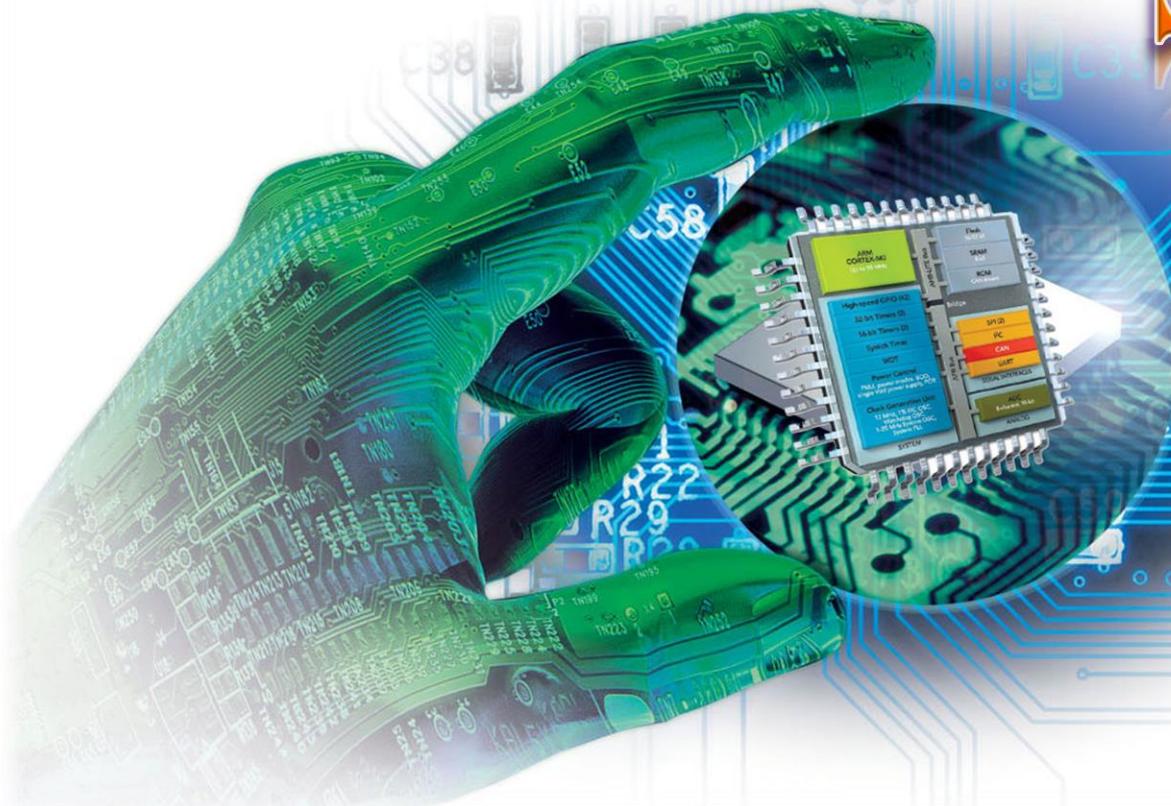
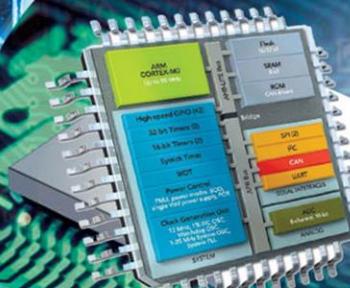


# مُتَحَكِّمَات

# STM32

# 7



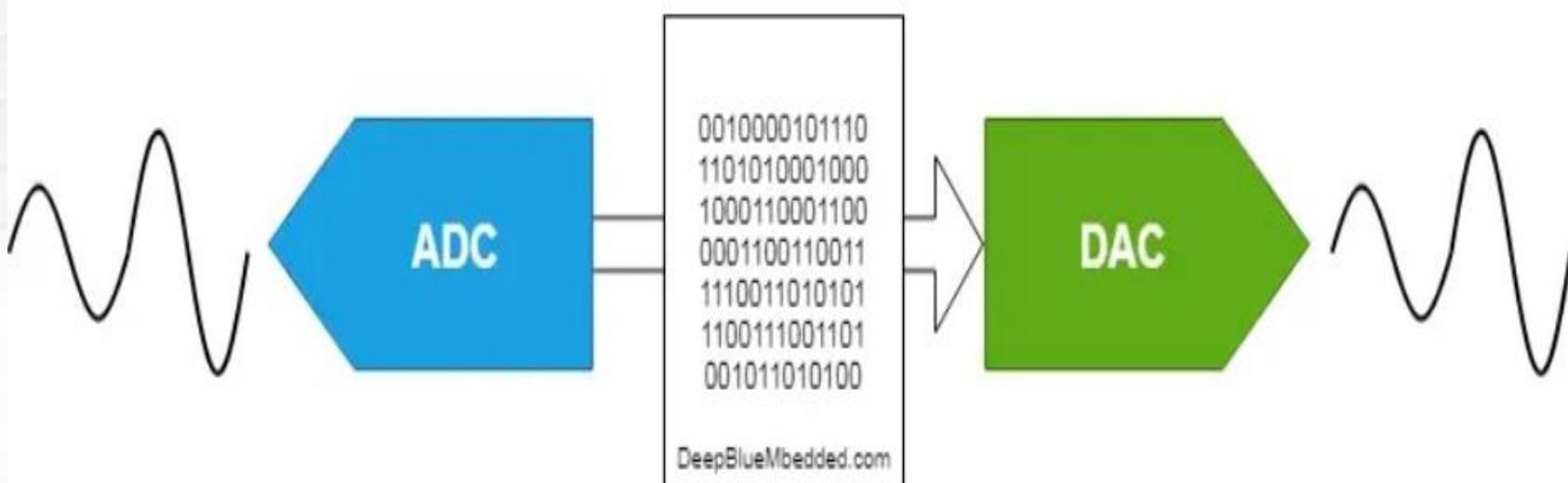
# موضوعات المحاضرة:

- المبدلات التشابهية الرقمية في متحكمات STM32
- أنماط عمليات التحويل الرقمي modes
- طرق قراءة المبدل التشابهي الرقمي
- الأخطاء الناتجة عن التحويل
- التطبيق العملي

# المبدلات التشابهية الرقمية في متحكمات STM32

## ADC in STM32

المبدلات التشابهية الرقمية عبارة عن دارات الكترونية تقوم بتحويل الجهد التشابهي على دخلها إلى قيمة رقمية بالنظام الثنائي مقابلة لمستوى الجهد، فبمجرد قذح المبدل التشابهي الرقمي يبدأ بأخذ العينات samples ويقوم بعملية تدعى التكميم ليقابل كل مستوى من الجهد بما يناسبه من القيم الرقمية



# المبدلات التشابهية الرقمية في متحكمات STM32

## ADC in STM32

تحتوي متحكمات STM32G0 على مبدل تشابهي رقمي وحيد من نوع Successive approximation ADC(SAR)

التالي:



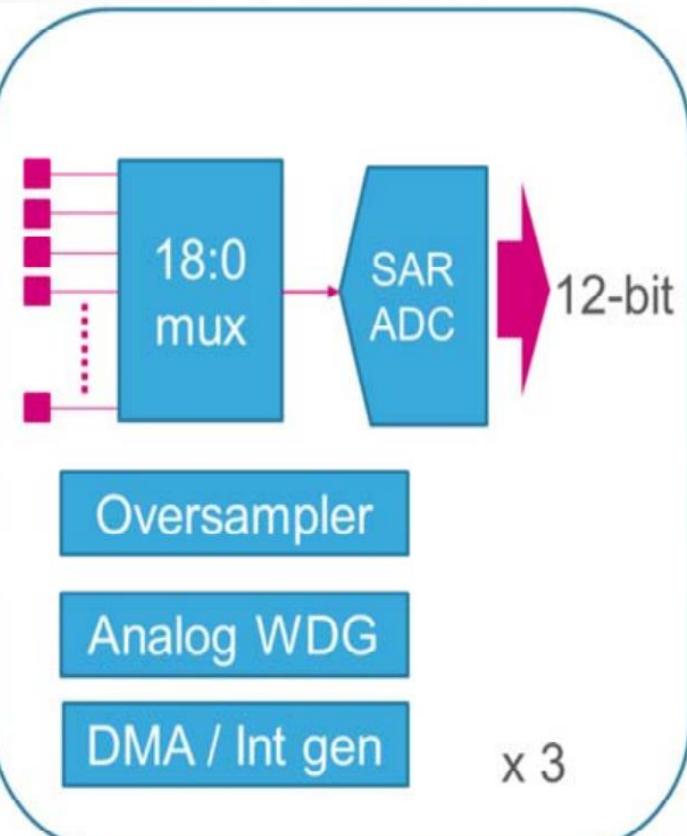
- مبدل ADC وحيد بدقة 12 بت وما يقارب الـ 19 قناة للمبدل
- Oversampler
- بحد أقصى لعملية أخذ العينات يصل إلى Msamples/s 2.5

