

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA
CURSO DE ENGENHARIA DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO
ES670 – Turma A – 1º Semestre de 2010
Prof. Luiz Otávio Saraiva Ferreira

PROVA#1 - 01/maio/2010

Nome: _____ RA: _____

ENUNCIADO

Você foi contratado(a) como engenheiro de uma fábrica de equipamentos esportivos, e o dono da fábrica encarregou-o(a) do projeto do sistema embarcado de uma nova esteira ergométrica profissional.

A especificação do sistema embarcado da esteira é a seguinte:

Entradas:

- Encoder para medição da velocidade da esteira.
- Botão para aumentar a velocidade.
- Botão para diminuir a velocidade.
- Sensor de batimentos cardíacos.

Saídas:

- PWM do motor da esteira.
- Buzina.
- LCD com:
 - três dígitos para os batimentos cardíacos,
 - três dígitos para a velocidade em Km/h, e
 - seis dígitos para horas:minutos:segundos.

Como a empresa já utiliza o microcontrolador PIC16F877A em outros produtos, você terá que utilizá-lo no seu projeto.

A velocidade deve variar entre 3,6 Km/h e 7,2 Km/h.

Deve haver uma variação de 0,25 Km/h na velocidade a cada vez que se apertar os botões de aumentar ou diminuir.

Os batimentos cardíacos devem ser exibidos com precisão de uma batida por minuto (bpm) numa faixa que vai de 60 bpm até 240 bpm. A medida da frequência cardíaca deve ser feita a cada dois segundos, e a medida da velocidade deve ser feita a cada dez segundos.

QUESTÃO 1 (VALE 4 PONTOS)

Supondo-se que o sinal das batidas do coração já esteja disponível como pulsos de nível TTL e que um cristal auxiliar de 32.768 Hz serve de base de tempo para a temporização de eventos:

a) Que método de medição de frequência deve ser utilizado? Descreva-o.

RESPOSTA

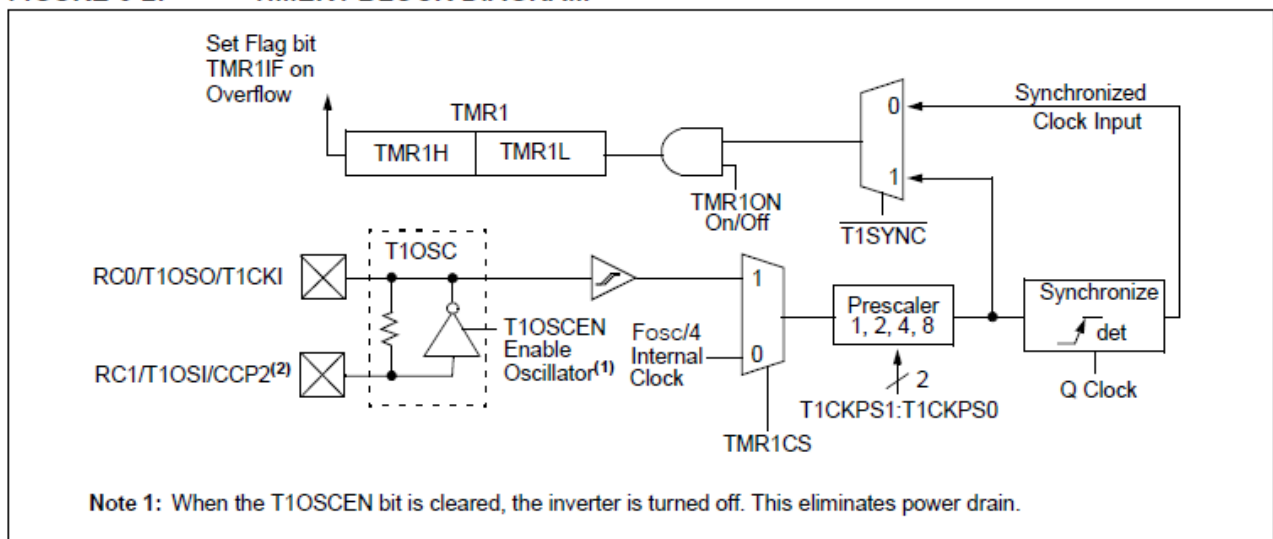
O método da frequência fixa, mais apropriado para a medição de frequências baixas. Nesse método o período do sinal é medido com um contador acionado por uma frequência fixa, que serve de base-de-tempo, e obtém-se a frequência do sinal invertendo-se o período medido.

