بنية وبرمجة المتحكمات الصغرية 8051

سنة ثانية – اتصالات

2020-2019

الفصل الأول: مقدمة إلى المتحكمات الصغرية

- أنتجت شركة إنتل في عام 1971 أول معالج يعمل على نطاق 4-bit بسرعة 6000 عملية بالثانية وكان اسمه 4004, وفي نيسان عام 1972 ظهر المعالج 8008 قادر على عنونة ذاكرة قدرها 16Kb و عدد 45 تعليمة وبسرعة 300000 عملية بالثانية. وبعد عامين تم إنتاج المعالج 8080 بنطاق 8-bit قادر على عنونة ذاكرة 64Kb وعدد تعليمات 75 تعليمة. ما لبثت شركة موتورولا أن أنتجت المعالج 6800 بنطاق 8-bit وأنتجت معه الدارات الملحقة 6850 و 6820.
- نتج عن استخدام تقنية MOS انخفاض أسعار هذه المعالجات بشكل حاد من حوالي 179$ إلى 70$. واستمر التطور في المعالجات إلى يومنا هذا وانخفضت أسعارها وأضيف اليها تقنية الومض Flash والتي نتج عنها بعد ذلك ظهور المتحكمات.
-

- تطبيقات المتحكمات الصغرية :

تدخل المتحكمات الصغرية في مجال واسع من التطبيقات الصناعية والمنزلية وغيرها ومن هذه التطبيقات:

- أنظمة الإنذار بالحريق والسرقة .
- أنظمة التحكم والمراقبة عن بعد بواسطة خطوط الهاتف .
- شاشات الكومبيوتر وأجهزة التلفزيون والراديو الرقمية وأجهزة التحكم عن بعد بواسطة الأشعة تحت الحمراء وبواسطة الأمواج الراديوية .
- الساعة الرقمية , المؤقتات , العدادات , مقاييس الحرارة والرطوبة .
- الغسالة الآلية .
- التحكم بخطوط الإنتاج والآلات الميكانيكية .
- أنظمة التكييف .
- التحكم في المصاعد .
- الجريدة الالكترونية .

- كيف يعمل المتحكم:
- بالرغم من وجود العديد من المتحكمات المختلفة والعدد الأكبر من البرامج المصممة لاستخدامها معها, فجميعها يملك الكثير من الأمور المتشابهة فيما بينها. هذا يعني إذا تعلمت كيفية التعامل مع احدها فإنك ستستطيع التعامل معها كلها. نوضح فيما يلي السيناريو النموذجي لعملها جميعاً:
- التغذية مفصولة والمتحكم مبرمج وكل شيء في مكانه ولا توجد أي دلالة لما هو قادم..
- توصل التغذية ويبدأ كل شيء بالحدوث بسرعة عالية وتبدأ دارات التحكم المنطقية بتسجيل ما سيحدث أولاً. فهي تقوم أولاً بتمكين المهتز للعمل وتبدأ الإعدادات الأولية بالتقدم وتشحن المكثفات وتمر الميللي ثواني الأولى.
- يصل مستوى الجهد لقيمته العظمى ويستقر تردد المهتز. يتم كتابة الخانات للسجلات الخاصة, مبينة حالة جميع الطرفيات ويتم توصيف جميع البوابات كمخارج. كل شيء يحدث بتناغم مع إيقاع النبضات وتبدأ جميع الدارات الالكترونية بالعمل. وحتى هذه اللحظة فالزمن يقاس الآن بالميكرو والنانو ثانية.
- يصفّر عداد البرنامج إلى العنوان صفر من ذاكرة البرنامج. ترسل التعليمات من ذلك العنوان إلى مترجم التعليمات حيث يتم التعرف على معانيها وتنفيذها مع تأثيرها الفوري.
- يتم زيادة قيمة عداد البرنامج بمقدار واحد وتكرر العملية بأسرها عدة ملايين المرات بالثانية.

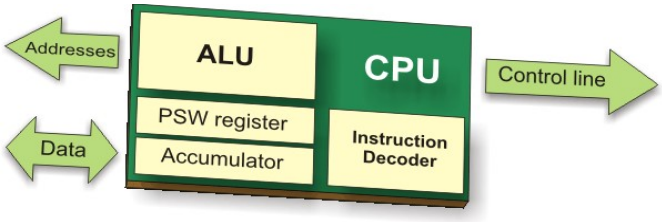
- ماذا يوجد داخل المتحكم:

- ذاكرة البرنامجROM:
- هي نوع من الذواكر يخزّن فيها البرنامج الذي يتم تنفيذه بشكل دائم. من الواضح أن طول البرنامج الذي يمكن كتابته يعتمد على حجم هذه الذاكرة. يمكن تصنيع هذه الذاكرة داخل المعالج أو يمكن إضافتها خارجياً كدارة منفصلة وهذا يعتمد على نوع المتحكم. كلا الطريقتين لها محاسنها ومساوئها فإذا أضيفت خارجياً يكون المتحكم أرخص والبرنامج أكبر بشكل معتبر. ولكن بنفس الوقت يخسر المتحكم بعض أقطاب دخله /خرجه للوصل مع الذاكرة. سعة الذاكرة الداخلية عادة أصغر وأكثر كلفة إلا أن إمكانيات هذا المتحكم للوصل مع الطرفيات أكبر. تتراوح سعة ذاكرة البرنامج بين 512 بايت و64 كيلوبايت.
- ذاكرة المعطياتRAM:
- تستخدم للتخزين المؤقت للمعطيات والثوابت الناتجة أو المستخدمة أثناء فترة العمل. يمحى محتوى هذه الذاكرة عند فصل التغذية. على سبيل المثال عندما ينفذ البرنامج عملية جمع رياضية يحتاج إلى سجل يخزن فيه ناتج هذه العملية. لذلك يطلق على أحد سجلات الذاكرة هذه اسم "المجموعsum". يصل حجم ذاكرة المعطيات إلى عدة كيلوبايت.

- ذاكرة EEPROM:
- وهذا نوع من الذواكر لا يملكه كل أنواع المتحكمات. يمكن تغيير محتواها أثناء تنفيذ البرنامج (مثل الـ RAM), لكن يتم تخزينه بشكل دائم حتى بعد فصل التغذية(مثل الـ ROM). تستخدم لتخزين المعطيات المختلفة الناتجة والمستخدمة خلال فترة التشغيل والتي يجب حفظها عند فصل التغذية (معلومات المعايرة, الرموز, محتويات العدادات,...). أحد مساوئ هذه الذاكرة هو زمن برمجتها البطيء بالميللي ثانية.
- سجلات الوظائف الخاصة SFR:
- سجلات الوظائف الخاصة هي جزء خاص من الذاكرة تعرف وظائفها مسبقاً من الشركة الصانعة. كل سجل يملك اسمه الخاص ويتحكم ببعض الطرفيات ضمن المتحكم. على سبيل المثال: إذا كتبنا صفراً أو واحداً إلى سجل يتحكم ببوابة دخل/خرج, فإنه يمكن توصيف أرجل البوابة كمداخل أو مخارج (كل خانة في هذا السجل تتحكم بالغرض من استخدام رجل واحدة من البوابة).

- عداد البرنامجPC:

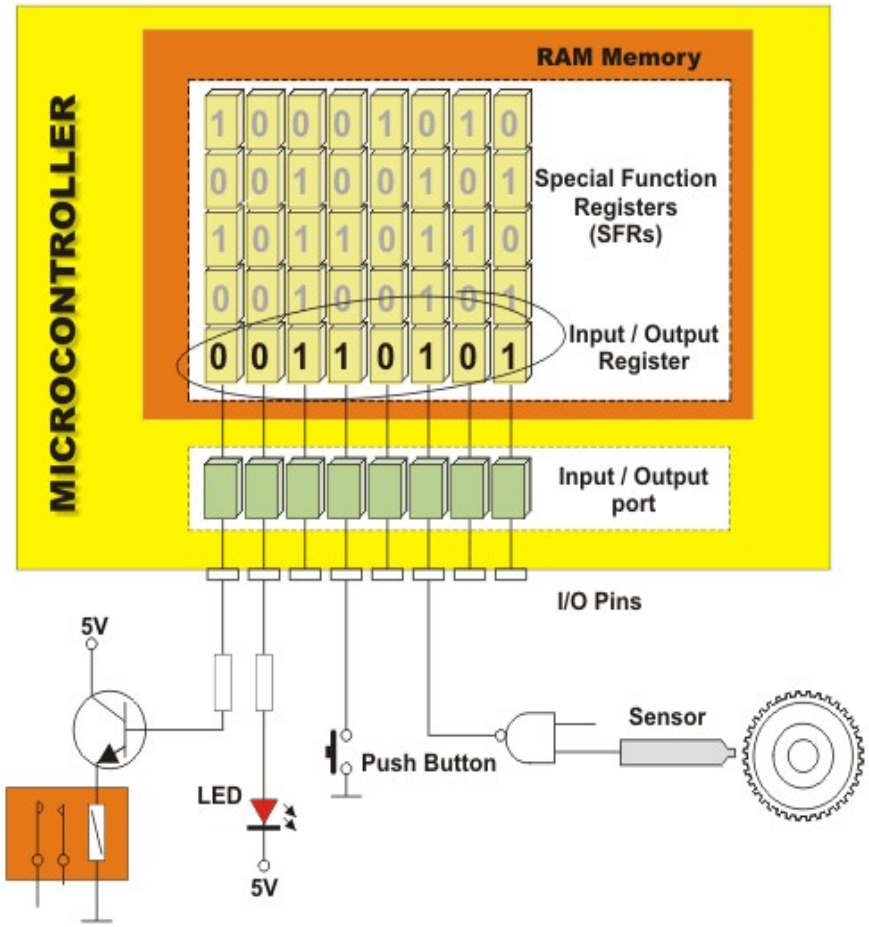
- هو محرك يبدأ البرنامج ويشير إلى عنوان الذاكرة الذي تتواجد فيه التعليمة التالية الواجب تنفيذها. تزداد بعد التنفيذ مباشرة قيمة العداد بمقدار واحد. مع هذه الزيادة الآلية , ينفذ البرنامج تعليمة واحدة مكتوبة كل مرة . مع ذلك يمكن تغيير قيمة العداد في أي لحظة وهذا سيتسبب "بقفزة" إلى موقع جديد في ذاكرة البرنامج. هذه هي الطريقة التي تنفذ بها البرامج الفرعية أو تعليمات التفريع. بعد أن يجد مكانه الجديد في البرنامج, يتابع العداد تقدمه بشكل متساو خطوة فخطوة.



- وحدة المعالجة المركزية CPU:
- كما يتضح من الاسم فهي الأخ الأكبر الذي يراقب ويتحكم بجميع العمليات التي

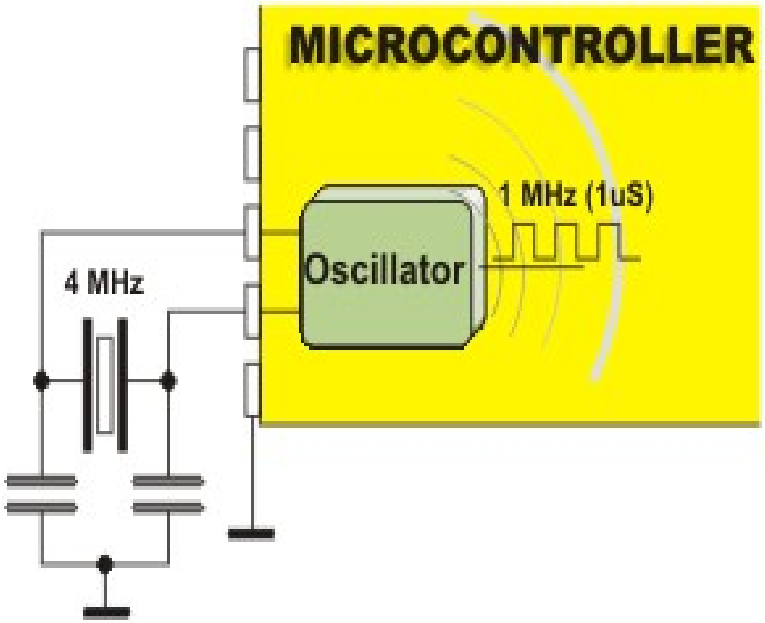
يتم أداؤها ضمن المتحكم ولا يستطيع المستثمر أن يؤثر على أداءها. وهي تتكون من عدة وحدات أصغر أهمها:

- 1)- مترجم التعليمات Instruction Decoder:
- دارة الكترونية تتعرف على تعليمات البرنامج وبناءاً على ذلك تشغّل دارات أخرى.
- 2)- وحدة الحساب والمنطق ALU:
- تقوم بجميع العمليات الرياضية والمنطقية على المعطيات. تختلف ميزات هذه الدارة بين متحكم وأخر وهي مشروحة بتفصيل أكبر لاحقاً.
- 3)- المــراكم Accumulator:
- وهو نوع خاص من سجلات الوظائف الخاصة عمله متعلق بشدة بوضعية عمل وحدة الحساب والمنطق. وهو يشبه مكتباً تتوضع عليه جميع المعطيات اللازمة لأداء بعض العمليات (الجمع, الإزاحة, الخ..). وهو يحوي أيضاً على النتيجة الجاهزة للاستخدام أيضاً في العمل. أحد سجلات الوظائف الخاصة يدعى سجل الحالة Status Register, قريب من المراكم ويُظهر عند أي لحظة معطاة "حالة" العدد الموجود في المراكم (أكبر أو أصغر من الصفر الخ..).

