



Universidade Federal de Santa Maria
Departamento de Eletrônica e Computação

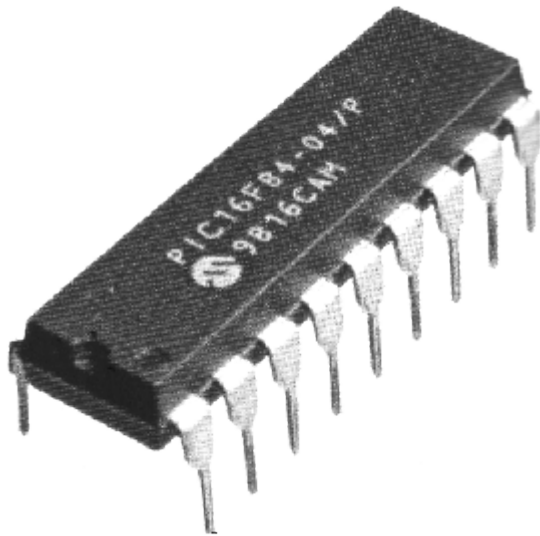
PROJETO DE SISTEMAS EMBARCADOS

Acesso ao hardware em
microcontroladores

Prof. Carlos Henrique Barriquello
barriquello@gmail.com

Objetivos

- Compreender como é feita a interface entre microcontrolador e o mundo externo

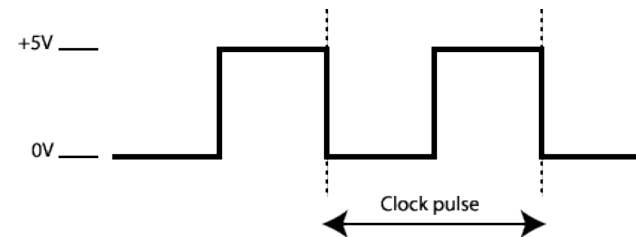
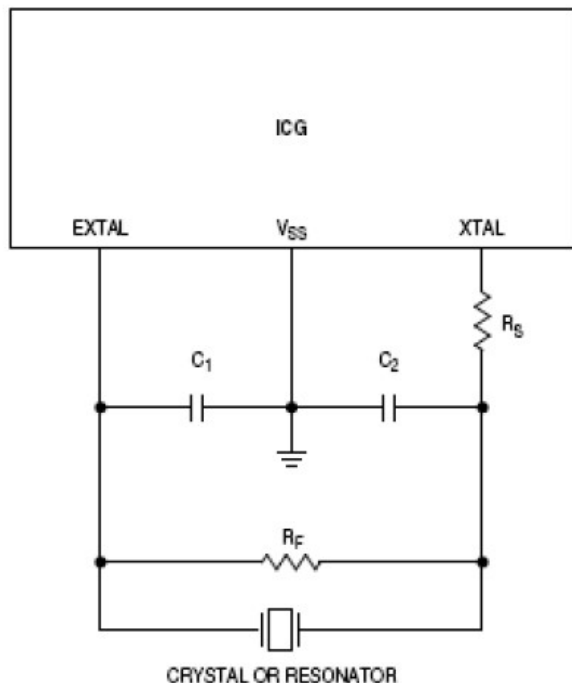


Tema e conteúdo

- Dispositivos periféricos (timer e PWM).
- Interrupções.

Sinal de *clock*

- O módulo interno de geração de *clock* é utilizado para gerar o *clock* do microcontrolador

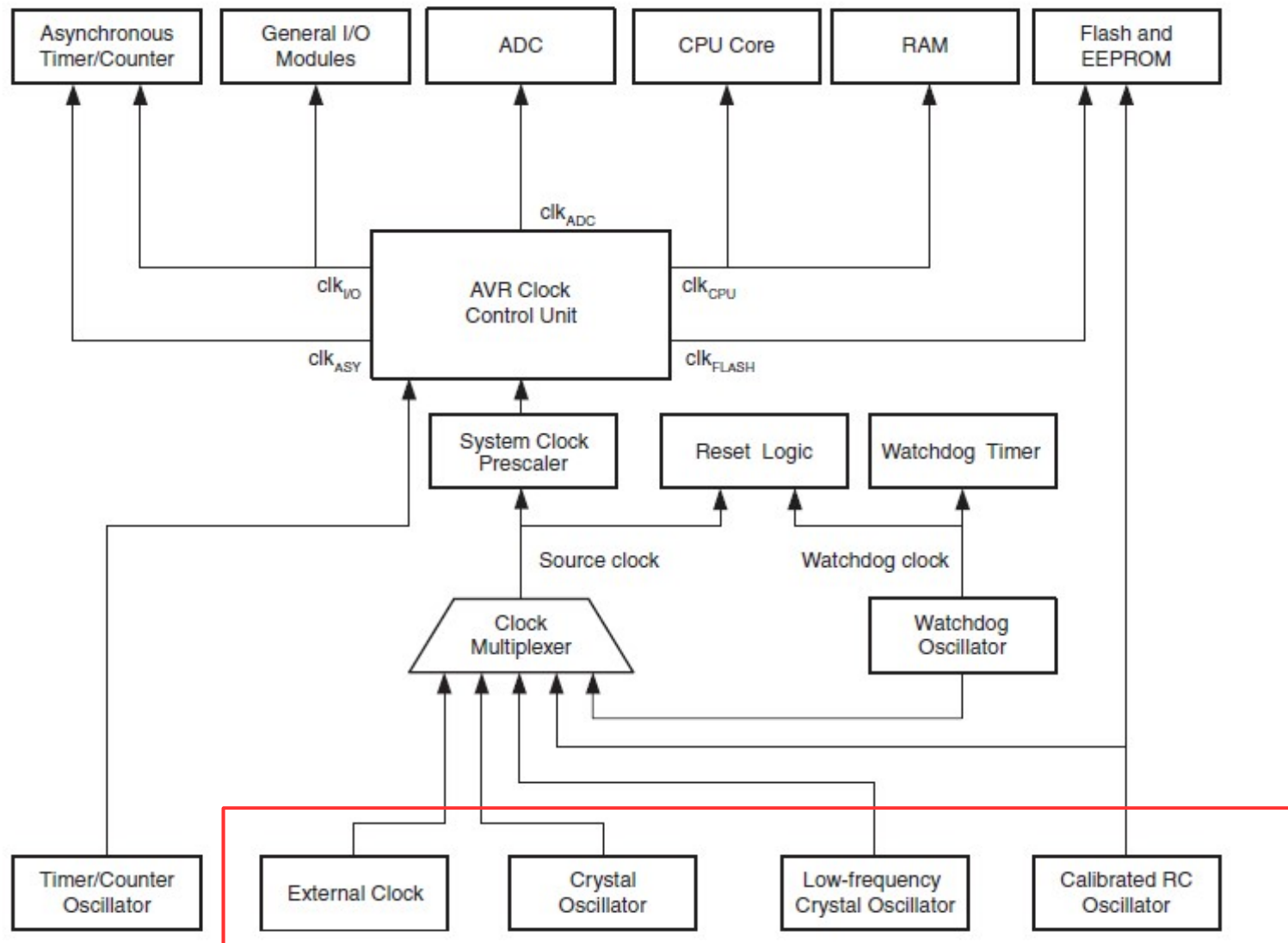


Sinal de *clock*

- Várias possibilidades de fonte primária para o *clock*:
 - Cristal ou ressonador cerâmico
 - Cristal de baixa frequência externo
 - *Clock* externo
 - Oscilador RC interno
- Em geral, cada instrução (com algumas exceções) leva um ciclo de clock para ser executada.

!!! Exemplo referente a um microcontrolador AVR da Microchip/Atmel–
<http://www.atmel.com/products/microcontrollers/avr/>

Sinal de *clock*



ATmega328P – Faixa de Operação

Tensão de operação: 1,8 a 5,5V ;

Faixa de temperatura: -40°C a 85°C;

Máxima frequência:

0 - 4MHz@1,8 – 5,5V,

0 - 10MHz@2,7 – 5,5V,

0 - 20MHz @4,5 – 5,5V.

