

# ریزپردازنده (میکروکنترلرهای AVR) تایمر و کانتر (زمانسنج و شمارنده)

محسن راجی

دانشگاه شیراز  
بخش مهندسی و علوم کامپیوتر



## Timer/Counter

- تایمر ها و کانتر ها یکی از مهمترین بخش های جانبی میکرو هستند
- گاهی اوقات لازم است که تعداد وقایع خارجی شمارش شود
- شمارش تعداد قطعات یک خط تولید
- در مواقعی لازم است تا در زمان معینی عمل خاصی انجام شود
- روشن کردن یک موتور در یک زمان یا بعد از یک بازه زمانی مشخص

## Timer/Counter

- میکروهای AVR حداکثر دارای ۶ تایمر/کانتر (۸ بیتی / ۱۶ بیتی) هستند
- ساده ترین نوع یک تایمر ۸ بیتی و پیشرفته ترین نوع دو تایمر ۸ بیتی و ۴ تایمر ۱۶ بیتی

3

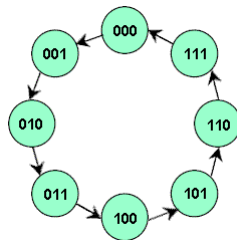
## Timer/Counter

- برخی از آنها دارای عملکرد ساده و برخی دارای امکانات بیشتر مثل تولید PWM ، حالت مقایسه و نظیر این دست امکانات هستند
- قابلیت آنها شبیه به هم است و با فراگیری اصول یکی از آنها در راه اندازی بقیه مشکلی نخواهید داشت

4

## Timer/Counter

- عملکرد کلی شمارنده (کانتر) را در مدارهای منطقی دیده‌اید
- مثال کانتر سه بیتی



5

## Timer/Counter

- وقتی پالس ساعت اعمالی به این کانتر یک فرکانس و دوره تناوب مشخص داشته باشد میتوان با در نظر گرفتن مدت زمان شمارش از xxx تا 111 و سپس سرریز شدن کانتر زمان‌های معینی را ایجاد نمود
- در این حالت شمارنده به صورت یک **تایمر** عمل می‌کند
- مثلاً اگر پالس ساعت اعمالی فرکانس 1Hz داشته باشد و شمارنده با مقدار پیشفرض 000 در نظر گرفته شود حداکثر ۸ ثانیه طول می‌کشد تا سرریز رخ دهد

6

## Timer/Counter

- وقتی پالس کلاک اعمالی به شمارنده از یک منبع منظم و معین نباشد (منبع کلاک یک رخداد خارجی) در این صورت می توان از شمارنده برای شمارش وقایع خارجی استفاده کرد که در این حالت از شمارنده به عنوان کانتر استفاده می شود

7

## Timer/Counter

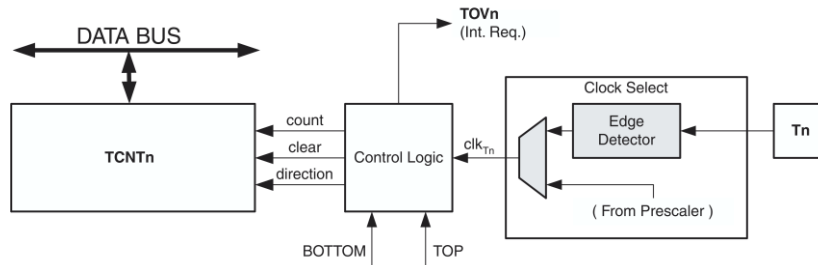
- تایمر های مختلفی ممکن است وجود داشته باشند که هر کدام امکانات خاص خود را دارند
- متداولترین تایمر که در همه میکرو های AVR هست تایمر/کانتر صفر است
- تایمر/کانتر صفر می تواند ساده یا پیشرفته باشد
- تفاوت در مدهای عملیاتی

