

Descripción general del temporizador AVR® MCU

Los temporizadores son una característica muy útil de un microcontrolador para contar pulsos en un pin de entrada. Cuando son impulsados por el reloj de instrucciones, pueden convertirse en una base de tiempo precisa. Los dispositivos AVR® tienen temporizadores de 8 y 16 bits de ancho y ofrecen diferentes funciones según el dispositivo. Un conjunto muy típico de temporizadores se puede encontrar en el microcontrolador AVR **ATmega328PB**. Este dispositivo tiene cinco temporizadores/contadores, como se describe aquí:

Temporizador 0	TC0	Temporizador/contador de 8 bits con modulación de ancho de pulso (PWM)
Temporizador 1	TC1	Temporizador/contador de 16 bits con PWM y funcionamiento asíncrono
Temporizador 2	TC2	Temporizador/contador de 8 bits con PWM y funcionamiento asíncrono
Temporizador 3	TC3	Temporizador/contador de 16 bits con PWM y funcionamiento asíncrono
Temporizador 4	TC4	Temporizador/contador de 16 bits con PWM y funcionamiento asíncrono

Definiciones:

Nomenclatura de registro

ABAJO	El contador llega al FONDO cuando llega a cero (0x00 para contadores de 8 bits y 0x0000 para contadores de 16 bits)
MÁX.	El contador alcanza su valor máximo cuando pasa a ser 0x0F (15 decimal) para contadores de 8 bits y 0x00FF (255 decimal) para contadores de 16 bits
PARTE SUPERIOR	El contador llega al TOP cuando su valor llega a ser igual al valor más alto posible. Al valor TOP se le puede asignar un valor fijo MAX o el valor almacenado en el registro OCRxA. Esta asignación depende del modo de funcionamiento

TC0 - Temporizador/Contador de 8 bits con PWM

Timer/Counter0 (TC0) es un módulo de temporizador/contador de uso general de 8 bits, con dos unidades de comparación de salida independientes y compatibilidad con PWM.

Registros TC0

El registro del temporizador/contador 0 (TCNT0) y los registros de comparación de salida TC0x (OCR0x) son registros de 8 bits. Todas las señales de solicitud de interrupción son visibles en el registro de bandera de interrupción del temporizador 0 (TIFR0). Todas las interrupciones se enmascaran individualmente con el registro de máscara de interrupción del temporizador 0 (TIMSK0).

Name: TCCR0B
Offset: 0x45
Reset: 0x00
Property: When addressing as I/O Register: address offset is 0x25

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0
	FOC0A	FOC0B			WGM02	CS02	CS01	CS00
Access	R/W	R/W			R/W	R/W	R/W	R/W
Reset	0	0			0	0	0	0

(/local--files/8avr:avrtimer/TCCR0B.PNG)

Fuentes de reloj del temporizador/contador TC0

TC0 puede sincronizarse con una fuente de reloj interna o externa. La fuente de reloj se selecciona escribiendo en los bits de selección de reloj (CS02:0) en el registro de control de temporizador/contador (TCCR0B).

Bits 2:0 – CS0n: Selección de reloj [n = 0..2]

Los tres bits de selección de reloj seleccionan la fuente de reloj que utilizará el temporizador/contador.

CS02	CS01	CS00	Descripción
0	0	0	Sin fuente de reloj (temporizador detenido)
0	0	1	clkio/1 (sin preescalado)
0	1	0	clkio/8 (Del prescaler)
0	1	1	clkio/64 (Del prescaler)
1	0	0	clkio/256 (Del prescaler)
1	0	1	clkio/1012 (Del prescaler)
1	1	0	Fuente de reloj externa en el pin T0 (reloj en flanco descendente)
1	1	1	Fuente de reloj externa en el pin T0 (reloj en flanco ascendente)

Unidad de contador TC0

Dependiendo del modo de operación utilizado, T0 se borra, aumenta o disminuye en cada reloj del temporizador (clkT0). clkT0 se puede generar desde una fuente de reloj externa o interna, seleccionada por los bits de selección de reloj (CS0[2:0]).