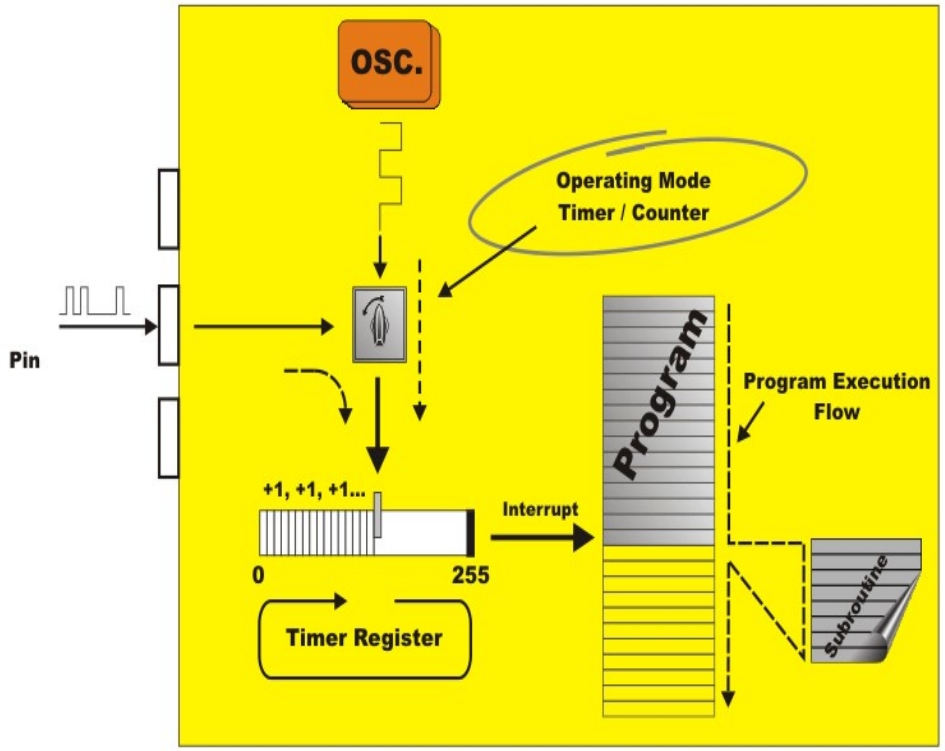


- بوابات الدخل – الخرج I/O Ports:
- يكون المتحكم عديم الفائدة إذا لم يوصل مع أي جهاز طرفي. لذلك يملك كل متحكم واحداً أو أكثر من السجلات الموصولة إلى هذه الأقطاب (تسمى منافذ أو بوابات في هذه الحالة). وقد سميت بوابات دخل/خرج لأن المستثمر يمكنه أن يغير وظيفة القطب تبعاً لحاجته. وهي السجلات الوحيدة في المتحكم التي يمكن أن تفحص حالتها بالفولتيمتر.

- المهتز Oscillator:
-
- يمكن تشبيه عمل المهتز بقسم الإيقاع من الاوركسترا الصغيرة. فالنبضات المتساوية القادمة من هذه الدارة توفر العمل المتناغم والمتزامن لجميع أجزاء المتحكم. غالباً ما يتم استخدام كريستالة أو مرنان سيراميكي للاستقرار في التردد(مثل المهتز RC). من المهم معرفة أنه لا يتم تنفيذ التعليمات بنفس سرعة المهتز الكريستالي وإنما يتم تخفيضها مرات عديدة. الهدف من ذلك أن كل تعليمة يتم تنفيذها بعدة خطوات (في بعض المتحكمات يتساوى زمن تنفيذ التعليمات وفي متحكمات أخرى يختلف الزمن بالنسبة لكل تعليمة). وهكذا إذا كان نظامك يستخدم كريستالة ترددها 20 ميغا هرتز فإن زمن تنفيذ تعليمة البرنامج ليس 50 نانو ثانية وإنما 200 أو 400 أو حتى 800 نانو ثانية.



- المؤقتات / العدادات:



تستخدم جميع البرامج بطريقة ما هذه العناصر الالكترونية. وهي غالباً ما تكون عبارة عن سجلات وظائف خاصة بطول 8 أو 16 بت والتي تزداد قيمتها آلياً مع كل نبضة ساعة قادمة. حالما يمتلئ هذا السجل تماماً تتولد لدينا إشارة مقاطعة.

إذا استخدمت السجلات المهتز الداخلي من أجل عملها فإنه بالإمكان قياس الزمن بين حادثتين (إذا كانت قيمة السجل هي T1 عند بدء القياس و T2 عند لحظة الانتهاء عندها فإن الزمن المقضي يساوي T2-T1). إذا كانت السجلات تستخدم من أجل عملها النبضات القادمة من مصدر خارجي عندها يتحول هذا المؤقت إلى عداد. هذا توضيح بسيط جداً لجوهر عملها إنما عملياً هو أعقد قليلاً.

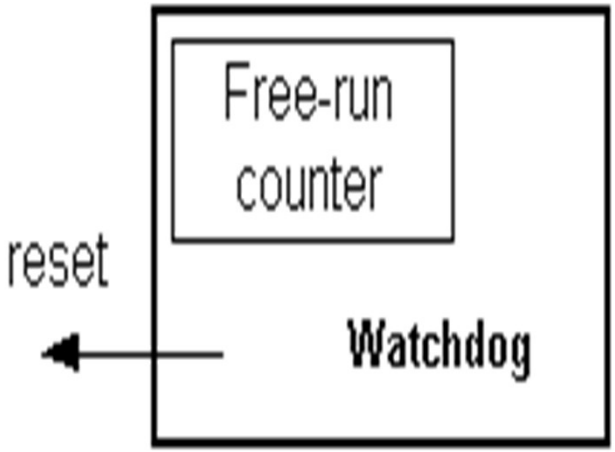
تذكرة: السجل هو اسم أخر لخلية الذاكرة. فبالإضافة للخانات الثمانية المتوفرة للمستثمر فإن كل سجل يحوي على قسم العنونة الخاص به وهو غير مرئي عادة للمستثمر. ومن المهم أن:

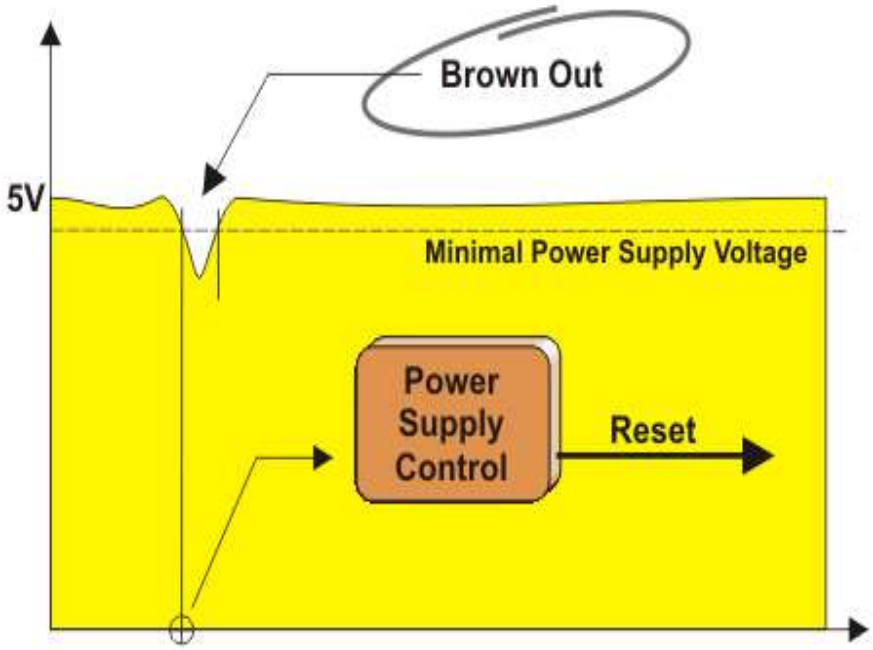
- تعرف جميع السجلات في ذواكر الـ ROM وكذلك الـ RAM بأنها سجلات أغراض عامة عديمة التسمية المسبقة وتبادلية. يمكن أثناء البرمجة تسمية كل سجل لتسهيل عملية البرمجة.
- تملك جميع سجلات الوظائف الخاصة أسماؤها الخاصة والمختلفة بحسب الأنواع المختلفة من المتحكمات وكل منها له دوره الخاص.

- مؤقت المراقبة (أو الحراسة):

أمر آخر يسترعي انتباهنا هو العمل السليم للمتحكم الصغري أثناء دورة تشغيله. فلنفترض أنه نتيجة لبعض التداخل (وغالباً ما يحدث في الصناعة) قد توقف المتحكم عن تنفيذ البرنامج أو الأسوأ أنه قد بدأ العمل بشكل غير صحيح.

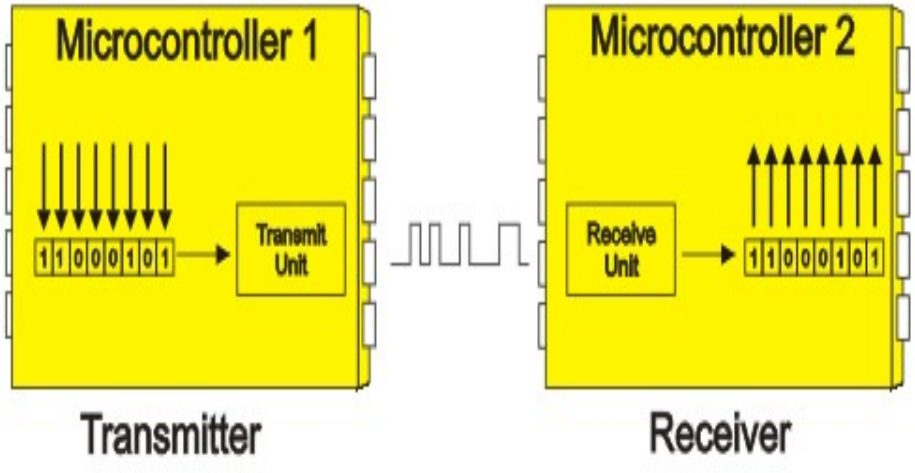
إذا حصل هذا مع الكومبيوتر فإننا ببساطة نقوم بإعادة تشغيله وسيستمر هذا بالعمل. على أي حال لا يوجد زر إعادة تشغيل على المتحكم الصغري كي يحل المشكلة. لتجاوز العقبة نحتاج إلى تقديم كتلة جديدة تدعى وحدة المراقبة. هذه الكتلة بالحقيقة عبارة عن عداد حر الجريان يحتاجه برنامجنا لكتابة صفر منطقي في كل مرة ينفذ تعليمة بشكل صحيح. في حال حدث خطأ بالبرنامج فلن يكتب صفر منطقي فيه وسوف يعمل العداد بمفرده بإعادة تشغيل المتحكم عند وصوله لقيمته العظمى. هذا سيستدعي تنفيذ البرنامج من جديد وبشكله الصحيح. هذه الوحدة مهمة لكل برنامج حتى يكون موثوقاً بدون تدخل الأشخاص.





- دارة وحدة التغذية:
- هناك أمران داخل الدارة التي تهتم بأمر تغذية المتحكم يستحقان الذكر:
- انخفاض الجهد الكهربائيBrown out: وهي حالة خطرة ممكنة يمكن أن تحدث عند لحظة إطفاء المتحكم أو في الحالات التي يحدث فيها خلل شديد وينخفض فيها جهد التغذية إلى قيمة دنيا له. حيث أن المتحكم يتألف من عدة دارات ذات مستويات جهد تشغيل مختلفة, فهذا قد يتسبب بحدوث حالة "خروج عن التحكم", ولمنع حدوث ذلك تدمج عادة دارة تصفير عند انخفاض الجهد. عندما ينخفض مستوى الجهد تحت المستوى الأدنى المقبول فإن هذه الدارة تقوم بتصفير جميع الدارات الالكترونية.
- مدخل التصفير RESET Pin:يعرف عادة بمدخل التصفير الرئيسي ويعمل كتصفير خارجي للمتحكم بتطبيق صفر أو واحد منطقي بالاعتماد على نوع المحكم. في حال لم يتم دمج دارة تصفير انخفاض الجهد السابق ذكرها, يمكن إضافة دارة خارجية بسيطة لهذا الغرض ووصلها لهذا القطب.

- الاتصالات التسلسلية:
- يتحقق الاتصال بين المتحكم والأجهزة الطرفية عبر بوابات الدخل – الخرج. فمن أجل المسافات القصيرة يمكن استخدام التوصيل التفرعي, إلا أنه للمسافات الأطول نحتاج لاستخدام التوصيل التسلسلي أي التوصيل عبر النبضات. ولقد أصبحت دارات الاتصال التسلسلي مدمجة في معظم المتحكمات وهي تملك عدة نماذج واختيار أحدها يعتمد على عدة عوامل أهمها:
- عدد الأجهزة التي سيتبادل المتحكم معها المعطيات.
- سرعة الاتصال التسلسلي.
- المسافة بين الأجهزة.
- وجود حاجة لإرسال المعطيات واستقبالها لحظياً.
- أحد أهم الأشياء المتعلقة باستخدام الاتصالات التسلسلية هو مراقبة البروتوكول بشكل حازم. البروتوكول هو مجموعة من القواعد الواجب تطبيقها بغرض جعل الأجهزة تميز المعلومات التي تتبادلها. لحسن الحظ, فإن المتحكمات تتولى ذلك آلياً مما يبسط من عمل المبرمج.



