

Timer/Counter 1, 3

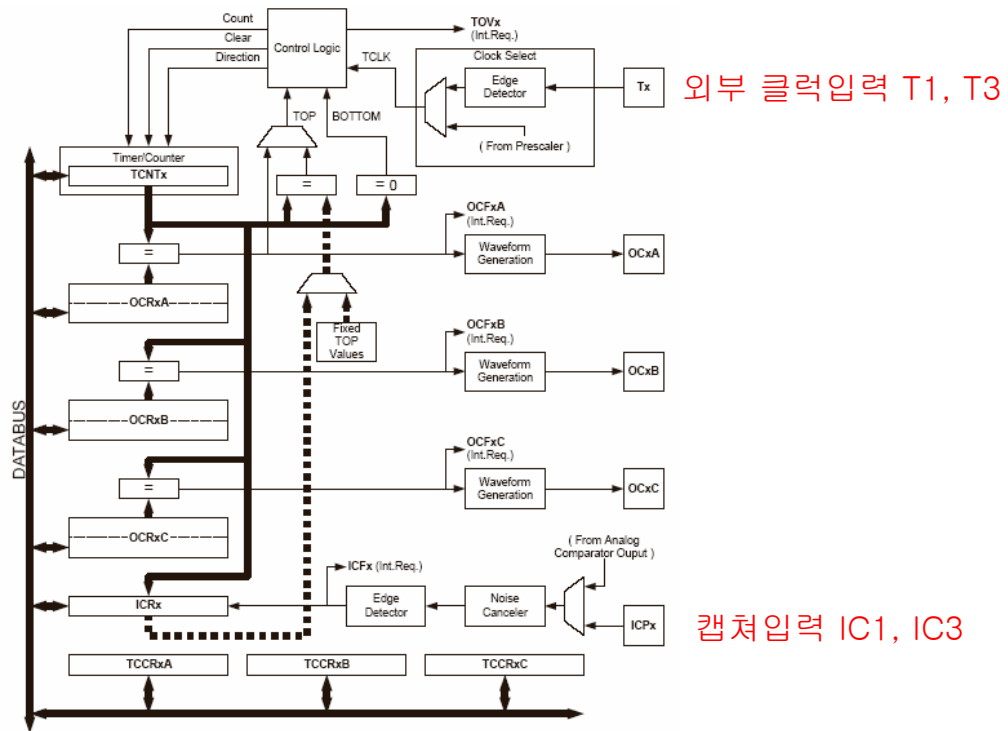
Jee-Hwan Ryu

School of Mechanical Engineering
Korea University of Technology and Education

타이머/카운터 1과 3

- 각각 3개씩의 PWM 출력 및 캡처 기능을 가지는 16비트 업/다운 카운터
- 프리스케일러를 통하여 내부/외부 클럭을 소스로 받아서 동작하는 타이머/카운터

기본 동작



Korea University of Technology and Education

TCCR1A, TCCR3A, TCCR1B, TCCR3B (Timer/Counter 1 or 3 Control Register A or B)

- 타이머/카운터 1 또는 3의 동작 모드를 설정하고 출력비교 단자의 파형발생에 관한 동작을 지정

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
	COM1A1	COM1A0	COM1B1	COM1B0	COM1C1	COM1C0	WGM11	WGM10	TCCR1A
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	

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
	COM3A1	COM3A0	COM3B1	COM3B0	COM3C1	COM3C0	WGM31	WGM30	TCCR3A
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	

- 입력 캡처에 관련된 기능설정 그리고 프리스케일러의 분주비 설정

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
	ICNC1	ICES1	-	WGM13	WGM12	CS12	CS11	CS10	TCCR1B
Read/Write	R/W	R/W	R	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
Initial Value	0	0	0	0	0	0	0	0	

1: IC1으로 입력되는 신호 노이즈 제거

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
	ICNC3	ICES3	-	WGM33	WGM32	CS32	CS31	CS30	TCCR3B
Read/Write	R/W	R/W	R	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
Initial Value	0	0	0	0	0	0	0	0	

1/0: IC3 상승/하강 에지에서 캡처수행 (ICF3=1), 현재 카운터 값 ICR3에 저장

Korea University of Technology and Education

WGMn3~n0 (Waveform Generation Mode)

