**الفصل السابع عشر**

**النظامCCP**

**(المسك, المقارنة, التعديل PWM)**

**17-1 المقدمة:**

إن لكل نظام CCP مسجل 16 BIT يمكن أن يعمل كمسجل مسك ذو 16 خانة (16-bit capture register) أو مسجل المقارنة ذو 16 خانة (16-bit compare register) أو كمسجل قائد/تابع لدورة التعديل PWM الفعالة ذات 10 خانات (10 –BIT PWM master/slave duty cycle register).

وتعتبر أنظمة CCP متطابقة في عملها باستثناء ما يخص القادح السببي (الحدثي) الخاص (special event trigger).

إن كل نظام CCP يمتلك ثلاثة مسجلات:

1. مسجل التحكم (CCP control register).
2. مسجل البايت العلوي (CCP high byte).
3. مسجل البايت السفلي(CCP low byte).

تحتوي العائلة PIC16C7x على نظامي CCP (CCP2, CCP1), أما أسماء المسجلات فغالباً ما تأخذ صيغة عامة (generic name) لأن وصف نظام CCP1 مماثل لوصف النظام CCP2 إلا إذا ورد عكس ذلك, والجدول 17-1 يوضح الصيغ العامة لأسماء المسجلات.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Comment** | **CCP2** | **CCP1** | **Generic Name** |
| CCP control register | CCP2CON | CCP1CON | CCP×CON |
| CCP High byte | CCPR2H | CCPR1H | CCP×H |
| CCP Low byte | CCPR2L | CCPR1L | CCP×L |
| CCP pin | CCP2 | CCP1 | CCP× |

**الجدول** 17-1 مسجلات النظام CCP.

أما الجدول (17-2) يبين لنا مصادر التوقيت لكل نظام من أنظمة CCP.

|  |  |
| --- | --- |
| **TIMER RESOURCE** | **CCP MODE** |
| Timer1  Timer1  Timer2 | Capture  Compare  PWM |

**الجدول** 17-2 مصادر التوقيت لأنماط النظام CCP.

**17-2 مسجل التحكم CCPICON/CCP2CON**

U U W/R W/R W/R W/R W/R W/R

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| CCPXM0 | CCPXM1 | CCPXM2 | CCPXM3 | CCPXY | CCPXX | \_ | \_ |

Bit7 bit0

الخانتان 7:6 bit : غير مستخدمتان وتقرآن 0 .

الخانتان bit 5:4 :(CCPXX, CCPXY ) خانتي 1:0 bit لدورة التشغيل (duty) في التعديل PWM.

في نمط المسك (capture mode): غير مستخدمتين.

في نمط المقارنة (compare mode) غير مستخدمتين.

في نمط التعديل PWM: تمثل هاتان الخانتان خانتي دورة التشغيل ((duty ذات المرتبة الأقل أهمية LSPS أما باقي الخانات العشرية 10-bit الخاصة بالتعديل PWM يتم تعيينها في المسجل CCPRXL أما في نمط التعديل PWM ذو الثماني خانات 8-bit وهو النمط المعياري, يتم إهمال هاتين اللتين ستأخذان القيمة 0.

الخانات bit 3:0: خانات اختيار نمط النظام CCPx كما يلي:

0000: إيقاف نظام المؤقت CCPx.

0100: نمط المسك (capture mode), عند كل جهة هابطة.

0101: نمط المسك (capture mode), عند كل جهة صاعدة.

0110: نمط المسك (capture mode), عند كل 4 جهات صاعدة.

1000: نمط المقارنة (capture mode), عندما تتم تهيئة قطب النظام CCP (RC2) على المنطق المنخفض فإن حدوث المطابقة عند المقارنة سيجعل قطب النظام CCP على المنطق العالي (تفعيل الخانة CCPIF).

1001: نمط المقارنة (capture mode), عندما تتم تهيئة قطب النظام CCP (RC2) على المنطق العالي فإن حدوث المطابقة عند المقارنة سيجعل قطب النظام CCP على المنطق المنخفض (تفعيل الخانة CCPIF أيضاً).

