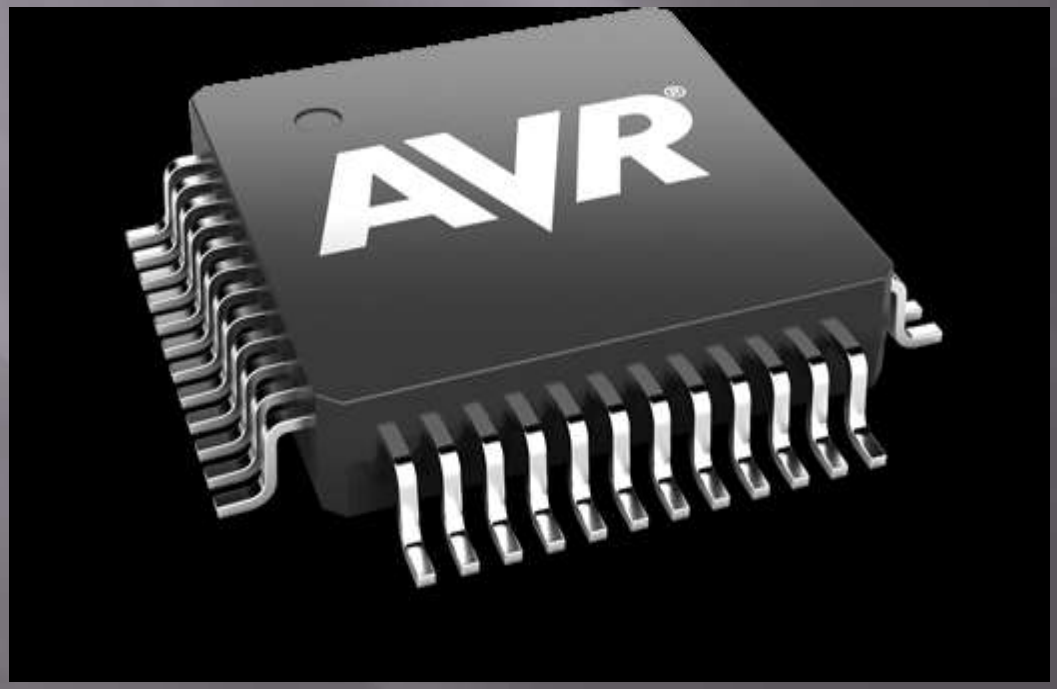
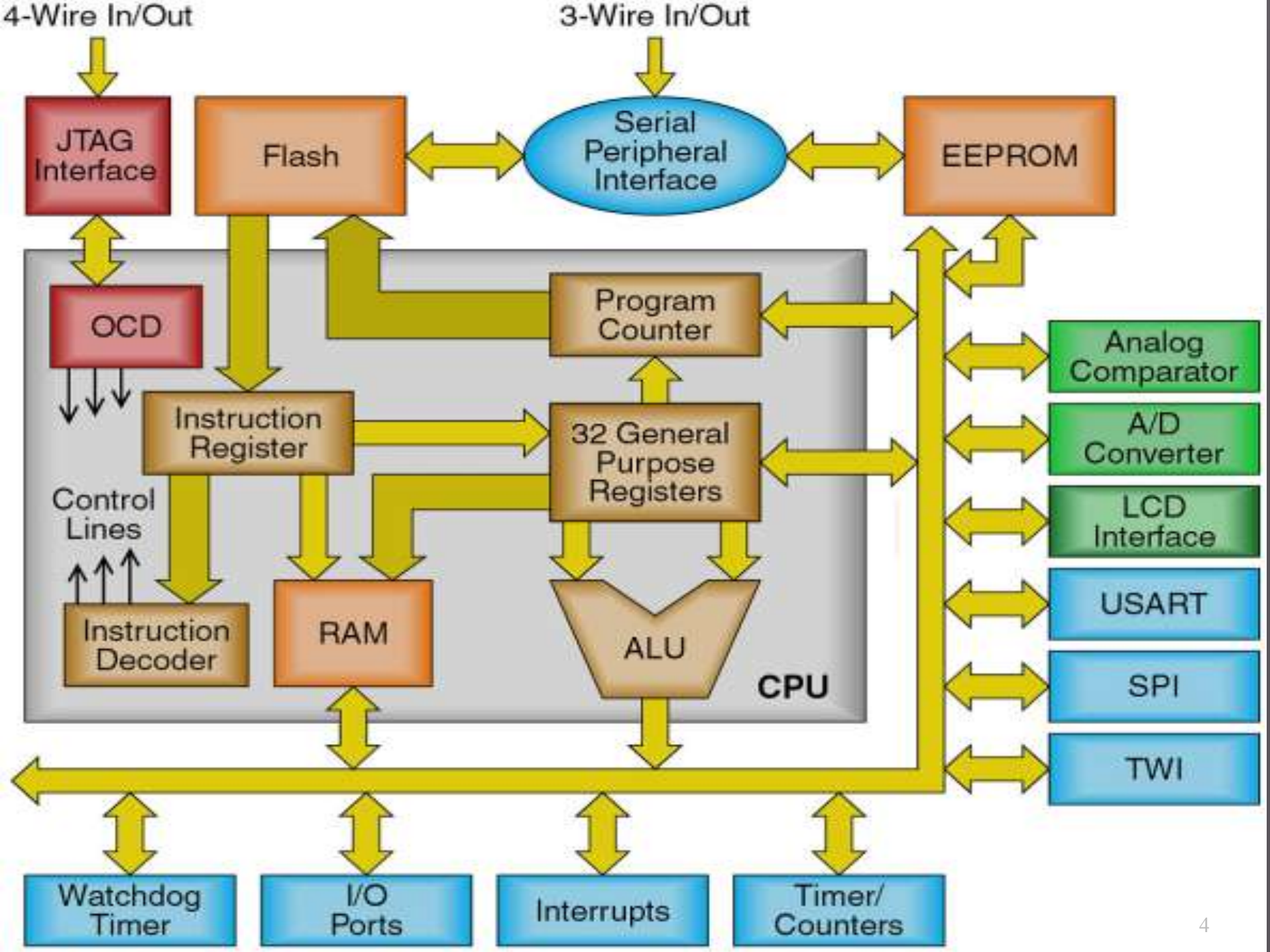
# متحکمات AVR



