

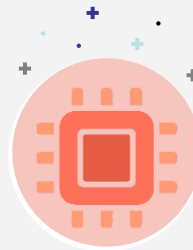


In The Name of God

Faculty of Electrical Engineering
Microprocessor Laboratory



V1 (@2025)



Microprocessor LAB

Lecture 9:

Timer/Counter in STM32 – Part 2

By: M.Razeghizadeh

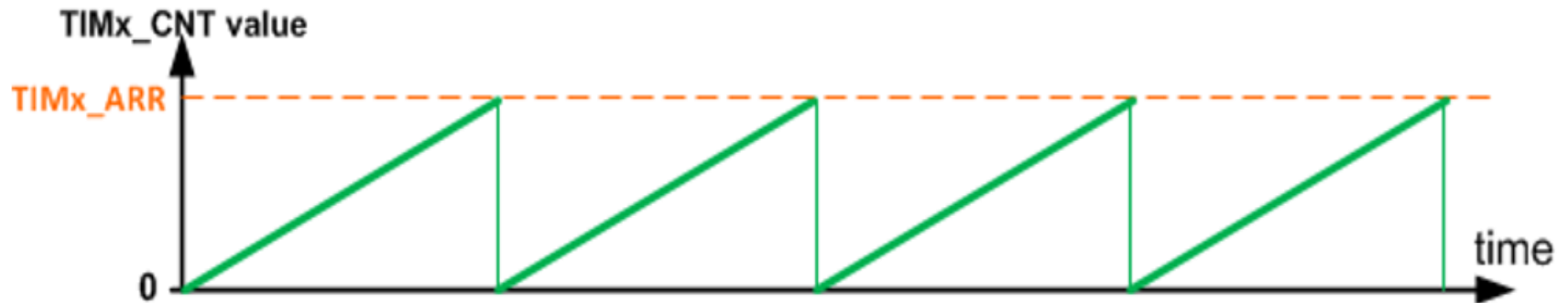
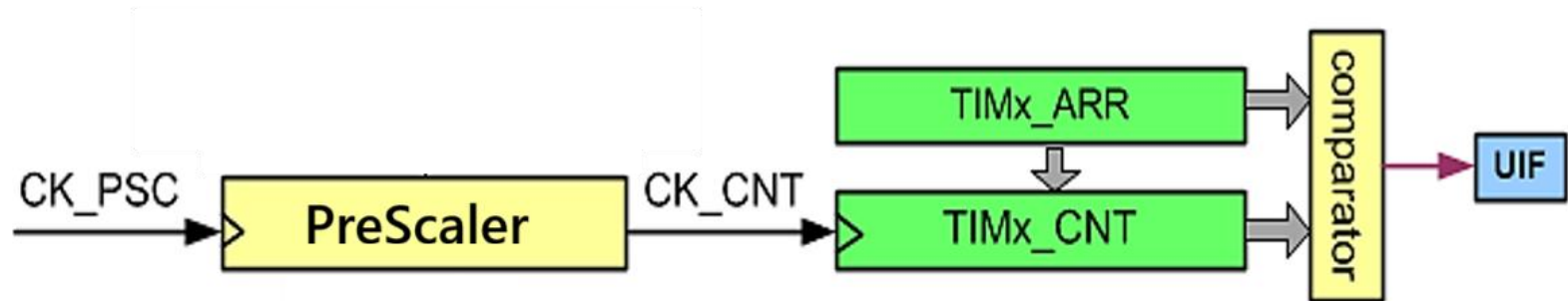
Start now!



مشکل استفاده از Delay در میکروکنترلرها

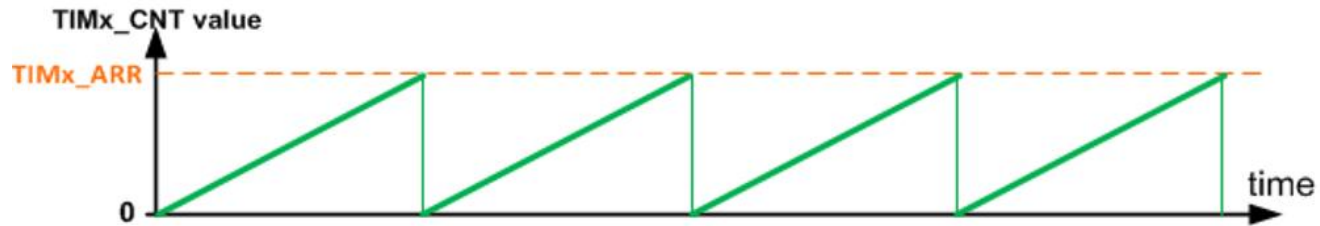
- همان طور که در قسمت اول گفته شد، تایمرها کاربردهای زیادی دارند و می توان آن ها را در حالت های مختلفی تنظیم و استفاده کرد. در قسمت قبل آموزش کار با واحد تایمر با توابع HAL، در مورد حالت های Input capture و Time Base در تایمرها، صحبت شد. در این قسمت، جزئیات کار با PWM و نحوه تولید شکل موج های مختلف به وسیله آن بررسی خواهد شد.
- یکی از حالت های کاری بسیار پر استفاده تایمرها، PWM یا مدولاسیون پهنای پالس (Pulse-Width Modulation) است.
- در ادامه، ابتدا این مدولاسیون را معرفی کرده و از آن در کنترل میانگین ولتاژ استفاده خواهیم نمود.
- سپس برای استفاده پیشرفته تر، به معرفی مفاهیم اولیه تولید سیگنال و فیلتر پرداخته خواهد شد.
- سپس چگونگی تولید شکل موج های مختلف به وسیله PWM و همچنین نحوه استفاده از PWM به عنوان یک مبدل دیجیتال به آنالوگ (DAC) را بررسی خواهیم کرد.

CNT, ARR, PSC





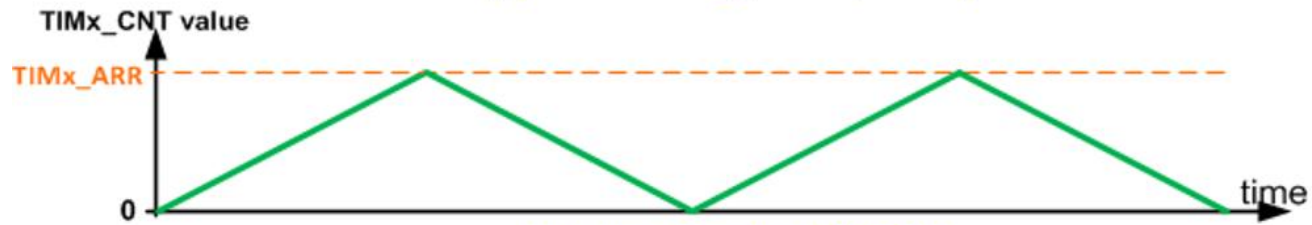
Counting Direction



(a) Up Counting ($CMS = 0, DIR = 0$)



(b) Down Counting ($CMS = 0, DIR = 1$)