b) Quais os subsistemas do microcontrolador devem ser usados para a medição da frequência cardíaca? Em que modo de funcionamento devem ser configurados? Descreva o funcionamento e desenha o diagrama de blocos, incluindo o cristal nesse diagrama.

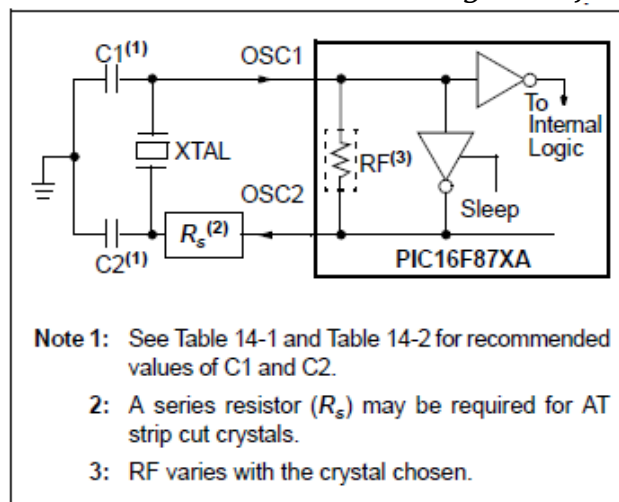
RESPOSTA

Deve-se usar o subsistema CCP1, no modo CAPTURE, que funciona capturando-se o valor do TIMER1 quando um sinal chega através do pino RC2. O diagrama abaixo mostra o TIMER1 e as conexões para o cristal.

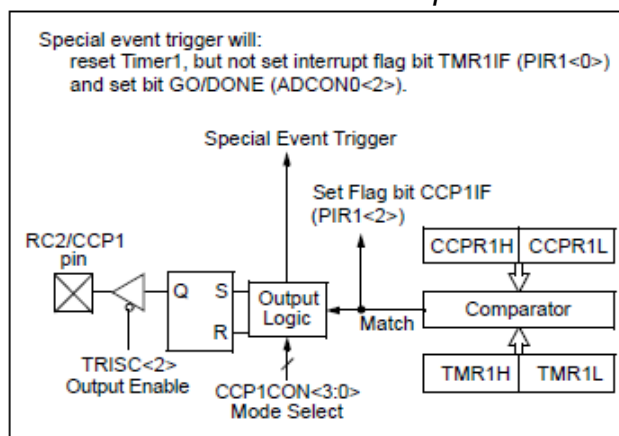
FIGURE 6-2: TIMER1 BLOCK DIAGRAM



O cristal de 32.768 Hz deve ser conectado da seguinte forma:



O seguinte diagrama mostra o módulo CCP1 operando no modo CAPTURE.



c) Como esse subsistema deve ser iniciado? Descreva abaixo, detalhadamente, os registradores correspondentes e o que deve ser escrito em cada um deles.

RESPOSTA

O bit 2 do registrador TRISC deve ser iniciado com o valor 1 para que o pino RC2 seja utilizado como entrada pelo CCP1.