- تركيب المتحكم الدقيق
- مميزات معمارية AVR
- كيف تختار المتحكم المناسب من عائلة AVR المختلفة
- مقدمة عن قراءة دليل البيانات Datasheet
- نظرة عامة على المتحكم ATmega 16

# أولاً: تركيب المتحكم الدقيق ومعمارية AVR

- المتحكم الدقيق هو حاسوب متكامل على شريحة واحدة Computer On Chip
- يستخدم في التحكم بمجموعة من الأجهزة الأخرى .
- ومثل جميع الحواسيب يحتوي المتحكم الدقيق على نفس المكونات الداخلية للحاسب الآلي ولكن بقدرات مختلفة من حيث الكم والقوة.


4-Wire In/Out
3-Wire In/Out
JTAG Interface
Flash
Serial Peripheral Interface
EEPROM
OCD
Program Counter
Analog Comparator
Instruction Register
32 General Purpose Registers
A/D Converter
Control Lines
LCD Interface
USART
Instruction Decoder
RAM
ALU
CPU
SPI
TWI
Watchdog Timer
I/O Ports
Interrupts
Timer/ Counters

# Microprocessor المعالج

- **قلب المتحكم الدقيق ويتكون من**
- وحدة الحساب والمنطق ALU المسؤولة عن جميع العمليات الحسابية والمنطقية مع وحدات قراءة الأوامر من الذاكرة
- مجموعة من المسجلات العامة والخاصة Register
- المذبذب Oscillator

يتم التحكم في سرعة المعالج من خلال دارة المذبذب حيث تساوى سرعة المعالج عدد النبضات الناتجة من دارة المذبذب ( التردد ).

# الذاكرة الثابتة

- وتنقسم إلى نوعين
- الأول : يستخدم في تخزين البرامج وتسمى بالفلاش Flash Memory وهي تماثل الهارديسك Hard-diskفي الحاسب الشخصي ويمكن تسميتها Program memory
- الثاني: فتسمى EEPROM وهي ذاكرة مخصصة لتخزين القيم الصغيرة والهامة مثل بعض الثوابت أو المتغيرات التي تؤثر في برنامج المتحكم ويجب أن تحفظ من الضياع.

# الذاكرة المؤقتة SRAM

- وهي اختصار لـ Static RAM
- وهي تماثل الذاكرة العشوائية الموجودة في الحواسيب الشخصية التي نستخدمها

# المسجلات Registers

- وهي أحد صور الذاكرة وتماثل الذاكرة المؤقتة من حيث التركيب وطريقة العمل ولكنها تستخدم في التحكم بجميع إعدادات ووظائف المتحكم الدقيق الوحدات الطرفية

# الوحدات الطرفية peripheral units

- وهي مجموعة من الوحدات التي تساعد المتحكم الدقيق في أداء وظيفته الأساسية (وهي التحكم بأجهزة أخرى)
- ومن أمثال هذه الوحدات:
- المنافذ العامة PORTS
- المحول التناظري الرقمي ADC
- المؤقتات TIMERS
- وحدات الاتصال ومعالجة البيانات التسلسلية مثل USART, SPI, i2C

## ما الفرق بين الذاكرة العشوائية (المؤقتة) داخل الحواسيب الشخصية والمُتحكِمات الدقيقة ولماذا تسمى Static وليس Dynamic؟

الفارق الأساسي هو العنصر الذي تصنع منه الذاكرة، حيث تتميز ذاكرة المُتحكِمات بأنها تصنع من الـ Flip-Flop الذي يتميز بالقدرة على الاحتفاظ بالبيانات بأقل تيار كهربي ممكن وبالتالي فهو الخيار الأفضل من ناحية الاستهلاك للطاقة كما أن البيانات الموجودة عليه لا تحتاج لعملية تجديد Refreshing مثل الذاكرة "dynamic RAM" الموجودة في الحواسيب التقليدية والتي تصنع من المكثفات الطفيلية Parasitic Capacitors والتي تحتاج دائماً لعملية تجديد Refreshing وإلا تضيع البيانات المخزنة بداخلها مع مرور الوقت (أكثر من 10 مللي ثانية كفيلة باختفاء البيانات من DRAM) كما أنها تستهلك الكثير من الطاقة بسبب هذه العملية.