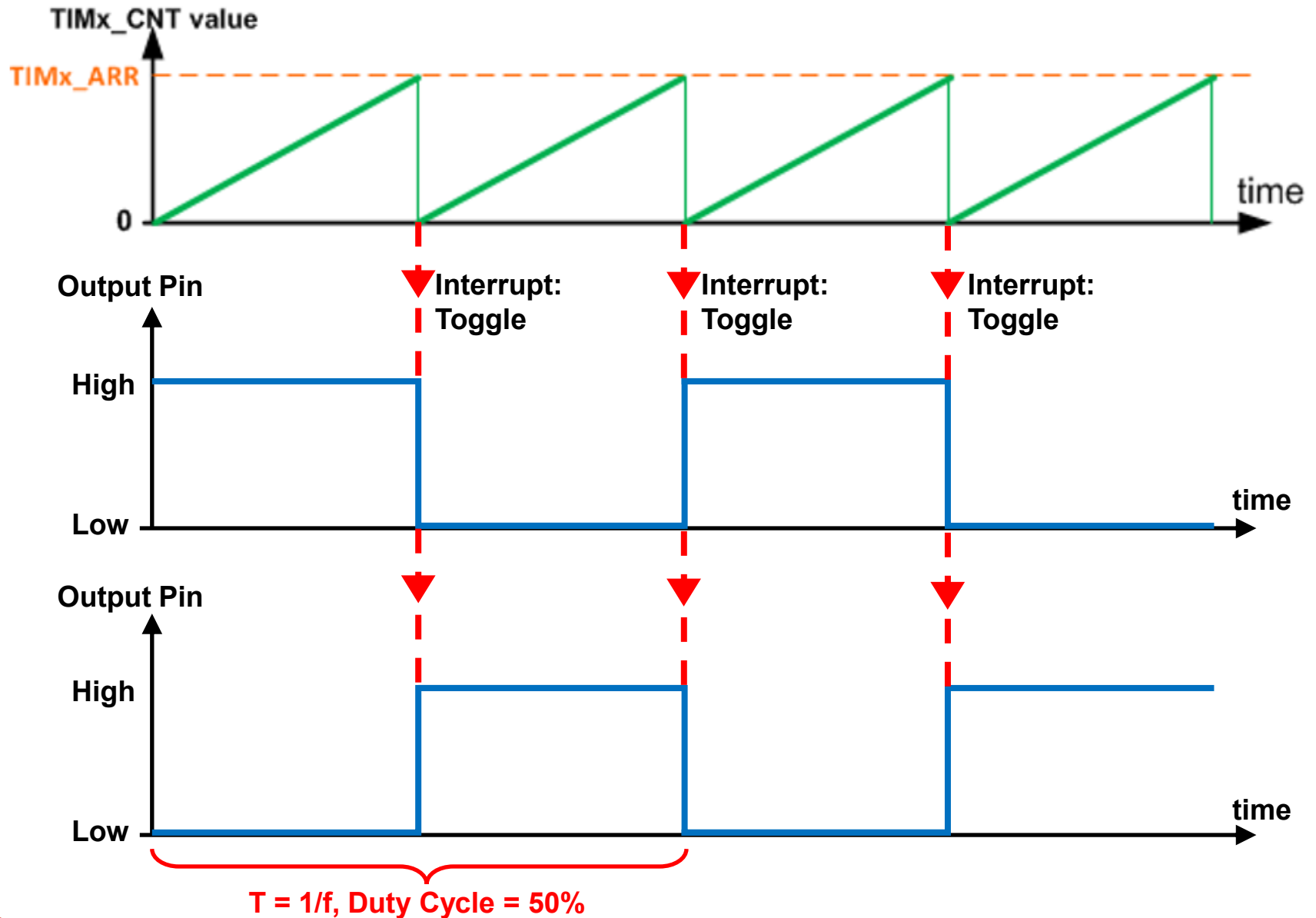


(c) Up-down Counting ($CMS > 00$)

CMS	DIR	Counting mode	Counting event (interrupt flag set)
00	0	Counting up	When the counter reaches ARR
00	1	Counting down	When the counter reaches 0
01	X	Count up and down	When the counter reaches 0 and ARR
10	X	Count up and down	When the counter reaches 0 and ARR
11	X	Count up and down	When the counter reaches 0 and ARR