1010: نمط المقارنة (capture mode), توليد مقاطعة برمجية لأجل حدوث المطابقة عند المقارنة (تفعيل الخانة CCPIF والقطب CCP غير متأثر بذلك).

1011: نمط المقارنة (capture mode), قادح داخلي خاص (internal trigger) (تفعيل الخانة CCPIF).

11xx: نمط التعديل PWM.

**17-3 نمط المسك Capture mode**

**17-3-1 التعريف بنمط المسك**

في هذا النمط سيقوم المسجل CCPRX ذو الخانات الست عشرة 16- bit (والذي يتألف من البايتين (CCPRXH:CCPRXL بمسك قيمة مسجل المؤقت TMR1 المكونة من 16 خانة وذلك عندما ينجز حدث (event) على القطب CCPX (من أجل CCP1 يكون القطب RC2 ) وهذا الحدث قد يكون واحدا من الأحداث التالية :

1. جبهة هابطة (falling edge).
2. جبهة صاعدة (rising edge).
3. أربع جبهات صاعدة (4rising edge) .
4. ست عشرة جبهة صاعدة rising edge) (16.

يمكنك اختيار أحد هذه الأحداث من خلال تغيير خانات مسجل التحكم CCP1CON الأربع التالية CCPXM(3:0) كما هو مشروح في هذا المسجل.

وعندما تنجز عملية المسك سيتم تفعيل علم خلص بذلك يمكن اختباره وهو العلم CCPXIF (حيث تأخذ X القيمة1 أو2 ) . لذا فمن الضروري تصفير هذا العلم CCPXIF برمجيا.

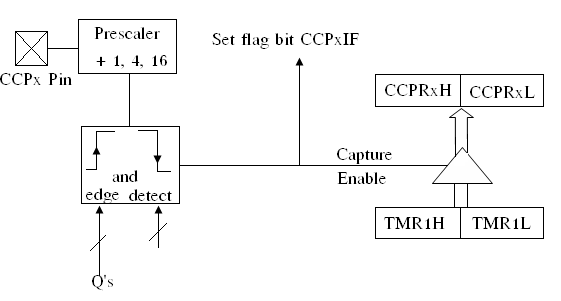
إذا تم طلب عملية مسك جديدة قبل أن يتم قراءة المسجل CCPRY فإن القيمة السابقة في هذا الملف سوف تضيع.

ملاحظة:

1. حتى يتم استخدام عملية المسك (capture) فإن المؤقت Timer1 يجب أن يعمل وفق نمط المؤقت (Timer mode) ووفق نمط العداد المتزامن (Synchronized counter mode) ز
2. يجب تهيئة القطب CCPX (مثلا RC2/CCP1 ) كقطب خرج بواسطة الخانة المقابلة في المسجل TRIS ويجب الانتباه عند تهيئة هذا القطب كقطب خرج أن عملية الكتابة إلى النافذة الخاصة بهذا القطب ستسبب عملية مسك.
3. قد تحدث عملية مقاطعة مسك كاذبة عند تغير نمط المسك( (Capture mode ,لذا عليك المحافظة على الخانة CCP1IE في حالتها غير الفعالة لتجنب مثل هذه المقاطعة , وكذلك يجب تصفير العلم CCPXIF بعد أي تغير في نمط العمل لنظام المسك.

**17-3-2 المخطط الصندوقي لنظام المسك**

يمكنك أن تشاهد في الشكل 17-1 مخططا لآلية عمل نظام المسك .



**الشكل** 17-1 المخطط الوظيفي لنمط المسك .

نلاحظ في هذا الشكل أن نمط المسك (capture mode) لا يقوم بتصفير مسجل TMR1 لذا يمكنك استخدام المؤقت Timer1 كقاعدة زمنية لعمليات أخرى . أما الزمن الفاصل بين عمليتي مسك يمكنك حسابه بسهولة على أنه الزمن الفارق بين قيمة المسك السابقة وقيمته الحالية.

عندما يحدث طفحان المؤقت Timer1 ستفعل الخانة TMR1IF وستحدث المقاطعة الخاصة بذلك المؤقت (إذا تم تمكينها) مما يسمح بتوسيع القاعدة الزمنية إلى حدود أكبر من تلك المقابلة إلى (16 bits ) .