Consumo a 1MHz, 1,8V, 25°C:

Active Mode: 0,2mA;

Power-down Mode: 0,1µA;

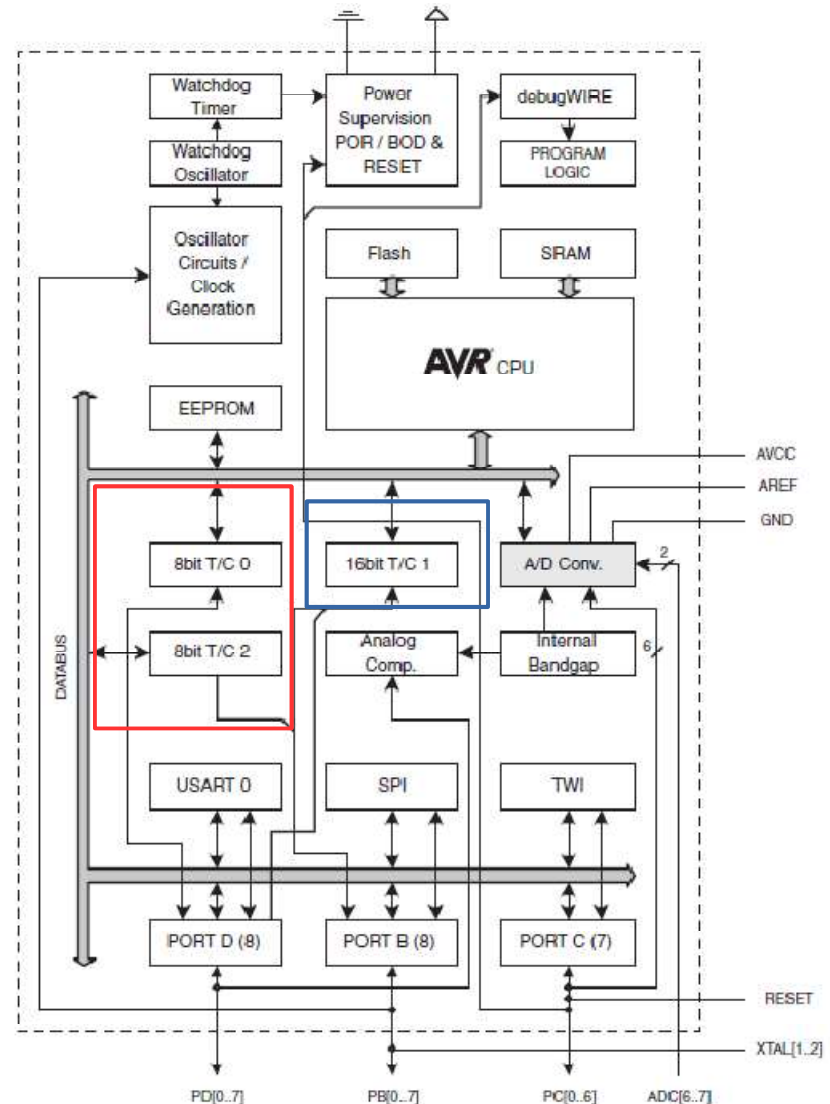
Power-save Mode: 0,75µA (incluindo 32kHz RTC).

!!! Exemplo referente a um microcontrolador AVR da Microchip/Atmel–
<http://www.atmel.com/products/microcontrollers/avr/>

Temporizador (*Timer*)

- É um periférico do microcontrolador.
- É utilizado para contagem de tempo sem uso da CPU.
- O ATmega328 possui três circuitos independentes de temporizadores, chamados de Timer0, Timer1 e Timer2.
- Timer0: contador de 8 bits.
- Timer1: contador de 16 bits.
- Timer2: contador de 8 bits.

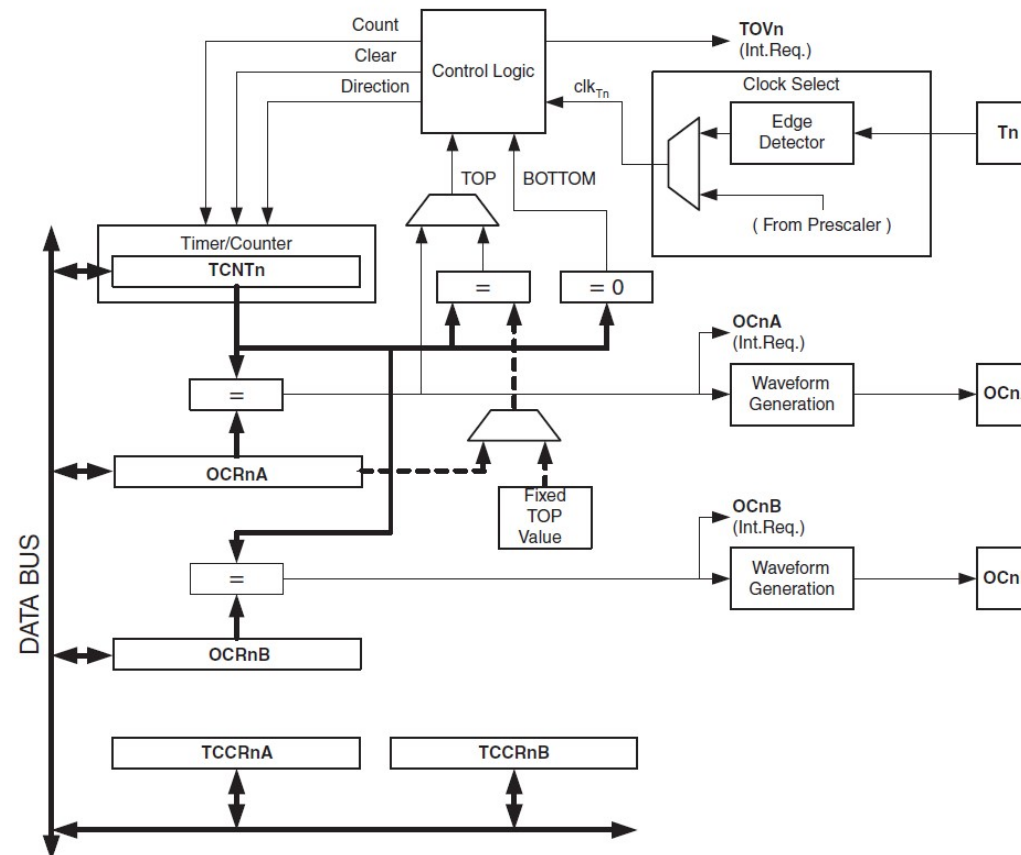
!!! Exemplo referente a um microcontrolador AVR da Microchip/Atmel



Temporizador (*Timer*)

- Existem três funções principais para o módulo temporizador de um microcontrolador:
 - Contagem/estouro de Tempo
 - Modo Captura de Entrada
 - PWM (Modulação por largura de pulso)

8-bit Timer/Counter Block Diagram



!!! Exemplo referente a um microcontrolador AVR da Microchip/Atmel–
<http://www.atmel.com/products/microcontrollers/avr/>

Contagem/Estouro de Tempo

- Esta função do periférico de temporização possibilita criar tempos determinados para um certa tarefa ser realizada.
 - Ex: Contagem de tempo de um relógio, atualização de display, varredura de portas, etc
- A configuração do timer é feita por registradores especiais.
- Por exemplo, Timer/Counter Control Register A e B (TCCRxA e TCCRxB), onde x é o número do Timer.

Alguns microcontroladores possuem mais de um módulo temporizador. Neste caso, o “X” deve ser substituído pelo número do módulo de *timer*.

!!! Exemplo referente a um microcontrolador AVR da Microchip/Atmel–
<http://www.atmel.com/products/microcontrollers/avr/>

Contagem/Estouro de Tempo

- Considerando um *clock* de 16MHz, qual é o menor período possível entre incrementos de contagem para um *timer*?

Contagem/Estouro de Tempo

- O registrador do timer é incrementado a cada ciclo de clock (ou a cada 8, 64, 1024... ciclos). Logo, o período mínimo de incremento é de:
 $1/(16 \cdot 10^6) = 62,5 \text{ ns}$.
- Esse valor representa a **resolução** do timer.