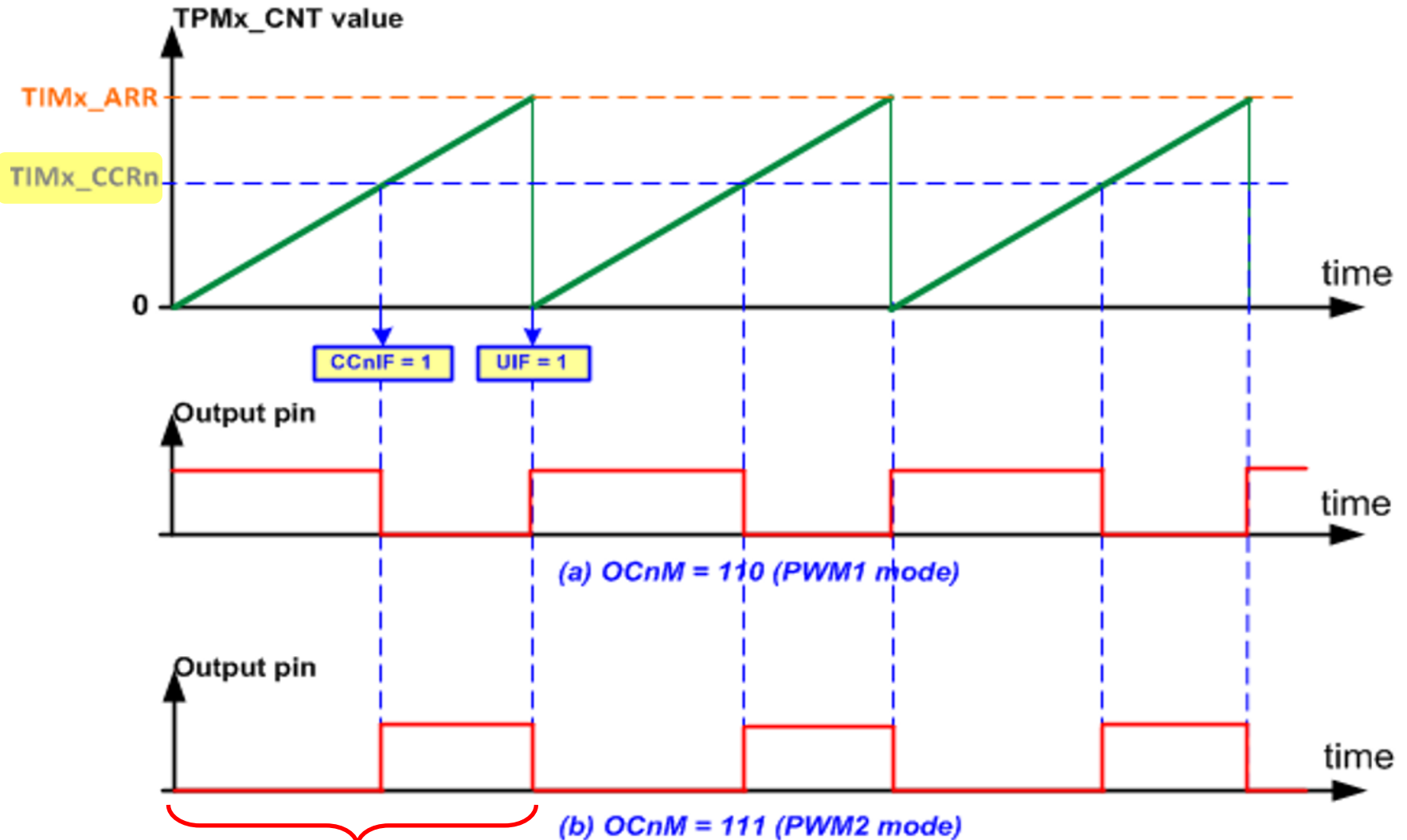


Counting Direction



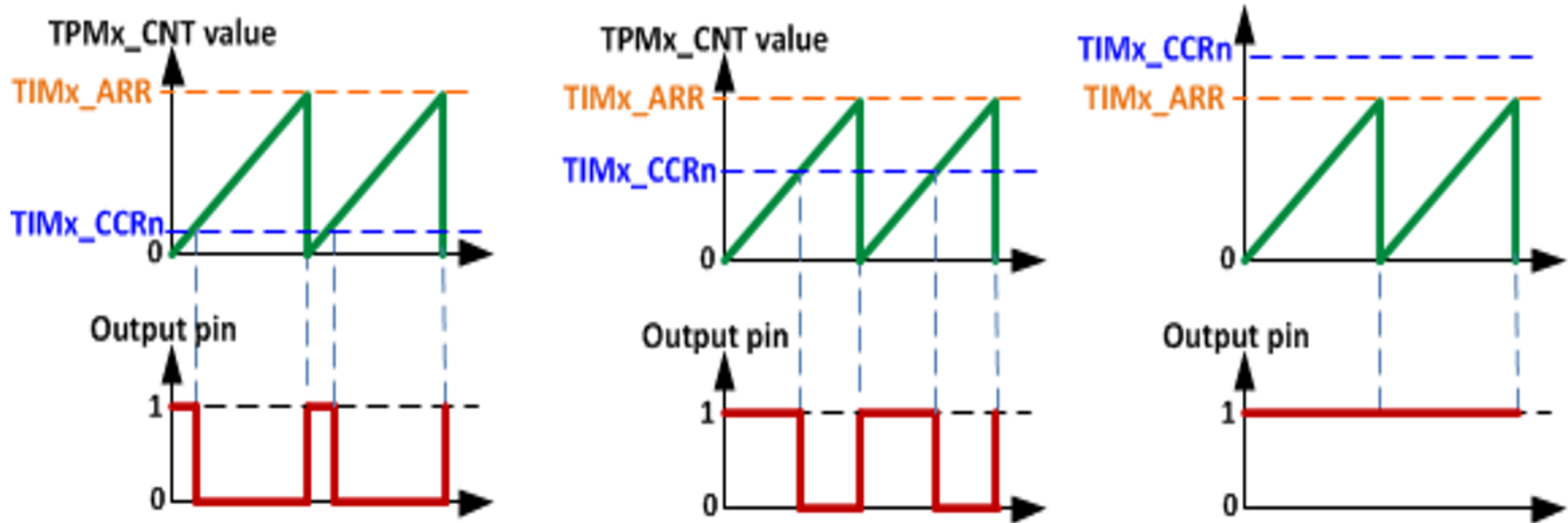


PWM در مد بالا شمار



$T = 1/f$, Duty Cycle = variable

PWM در مد بالاشمار

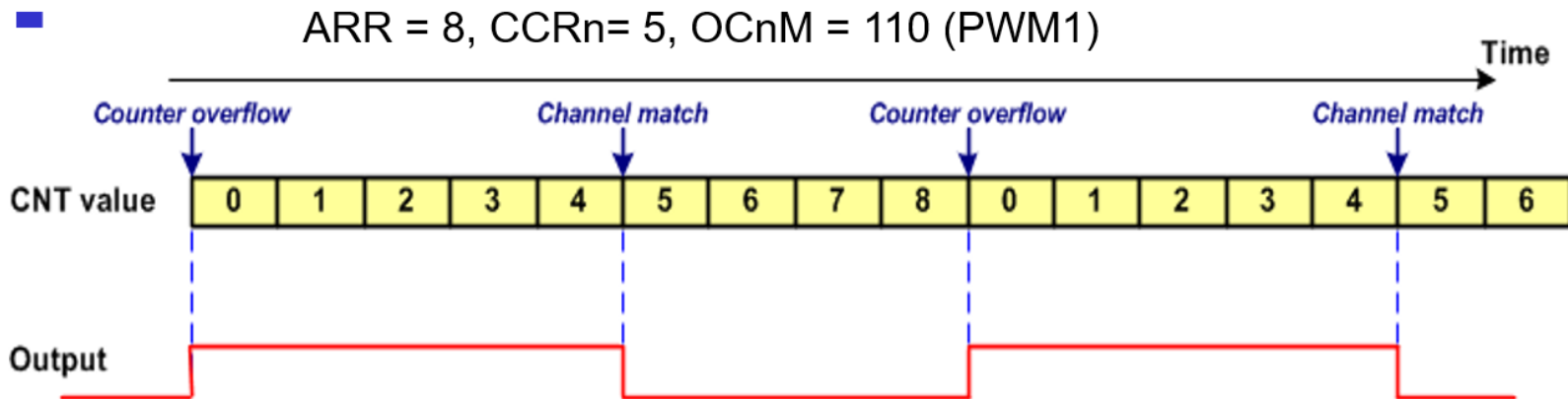


➤ به وسیله PWM می‌توان از طریق کنترل Duty Cycle یا زمان on بودن و off بودن موج مربعی، متوسط دامنه ولتاژ خروجی را کنترل نمود. این عمل کاربردهای بسیار زیادی دارد که از جمله آن‌ها می‌توان به کنترل شدت روشنایی، کنترل سرعت موتور و... اشاره کرد.



PWM در مد بالا شمار

➤ محاسبه فرکانس و Duty Cycle مربوط به سیگنال PWM در مد بالا شمار:



■
$$duty\ cycle = \frac{TIMx_CCRn}{TIMx_ARR+1} \times 100$$

■
$$F_{generated\ wave} = \frac{\frac{F_{timer\ clock}}{prescaler}}{ARR+1} = \frac{F_{timer\ clock}}{(ARR+1) \times (PSC+1)}$$