# المبدلات التشابهية الرقمية في متحكمات STM32

## ADC in STM32

تحتوي متحكمات STM32G0 على مبدل تشابهي رقمي وحيد من نوع Successive approximation ADC(SAR)

التالي:



لكل مبدل تشابهي رقمي ثلاثة مراقبات تشابهية  
**analog watchdogs**  
لمراقبة حالات الـ

**thresholds Oversampler**

القدرة على توليد طلبات DMA

القدرة على توليد مقاطعة interrupt

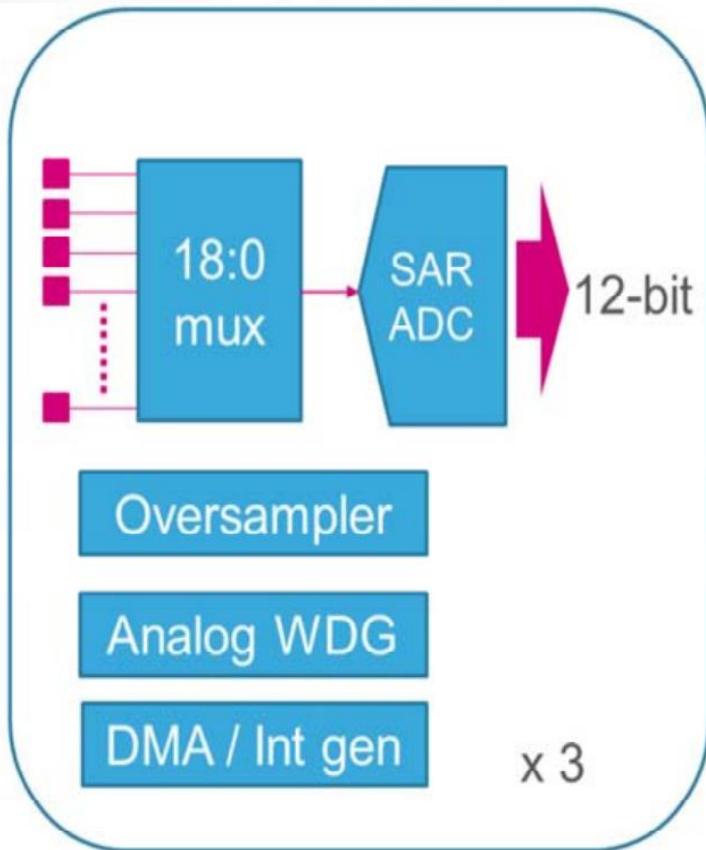
سحب منخفض للتيار  $\mu\text{A} @ \text{Msamples/s} 1181$

# المبدلات التشابهية الرقمية في متحكمات STM32

## ADC in STM32

تحتوي متحكمات STM32G0 على مبدل تشابهي رقمي وحيد من نوع Successive approximation ADC(SAR)

التالي:



- قابل للقبح بعدة طرق
- القدرة على إدارة البيانات القادمة ومن ثم تحويلها للأ CPU.
- تسمح المبدلات التشابهية الرقمية للمتحكم STM32G0 باستقبال القيم التشابهية القادمة من الحساسات، حيث تقوم بتحويلها إلى القيم الرقمية المقابلة لها

# المبدلات التشابهية الرقمية في متحكمات STM32

## ADC in STM32

يوضح الجدول التالي أهم الخصائص لـ ADC الموجود في متحكمات STM32G0

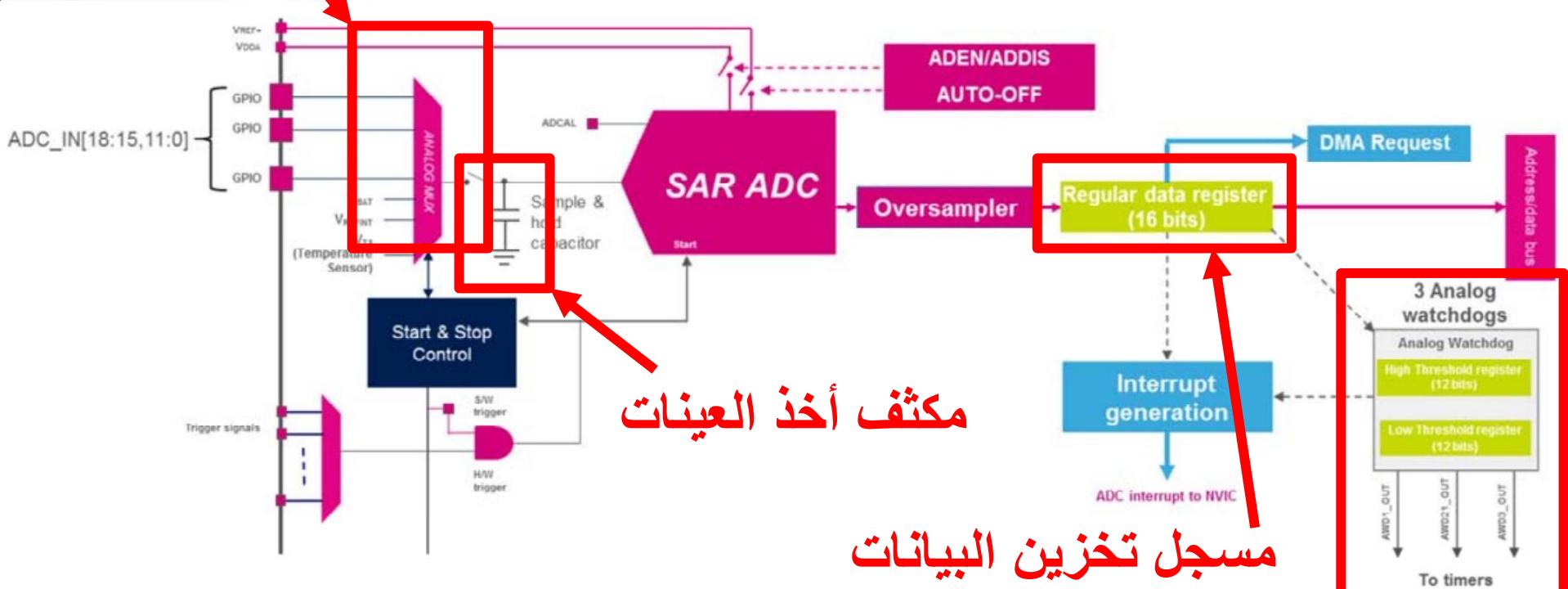
Features	Description
Input channel	Up to 16 external (GPIOs) and 3 internal channels
Type of conversion	12-bit successive approximation
Conversion time	400 ns, 2.5 Msamples/s (when $f_{ADC\_CLK} = 35\text{ MHz}$ , 12 bits)
Functional mode	Single, Continuous, Scan, and Discontinuous
Triggers	Software or external trigger (Timers & IOs)
Special functions	Analog watchdogs, Hardware oversampling, and Self-calibration
Data processing	Interrupt generation and DMA requests
Low-power modes	Wait, Auto-off, and Power-down

# المبدلات التشابهية الرقمية في متحكمات STM32

## ADC in STM32

للمبدل التشابهي الرقمي في متحكمات STM32G0 المخطط الصندوقي  
التالي:

**multiplexer**



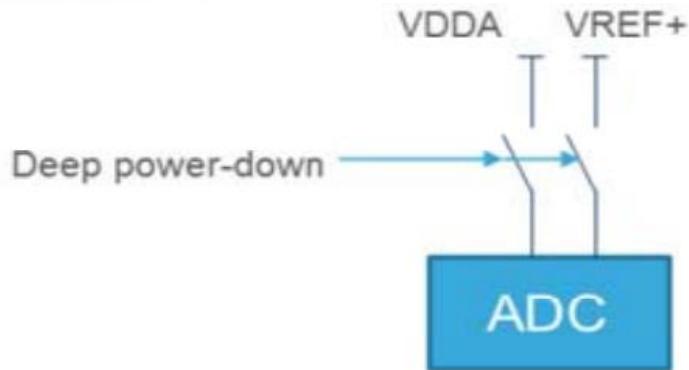
مكثف أخذ العينات

مسجل تخزين البيانات

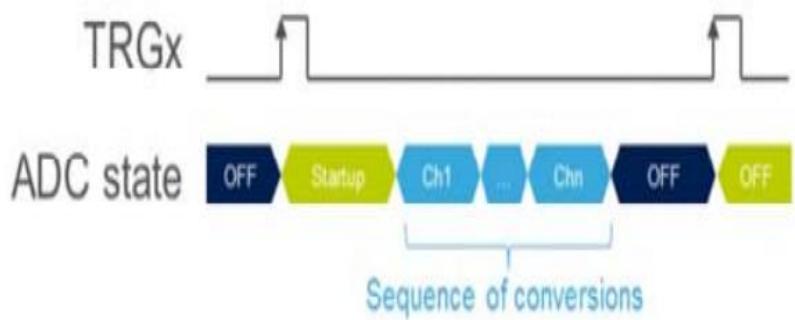
مراقبات تشابهية

# المبدلات التشابهية الرقمية في متحكمات STM32

## ADC in STM32



لاحظ في الجزء الأمامي لعملية التحويل يوجد مفتاح فصل/وصل الطاقة عن المبدل حيث يمكن فصل المبدل عن الطاقة عند عدم استخدامه