## ما الفارق بين الـ Flash والـ EEPROM بالرغم أن كلاهما تقنياً يعتبر EEPROM؟

الـ EEPROM هي اختصار لعبارة Electrical Erasable Programmable Read Only Memroy والتي تعني الذاكرة التي تستخدم للقراءة فقط ويتم برمجتها

المُتحكِمات الدقيقة غالباً ما تحتوي على نوعين من الـ EEPROM الأولى تسمى الـ Flash لأنها سريعة جداً في كتابة البيانات وقد تصل سرعة الكتابة عليها إلى واحد MegaBit/S فمثلاً قد تكتب 1 بايت بداخل الفلاش في زمن 1 ميكروثانية فقط. بينما الـ EEPROM التقليدية بطيئة للغاية مقارنة بالفلاش حيث أن كتابة 1 بايت بداخلها قد يستغرق 1 مللي ثانية (يعني أبطأ بنحو 1000 مرة من الـ Flash).

# مميزات معمارية AVR

- يقصد بكلمة معمارية Architecture طريقة توصيل المكونات الداخلية للمتحكم مع بعضها البعض ومدى حجم البيانات التي تستطيع هذه المكونات أن تعالجها .
- فمثلا جميع متحكمات AVR يوجد فيها المكونات السابق ذكرها وبينها العديد من الأشياء المشتركة .
- لكن سنجد أنه هناك اختلافات رئيسية بين العديد من متحكمات الـ AVR

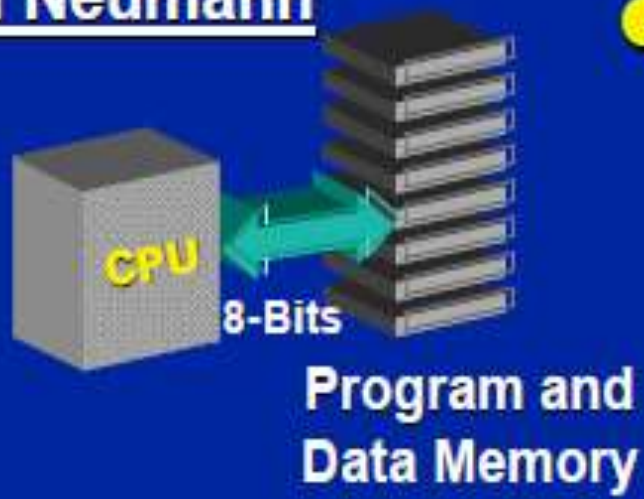
# الخصائص المشتركة بين جميع متحكمات AVR

# معمارية HARVARD

- **معمارية HARVARD**
- هذه المعمارية الحديثة نسبيا وتعني أن المعالج المركزي يستطيع أن يتواصل مع الذاكرة RAM و ROM في نفس الوقت
- حيث نجد أن جميع متحكمات الـ AVR تستطيع أن تكتب في الـ RAM وتقرأ من الـ ROM في نفس اللحظة.
- على عكس المعماريات القديمة مثل Von Neumann والتي تسمح للمعالج أن يقوم بعمل شيء واحد فقط ( إما القراءة أو الكتابة في نفس اللحظة).