8

## تایمر کانتر صفر ۸ بیتی پیشرفته در ATMEGA16

### • نمودار بلوکی واحد کانتر

Figure 28. Counter Unit Block Diagram

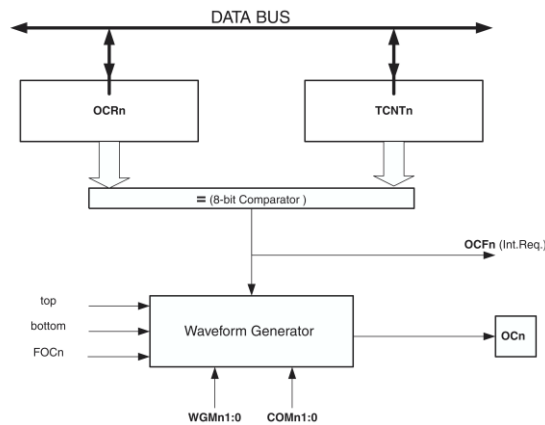


9

## تایمر کانتر صفر ۸ بیتی پیشرفته در ATMEGA16

### • نمودار بلوکی واحد مقایسه گر

Figure 29. Output Compare Unit, Block Diagram



10

## رجیستر های Timer/Counter

- معرفی رجیستر های مربوط به تایمر/کانتر صفر در مد عملکرد ۸ بیتی پیشرفته
- رجیستر تایمر/کانتر صفر (TCNT0)
  - مقدار فعلی شمارنده
  - خواندنی نوشتنی
- رجیستر مقایسه خروجی (OCR0)
  - به طور مستقیم و مداوم در برخی مدهای عملیاتی با TCNT0 مقایسه می شود
  - خواندنی نوشتنی
- رجیستر کنترلی تایمر/کانتر صفر (TCCR0)

11

## رجیستر های Timer/Counter

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
	FOC0	WGM00	COM01	COM00	WGM01	CS02	CS01	CS00	TCCR0
Read/Write	W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
Initial Value	0	0	0	0	0	0	0	0	

- بیت های CS00, CS01, CS02 انتخاب پالس ساعت ورودی و میزان prescaling
- برای انتخاب فرکانس پالس ساعت هستند وقتی هر سه صفر باشند تایمر غیرفعال می شود

Table 42. Clock Select Bit Description

CS02	CS01	CS00	Description
0	0	0	No clock source (Timer/Counter stopped).
0	0	1	clk <sub>IO</sub> (No prescaling)
0	1	0	clk <sub>IO</sub> /8 (From prescaler)
0	1	1	clk <sub>IO</sub> /64 (From prescaler)
1	0	0	clk <sub>IO</sub> /256 (From prescaler)
1	0	1	clk <sub>IO</sub> /1024 (From prescaler)
1	1	0	External clock source on T0 pin. Clock on falling edge.
1	1	1	External clock source on T0 pin. Clock on rising edge.

12

## رجیستر های Timer/Counter

### • WGM00, WGM01

### • بیت های تعیین مدهای عملیاتی

**Table 38.** Waveform Generation Mode Bit Description<sup>(1)</sup>

Mode	WGM01 (CTC0)	WGM00 (PWM0)	Timer/Counter Mode of Operation	TOP	Update of OCR0	TOV0 Flag Set-on
0	0	0	Normal	0xFF	Immediate	MAX
1	0	1	PWM, Phase Correct	0xFF	TOP	BOTTOM
2	1	0	CTC	OCR0	Immediate	MAX
3	1	1	Fast PWM	0xFF	TOP	MAX

13

## رجیستر های Timer/Counter

### • COM00 و COM01

- بیتهای حالت خروجی تطابق مقایسه
- کنترل رفتار پایه مقایسه خروجی (OC0) که اگر هر دو صفر باشند OC0 که یکی از پایه های پورت هست به صورت I/O معمولی می شود در غیر این صورت پایه OC0 به خروجی واحد تولید شکل موج متصل می شود و دیگر I/O نیست
- در مدهای عملیاتی مختلف تنظیم خاص خود را دارد