Contagem/Estouro de Tempo

- Considere um clock de 16MHz. Qual é o período máximo para estouro de um timer de 8 bits que é incrementado a cada 1024 ciclos? E se o timer for de 16 bits? E se for de 32 bits ?

Contagem/Estouro de Tempo

- Considere um clock de 16MHz. Qual é o período máximo para estouro de um timer de 8 bits que é incrementado a cada 1024 ciclos? E se o timer for de 16 bits?
- Incremento a cada $1024/(16 \times 10^6) = 64 \text{ us}$.
- Para 8 bits: estouro ocorre após 256 incrementos:
 $256 * 64 \text{ us} = 16,38 \text{ ms}$.
- Para 16 bits: estouro ocorre após 65.536 incrementos:
 $65.536 * 64 \text{ us} = 4,194 \text{ s}$.

Contagem/Estouro de Tempo

- Registradores de configuração (ex. T/C 0, Timer0)

TCCR0A – Timer/Counter Control Register A

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
0x24 (0x44)	COM0A1	COM0A0	COM0B1	COM0B0	–	–	WGM01	WGM00	TCCR0A
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R	R	R/W	R/W	
Initial Value	0	0	0	0	0	0	0	0	

TCCR0B – Timer/Counter Control Register B

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
0x25 (0x45)	FOC0A	FOC0B	–	–	WGM02	CS02	CS01	CS00	TCCR0B
Read/Write	W	W	R	R	R/W	R/W	R/W	R/W	
Initial Value	0	0	0	0	0	0	0	0	

!!! Exemplo referente a um microcontrolador AVR da Microchip/Atmel–
<http://www.atmel.com/products/microcontrollers/avr/>

Contagem/Estouro de Tempo

- Os 3 LSBs de TCCRxB configuram o período de incremento do timer:

CS02	CS01	CS00	Description
0	0	0	No clock source (Timer/Counter stopped)
0	0	1	$\text{clk}_{I/O}/(\text{No prescaling})$
0	1	0	$\text{clk}_{I/O}/8$ (From prescaler)
0	1	1	$\text{clk}_{I/O}/64$ (From prescaler)
1	0	0	$\text{clk}_{I/O}/256$ (From prescaler)
1	0	1	$\text{clk}_{I/O}/1024$ (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.

!!! Exemplo referente a um microcontrolador AVR da Microchip/Atmel–
<http://www.atmel.com/products/microcontrollers/avr/>

Contagem/Estouro de Tempo

- Modos de operação (normal ou contador, contador com reinício e PWM)

Table 15-8. Waveform Generation Mode Bit Description

Mode	WGM02	WGM01	WGM00	Timer/Counter Mode of Operation	TOP	Update of OCRx at	TOV Flag Set on ⁽¹⁾⁽²⁾
0	0	0	0	Normal	0xFF	Immediate	MAX
1	0	0	1	PWM, Phase Correct	0xFF	TOP	BOTTOM
2	0	1	0	CTC	OCRA	Immediate	MAX
3	0	1	1	Fast PWM	0xFF	BOTTOM	MAX
4	1	0	0	Reserved	–	–	–
5	1	0	1	PWM, Phase Correct	OCRA	TOP	BOTTOM
6	1	1	0	Reserved	–	–	–
7	1	1	1	Fast PWM	OCRA	BOTTOM	TOP

Notes: 1. MAX = 0xFF

2. BOTTOM = 0x00

!!! Exemplo referente a um microcontrolador AVR da Microchip/Atmel–
<http://www.atmel.com/products/microcontrollers/avr/>

Contagem/Estouro de Tempo

- Registrador TCNT0

TCNT0 – Timer/Counter Register

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
0x26 (0x46)	TCNT0[7:0]								TCNT0
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	

O VALOR CONTADO PELO TEMPORIZADOR FICA ARMAZENADO NESTE REGISTRADOR

!!! Exemplo referente a um microcontrolador AVR da Microchip/Atmel–
<http://www.atmel.com/products/microcontrollers/avr/>

Contagem/Estouro de Tempo

- Comparadores OCR0A e OCR0B

OCR0A – Output Compare Register A

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
0x27 (0x47)	OCR0A[7:0]								OCR0A
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	

OCR0B – Output Compare Register B

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
0x28 (0x48)	OCR0B[7:0]								OCR0B
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	

O VALOR CONTADO PELO TEMPORIZADOR É CONTINUAMENTE COMPARADO COM ESTES REGISTRADORES

Contagem/Estouro de Tempo

- Registrador TIFR0

TIFR0 – Timer/Counter 0 Interrupt Flag Register

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
0x15 (0x35)	–	–	–	–	–	OCF0B	OCF0A	TOV0	TIFR0
Read/Write	R	R	R	R	R	R/W	R/W	R/W	
Initial Value	0	0	0	0	0	0	0	0	

Quando:

TCNT0 == 0xFF, bit TOV0 = 1
TCNT0 == OCR0A, bit OCF0A = 1
TCNT0 == OCR0B, bit OCF0B = 1

TOV → Timer overflow

!!! Exemplo referente a um microcontrolador AVR da Microchip/Atmel–
<http://www.atmel.com/products/microcontrollers/avr/>

Contagem/Estouro de Tempo

- Registrador TIFR0

TIMSK0 – Timer/Counter Interrupt Mask Register

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
(0x6E)	–	–	–	–	–	OCIE0B	OCIE0A	TOIE0	TIMSK0
Read/Write	R	R	R	R	R	R/W	R/W	R/W	
Initial Value	0	0	0	0	0	0	0	0	

É possível habilitar interrupções para cada evento de comparação!

!!! Exemplo referente a um microcontrolador AVR da Microchip/Atmel–
<http://www.atmel.com/products/microcontrollers/avr/>

Contagem/Estouro de Tempo

- Exemplo p/ Timer 0

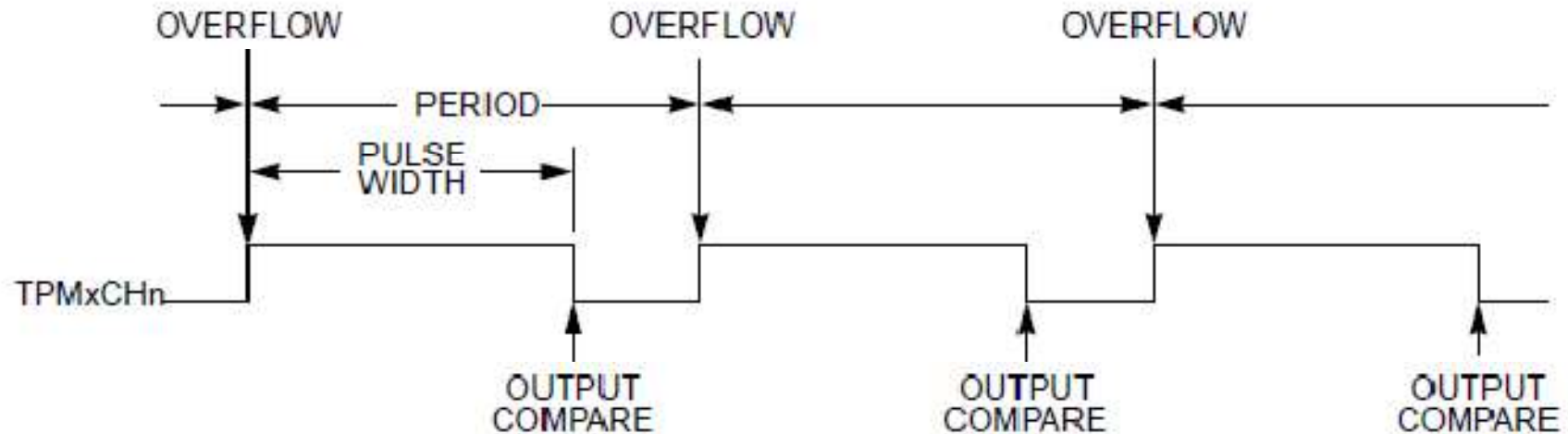
```
void Timer0_init(void)
{
    TCCR0A = 0;                // desliga timer 0
    TCCR0B = 0;
    TIMSK0 = (1 << TOIE0); // habilita interrupção
    TCCR0B |= (1 << CS00); // liga timer
}

ISR(TIMER0_OVF_vect)
{
    // código vai aqui!
}
```