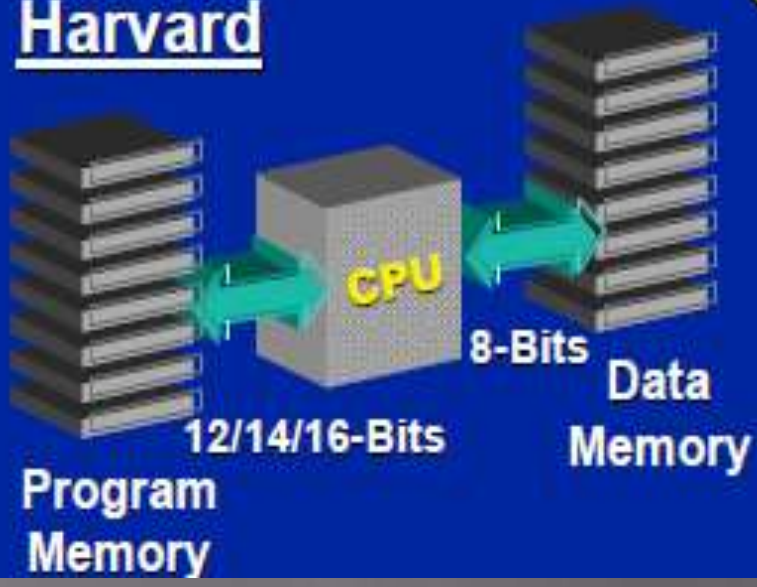
# Processor Architecture

## Von Neumann




- Fetches instructions and data from one memory.
  - Limits Operating Bandwidth

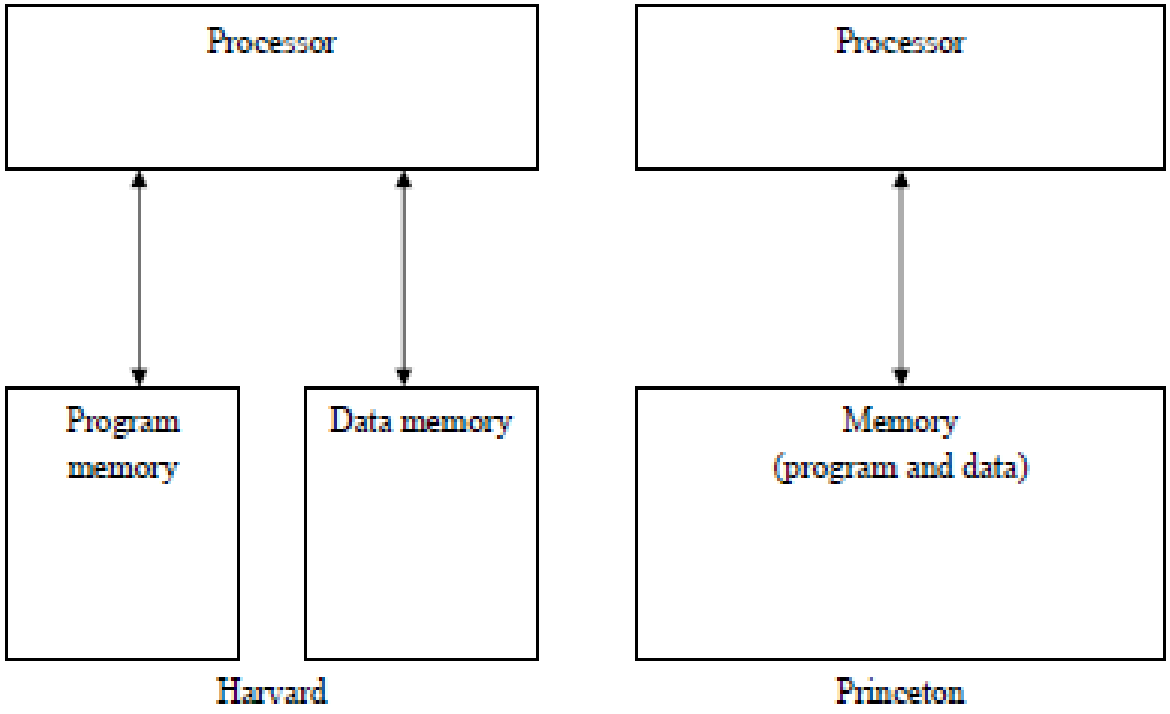
## Harvard




- Separate memory spaces for instructions and data.
  - Increases throughput
  - Different program and data bus widths are possible

# Two Memory Architectures

- Princeton
  - Fewer memory wires
  - (Von Newman machine)
- Harvard
  - Separate buses for data and program
  - Simultaneous program and data memory access



# Single Cycle Execution

- معظم متحكمات AVR تمتلك القدرة على
  تنفيذ أوامر برمجية = سرعة المعالج
- فمثلا إذا كان تردد المعالج 16ميجا هرتز ( 16 مليون نبضة بالثانية)
- فهذا يعني أن المتحكم يستطيع أن ينفذ 16 مليون أمر في الثانية الواحدة

ويرجع الفضل إلى وجود نسختين من أنظمة قراءة الذاكرة وفك تشفير الأوامر

- 2x instruction decoder+ 2x program counter

- وكلا النسختين تعملان معا  بنفس الوقت مما يضاعف سرعة وعدد الأوامر التي يتم نسخها من الذاكرة.

# Self programming memory

- وتعتبر أحد مميزات الـ AVR الهامة والتي تعني إمكانية استخدام الذاكرة الفلاش لتخزين المتغيرات أثناء تشغيل المتحكم (كأنها تقوم بوظيفة الـ EEPROM التقليدية )
- حيث يمكن استخدام بعض الأوامر البرمجية لتغير محتوى الـ Flash memory أثناء تشغيل المتحكم وبدون استخدام أي مبرمجة خارجية Programmer (burner)

# أوجه الاختلافات

- تختلف المتحكمات فيمنا بينها على حسب
- الـ **peripheral units** الموجودة بداخلها
- وتقنية معالجة البيانات سواء كانت 8أو 16أو 32بت

# ما معني 8 بت أو 32 بت؟

- يعبر هذا الرقم عن حجم البيانات الذي يستطيع المعالج المركزي CPU داخل المتحكم الدقيق أن يتعامل معه في النبضة الواحدة.
- فمثل إذا كان المتحكم من نوع 8بت فإنه يستطيع أن يجمع رقمين 8 بت مع بعضهم في نبضة الواحدة

- لكن إذا جعلت المعالج يجمع رقمين بطول 16بت فإنه سيضطر أن يتعامل مع الأرقام على أكثر من مرة بحيث يجزأ الأرقام إلى مجموعات 8 بت فقط.
- أما المتحكمات الـ 32 بت تعني أن المعالج يمتلك القدرة على القيام بجميع العمليات الحسابية والمنطقية على بيانات بطول 32بت في النبضة الواحدة.

# كيف تختار بين عائلات الـ AVR المختلفة

- تعتبر مهارة اختيار المتحكم المناسب من أهم ما يجب أن يتعلمه أي مهندس نظم مدمجة.
- حيث أن الشركات المنتجة للمتحكمات الدقيقة عادة ما تصنع المئات من المتحكمات الدقيقة وتقسمها إلى عائلات تختلف فيما بينها على حسب السعر والإمكانيات لكل متحكم .
- لذا سيتوجب عليك أن تتقن اختيار المتحكم المناسب لأداء أفضل تصميم بأقل سعر ممكن.

