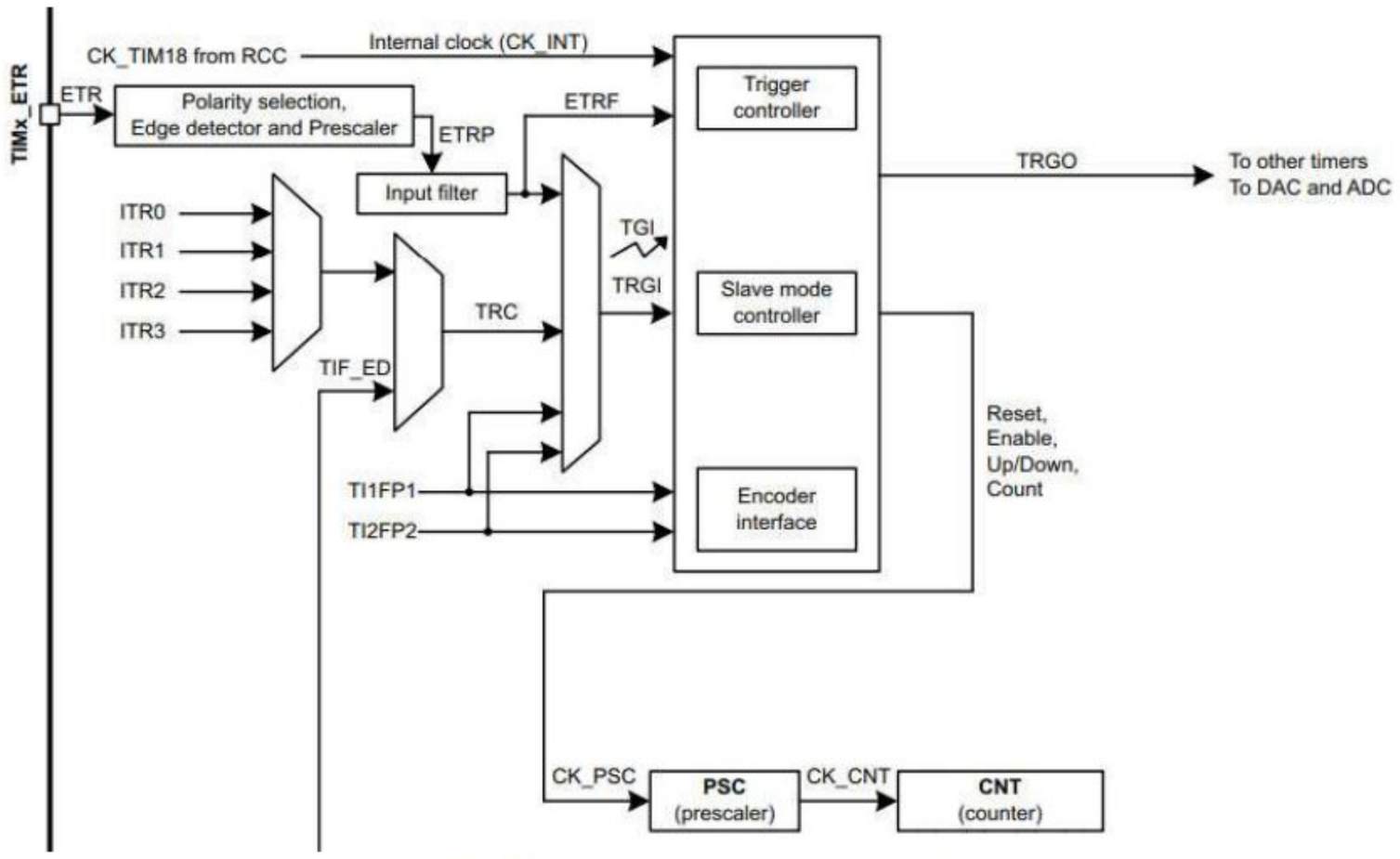
می‌باشد، از همین جهت ما در این آزمایش و آزمایش بعدی، مهم‌ترین قابلیت‌های تایمرها و مواردی که کاربردی‌تر هستند را موردبررسی قرار خواهیم داد.

Timer در میکروکنترلرهای STM32 دارای یک Counter یا شمارنده ۱۶ بیتی است (در سری‌های متفاوت این عدد تا ۳۲ بیت هم می‌رسد) که این شمارنده می‌تواند به‌صورت بالا شمار، پایین شمار و بالا-پایین شمار، شمارش کند. همان‌طور که می‌دانید نکته مهم این است که این شمارنده ۱۶ بیتی با چه فرکانسی می‌تواند شمارش کند. حداکثر فرکانس واحد همه‌ی تایمرها در میکروکنترلر مدنظر ما، 48MHz است که از طریق باس‌های مربوطه تأمین می‌شود.

حال ما می‌توانیم این فرکانس 48MHz را مستقیماً به شمارنده ۱۶ بیتی بدهیم و یا اینکه این فرکانس را با استفاده از Prescaler به فرکانس‌های کوچک‌تری تبدیل کرده و سپس آن را به شمارنده بدهیم. تایمر در میکروکنترلرهای STM32 دارای یک Prescaler با طول ۱۶ بیت است که فرکانس ورودی واحد تایمر را به عددی بین ۱ تا ۶۵۵۳۶ تقسیم می‌کند.

پس ما علاوه بر اینکه با استفاده از Prescaler ها و ضرب‌کننده‌های فرکانسی که قبل از واحد تایمر قرار دارند، می‌توانیم فرکانس ورودی واحد تایمر را تعیین کنیم، با استفاده از Prescaler که در خودواحد تایمر قرار دارد هم این انعطاف راداریم که فرکانس را تا حد بسیار زیادی، و تقریباً به هر عددی که بخواهیم تغییر بدهیم. توجه کنید که هم Prescaler و هم Counter هر دو ۱۶ بیتی هستند و Prescaler دقیقاً قبل از Counter قرار داده‌شده است و کلاک متصل به Counter، دقیقاً همان کلاکی است که از خروجی Prescaler گرفته می‌شود. کلاک ورودی به واحد Timer در میکروکنترلرهای STM32 می‌تواند از روش‌های مختلفی مانند کلاک داخلی میکروکنترلر، پین‌های خارجی و از طریق یک تایمر دیگر تأمین بشود.

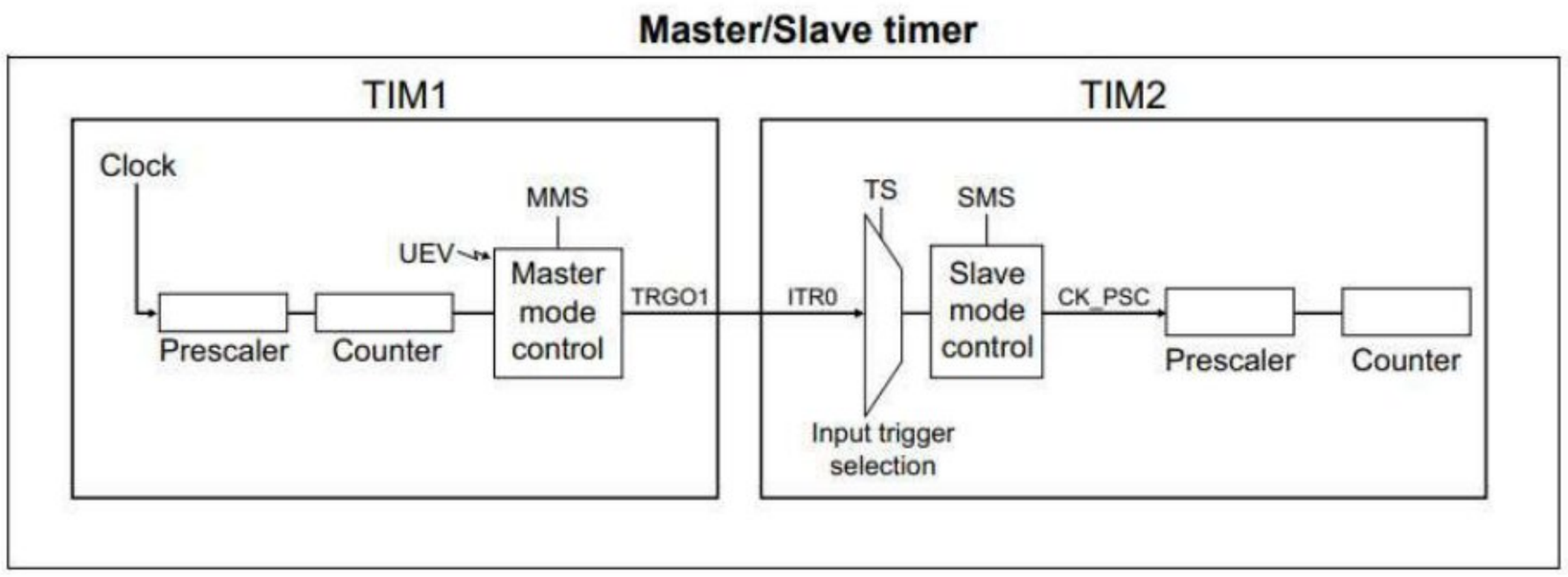
تصویر زیر منابع مختلف کلاک تایمر را نشان می‌دهد:



شکل ۷- ۱ **Timer** در میکروکنترلرهای **STM32**

همان‌طور که در تصویر بالا مشاهده می‌کنید، کلاک از هر منبعی که تأمین بشود، قبل از رفتن بـه شـمارنده، ابتدا توسط Prescaler تقسیم فرکانسی می‌شود و درنهایت به شمارنده متصل خواهد شد.

قبلاً گفتیم که کلاک تایمر می‌تواند از طریق یک تایمر دیگر هم تـأمین بشـود. در ایـن حالـت یـک تـایمر به‌عنوان Master و تایمر دیگر به‌عنوان Slave در نظر گرفته می‌شود.



شکل ۷- ۲ تایمر اول به عنوان **Prescaler** تایمر دوم عمل می‌کند.

۴-۱-۷- کاربرد زمان‌سنج‌ها در میکروکنترلرهای STM32

تایمری که در میکروکنترلرهای STM32 قرار داده‌شده است کاربردهای بسیار زیادی دارد، امـا کاربردهـایی

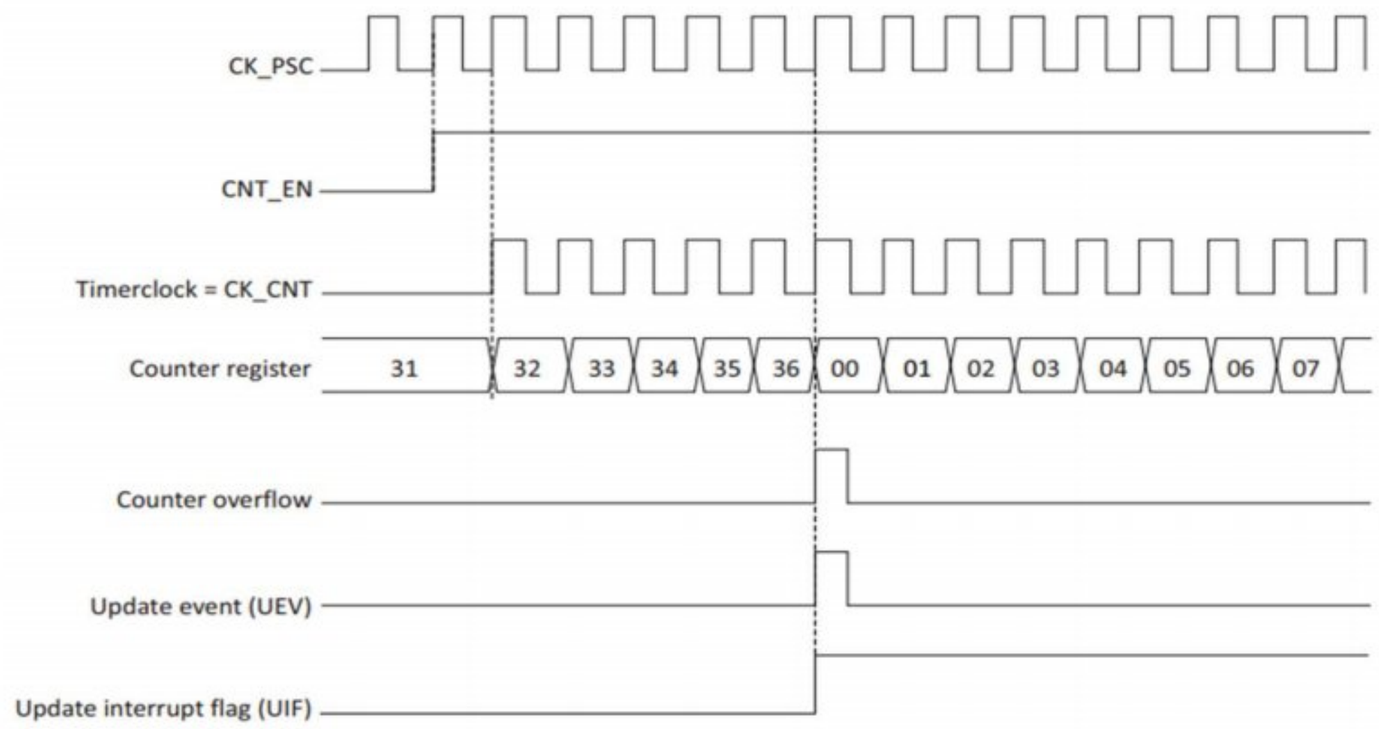
که مهم هستند و ما می‌خواهیم به آن‌ها بپردازیم شامل پایه زمانی، PWM و Input capture است. همچنین هرکدام از این تایمرها دارای ٤ کانال مختلف هستند که می‌توان از این کانال‌ها برای تولید PWM یا خواندن سیگنال ورودی (Input capture) و ... استفاده کرد. ما در ادامه می‌خواهیم با استفاده از تایمر، قابلیت پایه زمانی را راه‌اندازی و مدت‌زمان ۱ ثانیه را اندازه‌گیری کنیم.

تایمر را در حالت بالا شمار راه‌اندازی کرده و پس‌ازاینکه اعداد شمارش‌شده توسط شمارنده معادل ۱ ثانیه شد، وقفه واحد تایمر را فعال کرده تا متوجه سپری شدن زمان ۱ ثانیه بشویم و متناسب با آن عملیات موردنظر را انجام بدهیم. اما چگونه متوجه بشویم که اعداد شمارش‌شده توسط شمارنده، معادل ۱ ثانیه است؟

خب همان‌طور که قبلاً گفتیم با استفاده از منبع کلاک و Prescaler، کلاک ورودی Counter واحد تایمر را مشخص می‌کنیم. به‌عنوان‌مثال منبع کلاک را از نوع داخلی انتخاب کرده و مقدار آن را بر روی 8MHz و Prescaler را بر روی ۷۹۹۹ (به این دلیل ۸۰۰۰ قرار ندادیم چون‌که شمارش از ۰ شروع می‌شود) تنظیم می‌کنیم. خب با این تنظیمات منبع کلاک بر عدد Prescaler تقسیم‌شده و درنهایت به ورودی کلاک Counter متصل می‌شود. یعنی 8MHz بر عدد ۸۰۰۰ تقسیم‌شده و درنهایت فرکانس 1KHz به ورودی کلاک Counter متصل می‌شود.

با این تنظیمات با اضافه شدن هر عدد به شمارنده، مدت‌زمان 1ms سپری می‌شود. حال باید شمارنده تا عدد ۱۰۰۰ بشمارد تا ما بتوانیم مدت‌زمان ۱ ثانیه را به‌دست بیاوریم. اما چگونه؟ یک رجیستر به اسم ARR یا Auto-reload وجود دارد و زمانی که مقدار شمارنده به مقدار این رجیستر رسید، تایمر یک وقفه به ما می‌دهد و ما متوجه سپری شدن زمانی که مدنظرمان بود می‌شویم و عملیات دلخواه را در روتین وقفه انجام می‌دهیم.

ابتدا به تصویر زیر توجه کنید:

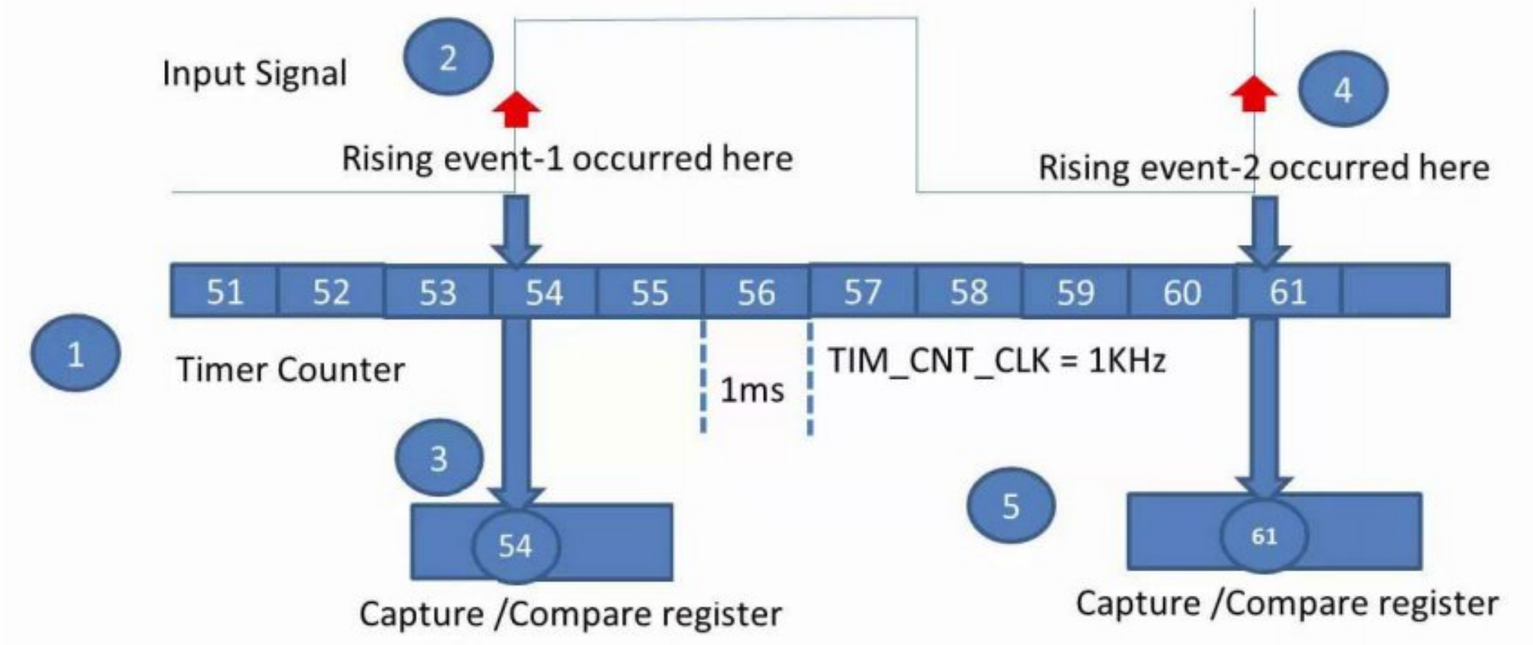


شکل ۷- ۳ مقدار رجیستر **Auto-reload** عدد ۳۶ است و زمانی که مقدار شمارنده به عدد ۳۶ برسد شمارنده ریست و یک وقفه **(Update interrupt flag)** هم ایجاد خواهد شد.

همچنین توجه کنید که شمارنده یک کلاک پس از فعال شدن کلاک ورودی شمارنده (CNT_EN) شروع به شمارش می‌کند. این یعنی اگر قرار باشد تا ۱۰۰۰ بشماریم باید مقدار Auto-reload را عدد ۹۹۹ تنظیم کنیم چرا که عدد ۰ هم با توضیحی که اکنون دادیم شمارش خواهد شد.

۵-۱-۷- مد Input Capture

معنی لغوی عبارت Input capture معادل با ضبط یا ثبت ورودی است. آن چیزی هم که ما می‌خواهیم به آن بپردازیم تقریباً مرتبط با همین معنی لغوی است. برای توضیحات مربوط به Input Capture به تصویر زیر توجه کنید:



شکل ۷- ٤ مد **input capture**

در شکل بالا ما یک سیگنال ورودی (Input Signal) داریم که می‌خواهیم با استفاده از قابلیت Input capture میکروکنترلر فرکانس این سیگنال ورودی را اندازه بگیریم. برای اندازه‌گیری سیگنال ورودی ابتدا باید شمارنده‌ی واحد تایمر را با فرکانس مشخص، به‌صورت بالا شمار (یا پایین شمار) راه‌اندازی کنیم **(مرحله ۱ در تصویر)**.

سپس سیگنالی که می‌خواهیم فرکانس آن را اندازه‌گیری کنیم را به یکی از کانال‌های تایمر که بر روی پین میکروکنترلر قرار دارد، متصل می‌کنیم و وقفه‌ی این کانال را فعال و حساس به لبه‌ی بالارونده (یا پایین‌رونده) قرار می‌دهیم. در این صورت در هر لبه‌ی بالارونده، یک وقفه رخ می‌دهد **(مرحله ۲ در تصویر)**. پس‌ازاینکه وقفه‌ی مربوط به لبه‌ی بالارونده رخ داد، مقدار شمارنده در لحظه وقوع وقفه، در رجیستر Capture ذخیره می‌شود **(مرحله ۳ در تصویر)**

شمارنده همچنان به شمارش خود ادامه خواهد داد. در حالی که شمارنده به شمارش خود ادامه می‌دهد، بر روی دومین لبه‌ی بالارونده سیگنال یک وقفه‌ی دیگر رخ می‌دهد **(مرحله ٤ در تصویر)**.

پس‌ازاینکه وقفه‌ی مربوط به دومین لبه‌ی بالارونده رخ داد، مقدار شمارنده در لحظه وقوع وقفه، دوباره در رجیستر Capture ذخیره می‌شود **(مرحله ۵ در تصویر)**. اکنون ما یک سری اطلاعات داریم که باید با استفاده از این اطلاعات، مقدار فرکانس سیگنال ورودی را محاسبه کنیم. خب ما اطلاعات مقدار شمارنده در لحظات وقوع وقفه‌ها که در رجیستر Capture ثبت‌شده است و همچنین فرکانس کلاک شمارنده را در اختیارداریم. حال اگر ما مقدار فرکانس کلاک شمارنده، یعنی 1KHz را بر اختلاف دو مقدار ٦١ و ٥٤ تقسیم کنیم، فرکانس سیگنال ورودی را محاسبه کرده‌ایم. برای محاسبه فرکانس در زمان‌های مختلف، مراحل بالا را به‌صورت مستمر تکرار می‌کنیم.

کلیت محاسبه فرکانس سیگنال ورودی، مستقل از اینکه از چه نوع ابزاری میکروکنترلر، FPGA یا هر ابزار دیگری برای این محاسبه استفاده می‌کنیم، روشی است که در بالا ذکر کردیم.