!!! Exemplo referente a um microcontrolador AVR da Microchip/Atmel–
<http://www.atmel.com/products/microcontrollers/avr/>

PWM

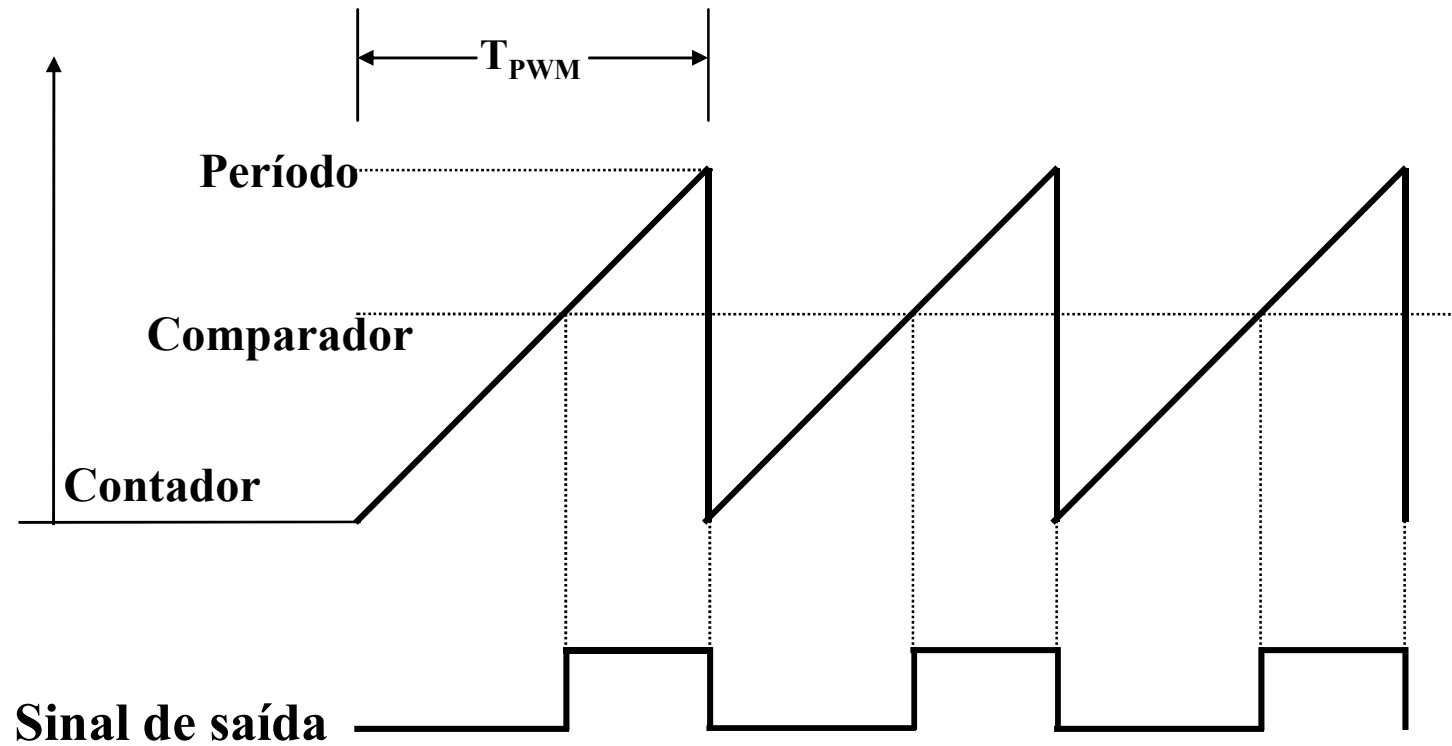
- Modulação por largura de pulso:



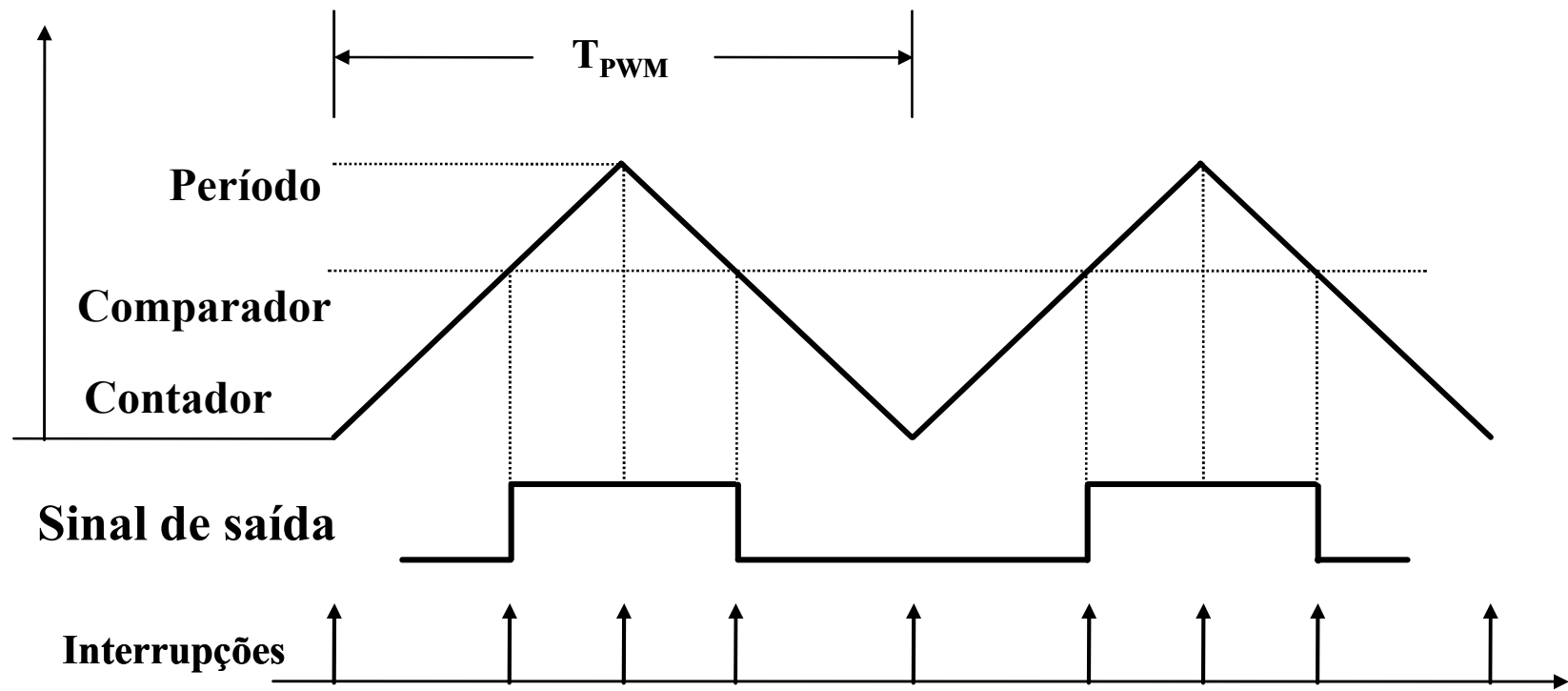
Razão cíclica:

razão entre tempo que o sinal permanece alto (lógico 1) pelo tempo total de um período