للمبدل ميزة إدارة الطاقة والتي تقوم بفصل الطاقة آلياً عن المبدل عند عدم وجود عملية تحويل ويتم إيقاظه أيضاً آلياً عند بدء عملية التحويل من خلال قدره عبر الكود أو من خلال الهايدروير ، وذلك عند تفعيل نمط Auto-off mode، ويتم إضافة زمن startup time تلقائياً بين لحظة بدء المبدل وبدء عملية التحويل قدره ٩

# المبدلات التشابهية الرقمية في متحكمات STM32

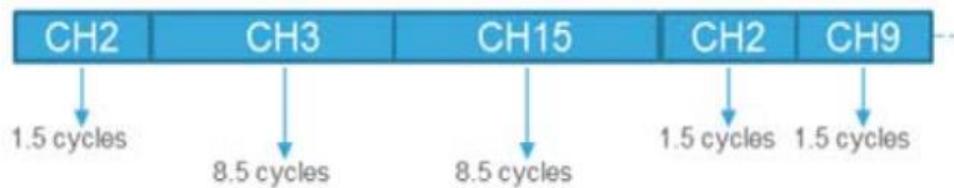
## ADC in STM32

يحتوي المبدل على وحدة أخذ عينات oversampling hardware والتي تقوم بتجميع العينات ثم تقوم بإعادة تقسيمها دون مساعدة إلى CPU، حيث بإمكانها تجميع من 2 حتى 256 عينة ثم إزاحتها نحو اليمين، مما يسمح للمستخدم

باستخدام:



$$Result = \frac{1}{M} * \sum_{n=0}^{n=N-1} Conversion(t_n)$$



العينات على قيمتين و تخصيص القيمة المناسبة لكل قناة من هاتين [[ القيمتين ]]

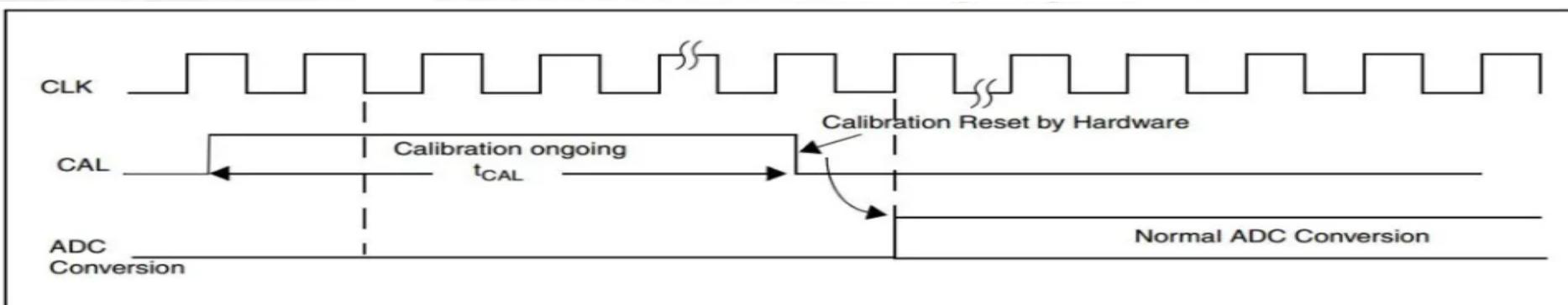
- 19 قناة تحويل وبترتيب تصاعدي أو تنازلي
- 8 قنوات للتحويل بالترتيب الذي يقوم المستخدم بتعريفه
- يمكن ضبط زمن أخذ

# المبدلات التشابهية الرقمية في متحكمات STM32

## ADC in STM32

### المعايرة الذاتية:

يوفر المبدل خاصية المعايرة الذاتية والتي تقلل بشكل كبير الأخطاء الناتجة عن تغيرات مكثف الشحن الداخلي internal capacitor يوضح المخطط الزمني التالي المعايرة الذاتية:



### توفر مكتبة HAL دالة ضمن الـ ADC APIs تقوم ببدء عملية المعايرة والذي يوصى بعملها في بداية الكود بعد تهيئة الـ ADC عند تشغيل النظام

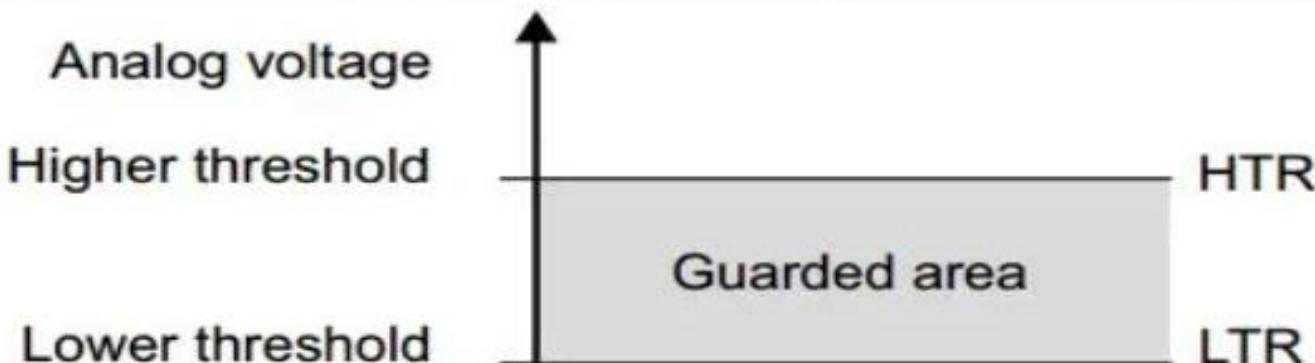
# المبدلات التشابهية الرقمية في متحكمات STM32

## ADC in STM32

### المراقب الشابهي (AWD):

عندما يكون جهد الدخل التشابهي القادر على إحدى القنوات التشابهية أقل من العتبة الدنيا أو أكبر من العتبة العليا المسموح بها عندها يتم تفعيل بit الحالة الخاص بالمراقب الشابهي AWD status bit

#### Analog watchdog guarded area



# المبدلات التشابهية الرقمية في متحكمات STM32

## ADC in STM32

:Sampling times

يتم أخذ عينات الجهد التشابهي خلال عدد معين من دورات الساعة، حيث أزمنة أخذ العينات المتوفرة 1.5cycles ، 3.5cycles ، 7.5cycles ، 12.5cycles ، 19.5cycles ، 39.5cycles ، 79.5cycles ، 160.5cycles و يتم تخزينها في المسجل SMP[2:0] bits و استخدامها لكل قناة من القنوات التشابهية، حيث يمكن أن يكون لكل قناة تشابهية معدل أخذ عينات مختلف.

# المبدلات التشابهية الرقمية في متحكمات STM32

## ADC in STM32

:Sampling times 

Pinout & Configuration      Clock Configuration      Project Manager      Tools

ADC1 Mode and Configuration

Mode

IN0  
IN1  
IN2  
IN3  
IN4  
IN5  
IN6  
IN7  
IN8  
IN9  
Temperature Sensor Channel  
Vrefint Channel

Configuration

Reset Configuration

Parameter Settings    User Constants    NVIC Settings    DMA Settings    GPIO Settings

Search (Ctrl+F)

Discontinuous Conversion Mode: Disabled

ADC\_Regular\_ConversionMode:

- Enable Regular Conversions: Enable
- Number Of Conversion: 1
- External Trigger Conversion Source: Regular Conversion launched by software
- Rank:

  - Channel: Channel 1
  - Sampling Time: 1.5 Cycles

ADC\_Injected\_ConversionMode:

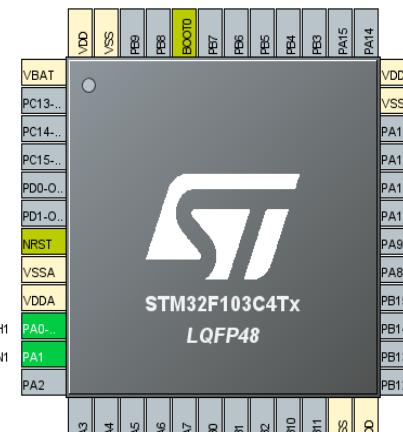
- Enable Injected Conversions

WatchDog:

- Enable Analog WatchDog Mode

Pinout view      System view

STM32F103C4Tx LQFP48



VBAT   VDD   VSS   PA13...   PC13...   PC14...   PC15...   PD0-O...   PD1-O...   NRST   VSSA   VDDA   PA12   PA11   PA10   PA9   PA8   PB15   PB14   PB13   PB12   PA14   PA15   PA1   PA0...   PA1   PA2   PA3   PA4   PA5   PA6   PA7   PA8   FB0   FB1   FB2   FB3   FB4   FB5   FB6   FB7   FB8   FB9   FB10   FB11   VSS   VDD

Activate Windows 

Go to Settings to activate Windows.