Mode	WGMn3	WGMn2 (CTCn)	WGMn1 (PWMn1)	WGMn0 (PWMn0)	Timer/Counter Mode of Operation ⁽¹⁾	TOP	Update of OCRnx at	TOVn Flag Set on
0	0	0	0	0	Normal	0xFFFF	Immediate	MAX
1	0	0	0	1	PWM, Phase Correct, 8-bit	0x00FF	TOP	BOTTOM
2	0	0	1	0	PWM, Phase Correct, 9-bit	0x01FF	TOP	BOTTOM
3	0	0	1	1	PWM, Phase Correct, 10-bit	0x03FF	TOP	BOTTOM
4	0	1	0	0	CTC	OCRnA	Immediate	MAX
5	0	1	0	1	Fast PWM, 8-bit	0x00FF	TOP	TOP
6	0	1	1	0	Fast PWM, 9-bit	0x01FF	TOP	TOP
7	0	1	1	1	Fast PWM, 10-bit	0x03FF	TOP	TOP
8	1	0	0	0	PWM, Phase and Frequency Correct	ICRn	BOTTOM	BOTTOM
9	1	0	0	1	PWM, Phase and Frequency Correct	OCRnA	BOTTOM	BOTTOM
10	1	0	1	0	PWM, Phase Correct	ICRn	TOP	BOTTOM
11	1	0	1	1	PWM, Phase Correct	OCRnA	TOP	BOTTOM
12	1	1	0	0	CTC	ICRn	Immediate	MAX
13	1	1	0	1	(Reserved)	–	–	–
14	1	1	1	0	Fast PWM	ICRn	TOP	TOP
15	1	1	1	1	Fast PWM	OCRnA	TOP	TOP

Korea University of Technology and Education

COMnx1~0 (Compare Match Output Mode)

- OCnA, OCnB, OCnC 핀의 동작을 설정한다. 동작 모드에 따라 다름

Table 58. Compare Output Mode, non-PWM

COMnA1/COMnB1/COMnC1	COMnA0/COMnB0/COMnC0	Description
0	0	Normal port operation, OCnA/OCnB/OCnC disconnected.
0	1	Toggle OCnA/OCnB/OCnC on compare match.
1	0	Clear OCnA/OCnB/OCnC on compare match (set output to low level).
1	1	Set OCnA/OCnB/OCnC on compare match (set output to high level).

Table 59. Compare Output Mode, Fast PWM

COMnA1/COMnB1/COMnC0	COMnA0/COMnB0/COMnC0	Description
0	0	Normal port operation, OCnA/OCnB/OCnC disconnected.
0	1	WGMn3:0 = 15: Toggle OCnA on Compare Match, OCnB/OCnC disconnected (normal port operation). For all other WGMn settings, normal port operation, OCnA/OCnB/OCnC disconnected.
1	0	Clear OCnA/OCnB/OCnC on compare match, set OCnA/OCnB/OCnC at TOP
1	1	Set OCnA/OCnB/OCnC on compare match, clear OCnA/OCnB/OCnC at TOP

Korea University of Technology and Education

COMnx1~0 (Compare Match Output Mode)

Table 60. Compare Output Mode, Phase Correct and Phase and Frequency Correct PWM

COMnA1/COMnB/ COMnC1	COMnA0/COMnB0/ COMnC0	Description
0	0	Normal port operation, OCnA/OCnB/OCnC disconnected.
0	1	WGMn3:0 = 9 or 14: Toggle OCnA on Compare Match, OCnB/OCnC disconnected (normal port operation). For all other WGMn settings, normal port operation, OCnA/OCnB/OCnC disconnected.
1	0	Clear OCnA/OCnB/OCnC on compare match when up-counting. Set OCnA/OCnB/OCnC on compare match when downcounting.
1	1	Set OCnA/OCnB/OCnC on compare match when up-counting. Clear OCnA/OCnB/OCnC on compare match when downcounting.

Korea University of Technology and Education

CSn2~0 (Clock Select)