La secuencia de conteo está determinada por la configuración de los bits WGM01 y WGM00 ubicados en el registro de control T0 A (TCCR0A) y el bit WGM02 ubicado en el registro de control de temporizador/contador B (TCCR0B).

Bits 1:0 – WGM0n: Modo de generación de forma de onda [n = 1:0]

Combinados con el bit WGM02 que se encuentra en el registro TCCR0B, estos bits controlan la secuencia de conteo del contador, la fuente del valor máximo del contador (TOP) y qué tipo de generación de forma de onda se utilizará. Los modos de funcionamiento admitidos por la unidad de temporizador/contador son: modo normal (contador), modo Borrar temporizador en comparación (CTC) y dos tipos de modos de modulación de ancho de pulso (PWM).

Tabla 1-2 Bit de modo de generación de forma de onda Descripción

Modo	WGM2:0	Modo de operación	PARTE SUPERIOR	Actualización OCR0x	Indicador TOV activado
0	0 0 0	Normal	0xFF	Inmediato	MÁX.
1	0 0 1	Fase PWM correcta	0xFF	PARTE SUPERIOR	ABAJO
2	0 1 0	CTC	OCRA	Inmediato	MÁX.
3	0 1 1	PWM rápido	0xFF	ABAJO	MÁX.
4	1 0 0	Reservado	~	~	~
5	1 0 1	Fase PWM correcta	OCRA	PARTE SUPERIOR	ABAJO
6	1 1 0	Reservado	~	~	~
7	1 1 1	PWM rápido	OCRA	ABAJO	MÁX.

Nota:

1. MAX = 0xFF
2. INFERIOR = 0x00

Modos de operación para TC0

El modo de operación determina el comportamiento de TC0 y los pines de comparación de salida. Se define mediante la combinación de los bits del modo de generación de forma de onda y los bits del modo de salida de comparación en los registros de control del temporizador/contador A y B (TCCR0B.WGMn2, TCCR0A.WGM01, TCCR0A.WGM00 y TCCR0A.COM0x[1:0]).

Los modos de operación disponibles para TC0 son:

- Modo normal
- Borrar temporizador en el modo de comparación de coincidencias (CTC)
- Modo PWM rápido
- Modo PWM de corrección de fase

Borrar temporizador en el modo de comparación de coincidencias

En el modo Clear Timer on Compare o CTC (WGM0[2:0]=0x2), el **registro OCR0A** se usa para manipular la resolución del contador: el contador se borra a CERO cuando el valor del contador (TCNT0) coincide con el OCR0A. El OCR0A define el valor máximo del contador y, por lo tanto, también su resolución.

El valor del contador (TCNT0) aumenta hasta que se produce una coincidencia de comparación entre TCNT0 y OCR0A y luego se borra el contador (TCNT0). Se puede generar una interrupción cada vez que el valor del contador alcance el valor SUPERIOR configurando el indicador OCF0A. Si la interrupción está habilitada, la rutina del controlador de interrupciones se puede usar para actualizar el valor SUPERIOR.

La frecuencia de la forma de onda se define mediante la siguiente ecuación:

$$f_{OCnx} = \frac{f_{clk_I/O}}{2 \cdot N \cdot (1 + OCRnx)}$$

(/local--files/8avr:avrtimer/freqz0.PNG)

N representa el factor del preescalador (1, 8, 64, 256 o 1024).

TC1, TC3 y TC4: temporizador/contador de 16 bits con PWM

Las unidades de temporizador/contador de 16 bits permiten la sincronización precisa de la ejecución del programa (gestión de eventos), la generación de ondas y la medición de la sincronización de la señal.

Registros (TC1, TC3, TC4)

- El temporizador/contador (TCNTn), los registros de comparación de salida (OCRA/B) y el registro de captura de entrada (ICRn) son todos registros de 16 bits.
- Los registros de control de temporizador/contador (TCCRnA/B) son registros de 8 bits y no tienen restricciones de acceso a la CPU.
- Las señales de solicitudes de interrupción (abreviadas como Int.Req. en el diagrama de bloques) son todas visibles en el Registro de indicadores de interrupción del temporizador (TIFRn). Todas las interrupciones se enmascaran individualmente con el registro de máscara de interrupción del temporizador (TIMSKn).