O registrador CCP1CON, mostrado na figura abaixo, é usado para configurar o módulo CCP no modo CAPTURE.

bit 7-6	Unimplemented: Read as '0'
bit 5-4	CCPxX:CCPxY: PWM Least Significant bits <u>Capture mode:</u> Unused. <u>Compare mode:</u> Unused. <u>PWM mode:</u> These bits are the two LSbs of the PWM duty cycle. The eight MSbs are found in CCPRxL.
bit 3-0	CCPxM3:CCPxM0: CCPx Mode Select bits 0000 = Capture/Compare/PWM disabled (resets CCPx module) 0100 = Capture mode, every falling edge 0101 = Capture mode, every rising edge 0110 = Capture mode, every 4th rising edge 0111 = Capture mode, every 16th rising edge 1000 = Compare mode, set output on match (CCPxIF bit is set) 1001 = Compare mode, clear output on match (CCPxIF bit is set) 1010 = Compare mode, generate software interrupt on match (CCPxIF bit is set, CCPx pin is unaffected) 1011 = Compare mode, trigger special event (CCPxIF bit is set, CCPx pin is unaffected); CCP1 resets TMR1; CCP2 resets TMR1 and starts an A/D conversion (if A/D module is enabled) 11xx = PWM mode

Os bits 7,6,5 e 4 de CCP1CON não são usados neste modo. Os bits 3,2,1 e 0 podem receber os valores 0100 ou 0101 ou 0110 ou 0111.

O TIMER1 deve ser programado no modo TIMER, com fonte de clock proveniente do cristal de 32.768 Hz. O registrador T1CON, mostrado abaixo, é usado para configurar o TIMER1.

REGISTER 6-1: T1CON: TIMER1 CONTROL REGISTER (ADDRESS 10h)

U-0	U-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0
—	—	T1CKPS1	T1CKPS0	T1OSCEN	$\overline{\text{T1SYNC}}$	TMR1CS	TMR1ON
bit 7		bit 0					

- bit 7-6 **Unimplemented:** Read as '0'
- bit 5-4 **T1CKPS1:T1CKPS0:** Timer1 Input Clock Prescale Select bits
 11 = 1:8 prescale value
 10 = 1:4 prescale value
 01 = 1:2 prescale value
 00 = 1:1 prescale value
- bit 3 **T1OSCEN:** Timer1 Oscillator Enable Control bit
 1 = Oscillator is enabled
 0 = Oscillator is shut-off (the oscillator inverter is turned off to eliminate power drain)
- bit 2 **$\overline{\text{T1SYNC}}$:** Timer1 External Clock Input Synchronization Control bit
When TMR1CS = 1:
 1 = Do not synchronize external clock input
 0 = Synchronize external clock input
When TMR1CS = 0:
 This bit is ignored. Timer1 uses the internal clock when TMR1CS = 0.
- bit 1 **TMR1CS:** Timer1 Clock Source Select bit
 1 = External clock from pin RC0/T1OSO/T1CKI (on the rising edge)
 0 = Internal clock (FOSC/4)
- bit 0 **TMR1ON:** Timer1 On bit
 1 = Enables Timer1
 0 = Stops Timer1

O bit 7 pode ter qualquer valor. Qualquer valor dos bits 5 e 4 atende à precisão de medida especificada. O bit 3 deve ser igual a 1. O bit 2 pode ter qualquer valor. O bit 1 deve ser igual a 1. O bit 0 deve ser igual a 1 quando se quiser fazer a medição.

d) Qual a resolução da medida de frequência cardíaca, em bpm, nos extremos da escala, isto é, em 60 bpm e em 240 bpm? Equacione a resposta e calcule os números.

RESPOSTA

A resolução da medida da frequência do sinal cardíaco é definida pela resolução da medição do seu período. Usando-se o TIMER1 com pré-scaler divisor por 1 e o clock externo de frequência $F=32768$ Hz, tem-se:

Período do clock = $T = 1/F = 30,518 \mu\text{s}$.

Seja N contagem do TIMER1 que nos dá o período do sinal cardíaco.