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| سرعة معالجة البيانات والإستجابة المطلوبة | عدد أطراف التحكم العامة GPIO والتي تمثل عدد المداخل والمخارج | عدد وإمكانيات الـ Peripheral Devices المتوفرة للمُتحكِم | مساحة الذاكرة المطلوبة والتي ستحدد حجم البرنامج الذي سيوضع على المُتحكِم | المجال أو البيئة التي سيعمل بها المُتحكِم مثل درجة الحرارة و معدل استهلاك الطاقة |

# دليل بيانات Datasheet المتحكم

- من خلال ملفات الـ Datasheet يمكنك تحديد المتحكم الدقيق الذي يمتلك الإمكانيات المناسبة للمشروع الذي تريده
- .بالتأكيد اختيار المتحكم يجب أن يكون مقترن بخبرتك في مجال البرمجة وتحسين الأكواد المكتوبة للاستفادة القصوى من المتحكم.
- لذا سنجد أن مهارة اختيار المتحكم المناسب ستزداد عندما تتقن برمجة هذا النوع من المتحكمات.

# قراءة دليل البيانات Datasheet

- تساعدك الـ Datasheet على فهم المتحكم الدقيق بصورة مفصلة فهي تحتوي على طريقة تشغيله وبرمجته، وتحتوي أيضاً على جميع البيانات التقنية المتعلقة بالمتحكم مثل:
- التصميم الداخلي، وظائف الأطراف، المسجلات، الطاقة، تقنيات البرمجة، كيفية تفعيل القدرات التي يملكها المتحكم أو إلغائها ...الخ .

# من دليل بيانات ATmega16

## Features

- High-performance, Low-power Atmel® AVR® 8-bit Microcontroller
- Advanced RISC Architecture
  - 131 Powerful Instructions – Most Single-clock Cycle Execution
  - 32 x 8 General Purpose Working Registers
  - Fully Static Operation
  - Up to 16 MIPS Throughput at 16 MHz
  - On-chip 2-cycle Multiplier
- High Endurance Non-volatile Memory segments
  - 16 Kbytes of In-System Self-programmable Flash program memory
  - 512 Bytes EEPROM
  - 1 Kbyte Internal SRAM
  - Write/Erase Cycles: 10,000 Flash/100,000 EEPROM
  - Data retention: 20 years at 85°C/100 years at 25°C(1)
  - Optional Boot Code Section with Independent Lock Bits
    In-System Programming by On-chip Boot Program
    True Read-While-Write Operation
  - Programming Lock for Software Security
- JTAG (IEEE std. 1149.1 Compliant) Interface
  - Boundary-scan Capabilities According to the JTAG Standard
  - Extensive On-chip Debug Support
  - Programming of Flash, EEPROM, Fuses, and Lock Bits through the JTAG Interface
- Peripheral Features
  - Two 8-bit Timer/Counters with Separate Prescalers and Compare Modes
  - One 16-bit Timer/Counter with Separate Prescaler, Compare Mode, and Capture Mode
  - Real Time Counter with Separate Oscillator
  - Four PWM Channels
  - 8-channel, 10-bit ADC

ATMEL®

# 8-bit AVR® Microcontroller with 16K Bytes In-System Programmable Flash

## ATmega16
## ATmega16L

# الخصائص العامة للمتحكم ATmega16/ATmega32

- **131 single cycle execution Instruction**
- والتي تعني أن المتحكم يمكن برمجته باستخدام 131 أمر بلغة الاسمبلي ومعظم هذه الأوامر يتم تنفيذها في نبضة واحدة فقط.

- **16 Mega Instruction Per Second (MIPS)**
- و تعني أن المتحكم يمكنه تنفيذ 16 مليون أمر برمجي عندما يتم تشغيله بتردد 16ميجاهرتز)
- هذا بسبب أن معظم الأوامر البرمجية يمكنه تنفيذها في نبضة واحدة فقط
- .وتعبر هذه الخاصية عن أقصى سرعة معالجة للمتحكم الدقيق وتعتبر من أهم الخصائص التي تتمتع بها معالجات AVR

**مثال:** إذا كان لدينا برنامج مكون من 10 أوامر بلغة الأسمبلي والمتحكم يعمل بسرعة 1 ميجاهرتز (مما يعني أن زمن كل نبضة = **1 ميكروثانية**) فهذا يعني أن البرنامج سيستغرق تنفيذه زمن 10 نبضات وهو ما يساوي 10 ميكروثانية فقط.

- **On-Chip 2 cycle multiplier**
- في الأجيال القديمة من المعالجات والمتحكمات الدقيقة كان يتم حساب عملية ضرب الأرقام باستخدام الجمع المتكرر
- فمثلا حاصل ضرب 12 x 10 = جمع رقم 12 مع نفسه 10 مرات (.... +12 + 12 + 12)
- وهذا يعني تنفيذ أمر" الجمع" ( 10مرات) بلغة الاسمبلي وبالتالي تستغرق وقت = 10 نبضات

- أما في متحكم الـ AVR، نجد وحدة معالجة الضرب تقوم بتنفيذ أي عملية ضرب في نبضتين فقط مما يسرع هذا النوع من العمليات الحسابية بصورة كبيرة.