تذكرة: البايت هو ثمانية بتات متجاورة تشكل ما يسمى كلمة برنامج أو بايت. إذا كان البت رقم عندها يكون البايت عدد. يمكن إجراء جميع العمليات الرياضية والمنطقية عليها. يمكن قسم البايت إلى قسمين يدعى كل منهما بالنبل. الخانة من البايت في أقصى اليسار تدعى الخانة الأكثر ثقلاً والتي إلى أقصى اليمين تدعى الخانة الأدنى ثقلاً. يمكن للخانات الثمانية أن تعطي 256 قيمة مختلفة. أكبر رقم عشري يمكن أن يمثل بها هو 255.

- البرنامج:

بشكل مغاير للدارات المتكاملة الأخرى التي تحتاج فقط لتوصيلها مع عناصر أخرى وتغذيتها فإن المتحكمات تحتاج إلى برمجتها قبل تغذيتها. من أجل هذا يتفادى بعض العاملين في الالكترونيات استخدام المتحكمات. في الواقع ذلك فخٌ يسبب خسائر كثيرة فبرمجة المتحكمات في الواقع سهل جداً.

- من أجل كتابة برنامج للمتحكمات المتوفرة هناك العديد من لغات البرمجة "المنخفضة-المستوى" المستخدمة لبرمجة الكومبيوتر والتي يمكن استخدامها مثل لغة الأسمبلي والسي والبيزيك. والبرنامج عبارة عن مجموعة من التعليمات البسيطة تكتب على التتالي الذي يجب أن تنفذ به. وهناك الكثير من البرامج التي تعمل في بيئة الويندوز التي تبسط الكتابة وتؤمن الكثير من الأدوات البصرية الإضافية. سنتطرق لاستخدام الأسمبلر لأنه اللغة الأبسط مع سرعة التنفيذ الأكبر متيحة التحكم الكامل لما يجري في الدارة.

- تذكرة:
- المقاطعة: الدارات الالكترونية عادة أسرع من العمليات الفيزيائية في المحيط الواجب إبقاؤه تحت التحكم. لذلك يصرف المتحكم معظم وقته بانتظار حدوث شيء أو تنفيذه. بغرض تفادي التفحص المستمر للحالة المنطقية لبوابات الدخل وللسجلات الداخلية, يتم توليد إشارة المقاطعة. وحيث أن عدة أحداث يمكن أن تسبب المقاطعة عند حدوثها, فإن المتحكم يتوقف عن العمل فوراً ويتفحص السبب. إذا طلب منه أن يقوم بفعل ما, يدفع بالقيمة الحالية لعداد البرنامج إلى المكدس ويتم تنفيذ البرنامج المناسب (ويدعى برنامج المقاطعة الفرعي).
- المكدّس: هو جزء من الذاكرة يستخدم لتخزين القيمة الحالية لعداد البرنامج (العنوان). هذا العنوان يتيح للمتحكم معرفة إلى أين سيعود بعد تنفيذ البرنامج الفرعي. يمكن للمكدس أن يتكون من عدة مستويات. وهذا يتيح تداخل البرامج الفرعية أي استدعاء برنامج فرعي من برنامج فرعي أخر.

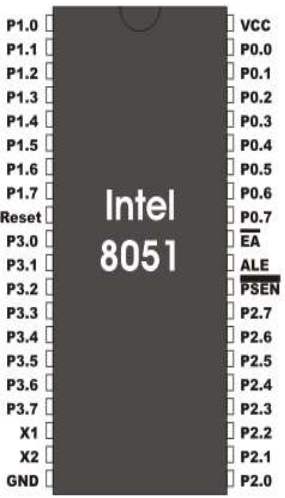
الفصل الثاني :بنية المتحكم الصغري 8051

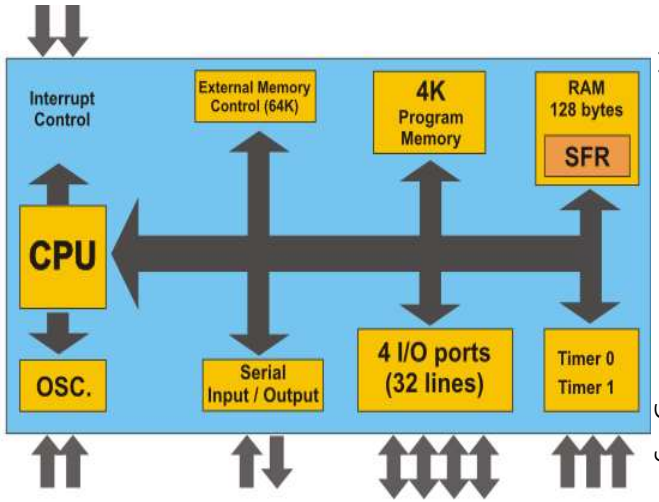
- 1- معايير المتحكم 8051:

ناضل مصنعو المتحكمات الصغرية لفترة طويلة لاجتذاب الزبائن الصعب إرضاءهم أكثر وأكثر. إذ نسمع كل فترة بخروج متحكم جديد إلى السوق بتردد عمل أعلى ومبدل تمثيلي / رقمي أعلى جودة. وبرغم ذلك, وعند تحليل بنية هذه المتحكمات نصل إلى الخلاصة أن معظمها يملك نفس البنية (أو على الأقل مشابه جداً) المعروفة في بيان المنتج كـ" متوافق مع 8051 ".
فمن أين أتى هذا؟
بدأت القصة في الثمانينات عندما أنتجت شركة إنتل سلسلتها من المتحكمات المصنفة بالرمز MCS 051. مع أن عدداً من المتحكمات التي تنتمي لهذه السلسلة تملك ميزات متواضعة تماماً بالمقارنة مع المتحكمات الجديدة, إلا أنها انتشرت عالمياً بشكل سريع جداً وأصبحت المعيار لما يسمى اليوم بالمتحكم الصغري.

- سبب النجاح واكتساب هذه الشعبية الكبيرة هو في الموهبة باختيار التشكيلة الالكترونية التي ارضت حاجات عدد هائل من المستخدمين والتي أتاحت بنفس الوقت النمو المستقر لها. علاوة على ذلك, وحيث أن قدراً كبيراً من البرامج قد تم تطويره في غضون ذلك, فلم يكن ببساطة من المربح تغيير أي شيء في البنية الأساسية للمتحكم. هذا هو السبب لوجود عدد كبير من المتحكمات المختلفة والتي هي فعلياً مجرد نماذج مطورة من العائلة 8051.

الفصل الثاني : بنية المتحكم الصغري 8051





إذاً ماهي الأسباب التي جعلت هذا المتحكم مميزاً جداً وعاماً بحيث أن جميع المنتجين في العالم تقريباً ينتجونه نفسه تحت أسماء مختلفة؟

يتضح من النظرة الأولى للصورة جانباً أن المتحكم 8051لا يملك أي شيء مؤثر:

- 4 كيلوبايت ذاكرة برنامج – كمية ليست بالكثيرة أبداً.
- 128 بايت ذاكرة رام (بما فيها سجلات الوظائف الخاصة) - ترضي الاحتياجات الأساسية ولكنها أيضاً ليست بالكمية العالية.
- 4 بوابات تملك ما مجموعه 32 خط دخل/خرج - كافية في الأغلب للوصل مع الطرفيات المحيطة وكذلك ليست بالعدد المغري.

فالتشكيلة كلها مجهزة لإرضاء حاجات معظم المبرمجين اللذين يعملون في تطوير عناصر الأتمتة. إحدى ميزات هذا المتحكم أنه لا ينقصه شيء ولا يملك الكثير من أي شيء في نفس الوقت. بمعنى أخر، فقد تم إنتاجه تماماً بالتوافق مع احتياجات وذوق المستخدم الوسطي أو العادي. الميزات الأخرى هي الطريقة التي نظمت بها الذاكرة والطريقة التي تعمل بها وحدة المعالجة المركزية والبوابات التي تستفيد من كامل الحمايات وتمكن من التطوير المستقبلي.

- أقطاب المتحكم 8051:

- **Port 1** Pins 1-8: البوابة الأولى: بوابة دخل/خرج ثمانية الخانات ثنائية الاتجاه بمقاومات رفع داخلية. يمكن لأقطاب هذه البوابة أن تقود أربع بوابات TTL. عند كتابة واحد منطقي إلى أقطاب هذه البوابة فإنه يتم رفعها (وصلها إلى جهد التغذية) عبر مقاومات الرفع الداخلية وعندها يمكن استخدامها كمداخل. في هذه الحالة فإن هذه الأقطاب التي تسحب خارجياً إلى الأدنى سوف تعطي تياراً I_{IL} وذلك بسبب مقاومات الرفع الداخلية.وبالإضافة إلى ذلك يتمتع الطرفين P1.0&P1.1 بوظيفة خاصة أخرى فلقد رتب القطب P1.0 كي يكون مدخل العد الخارجي للمؤقت/ العداد 2 ((P1.0 / T2)) ورتب القطب P1.1 كي يكون مدخل القدح للمؤقت/العداد 2 ((P1.1 /T2EX)) كما هو مبين في الجدول التالي :

قطب النافذة	الوظيفة الخاصة
P1.0	T2 (مدخل العد الخارجي للمؤقت / العداد 2) نبضات الساعة الخارجية
P1.1	T2EX(مدخل قدح و تحكم باتجاه العد في حالة مؤقت / عداد 2& مسك / إعادة تحميل)

- أقطاب المتحكم 8051:

- Pin 9: RS مدخل التصفير RS: عند تطبيق واحد منطقي على هذا القطب لدورتي ساعة متتاليتين أثناء عمل المهتز سوف يؤدي إلى تصفير المتحكم.
- Pins10-17: Port 3 البوابة الثالثة: بوابة دخل/خرج ثمانية الخانات ثنائية الاتجاه بمقاومات رفع داخلية. يمكن لأقطاب هذه البوابة أن تقود أربع بوابات TTL. عند كتابة واحد منطقي إلى أقطاب هذه البوابة فإنه يتم رفعها (وصلها إلى جهد التغذية) عبر مقاومات الرفع الداخلية وعندها يمكن استخدامها كمداخل. في هذه الحالة فإن هذه الأقطاب التي تسحب خارجياً إلى الأدنى سوف تعطي تياراً I_{IL} وذلك بسبب مقاومات الرفع الداخلية.
- يمكن استخدام هذه البوابة أيضاً لأداء عدة وظائف أخرى وهي:
  - Pin 10: RXDمدخل اتصال تسلسلي.
  - Pin 11:TXDمخرج اتصال تسلسلي.
  - Pin 12: INT0 مدخل المقاطعة الخارجية الأولى
  - Pin 13: INT1 مدخل المقاطعة الخارجية الثانية
  - Pin 14: T0 مدخل المؤقت الخارجي الأول.
  - Pin 15: T1 مدخل المؤقت الخارجي الثاني.
  - Pin 16:WRقطب القدح للكتابة إلى ذاكرة المعطيات الخارجية.
  - Pin 17: RDقطب القدح للقراءة من ذاكرة المعطيات الخارجية.
  - Pin 18: XTL2مخرج مضخم المهتز العاكس.
  - Pin 19: XTL1 مدخل مضخم المهتز العاكس ومدخل لدارة مهتز الساعة الداخلي.

- أقطاب المتحكم 8051:

- Pin 21-28: PORT 2البوابة الثانية: بوابة دخل/خرج ثمانية الخانات ثنائية الاتجاه بمقاومات رفع داخلية. يمكن لأقطاب هذه البوابة أن تقود أربع بوابات TTL. عند كتابة واحد منطقي إلى أقطاب هذه البوابة فإنه يتم رفعها (وصلها إلى جهد التغذية) عبر مقاومات الرفع الداخلية وعندها يمكن استخدامها كمداخل. في هذه الحالة فإن هذه الأقطاب التي تسحب خارجياً إلى الأدنى سوف تعطي تياراً I_{IL} وذلك بسبب مقاومات الرفع الداخلية.

عند استخدام ذواكر خارجية فإن البوابة P2تصدر بايت العنوان المرتفع (A8-A15) أثناء الجلب من ذاكرة البرنامج الخارجية وأثناء الوصول لذاكرة المعطيات الخارجية التي تستخدم العنوان ذو الست عشر خانة (MOVX @DPTR).تستخدم في هذا التطبيق رفعاً داخلياً قوياً عند إصدارها الواحد المنطقي. خلال تحصيل معطيات الذاكرة الخارجية التي تستخدم العناوين ثمانية الخانات (MOV @RI) فإن البوابة الثانية تعطي على أقطابها محتويات سجل الوظائف الخاص المتعلق بها.

تتلقى البوابة الثانية أيضاً خانات عنوان الرتبة العليا وبعض إشارات التحكم أثناء برمجة الذاكرة الوميضية والتحقق منها (Programming & Verification). يجب ملاحظة أنه ومع عدم استخدام ذاكرة خارجية بسعة 64Kb (أي لم نستخدم جميع خانات البوابة لعنونة الذاكرة) فإن بقية خانات البوابة لا يمكن استخدامها كمداخل أو مخارج.

- أقطاب المتحكم 8051:

- Pin 29: PSEN مدخل تمكين تخزين البرنامج وهو قطب تحسس القراءة من الذاكرة الخارجية.

عندما يقوم المتحكم بتنفيذ تعليمة من ذاكرة البرنامج الخارجية فإنه يتم تفعيل هذا القطب مرتين مع كل دورة آلة, وتتخطى هاتين المرتين أثناء كل تحصيل لذاكرة المعطيات الخارجية.(عملياً, وعند استخدام ذاكرة خارجية لتخزين البرنامج, فإن هذا القطب يأخذ المنطق صفر في كل مرة يقرأ المتحكم بايت من الذاكرة.).

- Pin 30: ALE/PROGقطب تمكين ماسك العنوان, يعطي نبضة لمسك القسم الأدنى من العنوان خلال تحصيله من الذاكرة الخارجية. يستخدم أيضاً كمدخل لنبضة البرنامج (PROG) أثناء برمجة الذاكرة الوميضية.