Fuentes de temporizador/contador de reloj (TC1, TC3, TC4)

El temporizador/contador puede sincronizarse con una fuente de reloj interna o externa. La fuente de reloj se selecciona mediante la lógica de selección de reloj, que está controlada por los bits de selección de reloj en el registro B de control de temporizador/contador (TCCRnB.CS[2:0]).

Name: TCCR1B, TCCR3B, TCCR4B
Offset: 0x81 + n*0x10 [n=0..2]
Reset: 0x00
Property: -

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0
	ICNC	ICES		WGM3	WGM2	CS[2:0]		
Access	R/W	R/W		R/W	R/W	R/W	R/W	R/W
Reset	0	0		0	0	0	0	0

(/local--files/8avr:avrtimer/TCCR1B.PNG)

Bits 2:0 – CS[2:0]: Selección de reloj [n = 0..2]

Los tres bits de selección de reloj seleccionan la fuente de reloj que utilizará el temporizador/contador.

CS02	CS01	CS00	Descripción
0	0	0	Sin fuente de reloj (temporizador detenido)
0	0	1	clkio/1 (sin preescalado)
0	1	0	clkio/8 (Del prescaler)
0	1	1	clkio/64 (Del prescaler)
1	0	0	clkio/256 (Del prescaler)
1	0	1	clkio/1012 (Del prescaler)
1	1	0	Fuente de reloj externa en el pin T0 (reloj en flanco descendente)
1	1	1	Fuente de reloj externa en el pin T0 (reloj en flanco ascendente)

Unidad de contador (TC1, TC3, TC4)

TC1, TC3 y TC4 son contadores bidireccionales programables de 16 bits.

Cada contador de 16 bits se asigna a dos ubicaciones de memoria de E/S de 8 bits: **Contador alto** (TCNTnH) que contiene los ocho bits superiores del contador y **Contador bajo** (TCNTnL) que contiene los ocho bits inferiores.

Dependiendo del modo de operación seleccionado, el contador se borra, incrementa o decrementa en cada reloj del temporizador (clkTn). El reloj clkTn se puede generar a partir de una fuente de reloj externa o interna, según lo seleccionado por los bits de selección de reloj en el registro de control de temporizador/contador B (TCCRnB.CS[2:0]).

La secuencia de conteo está determinada por la configuración de los bits del modo de generación de forma de onda en los registros de control de temporizador/contador A y B (TCCRnB.WGM[3:2] y TCCRnA.WGM[1:0]).

Modos de operación (TC1, TC3, TC4)

El modo de operación está determinado por la combinación de los bits del modo de generación de forma de onda (WGM[3:0]) y el modo de salida de comparación (TCCRnA.COMx[1:0]).

Los modos de funcionamiento disponibles son:

- Modo normal
- Borrar temporizador en el modo de comparación de coincidencias (CTC)
- Modo PWM rápido
- Modo PWM de corrección de fase
- Modo PWM de corrección de fase y frecuencia

Modo PWM rápido

Los modos Fast Pulse Width Modulation o Fast PWM (modos 5, 6, 7, 14 y 15, WGM[3:0]= 0x5, 0x6, 0x7, 0xE, 0xF) proporcionan una opción de generación de forma de onda PWM de alta frecuencia. El Fast PWM se diferencia de las otras opciones de PWM por su operación de pendiente única. El contador cuenta de ABAJO a ARRIBA y luego se reinicia desde ABAJO.

En el modo Fast PWM, el contador se incrementa hasta que el valor del contador coincida con uno de los valores fijos 0x00FF, 0x01FF o 0x03FF (WGM[3:0] = 0x5, 0x6 o 0x7), el valor en ICRn (WGM[3:0]=0xE), o el valor en OCRnA (WGM[3:0]=0xF). A continuación, el contador se borra en el siguiente ciclo de reloj del temporizador.