PWM در مد بلاشمار

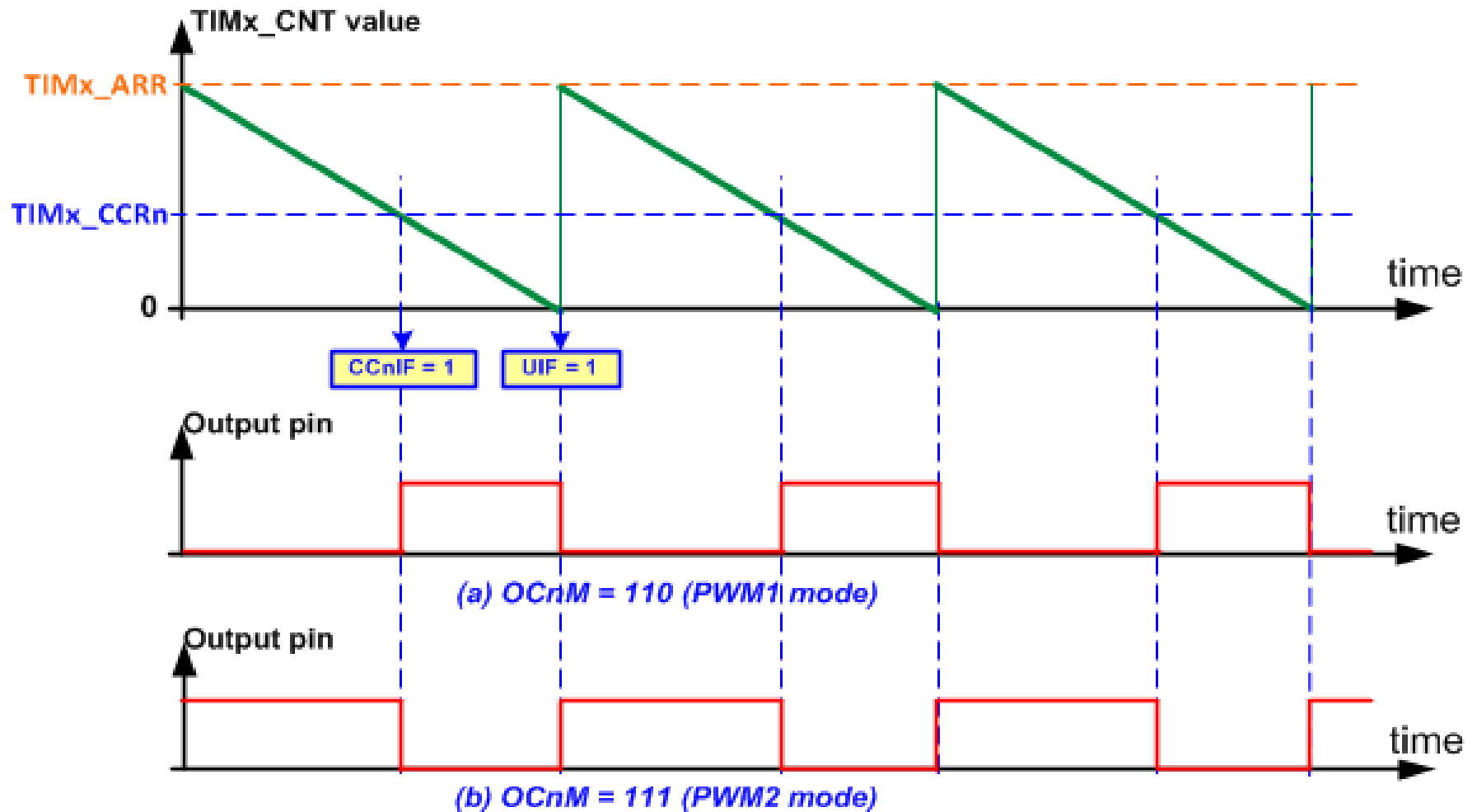
- فرکانس (F) و عرض پالس (DC, duty cycle) یک سیگنال PWM را بیابید اگر:
- $TIMx_ARR = 999$
- $TIMx_CCRn = 250$
- $OCnM = 110$ (PWM1)
- $Prescaler=0$
- فرکانس کلاک تایمر TIMx برابر 72 MHz باشند.

$$\text{Frequency} = \frac{72M}{(999+1)} = 72KHz.$$

$$\text{Duty Cycle} = \left[\frac{TIMx_CCR}{TIMx_ARR + 1} \right] \times 100 = \left(\frac{250}{1000} \right) \times 100 = 25\%.$$