۲-۷- آزمایش

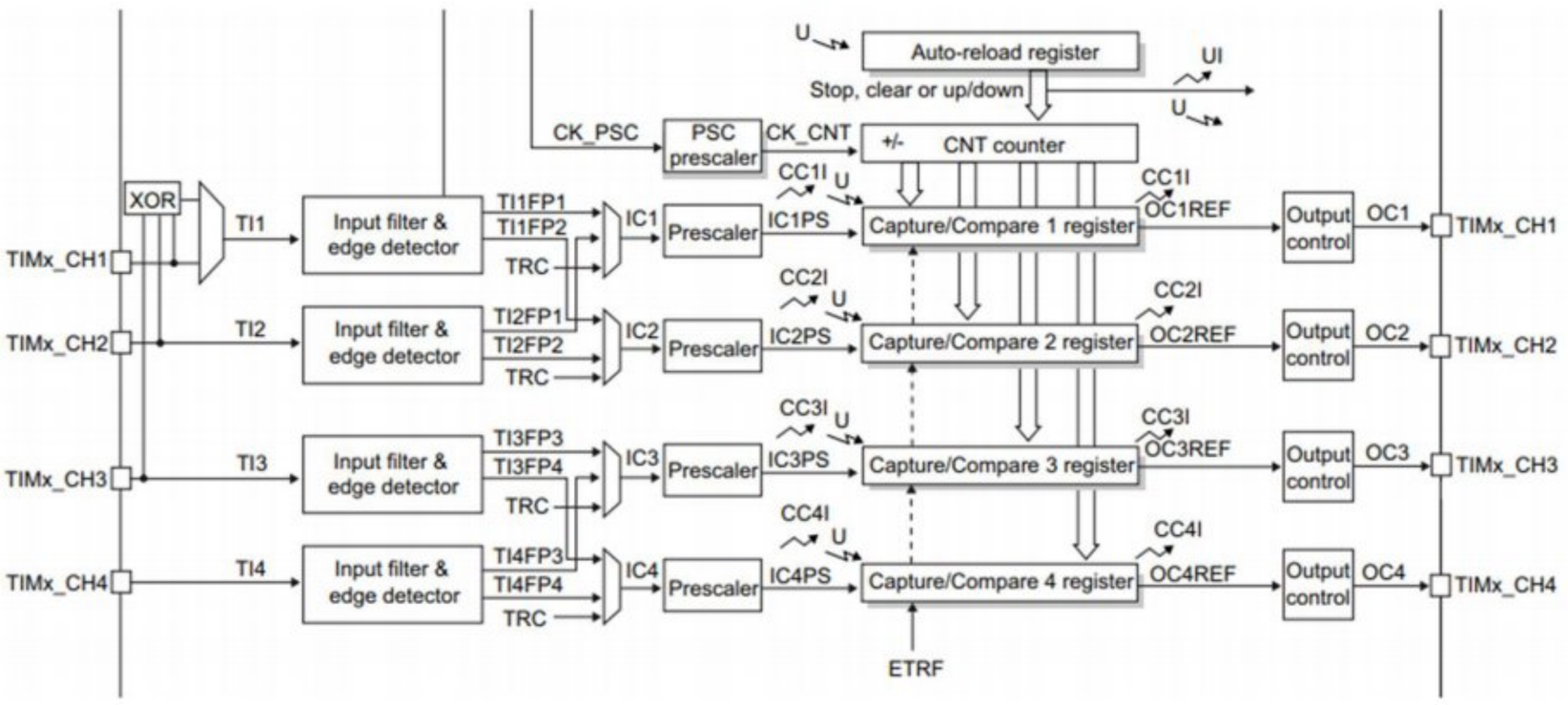
۲-۷-۱- Basic Timer

برنامه‌ای بنویسید که یک پایه میکروکنترلر را هر یک ثانیه Toggle کند.(Basic Timer)

۲-۷-۲- Input Capture

به کمک فانکشن ژنراتور یک موج مربعی به یکی از پایه‌های میکروکنترلر (حدود ٤٠ کیلوهرتز) اعمال کنید. سپس به کمک تایمرها در مد input Capture این فرکانس را اندازه گیری کنید.

برای توضیح حالت Input capture در میکروکنترلرهای STM32 ابتدا به تصویر زیر دقت کنید:



شکل ۷- ٥ سخت‌افزار زمان‌سنج در میکروکنترلرهای stm32

برای اینکه از حالت Input capture در میکروکنترلرهای STM32 استفاده کنیم و فرکانس یک سیگنال ورودی را اندازه بگیریم، ابتدا باید این سیگنال را به یکی از کانال‌های ورودی واحد تایمر متصل کنیم. همان‌طور که از تصویر بالا مشاهده می‌کنید، در مسیر این سیگنال بلوک‌های فیلتر دیجیتال، تشخیص لبه و Prescaler قرار دارد. برای سادگی کار، ما از فیلتر دیجیتال و Prescaler استفاده نخواهیم کرد اما تشخیص لبه یا همان Edge detector را در حالت لبه‌ی بالارونده قرار می‌دهیم تا با هر لبه‌ی بالارونده یک وقفه رخ بدهد.

با اعمال تنظیمات بالا، در هر لبه‌ی بالارونده‌ی سیگنال ورودی یک وقفه رخ خواهد داد و محتوای رجیستر شمارنده به رجیستر Capture منتقل خواهد شد. نکته‌ای که بسیار مهم است و باید به آن توجه ویـژه کـرد، نقش فرکانس کلاک شمارنده و همچنین مقدار Auto-reload register است. درواقع با توجه به محـدوده‌ی فرکانس سیگنال ورودی، باید فرکانس کلاک شمارنده و مقدار Auto-reload register را به نحوی انتخـاب کنیم که از صحت فرکانس محاسبه‌شده مطمئن باشیم.

همان‌طور که گفتیم برای محاسبه‌ی فرکانس سیگنال ورودی، نیـاز اسـت کـه مقـدار شـمارنده در دو لبـه‌ی بالارونده‌ی متوالی را داشته باشیم. از جهتی شـمارنده‌ی تـایمر در میکروکنترلرهـای STM32 بـا توجـه بـه تنظیماتی که ما اعمال کردیم از ۰ تا مقدار Auto-reload register شروع به شـمارش می‌کنـد کـه بیشـترین مقدار این رجیستر با توجه به ۱۶ بیتی بودن آن برابر با ۶۵۵۳۵ است. پس‌ازاینکه شمارنده بـه مقـدار Auto-reload register رسید یک سرریز رخ می‌دهد و دوباره از ۰ شروع به شمارش می‌کند. با توجه به بازه ۰ تـا ۶۵۵۳۵ رجیستر Auto-reload، در زمان شمارش ممکن است چندین حالت مختلف رخ بدهد که در ادامـه به تفصیل هر حالت را بررسی خواهیم کرد.

حالت اول:

اگر دو وقفه‌ی مربوط به دو لبه‌ی بالارونده‌ی متوالی، زمانی رخ بدهد که هنوز هیچ سرریزی اتفاق نیفتـاده باشد، هیچ مشکلی وجود ندارد و ما می‌توانیم به‌درستی و بدون هیچ خطایی مقدار فرکانس سیگنال ورودی را محاسبه کنیم. مثلاً فرض کنید وقفه‌ی اول زمانی رخ بدهد که مقدار شمارنده ۵۰۰ و وقفـه‌ی دوم زمـانی رخ بدهد که مقدار شمارنده ۱۰۰۰ است.

حالت دوم:

اگر وقفه‌ی اول قبل از سرریز، و وقفه‌ی دوم بعد از سرریز رخ بدهد. در این حالـت هـم می‌تـوان بـا یـک تکنیک ساده که در ادامه، هنگام نوشتن کد خواهیم گفت، به درستی و بدون هیچ خطایی اخـتلاف بـین دو مقدار و به دنبال آن مقدار فرکانس سیگنال ورودی را محاسبه کنیم. مثلا فرض کنید وقفه‌ی اول زمـانی رخ بدهد که مقدار شمارنده ۴۰۰۰۰ و وقفه‌ی دوم زمانی رخ بدهد که شمارنده سرریز کرده اسـت و بـه مقـدار ۲۰۰۰ رسیده است.

البته در این حالت اگر وقفه‌ی دوم بعد از سرریز رخ بدهد و همچنین مقدار شمارنده در لحظه‌ی وقوع ایـن

وقفه، از مقدار شمارنده در لحظه‌ی وقوع وقفه‌ی اول بیشتر باشد، می‌توان گفت که این حالت یک حالت جدید است. اما ما این حالت را یک زیر حالت از حالت دوم در نظر گرفتیم.

تنها فرقی که بین این دو زیر حالت وجود دارد، این است که در زیر حالت اول، عدد پس از سرریز از عدد قبل سرریز کوچک‌تر، اما در زیر حالت دوم، عدد پس از سرریز از عدد قبل سرریز بزرگ‌تر است. همین مثال بالا را در نظر بگیرید که شمارنده ابتدا ٤٠٠٠٠ بود و پس از سرریز به مقدار ٢٠٠٠ رسید. در زیر حالت دوم فرض کنید به‌جای ٢٠٠٠ به عدد ٥٠٠٠٠ برسد.

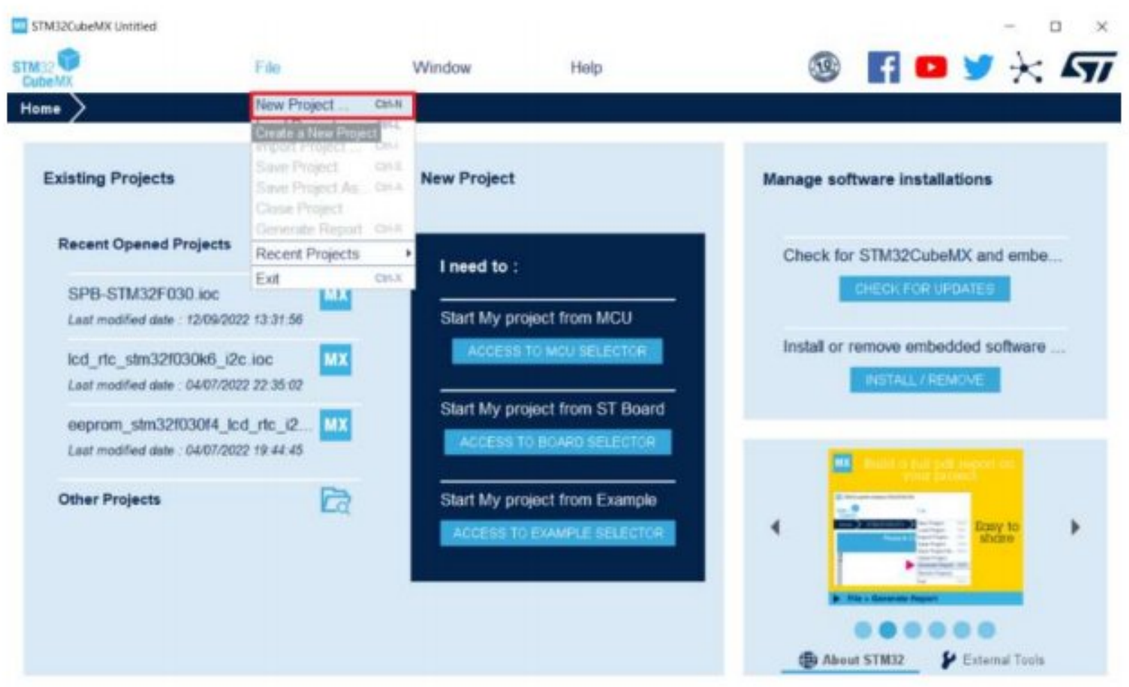
حالت سوم:

حالتی که برای ما مشکل ایجاد می‌کند و باعث می‌شود که نتوانیم اختلاف بین دو مقدار را به‌درستی محاسبه کنیم، حالتی است که بیش از یک بار سرریز رخ بدهد. مثلاً فرض کنید وقفه‌ی اول زمانی رخ بدهد که مقدار شمارنده ٦٠٠٠ و وقفه‌ی دوم زمانی رخ بدهد که شمارنده دو بار یا بیشتر سرریز کرده است و شمارنده به مقدار ٣٠٠٠ رسیده است. البته در این حالت هم با یک راه‌کار بسیار ساده می‌توانید فرکانس سیگنال ورودی را به‌درستی محاسبه کنید.

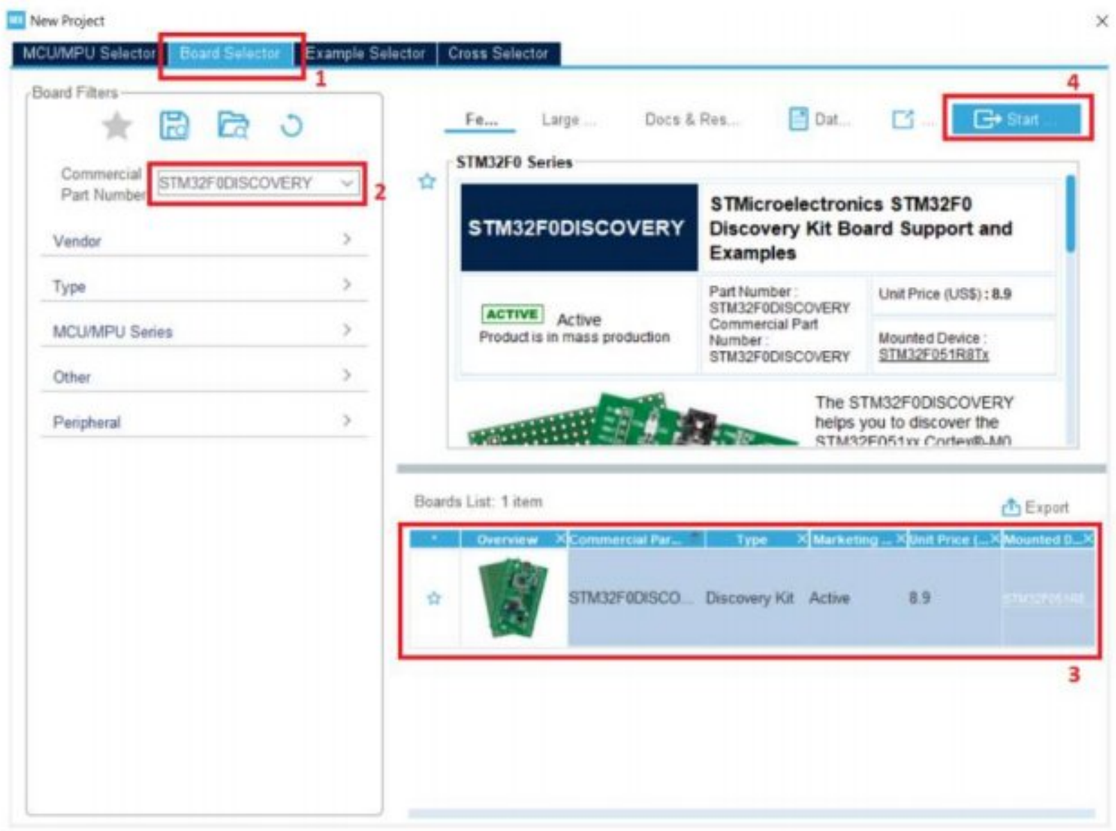
٣-٧- تنظیمات نرم‌افزاری و کدنویسی

١-٣-٧- Basic Timer

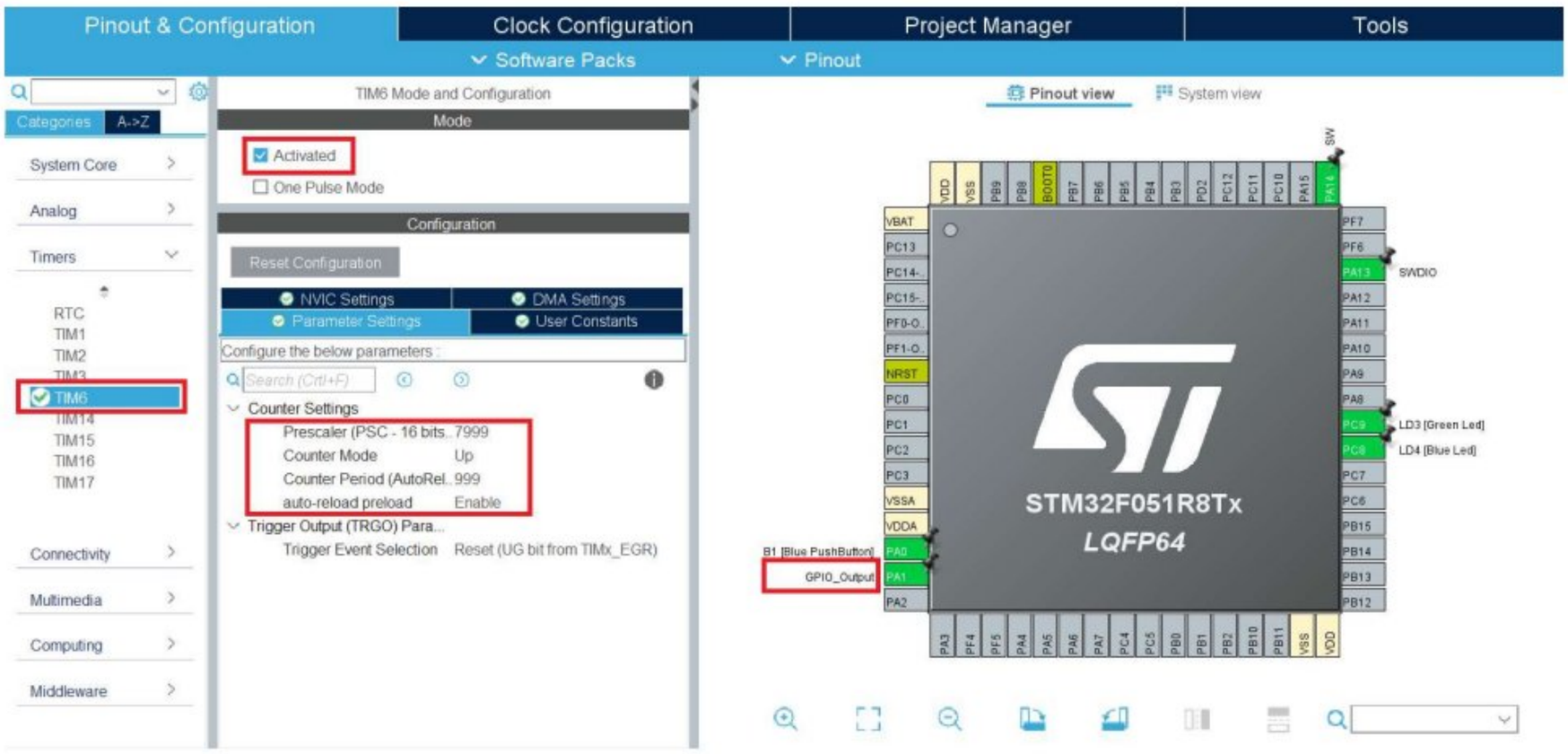
برای تنظیمات اولیه ابتدا یک پروژه جدید ایجاد می‌کنیم:



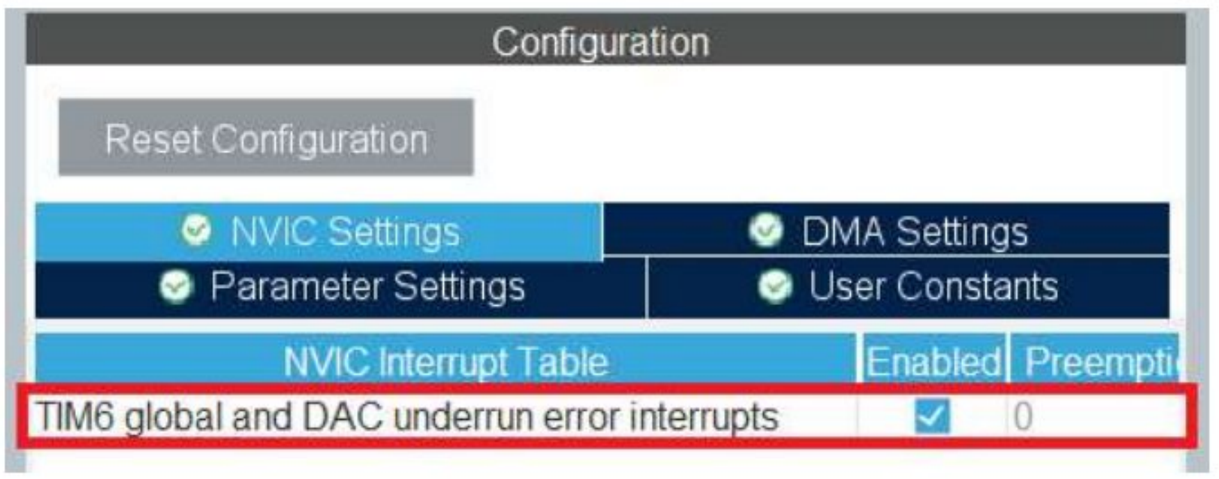
برد یا میکروکنترلر مورد نظر را انتخاب می‌کنیم:



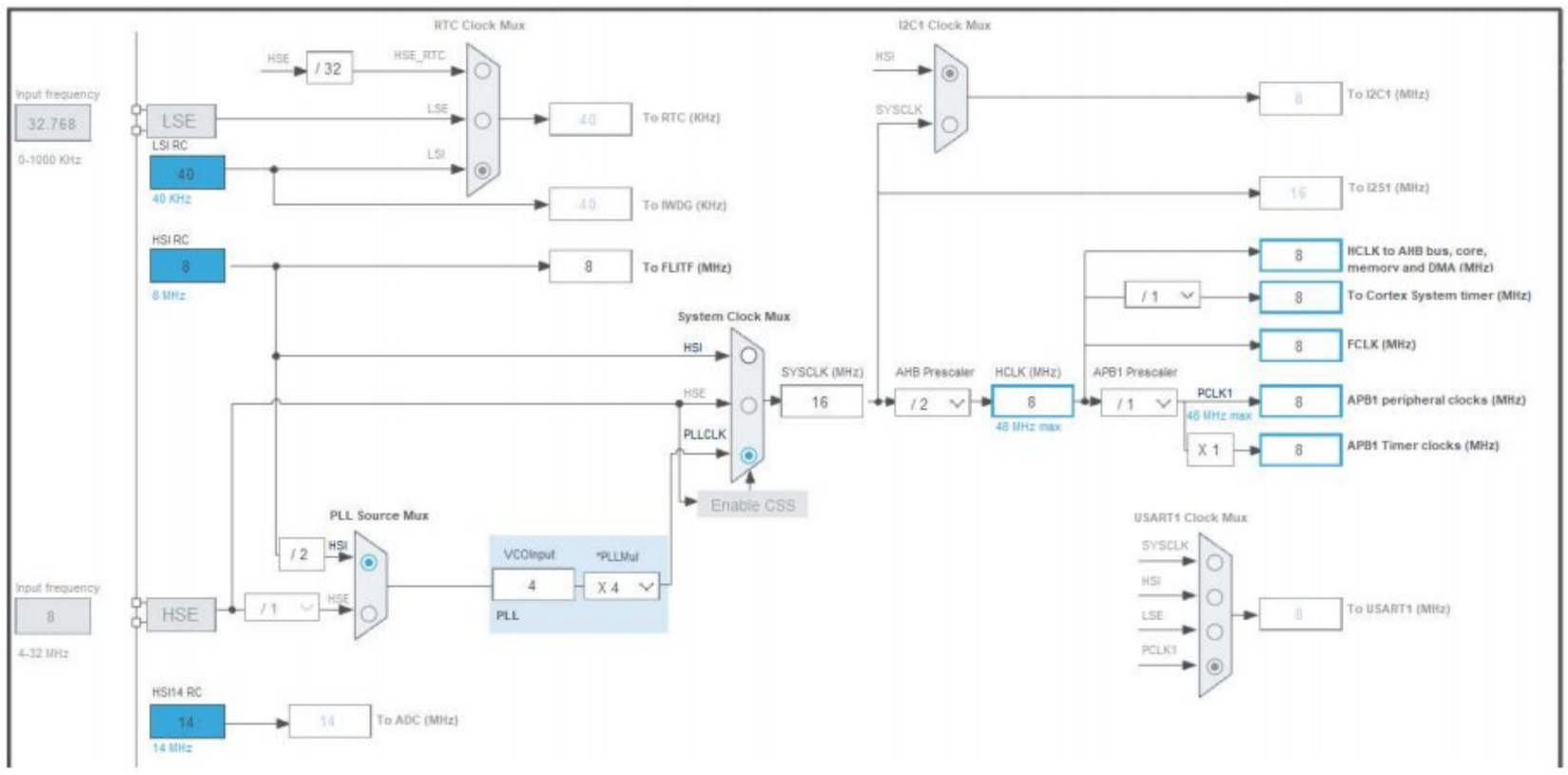
ابتدا مقادیر مناسب را مانند تصویر زیر برای TIM6 تنظیم می‌کنیم، یک پین از میکروکنترلر را هم بر روی حالت خروجی قرار می‌دهیم تا هر ۱ ثانیه یک بار در روتین وقفه آن را Toggle کنیم:



همچنین در قسمت NVIC Setting وقفه مربوطه را نیز فعال می‌کنیم:



تنظیمات Clock Configuration را هم به نحوی تنظیم می‌کنیم که کلاک ورودی تایمر 8MHz باشد:



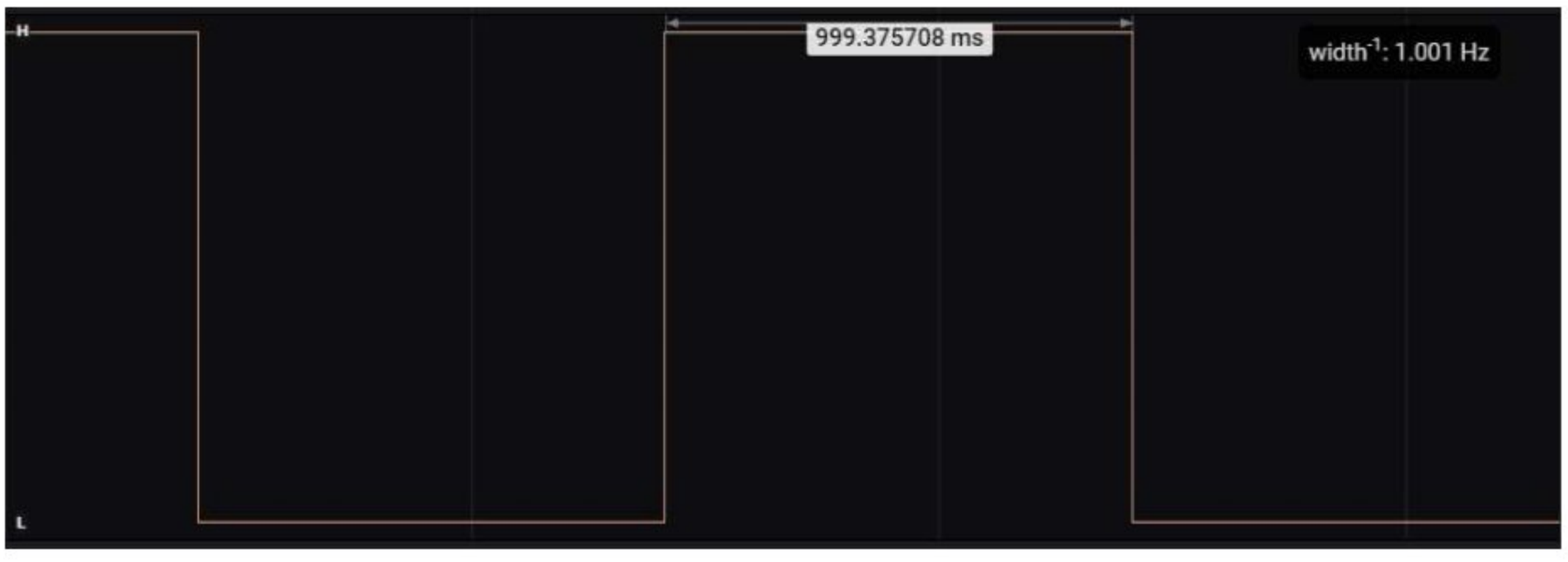
پس از انجام تنظیمات بالا به نرم‌افزار CubeIDE می‌رویم تا کد این برنامه را بنویسیم. تابع callBack مناسب را در فایل main.c کپی می‌کنیم:

```
/* USER CODE BEGIN 4 */
void HAL_TIM_PeriodElapsedCallback(TIM_HandleTypeDef *htim)
{
  /* Prevent unused argument(s) compilation warning */
  UNUSED(htim);

  /* NOTE : This function should not be modified, when the callback is
needed,
            the HAL_TIM_PeriodElapsedCallback could be implemented in
the user file
   */
}
/* USER CODE END 4 */
```

فراموش نشود که ابتدا باید تایمر شروع به شمارش کند یعنی:

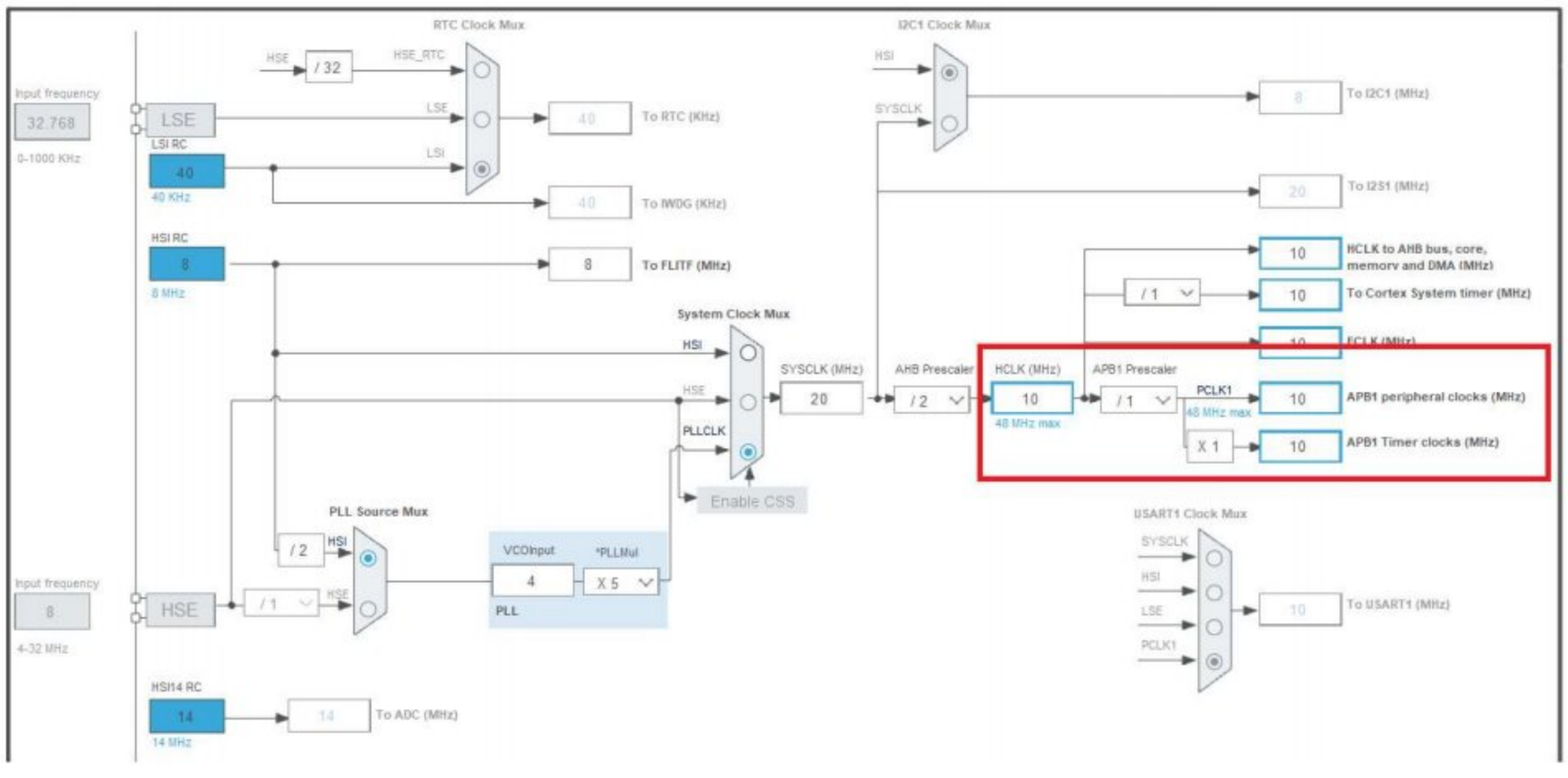
```
/* USER CODE BEGIN 2 */

HAL_TIM_Base_Start_IT(&htim6);

/* USER CODE END 2 */
```

با برابر شدن مقدار رجیستر CNT و ARR این وقفه رخ می‌دهد. **تنها کافی است با هر بار وقوع وقفه وضعیت پایه تغییر کند.** خروجی مطابق شکل زیر می‌شود.

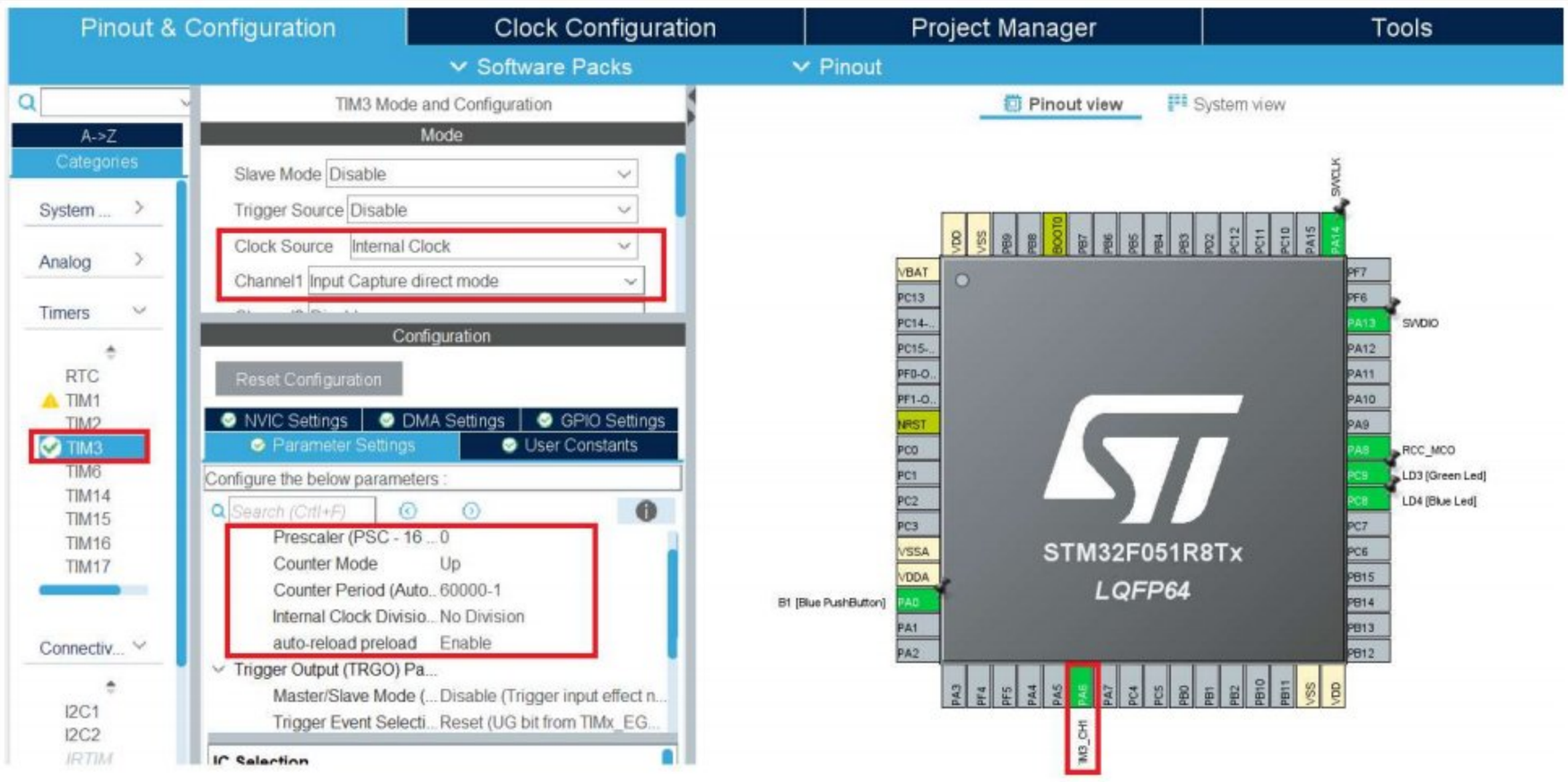


Input Capture -۷-۳-۲

بعد از ایجاد یک پروژه‌ی جدید برای فرکانس‌متر، فرکانس کاری تایمرها را برابر 10MHz تنظیم می‌کنیم:



با فعال‌سازی کانال یک از تایمر سه در مد Input Capture سایر پارامترهای تایمر نیز بدین ترتیب مقداردهی می‌شوند:



وقفه را برای تایمر سه فعال می‌کنیم:

توابع CallBack برای سرریز تایمر و ثبت ورودی را در فایل main.c کپی می‌کنیم:

```
void HAL_TIM_PeriodElapsedCallback(TIM_HandleTypeDef *htim)
{
  UNUSED(htim);
}

void HAL_TIM_IC_CaptureCallback(TIM_HandleTypeDef *htim)
{
  UNUSED(htim);
}
```

با فعال سازی زمان‌سنج:

```
/* USER CODE BEGIN 2 */

HAL_TIM_Base_Start_IT(&htim3);
HAL_TIM_IC_Start_IT(&htim3, TIM_CHANNEL_1);

/* USER CODE END 2 */
```

در صورت وقوع وقفه‌ی سرریز باید یک واحد به مقدار متغیر ovc افزوده شود تا مقدار دقیق فرکانس قابل

محاسبه باشد. در صورت وقوع وقفه Input Captre برای بار اول value_1 و برای بار دوم value_2 ذخیره شده و در نهایت فرکانس محاسبه می‌شود.

```
/* USER CODE BEGIN 4 */
void HAL_TIM_PeriodElapsedCallback(TIM_HandleTypeDef *htim)
{
  /* Prevent unused argument(s) compilation warning */
  UNUSED(htim);

  /* NOTE : This function should not be modified, when the callback is
needed,
            the HAL_TIM_PeriodElapsedCallback could be implemented in
the user file
   */
  ovc_value++;


}
void HAL_TIM_IC_CaptureCallback(TIM_HandleTypeDef *htim)
{
  /* Prevent unused argument(s) compilation warning */
  UNUSED(htim);

  /* NOTE : This function should not be modified, when the callback is
needed,
            the HAL_TIM_IC_CaptureCallback could be implemented in the
user file
   */

  if(!start_flag)
  {
        value_1 = HAL_TIM_ReadCapturedValue(&htim3, TIM_CHANNEL_1);
        ovc_value = 0;
        start_flag = 1;
  }else if(start_flag == 1)
  {
        value_2 = HAL_TIM_ReadCapturedValue(&htim3, TIM_CHANNEL_1);
        freq = (float)10000 / ((value_2 + (ovc_value * 60000)) -
value_1); //KHz
        start_flag = 0;
        }
}

/* USER CODE END 4 */
```

۴-۷- سؤال‌ها و تمرین‌های برنامه‌نویسی

۱- برنامه‌ای بنویسد که یک عدد از کیپد دریافت کند و متناسب با آن عدد موج مربعی با فرکانس دلخواه روی یکی از پایه‌های میکروکنترلر ایجاد کند.

۲- موج مربعی با Duty Cycle و فرکانس دلخواه به یکی از پایه‌های میکرو متصل کنید. حال با کمک Input Capture زمان‌سنج میکرو این پارامترهای را اندازه‌گیری کرده و نمایش دهید.

آزمایش ۸:

کار با واحد زمان‌سنج‌ها و شمارنده‌ها

(Timer/Counter) – بخش دوم

۱-۸- درسنامه

در آزمایش قبل به بررسی زمان‌سنج‌های STM32 پرداختیم و دو مد واحد زمـانی و ثبـت ورودی را مـورد آزمایش قرار دادیم. در این آزمایش نیز دو مد دیگر کـه Output Compare و Pulse Width Modulation هستند، بررسی می‌کنیم.

۱-۱-۸- مد مقایسه خروجی چیست؟

در این حالت، تایمر باید تا حداکثر سطح (تنظیم شده توسط ARR) شمارش کند، موارد زیر رخ می دهد:

- پین خروجی مربوطه را به یک مقدار قابل برنامه ریزی که توسط حالت مقایسـه خروجـی تعریـف شده است، تغییر می دهد.
- یک پرچم در ثبت وضعیت وقفه تنظیم می کند.
- اگر ماسک وقفه مربوطه تنظیم شده باشد، یک وقفه ایجاد می کند.
- اگر بیت فعال‌سازی مربوطه تنظیم شده باشد یک درخواست DMA ارسال می کند.

در این آزمایش ما وضعیت یک پین را Toggle می‌کنیم.

۲-۱-۸- مدولاسیون عرض پالس (PWM)

می‌دانیم که سیگنال‌ها دو نوع هستند، آنالوگ و دیجیتال. سیگنال‌های آنالوگ دارای ولتاژهایی مانند ۱ ولت، ۳ ولت و ... هستند اما سیگنال‌های دیجیتال فقط مقادیر ۰ و ۱ را می‌پذیرند. یعنی ولتاژ آنهـا یـا ۰ و یـا ۱ است. از طرفی خروجی سنسورها سیگنال‌های آنالوگ است و چون میکروکنترلرها فقـط زبـان دیجیتـال را می‌فهمند، پس این سیگنال‌ها ابتدا به کمک مبدل‌های ADC به معادل دیجیتال خود تبدیل شده و بعـد وارد مرحله‌ی پردازش با میکروکنترلر می‌شوند. اما بعد از اینکه پردازش شدند، از آنجایی که قرار است دوباره به

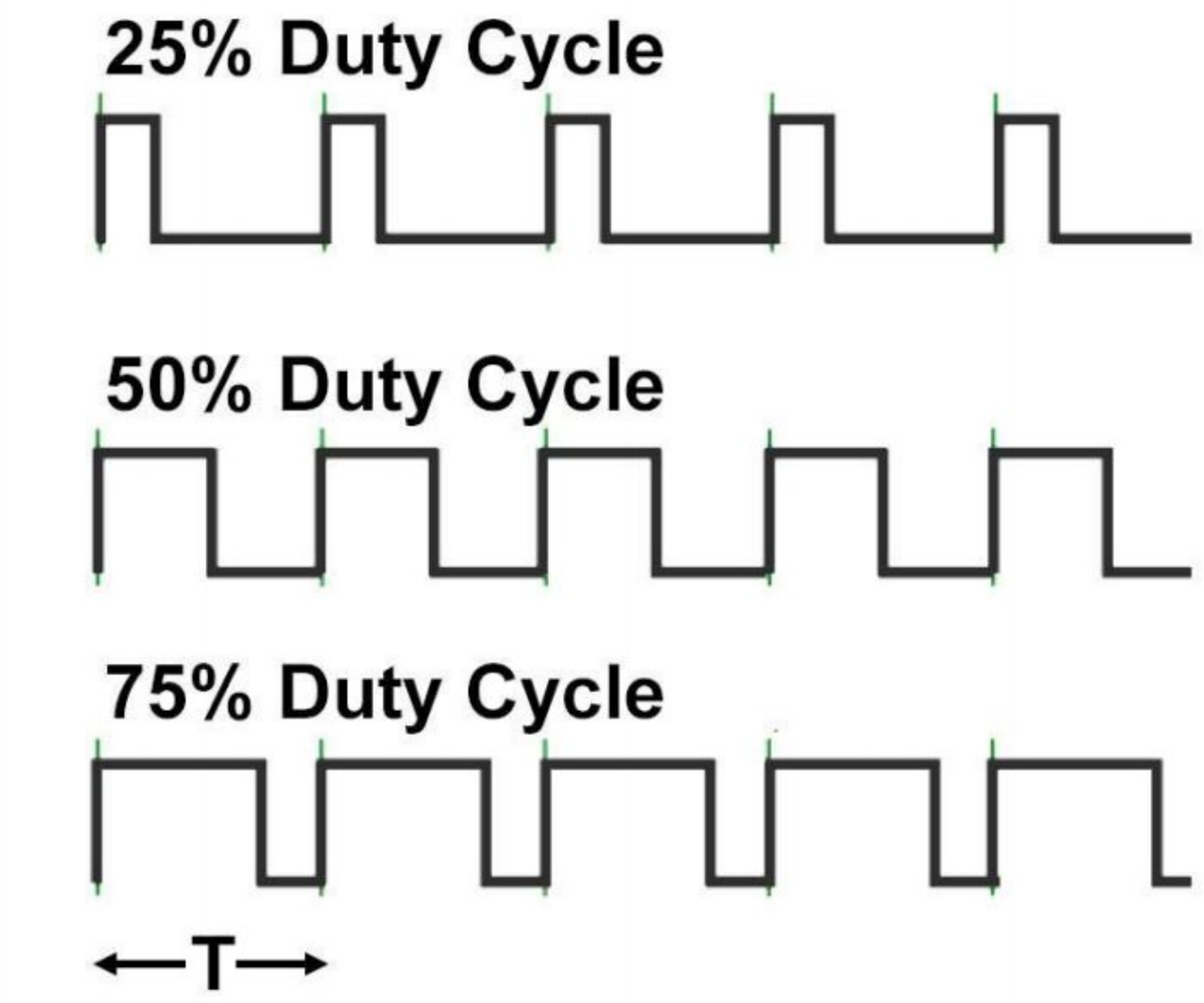
دیوایس‌هایی بروند که آنها نیز با مقادیر آنالوگ کار می‌کنند و کنترل می‌شوند، پس مجددا باید از فرمت دیجیتال به آنالوگ برگردانده شوند. برای این تبدیل از روش‌هایی مانند PWM یا مبدل‌های دیجیتال به آنالوگ (DAC) استفاده می‌کنیم.

PWM روشی برای کنترل دیوایس‌های آنالوگ با استفاده از مقادیر دیجیتال است. مثلا کنترل شدت نور یک LED و یا کنترل سرعت یک فن DC.

این دیوایس‌ها با سیگنال‌های آنالوگ کار می‌کنند اما PWM سیگنال‌های آنالوگ خالص تولید نمی‌کند. در حقیقت پالس‌هایی با عرض بسیار کم تولید می‌کند که در مجموع شبیه به یک سیگنال آنالوگ به نظر می‌رسند. این پالس‌های کوتاه براساس duty cycle ساخته می‌شوند.

Duty cycle در PWM

منظور از duty cycle، نسبت زمانی که در آن سیگنال در وضعیت High قرار دارد، به کل زمان یک سیکل است. با این تعریف، واضح است که اگر یک سیگنال همواره یک باشد، duty cycle آن ۱۰۰ درصد و اگر همواره صفر باشد، duty cycle آن صفر درصد است.



شکل ۸- ۱ مفهوم Duty Cycle در مدولاسیون عرض پالس

۲-۸- آزمایش

۱-۲-۸- مد مقایسه خروجی

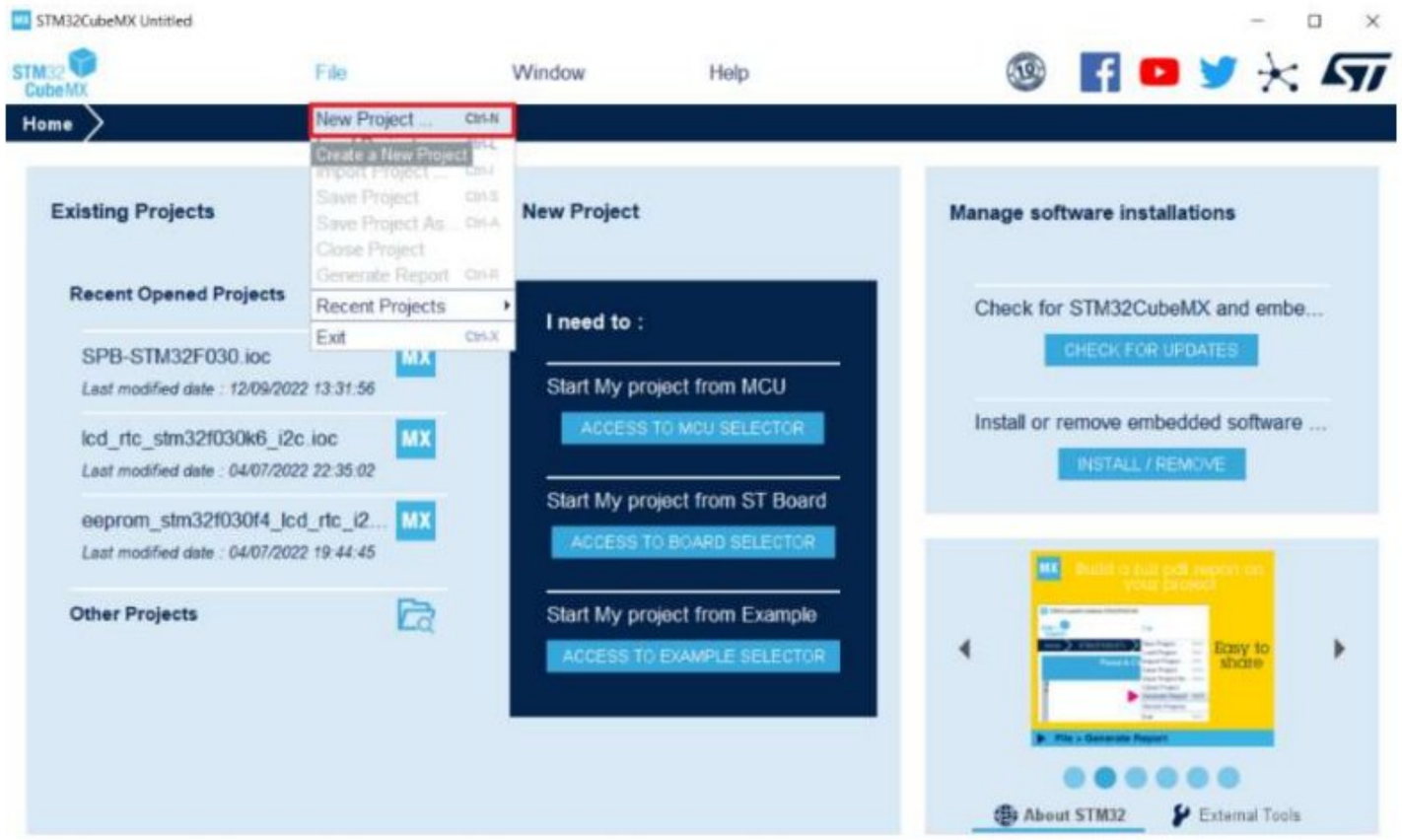
با اتصال یک **Pushbutton** به میکروکنترلر، با هر بار فشردن کلید فرکانس موج مربعی ۱۰ کیلوهرتز افزایش یابد (تا رسیدن به فرکانس ۱۰۰ کیلوهرتز) با رسیدن به حداکثر فرکانس و فشردن کلید این بار فرکانس با پله‌های ۱۰ کیلوهرتز کاهش باید تا سر انجام به فرکانس ۱۰ کیلوهرتز برسد. به کمک زمان‌سنج میکروکنترلر در مد مقایسه خروجی موج مربعی در بازه‌ی فرکانسی (10KHz تا 100KHz) ایجاد کنید.