- **الذاكرة عالية التحمل High endurance Memory**
- يوضح هذا الجزء الخصائص التي تمتاز بها الذاكرة لموجودة داخل متحكمات الـ AVR بأنواعها المختلفة مثل:
- Flash - RAM - EEPROM
- ومن أهم هذه الخصائص :

- 16كيلو بايت الذاكرة الثابتة Self-programmable Flash memory
- 512 بايت ( 512 * 8 بت ) من ذاكرة EEPROM
- 1 كيوبايت من الذاكرة المؤقتة SRAM
- إمكانية الكتابة (برمجة / مسح ) محتوى ذاكرة FLASH نحو 10000 مرة
- إمكانية الكتابة (برمجة / مسح ) محتوى ذاكرة EEPROM نحو 100000 مرة
- الاحتفاظ بالبيانات في كل من الـ FLASH و الـ EEPROM لمدة زمنية تصل إلى 100 عام عند تشغيل المتحكم في درجة حرارة 25 درجة مئوية أو 25 عام عند تشغيل المتحكم في درجة حرارة 80 درجة مئوية

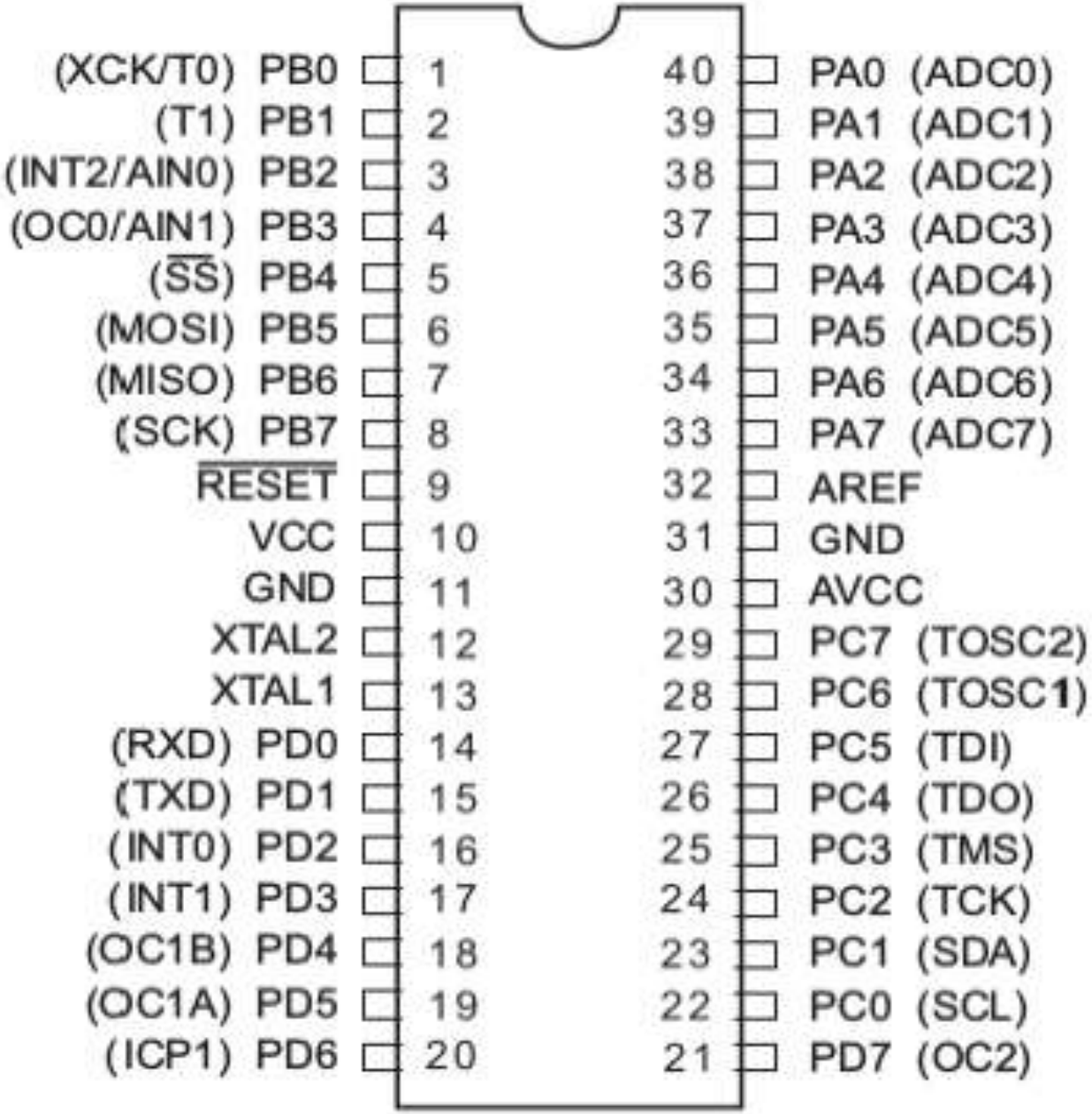
- يمتلك ATmega32
- ذاكرة ثابتة 32كيلوبايت
- 512 بايت ( 512 * 8 بت ) من ذاكرة EEPROM
- 1 كيوبايت من الذاكرة المؤقتة SRAM
- إمكانية الكتابة (برمجة / مسح ) محتوى ذاكرة FLASH نحو 10000 مرة
- إمكانية الكتابة (برمجة / مسح ) محتوى ذاكرة EEPROM نحو 100000 مرة
- الاحتفاظ بالبيانات في كل من الـ FLASH و الـ EEPROM لمدة زمنية تصل إلى 100 عام عند تشغيل المتحكم في درجة حرارة 25 درجة مئوية أو 25 عام عند تشغيل المتحكم في درجة حرارة 80 درجة مئوية
-