# المبدلات التشابهية الرقمية في متحكمات STM32

## ADC in STM32

:Sampling times

يمكن حساب الزمن الكلي لعملية التحويل من خلال العلاقة التالية:

$$T_{conv} = Sampling\ time + 12.5\ cycles$$

مثال: من أجل ADCCLK=14MHZ، و زمن أخذ عينات يكون الزمن الكلي للتحويل: 1.5 cycles

$$T_{conv} = 1.5 + 12.5\ cycles = 14cycles = 1\mu sec$$

وبالتالي يكون تردد أخذ العينات:

$$Sampling\ rate = 1/T_{conv}$$

ومن أجل المثال السابق يكون تردد أخذ العينات:

$$Sampling\ rate = 1000000 = 1Ms/ses$$

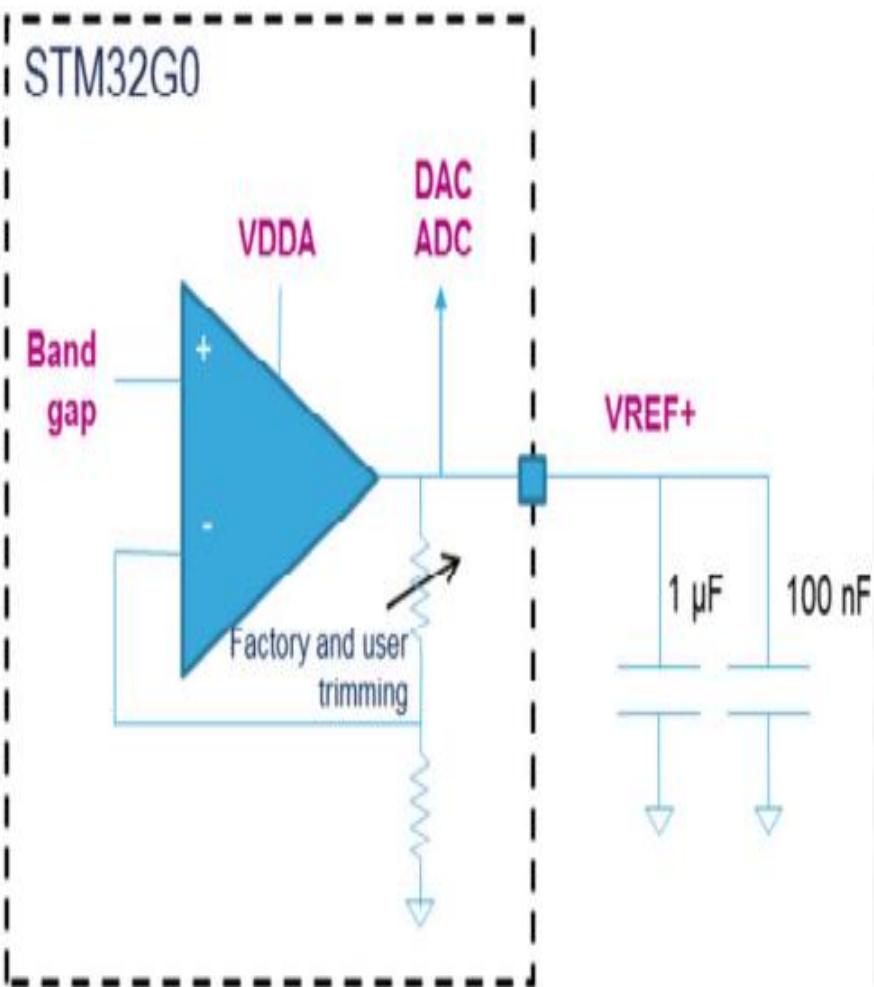
# المبدلات التشابهية الرقمية في متحكمات STM32

## ADC in STM32

□ **الجهد المرجعي للمبدل التشابهي:**

يوجد داخل متحكمات STM32

مولد جهد مرجعي مدمج بداخلها يقوم بتوليد جهد مرجعي ثابت ومستقر حتى عند تغذيته من بطارية و يمكن استخدامه مع المبدل التشابهي الرقمي ADC والمبدل الرقمي التشابهي DAC، و يعطي في خرجه قيمتين إما 2.5 V أو 2.048 V، كما يمكنه أن يغذي أحمال خارجية باستجرار تيار لا يتجاوز الـ mA 4



# المبدلات التشابهية الرقمية في متحكمات STM32

## ADC in STM32

### □ الجهد المرجعي للمبدل التشابهي:

يمكن ضبط الجهد المرجعي للمبدل التشابهي الرقمي ليكون خارجي أو داخلي من خلال البات **ENVR** ، **HIZ** bits الموجودين في المسجل و على المستخدم أن ينتظر حتى يتم تفعيل البت **VREFBUF\_CSR** والذي يعني أن الجهد المرجعي الخارجي قد وصل إلى القيمة المطلوبة **VRR**

ENVR	HIZ	Configuration
0	0	VREF buffer OFF VREF+ pin pulled-down to VSSA
0	1	<b>External voltage reference mode (default):</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• VREF buffer OFF</li><li>• VREF+ pin floating</li></ul>
1	0	Internal voltage reference mode: <ul style="list-style-type: none"><li>• VREF buffer ON</li><li>• VREF+ pin connected to the VREF buffer output</li></ul>
1	1	Hold mode: <ul style="list-style-type: none"><li>• VREF buffer ON</li><li>• VREF+ pin floating. The voltage is held with an external capacitor</li></ul>

# المبدلات التشابهية الرقمية في متحكمات STM32

## ADC in STM32

### □ الجهد المرجعي للمبدل التشابهي:

عند استخدام مولد الجهد المرجعي الداخلي يجب وصل مكثفات على القطب  $V_{ref+}$  وفي هذه الحالة لن تحتاج لوصل دارة خارجية لتوليد الجهد المرجعي، كما يدعم مولد الجهد المرجعي الداخلي قيمتي جهد هي:

-  $V_{DDA} \geq 2.4V$ : وهذا يتطلب أن يكون الجهد على الطرف

-  $V_{DDA} \geq 2.48V$ : وهذا يتطلب أن يكون الجهد على الطرف

# المبدلات التشابهية الرقمية في متحكمات STM32

## ADC in STM32

**الجهد المرجعي للمبدل التشابهي:**

يتم تعريف أقطاب الجهد المرجعي للمتحكم من خلال الـ Datasheet ويفترض أن يتم توصيلها بمجالات معينة من الجهد كما هو موضح بالجدول التالي:

Name	Signal type	Remarks
$V_{REF+}$	Input, analog reference positive	The higher/positive reference voltage for the ADC, $2.4 \text{ V} \leq V_{REF+} \leq V_{DDA}$
$V_{DDA}^{(1)}$	Input, analog supply	Analog power supply equal to $V_{DD}$ and $2.4 \text{ V} \leq V_{DDA} \leq 3.6 \text{ V}$
$V_{REF-}$	Input, analog reference negative	The lower/negative reference voltage for the ADC, $V_{REF-} = V_{SSA}$
$V_{SSA}^{(1)}$	Input, analog supply ground	Ground for analog power supply equal to $V_{SS}$

# المبدلات التشابهية الرقمية في متحكمات STM32

## ADC in STM32

الجهد المرجعي للمبدل التشابهي:

يتم حساب جهد الدخل التشابهي الناتج عن عملية التحويل من خلال العلاقة التالية:

$$V_{in} = \text{ADC\_Res} * (\text{reference voltage} / 4096)$$

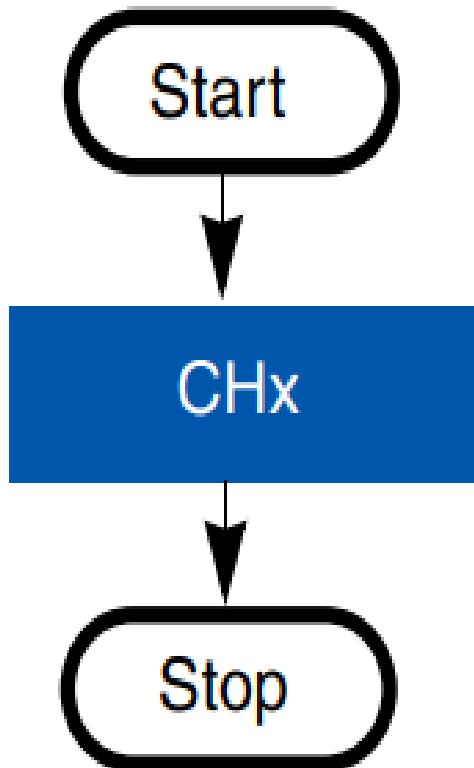
حيث :

$$\text{reference voltage} = (V_{ref+}) - (V_{ref-})$$

# أنماط عمليات التحويل ADC conversion modes

يمكن للمبدل التشابهـي الرقمـي أن يعـمل بعـدة أنـماط عـمل هي :

**Single-channel, single conversion mode**: وهو نـمط العـمل الأـسهل والأـبـسط مـقارـنةً مع بـقـية الأنـماط، حيث يـقـوم الـ ADC بـعملـيـة تحـويل وـحـيدـة (وـعملـيـة أـخـذ عـيـنـات وـحـيدـة) ولـقـاتـة وـاحـدـة فـقط ويـتـوقف عن العـمل بمـجـرـد اـنـتـهـائـه من عـملـيـة التـحـولـيل

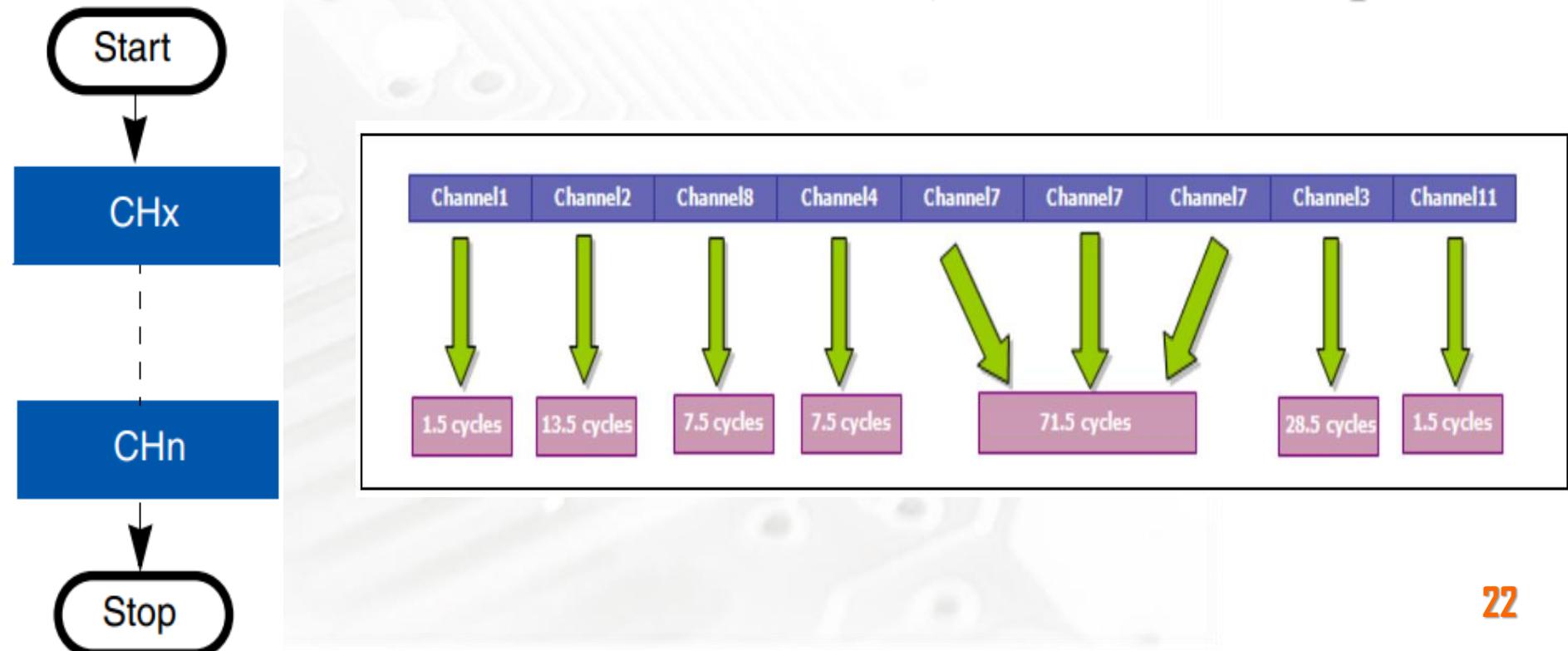


# أنماط عمليات التحويل ADC conversion modes

يمكن للمبدل التشابهى الرقمي أن يعمل بعدة أنماط عمل هي :

:Multichannel (scan) single conversion mode

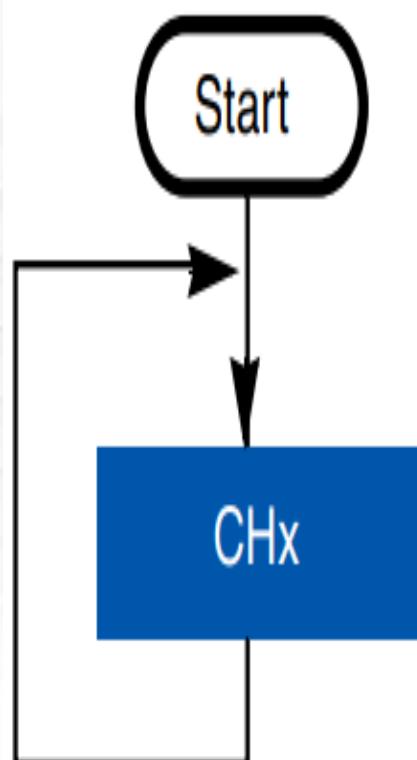
يستخدم هذا النمط من العمل لتحويل الجهود القادمة من عدة قنوات تشابهية ولمرة واحدة فقط، ويمكن اختيار ترتيب القنوات الذي ترغب به من خلال و باستخدام زمن أخذ عينات مختلف لكل قناة من القنوات **ADC sequencer**



# أنماط عمليات التحويل ADC conversion modes

يمكن للمبدل التشابهـي الرقمـي أن يعـمل بعـدة أنـماط عـمل هـي :

□ **Single-channel continuous conversion mode**: في هذا النـمـط من العـمل يـتم تحـويل الـقيـمة التـشاـبـهـيـة الـقادـمـة عـلـى قـنـاة وـاحـدة إـلـى قـيـمة رـقـمـيـة وـتـعـاد عـمـلـيـة التـحـولـيـل بـشـكـل مـسـتـمر

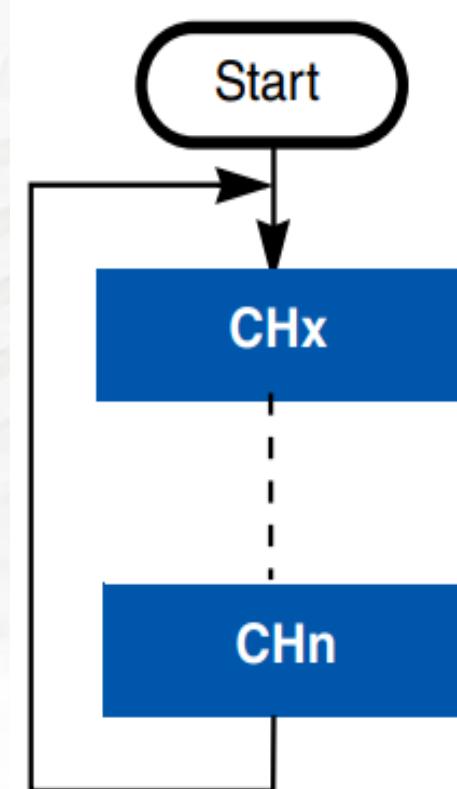


# أنماط عمليات التحويل ADC conversion modes

يمكن للمبدل التشابهى الرقمي أن يعمل بعدة أنماط عمل هي :

:**Multichannel (scan) , continuous conversion mode**

يستخدم هذا النمط من العمل لتحويل الجهود القادمة من عدة قنوات تشابهية إلى قيم رقمية ويعيد العملية بشكل مستمر وذلك تبعاً لترتيب معين للقنوات



# طرق قراءة المبدل التشابهي الرقمي ADC conversion modes

يوجد ثلاث طرق رئيسية لقراءة الـ ADC هي:

**Polling Method** : تعتبر الطريقة الأسهل في كتابة الكود لقراءة القيمة القادمة من إحدى القنوات التشابهية، ولكنها ليست الأكثر فعالية ، حيث علينا أن نبدأ بعملية التحويل وتتوقف الـ CPU عن تنفيذ الكود وتنظر لحين الانتهاء من عملية التحويل حينها يمكن للـ CPU استكمال تنفيذ الكود الرئيسي

**The interrupt Method** : تعتبر هذه الطريقة طريقة فعالة لاستخدام المبدل التشابهي الرقمي ، حيث يقوم بقدر المبدل فقط و يمكن للـ CPU أن تستكمل تنفيذ الكود والمهام المطلوبة منها لحين انتهاء عملية التحويل عنها سيقوم المبدل بطلب مقاطعة وستتوجه الـ CPU لبرنامجه خدمة المقاطعة

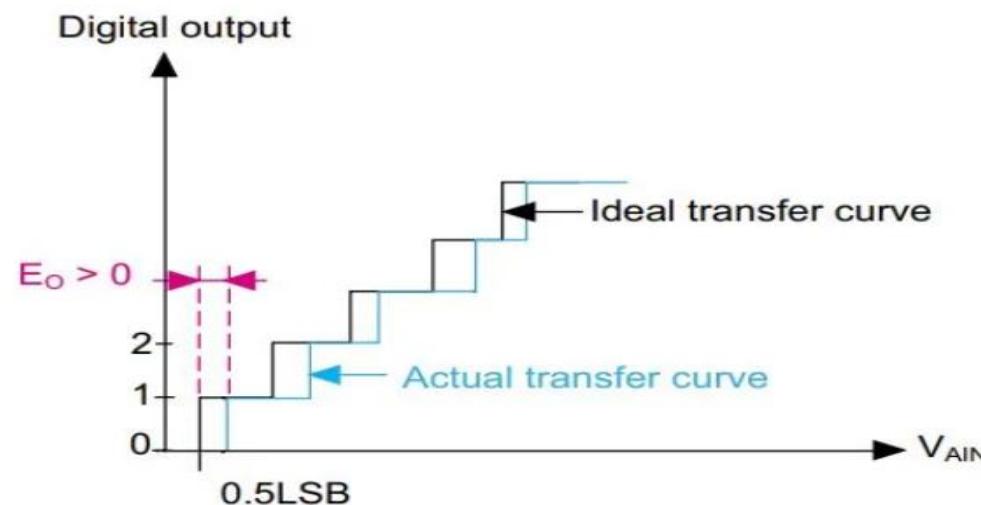
**DMA Method** : وهي الطريقة الأكثر فعالية في استخدام المبدل التشابهي الرقمي

# الأخطاء الناتجة عن التحويل

قد تنتج عن عملية التحويل التشابهي عدة أخطاء سنذكر نوعين منها هما الأكثر شيوعاً:

وهو الخطأ الناتج بين أول عملية تحويل فعلية و أول عملية تحويل متوقعة ، حيث تتم أول عملية تحويل عندما يتغير خرج المبدل من 0 إلى 1 ، يتم ذلك بالحالة المثالية عندما يتغير الدخل التشابهي بين الـ 0.5 LSB والـ 1.5 LSB عددها يكون الخرج الرقمي 1 منطقي، ويتم الإشارة إلى خطأ الإزاحة ب  $E_o$  ويمكن معايرته من خلال الكود

Positive offset error representation

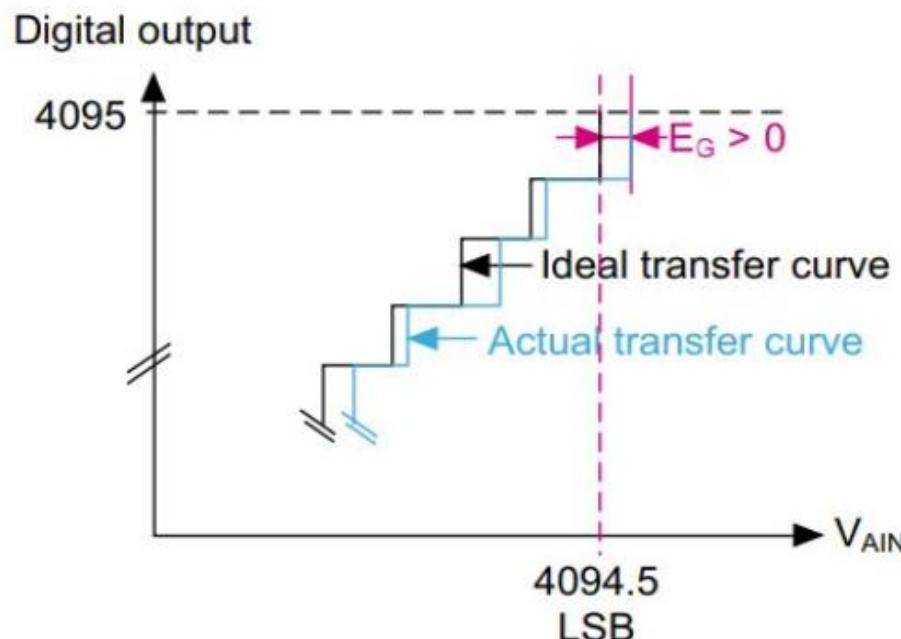


# الأخطاء الناتجة عن التحويل

قد تنتج عن عملية التحويل التشابهى عدة أخطاء سنذكر نوعين منها هما الأكثر شيوعاً:

خطأ الربح Gain error : وهو الانحراف بين آخر تحويل فعلى وأخر تحويل مثالى ويعبر عنه بـ  $E_G$  حيث يتم آخر تحويل فعلى عند الانتقال بين 0xFFFF والـ 0xFFE

Positive gain error representation



# دوال مكتبة HAL المستخدمة للتعامل مع المبدل التشابهي الرقمي في وضع الـ Polling

- لبدء المعايرة الذاتية للمبدل التشابهي الرقمي :adc1

**HAL\_ADCEx\_Calibration\_Start(&hadc1);**

- إعطاء إشارة البدء للمبدل التشابهي الرقمي ليكون جاهز فيما بعد لإجراء عمليات التحويل

**HAL\_ADC\_Start(&hadc1);**

- لطلب عملية تحويل من المبدل التشابهي الرقمي

**HAL\_ADC\_PollForConversion(&hadc1, 1);**

- إسناد ناتج عملية التحويل إلى المتغير **AD\_RES**

**AD\_RES = HAL\_ADC\_GetValue(&hadc1);**

# دوال مكتبة HAL المستخدمة للتعامل مع المبدل التشابهي الرقمي في وضع الـ Interrupt

- لبدء المعايرة الذاتية للمبدل التشابهي الرقمي :adc1

**HAL\_ADCEx\_Calibration\_Start(&hadc1);**

- إعطاء إشارة البدء للمبدل التشابهي الرقمي ليكون جاهز فيما بعد لإجراء عمليات التحويل