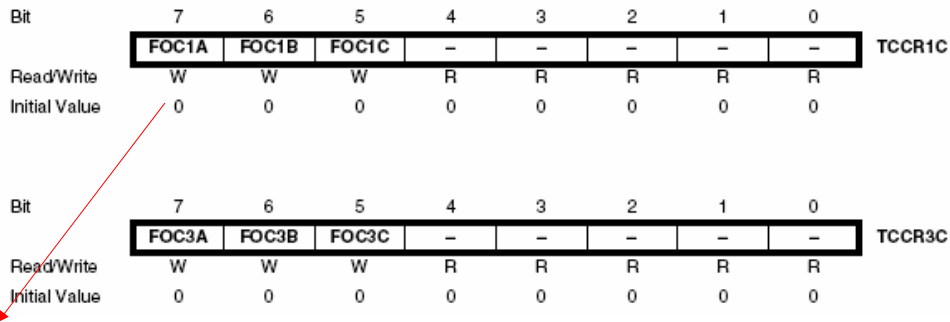
- Clock의 분주비를 선택

CSn2	CSn1	CSn0	Description
0	0	0	No clock source. (Timer/Counter stopped)
0	0	1	clk _{IO} /1 (No prescaling)
0	1	0	clk _{IO} /8 (From prescaler)
0	1	1	clk _{IO} /64 (From prescaler)
1	0	0	clk _{IO} /256 (From prescaler)
1	0	1	clk _{IO} /1024 (From prescaler)
1	1	0	External clock source on Tn pin. Clock on falling edge
1	1	1	External clock source on Tn pin. Clock on rising edge

Korea University of Technology and Education

TCCR1C 및 TCCR3C (Timer/Counter 1 or 3 Control Register C)

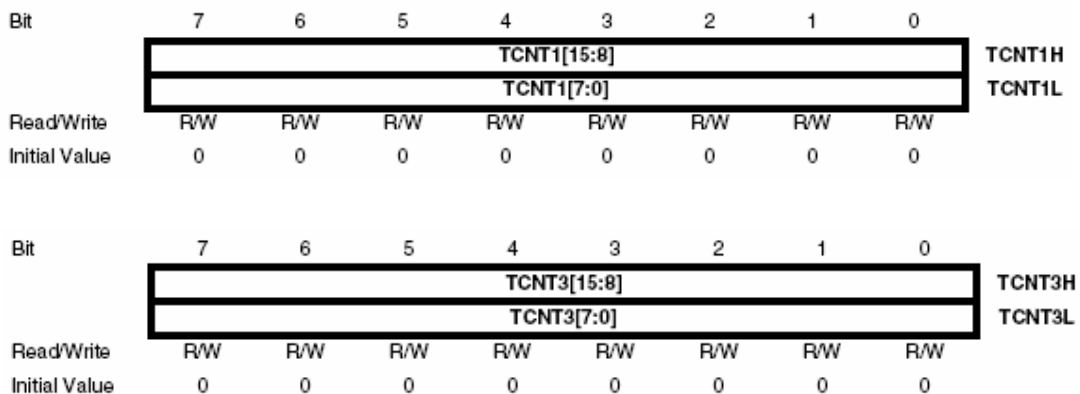
- 타이머/카운터 1과 3의 비교출력 단자와 관련된 기능을 설정



- Force Output Compare: 강제로 즉시 OCnx단자에 출력비교가 매치 된 것과 같은 출력 내보냄
- PWM모드가 아닌 경우에만 유효
- 특별한 경우가 아니면 0으로 설정

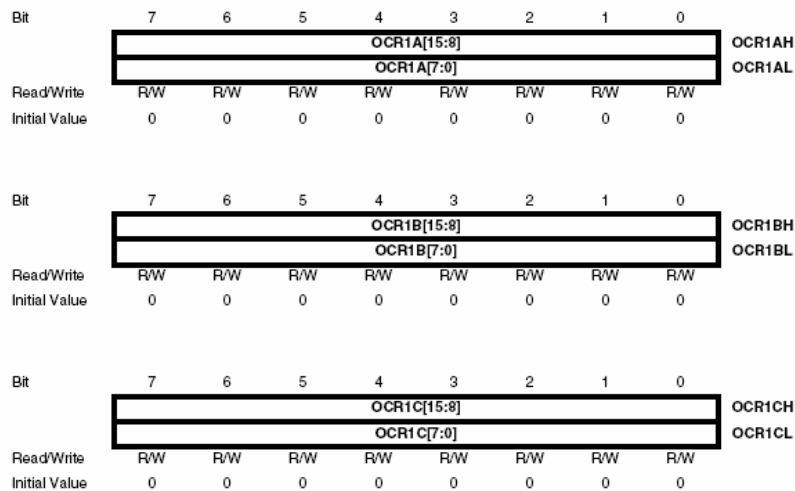
TCNT1 및 TCNT3 (Timer/Counter Register 1, 3)

- 타이머/카운터 1과 3의 16비트 카운터 값을 저장하고 있는 레지스터
- 8비트씩 차례로 액세스
- 항상 하위바이트를 먼저 읽고, 쓰는 것은 상위바이트를 먼저 쓴다
- 언제든지 R/W 가능하지만, 카운터 동작하고 있는 동안에는 수정하지 않는다



OCR1xH/L 및 OCR3xH/L (Timer/Counter Output Compare Register 1, 3)