Então na frequência de 60 bpm tem-se $N=32768$, donde:

$1/(N \cdot T) = 1 \text{ Hz} = 60 \text{ bpm}$

E a próxima medida possível é para $N=32767$, que resulta em:

$1/(32.767 \cdot T) = 1,000030519 \text{ Hz} = 60,001831111 \text{ bpm}$

A resolução é dada por: $60,001831111 \text{ bpm} - 60 \text{ bpm} = 0,001831111 \text{ bpm}$

Na frequência de 240 bpm tem-se $N=8192$, donde:

$1/(N \cdot T) = 4 \text{ Hz} = 240 \text{ bpm}$

E a próxima medida possível é para $N=8191$, que resulta em:

$$1/(8191 \cdot T) = 4,000488341 \text{ Hz} = 240,029300452 \text{ bpm}$$

A resolução é dada por: $240,029300452 \text{ bpm} - 240 \text{ bpm} = 0,029300452 \text{ bpm}$

A resolução depende diretamente do período e inversamente da frequência do sinal cardíaco.

QUESTÃO 2 (VALE 4 PONTOS)

Supondo-se que o encoder da esteira gere 360 pulsos por metro, e que a medição de velocidade deva ser atualizada a cada dois segundos:

a) Que método de medição de frequência deve ser utilizado? Descreva-o.

RESPOSTA

O método da janela fixa, mais apropriado para a medição de frequências elevadas. Nesse método a contagem de pulsos do encoder é feita durante um período fixo, e dividindo-se a contagem pelo período obtém-se a frequência do sinal.

b) Quais os subsistemas do microcontrolador devem ser usados para a medição da velocidade da esteira? Em que modo de funcionamento devem ser configurados? Descreva o funcionamento e desenhe o diagrama de blocos.

RESPOSTA

Deve-se usar o TIMER0 e o TIMER1. O TIMER0 deve ser usado para gerar a base-de-tempo da janela fixa de contagem, e o TIMER1 deve ser usado para contar os pulsos vindos do encoder durante a janela de tempo da contagem.

Os diagramas de blocos do TIMER0 e do TIMER1 são mostrados abaixo:

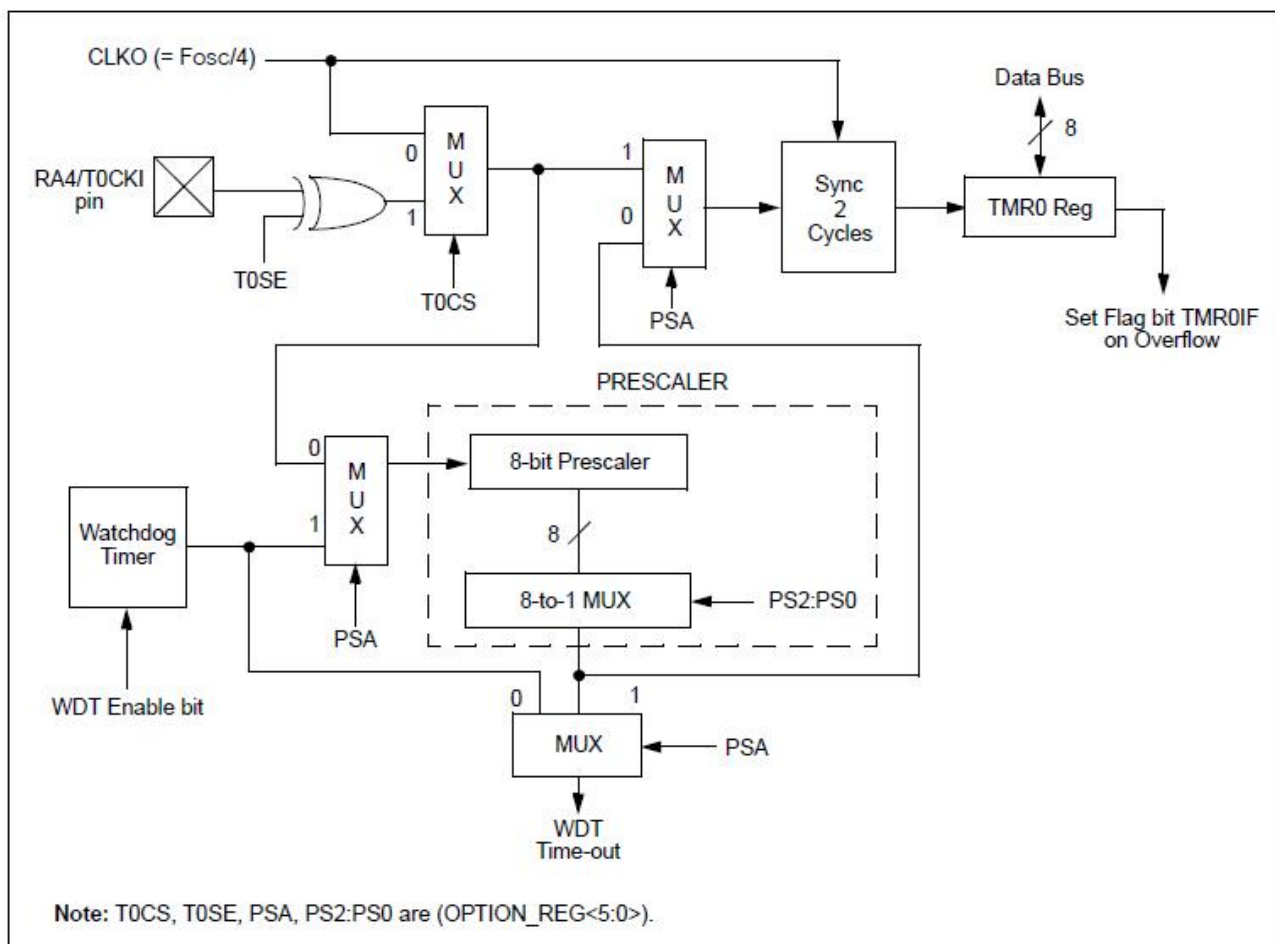
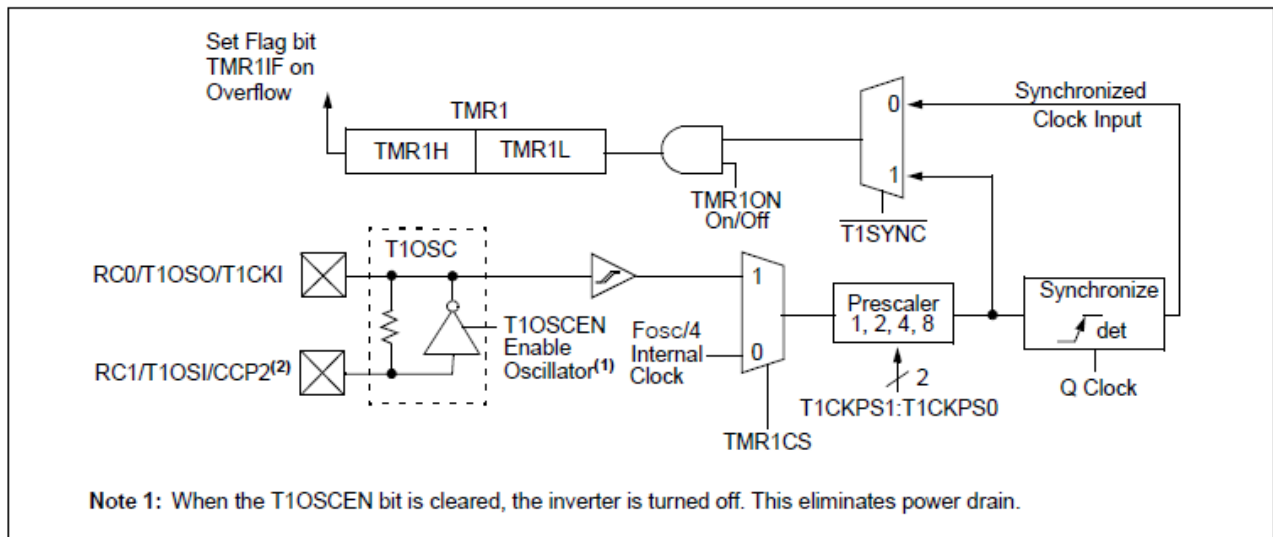


FIGURE 6-2: TIMER1 BLOCK DIAGRAM



c) Como esse subsistema deve ser iniciado? Descreva abaixo, detalhadamente, os registradores correspondentes e o que deve ser escrito em cada um deles.