في حالة العمل الطبيعية فإن هذا القطب يعطي نبضات بمعدل ثابت يبلغ سدس تردد المهتز ويمكن استخدامه للتوقيت الخارجي أو كمصدر لنبضات القدح. لاحظ أنه يتم تخطي نبضة ALE واحدة أثناء كل تحصيل لذاكرة المعطيات الخارجية.

- أقطاب المتحكم 8051:

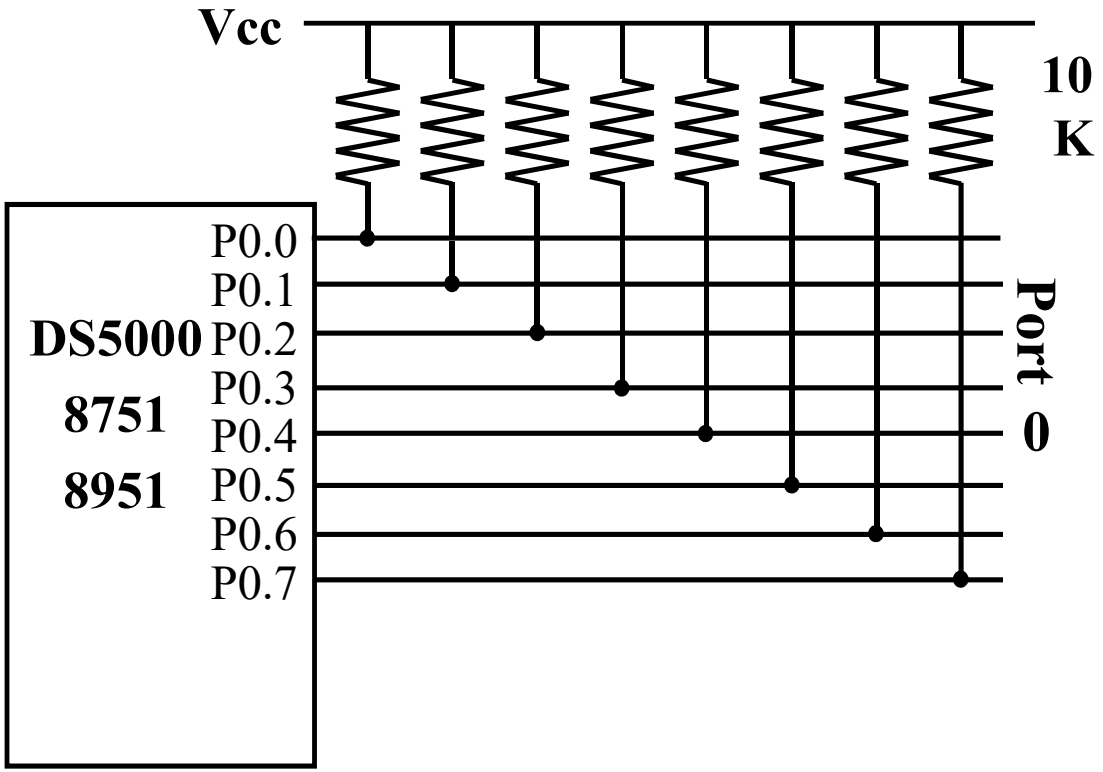
- يمكن حسب الرغبة أن يتم تعطيل عمل المدخل ALE بكتابة واحد منطقي في الخانة صفر من سجل الوظائف الخاصة SFR الموقع 8EH. وفي هذه الحالة يصبح هذا القطب فعالاً فقط عند تنفيذ التعليمتين MOVX و MOVC وإلا فإنه يرفع للأعلى بشكل ضعيف. وضع خانة تعطيل هذا القطب ليس له أي تأثير إذا كان المتحكم في وضعية التنفيذ الخارجي. (عملياً, وقبل أي قراءة من الذاكرة الخارجية, فإن المتحكم سوف يقوم بوضع(SET) بايت العنونة الأدنى A0-A7في البوابة P0 ويؤهل المخرج ALE مباشرة بعد ذلك. عند استلام إشارة من القطبALE فإن المسجل الخارجي (عادة تدمج الدارة 74HCT373 أو 375) يخزن حالة البوابة P0 ويستخدمها كعنوان لدارة الذاكرة المتكاملة. في القسم الثاني من دورة آلة المتحكم, يتوقف خروج الإشارة من هذا القطب وتستخدم البوابة صفر الآن لإرسال المعطيات (ممر معطيات). بهذه الطريقة وبمساعدة دارة متكاملة واحدة إضافية فقط نحصل على وظيفة انتخاب للمعطيات من هذه البوابة وتستخدم في نفس الوقت لإرسال المعطيات والعناوين.

- أقطاب المتحكم 8051:

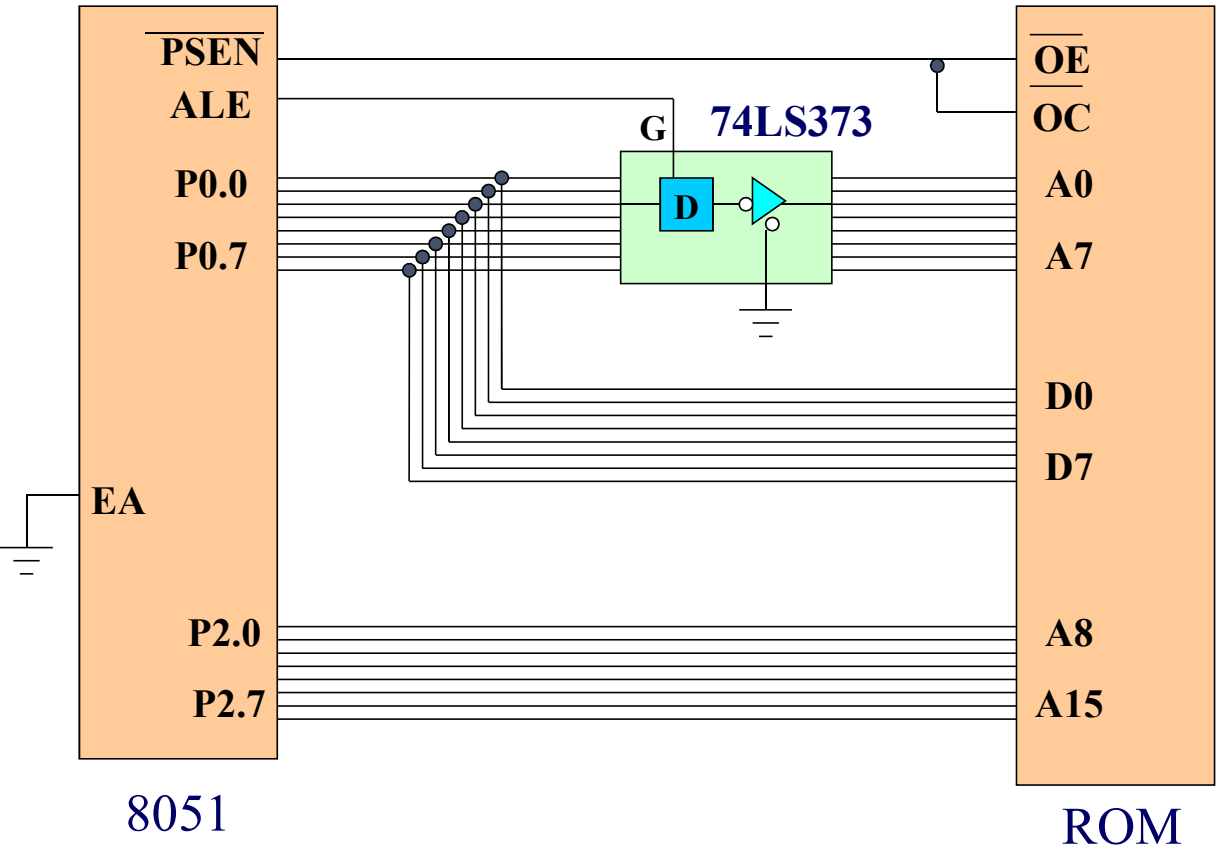
- **EA/VPP** :Pin 31مدخل تمكين الولوج الخارجي. يجب وصل هذا القطب إلى أرضي الدارة GND من أجل تمكين المتحكم من جلب التعليمات من مواقع ذاكرة البرنامج الخارجية التي تبدأ من العنوان 0000H وحتى العنوان FFFFH. نلاحظ أنه إذا تمت برمجة خانة القفل فسوف يتم مسك المدخل EA داخلياً عند التصفير. يجب وصل القطب إلى التغذية VCC من أجل تنفيذ البرنامج الداخلي.
- يتلقى هذا القطب جهد تمكين البرمجة VPP البالغ 12فولت أثناء برمجة الذاكرة الوميضية.
- **Port 0** :Pin 32-39البوابة P0 وهي بوابة دخل/خرج ثنائية الاتجاه ثمانية الخانات ذات مصرف مفتوح Open Drain. عند استعمالها كبوابة خرج فإن كل طرف يستطيع قيادة ثمانية مداخل TTL وعند كتابة واحد منطقي لهده البوابة فإنه يمكن استخدام هذه الأقطاب كمداخل عالية الممانعة.

- أقطاب المتحكم 8051:

- يمكن استخدام البوابة P0 للعمل كممر عنونة / معطيات للبايت الأدنى أثناء الولوج لذاكرتي المعطيات والبرنامج الخارجيتين. وفي هذه الحالة يحدث رفع داخلي للبوابة.

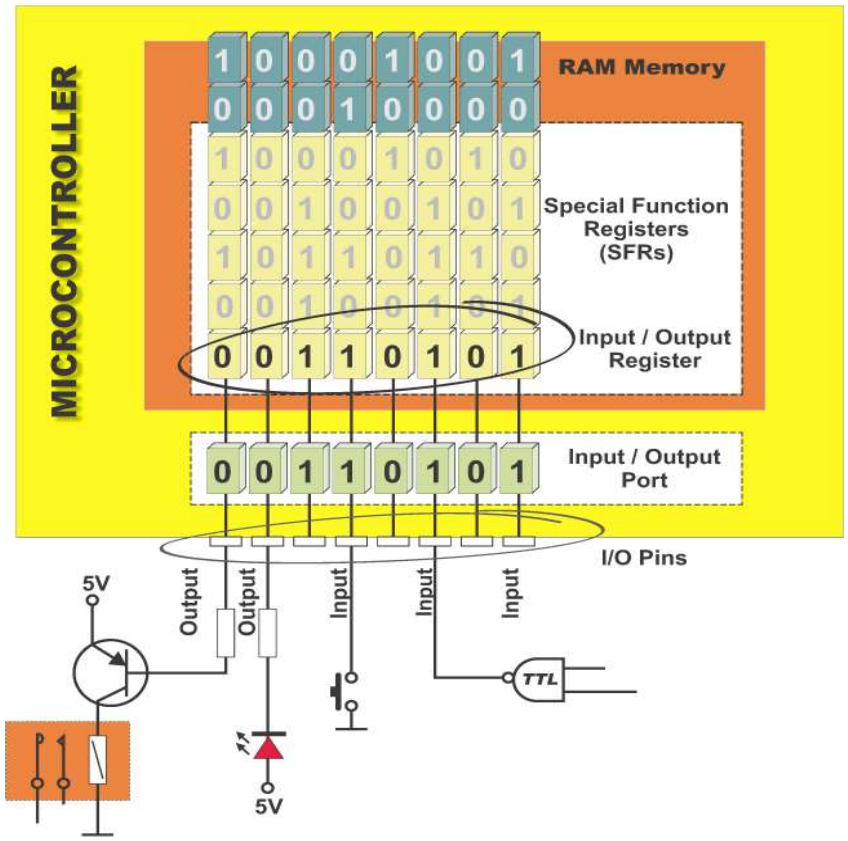


- أقطاب المتحكم 8051:



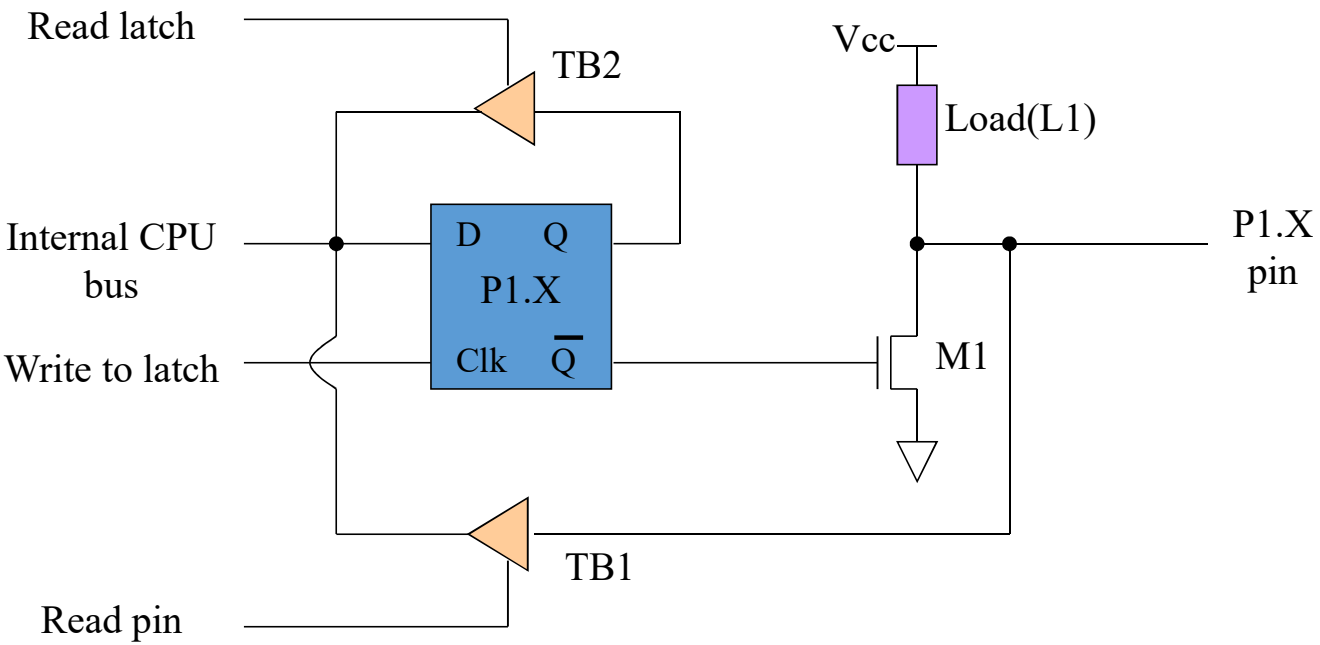
يمكن للبوابة P0 أيضاً أن تتلقى شيفرة البايتات أثناء برمجة الذاكرة الوميضية. نحتاج إلى رفع خارجي للأقطاب أثناء عملية التحقق من البرنامج. (عملياً، هي مشابهة للبوابة P2. عند عدم استخدام الذاكرة الخارجية، يمكن استعمال هذه الأقطاب كمداخل أو مخارج عامة وإلا يمكن تعريف البوابة هذه كمخرج عنونة A0-A7 عندما يكون القطب ALE عند مستوى منطقي مرتفع، وكمخرج معطيات (ممر معطيات) عندما يكون القطب ALE عند منطق منخفض.).