PWM assimétrico

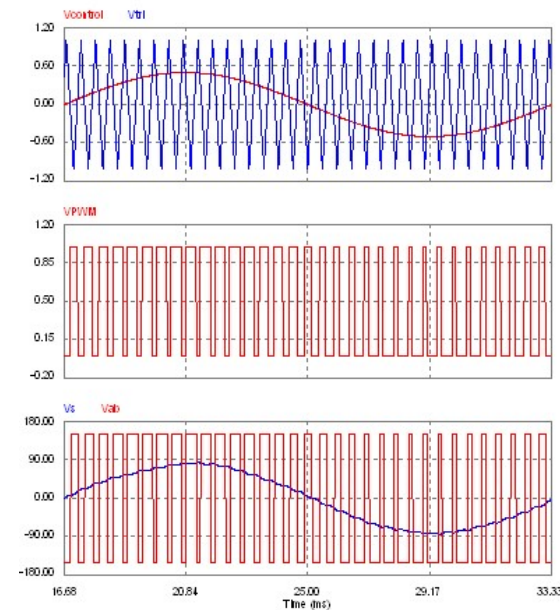
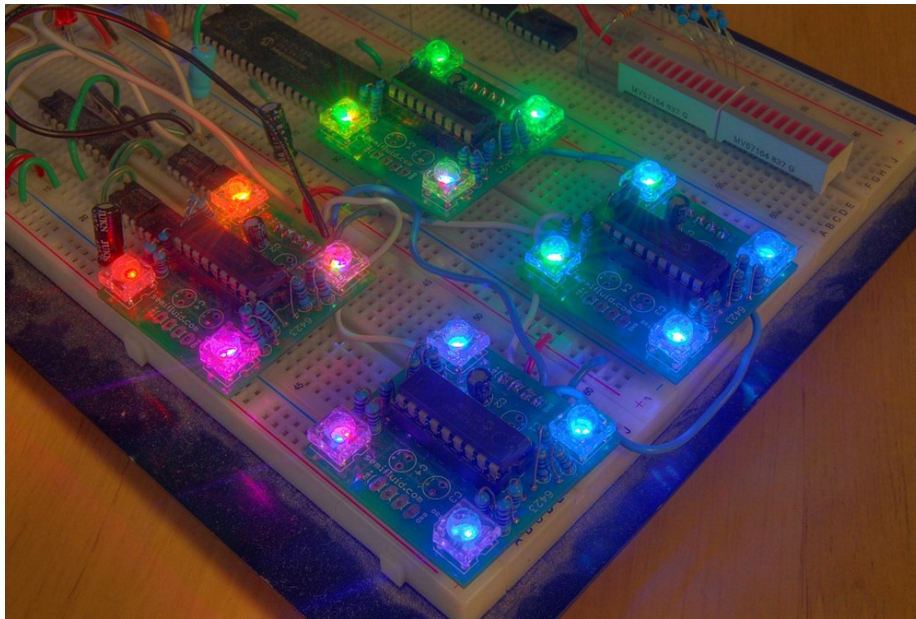


PWM simétrico



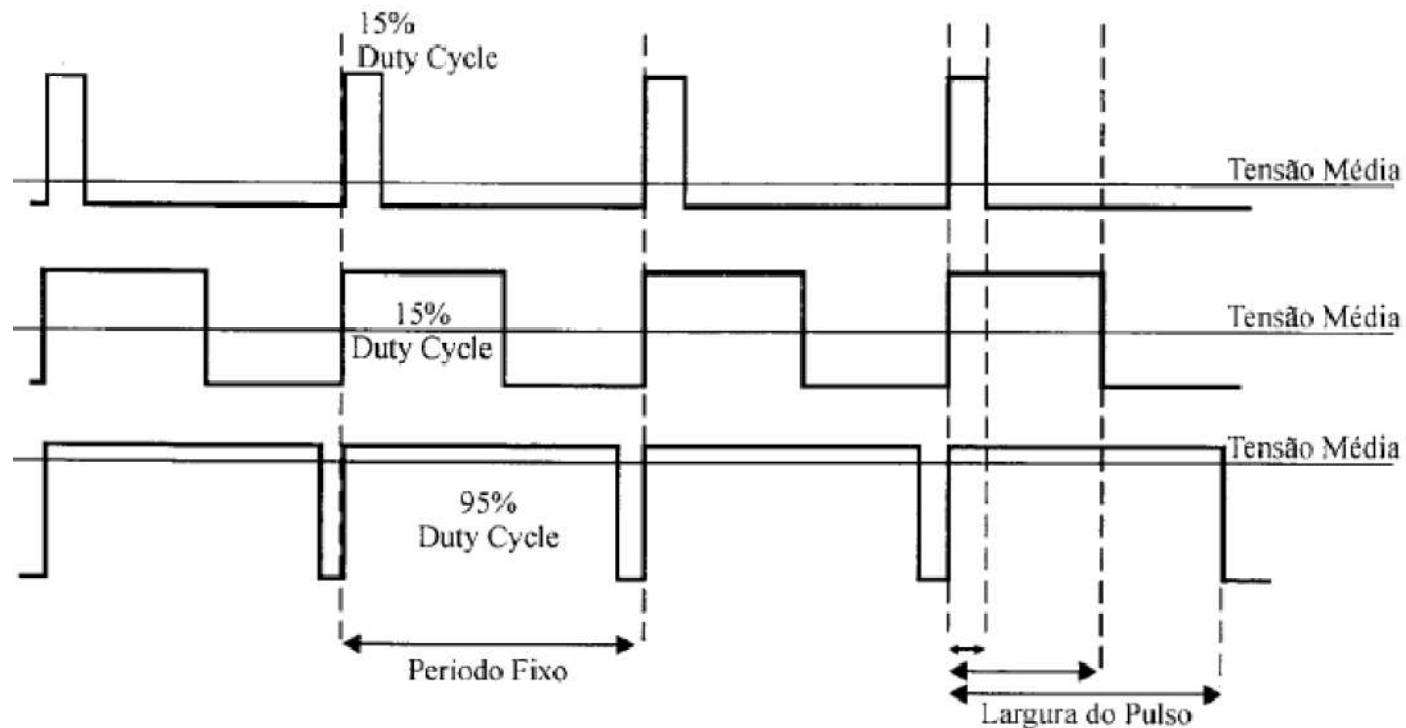
PWM

- Exemplos de aplicações:
 - Controle de intensidade (ex.: brilho de um LED)
 - Sintetização de sinais analógicos (ex.: um sinal senoidal)
 - Controle de máquinas, motores, conversores, etc...