**17-3-3 المقسم CCP Prescaler**

يظهر هذا المقسم الخاص بالنظام CCP في المخطط الصندوقي السابق , ولهذا المقسم أربع وضعيات يتم تحديدها بواسطة الخانات CCPXM(3:0) الموجودة في مسجل التحكم CCPXCON المشروح سابقا. وسيكون عداد هذا المقسم صفرا عندما يكون النظام CCP بأكمله غير فعال ,أو عندما يكون هذا النظام CCP ليس في نمط المسك , وأية عملية تصفير ستقوم بمسح عداد هذا المقسم .

عند الانتقال بين أنماط المسك المختلفة كما نوهنا سابقا ستتولد مقاطعة كاذبة , وكذلك لن يتم مسح عداد المقسم لذلك فإن عملية المسك الأولى قد لا تنجز في مقسم ذي عداد صفري القيمة لذلك ينصح بتصفير عداد المقسم وذلك بإتباع تعليمات الانتقال بين نسب التقسيم المختلفة والتي ستضمن عدم حدوث مقاطعة غير متوقعة كما هو مبين في المثال التالي :

CLRF CCP1CON ; CCP إيقاف النظام

MOVLW NEW- CAPT- PAS ; بقيمة التقسيم W تحميل المراكم

; CCP الجديدة وتشغيل النظام

MOVWF CCP1CON ; تحميل مسجل التحكم بالمعطيات السابقة

**17-4 نمط المقارنة Compare Mode**

**17-4-1 التعريف بنمط المقارن**

سيكون بإمكانك من خلال ها النمط مقارنة القيمة (16- bit) الموجودة في المسجل CCPRX مع مسجل المؤقت TMR1 (16- bit) وعندها تتم عملية المطابقة (بين المقارنين) فإن القطب CCPX سوف يخضع لإحدى التأثيرات التالية:

1. يقاد إلى المنطق العالي (high).
2. يقاد إلى المنطق المنخفض (low).
3. يستمر بلا تغير (unchanged).

وبإمكانك اختيار إحدى هذه الظواهر الدالة على حدوث المطابقة من خلال الخانات CCPXM(3:0), وبشكل مترافق مع التغير السابق على القطب CCPX ستتولد مقاطعة خاصة بالمقارنة.

17-4-2 **المخطط الصندوقي لنظام المقارنة**

يبين الشكل (17-2) المخطط الصندوقي لنظام المقارنة.

Set flag bit CCPXIF

Special Event

Trigger

CCPRxH

CCPRxL

CCPRxL

CCPRxH

S Q

R

Output

Logic

CCPX Pin

TRIS

Output Enable

CCPXCON<3:0>

Mode Select

Comparator

TMR1H

TMR1L

Match

**الشكل** 17-2 المخطط الوظيفي لنمط المقارنة.

ملاحظة: 1. حتى يتم استخدام تقنية المقارنة (compare mode) فإن المؤقت Timer1 يجب أن يعمل وفق نمط المؤقت (timer1 mode) ووفق نمط العداد المتزامن (synchronized counter mode).

2. يجب تهيئة قطب النظام CCPX (مثلاً RC2/CCP1) كقطب خرج بواسطة الخانة المقابلة له في المسجل TRIS.

3. إن تصفير (clearing) المسجل CCP1CON سوف ينقل ماسك (latch) قطب المقارنة (مثلاً RC2/CCP1 ) إلى المنطق المنخفض المهمل وهذا الوضع يختلف تماماً عن حالة مسك المعطيات I/O.

4. باختيارك لنمط المقارنة (compare mode) سيأخذ القطب CCP الحالة المنطقية المعاكسة لتلك الحالة التي قمت باختيارها عند حدوث المطابقة فإذا كانت هذه الحالة عند المطابقة هي ذات منطق منخفض فإن هذا القطب سيكون في الخالة الطبيعية على المنطق المرتفع ريثما يتم حدوث المطابقة أو يتم تغيير نمط المقارنة.

5. عندما تقوم بتفعيل المقاطعة البرمجية الخاصة بهذا النمط فإن القطب CCPX لن يتأثر وما سيحدث هو فقط مقاطعة النظام CCP(CCP interrupt) (فيما إذا تم تمكين المقاطعة).