**HAL\_ADC\_Start\_IT(&hadc1);**

- إسناد ناتج عملية التحويل إلى المتغير AD\_RES

**AD\_RES = HAL\_ADC\_GetValue(&hadc1);**

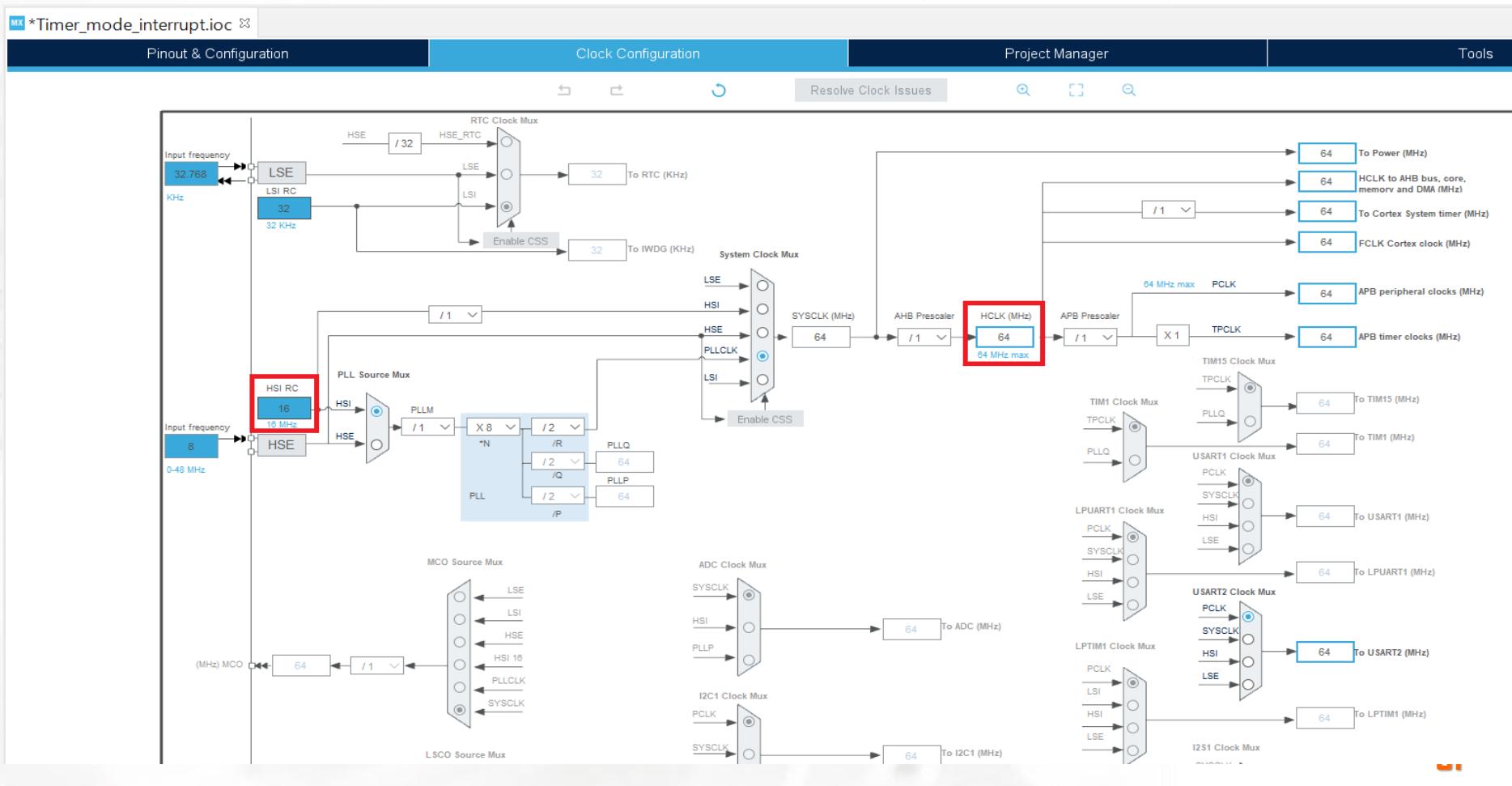
# التطبيق 1: التحكم بشده إصاءه ليد موصول على أحد أقطاب الـ PWM من خلال مقاومة متغيرة موصولة على أحد أقطاب الدخل التشابهي باستخدام نمط Polling

سنقوم بتنفيذ المشروع وفقاً للتسلسل التالي:

- ضبط تردد ساعة المتحكم
- ضبط قطب الدخل التشابهي CH7 في نمط التحويل لمرة واحدة Single conversion mode حيث سنربط مقاومة متغيرة معه.
- ضبط الـ timer2 في نمط PWM على القناة CH1 وسنربط معه ليد.

# التطبيق 1: التحكم بشدة إصاءه ليد موصول على أحد أقطاب الـ PWM من خلال مقاومة متغيرة موصولة على أحد أقطاب الدخل التشابهي باستخدام نمط Polling

## ضبط تردد ساعة المتحكم -



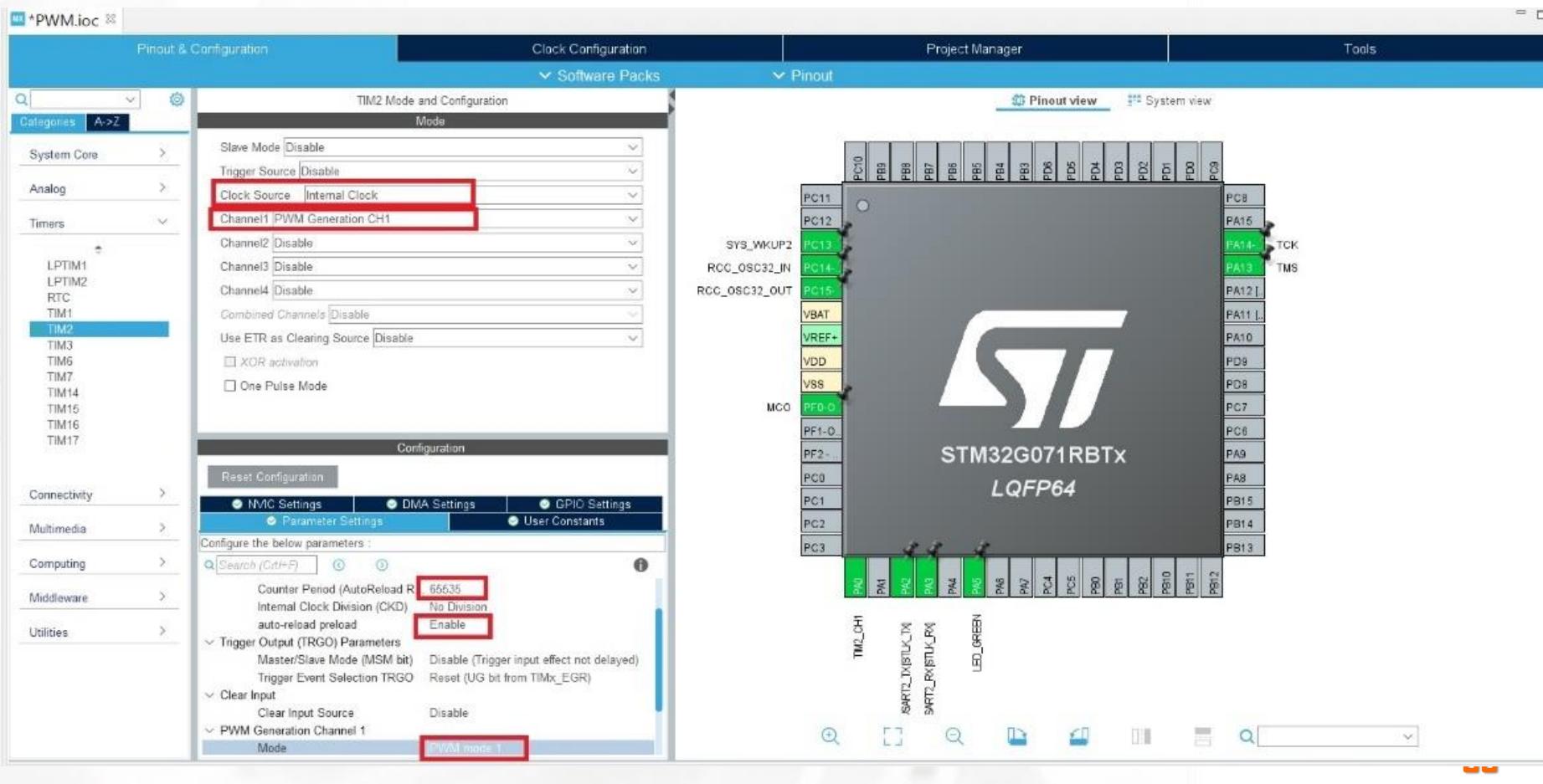
# التطبيق 1: التحكم بشده إصاءه ليد موصول على أحد أقطاب الـ PWM من خلال مقاومة متغيرة موصولة على أحد أقطاب الدخل التشابهي باستخدام نمط Polling

- ضبط قطب الدخل التشابهي CH7 في نمط التحويل لمرة واحدة حيث سرّبط مقاومة متغيرة معه.

The screenshot shows the STM32CubeMX software interface. On the left, the 'Pinout & Configuration' tab is selected, displaying the 'ADC1 Mode and Configuration' section. Under the 'Mode' dropdown, 'IN5' is selected. In the 'Configuration' section, 'SamplingTime Common 2' is set to 1.5 Cycles, 'Number Of Conversion' is 1, and 'Trigger Frequency' is set to 'High frequency'. On the right, the 'Pinout view' shows the STM32G071RBTx LQFP64 package with pins labeled PC0 through PC15, PA0 through PA15, and PB0 through PB13. Specific pins are highlighted in green: PC13, PC14, PC15, PA14, and PA13. Labels for 'SYS\_WKUP2', 'RCC\_OSC32\_IN', 'RCC\_OSC32\_OUT', 'VBAT', 'VRE.', 'VDD', 'VSS', 'MC0', 'PF0...', 'PF1...', 'PF2...', 'PC0', 'PC1', 'PC2', 'PC3', 'PA8', 'PB14', and 'PB13' are also visible.

# التطبيق 1: التحكم بشدة إصاءه ليد موصول على أحد أقطاب الـ PWM من خلال مقاومة متغيرة موصولة على أحد أقطاب الدخل الشابهي باستخدام نمط Polling

- ضبط الـ timer2 في نمط PWM على القناة CH1 وسربط معه ليد.