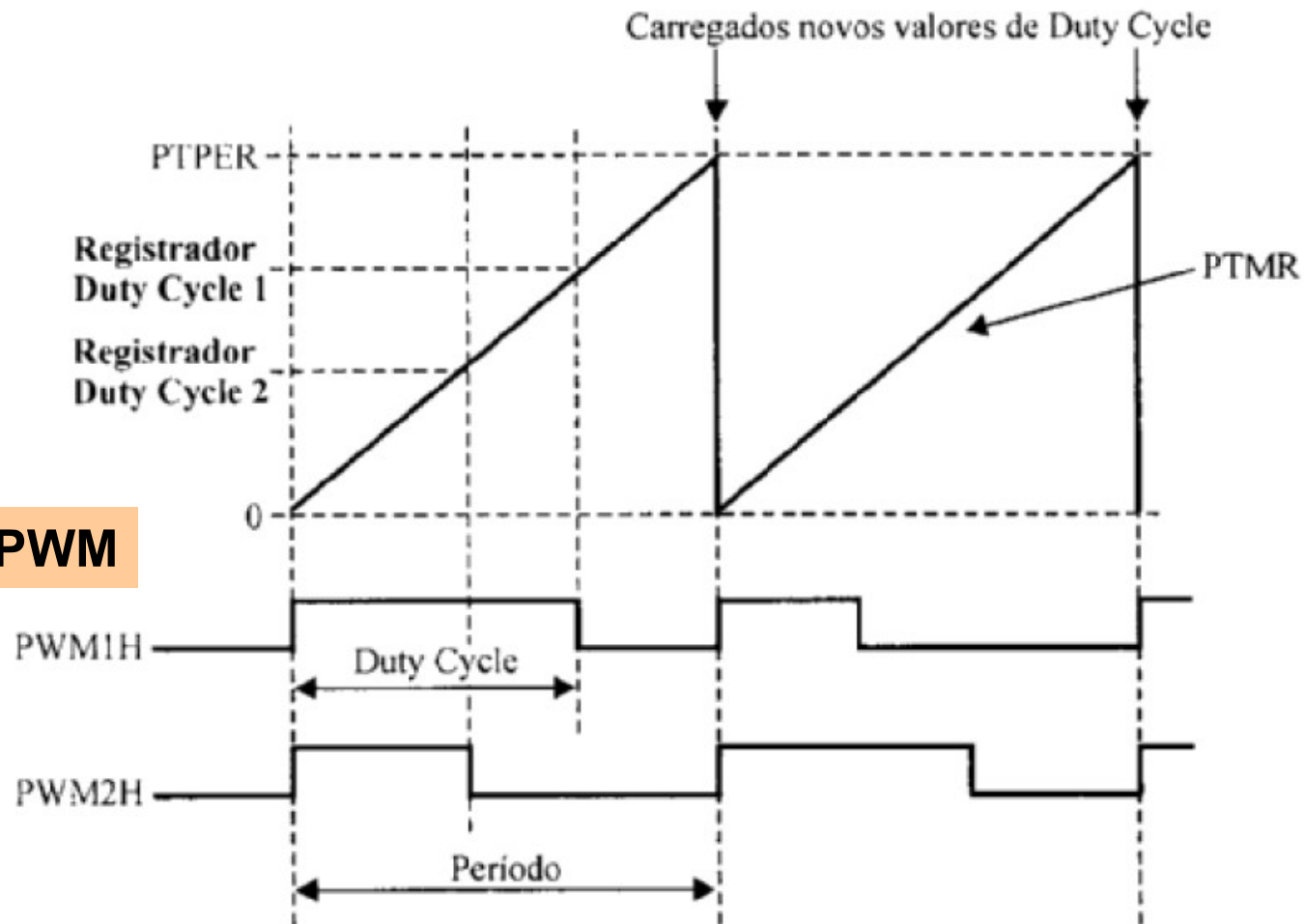
PWM

Princípio: Variação do valor médio de tensão



PWM

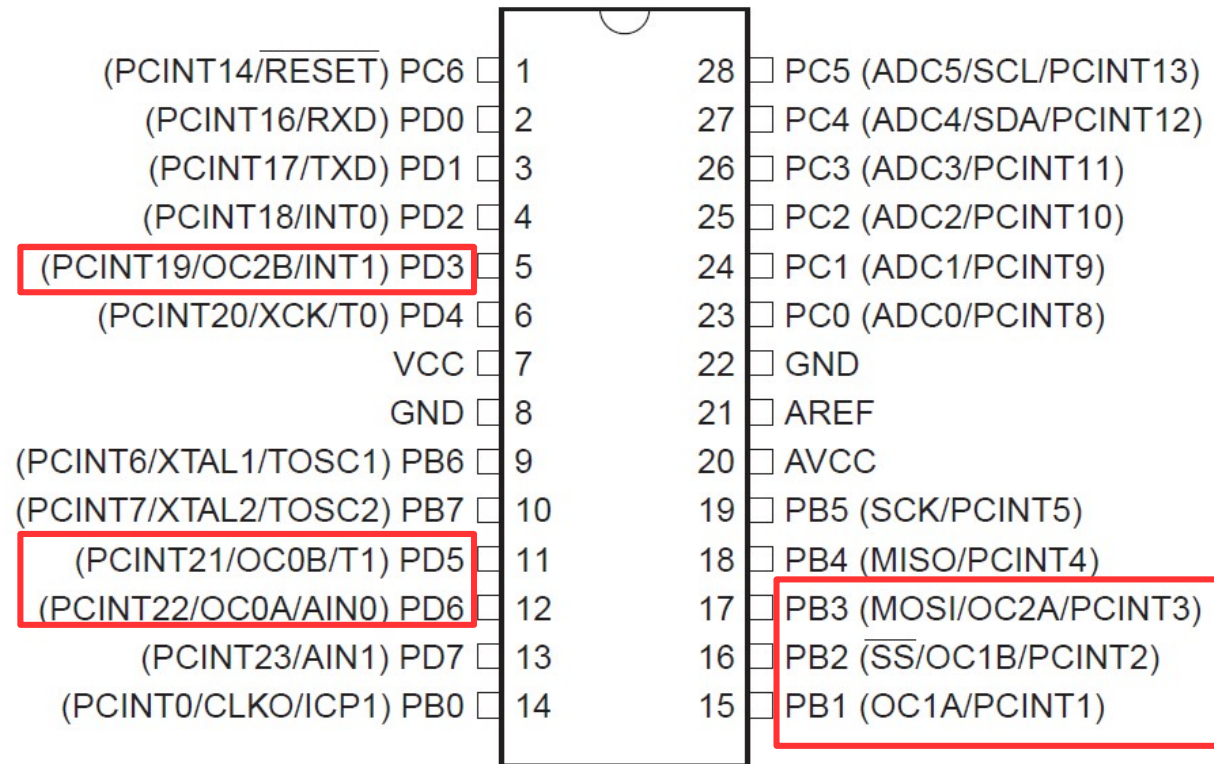
Frequência do PWM → período de contagem



Canais de PWM

!!! Exemplo referente a um microcontrolador AVR da Microchip/Atmel–
<http://www.atmel.com/products/microcontrollers/avr/>