# أطراف المتحكم ATmega16

- يتملك المتحكم ATmega16 مجموعة من الأطراف (pins) عددها 40 pins موزعة على:
- 4 Ports : كل منها مشكل من 8 أطراف،

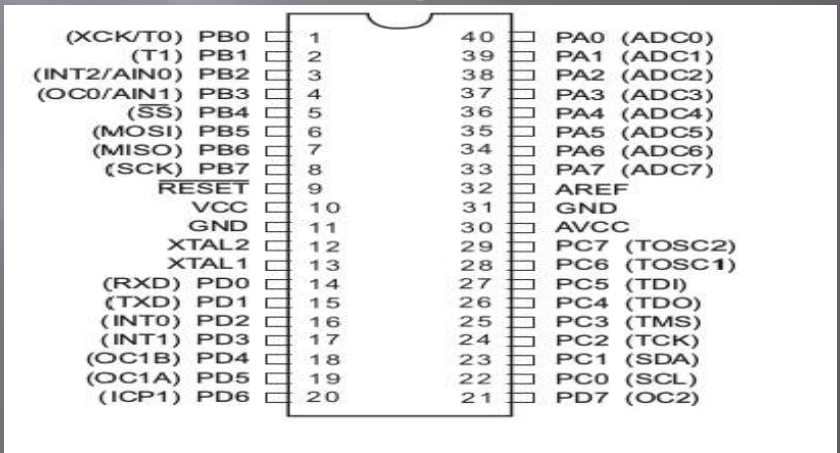
PORT_A
PORT_B
PORT_C
PORT_D

- بالإضافة إلى منافذ أخرى متعلقة بالطاقة والتردد وغيرها


(XCK/T0) PB0 1
(T1) PB1 2
(INT2/AIN0) PB2 3
(OC0/AIN1) PB3 4
(SS) PB4 5
(MOSI) PB5 6
(MISO) PB6 7
(SCK) PB7 8
RESET 9
VCC 10
GND 11
XTAL2 12
XTAL1 13
(RXD) PD0 14
(TXD) PD1 15
(INT0) PD2 16
(INT1) PD3 17
(OC1B) PD4 18
(OC1A) PD5 19
(ICP1) PD6 20
40 PA0 (ADC0)
39 PA1 (ADC1)
38 PA2 (ADC2)
37 PA3 (ADC3)
36 PA4 (ADC4)
35 PA5 (ADC5)
34 PA6 (ADC6)
33 PA7 (ADC7)
32 AREF
31 GND
30 AVCC
29 PC7 (TOSC2)
28 PC6 (TOSC1)
27 PC5 (TDI)
26 PC4 (TDO)
25 PC3 (TMS)
24 PC2 (TCK)
23 PC1 (SDA)
22 PC0 (SCL)
21 PD7 (OC2)

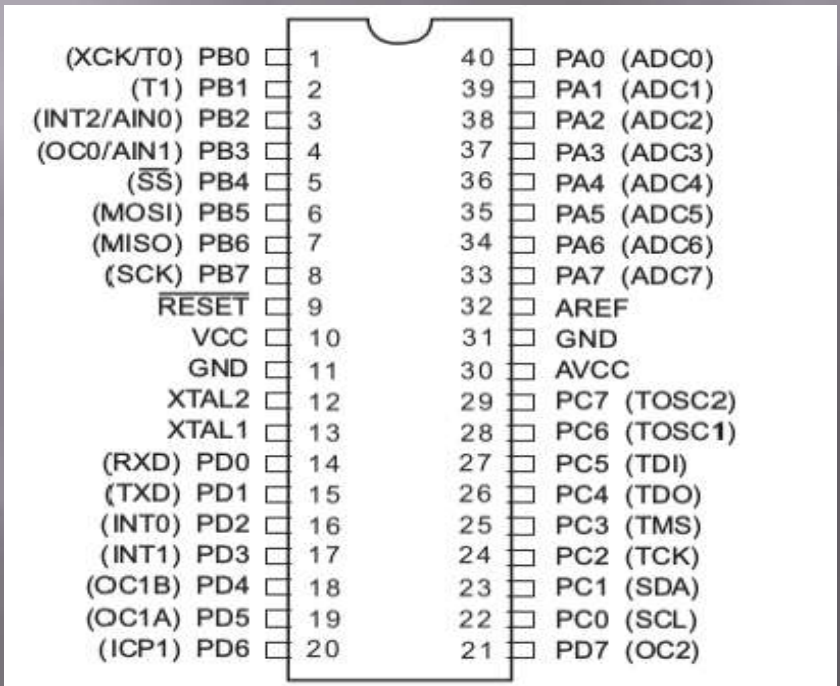
# الطرف RESET

- ويقوم بعمل تصفير المتحكم الدقيق ويعني أنه سيعيد تصفير جميع المسجلات (يجعل قيمتها صفر) ويعيد تشغيل البرنامج الموجود في ذاكرة المتحكم من البداية،
- مع العلم أنه طرف Active Low يعني يتم تفعيله عندما يتصل بالأرضي GND ويحصل على إشارة Low Logic لذا يجب أن يوصل دائماً بالـ Vcc عن طريق مقاومة 10 كيلو أوم ( وإلا سيظل المتحكم يقوم بعمل RESET ولن يعمل البرنامج المخزن في الذاكرة)