14

## رجیستر های Timer/Counter

- بیت مقایسه خروجی (FOC0)
- تنها در مد های عملکرد عادی و مقایسه CTC فعال می شود
- اگر یک منطقی در این بیت نوشته شود یک تطابق مقایسه نوری روی واحد تولید شکل موج رخ می دهد و پایه OC0 با توجه به بیت های COM1:0 تغییر پیدا می کند ← در زمان یک کردن

15

## Timer/Counter

- تایمر/کانتر در حالت ۸ بیتی پیشرفته
- مدهای عملیاتی تایمر/کانتر صفر پیشرفته
  - تایمر/کانتر در حالت عادی
  - تایمر/کانتر در حالت مقایسه (CTC)
  - تایمر/کانتر در حالت PWM تک شیب (سریع)
  - تایمر/کانتر در حالت PWM دوشیب (تصحیح فاز)

16



## مد عملیاتی عادی

- ساده ترین حالت عملکرد
- جهت شمارش افزایشی
- با دریافت کلاک، شمارش انجام می شود
- پس از رسیدن مقدار رجیستر TCNT0 به TOP، با کلاک بعدی سرریز رخ می دهد (پرچم سرریز (TOV0) یک خواهد شد) و از مقدار BOTTOM مجددا شروع به شمارش می کند
- امکان استفاده از وقفه سرریز تایمر کانتر
- می توان رجیستر TCNT0 را مقداردهی اولیه نمود

17

## مد عملیاتی CTC

- در طول مدت شمارش، واحد مقایسه به طور دائم رجیستر TCNT0 را با رجیستر OCR0 مقایسه می کند و در صورت تطابق:

1. پایه خروجی OC0 بر روی میکروکنترلر تحت تاثیر قرار میگیرد

PDIP

(XCK/T0) PB0	1	40	PA0 (ADC0)
(T1) PB1	2	39	PA1 (ADC1)
(INT2/AIN0) PB2	3	38	PA2 (ADC2)
(OC0/AIN1) PB3	4	37	PA3 (ADC3)
(SS) PB4	5	36	PA4 (ADC4)
(MOSI) PB5	6	35	PA5 (ADC5)
(MISO) PB6	7	34	PA6 (ADC6)
(SCK) PB7	8	33	PA7 (ADC7)
RESET	9	32	AREF
VCC	10	31	GND
GND	11	30	AVCC
XTAL2	12	29	PC7 (TOSC2)
XTAL1	13	28	PC6 (TOSC1)
(RXD) PD0	14	27	PC5 (TDI)
(TXD) PD1	15	26	PC4 (TDO)
(INT0) PD2	16	25	PC3 (TMS)
(INT1) PD3	17	24	PC2 (TCK)
(OC1B) PD4	18	23	PC1 (SDA)
(OC1A) PD5	19	22	PC0 (SCL)
(ICP) PD6	20	21	PD7 (OC2)

- با توجه به تنظیمات واحد تولید شکل موج تغییر می کند

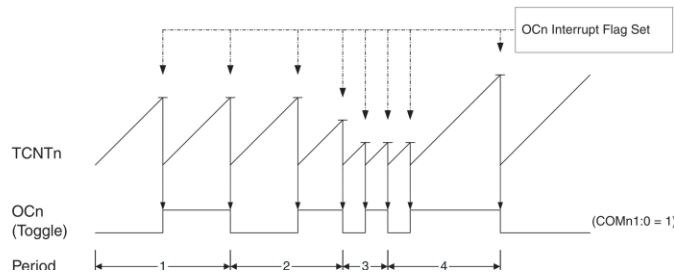
2. بیت تطابق مقایسه OCF0 نیز یک می شود (امکان استفاده از وقفه تطابق مقایسه)