Canais de PWM

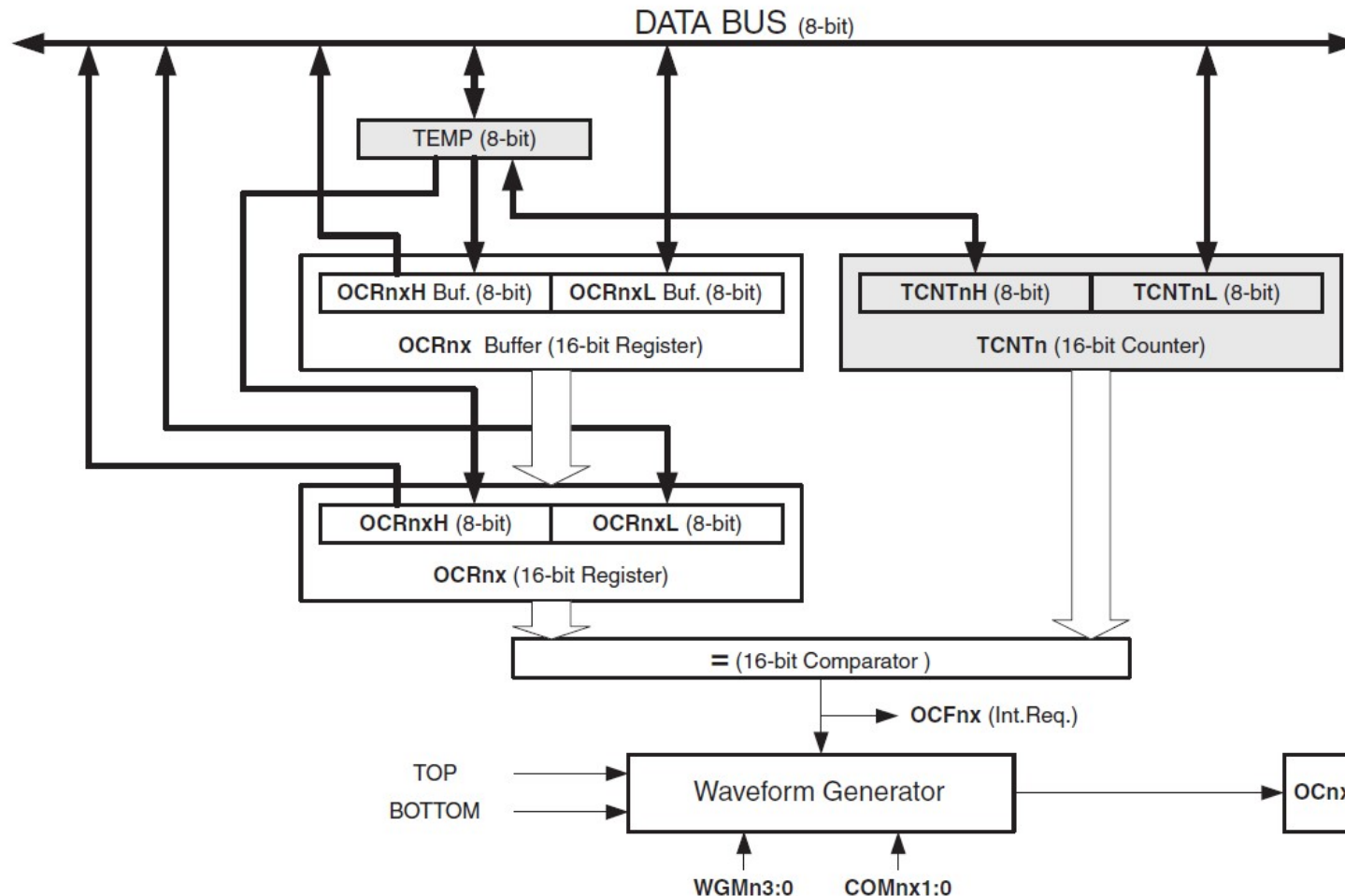


Cada timer pode ter mais de um canal!
No Atmega328P são 2 canais por timer (A e B).

!!! Exemplo referente a um microcontrolador AVR da Microchip/Atmel–
<http://www.atmel.com/products/microcontrollers/avr/>

Timer1 – 16 bits

Output Compare Unit, Block Diagram



Timer1 – 16 bits

C Code Example⁽¹⁾

```
void TIM16_WriteTCNT1( unsigned int i )
{
    unsigned char sreg;
    unsigned int i;
    /* Save global interrupt flag */
    sreg = SREG;
    /* Disable interrupts */
    _CLI();
    /* Set TCNT1 to i */
    TCNT1 = i;
    /* Restore global interrupt flag */
    SREG = sreg;
}
```

Por operar com registradores de 16 bits usando uma CPU de 8 bits, a escrita e a leitura devem ser **atômicas**!

Para isto, **desabilita-se interrupções** temporariamente.

!!! Exemplo referente a um microcontrolador AVR da Microchip/Atmel–
<http://www.atmel.com/products/microcontrollers/avr/>

Configuração de PWM

TCCR1A – Timer/Counter1 Control Register A

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
(0x80)	COM1A1	COM1A0	COM1B1	COM1B0	–	–	WGM11	WGM10	TCCR1A
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R	R	R/W	R/W	
Initial Value	0	0	0	0	0	0	0	0	

TCCR1B – Timer/Counter1 Control Register B

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
(0x81)	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	

!!! Exemplo referente a um microcontrolador AVR da Microchip/Atmel–
<http://www.atmel.com/products/microcontrollers/avr/>

Configuração de PWM

PWM assimétrico – Fast PWM

Table 16-2. Compare Output Mode, Fast PWM⁽¹⁾

COM1A1/COM1B1	COM1A0/COM1B0	Description
0	0	Normal port operation, OC1A/OC1B disconnected.
0	1	WGM13:0 = 14 or 15: Toggle OC1A on Compare Match, OC1B disconnected (normal port operation). For all other WGM1 settings, normal port operation, OC1A/OC1B disconnected.
1	0	Clear OC1A/OC1B on Compare Match, set OC1A/OC1B at BOTTOM (non-inverting mode)
1	1	Set OC1A/OC1B on Compare Match, clear OC1A/OC1B at BOTTOM (inverting mode)

!!! Exemplo referente a um microcontrolador AVR da Microchip/Atmel–
<http://www.atmel.com/products/microcontrollers/avr/>

Configuração de PWM

PWM simétrico – Phase Correct PWM

Table 16-3. Compare Output Mode, Phase Correct and Phase and Frequency Correct PWM⁽¹⁾

COM1A1/COM1B1	COM1A0/COM1B0	Description
0	0	Normal port operation, OC1A/OC1B disconnected.
0	1	WGM13:0 = 9 or 11: Toggle OC1A on Compare Match, OC1B disconnected (normal port operation). For all other WGM1 settings, normal port operation, OC1A/OC1B disconnected.
1	0	Clear OC1A/OC1B on Compare Match when up-counting. Set OC1A/OC1B on Compare Match when downcounting.
1	1	Set OC1A/OC1B on Compare Match when up-counting. Clear OC1A/OC1B on Compare Match when downcounting.

!!! Exemplo referente a um microcontrolador AVR da Microchip/Atmel–
<http://www.atmel.com/products/microcontrollers/avr/>

!!! Exemplo referente a um microcontrolador AVR da Microchip/Atmel–
<http://www.atmel.com/products/microcontrollers/avr/>