**التطبيق 1: التحكم بشده إصاءه ليد موصول على أحد أقطاب آلة PWM من خلال مقاومة متغيرة موصولة على أحد أقطاب الدخل التشابهي باستخدام نمط Polling**

```
#include "main.h"
```

```
ADC_HandleTypeDef hadc1;
```

```
TIM_HandleTypeDef htim2;
```

```
void SystemClock_Config(void);
```

```
static void MX_GPIO_Init(void);
```

```
static void MX_ADC1_Init(void);
```

```
static void MX_TIM2_Init(void);
```

**التطبيق 1: التحكم بشده إصاءه ليد موصول على أحد أقطاب آلة PWM من خلال مقاومة متغيرة موصولة على أحد أقطاب الدخل التشابهي باستخدام نمط Polling**

```
int main(void)
{
    uint16_t AD_RES = 0;

    HAL_Init();
    SystemClock_Config();
    MX_GPIO_Init();
    MX_ADC1_Init();
    MX_TIM2_Init();
```

**التطبيق 1: التحكم بـشدة إصاءه لـيد موصول على أحد أقطاب آلة PWM من خلال مقاومة متغيرة موصولة على أحد أقطاب الدخل التشابهي باستخدام نمط Polling**

```
HAL_TIM_PWM_Start(&htim2, TIM_CHANNEL_1);
// Calibrate The ADC On Power-Up For Better
Accuracy
HAL_ADCEx_Calibration_Start(&hadc1);
while (1)
{
    // Start ADC Conversion
    HAL_ADC_Start(&hadc1);
    // Poll ADC1 Peripheral & TimeOut = 1mSec
    HAL_ADC_PollForConversion(&hadc1, 1);
```

**التطبيق 1: التحكم بـشدة إصاءه لـيد موصول على أحد أقطاب آلة PWM من خلال مقاومة متغيرة موصولة على أحد أقطاب الدخل التشابهي باستخدام نمط Polling**

```
HAL_TIM_PWM_Start(&htim2, TIM_CHANNEL_1);  
// Read The ADC Conversion Result & Map It To PWM  
DutyCycle
```

```
AD_RES = HAL_ADC_GetValue(&hadc1);
```

```
TIM2->CCR1 = (AD_RES<<4);
```

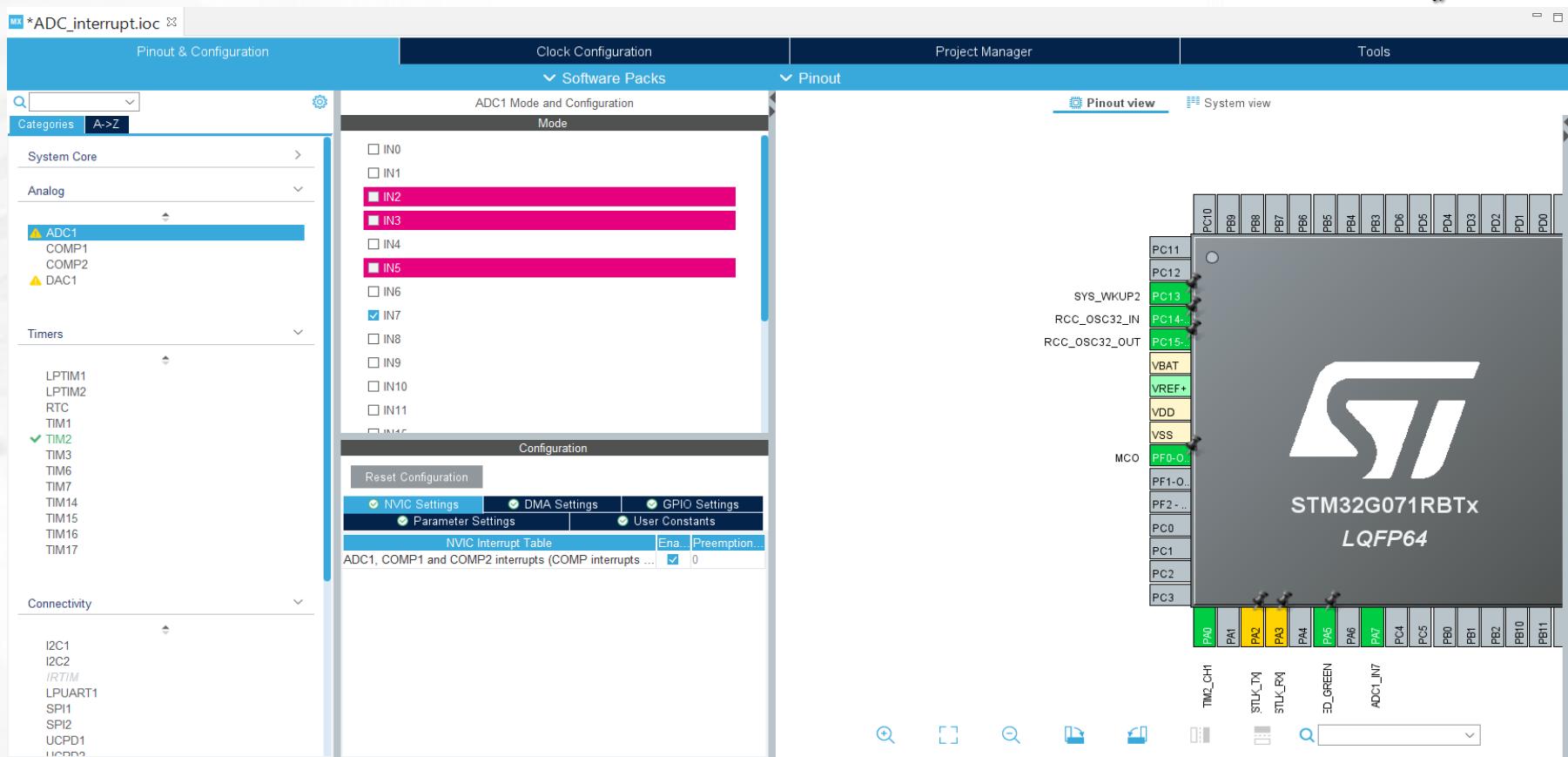
```
HAL_Delay(1);
```

```
}
```

```
}
```

# التطبيق 2: التحكم بشده إصاءه ليد موصول على أحد اقطاب الـ PWM من خلال مقاومة متغيرة موصولة على أحد أقطاب الدخل التشابهي باستخدام نمط Interrupt

سنقوم بإعادة الإعدادات السابقة بالإضافة إلى تفعيل مقاطعة المبدل التشابهي الرقمي



**التطبيق 2: التحكم بـشدة إصاءه لـPin موصول على أحد أقطاب AD من خلال مقاومة متغيرة موصولة على أحد أقطاب الدخل PWM التشابهي باستخدام نمط Interrupt**

```
#include "main.h"

uint16_t AD_RES = 0;
ADC_HandleTypeDef hadc1;
TIM_HandleTypeDef htim2;
void SystemClock_Config(void);
static void MX_GPIO_Init(void);
static void MX_ADC1_Init(void);
static void MX_TIM2_Init(void);
```

**التطبيق 2: التحكم بـشدة إصاءه لـLED موصول على أحد أقطاب AD من خلال مقاومة متغيرة موصولة على أحد أقطاب الدخل PWM التشابهي باستخدام نمط Interrupt**

```
int main(void)
{
    HAL_Init();
    SystemClock_Config();
    MX_GPIO_Init();
    MX_ADC1_Init();
    MX_TIM2_Init();
    HAL_TIM_PWM_Start(&htim2,
TIM_CHANNEL_1);
```

**التطبيق 2: التحكم بـشدة إصاءه لـيد موصول على أحد أقطاب آلة PWM من خلال مقاومة متغيرة موصولة على أحد أقطاب الدخل الشابهي باستخدام نمط Interrupt**

```
HAL_ADCEx_Calibration_Start(&hadc1);  
while (1)  
{  
    // Start ADC Conversion  
    HAL_ADC_Start_IT(&hadc1);  
    // Update The PWM Duty Cycle With Latest ADC  
    // Conversion Result  
    TIM2->CCR1 = (AD_RES<<4);  
    HAL_Delay(1);  
}
```

**التطبيق 2: التحكم بـشدة إصاءه لـيد موصول على أحد أقطاب الـ**  
**PWM من خلال مقاومة متغيرة موصولة على أحد أقطاب الدخل**  
**التشابهي باستخدام نمط Interrupt**

```
Void HAL_ADC_ConvCpltCallback(ADC_HandleTypeDef*  
hadc)  
{  
    // Read & Update The ADC Result  
    AD_RES = HAL_ADC_GetValue(&hadc1);  
}
```

Thank you for listening