RESPOSTA

O *TIMER0* deve ser programado para gerar uma interrupção a cada 1 ms, de maneira que se tenha resolução temporal de 1 ms para a janela de contagem de tempo.

O registrador *OPTION_REG* é que configura o *TIMER0*.

REGISTER 5-1: OPTION_REG REGISTER

	R/W-1	R/W-1	R/W-1	R/W-1	R/W-1	R/W-1	R/W-1	R/W-1
	$\overline{\text{RBPU}}$	INTEDG	T0CS	T0SE	PSA	PS2	PS1	PS0
	bit 7							bit 0
bit 7	$\overline{\text{RBPU}}$							
bit 6	INTEDG							
bit 5	T0CS: TMR0 Clock Source Select bit							
	1 = Transition on T0CKI pin							
	0 = Internal instruction cycle clock (CLKO)							
bit 4	T0SE: TMR0 Source Edge Select bit							
	1 = Increment on high-to-low transition on T0CKI pin							
	0 = Increment on low-to-high transition on T0CKI pin							
bit 3	PSA: Prescaler Assignment bit							
	1 = Prescaler is assigned to the WDT							
	0 = Prescaler is assigned to the Timer0 module							
bit 2-0	PS2:PS0: Prescaler Rate Select bits							
	Bit Value	TMR0 Rate	WDT Rate					
	000	1 : 2	1 : 1					
	001	1 : 4	1 : 2					
	010	1 : 8	1 : 4					
	011	1 : 16	1 : 8					
	100	1 : 32	1 : 16					
	101	1 : 64	1 : 32					
	110	1 : 128	1 : 64					
	111	1 : 256	1 : 128					

O bit 5 deve ser programado com o valor 0, para que o **TIMER0** seja incrementado pelo clock do sistema.

O bit 4 pode ser programado com os valores 1 ou 0.

O bit 3 deve ser programado com 0, para que o prescaler seja alocado ao **TIMER0**.

Os bits 2 a 0 devem ser programados com o valor 001, para que o clock do sistema seja dividido por 4 e o **TIMER0** gere uma interrupção a cada 1 ms.

A interrupção do **TIMER0** deve ser habilitada escrevendo-se 1 no bit 5 do registrador **INTCON**.

O bit 0 do registrador **TRISC** deve ser iniciado com o valor 1 para que o pino **RC0** seja utilizado como entrada de contagem do **TIMER1**.

O **TIMER1** deve ser programado no modo **CONTADOR**, com o sinal de contagem vindo do pino **RC0**. O registrador **T1CON**, mostrado abaixo, é usado para configurar o **TIMER1**.

REGISTER 6-1: T1CON: TIMER1 CONTROL REGISTER (ADDRESS 10h)

U-0	U-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0
—	—	T1CKPS1	T1CKPS0	T1OSCEN	T1SYNC	TMR1CS	TMR1ON
bit 7							bit 0

bit 7-6 **Unimplemented:** Read as '0'

bit 5-4 **T1CKPS1:T1CKPS0:** Timer1 Input Clock Prescale Select bits

11 = 1:8 prescale value

10 = 1:4 prescale value

01 = 1:2 prescale value

00 = 1:1 prescale value

bit 3 **T1OSCEN:** Timer1 Oscillator Enable Control bit

1 = Oscillator is enabled

0 = Oscillator is shut-off (the oscillator inverter is turned off to eliminate power drain)

bit 2 **T1SYNC:** Timer1 External Clock Input Synchronization Control bit

When TMR1CS = 1:

1 = Do not synchronize external clock input

0 = Synchronize external clock input

When TMR1CS = 0:

This bit is ignored. Timer1 uses the internal clock when TMR1CS = 0.