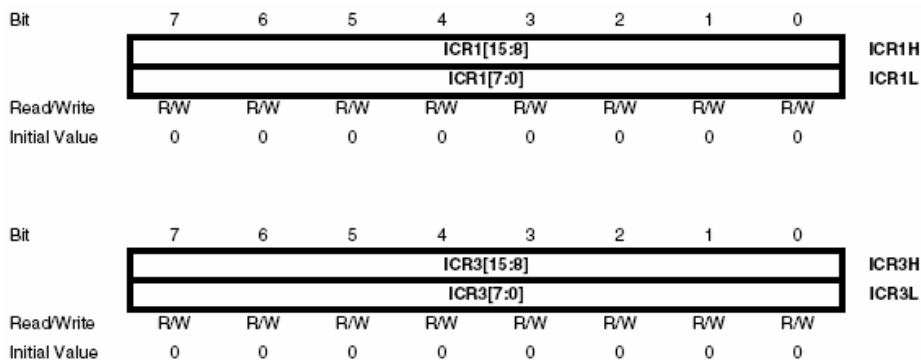
- TCNTn값과 비교하여 OCnx 단자에 출력신호를 발생하기 위한 16비트 값을 저장하는 레지스터



OCR3xH/L 도 마찬가지

ICR1H/L 및 ICR3H/L (Input Capture Register 1, 3)

- ICRn 레지스터는 입력캡처 신호 (또는 타이머/카운터 1의 경우에는 아날로그 비교기로의 출력신호도 사용 가능)에 의하여 타이머/카운터 레지스터 TCNTn 값을 캡처하여 저장하는 16비트 레지스터



TIMSK (Timer/Counter Interrupt Register)

- 타이머/카운터 0~2가 발생하는 인터럽트를 개별적으로 허용하는 기능을 수행
- TICIE1 (Timer/Counter1 Input Capture Interrupt Enable)
 - 이것이 1이고, SREG(I=1)이면, 타이머/카운터 1의 입력캡처 인터럽트 허용
- OCIE1x (Timer/Counter1 Output Compare Match A,B Interrupt Enable)
 - 이것이 1이고, SREG(I=1)이면, 타이머/카운터 1의 출력비교 인터럽트 A,B 허용
- TOIE1 (Timer/Counter1 Overflow Interrupt Enable)
 - 이것이 1이고, SREG(I=1)이면, 타이머/카운터 1의 overflow 인터럽트 허용

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
	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	

ETIMSK (Extended Timer/Counter Interrupt Register)

- 타이머/카운터 1,3이 발생하는 인터럽트를 개별적으로 허용하는 기능을 수행
- TICIE3 (Timer/Counter3 Input Capture Interrupt Enable)
 - 이것이 1이고, SREG(I=1)이면, 타이머/카운터 3의 입력캡처 인터럽트 허용
- OCIE3x (Timer/Counter3 Output Compare Match A,B,C Interrupt Enable)
 - 이것이 1이고, SREG(I=1)이면, 타이머/카운터 3의 출력비교 인터럽트 A~C 허용
- TOIE3 (Timer/Counter3 Overflow Interrupt Enable)
 - 이것이 1이고, SREG(I=1)이면, 타이머/카운터 3의 overflow 인터럽트 허용
- OCIE1C(Timer/Counter1 Output Compare Match C Interrupt Enable)

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
	ETIMSK								
Read/Write	R	R	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
Initial Value	0	0	0	0	0	0	0	0	

TIFR (Timer/Counter Interrupt Flag Register)

- 타이머/카운터 0~2가 발생하는 인터럽트 플래그를 저장하는 레지스터
- ICF1 (Timer/Counter1 Input Capture Flag)
 - 입력캡처신호 또는 아날로그비교기의 신호에 의하여 1로 설정되면서 입력캡처 동작 수행
 - 인터럽트가 처리되기 시작하면, 0으로 클리어 됨
- OCF1x (Timer/Counter1 Output Compare A, B Match Flag)
 - $TCNT1 = OCR1x \rightarrow OCF1x = 1$ (출력비교 인터럽트 요청)
 - 인터럽트가 처리되기 시작하면, 0으로 클리어 됨
- TOV1 (Timer/Counter1 Overflow Flag)
 - Overflow 발생하면 1로 세트, overflow 인터럽트 요청
 - 인터럽트가 처리되기 시작하면, 0으로 클리어 됨