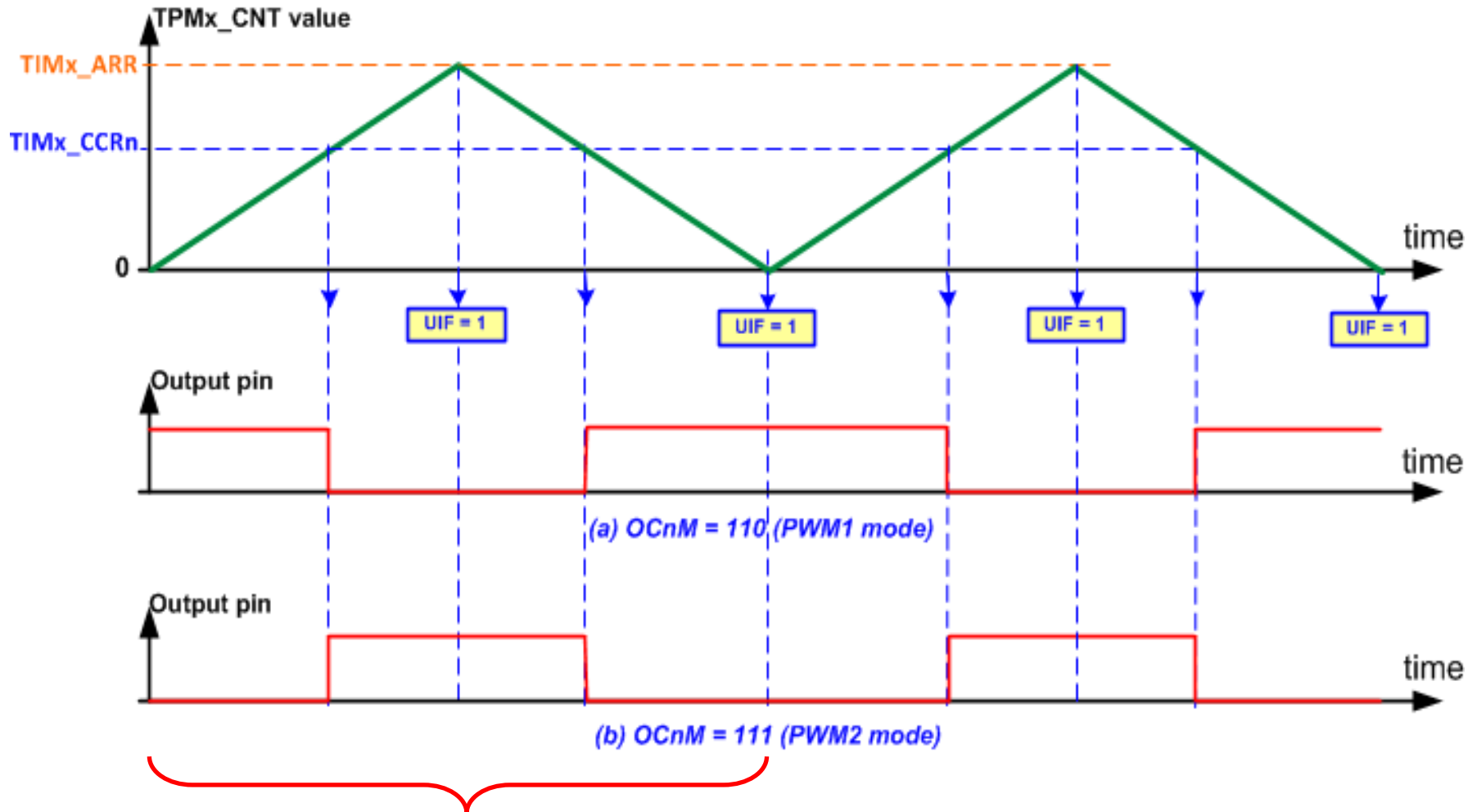
PWM در مد پایین شمار



$T = 1/f$, Duty Cycle = variable

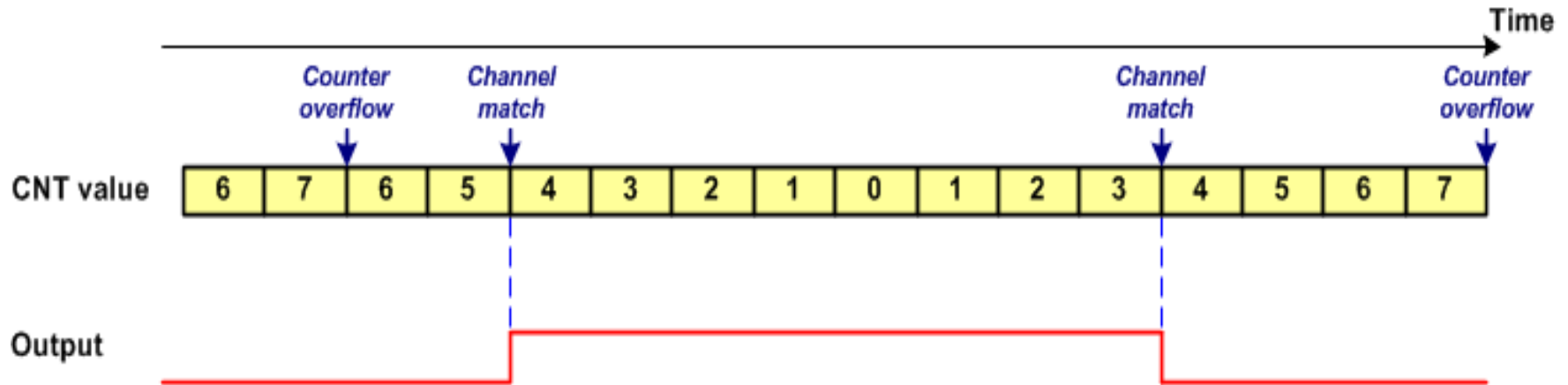


PWM در مد بالا-پایین شمار



$T = 1/f$, Duty Cycle = variable

PWM در مد بالا-پایین شمار



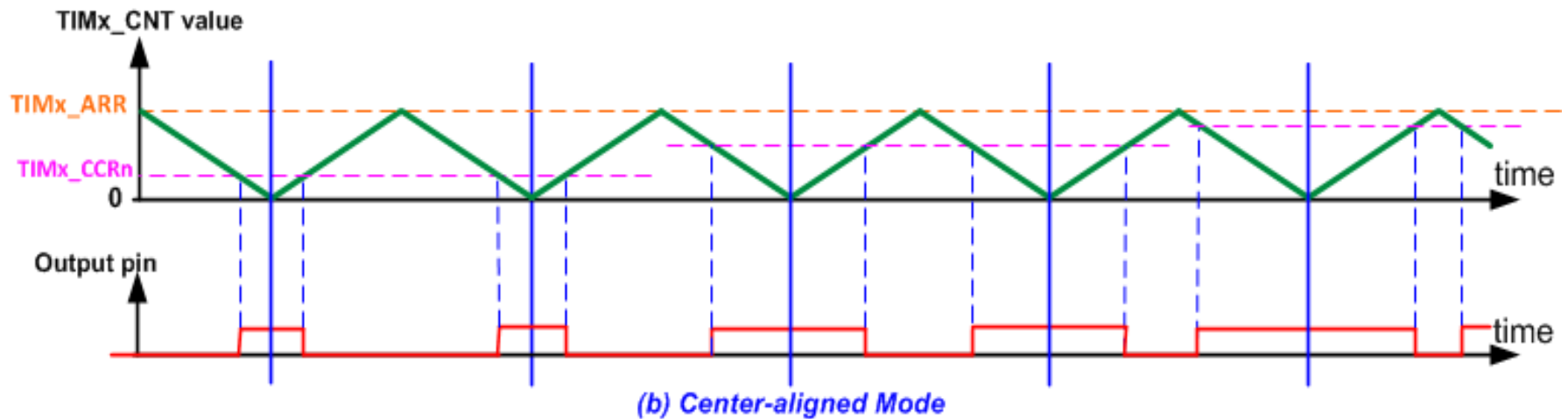
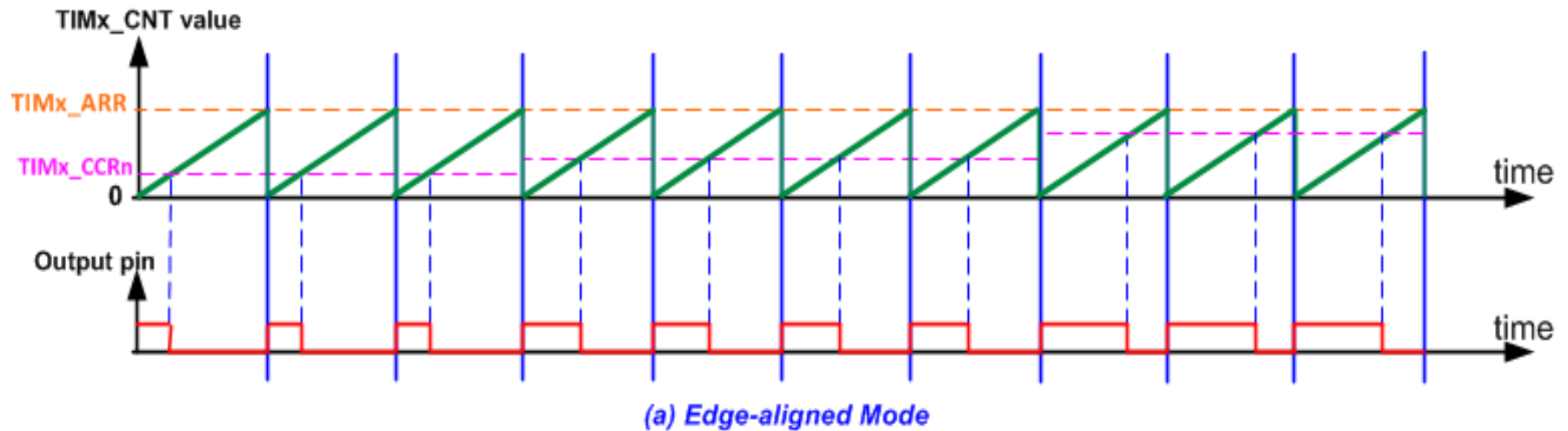
$$\blacksquare \text{ duty cycle} = \frac{TIMx_CCRn \times 2}{TIMx_ARR \times 2} \times 100 = \frac{TIMx_CCRn}{TIMx_ARR} \times 100$$

$$\blacksquare F_{generated\ wave} = \frac{F_{timer\ clock} / prescaler}{2 \times ARR} = \frac{F_{timer\ clock}}{2 \times ARR \times (1 + PSC)}$$