bit 1 **TMR1CS:** Timer1 Clock Source Select bit

1 = External clock from pin RC0/T1OSO/T1CKI (on the rising edge)

0 = Internal clock (FOSC/4)

bit 0 **TMR1ON:** Timer1 On bit

1 = Enables Timer1

0 = Stops Timer1

O bit 7 pode ter qualquer valor. Os bits 5 e 4 devem ser ambos iguais a 0, para ter-se pré-divisor de 1:1. O bit 3 deve ser igual a 0 para desabilitar o oscilador externo. O bit 2 pode ter qualquer valor. O bit 1 deve ser igual a 1. O bit 0 deve ser igual a 1 quando se quiser fazer a medição.

d) Qual a resolução da medida de velocidade, em Km/h, nos extremos da escala, isto é, em 3,6 Km/h e em 7,2 Km/h? Equacione a resposta e calcule os números.

RESPOSTA

A resolução da medida da velocidade feita contando-se os pulsos do encoder pelo TIMER1 durante uma janela de tempo de 1 segundo, gerada a partir do TIMER0, é dada por:

Período da contagem: $T = 1 \text{ s}$.

Seja N a contagem do TIMER1 que nos dá o número de pulsos do encoder.

Então à velocidade de 3,6 Km/h tem-se que a esteira anda 1 metro por segundo, e portanto gera 360 pulsos por segundo, isto é, um trem de pulsos de frequência igual a 360 Hz.

A contagem registrada pelo TIMER1 é dada por:

$$N = F * T \Rightarrow F = N / T$$

Como $T = 1$, tem-se que $F = N$.

Como cada 360 contagens correspondem a 1 metro, então 360 contagens por segundo correspondem a 1 metro por segundo, que equivale a 3,6 Km/h.

Então dividindo-se F por 100 tem-se a velocidade em Km/h, isto é:

$$V = F / 100$$

A 3,6 Km/h a contagem $N = 360$. A próxima contagem possível é $N = 361$.

Portanto $F = 361$ e $V = 3,61 \text{ Km/h}$. A resolução é igual a $3,61 \text{ Km/h} - 3,6 \text{ Km/h} = 0,01 \text{ Km/h}$.

A 7,2 Km/h a contagem $N = 720$. A próxima contagem possível é $N = 721$.

Portanto $F = 721$ e $V = 7,21 \text{ Km/h}$. A resolução é igual a $7,21 \text{ Km/h} - 7,20 \text{ Km/h} = 0,01 \text{ Km/h}$.

A resolução independe da velocidade.

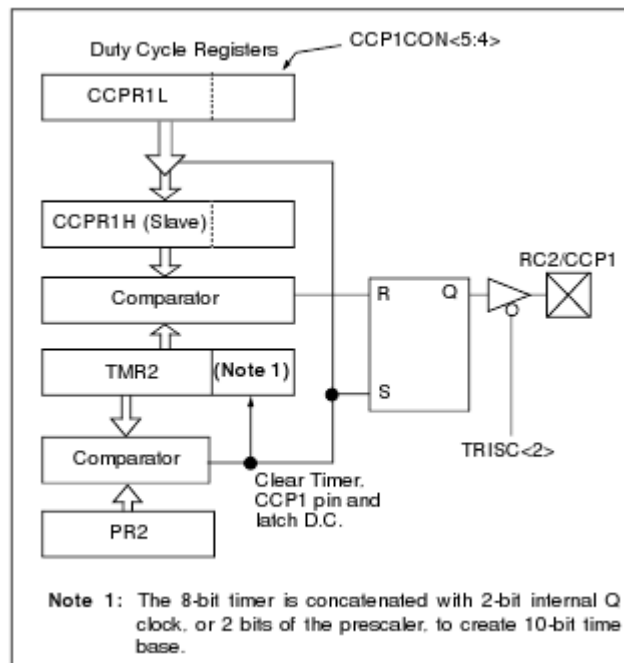
QUESTÃO 3 (VALE 2 PONTOS)

O motor da esteira deve ser acionado por PWM à frequência de aproximadamente 1 kHz, e o ciclo de trabalho deve ter 10 bits de resolução.

a) Qual subsistema do microcontrolador deve ser usado para gerar o PWM do motor? Desenhe o diagrama de blocos desse subsistema.