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	

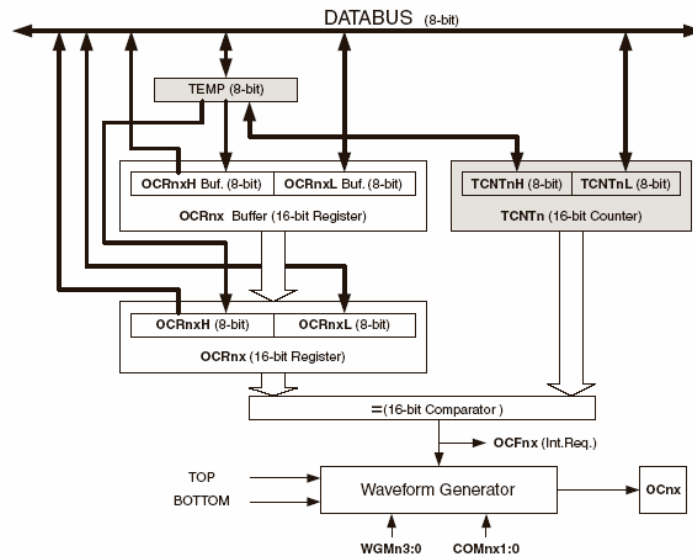
ETIFR (Extended Timer/Counter Interrupt Flag Register)

- 타이머/카운터 1,3이 발생하는 인터럽트 플래그를 저장하는 레지스터
- ICF3 (Timer/Counter3 Input Capture Flag)
 - 입력캡처신호 또는 아날로그비교기의 신호에 의하여 1로 설정되면서 입력캡처 동작 수행
 - 인터럽트가 처리되기 시작하면, 0으로 클리어 됨
- OCF3x (Timer/Counter3 Output Compare A, B Match Flag)
 - $TCNT3 = OCR3x \rightarrow OCF3x = 1$ (출력비교 인터럽트 요청)
 - 인터럽트가 처리되기 시작하면, 0으로 클리어 됨
- TOV3 (Timer/Counter3 Overflow Flag)
 - Overflow 발생하면 1로 세트, overflow 인터럽트 요청
 - 인터럽트가 처리되기 시작하면, 0으로 클리어 됨
- OCF1C (Timer/Counter1 Output Compare C Match Flag)
 - $TCNT1 = OCR1C \rightarrow OCF1C = 1$ (출력비교 인터럽트 요청)

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
	-	-	ICF3	OCF3A	OCF3B	TOV3	OCF3C	OCF1C	ETIFR
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	

동작 모드

- TCCRnA 와 TCCRnB 의 WGMn3~0에 의하여 동작모드 결정
- COMnx1~0에 의하여 출력신호의 동작 지정, OCnx단자에 어떤 파형 출력할지 결정



Korea University of Technology and Education

일반 모드

- WGMn3 ~ 0 = 0
- TCNTn 이 항상 상향 카운터로만 동작
 - 클럭 입력에 의하여 0x0000 -> 0xFFFF 계수동작 반복, 클리어 없음
- 0xFFFF -> 0x0000 순간
 - TOVn -> 1, overflow 인터럽트 발생
- 일반모드에서는 출력비교인터럽트 사용은 가능하나 바람직하지 않다.
- 출력비교는 고속 PWM모드 사용 권장
- 입력캡처 동작은 일반모드에서 사용 편리

Korea University of Technology and Education

CTC (Clear Timer on Compare Match) 모드

- WGM3~0 = 4(OCRnA와 비교) 또는 12(ICRn과 비교)
- TCNTn = OCRnA
 - 다음 클럭 사이클에서 TCNTn → 0
 - 클럭 입력에 의하여 TCNTn 는 0x0000 ~ OCRnA 계수동작 반복
- COMnx1:0 = 01
 - OCnx 단자가 출력파형을 발생

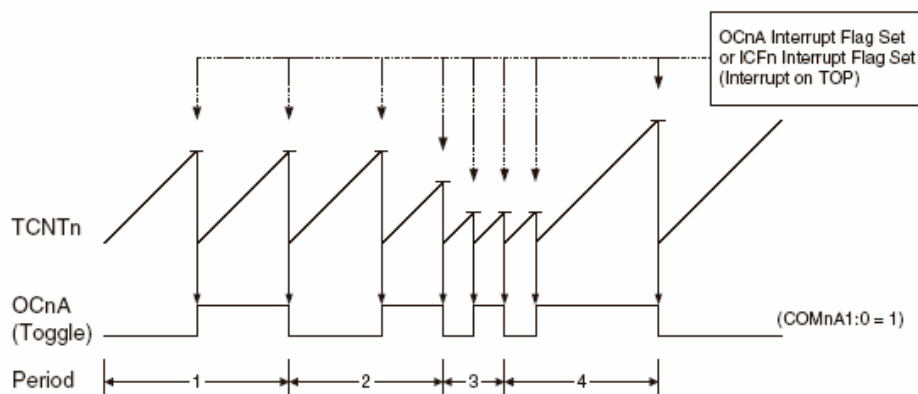
- TCNTn = ICRn
 - 다음 클럭 사이클에서 TCNTn → 0
 - 클럭 입력에 의하여 TCNTn 는 0x0000 ~ ICRn 계수동작 반복
- COMnx1:0 = 01
 - OCnx 단자가 출력파형을 발생