- Pin 40: +Vcc جهد التغذية 5+فولت

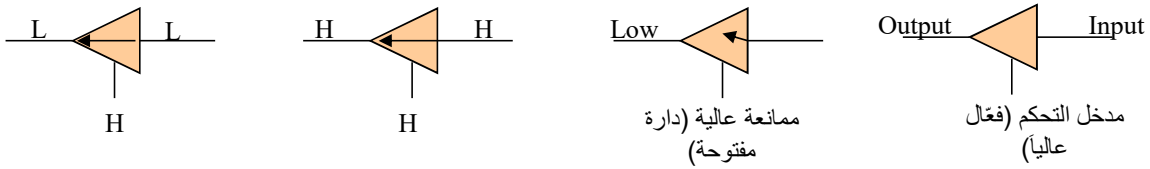


- **3- بوابات الدخل / الخرج:**
- تملك جميع متحكمات 8051أربع بوابات دخل/خرج وكل منها يتألف من ثمانية خانات يمكن توصيفها كمداخل أو مخارج. هذا يعني أن المستخدم يملك تحت تصرفه 32 خط دخل/خرج تصل المتحكم إلى الأجهزة الطرفية المحيطة.
- الحالة المنطقية للقطب تحدد ما إذا كان معرّفاً كدخل أو خرج، فالمنطق صفر يعني أنه مخرج والمنطق واحد يعني أنه مدخل. إذا احتجنا أن نعرّف أحد الأقطاب كمخرج يجب كتابة منطق صفر على الخانة المناسبة من البوابة وبهذه الطريقة فإن مستوى الجهد على القطب المناسب سيكون صفر.
- بشكل مشابه لتعريف القطب أنه مدخل فإنه يجب كتابة منطق واحد على القطب المناسب وسيكون مستوى الجهد عليه 5 فولت (كما هو الحال مع أي مدخل TTL). هذا قد يبدو محيراً قليلاً، لكن الأمر سيتضح بعد دراسة دارة الكترونية مبسطة موصولة إلى أحد أقطاب الدخل-الخرج.

A Pin of Port 1



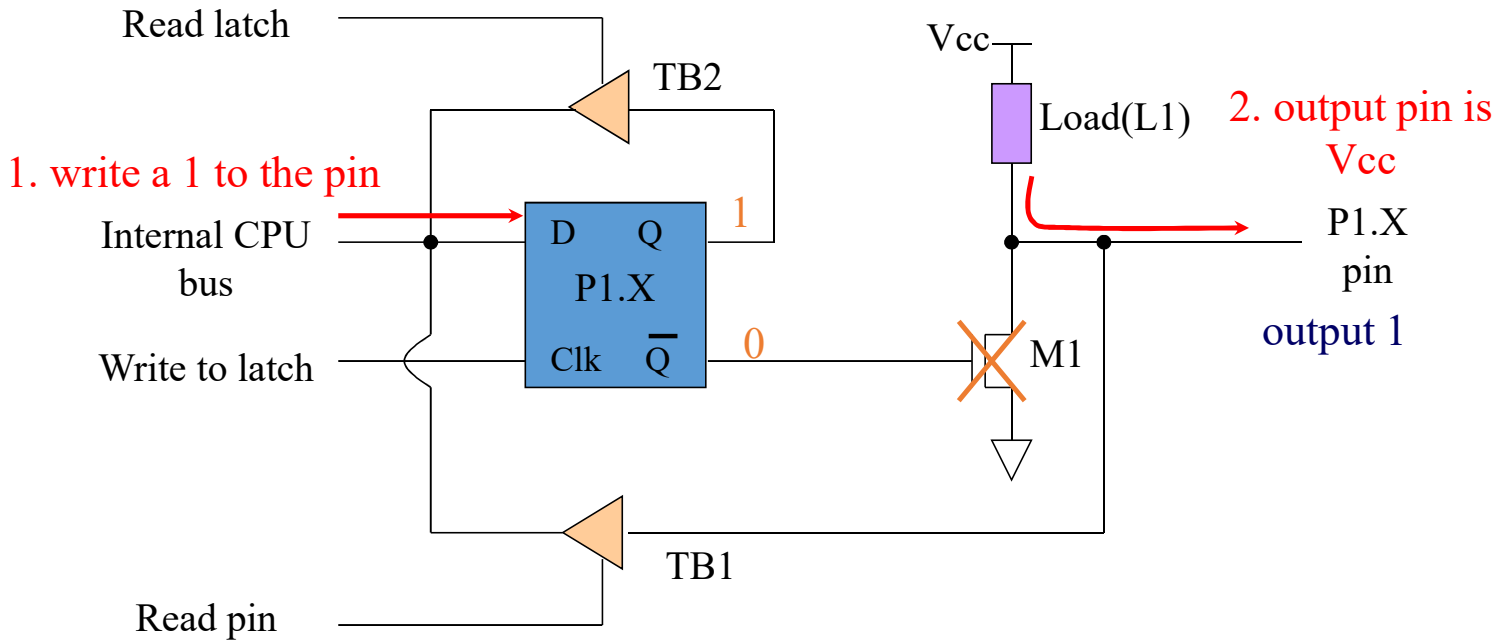
بوابة العزل ثلاثية الحالات:



- بنية قطب الدخل/الخرج الداخلية:
- Internal CPU bus يتصل مع المعالج الصغري
- القلاب D لتخزين قيمة القطب: يتحكم بالقلاب إشارة «الكتابة للإمساك» أي إذا كانت هذه الإشارة واحد منطقي سيتم كتابة المعطيات في القلاب.
- بوابتي عزل ثلاثيتي الحالة: TB1 يتحكم بها «قطب القراءة» فإذا كان واحداً منطقياً سيتم قراءة المعطيات التي على القطب.
- TB2 يتحكم بها «ماسك القراءة» فإذا كان واحداً منطقياً سيتم قراءة المعطيات من الماسك الداخلي.
- بوابة الترانزستور M1 إذا كان عليها صفر منطقي يفتح الترانزستور وإذا كان عليها واحد منطقي يغلق.

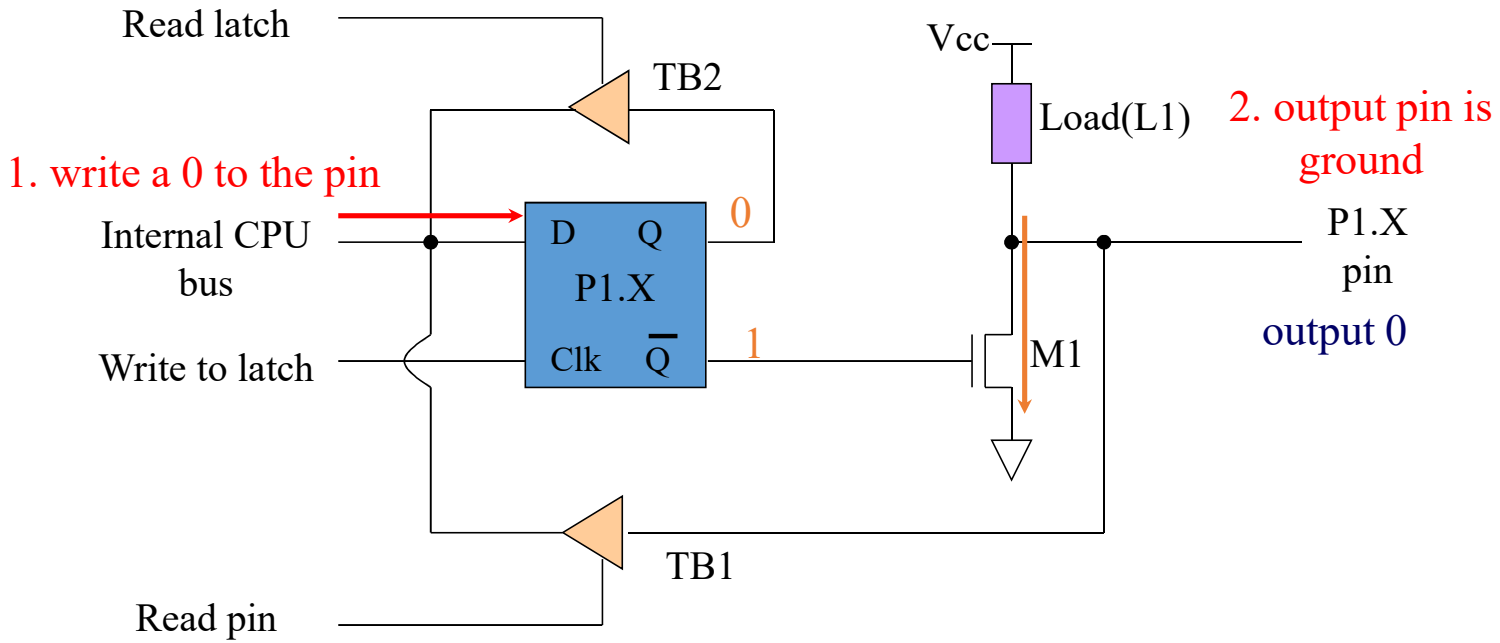
Writing “1” to Output Pin P1.X

كتابة واحد منطقي إلى القطب P1.x:



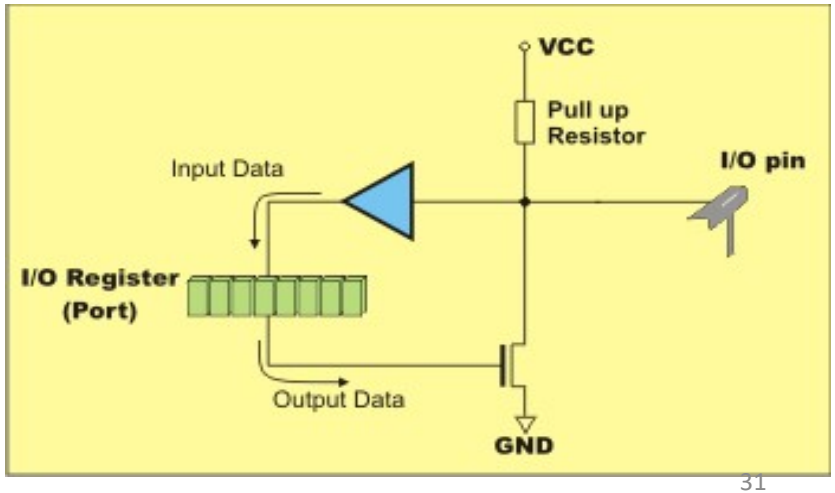
Writing “0” to Output Pin P1.X

كتابة صفر منطقي إلى القطب P1.x:



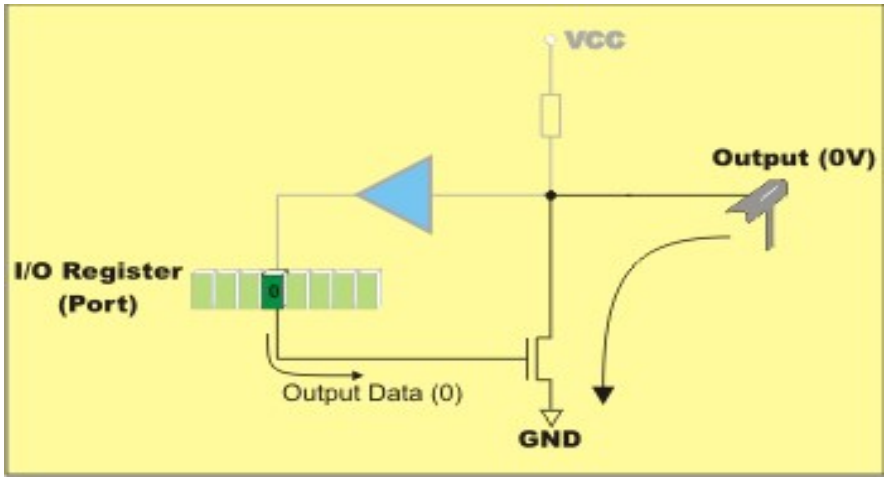
- قطب الدخل – الخرج:

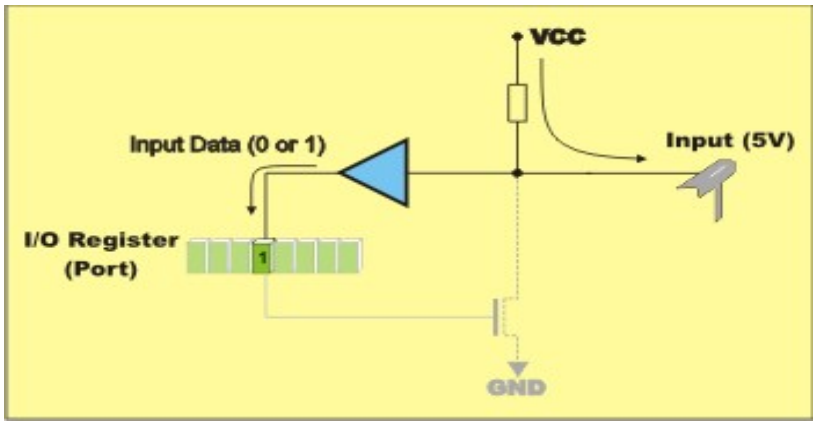
يبين الشكل مخططاً توضيحياً مبسطاً لما هو موصول إلى القطب من داخل المتحكم. وهو ينطبق على كل الأقطاب ماعدا أقطاب البوابة P0 التي لا تملك مقاومة رفع مدمجة.