18

## مد عملیاتی CTC

- عملکرد تایمر/کانتر صفر در حالت CTC با شکل زیر توصیف شده است

Figure 31. CTC Mode, Timing Diagram



19

## مد عملیاتی CTC

- در این حالت رجیستر TCNT0 دائماً با رجیستر OCR0 مقایسه می شود ، در صورت تطابق:
- پرچم تطبیق خروجی (OCF0) یک می شود
- می توان از وقفه تطبیق خروجی استفاده کرد
- وضعیت پایه مقایسه خروجی OC0 تحت تاثیر قرار گرفته و میتوان برای تولید شکل موج از آن استفاده کرد
- رجیستر TCNT0 صفر می شود

20

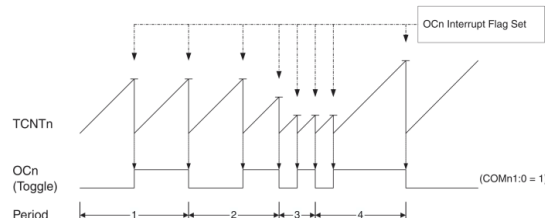
## مد عملیاتی CTC

- نحوه تولید شکل موج روی پایه OC0

**Table 39.** Compare Output Mode, non-PWM Mode

COM01	COM00	Description
0	0	Normal port operation, OC0 disconnected.
0	1	Toggle OC0 on compare match
1	0	Clear OC0 on compare match
1	1	Set OC0 on compare match

**Figure 31.** CTC Mode, Timing Diagram



21

## مد عملیاتی CTC

- دوره تناوب شکل موج تولیدی روی OC0:

$$time = \frac{2(1 + OCR0)}{\frac{f_{clkIO}}{N}}$$

- فرکانس موج مربعی عکس این مقدار خواهد بود

- از روال وقفه برای به روز رسانی مقدار رجیستر OCR0(TOP) استفاده می شود

22

## آشنایی با PWM

- مثال : فرض کنید یک موتور DC معمولی که با ۵ ولت کار می کند داریم و می خواهیم با این موتور کار کنیم
- چند وضعیت:
  - ولتاژ صفر بدهیم ← روشن نمی شود
  - ولتاژ ۵ ولت بدهیم ← روشن می شود و با بیشترین دوری که آسیبی به آن نزند می چرخد
  - بیشتر از ۵ ولت بدهیم ← روشن می شود و با بیشترین دور می چرخد بدون توجه به فشار و آسیبی که به آن برسد
  - ولتاژ کمتر از ۵ ولت چطور ؟ مثلاً ۲.۵ ولت

23

## آشنایی با PWM

- اگر شکل موج ورودی مانند شکل موج رو به رو باشد



- زمان روشن بودن (۵ ولت) به کل دوره تناوب = 50%  
(یعنی نصف دوره تناوب را ۵ ولت و نصف بقیه را ۰ ولت بدهیم)

24

## آشنایی با PWM

- موتور با وصل شدن 5v شروع به چرخش می کند اما به محض صفر شدن ولتاژ، خاموش می شود ولی از حرکت باز نمی ایستد و سرعتش کم و کمتر می شود و اگر قبل از توقف کامل موتور دوباره 5v ورودی به موتور برسد ، موتور مجددا شروع به چرخش می کند و این چرخه همینطور ادامه پیدا خواهد کرد و درواقع هر زمان که موتور سرعتش افت می کند مجددا ولتاژ به آن می رسد و ...