17-4-4 **القادح الخاص Special Trigger**

يمكن في هذا النمط توليد قادح خارجي بشكل بنية صلبة (hardware) الذي يمكن استخدامه لإنجاز عملية محددة.

حيث أن خرج القادح الخاص في النظام CCPX سيقوم بتصفير مسجل المؤقت TMR1(16-bit) مما يسمح للمسجل CCPX أن يعمل كمسجل 16-BIT قابل للبرمجة مع المؤقت Timer1.

وفي بعض الشرائح (العائلة PIC16V71X) فإن خرج القادح الخاص للنظام CCP(CCP2) سيجعل المحول ADC يبدأ العمل إذا كان نظام المحول ADC ممكناً (enabled) وذلك بالإضافة إلى تصفيره لمسجل المؤقت TMR1. وأخيراً نذكر أن القادح الخاص لن يقوم بتفعيل علم مقاطعة المؤقت Timer1 والمسمى TMR1IF.

* + 1. **تأثير نمط الراحة (Sleep)**

بعد أن توضع الشريحة في نمط الراحة (sleep) لن تتم زيادة المؤقت Timer1 (في النمط المتزامن) كذلك فإن حالة النظام لن تتغير فإذا كان القطب CCP يقود منطق معين سيستمر بذلك وعندما تخرج الشريحة من نمط الراحة فإنها ستحافظ على تلك الحالة السابقة.

**17-5 نمط التعديل PWM PWM MODE**

يقوم القطب CCPX في هذا النمط بتوليد خرج PWM حتى دقة 10-bit لذلك يجب تهيئة هذا القطب بحيث يكون كقطب خرج من خلال المسجل TRIS.

* + 1. **المخطط الصندوقي لآلية التعديل PWM**

نستطيع من خلال الشكل (17-3) معرفة تركيبة نظام التعديل PWM المستخدم في متحكمات PIC.

* + 1. **إشارة التعديل PWM**

يبين لنا الشكل (17-4) القاعدة الزمنية (time - base) وكيفية توزع دور إشارة الخرج للتعديل PWM إلى فترتين, الأولى منها هي التي تكون فيها هذه الإشارة ذلت مستوى منطقي عالي (high) والتي سنصطلح على تسميتها بدورة التشغيل (duty cycle). وتردد هذه الإشارة كما هو معروف يساوي مقلوب الدور.

CCPXCON<5:4>

(DCXB1:DCXB0)

Duty cycle registers

10

**Timer2 Module**

8

Comparator

8

PR2

TMR2 (Note 1)

**CCP Module**

Clear Timer, CCPX pin

And latch the Duty Cycle

10

TRIS<Y>

Q R

S

Comparator

10

10

CCPRXH (Slave)

CCPRXL

(DCXB9:DCXB2)

CCPX

Note 1: 8-bit timer is concatenated with 2-bit internal Q clock or 2 bits of the

Prescaler to create 10-bit time – base.

**الشكل** 17-3 المخطط الوظيفي لنمط التعديل PW

Duty Cycle=

DCXB9:DCXB0

**TMR2 = PR2 + 1, TMR2 forced to 0h**

**TMR2 = Duty Cycle**

**TMR2= PR2+1, TMR2 forced to 0h**

Period=PR2+1

**الشكل** 17-4 شكل إشارة تعديل PWM .

**17-5-3 دورة التعديل PWM PWM Period**

يتم تحديد دورة التعديل (period) من خلال الكتابة إلى المسجل PR2, وبإمكانك حساب هذا الدور من خلال العلاقة التالية:

PWM period = [(PR2)+ 1]\*4\*TOSC\*(TMR2 Prescale value)

حيث TMR2 Prescale value تمثل نسبة التقسيم الخاصة بالمؤقت Timer2, وتردد التعديل FPWM هو مقلوب القيم السابقة PWM period. عندما تصبح قيمة المؤقت TMR2 مساوية إلى PR2 فإنه مع دورة الزيادة اللاحقة ستنجز ثلاثة أمور:

1. تصفير المؤقت TMR2.
2. تفعيل القطب CCPX (إلا إذا كانت دورة التشغيل (duty cycle) ذات نسبة 0% فإن هذا القطب لن يفعل)
3. مسك (latch) قيمة دورة التشغيل (duty cycle) من المسجل CCPRXL إلى المسجل CCPRXH.