چرا ARR مثل قبل بعلاوه 1 ندارد؟



مقایسه مدهای Center-aligned و Edge-aligned

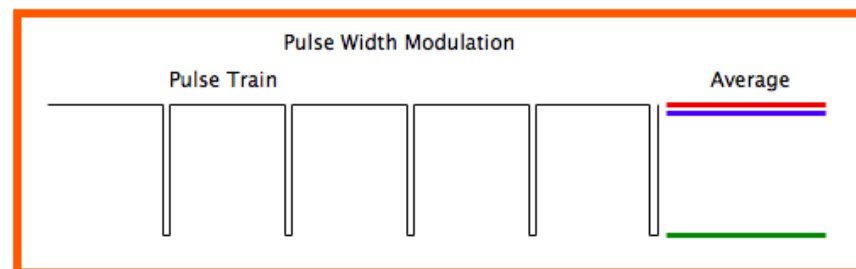
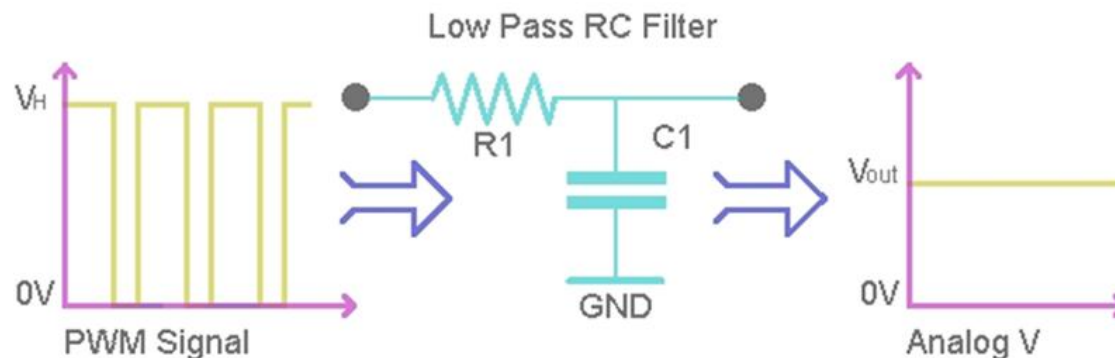


Pulse-width modulation

- وقتی یک سیگنال PWM را از یک فیلتر پایین‌گذر عبور می‌دهیم، در خروجی یک ولتاژ (یا سیگنال) آنالوگ به دست می‌آوریم که متناسب با دیوتی‌سایکل است و به صورت زیر داده می‌شود:

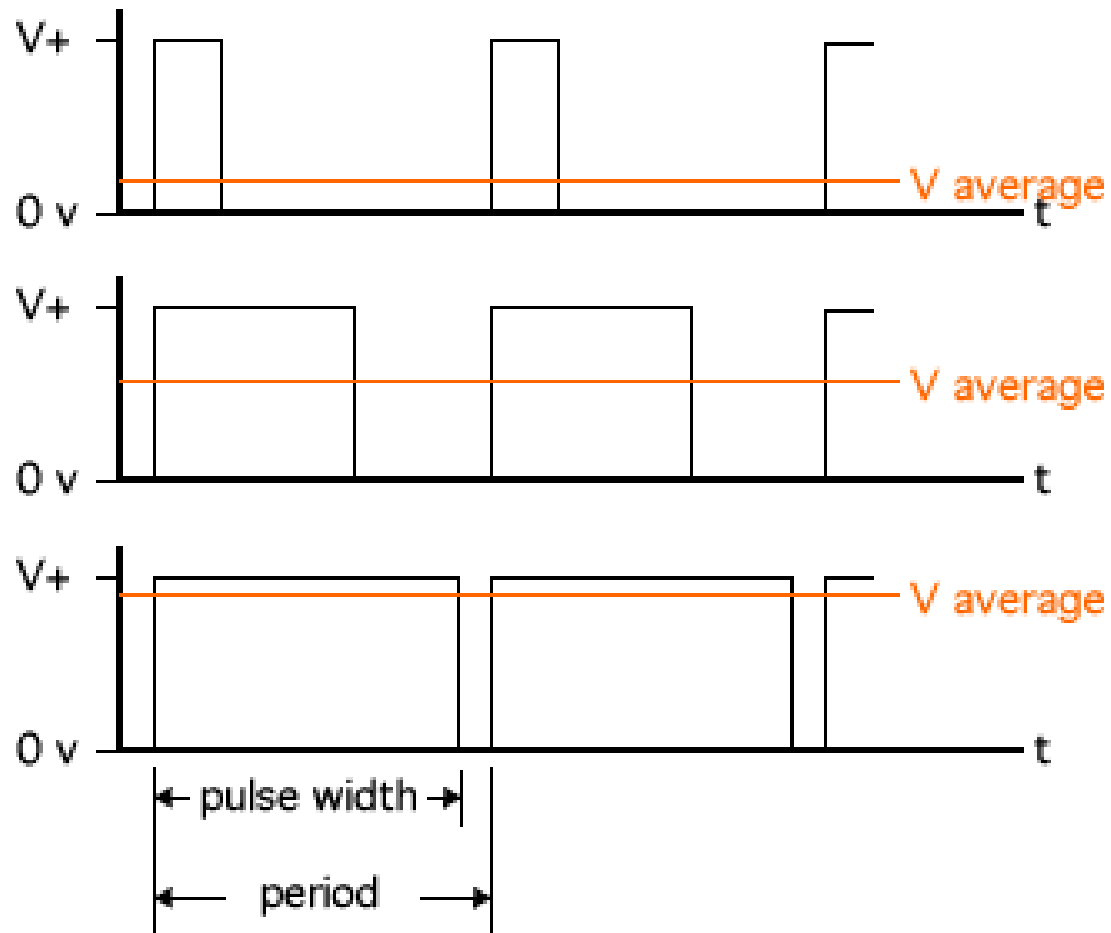
$$V_{out} = V_H \times \text{Dutycycle}$$

- که در آن V_H برابر با ولتاژ سطح منطقی High در پالس PWM است. در مثال ما این مقدار $\frac{3}{3}$ ولت می‌باشد.