25

## آشنایی با PWM

- خلاصه این که با 50% Duty cycle مثل این است که با ولتاژ ۲.۵ ولت و نصف سرعت موتور را بچرخانیم
- اگر بخواهیم به صورت فرمولی نمایش دهیم برابر می شود با

$$Duty\ cycle = \frac{t_{on}}{t_{on} + t_{off}} * 100$$

- PWM تکنیکی است که به ما کمک می کند تا این شکل موج های مربعی را با Duty cycle مدنظر خودمان بسازیم

26

## آشنایی با PWM

- راجع به Pulse Width Modulation (ماجوله کردن پهنای پالس)
- PWM کاربردهایی مانند کنترل ولتاژ ، کنترل سرعت و حتی مخابرات دارد
- تولید یک موج مربعی (زنجیره ای از پالسهای مربعی) که پهنای هر پالس (یعنی زمان On و Off بودن) کنترل می شود

27

## آشنایی با PWM

- ساده ترین راه : استفاده از شکل موج مشخص و مقایسه آن با یک مقدار ثابت مشخص
- در این شکل یک مقدار ثابت (compare) داریم که با یک شکل موج دندان اره ای مقایسه می شود



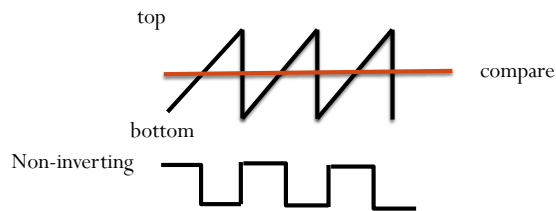
28

## آشنایی با PWM

### • انواع شکل موج

#### • حالت non-inverting Compare Output mode

- تا زمانی که مقادیر موج دندان اره ای کمتر از compare هستند مقدار یک دارد و وقتی بیشتر از compare شوند مقدار آن صفر می شود



29

## آشنایی با PWM

### • حالت معکوس inverting

- عکس حالت قبل

### • حالت Toggle

- در این حالت خروجی با وقوع یک تطابق، Toggle می شود یعنی اگر صفر بود یک می شود و اگر یک بود صفر می شود

30

## مد عملیاتی PWM سریع (تک شیب)

- برای تنظیم میکرو برای کار در مد PWM سریع باید بیت های WGM00:01 را تنظیم کرد به صورت 11
- روال کار مانند CTC است
- مقدار رجیستر TCNT0 دائما با رجیستر OCR0 مقایسه می شود و هر وقت برابر شدند:
- بیت تطابق مقایسه خروجی (OCF0) یک می شود و پایه OC0 با توجه به تنظیمات مربوطه تغییر وضعیت می دهد
- اما با CTC تفاوت هایی هم دارد

31

## مد عملیاتی PWM سریع (تک شیب)

- تفاوت با CTC اینجاست که در این مد کاری، وقتی TCNT0 با OCR0 برابر می شود، بر خلاف CTC که رجیستر TCNT0 صفر می شد، در PWM سریع شمارش خود را تا حداکثر FF h ادامه می دهد و پس از سرریز شدن تایمر ، TCNT0 مجدداً از صفر شروع به شمارش می کند
- پرچم وقفه سرریز (TOV0) یک می شود و امکان استفاده از وقفه سرریز فراهم می شود
- پایه OC0 با توجه به تنظیمات مربوطه مجدداً تغییر وضعیت می دهد

32



## مد عملیاتی PWM سریع (تک شیب)

- به عبارت دیگر، در این مد پایه OC0 در دو حالت تغییر وضعیت می دهد
- در حالت تطابق و برابری TCNT0 و OCR0
- با سرریز شدن تایمر
- تنظیم با بیت های COM00 و COM01

**Table 40.** Compare Output Mode, Fast PWM Mode<sup>(1)</sup>

COM01	COM00	Description
0	0	Normal port operation, OC0 disconnected.
0	1	Reserved
1	0	Clear OC0 on compare match, set OC0 at TOP
1	1	Set OC0 on compare match, clear OC0 at TOP

33

## مد عملیاتی PWM سریع (تک شیب)

- استفاده از این مد عملیاتی برای ماجوله کردن پهنای پالس PWM یا
- بسته به مقدار OCR0 ممکن است پهنای پالس تغییر کند و Duty cycle تغییر کند
- مثال؟