17-5-4 **دورة الخدمة للتعديل PWM PWM (duty cycle)**

يتم تحديد هذه القيم بالكتابة إلى المسجل CCPRXL والمسجل CCPXCON وذلك بالاعتماد على العلاقة التالية:

\*TOSC\*(TMR2 Prescale value) (الخانات العشر PWM duty cycle = (DCXB9:DCXB0)

حيث أن الخانات العشر تتوزع بحيث تؤخذ الخانات الثمان الأكثر أهمية MSBS فيها من المسجل CCPRXL والخانتين ذات الأهمية الصغرى LSBS منها تؤخذ من خانتي المسجل CCPXCON الخاصتين (5:4bit) وهذه الخانات العشر تحدد دقة التعديل (resolution PWM output).

وعلينا معرفة أن كتابة الخانات العشر DCXB9:DCXB0 عملية ممكنة في أي وقت من إلا انتقال قيمة دورة الخدمة (duty cycle value) إلى المسجل CCPRXH لن يتم إلا بعد حدوث المطابقة بين المسجلين TMR2, PR2 (أي لحظة انتهاء الدور الحالي), وننوه هنا إلى أن المسجل CCPRXH هو مسجل قابل للقراءة فقط في نمط التعديل PWM.

يستخدم المسجل CCPRXH مع الخانتين الممسوكتين داخلياً من أجل صنع عازل مضاعف (double buffer) لدورة التشغيل (duty cycle), حيث أن هذا العازل سيكون هاماً جداً للتخلص من الخلل (glitch) الذي من الممكن أن يطبق على عملية التعديل PWM.

نلاحظ كما هو مبين في المخطط الصندوقي لآلية التعديل أنه عند حدوث التطابق بين المسجل CCPRXH والخانتين الممسوكتين من جهة مع قيمة المؤقت TMR2 من الجهة الأخرى (طبعاً مع خانتي المقسم Prescaler) سيتم تصفير القطب CCPX مما يشير إلى نهاية دورة الخدمة (duty cycle).

**17-5-5 دقة التعديل العظمى والصغرى**

وحتى تستطيع دقة تحديد دقة التعديل PWM العظمى (Maximum PWM resolution) التي تقدر بعدد الخانات بإمكانك تطبيق العلاقة التالية :

 = MaxPWMres

يبين لنا الجدول التالي 17-3 الدقة العظمى لعدة قيم من تردد التعديل PWM من أجل تردد هزاز الشريحة ذو القيمة 20MHz .

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 208.3 kHz | P156.3 kHz | 78.12 kHz | 19.53 kHz | 4.88 kHz | 1.22 kHz | PWM Frequency |
| 1 | 1 | 1 | 1 | 4 | 16 | Timer Prescaler |
| 0×17 | 0×1F | 0×3F | 0×FF | 0×FF | 0×FF | PR2Value |
| 5.5 | 7 | 8 | 10 | 10 | 10 | Maximum  Resolution (bits) |

**الجدول** 17-3 قيم لترددات *PWM* مع مقابلاتها في*PR2*  وعدد البيتات (الخانات) .

**ملاحظة:**

**إذا كانت قيمة دورة التشغيل أطول من الدور (PWM periode) فإن القطب CCPx لن يتم تصفيره وسينتج عن ذلك دورة التشغيل ذات نسبة 100% من الدور .**

أما الدقة الصغرى للتعديل (minimum resolution ) فهي تعتمد على قيمة المقسم (Prescaler) للمؤقتTimer2 إلا أنها تقاس بواحدة الزمن وذلك لكل خانة من خانات دورة التشغيل , ويبين الدول 17-4 أمثلة لهذه الدقة مع عدة قيم للمقسم.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Minimum Resolution  (Time) | T2CKPS1:T2CKPS0 | Prescaler  Value |
| TOSC | 00 | 1p |
| TCY | 01 | 4p |
| 4TCY | 1× | 16p |

**الجدول** 17-4 الدقة الصغرى (الزمنية) ونسب التقسيم المكافئة.

**17-5-6 حسابات التعديل PWM**

نفرض أن تردد التعديل PWM هو التردد 78.125KHz , وأن تردد هزاز الشريحة FOSC هو التردد 20MHz وأن نسبة التقسيم المؤقت Timer2 هي النسبة 1:1 .