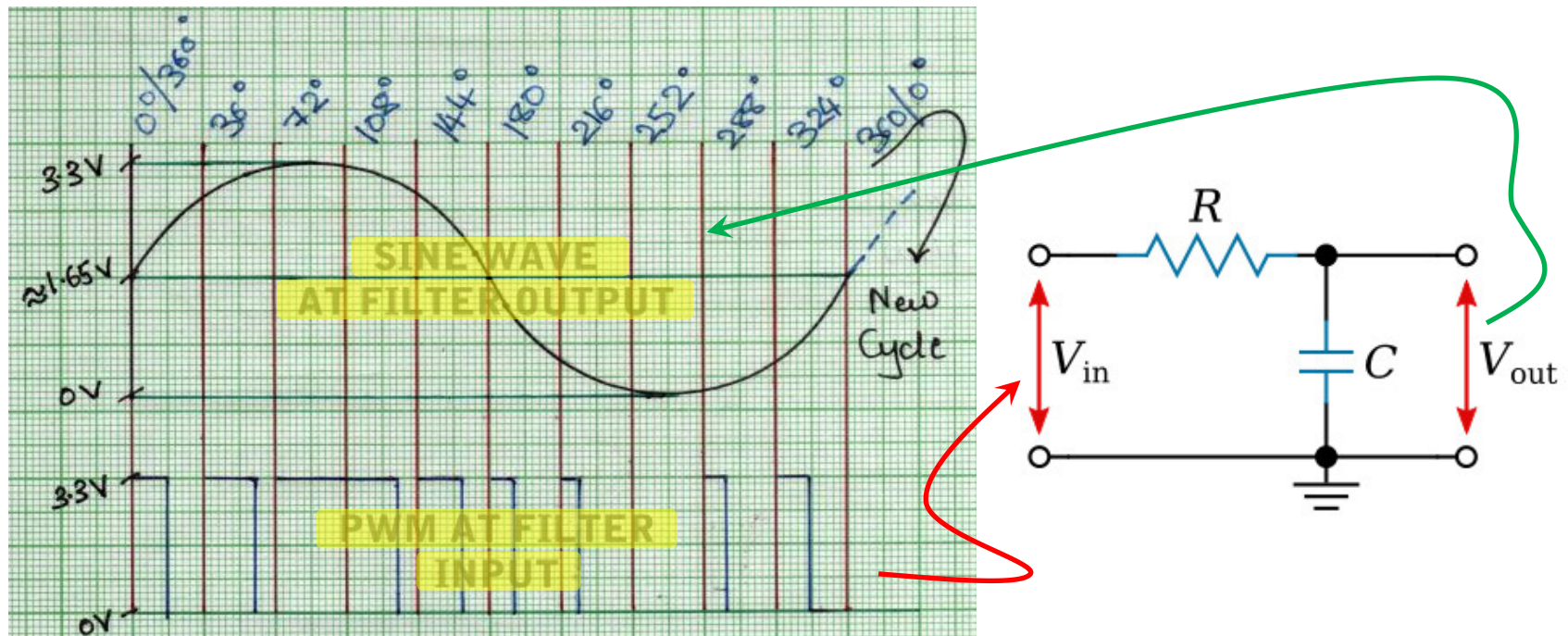


Pulse-width modulation



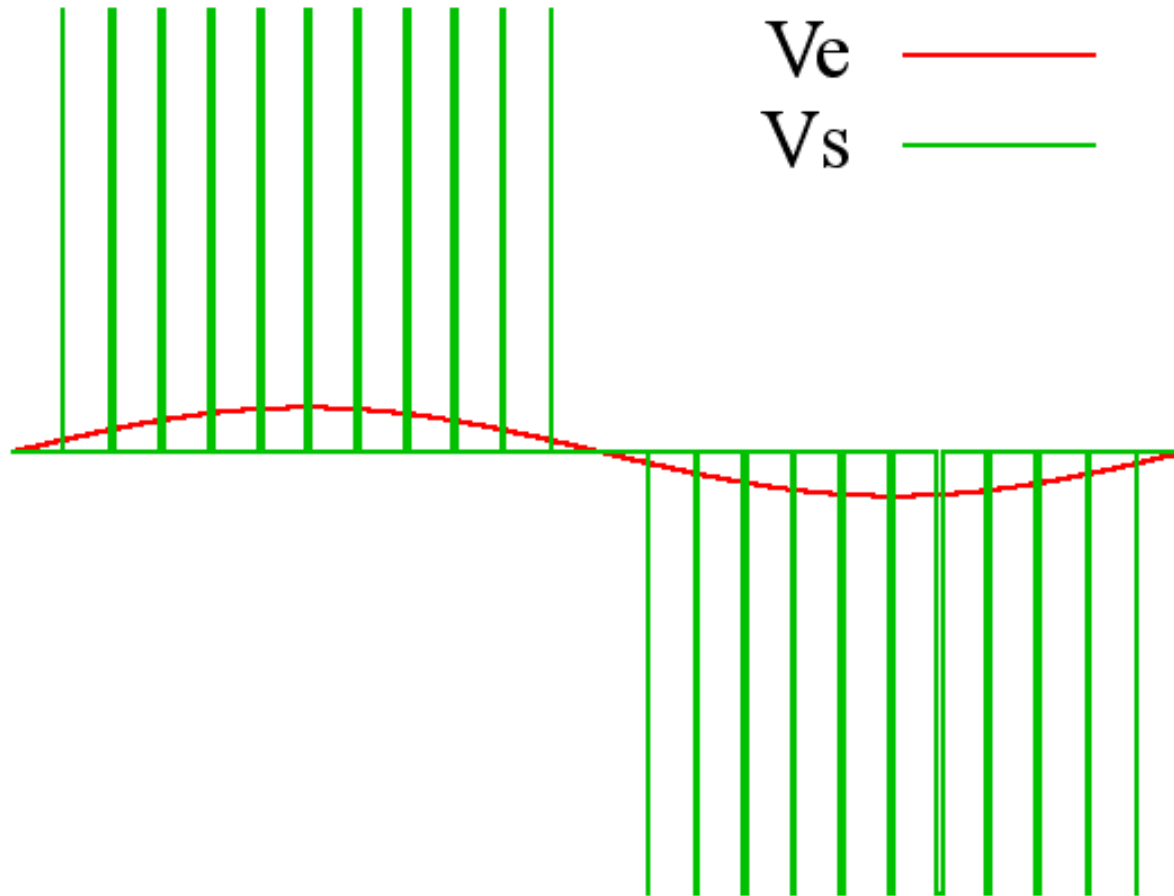
Pulse-width modulation

بنابراین موج سینوسی دلخواه را به تعداد مشخصی بخش وقتی تقسیم می‌کنیم و برای هر بخش یک سیکل کامل PWM در نظر می‌گیریم؛ سپس برای هر سیکل مقدار زمان روشن (T-ON) را طوری قرار می‌دهیم که میانگین ولتاژ همان بخش برابر مقدار آن نقطه سینوس باشد. به بیان دیگر، دیوتی‌سایکل در هر دوره مجزا یک مقدار ثابت (متناسب با مقدار نمونه سینوس در آن بخش) می‌گیرد، نه اینکه درون همان سیکل تغییر پیوسته‌ای داشته باشد، و فیلتر پایین‌گذر میانگین این پالس‌های قطعه‌قطعه‌ای را می‌گیرد و تقریباً موج سینوسی خروجی را بازسازی می‌کند.