34

## مد عملیاتی PWM سریع (تک شیب)

- رجیستر OCR0 در حالت PWM دارای بافر مضاعف است

- هر بار TCNT0 با OCR0 مقایسه می شود اگر مابین شمارش، مقدار OCR0 را تغییر بدهیم، مبنای مقایسه تغییر می کند و ممکن است مقدار جدید OCR0 کمتر از مقدار رجیستر TCNT0 باشد و مقایسه از دست برود

36

## مد عملیاتی PWM سریع (تک شیب)

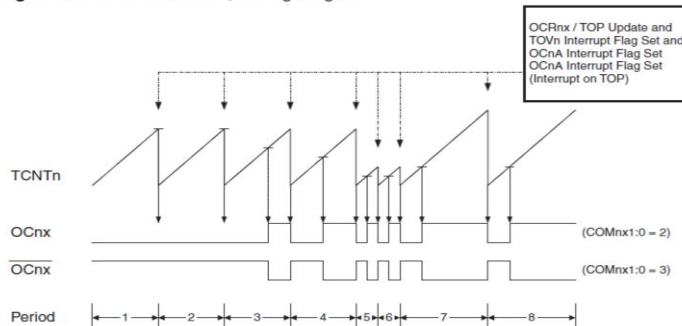
- برای جلوگیری از این اتفاق مقدار جدید داخل OCR0 مستقیماً بار نمی شود بلکه در بافری به همین نام OCR0 موقتاً ذخیره می شود و وقتی TCNT0 به مقدار FFh رسید مقدار جدید در رجیستر اصلی OCR0 بار می شود و دوره جدیدش با OCR0 جدید مقایسه می شود

37

## مد عملیاتی PWM سریع (تک شیب)

- شکل موج عملکرد PWM در حالت بافر مضاعف OCR0

Figure 46. Fast PWM Mode, Timing Diagram



38

## PWM تصحیح فاز (دوشیب)

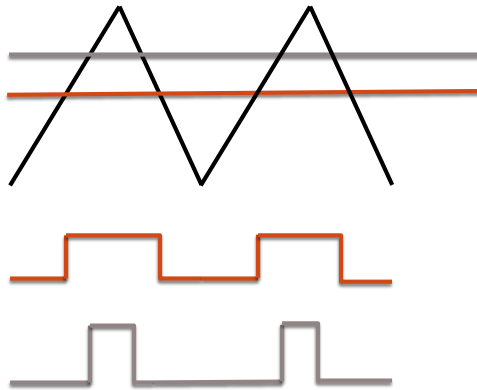
- قبل از ادامه به این مثال توجه کنید
- اگر دقت کنید نقاط پایانی قرمز و آبی در یک دوره دقیقا در یک مکان هستند و هم فازند
- هر دو پالس آبی و قرمز دارای زمان پایان یکسان هستند ولی زمان شروع (یک شدن) آن ها متفاوت می باشند
- با تغییر حد مقایسه، زمان یک شدن پالس تغییر می کند ولی زمان صفر شدن آن یکسان می ماند



39

## PWM تصحیح فاز (دوشیب)

- در صورت استفاده از شکل موج مثلثی به جای دندان اره ای
- دو پالس آبی و قرمز که زمان شروع (یک شدن) آن ها متفاوت است، زمان اتمام (صفر شدن) متفاوتی دارند



40

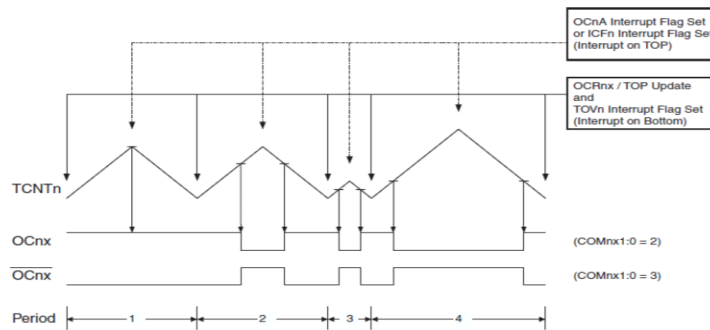
## PWM تصحیح فاز (دوشیب)