۲-۲-۸- مدولاسیون عرض پالس

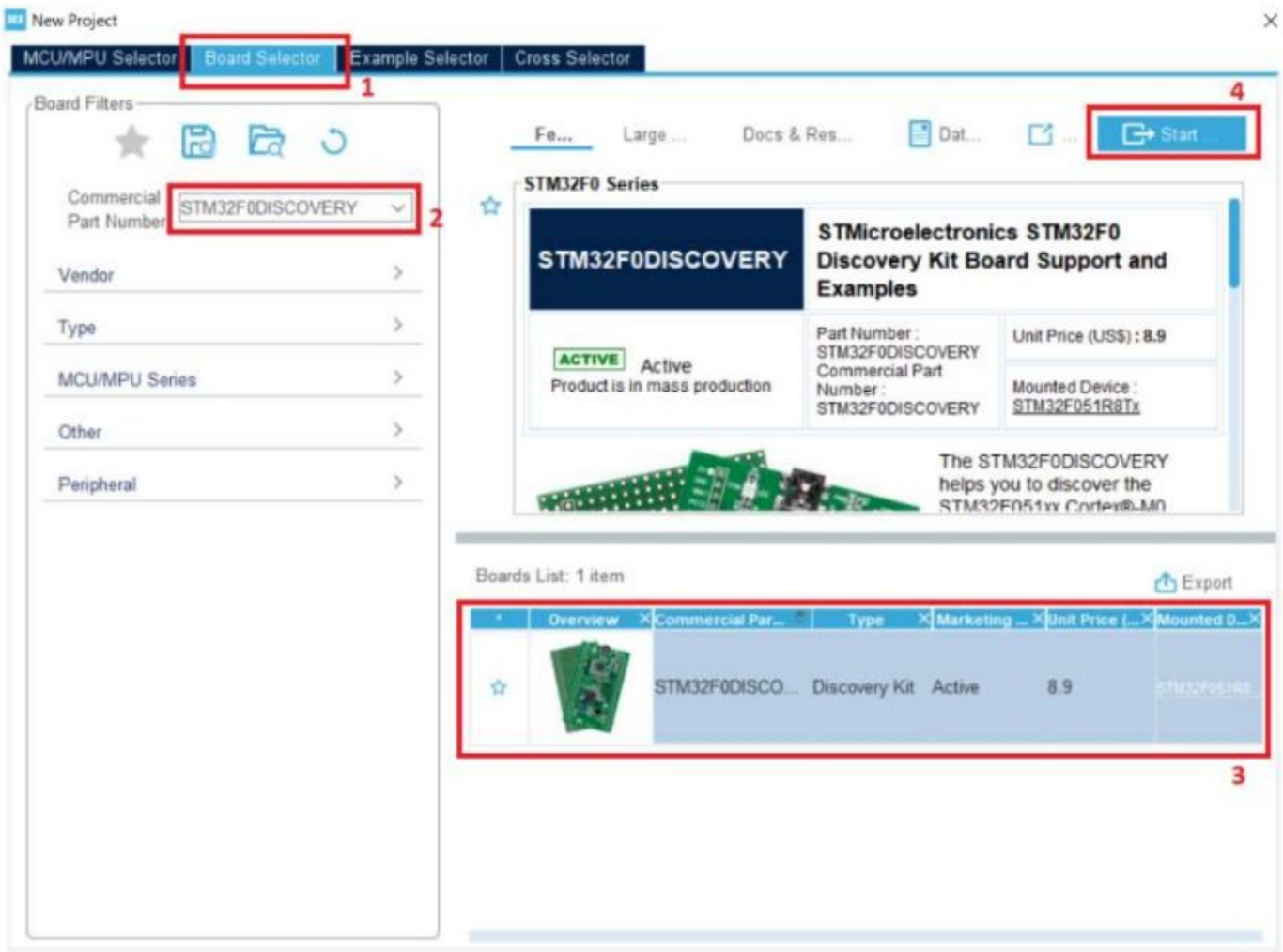
به کمک مدولاسیون عرض پالس و تغییر **Duty Cycle** ، یک دیود نوری را به نحوی راه‌اندازی کنید که نور آن رفته رفته افزایش یافته و بارسیدن به مقدار حداکثر ۹۰٪ دوباره نور آن کاهش یابد تا به سطح ۱۰٪ برسد و این چرخه ادامه یابد.

۳-۸- تنظیمات نرم‌افزاری و کدنویسی

برای تنظیمات اولیه ابتدا یک پروژه جدید برای هر کدام از آزمایش‌ها ایجاد می‌کنیم:

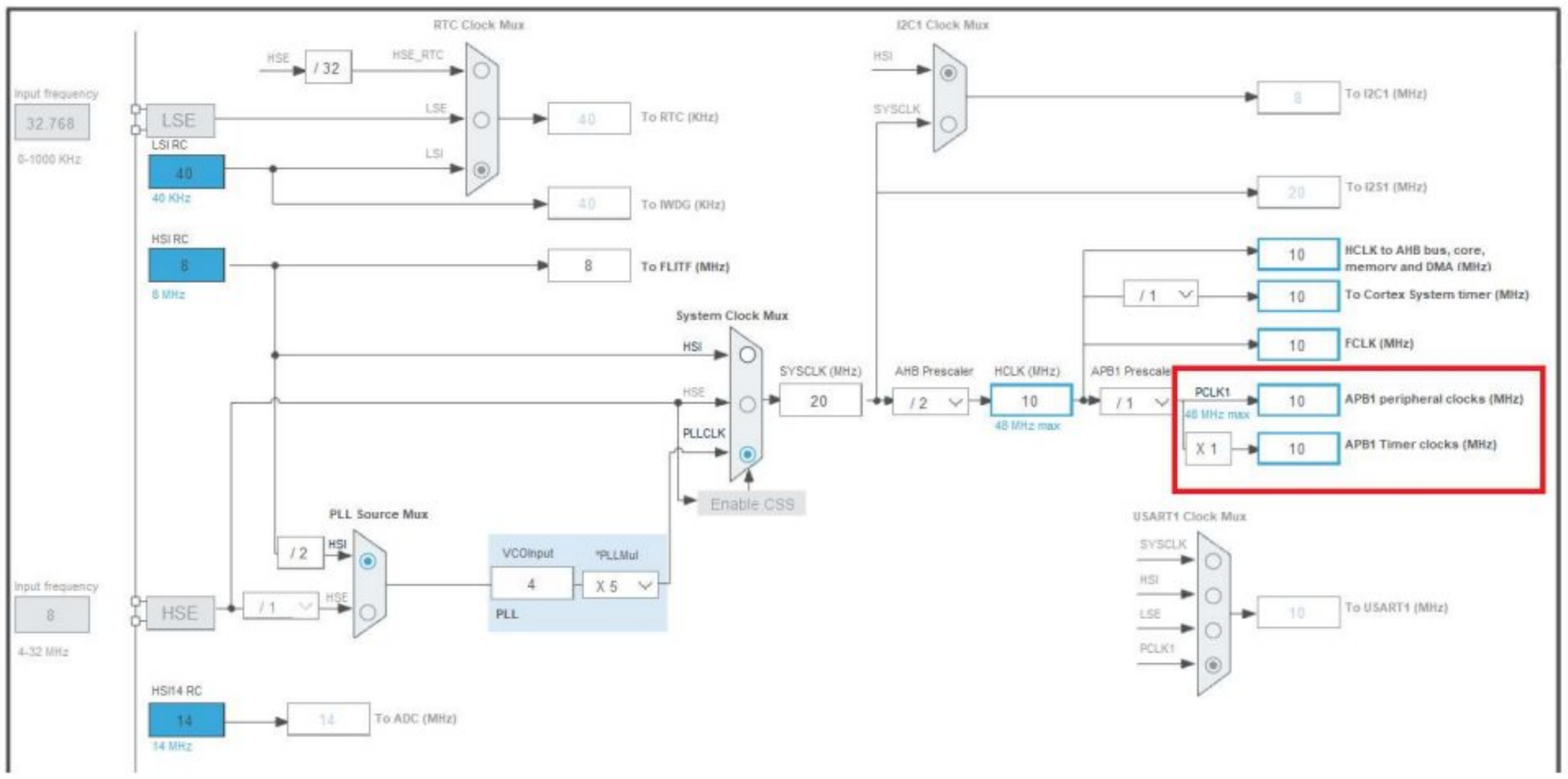


برد یا میکروکنترلر مورد نظر را انتخاب می‌کنیم:

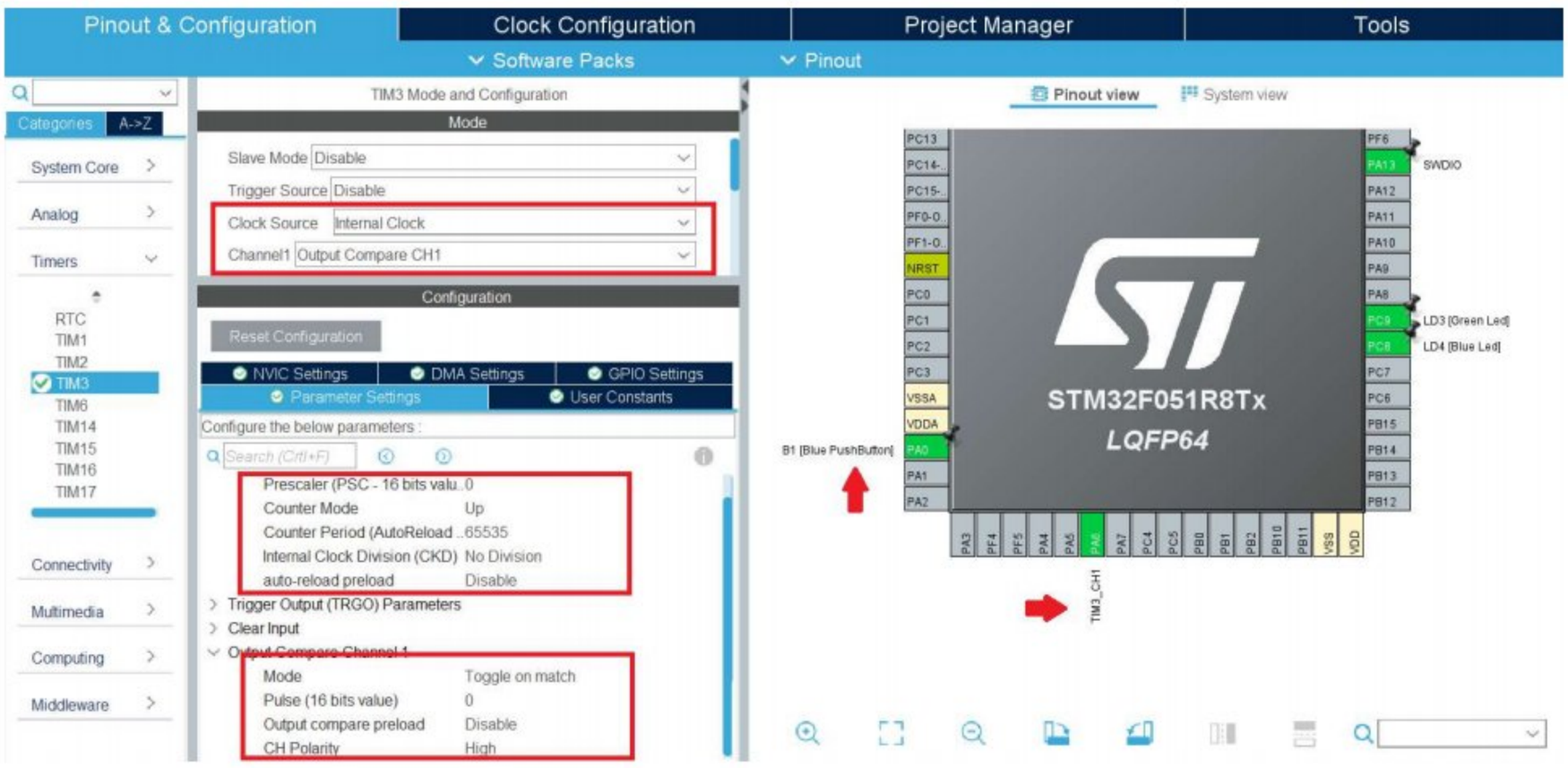


۱-۳-۸- آزمایش زمان سنج در مد مقایسه خروجی

ابتدا فرکانس کاری زمان‌سنج را روی 10MHz تنظیم می‌کنیم:



تنظیمات زمان سنج مطابق شکل زیر است:

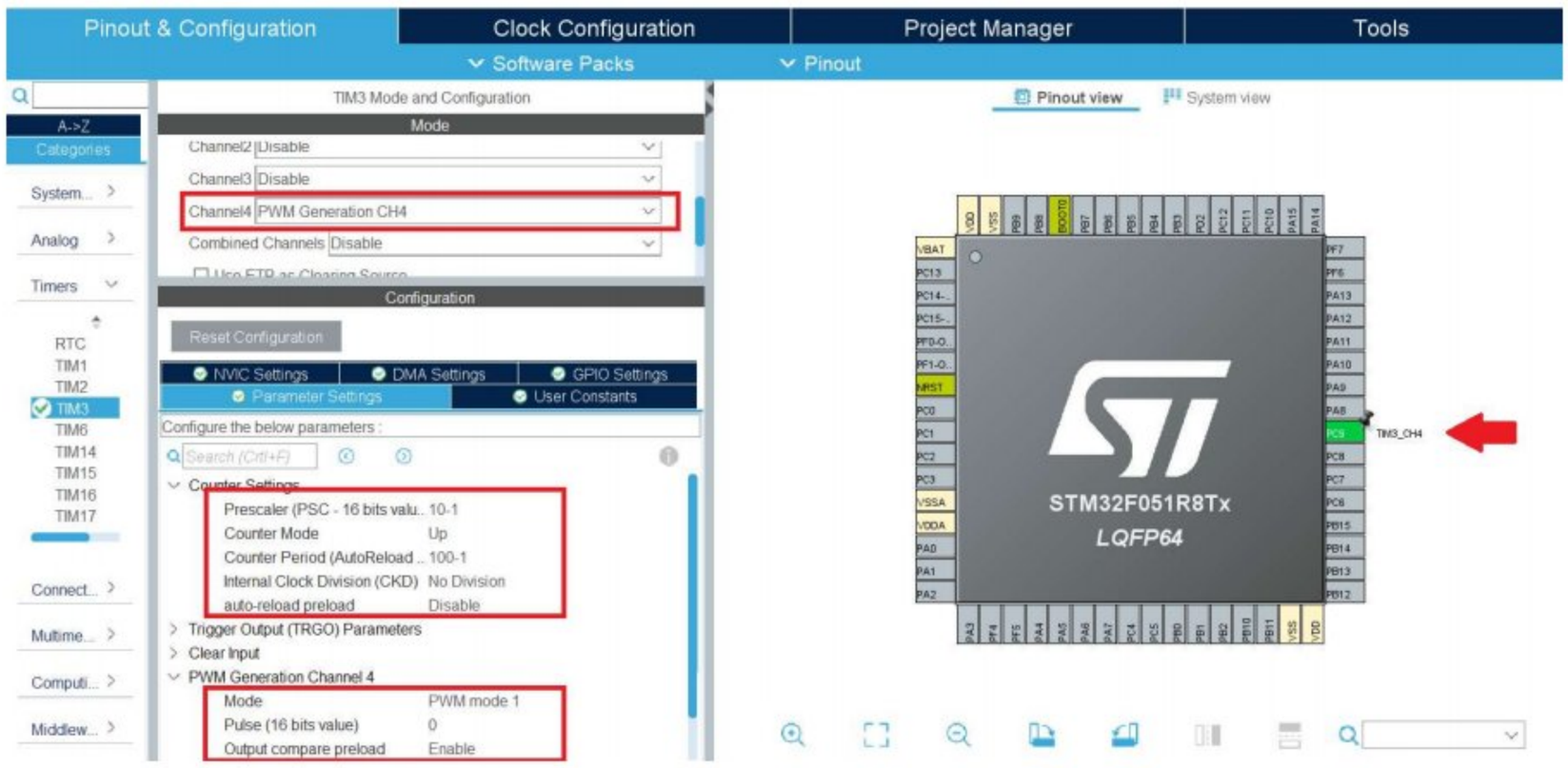


کد:

```
/* USER CODE BEGIN PV */
uint16_t freq_lut[10] = {500,250,167,125,100,83,71,62,55,50};
uint8_t up_down_flag = 1; //increase frequency
uint8_t counter = 0;
/* USER CODE END PV */

  /* USER CODE BEGIN WHILE */

  while (1)
  {
      if(HAL_GPIO_ReadPin(GPIOA, GPIO_PIN_0))
      {
          HAL_Delay(20);
          while(HAL_GPIO_ReadPin(GPIOA, GPIO_PIN_0));
          HAL_TIM_OC_Stop(&htim3, TIM_CHANNEL_1);
          if(counter>=9)
          {
              up_down_flag = 0;
          }else if(counter<=0)
          {
              up_down_flag = 1;
          }

          counter  = up_down_flag ? (counter+1) : (counter-1);
          __HAL_TIM_SET_AUTORELOAD(&htim3,freq_lut[counter]-1);
          HAL_TIM_OC_Start(&htim3, TIM_CHANNEL_1);

      }
  /* USER CODE END WHILE */

  /* USER CODE BEGIN 3 */
}
/* USER CODE END 3 */
```

۲-۳-۸- آزمایش زمان‌سنج در مد مدولاسیون عرض پالس

تنظیمات زمان‌سنج:



کد:

```
/* Infinite loop */
/* USER CODE BEGIN WHILE */
uint8_t pwm_base = 6;
uint8_t up_down_flag = 1;
HAL_TIM_PWM_Start(&htim3, TIM_CHANNEL_4);

while (1)
{
	__HAL_TIM_SET_COMPARE(&htim3,TIM_CHANNEL_4,pwm_base);
	if(pwm_base>=90)
	{
		up_down_flag = 0;
	}else if(pwm_base<=5)
	{
		up_down_flag = 1;
	}
	pwm_base  = up_down_flag ? (pwm_base+2) : (pwm_base-6);
	HAL_Delay(50);
  /* USER CODE END WHILE */

  /* USER CODE BEGIN 3 */
}
/* USER CODE END 3 */
```

۴-۸- پرسش‌ها و تمرین‌های برنامه نویسی

۱- با سخت‌افزار مناسب و به کمک PWM زمان‌سنج‌ها برنامه‌ای بنویسید که بتوان دور موتور یک موتور DC را کنترل نمود.

۲- به کمک مد مقایسه خروجی سه موج مربعی با اختلاف فاز ٤٥، ۹۰ و ۱۸۰ درجه نسبت به موج مربعی مرجع بسازید.

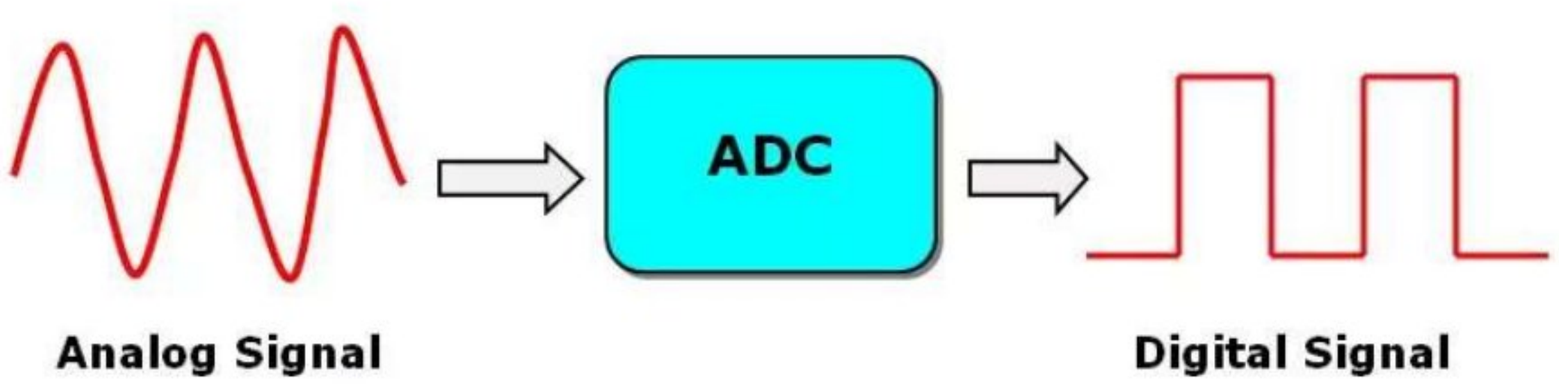
آزمایش ۹:

کار با واحد مبدل آنالوگ به دیجیتال (ADC)

۱-۹- درسنامه

دنیایی که در آن زندگی می‌کنیم از انواع کمیت های آنالوگ تشکیل شده است .برای اندازه گیری این کمیت ها با استفاده از میکروکنترلر ها بایستی ابتدا این کیمیت هارا به منطق دیجیتال (اعداد باینری) تبدیل کنیم. در اکثر میکروکنترلر ها بخشی تحت عنوان مبدل آنالوگ به دیجیتال (ADC) وجود دارد. که امکان اندازه گیری کیمیت های آنالوگ را در اختیار ما قرار می‌دهد.

کلمه ADC مخفف Analog to Digital Converter به معنای مبدل آنالوگ به دیجیتال است. در واقع ADC مقادیر فیزیکی یک پدیده در دنیای واقعی را به یک زبان دیجیتالی تبدیل می‌کند که در سیستم های کنترل، محاسبات داده، انتقال داده و پردازش اطلاعات استفاده می‌شود. معمولا از ADC برای تبدیل مقادیری مثلا ولتاژ و جریان به سیگنال دیجیتال استفاده می‌شود. در میکرو کنترلرهای STM32 بسته به نوع میکروکنترلر مورد استفاده، چند کانال مبدل آنالوگ به دیجیتال ۱۲ یا ۱۶ بیتی در اختیار شما قرار دارد.



شکل ۹- ۱ تبدیل سیگنال آنالوگ به دیجیتال توسط ADC

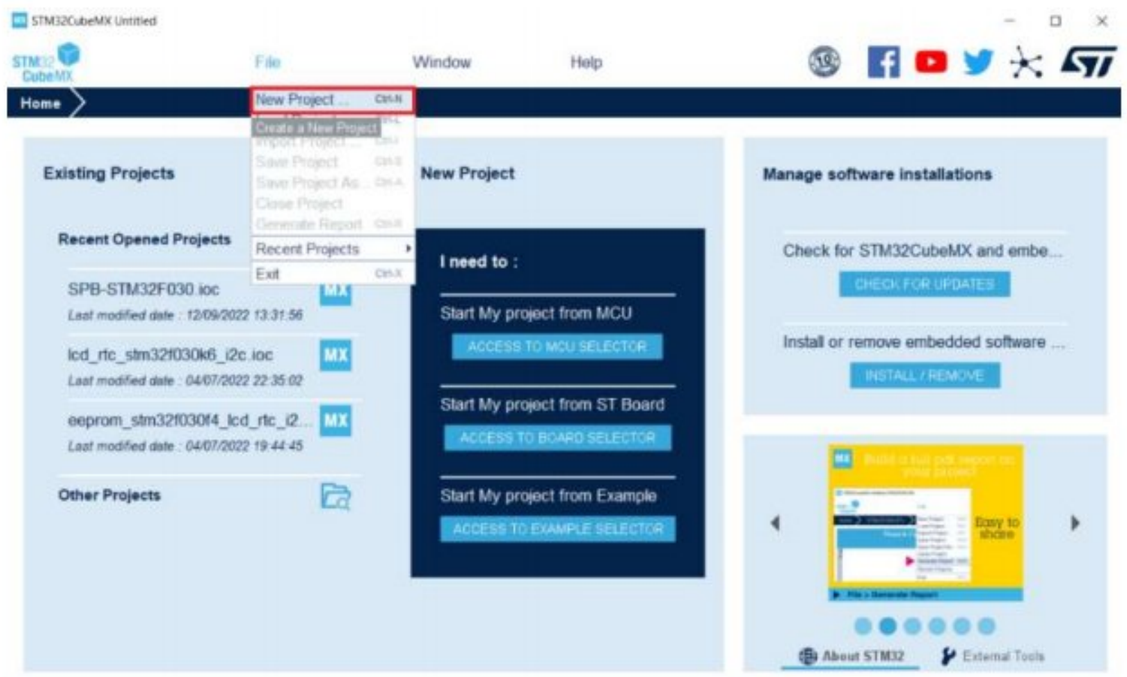
مبدل آنالوگ به دیجیتال تعبیه شده در میکروکنترلرهای STM32 از روش SAR یا تقریب متوالی استفاده می کند، که توسط آن تبدیل در چند مرحله انجام می شود. تعداد مراحل تبدیل برابر با تعداد بیت های مبدل ADC است. هر مرحله توسط کلاک ADC هدایت می‌شود. طراحی داخلی ADC بر اساس تکنیک خازن تغییر یافته است. ولتاژ مرجع در برخی پکیج های میکروکنترلر STM32 به پایه VDDA متصل است.