- قطب الخرج:

يطبق منطق صفر على خانة في سجل البوابة. بقدح ترانزستور الخرج فإن القطب المناسب يوصل مباشرة إلى الأرض.

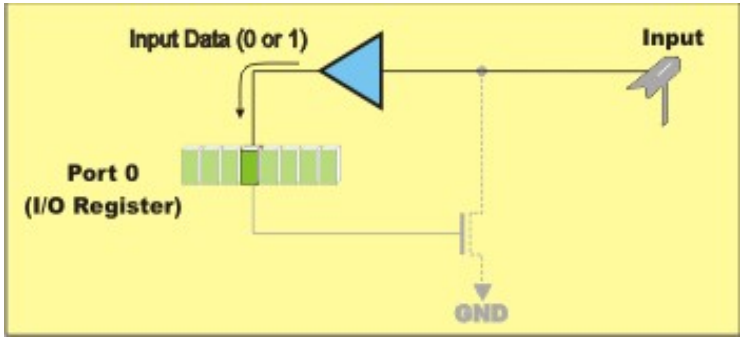




- قطب الدخل:
- يطبق منطق واحد على الخانة المناسبة من سجل البوابة. يكون ترانزستور الخرج في حالة قطع. يبقى القطب الموافق موصولاً إلى جهد التغذية عبر مقاومة الرفع ذات القيمة العالية.

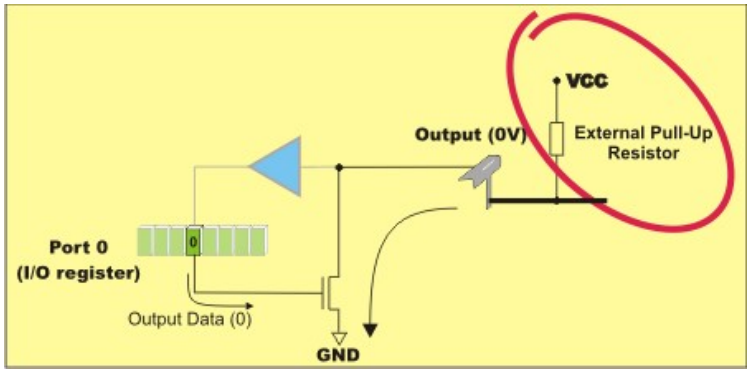
- باختصار: يمكن تغيير الحالة المنطقية (الجهد) على أي قطب في أي لحظة. المنطق صفر يمثل قصر القطب مع الأرض ويصبح القطب مخرجاً. المنطق واحد يمثل وصل القطب إلى جهد التغذية عبر مقاومة ذات قيمة عالية. حيث أن هذا الجهد يمكن خفضه بواسطة إشارة خارجية عندها يصبح القطب مخرجاً.

- البوابة P0:



تختص هذه البوابة بأن لها غرض مزدوج. فعند استخدام ذاكرة خارجية فإنه يوصل البايت ذو العنوان الأدنى (العناوين A0-A7) إليها, وإلا في حال عدم استخدامها فإن جميع أقطابها يمكن استخدامها كمداخل أو مخارج.

هناك خاصية أخرى لها عند استخدامها كمخارج. فهي تختلف عن البوابات الأخرى فهي لا تملك مقاومات الرفع المدمجة (التي تصلها بالجهد 5فولت) وهذا بالظاهر له نتائجه:



وعند استخدامه كمخرج, فإنه يتصرف "كمصرف مفتوح", أي عند كتابة صفر على بعض خانات البوابة فإن الأقطاب الموافقة منها سوف توصل إلى الأرض(صفر فولت). وعند كتابة واحد سوف يستمر المخرج الخارجي بالعوم. وحتى نطبق واحد (5فولت) على هذا المخرج يجب وصل مقاومة رفع.

ملاحظة:

فقط في حال استخدام البوابة P0 لعنونة الذاكرة الخارجية فإن المتحكم سوف يؤمن التغذية الداخلية لإعطاء المنطق واحد على أقطاب البوابة ولا حاجة لاستخدام مقاومات الرفع.

- البوابة P1:
- هذه بوابة دخل/خرج حقيقية ولا يوجد أي قواعد لاستخدامها مثل البوابة السابقة وهي متوافقة تماماً مع TTL لوجود مقاومات الرفع الداخلية.
- البوابة P2:
- بشكل مشابه للبوابة P0وعند استخدام الذاكرة الخارجية تستخدم خطوط هذه البوابة لعنونة القسم الأعلى من العنوان (A8-A15). وفي حال عدم وجود الذاكرة الخارجية يمكن استخدامها كبوابة عادية مثل البوابة P1.
- البوابة P3:
- مع أن جميع أقطاب هذه البوابة يمكن استخدامها كبوابة دخل/خرج عامة, فإن لها أيضاً وظائف بديلة. وحيث ان كل هذه الوظائف تستخدم المداخل لذا يجب تعريف جميع الأقطاب المناسبة كمداخل. بمعنى آخر, فإنه قبل استخدام بعض وظائف البوابة الاحتياطية يجب تطبيق منطق واحد على الخانة الموافقة من سجل البوابة P3 . أما من الناحية العملية فهذه البوابة مشابهة للبوابة P0 والفرق أن مخارجها تملك مقاومة رفع مدمجة.
- محدودية التيار للمخارج:
- عند تعريف الأقطاب كمخارج (المنطق صفر), فإن كل قطب يمكن أن يتلقى تياراً يصل حتى 10 ميللي أمبير. فإذا كانت جميع أقطاب البوابة الثمانية فعالة فإن التيار الكلي يجب أن يحدد إلى القيمة 15mA (البوابة P0 تيارها 26mA). إذا كانت أقطاب البوابات كلها (32) فعالة فإنه يجب حد التيار الكلي إلى71mA.
- أما في حال تعريفها كمداخل (المنطق 1), فإن مقاومات الرفع المدمجة تعطي تياراً ضعيفاً جداً إلا أنه كاف لتنشيط حتى أربع مداخل TTL من السلسلة LS.
- *باختصار:*
- *قد يبدو من وصف بعض البوابات أنه مع وجود أوجه تشابه بين بنية البوابات الداخلية فإنه من الضروري الانتباه لأي منها سيتم استخدامه وكيفية استخدامه.*
- *على سبيل المثال: إذا استخدمت كمخارج مع مستوى جهد مرتفع (5فولت)، فإنه يجب تجنب استخدام البوابة P0 لأن مداخلها لا تملك مقاومة رفع إلى الجهد 5فولت، وبالتالي فإنه يمكن استخدام مستوى جهد منخفض فقط هناك. وعند استخدام بوابة أخرى لنفس الغرض*

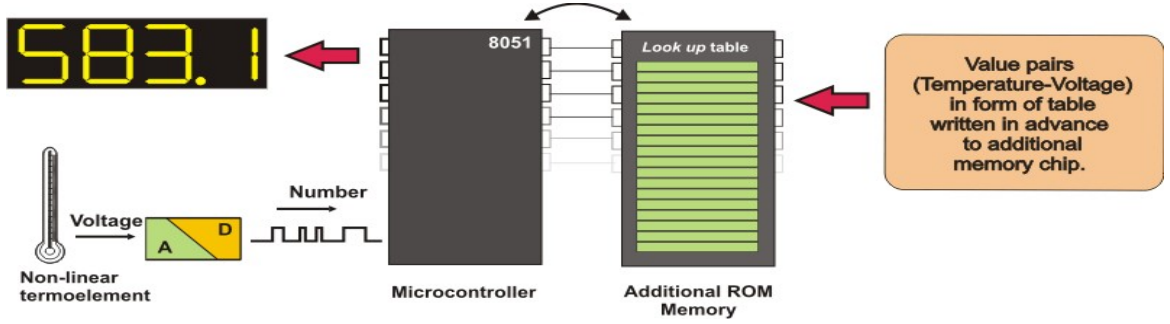
- -4-تنظيم ذاكرة المتحكم:

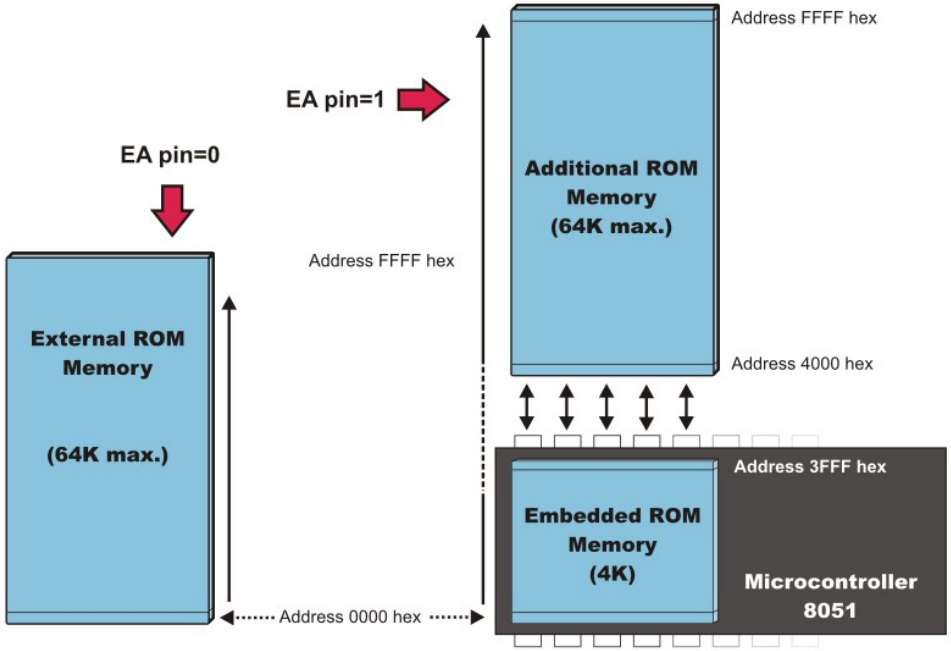
تنقسم ذاكرة المتحكم إلى ذاكرة برنامج وذاكرة معطيات. تستخدم ذاكرة البرنامج (ROM) للتخزين الدائم للبرنامج الذي يتم تنفيذه, بينما تستخدم ذاكرة المعطيات لتخزين وحفظ النتائج والمتحولات اللحظية. وبالاعتماد على نوع المتحكم المستخدم (وفي حالتنا هنا عائلة المتحكم 8051) يكون حجمها بضعة كيلوبايت من الـ ROM و 128 أو 256 بايت من الـ RAM.

ومع ذلك, فجميع المتحكمات 8051 تملك خط عنونة من 16 خانة ويمكنها عنونة ذاكرة تصل حتى64 كيلوبايت. ويمكن بالتنظيم الذكي للذاكرة أن تجعل هذا المتحكم وجبة شهية للمبرمجين.

- ذاكرة البرنامج:Program Memory

لم تكن النماذج الأقدم من عائلة المتحكمات 8051 تملك ذاكرة برنامج داخلية حيث كانت تضاف كدارة منفصلة وكانت تعرف برمزها الذي يبدأ بالعدد803 (مثل 8031 و 8032). جميع المتحكمات التالية تم دمج بضعة كيلوبايت من ذاكرة الـ ROM ضمنها. ومع أنها كافية لكتابة معظم البرامج, فهناك حالات نكون بحاجة فيها لذاكرة إضافية. مثال على ذلك هو استخدامها من أجل جداول البحث. وهي تستخدم في الحالات التي تكون فيها الأمور معقدة جداً أو عندما لا يكون هناك وقت لحل المعادلات التي تصف بعض العمليات. من هذه الحالات ما هو غريب جداً كمحاولة بعض الصواريخ ملاقاة نقطة معينة, أو ما هو شائع جداً مثل قياس الحرارة باستخدام مزدوجة حرارية غير خطية أو التحكم بسرعة محرك غير متزامن. في هذه الحالات فإن كل التخمينات والتقريبات المطلوبة يتم تنفيذها مقدماً ويتم وضع النتائج النهائية في جداول (مشابهة للجداول اللوغاريتمية).