- نحوه عملکرد تایمر/کانتر در این مد کاری
- تایمر از 00h تا FFh و به صورت افزایشی شمارش نموده و سپس از FFh تا 00h به صورت کاهشی شمارش می نماید
- هنگام شمارش رو به بالا ، مقایسه گر محتوای رجیستر TCNT0 را با OCR0 مقایسه می کند و به محض مشاهده یک تطابق، یک تغییر وضعیت روی پایه OC0 ایجاد می کند
- هنگام شمارش رو به پایین : همین روال تکرار می شود

41

## PWM تصحیح فاز (دوشیب)

Figure 48. Phase and Frequency Correct PWM Mode, Timing Diagram



42

## PWM تصحیح فاز (دوشیب)

- یعنی سر ریز به جای اینکه در FFh رخ دهد، در 00h رخ می دهد
- به روز رسانی مقدار OCR0 نیز در 00h رخ می دهد
- در زمان شروع به کار تایمر اگر TCNT0=0 باشد پرچم سرریز فعال است

• فرکانس در این حالت :  $f(pwm) = \frac{f_{clk-I/O}}{n*510}$

43

## رجیسترهای تایمر کانتر

- رجیستر پرچم وقفه تایمر/کانتر صفر (TIFR)
- بیت TOV0 (پرچم سرریز تایمر/کانتر صفر)
- زمانی فعال (یک) می شود که یک سرریز رخ داده باشد
- هنگام اجرای وقفه مربوط به بیت TOV0 به صورت خودکار صفر می شود

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
	OCF2	TOV2	ICF1	OCF1A	OCF1B	TOV1	OCF0	TOV0	TIFR
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
Initial Value	0	0	0	0	0	0	0	0	

44

## Timer/Counter

- بیت OCF0 (پرچم مقایسه خروجی صفر)
- زمانی فعال می شود که یک تطابق مقایسه بین تایمر/کانتر (TCNT0) و داده درون رجیستر (OCR0) رخ دهد
- به صورت سخت افزاری حین اجرای وقفه مربوطه صفر می شود

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
	OCF2	TOV2	ICF1	OCF1A	OCF1B	TOV1	OCF0	TOV0	TIFR
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
Initial Value	0	0	0	0	0	0	0	0	

45

## Timer/Counter

- رجیستر پوشش وقفه تایمر/کانتر صفر (TIMSK)
- بیت TOIE0 (Overflow Interrupt Enable)(تواناساز وقفه سرریز تایمر/کانتر صفر)
- وقتی ۱ باشد و بیت I (فعالساز وقفه سراسری) در SREG نیز فعال باشد و وقفه سرریز تایمر/کانتر صفر فعال می شود
- در این صورت هنگامی که TOV0 در رجیستر پرچم وقفه (TIRF) فعال شود یک وقفه درخواست خواهد داد

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
	OCIE2	TOIE2	TICIE1	OCIE1A	OCIE1B	TOIE1	OCIE0	TOIE0	TIMSK
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
Initial Value	0	0	0	0	0	0	0	0	

46

## Timer/Counter

- بیت OCIE0 (تواناساز وقفه مقایسه خروجی تایمر صفر)
- زمانی که یک شود و I نیز در SREG فعال باشد وقفه تطابق تایمر/کانتر صفر فعال می شود

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
	OCIE2	TOIE2	TICIE1	OCIE1A	OCIE1B	TOIE1	OCIE0	TOIE0	TIMSK
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
Initial Value	0	0	0	0	0	0	0	0	

47