Korea University of Technology and Education

타이머/카운터 1과 3의 CTC모드 동작

$$f_{OCnx} = \frac{f_{clk_I/O}}{2N(1+OCRnA)} = \frac{f_{clk_Tn}}{2(1+OCRnA)} \quad f_{OCnx} = \frac{f_{clk_I/O}}{2N(1+ICRn)} = \frac{f_{clk_Tn}}{2(1+ICRn)}$$

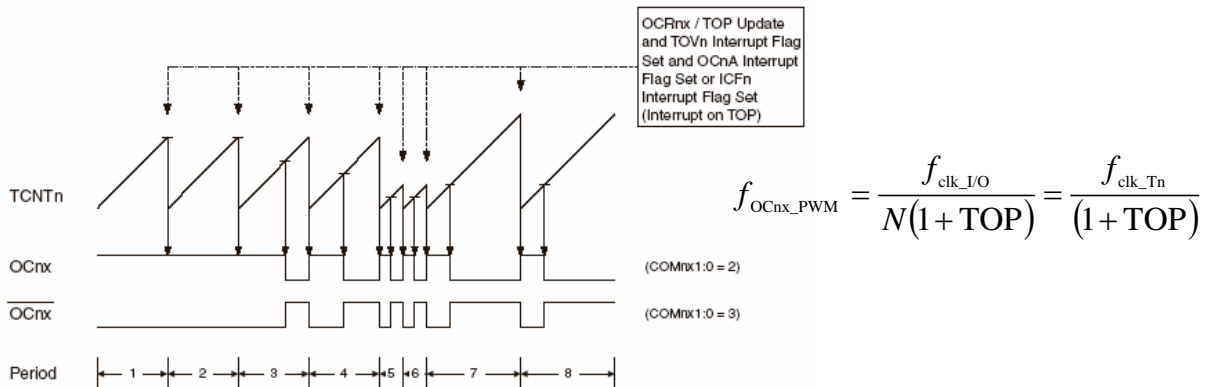
N (프리스케일러 분주비) = 1, 8, 64, 256, 1024



Korea University of Technology and Education

고속 PWM 모드

- WGMn3~0 = 5,6,7,14,15
- 높은 주파수의 PWM 출력 파형을 발생하는데 유용
- TCNTn 계수동작, 0x0000 → 0xFFFF 반복적 수행
- TCNTn = OCRnx → OCnx = 0
- TCNTn (TOP → 0x0000) → OCnx = 1
 - TOP은 모드에 따라: 0x00FF, 0x01FF, 0x03FF, ICRn, OCRnA



Korea University of Technology and Education

고속 PWM 모드

- OCRnx = 0x0000
 - TCNTn의 값이 0x0000이 되는 1 타이머 클럭 사이클 동안에만 좁은 스파이크로 나타남
 - 듀티비 1/(1+TOP)
- OCRnx = TOP
 - 계속 H, 또는 계속 L
- 분주비
 - 1, 8, 64, 256, 1024