۹-۲- آزمایش

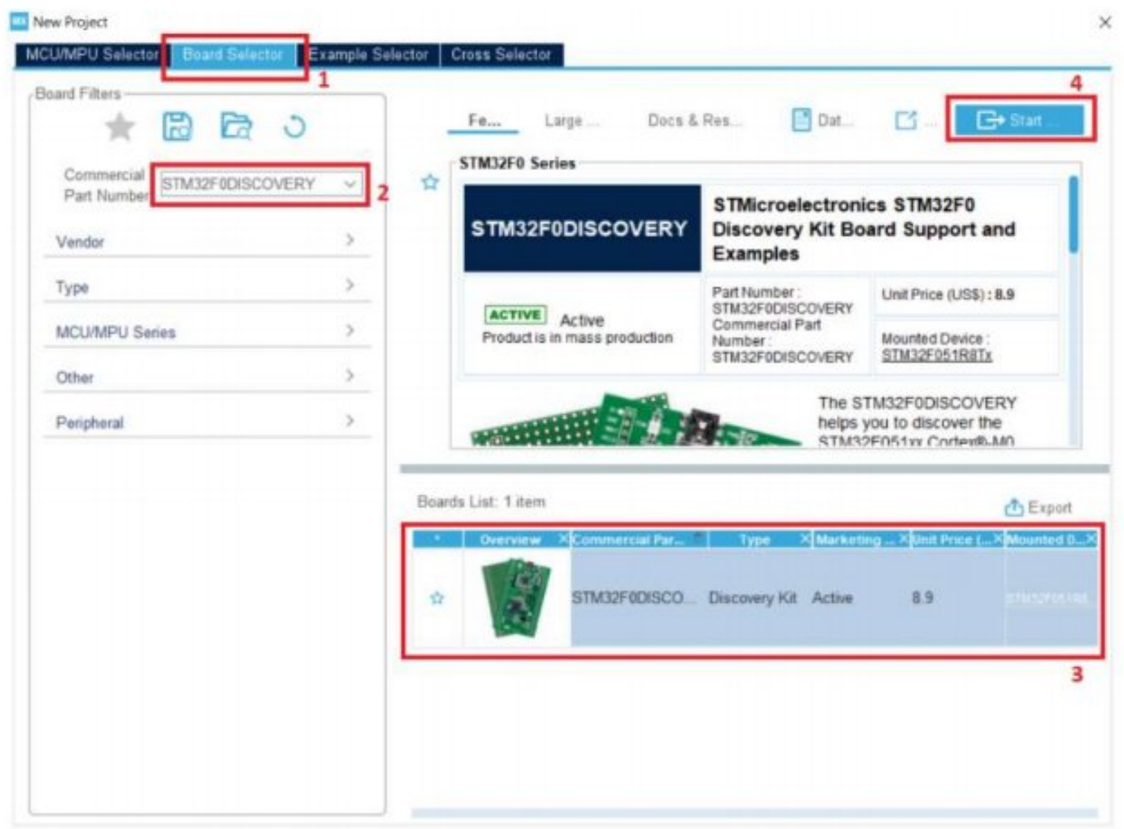
در این آزمایش قصد داریم تا مقدار ولتاژ ورودی داده شده به پایه ADC میکروکنترلر STM32 را اندازه‌گیری نموده و در نرم‌افزار STM STUDIO مقدار آن را مشاهده کنیم. برای این کار بایستی یک پتانسیومتر در ورودی ADC میکروکنترلر قرار دهیم تا تغیرات ولتاژ ورودی را اندازه گیری کنیم.

۹-۳- تنظیمات نرم‌افزاری و برنامه نویسی

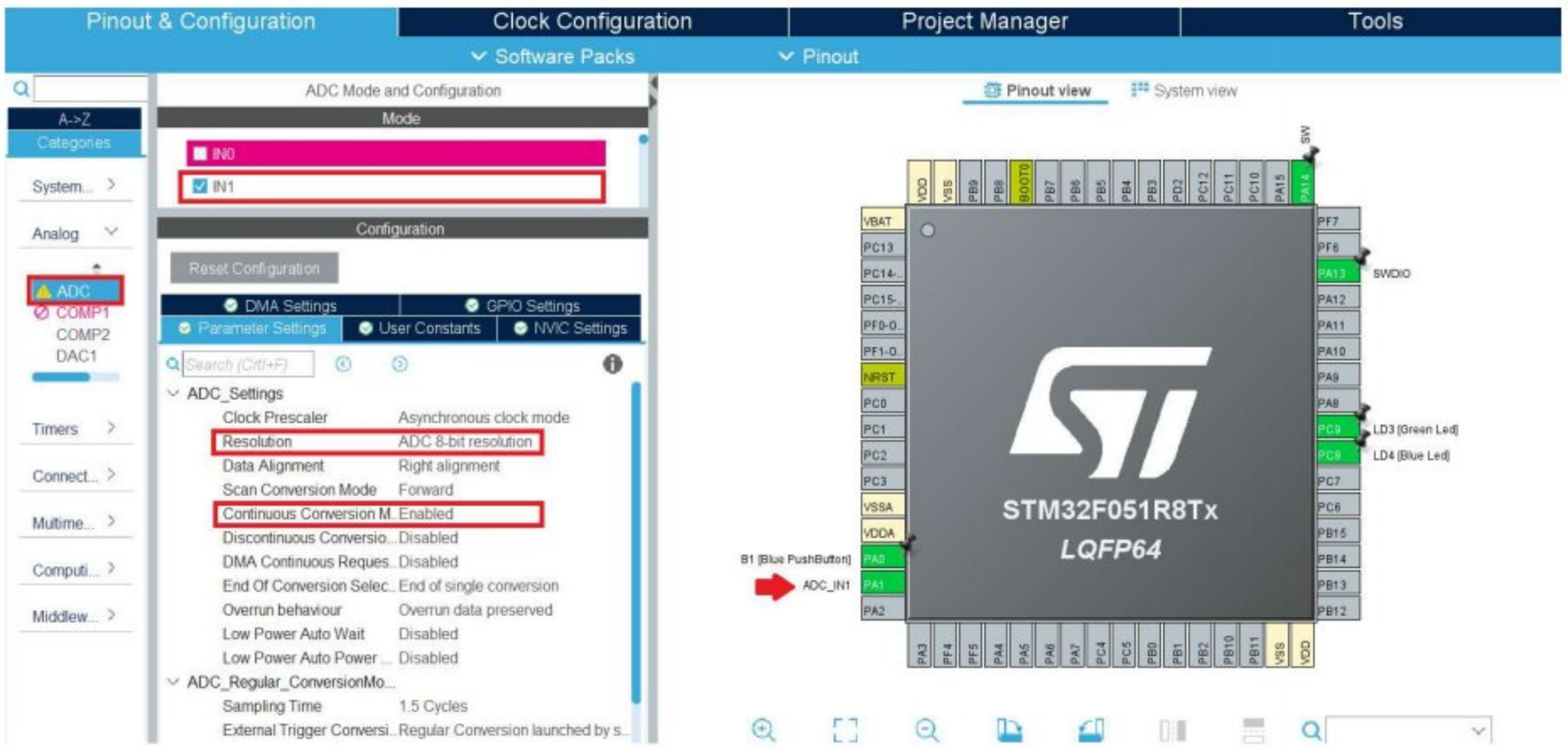
برای تنظیمات اولیه ابتدا یک پروژه جدید ایجاد می‌کنیم:



برد یا میکروکنترلر مورد نظر را انتخاب می‌کنیم:



سپس در بخش Parameter Setting ابتدا بایستی مد کاری ADC را انتخاب کنید. در قدم بعدی بایستی برای این که ADC به طور پیوسته کار کند، گزینه Continuous Conversion Mode را فعال کنید. پس از آن مقدار Resolution را برابر هشت بیت قرار دهید.



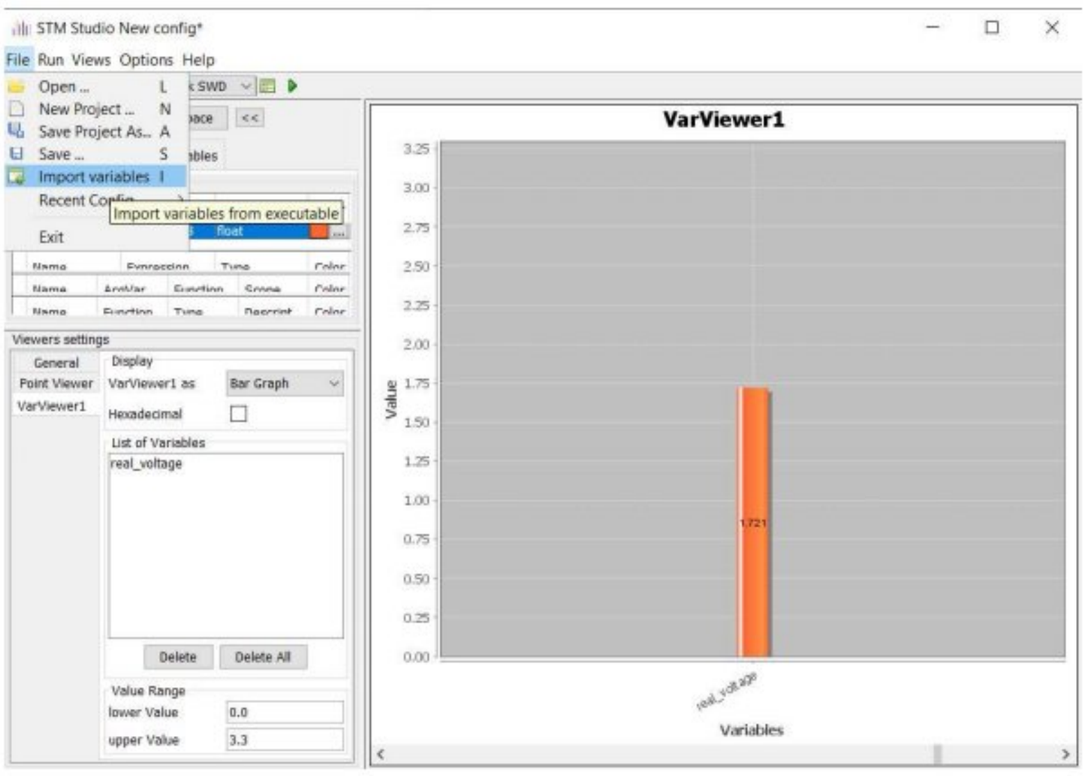
متغیرهای عمومی این‌گونه تعریف می‌شوند:

```
/* USER CODE BEGIN PV */
uint32_t adc_value;
float volatile real_voltage;
/* USER CODE END PV */
```

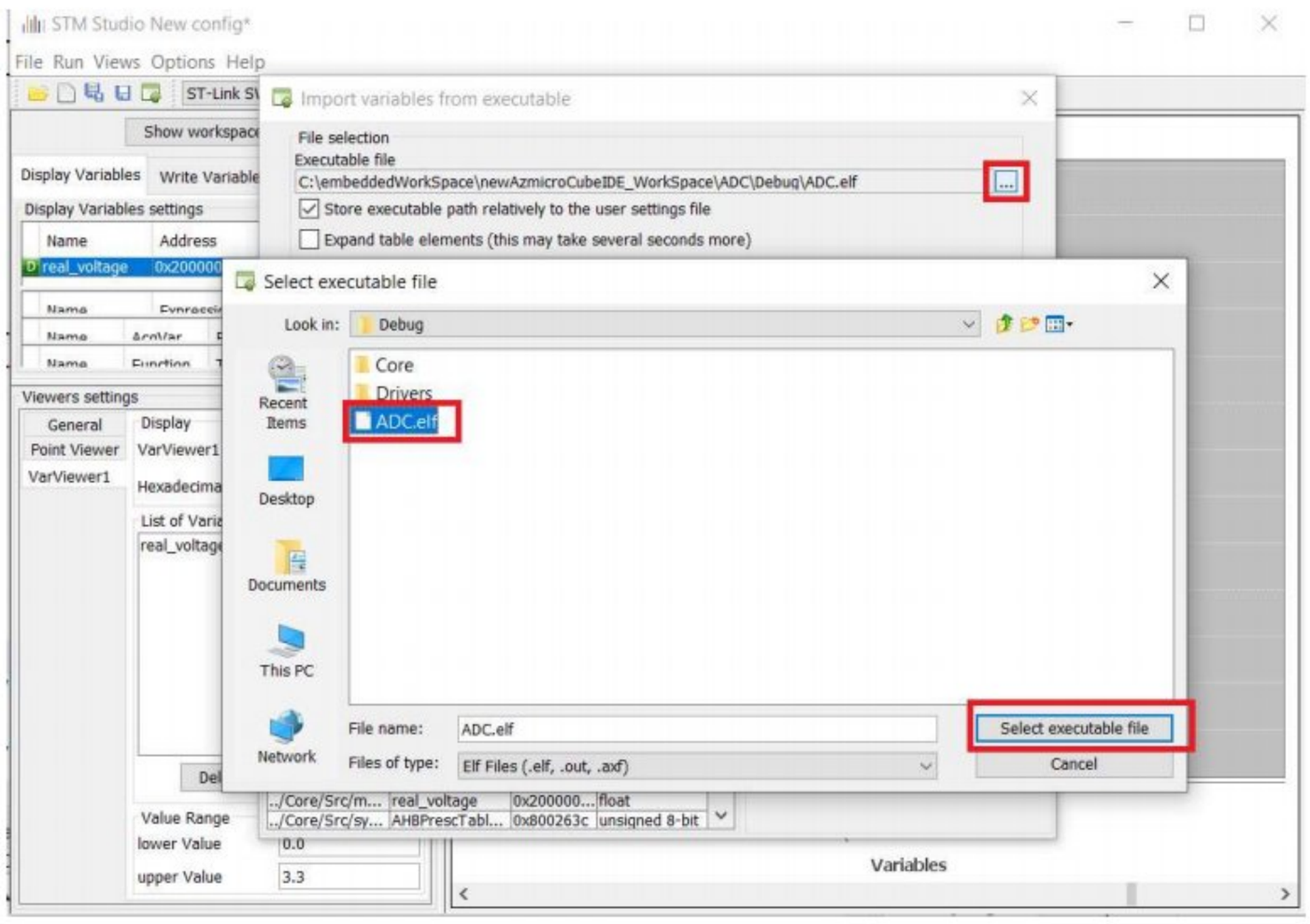
کد داخل حلقه‌ی بی‌نهایت برای خواندن ولتاژ پتانسیومتر:

```
  /* Infinite loop */
  /* USER CODE BEGIN WHILE */
  HAL_ADC_Start(&hadc);
  while (1)
  {
        if (HAL_ADC_PollForConversion(&hadc, HAL_MAX_DELAY) != HAL_OK)
        {
          Error_Handler();
        }else
        {
              adc_value = HAL_ADC_GetValue(&hadc);
              real_voltage = (float)adc_value/255*3.3;
        }
    /* USER CODE END WHILE */
    /* USER CODE BEGIN 3 */
}
/* USER CODE END 3 */
```

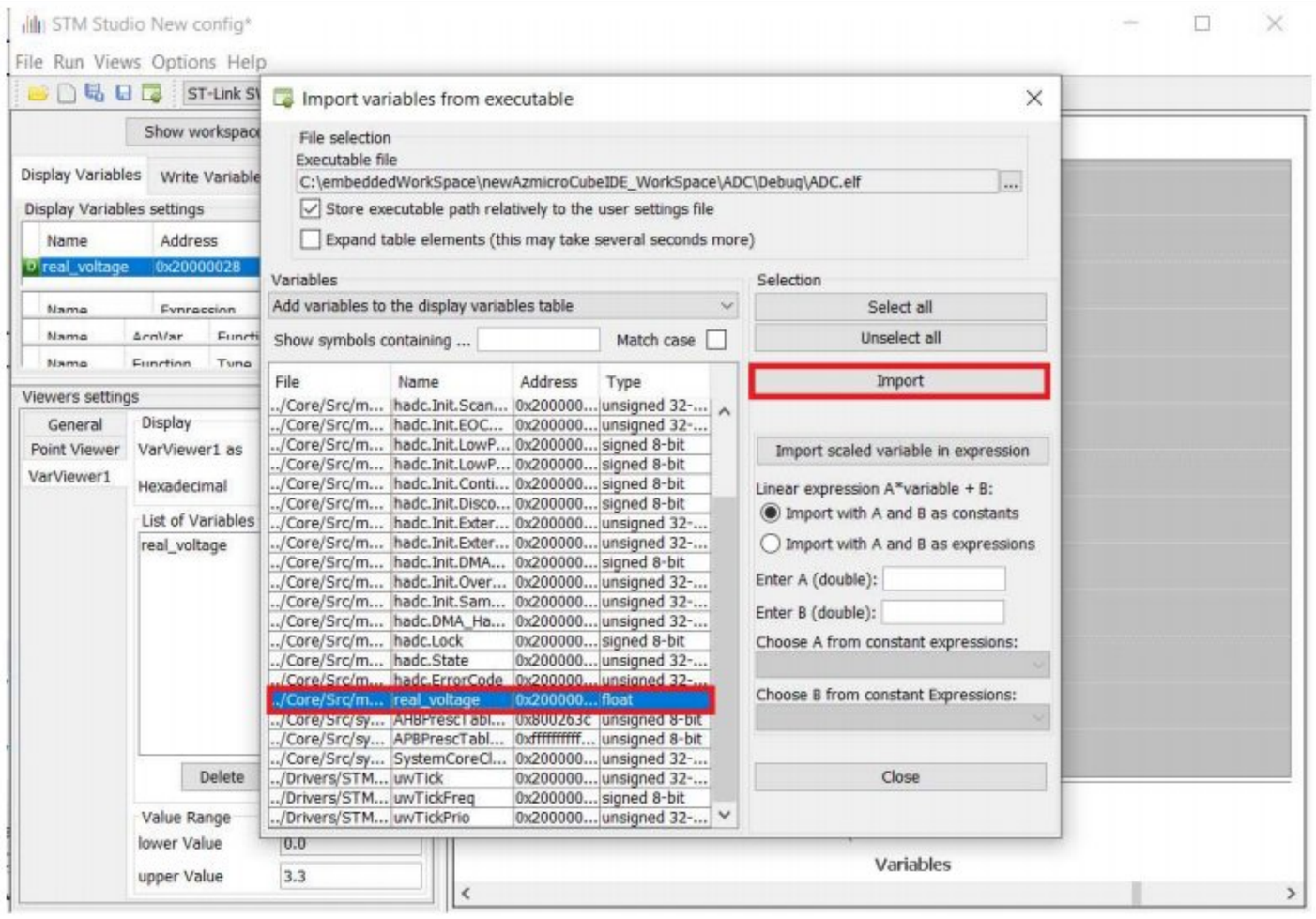
با تعریف متغیر بـه **صـورت عمـومی** می‌تـوان مقـدار آن را در حـین اجـرای برنامـه، در نرم‌افـزار STM-STUDIO مشاهده نمود. به این منظور ابتدا از قسمت File گزینه‌ی Import Variables را انتخاب می‌کنیم.



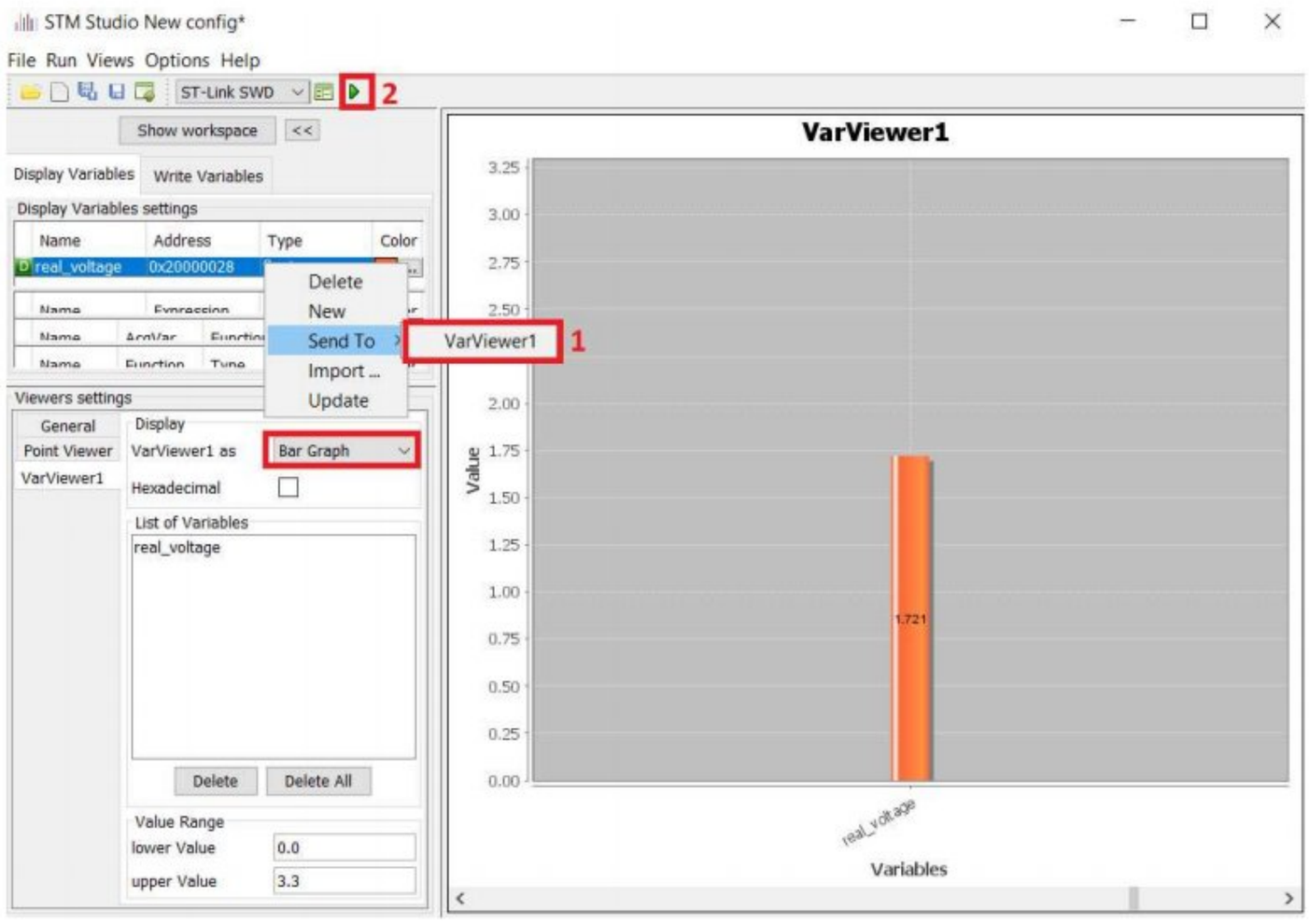
در نهایت فایل elf. را از دایرکتوری پروژه انتخاب نموده و متغیر مورد نظر را اضافه می‌کنیم.



متغیر مورد نظر را import می‌نماییم.



حال با کلیک روی متغیر و انتخاب varView1 و سپس کلیک بر Run (فلش سبز رنگ) مقدار متغیر مشاهده می‌شود.