نستطيع عندها حساب قيمة المسجل PR2 كما يلي :

1/78.125 KHz = 

12.8 µs = 

PR2 = 63

وحتى نوجد قيمة الدقة العظمى لدورة التشغيل المترافقة مع تردد التعديل 78.125 KHz

وتردد الشريحة 20MHz نستخدم العلاقة التالية كما يلي:

1/78.125KHz = 2PWM. Resolution\* \*1/20MHz + 1

256 = 2PWM. res

Log (256) = PWM. Res Log(2)

PWM. Res = 8.0

وغالبا ما نحصل على دورة تشغيل ذات دقة 8-bit من التردد 78.125 KHz والتردد20MHzالخاص بالشريحة , أي أن قيمة الخانات العشر يجب أن تكون ضمن المجال التالي :

0 ≤ DCXP9: DCXP0 ≤ 255

وأي قيمة أكبر من 255 ستسبب لدورة التشغيل أن تكون ذات نسبة 100% من كامل الدور .

وبإمكانك أن تستخلص أنه لتحقيق الدقة الأعلى يجب أن يكون تردد التعديل أخفض , وعلى العكس أنه لتحقيق تردد التعديل الأعلى يجب أن تكون الدقة أخفض .

**17-5-7 تهيئة عملية التعديل PWM**

إن الخطوات الخمس التالية ستهيئ النظام CCP من أجل القيام بعملية التعديل PWM :

1. تهيئة دور التعديل (PERIOD) بكتابته إلى المسجل PR2 .
2. تهيئة دورة التشغيل duty cycle)) بكتابتها إلى الخانات العشر DCxP9: DXcBO
3. جعل القطب CCPx خرا من خلال الخانة المناظرة في TRIS .
4. تعيين نسبة التقسيم للمؤقت TMR2 وتمكين هذا المؤقت من خلال المسجل T2CON
5. تهيئة النظام CCP بحيث يخدم العملية PWM.
   1. **التهيئة**

يتم تهيئة نظام CCP وفق ثلاث أنماط :

1. نمط المسك ( Capture mode) .
2. نمط المقارنة (Compare mode) .
3. نمط التعديل (PWM mode) .

وسنعطي أمثلة من عملية التهيئة لكل من الأنماط الثلاثة السابقة بالترتيب .

**17-6-1 مثال (17-1) تهيئة نمط المسك :**

إيقاف عمل النظام ;CCP CLRF CCP1CON

تصفير بايت المؤقت Timer1 العلوي ; CLRF TMR1H

تصفير بايت المؤقت Timer1 السفلي ; CLRF TMR1L

حجب المقاطعات وتصفير العلم ;TOIF CLRF INTCON

Bank1 ; BSF Status, RP0

جعل القطب CCP1 قطب دخل ; BSF TRISC, CCP1

حجب المقاطعات المحيطية ; CLRF PIR1

Bank0 ; BCF Status, RP0

تصفير أعلام المقاطعات المحيطية ; CLRF PIR1

اختبار نمط المسك Capture كل أربع جبهات صاعدة ; MOVLW 0X06

; MOVWF CCP1CON

بدء المؤقتTimer1بالزيادة ; BSF T1CON, TMR10N

;

إن مقاطعة النظام CCP1 قد تم حجبها لذا نقوم بفحص ;

علم مقاطعة النظام (CCP1IF) CCP1 ;

;

Capture= Event

فحص العلم BTFSS PIR,1 CCP1IF;

GO TO Capture- Event

المسك قد تم انجازه;

ويمكن هنا إنجاز أي قطعة برمجية ;

تصفير علم المقاطعة تمهيدا لعملية مسك جديدة BCF PIR1, CCP1IF,