Korea University of Technology and Education

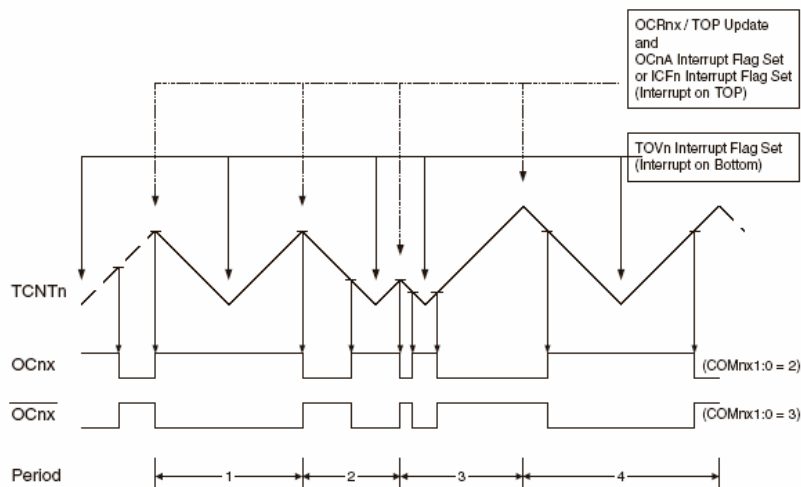
위상교정 PWM 모드

- WGMn3~0 = 1,2,3,10,11
- 높은 분해능의 PWM 출력 파형을 발생하는데 유용하다
- Dual-slope operation
 - TCNTn: 0x0000 → TOP → 0x0000 반복
- 상향 카운터 시 TCNTn = OCRnx → OCnx = 0
- 하향 카운터 시 TCNTn = OCRnx → OCnx = 1
- TOP은 동작모드에 따라, 0x00FF, 0x01FF, 0x03FF, ICRn, OCRnA
- OCRnx=TOP or 0x0000

$$f_{\text{OCnx_PWM}} = \frac{f_{\text{clk_I/O}}}{2NTOP} = \frac{f_{\text{clk_Tn}}}{2TOP}$$

Korea University of Technology and Education

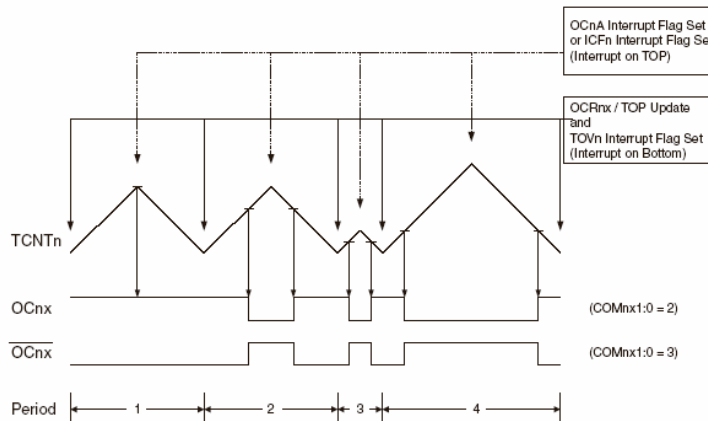
위상교정 PWM 모드



Korea University of Technology and Education

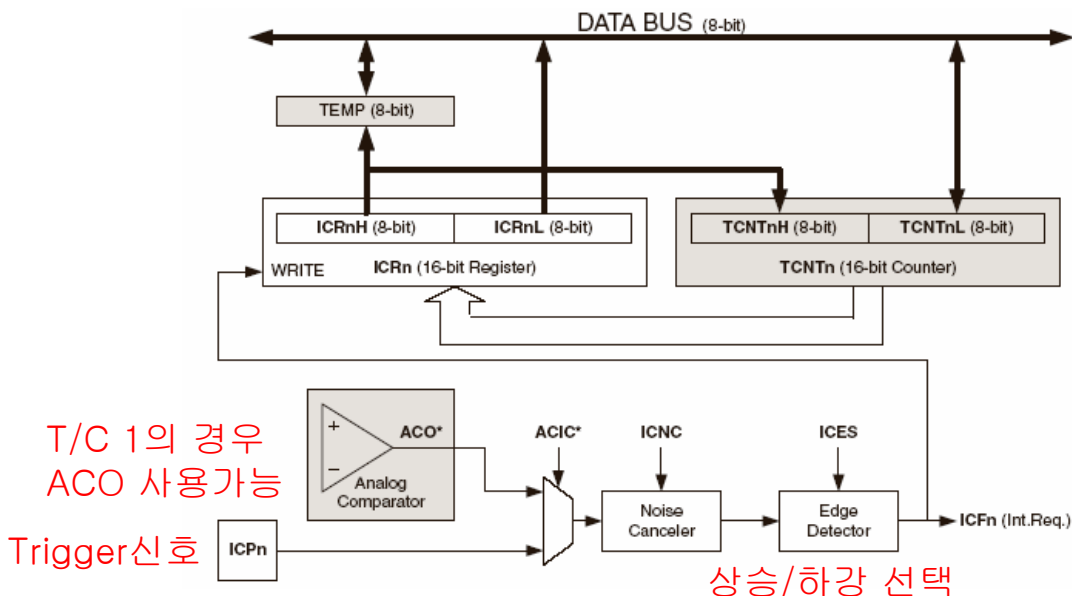
위상 및 주파수교정 PWM 모드

- TOP의 값을 ICRn과 OCRnA의 2가지만으로 지정
- 새로운 값으로 갱신 시, TCNTn = 0x0000(BOTTOM)으로 되는 순간에 갱신
- 동작주기 0x0000 -> 0x0000, 완벽한 대칭동작
- 위상교정 PWM모드에서는 TOP 값이 변하는 주기에서는 과도적으로 비대칭의 PWM 파형을 출력한다.