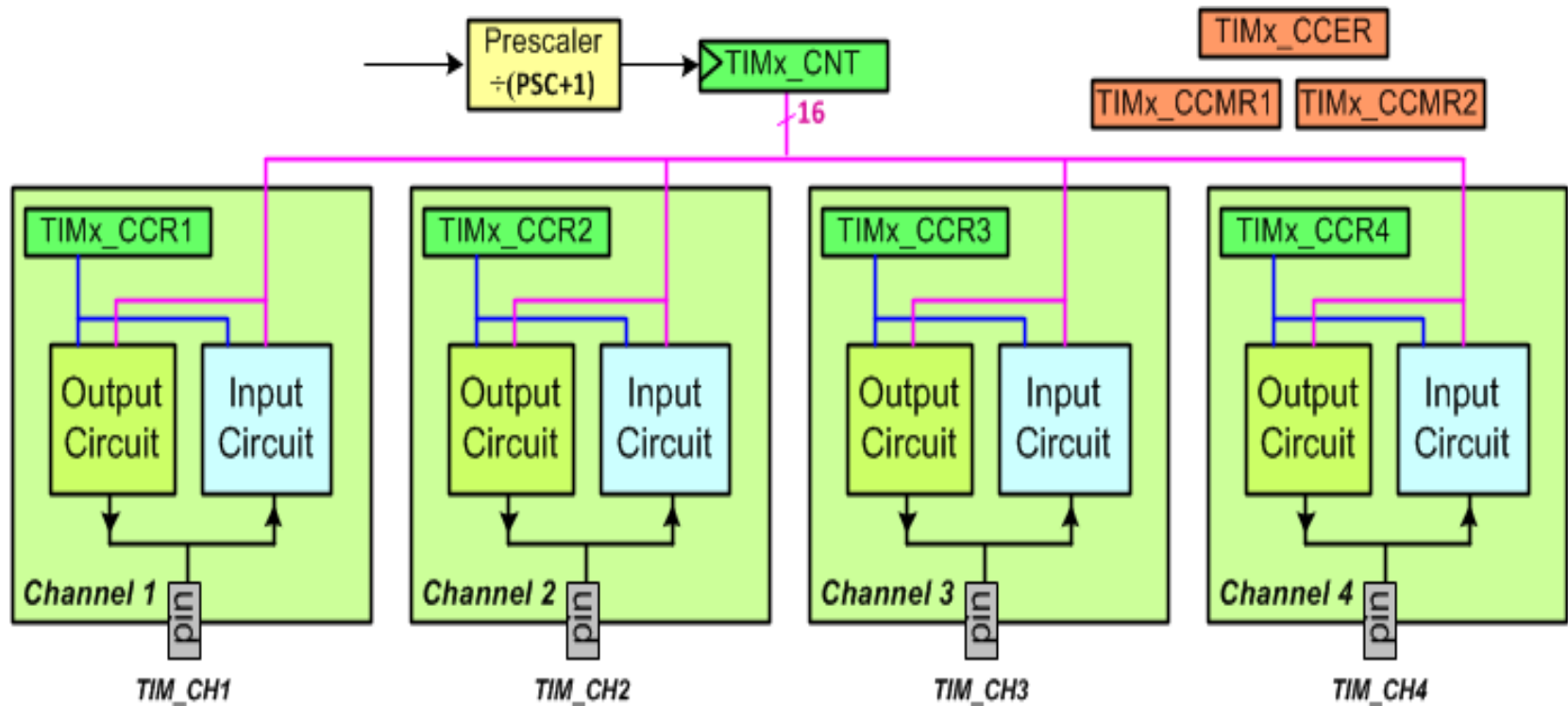


Pulse-width modulation



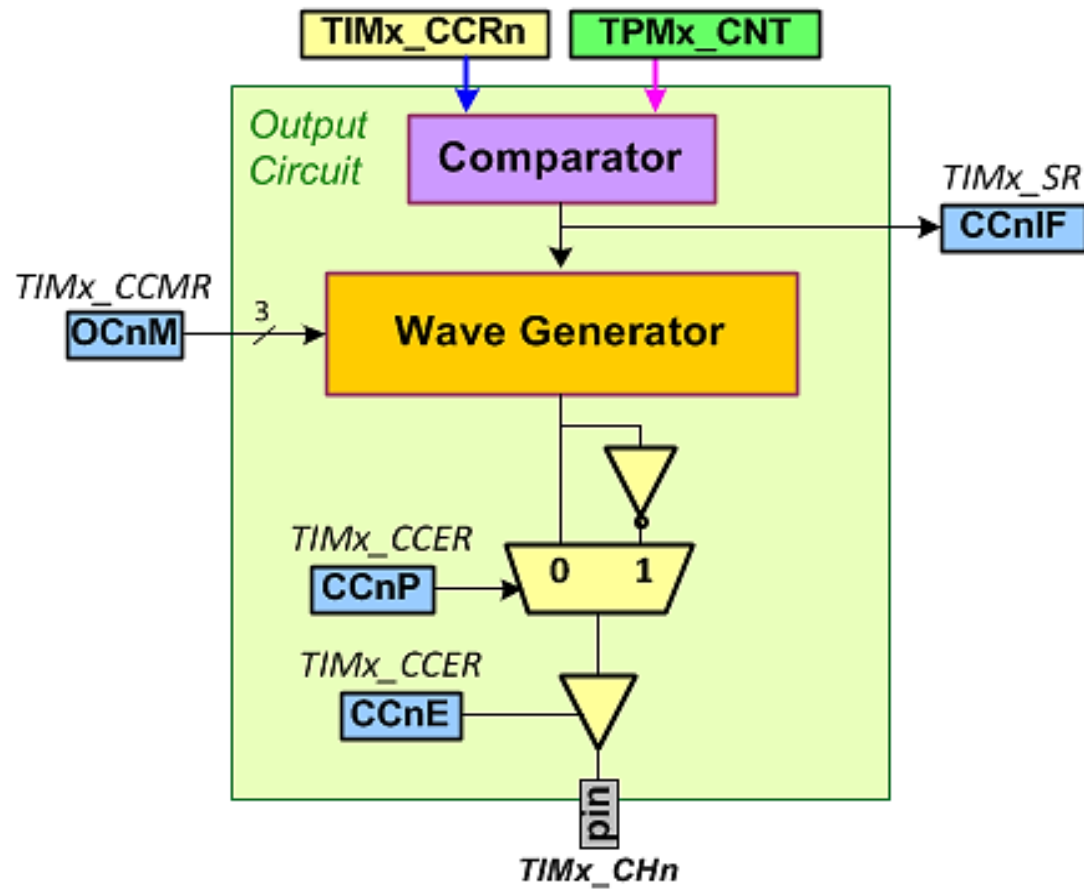


Timer Channels + Output Compare





Timer Channels + Output Compare





■ OCnM: Output Compare n Mode

OCnM	Mode	
000	Frozen	Compare match has no effect on the GPIO pin
001	Active on match	The output activates when CNT is equal to CCRn.
010	Inactive on match	The output becomes inactive when CNT=CCRn.
011	Toggle on match	The output toggles when CNT is equal to CCRn.
100	Force inactive	It forces the GPIO pin to inactive level.
101	Force active	It forces the GPIO pin to active level.
110	PWM 1	The output is active when CNT is less than CCRn.
111	PWM 2 (inverted)	The output is inactive when CNT is less than CCRn.



razeghizade@gmail.com

Razeghizade.pudica.ir

CREADITS: This presentation was created by M.Razeghizadeh
Please keep this slide for attribution