- كيف يقوم المتحكم بالتعامل مع الذاكرة الخارجية بالاعتماد على حالة المدخل EA المنطقية:
- عندما EA=0يتم تجاهل البرنامج المخزن في الذاكرة ROM الداخلية تماماً, وينفذ البرنامج المخزن في الذاكرة الخارجية.
- عندما EA=1 يتم تنفيذ البرنامج المخزن في الذاكرة ROM الداخلية (وحتى أخر موقع في الذاكرة). بعد ذلك يستمر التنفيذ بقراءة الذاكرة الإضافية.
- في كلا الحالتين, البوابتين P0 وP1 غير متوفرتين لاستخدامهما لإرسال المعطيات والعنونة وكذلك بالنسبة للطرفين ALE و PSEN المستخدمين أيضاً.

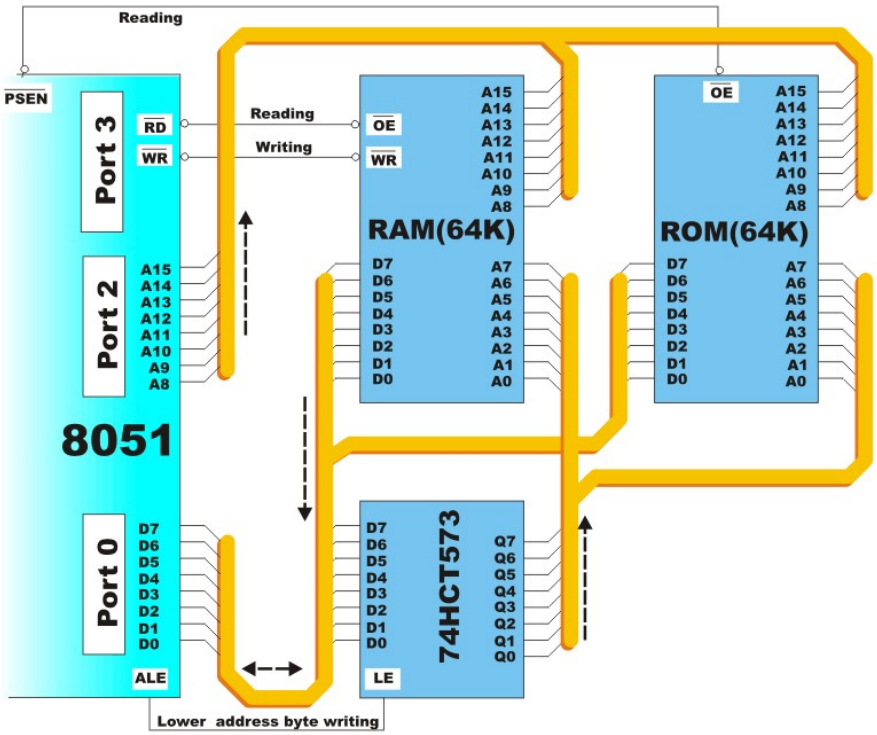
- Data Memory:ذاكرة المعطيات

كما ذكرنا مسبقاً، تستخدم ذاكرة المعطيات للتخزين والحفظ المؤقت للمعطيات والنتائج اللحظيةً الناتجة والمستخدمة أثناء عمل المتحكم. يملك المتحكم علاوة على ذلك العديد من السجلات الأخرى مثل: العدادات والمؤقتات وبوابات الدخل/الخرج وعوازل المعطيات التسلسلية. كانت النماذج السابقة من المتحكم تملك ذاكرة مكونة من 256 موقع وقد أضيف لها في النماذج الحديثة منها 128 سجلاً إضافياً. في كلتا الحالتين تعتبر المواقع الـ 256 الأولى (العناوين من 0-FFh) هي أساس الذاكرة. مواقع الذاكرة المتوفرة للمستخدم (لكل نماذج المتحكم 8051) تحتل النطاق من (0-7Fh). تقسم السجلات الـ128 الأولى وهذا القسم من ذاكرة الـRAM إلى عدة كتل.

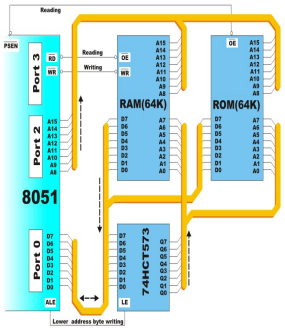
تتكون الكتلة الأولى من أربع بنوك كل منها يملك ثمانية سجلات يرمز لها R0-R7. وقبل الوصول إليها يجب انتقاء بنك يحتوي ذلك السجل. كتلة الذاكرة التالية (في المجال من 20h-2Fh) ذات عنونة على مستوى الخانة مما يعني أن لكل خانة عنوانها الخاص من 0-7Fh. وحيث أن هناك 16 سجلاً فإن هذه الكتلة تحتوي على ما مجموعه 128 خانة ذات عناوين منفصلة (الخانة صفر من البايت رقم 20h تملك العنوان صفر للخانة والخانة السابعة من البايت 2Fh تملك عنوان الخانة 7Fh). المجموعة الثالثة من السجلات تحتل العناوين من 2Fh-7Fh (47-127 مجموع 80 موقعاً) ولا يملك أي ميزة أو خاصة.

- Additional Memory Block of Data Memory : كتلة إضافية من ذاكرة المعطيات

من أجل إشباع جوع المبرمج الدائم لذاكرة المعطيات فقد أضاف المصنعون كتلة إضافية من الذاكرة قدرها 128 موقعاً في النماذج الأحدث من المتحكم 8051. بالطبع فالأمر ليس سهلاً, والمشكلة أن الدارات التي تؤمن العنونة تملك ثمانية خانات تحت التصرف لذلك يمكنها الوصول إلى المواقع الـ 256 الأولى فقط. وللحفاظ على البنية الثمانية الخانات والتوافقية مع النماذج الأخرى من المتحكمات فقد تم اللجوء إلى حيلة صغيرة وهي جعل كتلة الذاكرة الإضافية تشارك بنفس العناوين مع المواقع الموجودة المخصصة لسجلات الوظائف الخاصة SFR (من 80h-FFh أي من 128-256). وللتمييز بين هذين المجالين المنفصلين من الذاكرة, تستخدم طرق أخرى للعنونة. يتم استخدام العنونة المباشرة لجميع المواقع في سجلات الوظائف الخاصة بينما المواقع في الذاكرة الإضافية RAM فإننا نصل إليها عن طريق العنونة غير المباشرة.



- كيف يتم توسيع الذاكرة?How to extend memory
- في حال لم تكن الذاكرة المبيتة كافية, من الممكن إضافة قطعتين من الذاكرة بسعة 64KB لكل منها. تستخدم البوابتان P2 و P3 لعنونتها وإرسال واستقبال المعطيات.
- من وجهة النظر المتعلقة بالمستخدم فإن عملية الربط بسيطة جداً حيث أن المتحكم يقوم بمعظم الأعمال بنفسه. يملك المتحكم 8051إشارتي قراءة منفصلتين (P3.7)RD# و PSEN#. الأول يقوم بتفعيل القراءة من ذاكرة المعطيات الخارجية RAMوالثاني لتفعيل القراءة من ذاكرة البرنامج الخارجيةROM. تفعّل هاتان الإشارتان عند المنطق المنخفض. يبين الشكل أدناه كيفية توسيع الذاكرة باستخدام دارات متكاملة خاصة للذواكر RAMوROM وتدعى ببنية هارفارد.



بالرغم من ندرة استخدام الذاكرة الإضافية مع النماذج الحديثة من المتحكم إلا أننا سنشرح باختصار ماذا يحدث عند وصل الذواكر تبعاً للمخطط السابق. من المهم معرفة أن العملية برمتها تتم آلياً وبدون تدخل من البرنامج.

عندما يصادف البرنامج خلال التنفيذ تعليمة موجودة في ذاكرة البرنامج الخارجية ROM فإن المتحكم سوف يفعّل مخرج التحكم ALE ويقوم بوضع الخانات الثمانية الأولى من العنوان (A0-A7) على البوابة P0. بهذه الطريقة يتم تفعيل الدارة 74HCT573 التي تمرر الخانات الثمانية الأولى إلى أقطاب العنونة للذاكرة.

تقوم إشارة على القطب ALE بإغلاق الدارة 74HCT573 ويظهر مباشرة بعد ذلك الخانات الثمانية الأعلى من العنوان (A8-A15) على البوابة. بهذه الطريقة يتم عنونة الموقع المطلوب من الذاكرة الإضافية بشكل تام ولم يبق سوى قراءة محتواه.

تعرف أقطاب البوابة P0 كمداخل ويتم تفعيل القطب PSEN ويقرأ المتحكم محتويات الذاكرة الخارجية. تستخدم نفس الوصلات من أجل المعطيات والبايت الأدنى للعنوان.

يحدث الشيء نفسه عند الحاجة للقراءة من ذاكرة المعطيات الخارجية. تتم العنونة بنفس الأسلوب بينما تتم القراءة أو الكتابة عبر الإشارات التي ستظهر على مخارج التحكم RD أو WR.

العنـــونـــةAddressing:

يقوم المعالج أثناء العمل بمعالجة المعطيات تبعاً لتعليمات البرنامج. تتكون كل تعليمة من جزأين. الجزء الأول يشرح ما يتوجب فعله والجزء الثاني ما الواجب استخدامه لفعله. يمكن للجزء الثاني أن يكون معطيات (رقم ثنائي) أو عنوان الموقع الذي تخزن فيه المعطيات. تستخدم جميع المتحكمات 8051 طريقتين للعنونة بالاعتماد على أي جزء من الذاكرة سيتم الولوج إليه:

- العنـونة المباشرةDirect Addressing :

بهذه الطريقة يتم الحصول على القيمة من موقع الذاكرة بينما يتحدد عنوان هذا الموقع بالتعليمة. فقط بعد ذلك، يمكن للتعليمة معالجة المعطيات (الكيفية تعتمد على نوع التعليمة: جمع، طرح، نسخ،..). من الواضح أن العدد الذي يتم تغييره أثناء تطبيق متغير ما يمكن أن ينزل في الموقع المحدد. على سبيل المثال:

حيث أن العنوان حجمه بايت واحد (القيمة العظمى255)، فذلك يفسر كيف أنه فقط يمكن الولوج لأول 255 موقع من الذاكرة RAM. في هذه الحالة يمكن استخدام النصف الأول من الذاكرة RAMبحرية، بينما يحجز النصف الأخر للمسجلات ذات الوظائف الخاصة SFR.

MOV A,33h; Means: move a number from address 33 hex. to accumulator

هذه التعليمة تعني: انقل العدد المخزّن في الموقع 33H إلى المراكم.

- العنونة غير المباشرة Indirect Addressing:

في هذه العنونة، يتم في التعليمة تحديد السجل الذي يحتوي سجلاً أخر والذي يحتوي بدوره القيمة المستخدمة في عملية التشغيل. على سبيل المثال:

يمكن استخدام العنونة غير المباشرة فقط لمواقع الذاكرة RAM المتوفرة للاستخدام (وليست سجلات SFR). من أجل جميع المتحكمات الحديثة التي تستخدم كتلة ذاكرة إضافية (تلك الـ 128 موقعاً في ذاكرة المعطيات) فإنها الطريقة الوحيدة للولوج إليها. بشكل مبسط, عندما تصادف تعليمة تحوي الإشارة @ وكان العنوان المحدد أكبر من 128 (7Fh) فإن المعالج يعلم أنه يتم استخدام العنونة غير المباشرة ويقفز فوق الحيز المخصص لسجلات الوظائف الخاصة.

MOV A,@R0; Means: Store the value from the register whose address is in the R0 register into accumulator

هذه التعليمة تعني :خـزّن القيمة الموجودة في السجل ذو العنوان المخزّن في السجل R0في المراكم.

تستخدم في العنونة غير المباشرة السجلات R0 أو R1 أو مؤشر المكدس لتحديد العناوين ثمانية الخانات. وحيث أنه يتوفر فقط ثمان خانات فإنه من الممكن فقط تحصيل سجلات الذاكرة RAM بهذه الطريقة. إذا استخدمت دارة ذاكرة إضافية فإن السجل DPTR (المكون من السجلين DPTRL و DPTRH) يستخدم لتحديد العناوين. بهذه الطريقة يمكن الولوج لأي موقع في المجال64Kb.

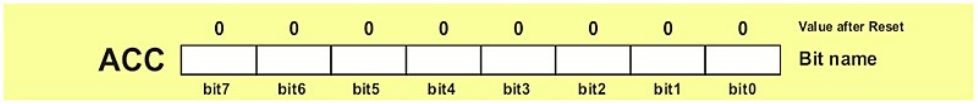
- 2.5 SFRs (Special Function Registers) 2.5 السجلات ذات الوظائف الخاصة

- تمثل هذه السجلات نوعاً من لوح التحكم يستخدم لتشغيل ومراقبة عمل المتحكمات الصغرية. يملك كل سجل من هذه السجلات وحتى كل خانة منها اسماً وعنواناً وغرضاً محدداً تماماً في الذاكرة RAM (مثال: التحكم بالمؤقت و المقاطعة والاتصال التسلسلي,...). بالرغم من تخصيص 128 بايت لهذه السجلات في النموذج الأساسي للمتحكم 8051 إلا أنه فقط 21 بايت تم استخدامها لها. بقية المواقع تركت عن قصد لغرض تمكين المنتج من تطوير النماذج التالية من المتحكم ولإبقاء التوافقية مع النماذج السابقة. وهي تتيح أيضاً استخدام البرامج المكتوبة منذ زمن بعيد أن تستخدم مع المتحكمات التي يتم إنتاجها حالياً.