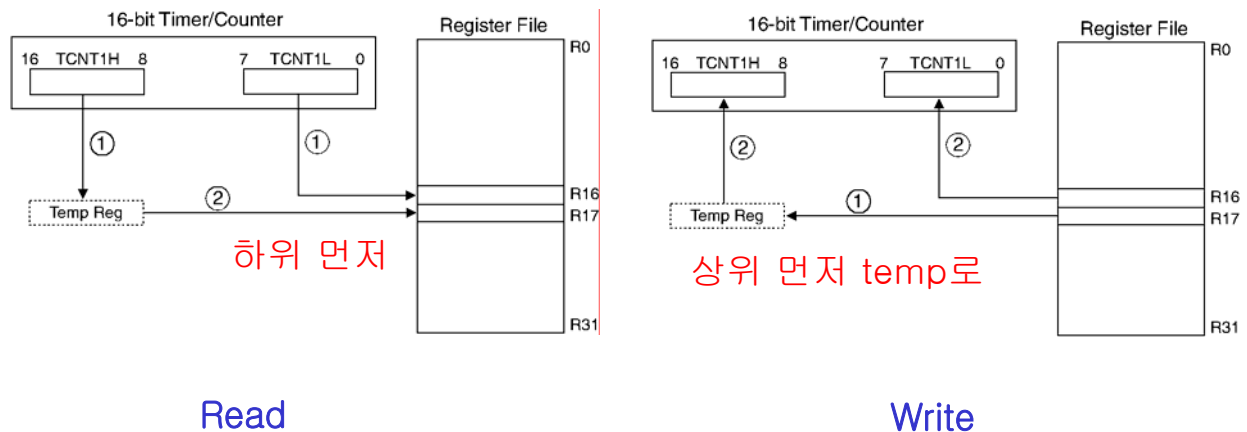
입력캡처 기능

- 외부 트리거 입력신호에 의하여 현재의 타이머/카운터 레지스터 값을 캡처하여 저장하는 기능
- 어떤 신호의 주파수 측정이나 짧은 펄스 신호의 주기 측정 등에 응용



16비트 레지스터의 액세스

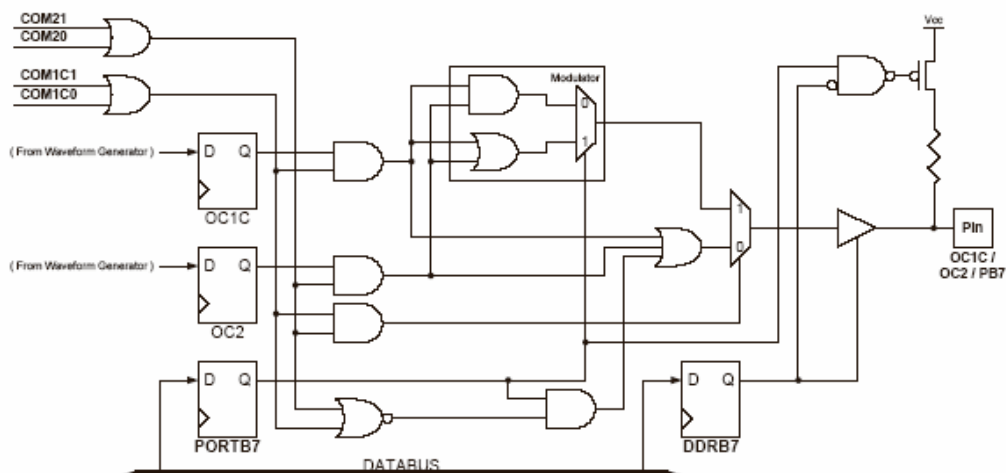
- 상위 바이트와 하위 바이트를 시차를 두고 액세스 할 경우 그 사이에 데이터가 변하여 잘못된 데이터로 처리될 수 있다.
- 그러므로 동시에 처리 하여야 함



Korea University of Technology and Education

OC1C와 OC2의 선택

- 17번 핀은 PB7, OC1C, OC2 3가지 기능 겸용
- OC1C와 OC2 두 가지를 모두 설정 하여 사용하는 경우
 - PORTB7=1; OC1C OR OC2
 - PORTB7=0; OC1C AND OC2



Korea University of Technology and Education