۴-۹- پرسش‌ها و تمرین‌های برنامه نویسی

۱- سخت‌افزار مناسبی طراحی کنید که به کمک واحد ADC میکروکنترلر و برنامه نویسی آن، بتوان مقدار یک خازن را خواند.

۲- با مراجعه به Reference Manual میکروکنترلر STM32F051R8 متوجه می‌شویم که یک سنسور برای اندازه‌گیری دمای سطح تراشه در این میکروکنترلر تعبیه شده است. به کمک این سنسور و واحد ADC دمای سطح تراشه را اندازه‌گیری کنید.

آزمایش ۱۰:

پروتکل ارتباطی SPI

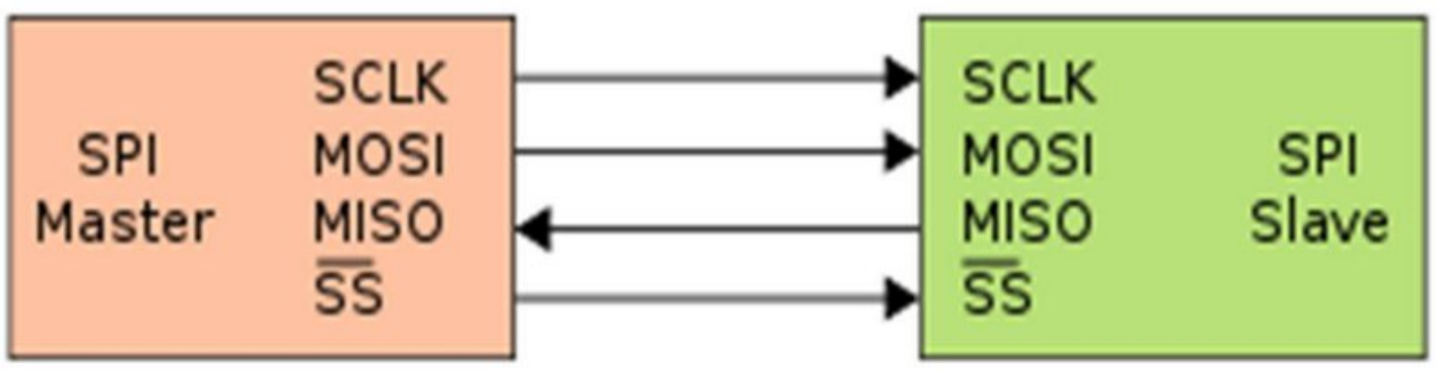
۱-۱۰- درسنامه

ارتباط قطعات الکترونیکی دقیقا مانند ارتباط بین انسان هاست. هردو طرف باید به یک زبان صحبت کنند. در الکترونیک به این زبان ها پروتکل ارتباطی می گویند.

عبارت SPI کوتاه‌شده‌یSerial Peripheral Interface به معنای واسط ارتباط سریال است.

از پروتکل SPI برای برقرار ارتباط بین سنسورها، ماژول‌ها و میکروکنترلرهای مختلف استفاده می‌شود.

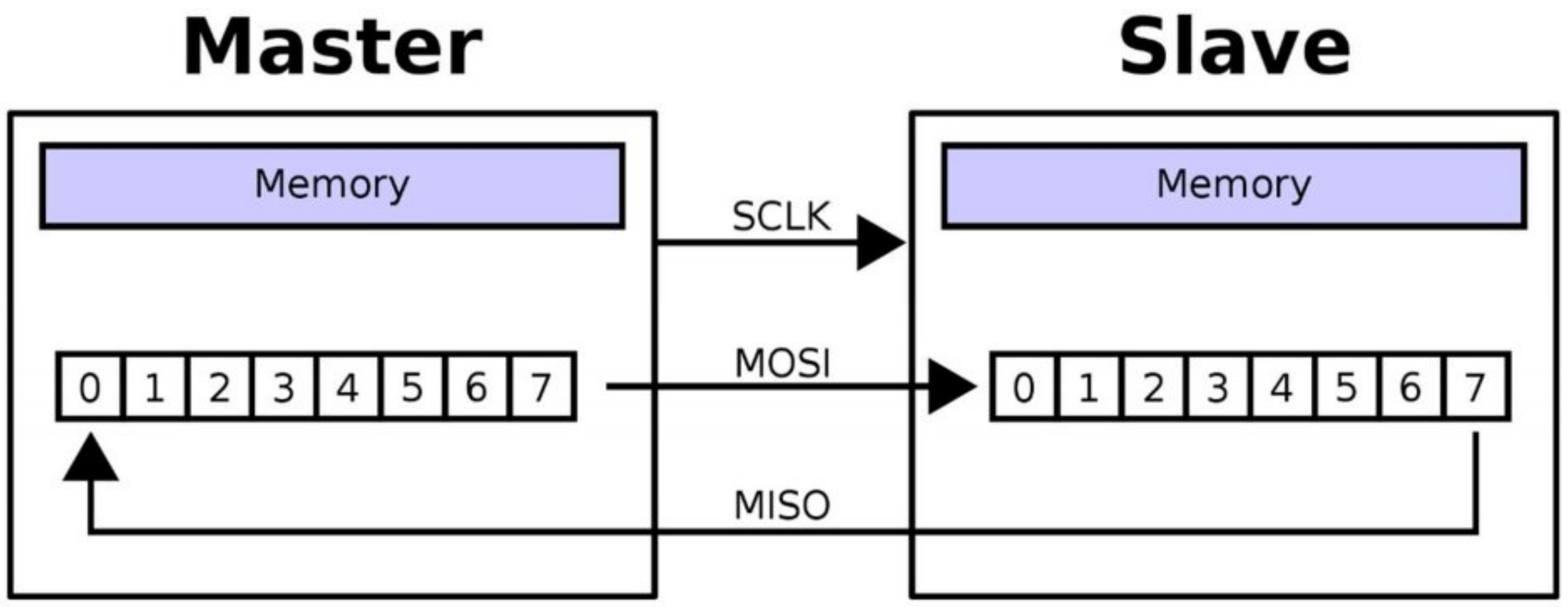
قطعاتی که از SPI پشتیبانی می کنند تنها از ٤ پایه برای انتقال اطلاعات استفاده می نمایند. یکی با نام MOSI و دیگری با نام MISO که علاوه بر این دو پایه در SPI دو پایه دیگر نیز در انتقال اطلاعات نقش دارند. یکی از این پایه ها برای همزمان کردن انتقال داده‌ها بین دو طرف استفاده می شود که SCK نام دارد و پایه دیگر که SS نام دارد برای اعلام آغاز و پایان انتقال داده کاربرد دارد.



شکل ۱۰- ۱ شمای پروتکل SPI

۱-۱-۱۰- انتقال داده در پروتکل SPI

پروتکل SPI شامل دو shift register است که یکی در Master و دیگری در Slave قرار دارد. هم چنین یک مولد پالس ساعت در Master قرار دارد که پالس ساعت را برای shift register ها فراهم می کند.



شکل ۱۰– ۲ انتقال داده بین دو شیفت رجیستر در پروتکل SPI

مولد پالس ساعت در Master پالس ساعت را برای هر دو ثبات جابه جایی کـه در Master و Slave قـرار دارند فراهم می کند و بر روی پایه SCK قرار می دهد. رجیسترهای جابجایی در SPI هشت یا شانزده بیت طول دارند. بنابراین بعد از هشت یا شانزده پالس ساعت اطلاعات داخل دو ثبـات جابجـایی بـا هـم دیگـر تعویض می‌شوند.

۲-۱-۱۰- مزایا و معایب پروتکل SPI

با توجه به مزایا و معایب این پروتکل و مقایسه با پروتکل های دیگر می توان انتخاب درست را در پـروژه های خود داشت:

مزایا:

- بیت شروع و پایانی وجود ندارد، لذا داده ها پیوسته منتقل خواهند شد.
- سیستم پیچیده آدرس دادن slave مانند I2C وجود ندارد.
- سرعت بالاتر انتقال اطلاعات نسبت به I2C
- با توجه به دو خط جدا برای MISO و MOSI امکان دریافت و ارسال داده به صـورت هـم زمـان وجود دارد.

معایب:

- استفاده از چهار سیم(در صورتی که I2C و UART از دو سیم استفاده می کنند)
- هیچ علامتی مبنی بر دریافت صحیح داده وجود ندارد(I2C این امکان را دارد)
- هیچ گونه روش تشخیص خطا ندارد مانند پریتی در UART

۳-۱-۱۰- سایر نکات پروتکل SPI

- حداکثر فاصله‌ای که داده می‌تواند تحت پروتکل SPI طی کند حدود ۳ متر است.
- حداکثر سرعت پروتکل SPI برابر است با نصف کلاک سیستم.
- پروتکل SPI به صورت پیش‌فرض دوطرفه (FULL-DUPLEX) است.
- در ارتباط به صورت نیمه دوطرفه (HALF-DUPLEX) پایه‌ی MOSI از MASTER به پایه‌ی MISO از SLAVE متصل می‌شود.
- در ارتباط یک طرفه MASTER یا فقط دریافت می‌کند یا فقط ارسال.

۴-۱-۱۰- پارامترهای مهم پروتکل SPI

پارامترهای تعیین کننده در این پروتکل عبارتند از:

- MODE: MASTER یا SLAVE
- BUS CONFIG: FULL-DUPLEX یا HALF-DUPLEX یا SIMPLEX
- DFF: ۸ بیتی یا ۱۶ بیتی
- CPHA: نمونه برداری در لبه‌ی اول یا دوم کلاک
- CPOL: ولتاژ کلاک در حالت بیکاری (HIGH OR LOW)
- SSM: انتخاب SLAVE به صورت نرم‌افزاری یا سخت افزاری
- CLOCK PRESCALER: تقسیم کننده‌ی کلاک

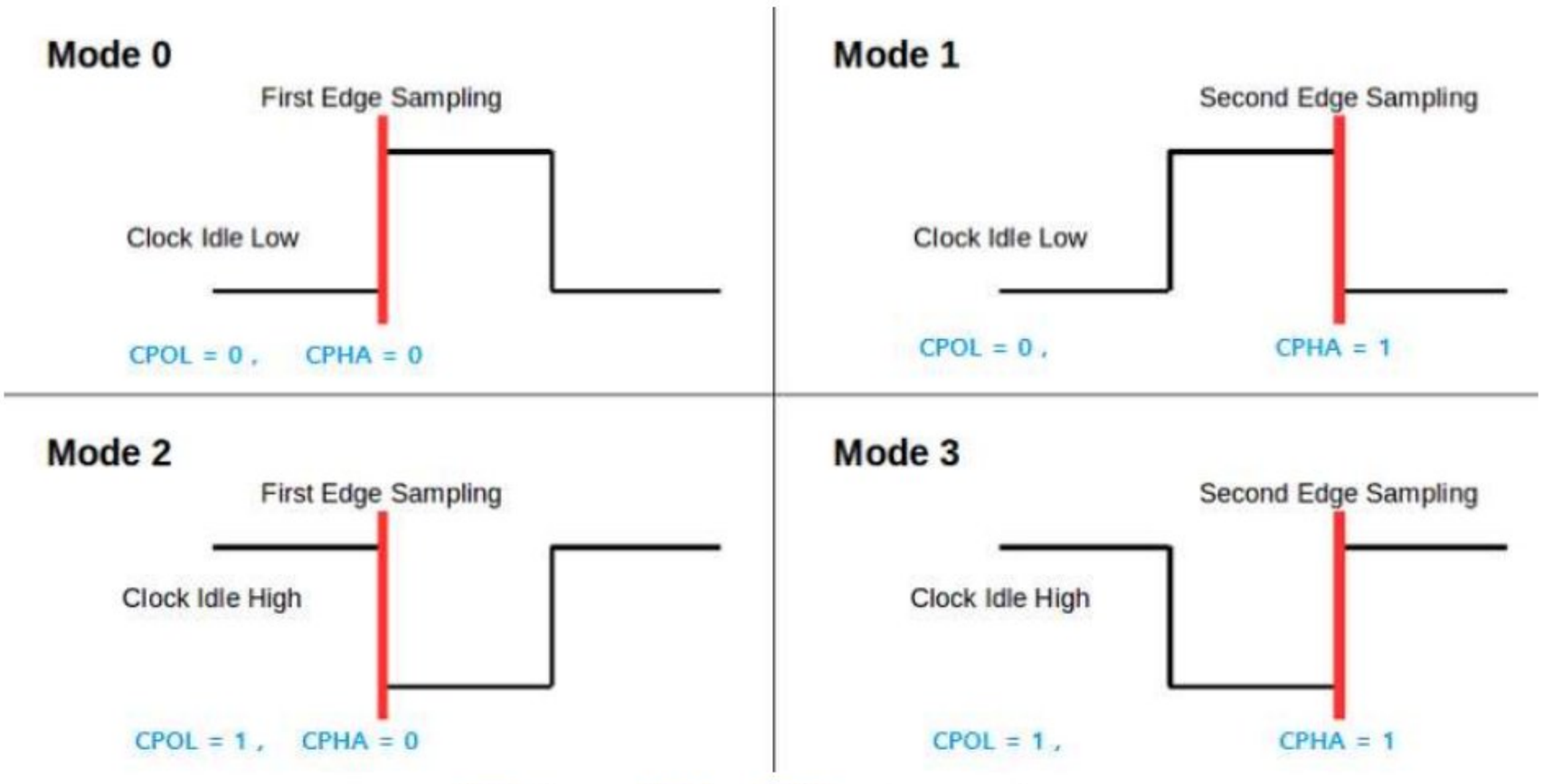
۵-۱-۱۰- مفاهیم CPOL و CPHA در پروتکل SPI

Master علاوه بر تنظیم کردن فرکانس پالس ساعت باید قطبیت (Polarity) کلاک و فاز آن را نیز نسبت به داده‌ها مشخص کند.

در CPOL=0 سطح مبنای اولیه ی کلاک low است.

در CPOL=1 برعکس حالت بالا مقدار پایه‌ای پالس ساعت High است.

زمانی که CPHA=0 است، به این معناست که داده‌ها روی اولین لبه ی پالس ساعت و CPHA=1 بـه ایـن معناست که داده‌ها روی لبه ی دوم پاس ساعت بدون توجه به اینکه پالس ساعت در حال بالا رفتن است یا پایین رفتن، خوانده می‌شوند.



شکل ۱۰- ۳ مفهوم CPOL و CPHA در پروتکل SPI

۲-۱۰- آزمایش

۱-۲-۱۰- برقراری ارتباط بین دو میکروکنترلر با پروتکل SPI

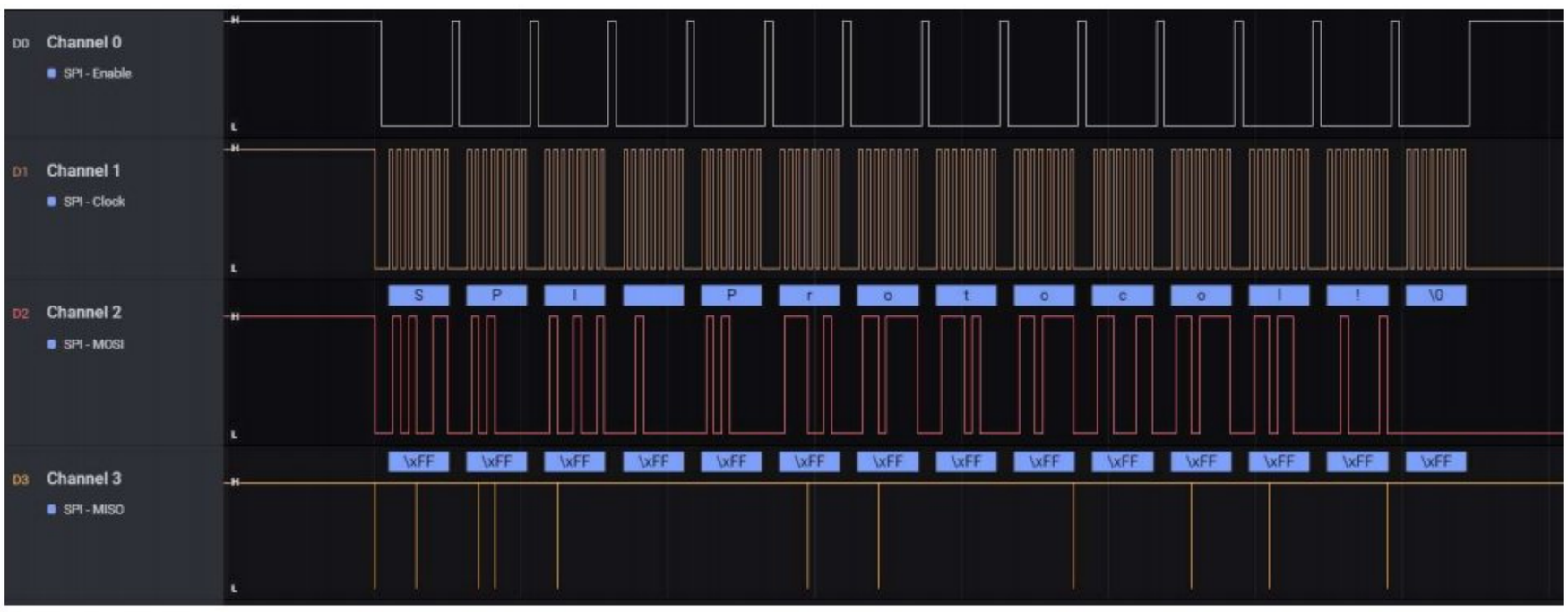
یک میکروکنترلر به عنوان Master و یک میکروکنترلر به عنوان Slave انتخاب کنید. به میکروکنترلر Master صفحه کلید ماتریسی و به Slave یک نمایشگر کاراکتری متصل کنید Master باید کلید وارد شده را بخواند و برای Slave ارسال کند. Slave نیز کلید خوانده شده را روی نمایشگر نشان دهد.

۳-۱۰- تنظیمات نرم‌افزاری و کدنویسی

از تابع زیر می‌توان هم برای دریافت و هم برای ارسال اطلاعات به کمک پروتکل SPI بهره برد:

```
HAL_SPI_TransmitReceive(hspi, pTxData, pRxData, Size, Timeout);
```

خروجی برنامه به شکل زیر است:



۴-۱۰- پرسش‌ها و تمرین‌های برنامه نویسی

۱- با استفاده از نرم‌افزار Proteus دما را از سنسور TC72 به کمک پروتکل SPI بخوانید و روی نمایشگر نشان دهید.

آزمایش ۱۱:

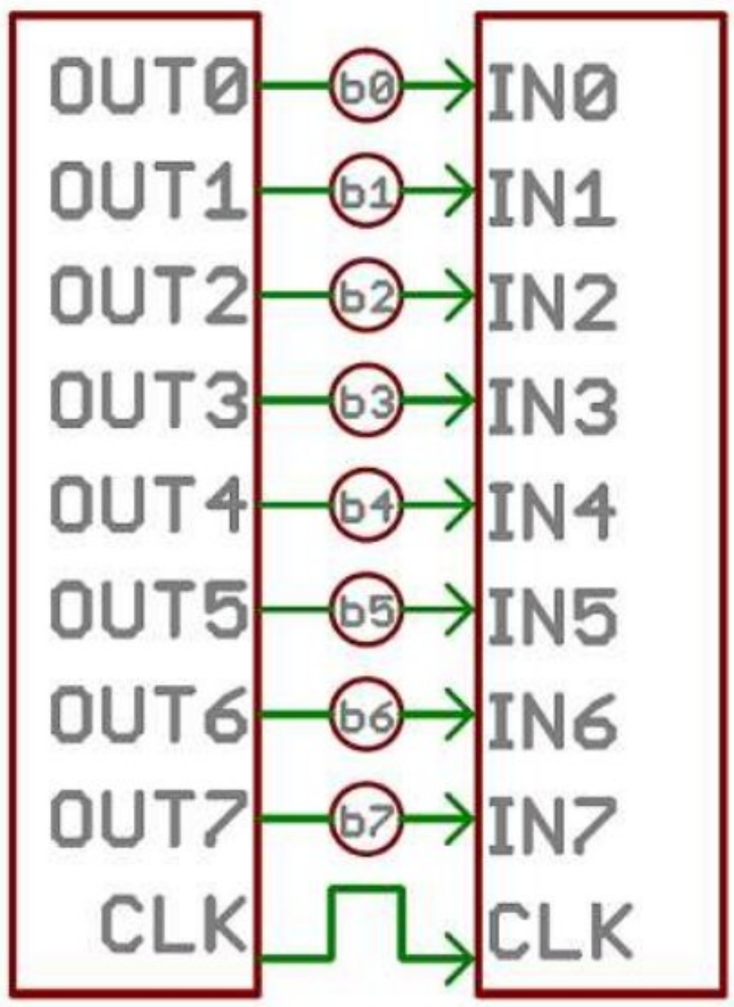
پروتکل ارتباطی UART

۱-۱۱- درسنامه

ارتباط سریال چیست ؟ قبل از شروع به توصیف ارتباط سریال بهتر است بدانیم که؛ که سیستم های نهفته و مدارات الکترونیک دیجیتال پیشرفته (میکروکنترلرها ، پردازنده ها و...) نیازمند ارتباط با یکدیگر هستند. برای اینکه این مدارها اطلاعات خود را مبادله کنند، باید یک پروتکل ارتباطی مشترک داشته باشند .صدها پروتکل ارتباطی برای دستیابی به این تبادل اطلاعات تعریف‌شده‌اند و به طورکلی هرکدام از آن‌ها می‌توانند به دودسته تقسیم شوند: موازی یا سریال.

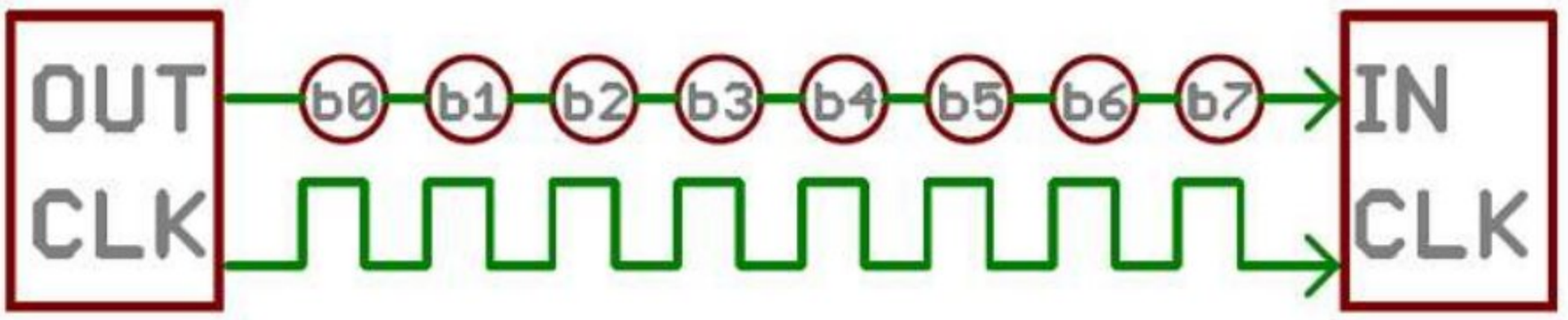
۱-۱-۱۱- تفاوت ارتباط سریال با موازی

در ارتباطات موازی چندین بیت را هم‌زمان انتقال می‌دهند. آن‌ها معمولاً به باس‌هایی (خطوط ارتباطی) بین هشت یا شانزده خط یا خطوط بیشتر، برای انتقال داده نیاز دارند. داده‌ها در سطوح صفر و یک منطقی منتقل می‌شوند.



شکل ۱۱- ۱ باس داده ۸ بیتی که توسط یک کلاک کنترل می‌شود، درهر پالس ساعت یک بایت را انتقال می‌دهد و در آن ۹ سیم استفاده می‌شود.

در ارتباطات سریال در هرلحظه (کلاک) یک بیت از داده‌ها انتقال داده می‌شود. UARTبه معنای Universal Asynchronous Receiver-Transmitter که یک پروتکل ارتباط سریال است و از طریق آن داده ها بین دو میکروکنترلر و یا یک میکروکنترلر و کامپیوتر جا به جا می‌شوند. انتقال داده به صورت سریال و از طریق دو سیم انجام می شود که یکی برای دریافت داده (RX) و دیگری برای ارسال داده (TX) هستند. برای تمایز داده ها از یکدیگر در این پروتکل بیت های start bit و stop bit استفاده می‌شود.



شکل ۱۱– ۲ مثالی از یک ارتباط سریال که نشان می‌دهد برای انتقال یک بیت در هر پالس ساعت فقط ۲ سیم موردنیاز است.