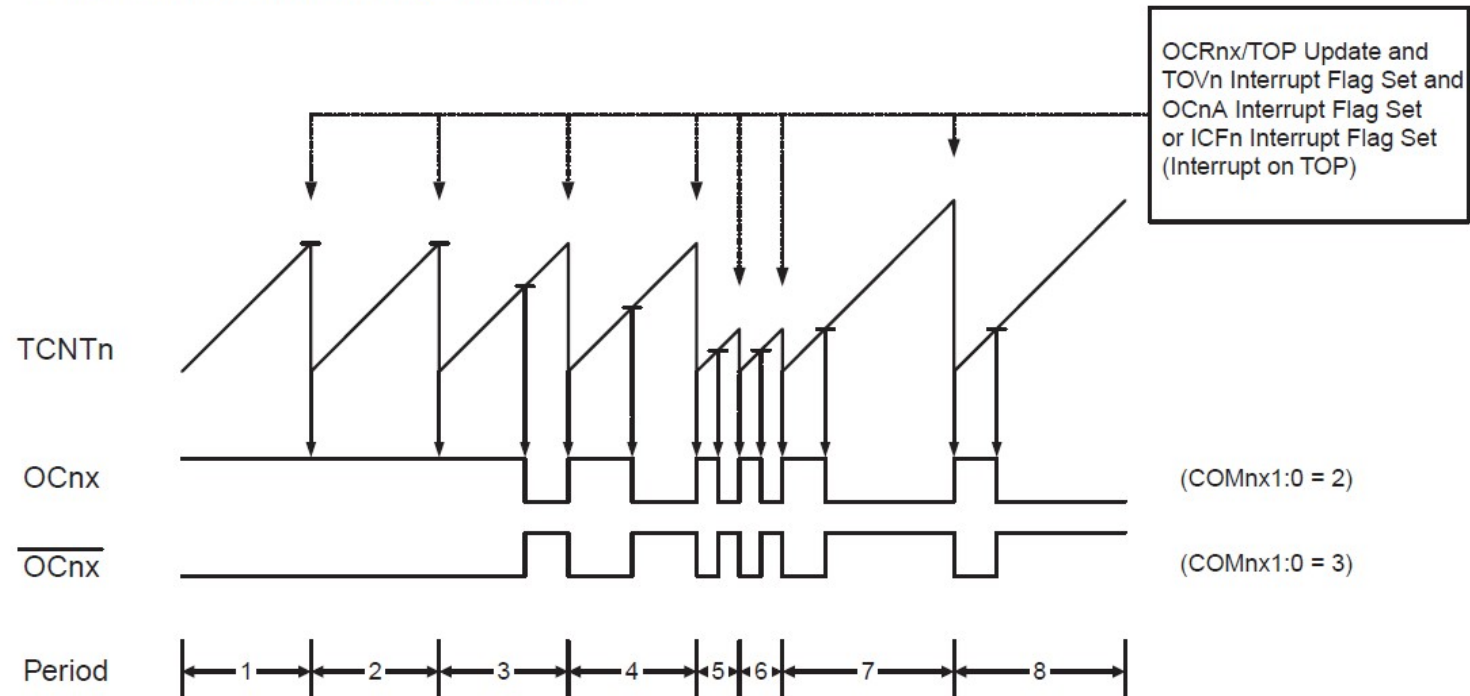
Configuração de PWM

Table 16-4. Waveform Generation Mode Bit Description⁽¹⁾

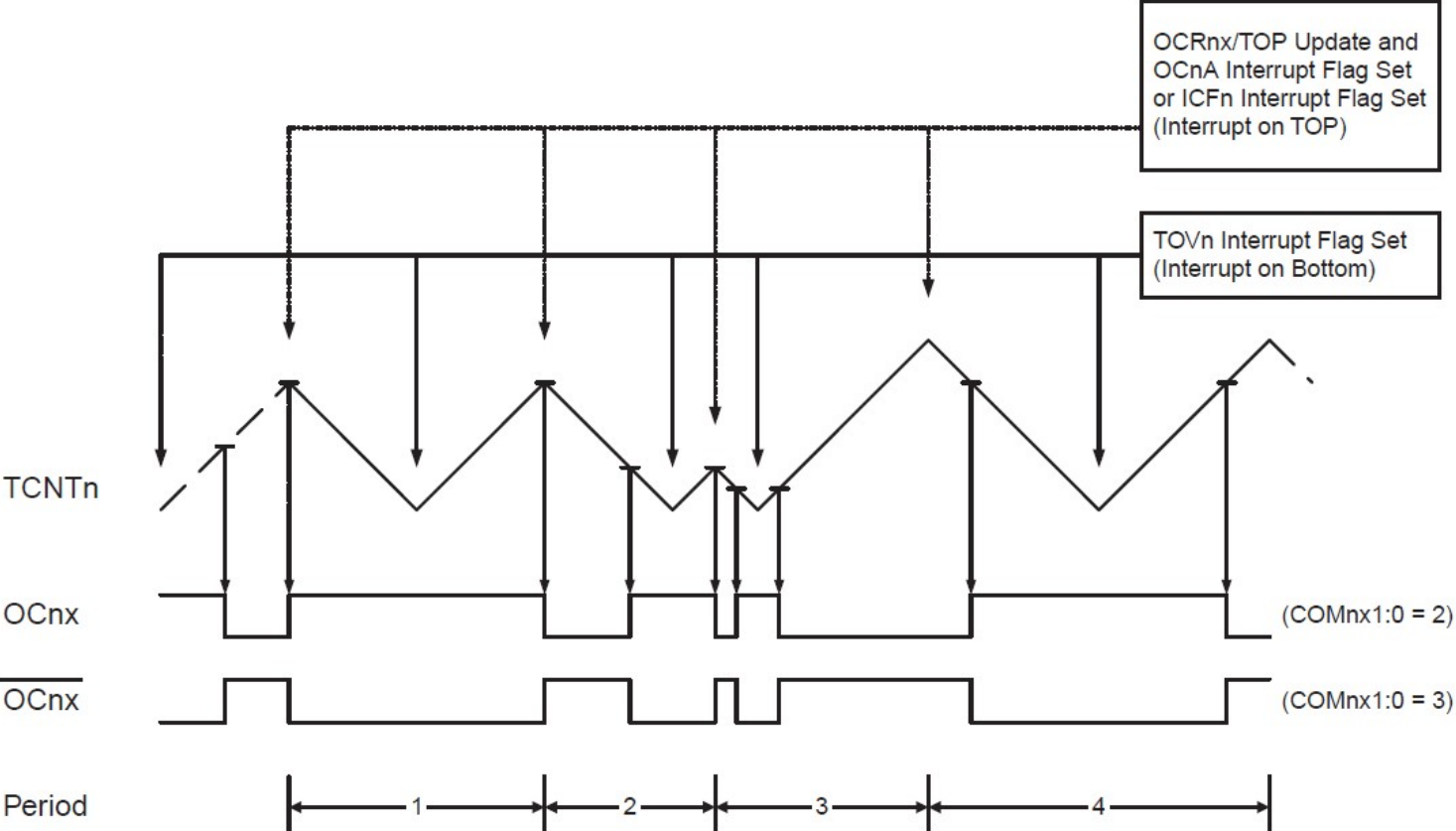
Mode	WGM13	WGM12 (CTC1)	WGM11 (PWM11)	WGM10 (PWM10)	Timer/Counter Mode of Operation	TOP	Update of OCR1x at	TOV1 Flag Set on
0	0	0	0	0	Normal	0xFFFF	Immediate	MAX
1	0	0	0	1	PWM, Phase Correct, 8-bit	0x00FF	TOP	BOTTOM
2	0	0	1	0	PWM, Phase Correct, 9-bit	0x01FF	TOP	BOTTOM
3	0	0	1	1	PWM, Phase Correct, 10-bit	0x03FF	TOP	BOTTOM
4	0	1	0	0	CTC	OCR1A	Immediate	MAX
5	0	1	0	1	Fast PWM, 8-bit	0x00FF	BOTTOM	TOP
6	0	1	1	0	Fast PWM, 9-bit	0x01FF	BOTTOM	TOP
7	0	1	1	1	Fast PWM, 10-bit	0x03FF	BOTTOM	TOP
8	1	0	0	0	PWM, Phase and Frequency Correct	ICR1	BOTTOM	BOTTOM
9	1	0	0	1	PWM, Phase and Frequency Correct	OCR1A	BOTTOM	BOTTOM
10	1	0	1	0	PWM, Phase Correct	ICR1	TOP	BOTTOM
11	1	0	1	1	PWM, Phase Correct	OCR1A	TOP	BOTTOM
12	1	1	0	0	CTC	ICR1	Immediate	MAX
13	1	1	0	1	(Reserved)	–	–	–
14	1	1	1	0	Fast PWM	ICR1	BOTTOM	TOP
15	1	1	1	1	Fast PWM	OCR1A	BOTTOM	TOP

Configuração de PWM

Figure 16-7. Fast PWM Mode, Timing Diagram



!!! Exemplo referente a um microcontrolador AVR da Microchip/Atmel—
<http://www.atmel.com/products/microcontrollers/avr/>



!!! Exemplo referente a um microcontrolador AVR da Microchip/Atmel–
<http://www.atmel.com/products/microcontrollers/avr/>

Registradores de PWM

- Registradores do temporizador 1:
 - Controle : TCCR1A e TCCR1B
 - Contador : TCNT1H e TCNT1L
- Comparadores:
 - Canal A: OCR1AH e OCR1AL
 - Canal B: OCR1BH e OCR1BL

!!! Exemplo referente a um microcontrolador AVR da Microchip/Atmel–
<http://www.atmel.com/products/microcontrollers/avr/>

Configuração de PWM

- Exemplo PWM assimétrico (fast PWM)

```
void exemplos_timer_init_pwm_fast(void)
{
    DDRD |= (1 << DDD6);      // PD6 como saída
    TCCR0A = (1 << COM0A1);    // zera OC0A na comparação (non-inverting mode).
    TCCR0A |= (1 << WGM01) | (1 << WGM00);    // PWM, Fast PWM
    OCR0A = 128;               // pwm a 50%
    TIMSK0 = (1 << OCIE0A) | (1 << TOIE0);    // habilita interrupção do comparador
A
    TCCR0B = (1 << CS00);      // liga timer
}
```

!!! Exemplo referente a um microcontrolador AVR da Microchip/Atmel–
<http://www.atmel.com/products/microcontrollers/avr/>

Configuração de PWM

- Exemplo PWM simétrico (phase correct PWM)

```
void exemplos_timer_init_pwm_pc(void)
{
    DDRD |= (1 << DDD6);           // PD6 como saída
    TCCR0A = (1 << COM0A1);         // zera OC0A na comparação (non-inverting mode).
    TCCR0A |= (1 << WGM00);         // PWM, phase correct PWM
    OCR0A = 128;                    // pwm a 50%
    TIMSK0 = (1 << OCIE0A) | (1 << TOIE0); // habilita interrupção do comparador A
    TCCR0B = (1 << CS00);           // liga timer
}
```

!!! Exemplo referente a um microcontrolador AVR da Microchip/Atmel–
<http://www.atmel.com/products/microcontrollers/avr/>

Bibliografia e sugestões de leitura

- ATMEL 8-BIT MICROCONTROLLER WITH 4/8/16/32KBYTES IN-SYSTEM PROGRAMMABLE FLASH DATASHEET