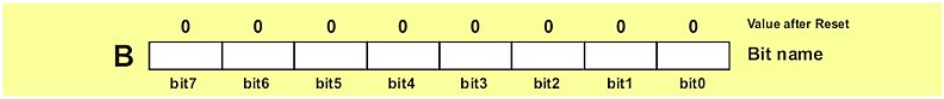
F8									FF
F0	B								F7
E8									EF
E0	ACC								E7
D8									DF
D0	PSW								D7
C8									CF
C0									C7
B8	IP								BF
B0	P3								B7
A8	IE								AF
A0	P2								A7
98	SCON	SBUF							9F
90	P1								97
88	TCON	TMOD	TL0	TL1	TH0	TH1			8F
80	P0	SP	DPL	DPH				PCON	87

Bit-addressable Registers

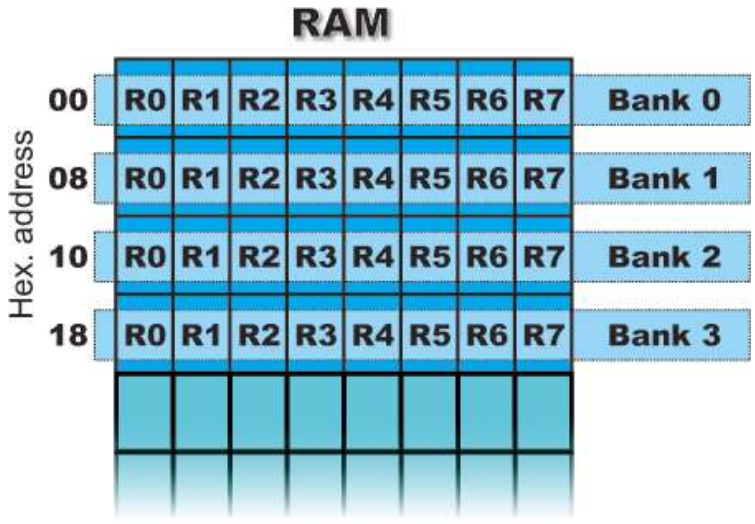
- سجل المـراكم A Register (Accumulator)



- هذا سجل للأغراض العامة يستخدم لتخزين النتائج الوسيطة اثناء العمل. يجب إضافة عدد (المعامل Operand) إلى المراكم قبل أن تنفذ أي تعليمة عليه. عندما تقوم وحدة الحساب والمنطق ALU بتنفيذ عملية حسابية ما, يتم تخزين النتيجة في المراكم. إذا توجب نقل معطاة من سجل إلى أخر فإنها يجب أن تمر عبر المراكم. ولهذا الغرض العام فإن المراكم هو السجل الأكثر استخداماً في المتحكم والذي لا يمكن الاستغناء عنه (أكثر من نصف تعليمات المتحكم 8051 تستخدم المراكم).
- السجـل B Register
- يستخدم هذا السجل أثناء عمليات الضرب والتقسيم والتي يتم تنفيذها فقط على الأعداد المخزنة في السجلات A و B. جميع التعليمات الأخرى في البرنامج يمكنها استخدام هذا السجل كمراكم بديل.



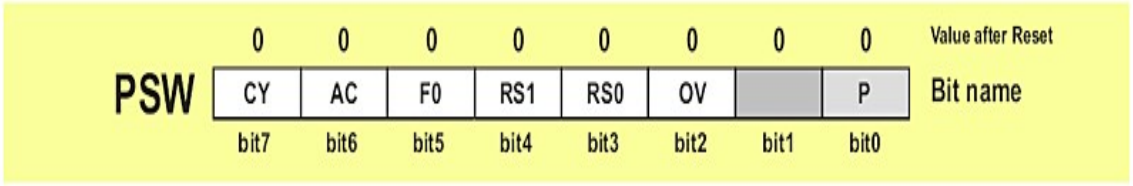
- *مـلاحظة:*
- *أثناء البرمجة تدعى جميع السجلات بأسمائها بحيث أن عناوينها الفعلية تصبح غير مهمة للمستخدم. أثناء ترجمة البرنامج إلى لغة الآلة (وهي سلسلة الرموز الست عشرية التي يفهمها المتحكم) فإن الحاسب تلقائياً يستعيض بالعناوين بدلاً من أسماء السجلات.*



- مجموعة السجلات R R Registers (R0-R7)
- هذه تسمية مشتركة لمجموعة مكونة من ثمانية سجلات عامة الأغراض (R0, R1,R2,...R7). ومع أنها ليست سجلات ذات أغراض خاصة حقيقية, إلا أنها تستحق أن تشرح هنا بسبب الغرض منها. يكون البنك فعالاً عندما تكون السجلات R التي يحتويها في حالة استخدام. وهي بشكل مشابه للمراكم, تستخدم للتخزين المؤقت للمتحولات والنتائج الوسيطة. يعتمد أي من البنوك أن يكون فعالاً على خانتين موجودتين في سجل "كلمة حالة البرنامج" PSW. تتوضع هذه السجلات في الذاكرة RAM.
- يوضح المثال التالي الغرض المفيد لهذه السجلات. بفرض أننا نريد إجراء العملية الحسابية التالية على أعداد مخزّنة مسبقاً في السجلات R : (R3+R4) - (R1+R2). من الواضح الحاجة إلى سجل للتخزين المؤقت لناتج العمليات. المهمة بسيطة والبرنامج الذي سيقوم بذلك سيبدو كالتالي:

MOV A,R3; Means: move number from R3 into accumulator
ADD A,R4; Means: add number from R4 to accumulator (result remains in accumulator)
MOV R5,A; Means: temporarily move the result from accumulator into R5
MOV A,R1; Means: move number from R1 into accumulator
ADD A,R2; Means: add number from R2 to accumulator
SUBB A,R5; Means: subtract number from R5 (there are R3+R4)

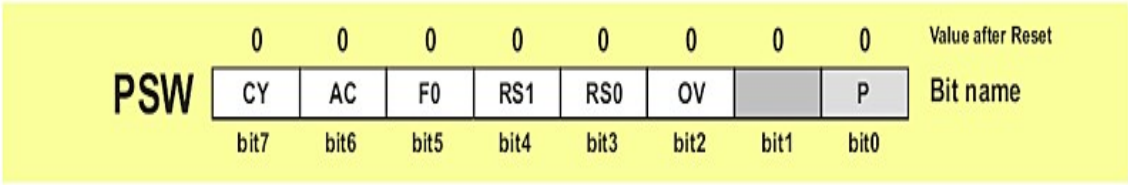
- PSW Register (Program Status Word) سجـل كلمـة حالــة البرنامــج



- هذا واحد من أهم سجلات الوظائف الخاصة. يحتوي هذا السجل على عدة خانات حالة تعكس الحالة الراهنة للمعالج الصغري. يضم هذا السجل : خانة الحامل, الحامل الثانوي, خانتي انتقاء بنك السجلات, علم الطفحان, خانة الزوجية وخانة قابلة للبرمجة من المستخدم. تقوم وحدة الحساب والمنطق آلياً بتغيير بعض خانات هذا السجل والتي تستخدم عادة في تنظيم أداء البرنامج.
- خانة الزوجية .P - Parity bit
- إذا كان العدد الموجود في المراكم زوجياً فإنه يتم وضع هذه الخانة آلياً (كتابة 1 منطقي فيها) وإلا يتم تصفيرها (0). تستخدم بشكل رئيس أثناء إرسال واستقبال المعطيات عبر الاتصال التسلسلي.
- الخانةbit1 .- Bit 1
- هذه الخانة مرتقبة من أجل النماذج الأحدث من المتحكمات وليس لها استخدام حالي.
- خانة الطفحOV Overflow
- يحدث الطفح عندما تكون نتيجة عملية حسابية أكبر من 255 عشري, وعندها لا يمكن تخزينها في سجل واحد. وفي هذه الحالة سيتم وضع هذه الخانة (1). إذا لم يكن هناك طفح سيتم تصفيرها (0).

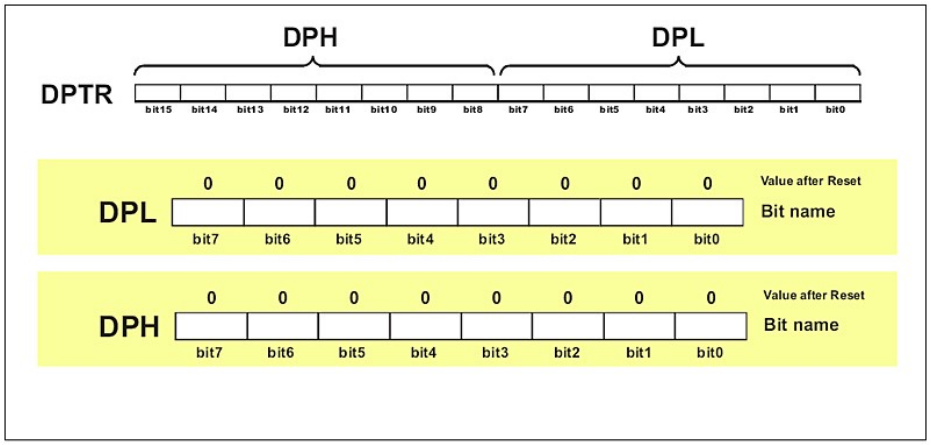
- RS0, RS1 - Register bank select bits. خانتي انتقاء بنك السجلات
- تستخدم هاتان الخانتان لاختيار أحد البنوك الأربعة في الذاكرة RAM.
الجدول التالي يبين الحالات المنطقية الأربعة لهاتين الخانتين واسم البنك الذي يتم اختياره في كل حالة.
- F0 - Flag 0. العلم صفر
- هذه خانة عامة الغرض متوفرة للمستخدم.
- AC - Auxiliary Carry Flag علم الحامل الثانوي
- يستخدم في عمليات BCD فقط.
- CY - Carry Flag علم الحامل
- وهي الخانة الثانوية التاسعة المستخدمة في جميع العمليات الحسابية و الإزاحة.
-

RS1	RS2	Space in RAM
0	0	Bank0 00h-07h
0	1	Bank1 08h-0Fh
1	0	Bank2 10h-17h
1	1	Bank3 18h-1Fh



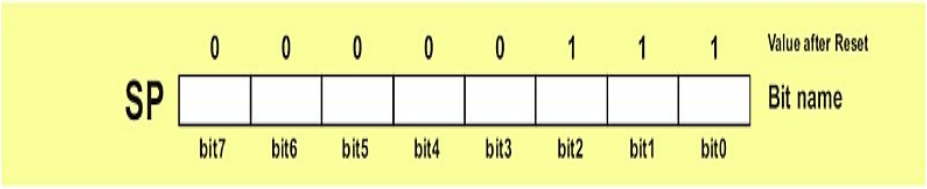
- سجل مؤشر المعطياتDPTR Register (Data Pointer)

ويتكون من سجلين منفصلين, DPH البايت الأعلى من السجل و DPL البايت الأدنى من السجل. يستخدم السجل بأكمله لعنونة الذاكرة الخارجية. يمكن التعامل معه كسجل واحد بطول 16 bit أو كسجلين مستقلين متجاورين بطول 8 bit لكل منهما. يستخدم سجل مؤشر المعطيات عادة لتخزين المعطيات والنتائج الوسيطة والتي ليس لها عمل مع مواقع الذاكرة.

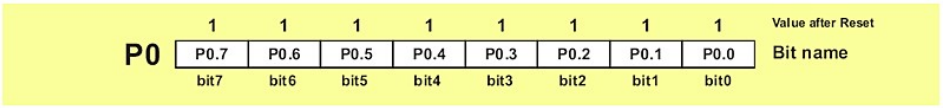


- سجل مؤشر المكدّس SP Register (Stack Pointer)

القيمة الموجودة في سجل مؤشر المكدّس، تضمن أن يشير مؤشر المكدّس إلى موقع صالح في الذاكرة RAM ويسمح بوجود عملية التكديس. عند بدء أي برنامج فرعي، يتم زيادة القيمة الموجودة في سجل مؤشر المكدّس بمقدار 1. بنفس الطريقة، عند إنهاء أي برنامج فرعي يتم إنقاص تلك القيمة بمقدار 1. بعد أي تصفير للمتحكم تكتب القيمة 7 في السجل وهذا يعني أن الحيز من الذاكرة المحجوز للتكديس يبدأ عند هذا الموقع. إذا كتبت قيمة أخرى فيه, عندها تزاح منطقة التكديس كلها إلى ذلك الموقع الجديد.



- سجــلات البوابــات P0,P1,P2,P3
- في حال عدم استخدام نظام الاتصال التسلسلي أو الذاكرة الخارجية, فإنه يتوفر للمستخدم اثنان وثلاثون خطاً ضمن أربع بوابات للوصل مع البيئة المحيطة. كل خانة ضمن سجلات هذه البوابات توافق قطباً مناسباً على المتحكم. هذا يعني أن الحالات المنطقية التي تكتب في هذه السجلات تظهر كجهود على الأقطاب (0 أو 5 فولت). بشكل طبيعي أثناء القراءة, يحدث العكس, أي ينعكس الجهد الموجود على بعض أقطاب الدخل على الخانات الموافقة في سجل البوابة.



- بالإضافة لانعكاس حالة خانة سجل البوابة على القطب, إلا أنها في نفس الوقت تحدد ما إذا سيتم تعريفها كدخل أم كخرج. إذا تم تصفير الخانة (0), سيتعرف القطب كخرج, وإذا تم وضع الخانة (1), سيتعرف القطب كدخل. بعد أي تصفير وكذلك عند بدء تشغيل المتحكم, يتم وضع جميع خانات هذه السجلات (1) أي سيتم تعريف جميع الأقطاب الموافقة كمداخل.

- *باختصار:*
- *على نحو مشروط, فإن بوابات الدخل / الخرج جميعها موصولة مباشرة إلى أقطاب المتحكم. هذا يعني أنه يمكن معرفة الحالة المنطقية لهذه السجلات بواسطة الأفومتر, وبالعكس فالجهد الموجود على هذه الأقطاب يمكن معرفته بقراءة الخانات المرتبطة بها في السجل.*