ارتباط موازی قطعاً مزیت‌های خودش را دارد سریع، ساده و قابل‌اجرا است. اما خطوط ورودی/خروجی (I/O) بسیار بیشتری نیاز دارد.

۲-۱-۱۱- ارتباط سریال آسنکرون (غیرهمگام)

در طول زمان، ده‌ها پروتکل ارتباط سریال برای پاسخگویی به نیازهای خاص سامانه‌های نهفته طراحی‌شده‌اند. USB (باس سریال جهانی) و اترنت، دو نمونه از پروتکل‌های ارتباطی سریال محاسباتی معروف هستند. پروتکل‌های ارتباطی سریال دیگری که رایج‌اند عبارت‌اند از SPI و I2C. هر یک از این ارتباطات سریال را می‌توان به یکی از این دو گروه اختصاص داد: آسنکرون یا سنکرون.

در ارتباط آسنکرون، داده‌ها بدون نیاز به سیگنال کلاک خارجی منتقل می‌شوند. این روش انتقال برای کاهش تعداد سیم‌ها و پین‌های I/O موردنیاز مناسب است، اما این یعنی انتقال و دریافت مطمئن‌تر داده‌ها پیچیدگی بیشتری دارد. معمولاً وقتی از ارتباط سریال صحبت می‌کنیم درواقع منظورمان پروتکل سریال آسنکرون است.

۳-۱-۱۱- قوانین ارتباط سریال

پروتکل سریال آسنکرون تعدادی قوانین داخلی دارد(مکانیزم‌هایی که به انتقال داده‌ها با سرعت مطمئنه و بدون خطا کمک می‌کند). ساز و کاری که برای حذف سیگنال کلاک خارجی مورد استفاده قرار می‌گیرند عبارت‌اند از:

- بیت‌های داده
- بیت‌های همگام‌سازی
- بیت توازن
- نرخ داده (باودریت).

از طریق انواع این مکانیزم‌های سیگنالینگ، شما متوجه خواهید شد که برای ارسال اطلاعات به‌صورت سریال راه‌های مختلفی وجود دارد. این پروتکل قابل تنظیم بوده و *نکته مهم این است که مطمئن شویم هر دو دستگاهی که در باس سریال قرارگرفته‌اند از پروتکل‌های کاملاً مشابه استفاده می‌کنند.*

نرخ داده در ارتباط سریال

نرخ داده (Baud Rate) مشخص می‌کند که اطلاعات با چه سرعتی بر روی خط سریال ارسال می‌شوند، که معمولاً با واحد بیت در ثانیه (bps) بیان می‌شود. اگر نرخ داده را تعبیر کنید، متوجه می‌شوید که چقدر طول می‌کشد تا یک بیت را منتقل کنید.

نرخ داده می‌تواند در حدود هر مقداری باشد. فقط لازم است که هر دو دستگاه با سرعت یکسان عمل کنند. یکی از رایج‌ترین نرخ‌های باند، به‌ویژه برای موارد ساده که سرعت خیلی مهم نیست، ۹۶۰۰ بیت در ثانیه است. دیگر نرخ داده های استاندارد ۱۲۰۰، ۲۴۰۰، ۴۸۰۰، ۱۹۲۰۰، ۳۸۴۰۰، ۵۷۶۰۰ و ۱۱۵۲۰۰ هستند.

هرچه نرخ داده بالاتر رود، داده‌ها سریع‌تر ارسال / دریافت می‌شوند، اما محدودیت‌هایی برای سرعت انتقال داده‌ها وجود دارد. شما معمولاً سرعت بیش از ۱۱۵۲۰۰ را نمی‌بینید (این مقدار برای اغلب میکروکنترلرها سرعت بالایی است. به‌علاوه اینکه شما شاهد خطاهایی در پایان دریافت خواهید بود، زیرا کلاک‌ها و دوره‌های نمونه‌گیری نمی‌توانند با این نرخ داده به کارشان ادامه دهند).

قالب‌بندی داده‌ها در ارتباط سریال

هر بلوک (معمولاً یک بایت) از داده در به‌صورت یک بسته از بیت‌ها منتقل می‌شود. قالب‌ها با اضافه کـردن بیت همگام‌سازی و بیت‌های توازن به داده‌های اصلی ایجاد می‌شوند.

شکل ۱۱– ۳ فریم سریال. برخی از نمادها دارای اندازه بیت‌های قابل تنظیم هستند.

بیایید به جزئیات هر یک از این قسمت‌های این فریم بپردازیم:

دیتا

محتوای هر بسته سریال، شامل اطلاعاتی است که انتقال می‌دهد. به این بلوک داده تکه (chunk) میگـوییم، زیرا اندازه آن مشخص نیست. مقدار داده‌ها در هر بسته می‌تواند در هر مقداری بین ۵ تا ۹ بیت تنظیم شود. مطمئناً، اندازه استاندارد داده، همان بایت ۸ بیتی شماست، اما اندازه‌های دیگر کارایی‌های دیگری را دارنـد. یک محتوای ۷ بیتی می‌تواند کارآمدتر از ۸ باشد، مخصوصاً اگر شـما فقـط کاراکترهـای اسـکی ۷ بیتـی را انتقال می‌دهید.

بعد از توافق در مورد طول کاراکتر، هر دو دستگاه سریال باید در مورد ترتیب ارسال داده‌های خود به توافق برسند. آیا داده‌ها به ترتیب از باارزش‌ترین بیت (msb) به کم‌ارزش‌ترین بیت فرستاده می‌شوند یا بـرعکس؟ اگر غیرازاین باشد، می‌توانید فرض کنید که داده‌ها به ترتیب از کم‌ارزش‌ترین بیت (lsb) منتقل می‌شوند.

بیت همگام‌سازی

بیت‌های همگام‌سازی دو یا سه بیت مخصوص‌اند که توسط هر تکه داده انتقال داده می‌شـوند. آن‌هـا بیـت (های) شروع و بیت (های) توقف هستند. همان‌طور که از نامشان برمی‌آید، این بیت‌ها شروع و پایان بسـته را تعیین می‌کنند. همیشه یک بیت شروع وجود دارد، اما تعداد بیت‌های توقف به یک یا دو بیـت قابـل‌تغییر است. (هرچند معمولاً یک بیت است)

بیت شروع همیشه با یک خط داده بیکار (idle) که از ۱ به ۰ تغییر می‌کند نشـان داده می‌شـود، درحالی‌کـه بیت (های) توقف با نگه‌داشتن خط در ۱ به حالت بیکار (idle) بازمی‌گردند.

بیت پریتی (parity bit)

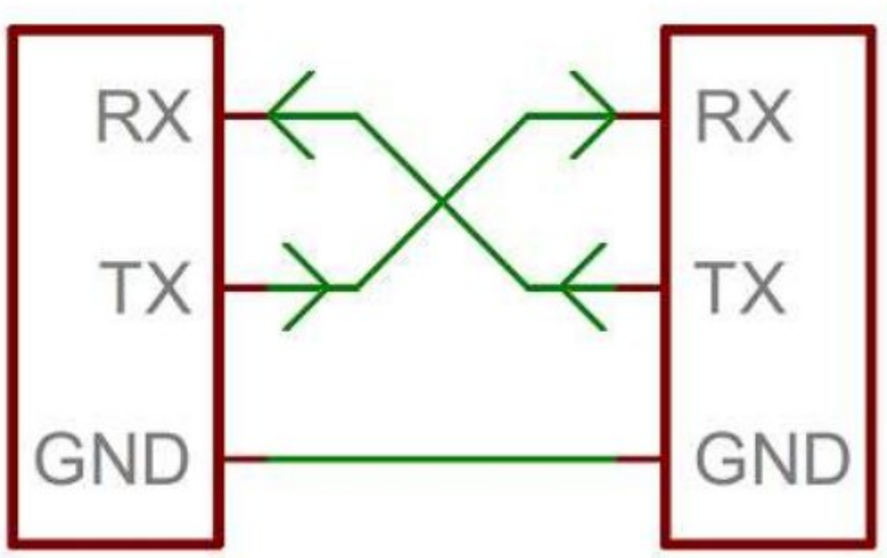
Parity یک‌شکل بسیار ساده و سطح پایین از کنترل خطا است که در دو نوع وجود دارد: زوج یا فرد. برای تولید بیت توازن (parity bit)، تمام ۵-۹ بیت از بایت داده اضافه می‌شوند و درستی مجموع این بیت‌ها تصمیم می‌گیرد که آیا بیت تنظیم‌شده است یا نه. به‌عنوان‌مثال، اگر پریتی روی زوج تنظیم‌شده باشد و به یک بایت داده مانند b01011101۰ اضافه‌شده باشد که دارای تعداد فردی از ۱ است (۵ بار)، بیت پریتی باید ۱ تنظیم شود. برعکس، اگر حالت پریتی بر روی فرد تنظیم شود، بیت توازن ۰ است.

پریتی اختیاری است و به‌طور گسترده‌ای مورداستفاده قرار نمی‌گیرد. بیت پریتی می‌تواند در انتقال رسانه‌های با نویز زیاد مفید باشد، اما انتقال داده‌ها را کمی کند می‌کند و برای تشخیص خطا هم به فرستنده و هم به گیرنده نیاز دارد (معمولاً داده‌های دریافتی ناموفق باید دوباره ارسال شوند).

۴-۱-۱۱- سخت‌افزار ارتباط سریال

یک باس سریال فقط دو سیم دارد (یکی برای ارسال اطلاعات و دیگری برای دریافت). به همین ترتیب، دستگاه‌های سریال باید دارای دو پین سریال باشند:

- گیرنده RX
- فرستنده TX



شکل ۱۱- ٤ توجه کنید که برچسب‌های RX و TX متناسب با خود دستگاه‌ها باشند. بنابراین RX از یک دستگاه باید به TX یک دستگاه دیگر متصل شود. منطقی است که فرستنده باید با گیرنده صحبت کند نه فرستنده دیگری.

یک رابط سریال قرارگرفته بین دو دستگاهی که هردوی آن‌ها داده‌ها را ارسال و دریافت می‌کنند، می‌تواند

به‌صورت کاملاً دوطرفه یا نیمه دوطرفه باشد.

- کاملاً دوطرفه یعنی هر دو دستگاه می‌توانند به‌طور هم‌زمان ارسال و دریافت انجام دهند.(FULL-DUPLEX)
- ارتباط نیمه دوطرفه به این معنی است که دستگاه‌های سریال باید نوبتی ارسال و دریافت کنند.(HALF-DUPLEX)
- برخی از باس های سریال ممکن است فقط یک اتصال بین دستگاه فرستنده و گیرنده داشته باشند. به‌عنوان‌مثال، LCD های فعال‌شده سریال (یک نوع ماژول نمایشگر با ارتباط سریال) فقط دریافت می‌کنند و هیچ اطلاعاتی برای بازگرداندن به دستگاه کنترلی ندارند. این چیزی است که به‌عنوان ارتباطات سریال ساده شناخته می‌شود. همه‌چیزی که نیاز دارید تنها یک سیم از فرستنده دستگاه master، به خط RX شنونده است.(SIMPLEX)

۲-۱۱- آزمایش

۱-۲-۱۱- برقراری ارتباط بین دو میکروکنترلر

برای این که داده ای را بین دو میکروکنترلراز طریق ارتباط سریال آسنکرون جا به جا کنیم لازم است که مطابق شکل ۱۱-٤، TX یک میکروکنترلر به RX میکروکنترلر دیگر متصل شود چون که داده ارسالی یکی درواقع داده دریافتی دیگری است و همچنین برای هم مبنا کردن دو میکروکنترلر زمین های آنها را به یکدیگر متصل کنیم و در نهایت هم باید Baud Rate دو میکروکنترلر یکسان باشد.

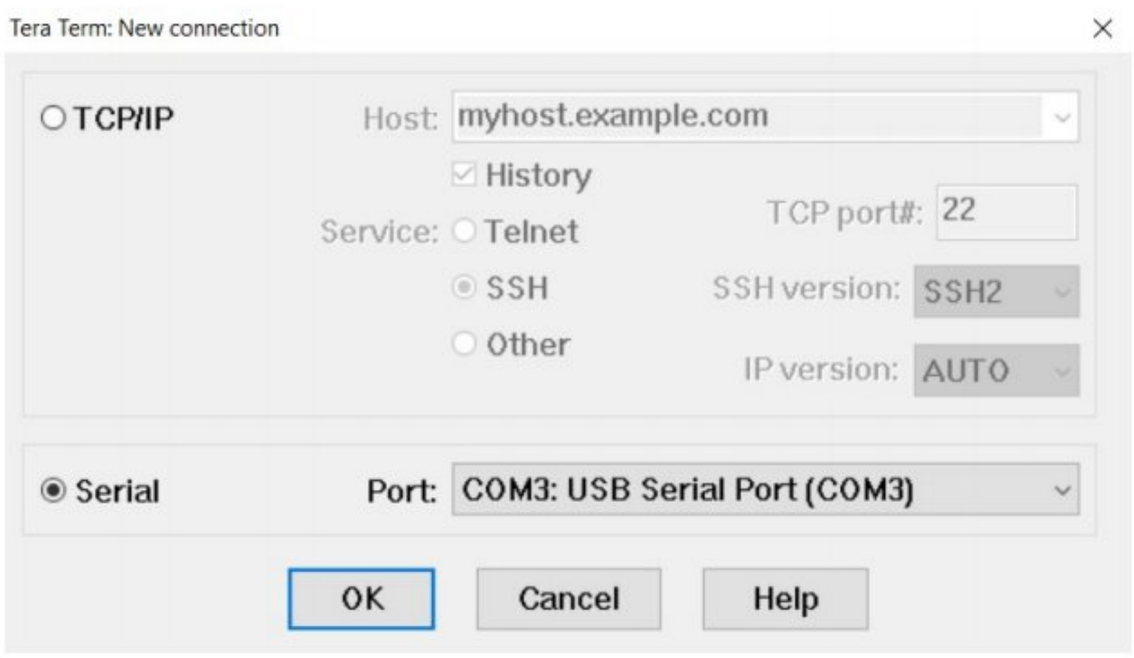
برنامه‌ای بنویسید که رشته‌ی ذخیره شده در یک میکروکنترلر را به کمک پروتکل UART برای میکروکنترلر دیگری ارسال کند. در نهایت میکروکنترلر دریافت کننده، رشته‌ی دریافتی را روی نمایشگر کاراکتری نشان دهد.

۲-۲-۱۱- برقراری ارتباط بین میکروکنترلر و کامپیوتر

برای اتصال میکروکنترلر و کامپیوتر لازم است که از یک ماژول واسط USB-to-Serial استفاده کنیم کـه در مدل‌های مختلفی وجود دارد. پس ازاتصال آن به کامپیوتر قسمت Device Manager کامپیوترتان را بررسی کنید که این ماژول را شناخته باشد و اگر نشناخته بود به صورت آنلاین یا با دانلود و نصب درایور از لینک مربوطه آن ماژول را به کامپیوترتان بشناسانید تا به آن یک پورت اختصاص دهد که داده ها از طریق همـین پورت بین کامپیوتر و میکروکنترلر جا به جا شوند.

شکل ۱۱- ۵ ماژول مبدل USB به سریال TTL تراشه CH340G

پس از نصب درایور بر روی کامپیوتر برای نمـایش داده هـای ارسـالی مـی توانیـد از نـرم افـزار مـتن بـاز TeraTerm استفاده کنید.

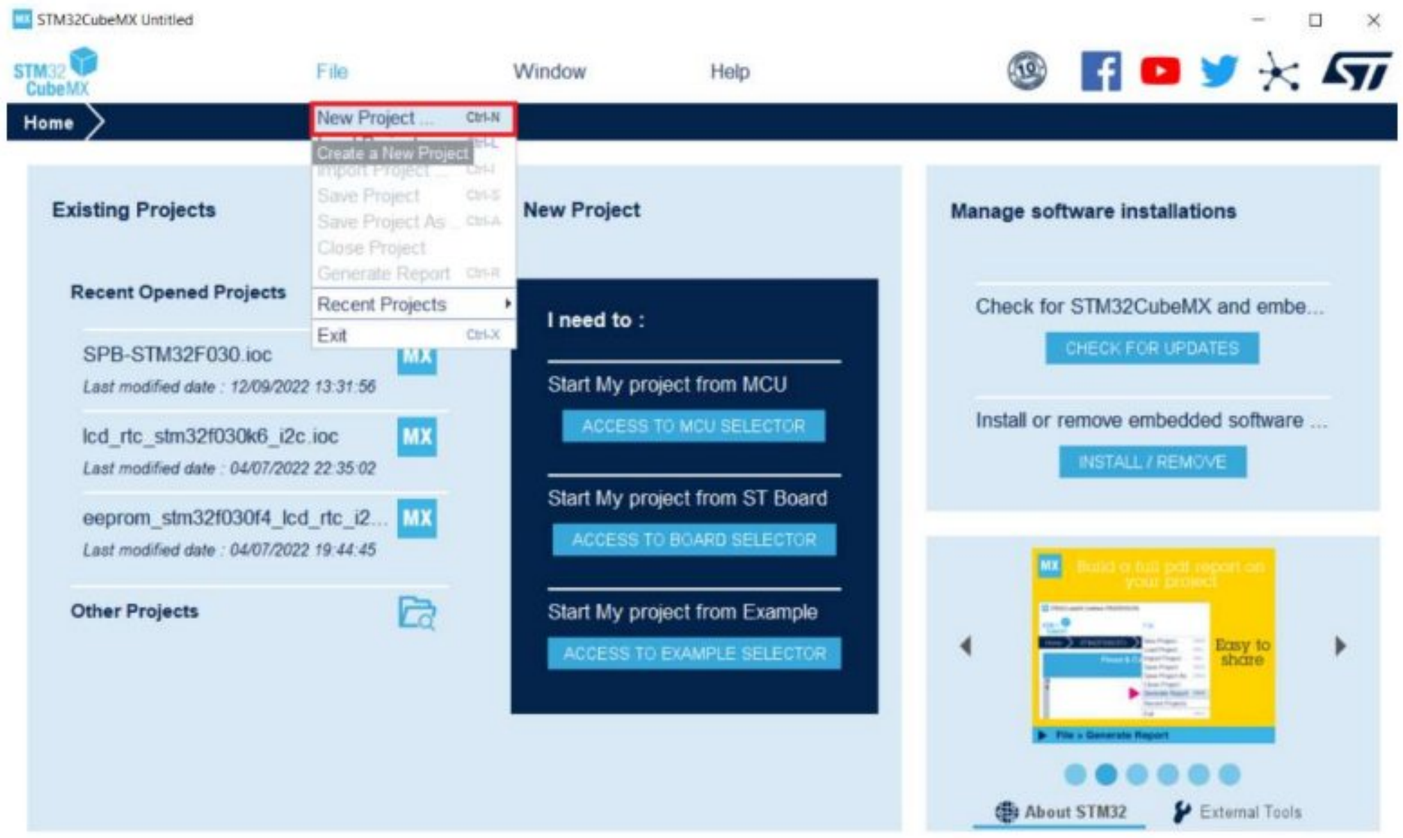


شکل ۱۱- ٦ پنجره‌ی تنظیم اولیه در نرم‌افزار TeraTerm

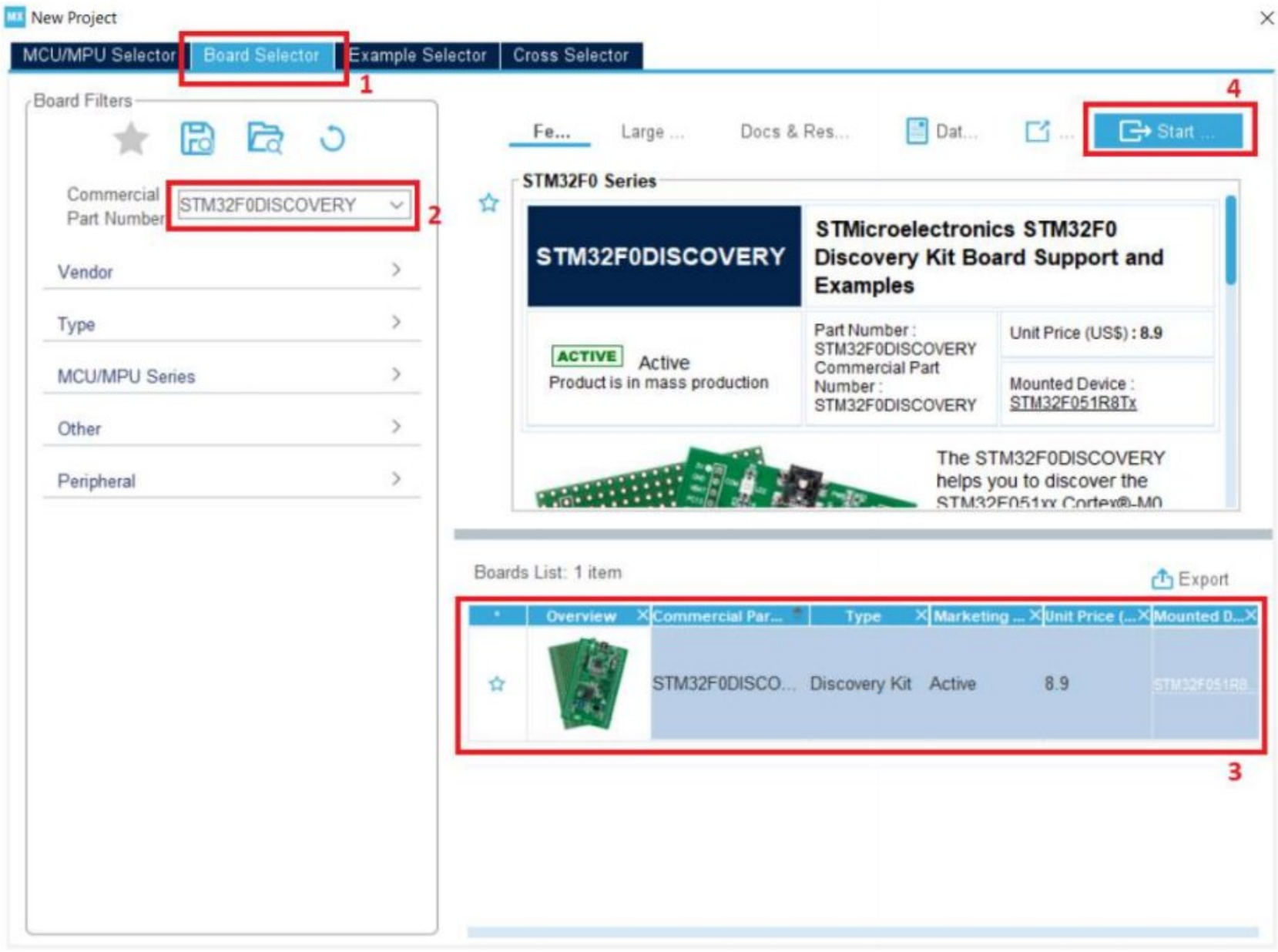
برنامه‌ای بنویسید که دو عدد و یک عملگر از رایانه بـه میکـرو ارسـال شـده و پـس از پـردازش در میکروکنترلر حاصل به کمک UART به رایانه بازگردانده شده و در ترمینال مجازی نمایش داده شود.