RESPOSTA

Podem ser usados o CCP1 ou o CCP2, programados no modo PWM. O diagrama abaixo mostra os blocos componentes do CCP1.



b) Descreva como o subsistema gerador de PWM deve ser configurado, quais os registradores de configuração utilizados, e que valores devem ser escritos em cada campo de configuração desses registradores.

RESPOSTA

O bit 2 do registrador TRISC deve receber o valor 0, para configurar o pino RC2 como saída do trem de pulsos de PWM gerados pelo CCP1.

O registrador CCP1CON, mostrado abaixo, é usado para configurar o módulo CCP1 no modo PWM.

REGISTER 8-1: CCP1CON REGISTER/CCP2CON REGISTER (ADDRESS 17h/1Dh)

U-0	U-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0
—	—	CCPxX	CCPxY	CCPxM3	CCPxM2	CCPxM1	CCPxM0
bit 7							

c) Como a frequência do PWM é programada? Que equação nos dá o valor que devemos escrever no registrador que programa a frequência, dado o clock do sistema igual a 4 Mhz?

RESPOSTA

A frequência do PWM é programada através dos registradores PR2 e prescaler do TIMER2. A equação que relaciona o período do PWM com a frequência do clock do sistema é:

$$PWM \text{ Period} = [(PR2) + 1] \cdot 4 \cdot TOSC \cdot (TMR2 \text{ Prescale Value})$$

Conhecida a frequência do clock do sistema (4 MHz) e escolhidos os valores do prescaler (16) e da frequência do PWM (1000 Hz), o valor a ser escrito no registrador PR2 é dado por:

$$PR2 = \frac{1}{(PWM \text{ Freq}) \cdot 4 \cdot TOSC \cdot (TMR2 \text{ Prescale Value})} - 1 = 61 = 3Dh$$

Com esses parâmetros a frequência de PWM obtida é igual a 1008,06 Hz.

O Prescaler do TIMER2 é programado através do registrador T2CON, mostrado abaixo:

REGISTER 7-1: T2CON: TIMER2 CONTROL REGISTER (ADDRESS 12h)

	U-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0
	—	TOUTPS3	TOUTPS2	TOUTPS1	TOUTPS0	TMR2ON	T2CKPS1	T2CKPS0
bit 7								bit 0
bit 7	Unimplemented: Read as '0'							
bit 6-3	TOUTPS3:TOUTPS0: Timer2 Output Postscale Select bits							
	0000 = 1:1 postscale							
	0001 = 1:2 postscale							
	0010 = 1:3 postscale							
	•							
	•							
	•							
	1111 = 1:16 postscale							
bit 2	TMR2ON: Timer2 On bit							
	1 = Timer2 is on							
	0 = Timer2 is off							
bit 1-0	T2CKPS1:T2CKPS0: Timer2 Clock Prescale Select bits							
	00 = Prescaler is 1							
	01 = Prescaler is 4							
	1x = Prescaler is 16							

O bit 7 não é usado, os bits 6-3 devem ser iguais a 0000 (1:1 postscale), o bit 2 deve ser igual a 1, e os bits 1-0 devem ser iguais a 1x (prescaler = 1:16)

d) Escreva a equação e calcule a resolução do ciclo de trabalho para a condição de trabalho para a qual você programou o PWM.

RESPOSTA

$$Resolution = \frac{\log\left(\frac{F_{osc}}{F_{PWM}}\right)}{\log(2)} \text{ bits}$$

Dados $F_{osc} = 4 \text{ MHz}$ e $F_{pwm} = 1000 \text{ Hz}$, a resolução é igual a 11,96 bits, que na prática está limitada aos 10 bits do registrador do ciclo-de-trabalho.