La frecuencia PWM para la salida se puede calcular mediante la siguiente ecuación:

$$f_{OCnxPWM} = \frac{f_{clk_I/O}}{N \cdot (1 + TOP)}$$

(/local--files/8avr:avrtimer/freqz1.PNG)

Nota:

- La “n” en los nombres de bit y registro indica el número de dispositivo (n = 0 para el temporizador/contador 0) y la “x” indica la unidad de comparación de salida (A/B).
- N representa el divisor de preescala (1, 8, 64, 256 o 1024).

TC2 - Timer/Counter2 de 8 bits con PWM y funcionamiento asíncrono

Timer/Counter2 (TC2) es un módulo de temporizador/contador de 8 bits de doble canal y propósito general.

Registros TC2

El temporizador/contador (TCNT2) y el registro de comparación de salida (OCR2A y OCR2B) son registros de 8 bits. Todas las señales de solicitud de interrupción son visibles en el registro de indicadores de interrupción del temporizador (TIFR2). Todas las interrupciones se enmascaran individualmente con el registro de máscara de interrupción del temporizador (TIMSK2).

Name: TCCR2B
Offset: 0xB1
Reset: 0x00
Property: -

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0
	FOC2A	FOC2B			WGM22	CS22	CS21	CS20
Access	R/W	R/W			R/W	R/W	R/W	R/W
Reset	0	0			0	0	0	0

(/local--files/8avr:avrtimer/TCCR2B.PNG)

Fuentes de reloj TC2

TC2 puede sincronizarse con una fuente de reloj síncrona interna o asíncrona externa: Los tres bits de selección de reloj (CS2:CS0) seleccionan la fuente de reloj que utilizará el temporizador/contador.

CS02	CS01	CS00	Descripción
0	0	0	Sin fuente de reloj (temporizador detenido)
0	0	1	clkio/1 (sin preescalado)

0	1	0	clkio/8 (Del prescaler)
0	1	1	clkio/64 (Del prescaler)
1	0	0	clkio/256 (Del prescaler)
1	0	1	clkio/1012 (Del prescaler)
1	1	0	Fuente de reloj externa en el pin T0 (reloj en flanco descendente)
1	1	1	Fuente de reloj externa en el pin T0 (reloj en flanco ascendente)

Unidad de contador TC2

Dependiendo del modo de operación utilizado, el contador se borra, incrementa o decrementa en cada reloj del temporizador (clkT2). clkT2 se puede generar desde una fuente de reloj externa o interna, seleccionada por los bits de selección de reloj (CS2[2:0]).

La secuencia de conteo está determinada por la configuración de los bits WGM21 y WGM20 ubicados en el registro de control de temporizador/contador (TCCR2A) y el bit WGM22 ubicado en el registro de control de temporizador/contador B (TCCR2B).

Modos de funcionamiento de TC2

El modo de operación, es decir, el comportamiento del temporizador/contador y los pines de comparación de salida, se define mediante la combinación del modo de generación de forma de onda (WGM2[2:0]) y el modo de salida de comparación (COM2x[1:0]) pedacitos

Los modos de funcionamiento disponibles son:

- Modo normal
- Borrar temporizador en el modo de comparación de coincidencias (CTC)
- Modo PWM rápido
- Modo PWM de corrección de fase

Modo normal

En el modo Normal (WGM22:0 = 0) la dirección de conteo siempre es hacia arriba (incrementando) sin que se borre el contador. El contador cambiará a 0c00 cuando pase su valor máximo de 8 bits (TOP = 0xFF).

En funcionamiento normal, el indicador de desbordamiento del temporizador/contador (TOV2) se establecerá en el mismo ciclo de reloj del temporizador cuando el TCNT2 se vuelve cero. El indicador TOV2, en este caso, se comporta como un noveno bit, excepto que solo se establece, no se borra. Sin embargo, combinado con la interrupción de desbordamiento del temporizador que borra automáticamente el

indicador TOV2, el software puede aumentar la resolución del temporizador. No hay casos especiales a considerar en el modo Normal, se puede escribir un nuevo valor de contador en cualquier momento.



Independientemente del modo que se utilice, el programador debe recordar dos cosas:

1. El temporizador debe iniciarse seleccionando la fuente del reloj.
2. Si se utilizan interrupciones, deben estar habilitadas.