۳-۱۱- تنظیمات نرم‌افزاری و برنامه‌نویسی

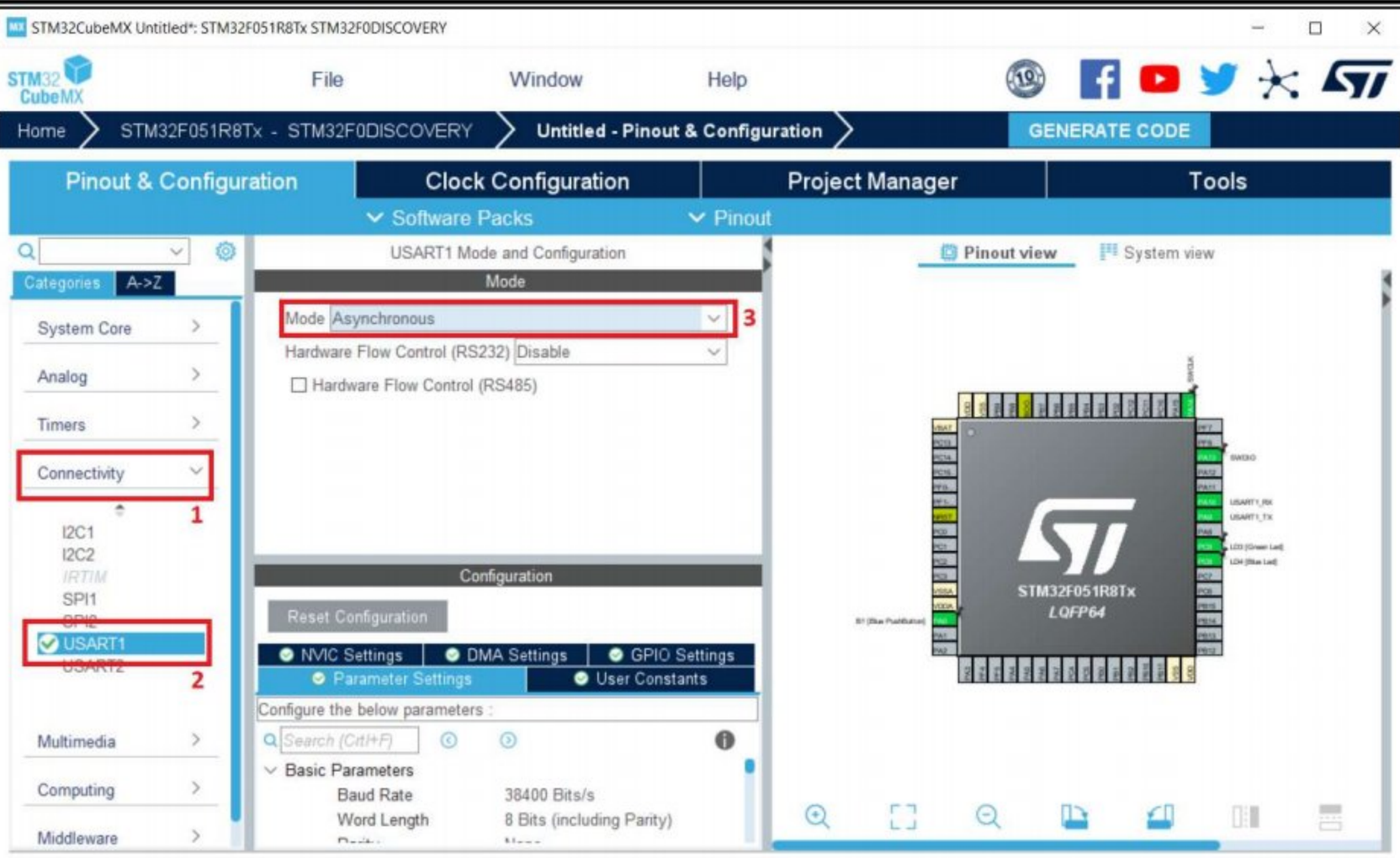
برای تنظیمات UART ابتدا یک پروژه جدید ایجاد می‌کنیم:



برد یا میکروکنترلر مورد نظر را انتخاب می‌کنیم:



سپس USART1 را در مد آسنکرون فعال می‌کنیم:



برای تنظیمات UART لازم است که Baud Rate و دیگر پارامترهایی که در درسنامه مطرح شد را به درستی مشخص کنیم:

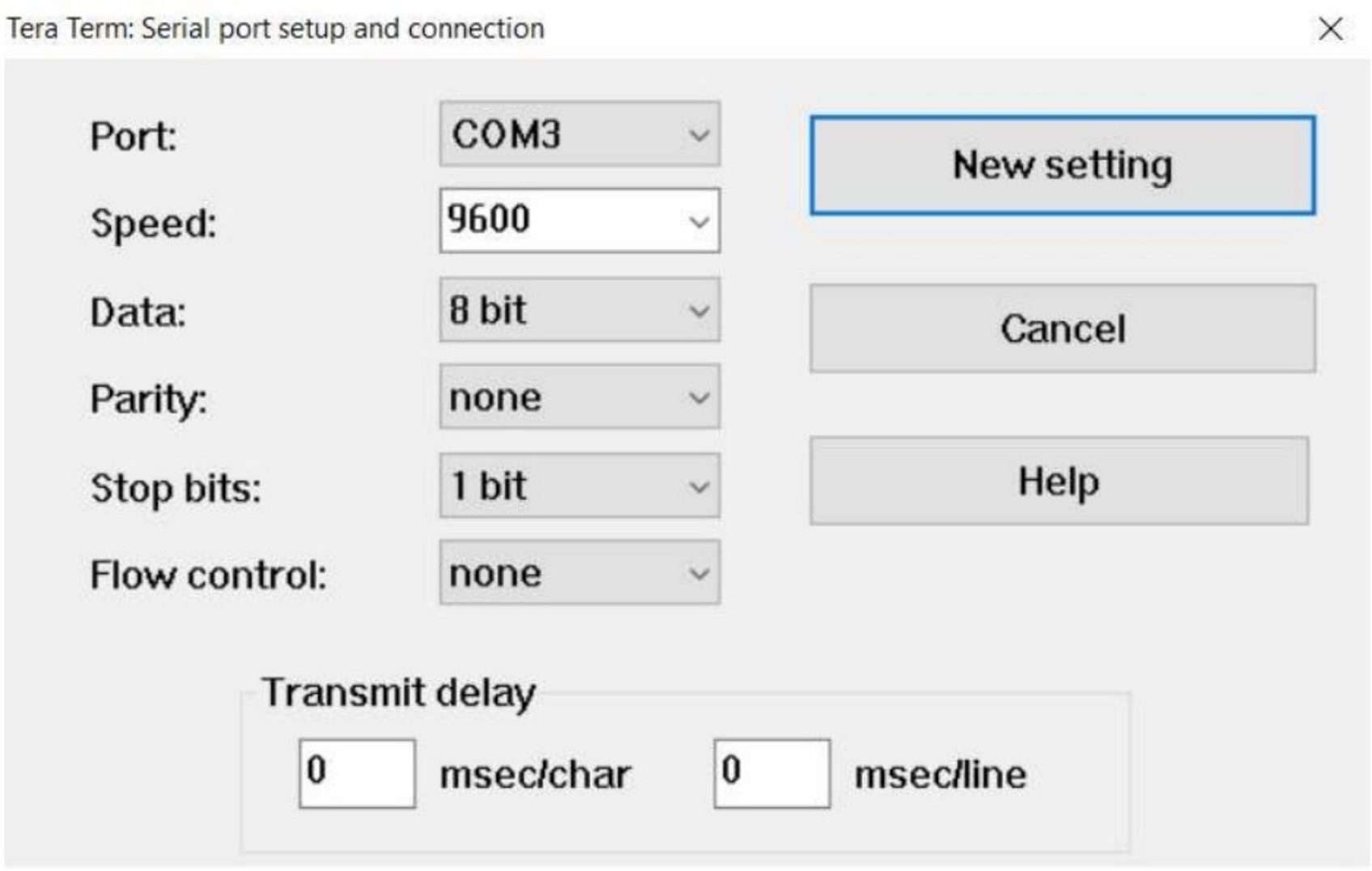
پس از generate کردن کد در نرم افزار Stm32CubeMX و Import پروژه در نرم افزار CubeIDE شروع به کدنویسی می‌کنیم. برای ارسال اطلاعات:

```
/* USER CODE BEGIN 2 */

uint8_t data_tx[100] = "This is UART Test!\r\n" ;
HAL_UART_Transmit(&huart1,data_tx,strlen(data_tx),HAL_MAX_DELAY);

/* USER CODE END 2 */
```

و برای دریافت اطلاعات:

```
/* USER CODE BEGIN 2 */

uint8_t data_rx[100];
HAL_UART_Receive(&huart1, data_rx, NUMBER_OF_BYTES, HAL_MAX_DELAY);

/* USER CODE END 2 */
```

در نرم‌افزار TeraTerm از قسمت Setup – Serial Port ... تنظیمات را مطابق شکل انجام می‌دهیم.



۴-۱۱- پرسش‌ها و تمرین‌های برنامه‌نویسی

۱- برنامه‌ای بنویسید که در آن وقفه‌ی UART1 برای دریافت و ارسال داده فعال شود. در این برنامه

هر کاراکتری که دریافت می‌گردد عیناً مشابه آن اکو می‌شود.

۲- برنامه‌ای بنویسید که یک دیتای ۱۶ بیتی از را از پورت A بخواند (با ۱۶ عـدد DIP Switch بتـوان دیتا را تغییر داد) و به خروجی سریال بفرستد. نرخ ارسال را ۹۶۰۰ در نظر بگیرید و خروجی روی نمایشگر رایانه نشان داده شود.

۳- برنامه‌ای بنویسید که بتوان از طریق نرم‌افزار MATLAB دور موتور یک موتـور DC را بـه کمـک پروتکل UART کنترل نمود.

آزمایش ۱۲:

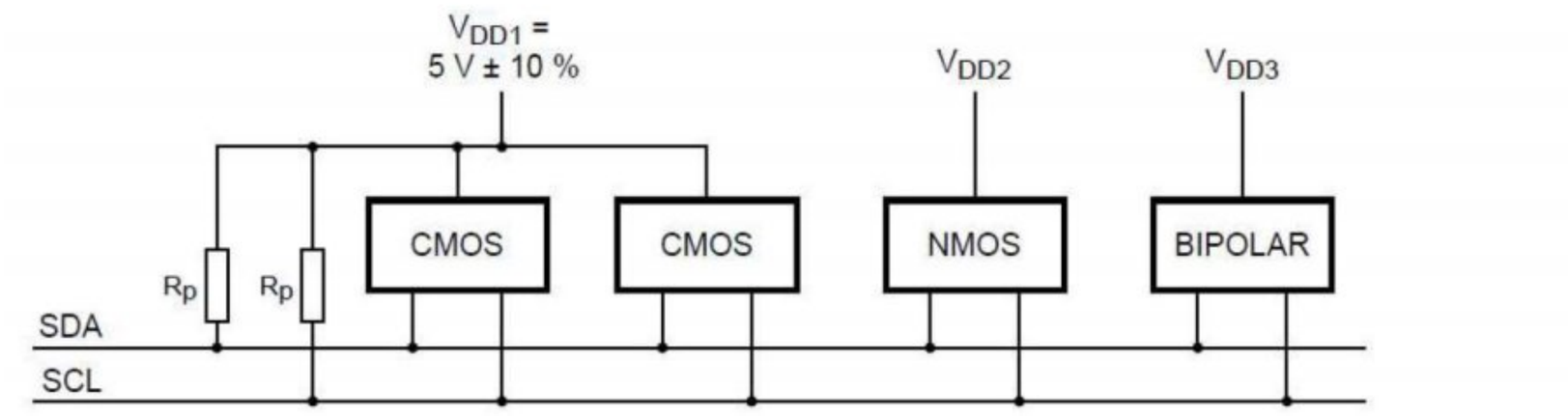
پروتکل ارتباطی I^2C

۱-۱۲- درسنامه

پروتکل I^2C یک پروتکل ارتباطی سریال است که داده ها بیت به بیت در طول یک (خط SDA) منتقل می‌شوند. I^2C بهترین امکانات پروتکلهای SPI و UART را ترکیب می کند. با I^2C ، می‌توانید چندین Slave را به یک Master متصل نمود (مانند SPI و می‌توان چندین Master داشت که یک یا چندین Slave را کنترل می‌کنند. به عنوان مثال زمانی که لازم است تا بیش از یک میکروکنترلر اطلاعات را در کارت حافظه ثبت کنند یا متن را در یک LCD نمایش دهند، پروتکل I^2C واقعاً مفید است. I^2C فقط از دو سیم برای انتقال داده‌ها بین دستگاه ها استفاده می‌کند:

SDA (داده‌های سریال) – خطی برای ارسال و دریافت داده توسط master و slave

SCL (کلاک سریال) – خطی که حامل سیگنال کلاک است.



V_{DD3} ,V_{DD2} به دستگاه متصل بستگی دارند به عنوان مثال می‌توانند برابر ۱۲ ولت باشند.

یک ویژگی I^2C این است که هر دستگاه روی باس باید به صورت Open-Drain به سیگنال کلاک(به اختصار SCL) و سیگنال داده (به اختصار SDA) متصل شود.

در اینجا دو مفهوم مهم از این پیکربندی باس Open-Drain شرح داده می‌شود:

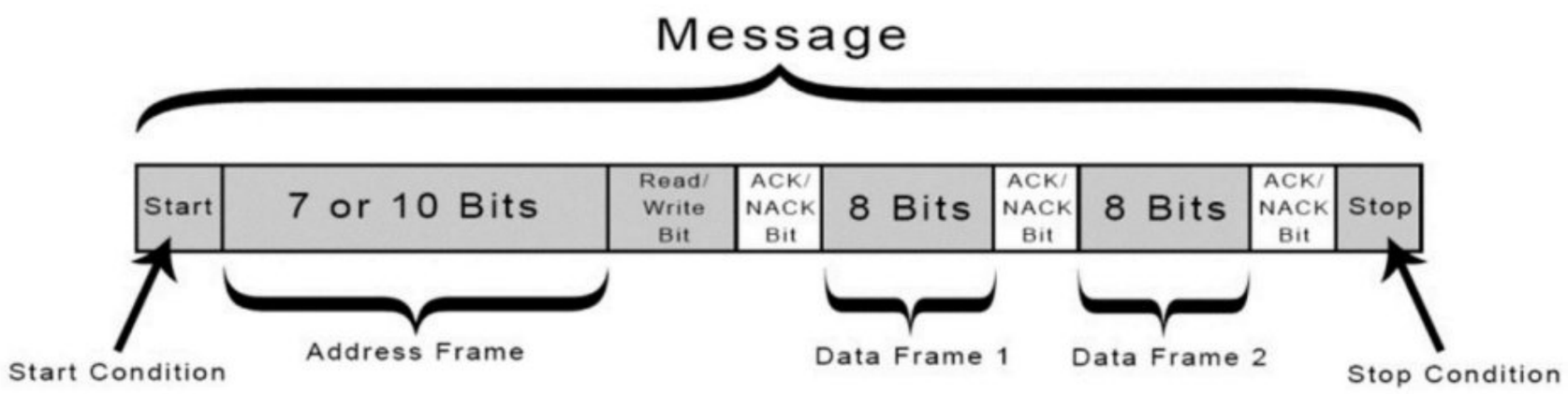
هر دستگاهی در باس می‌تواند با خیال راحت سیگنال‌ها را به سطح منطقی صفر برساند، حتی اگر دستگاه دیگری سعی در بالا بردن سطح سیگنالها داشته باشد. این اساس ویژگی «همگام سازی کلاک» یا «کشش کلاک» I^2C است. Master کلاک سریال را تولید می‌کند اما در صورت لزوم یک دستگاه Slave می‌تواند SCL را پایین نگه دارد و در نتیجه فرکانس کلاک را کاهش دهد.

دستگاه‌هایی با ولتاژهای تغذیه متفاوت می‌توانند در همان باس وجود داشته باشند، تا زمانی که دستگاه

های ولتاژ پایینتر در اثر ولتاژ بالاتر آسیب نبینند. به عنوان مثال یک دستگاه ۳.۳ ولت می تواند با یک دستگاه ۵ ولت ارتباط برقرار کند.

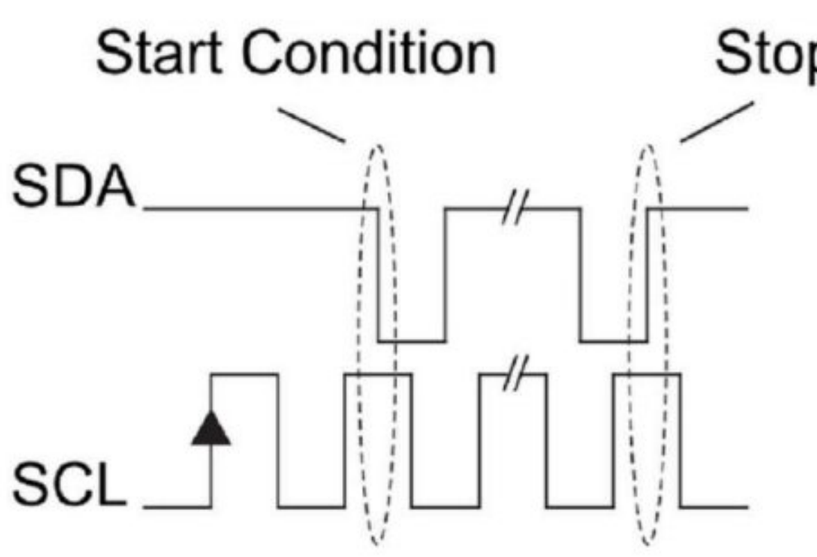
۱-۱-۱۲- عملکرد I^2C

با I^2C ، داده ها در قالب پیام منتقل می‌شوند. پیامها به فریم‌هایی از داده‌ها تقسیم می‌شوند. هر پیام دارای یک بخش آدرس است که حاوی آدرس باینری Slave است و یک یا چند فریم داده حاوی داده‌های در حال انتقال است. این پیام همچنین شامل شرایط شروع و توقف بیتهای خواندن نوشتن و بیت‌های ACK/NACK بین هر فریم داده است:



شرط شروع: زمانی که سطح ولتاژ خط SCL برابر یک منطقی است خط SDA از سطح ولتاژ بالا به سطح ولتاژ پایین تغییر وضعیت می‌دهد.

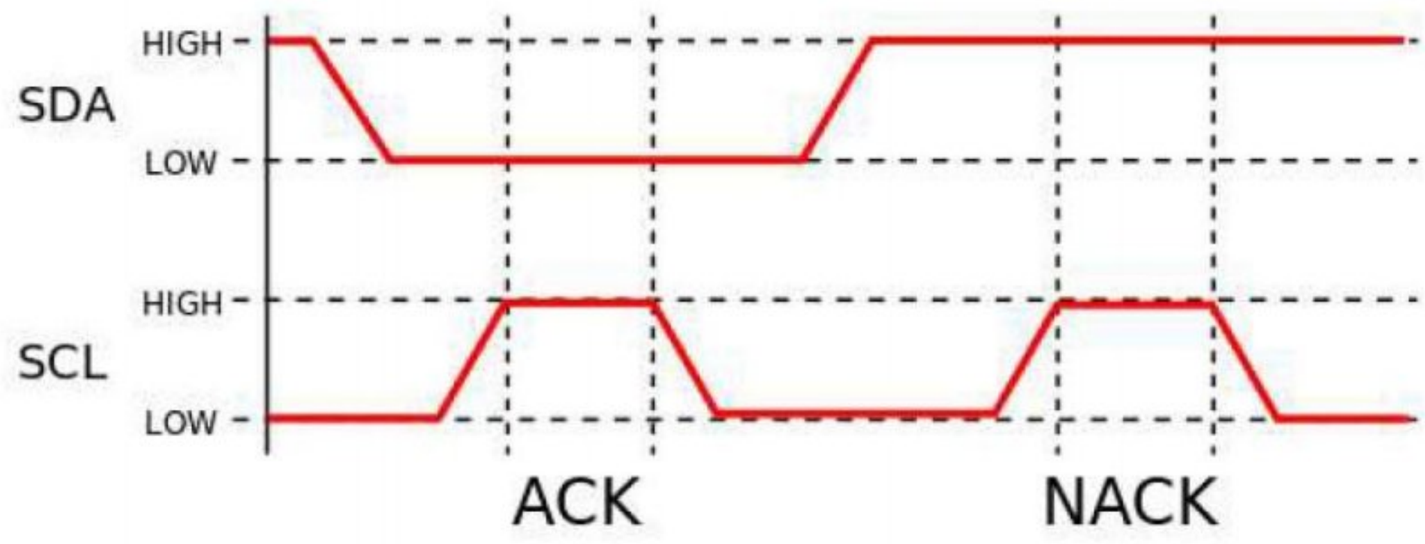
شرط توقف: زمانی که سطح ولتاژ خط SCL برابر یک منطقی است خط SDA از سطح ولتاژ پایین به سطح ولتاژ بالا تغییر وضعیت می‌دهد.



فریم آدرس: یک دنباله ۷ یا ۱۰ بیتی منحصر به فرد برای هر Slave، زمانی که master می خواهد با او صحبت ،کند آدرس Slave را مشخص می‌کند.

بیت Read/Write: یک بیت واحد که مشخص می‌کند آیا Master داده ها را به Slave ارسال می کند (Write- سطح ولتاژ پایین) یا درخواست داده از آن دارد (Read- سطح ولتاژ بالا).

بیت ACK/NACK: هر فریم در یک پیام با یک بیت تایید یا عدم تایید دنبال می‌شود. اگر یک فریم آدرس یا فریم داده با موفقیت دریافت شد یک بیت ACK از دستگاه دریافت کننده به فرستنده بازگردانده می‌شود (صفر منطقی) اگر پیام به درستی دریافت نشده باشد یک بیت NACK ارسال می‌شود (یک منطقی).

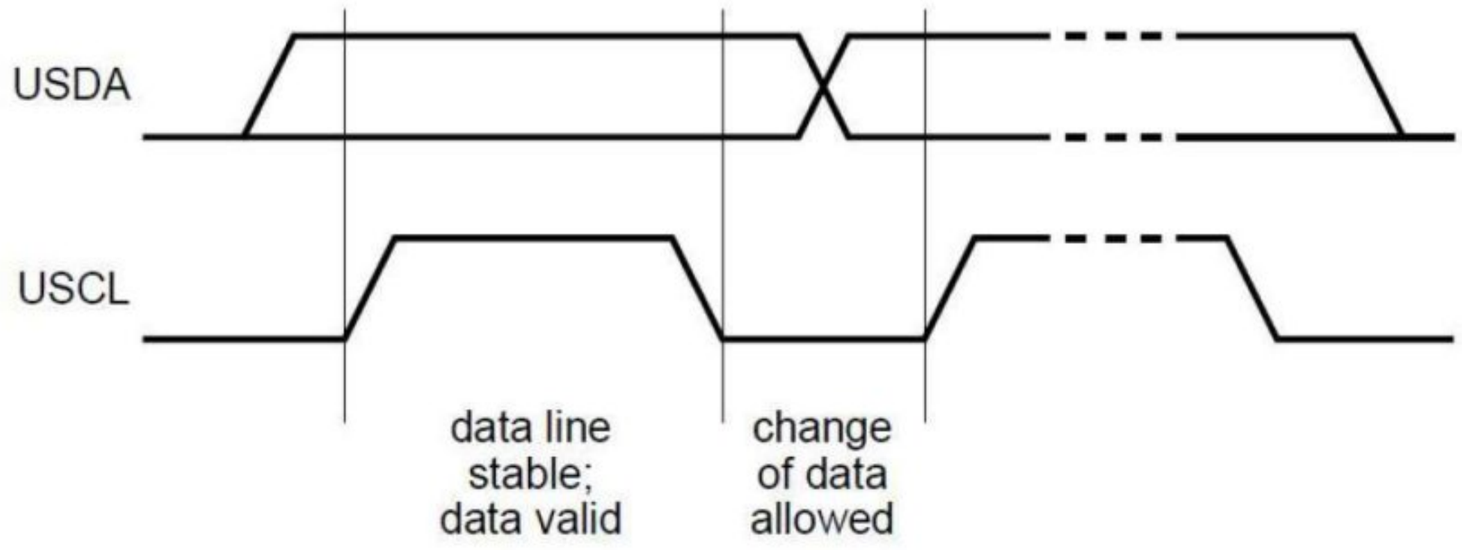


در جدول زیر چهار مد ممکن برای I^2C را مشاهده می‌کنید:

Mode	Data Rate	Notes
Standard Mode	Up to 100Kbps	Supported by stm32F4
Fast Mode	Up to 400Kbps	Supported by stm32F4
Fast Mode+	Up to 1Mbps	Supported by some stm32F4
High Speed Mode	Up to 3.4 Mbps	Not Supported by stm32F4

نکته: دستگاههای که در مد Standard کار کنند قادر نیستند در باس با مد Fast ارتباط برقرار کنند اما دستگاه هایی که در مد Fast کار می‌کنند قادر هستند در یک باس با مد Standard به درستی عمل کنند.

نکته: دیتا در خط SDA تنهای زمانی می‌تواند تغییر کند که خط SCL صفر منطقی (LOW) باشد.



۲-۱۲- آزمایش

۱-۲-۱۲- درایور نمایشگر کاراکتری با ماژول I^2C

درایوری که برای نمایشگر کاراکتری نوشته بودید را به نحوی بازنویسی کنید که دیتا و دستور با استفاده از ماژول مبدل I^2C به نمایشگر ارسال شود.

۳-۱۲- تنظیمات نرم‌افزاری و برنامه نویسی

به دیتا شیت ماژول مبدل الس‌سی‌دی به I^2C مراجعه کنید.

۴-۱۲- پرسش‌ها و تمرین‌های برنامه نویسی

۱- به کمک سنسور SHT10 دما و رطوبت محیط را اندازه‌گیری کرده و روی نمایشگر نشان دهید.