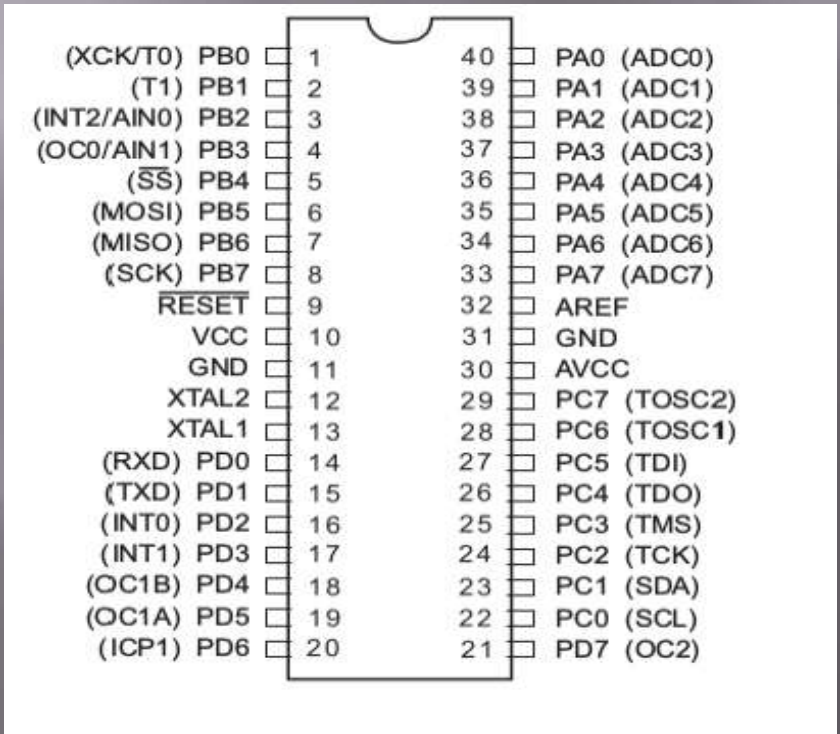
# الطرف Vcc

- وهو الطرف الذي يستقبل الطرف الموجب من البطارية أو مصدر الطاقة المستخدم ( ويجب أن يكون موجب بداية من 2.7 v حتى 5.5 v بحد أقصى )

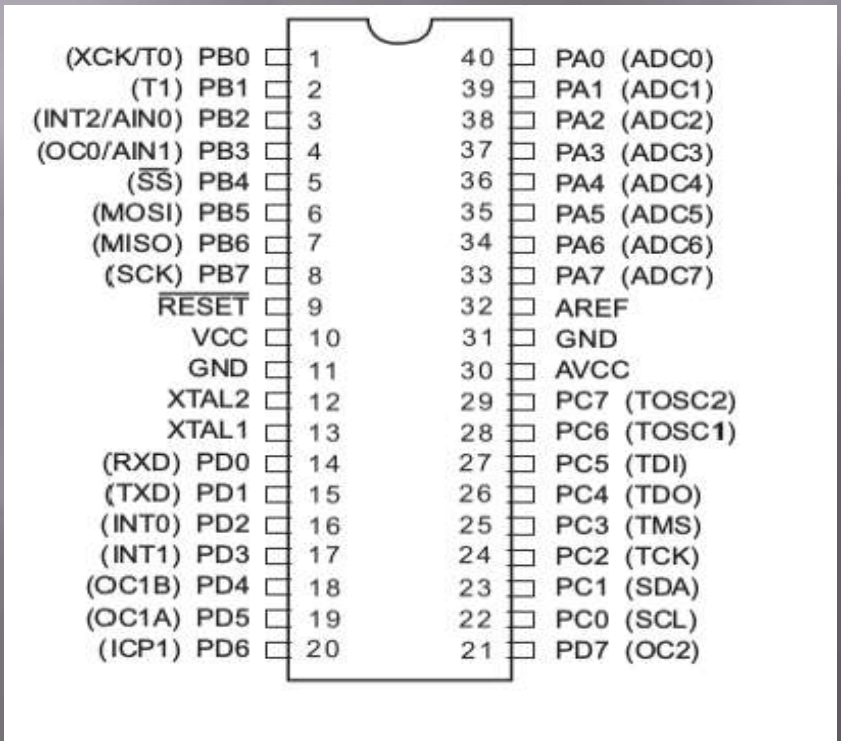


# الطرف GND

- الطرف الأرضي للمتحكم ويتم توصيله بالطرف السالب للبطارية أو مصدر الطاقة المستخدم.



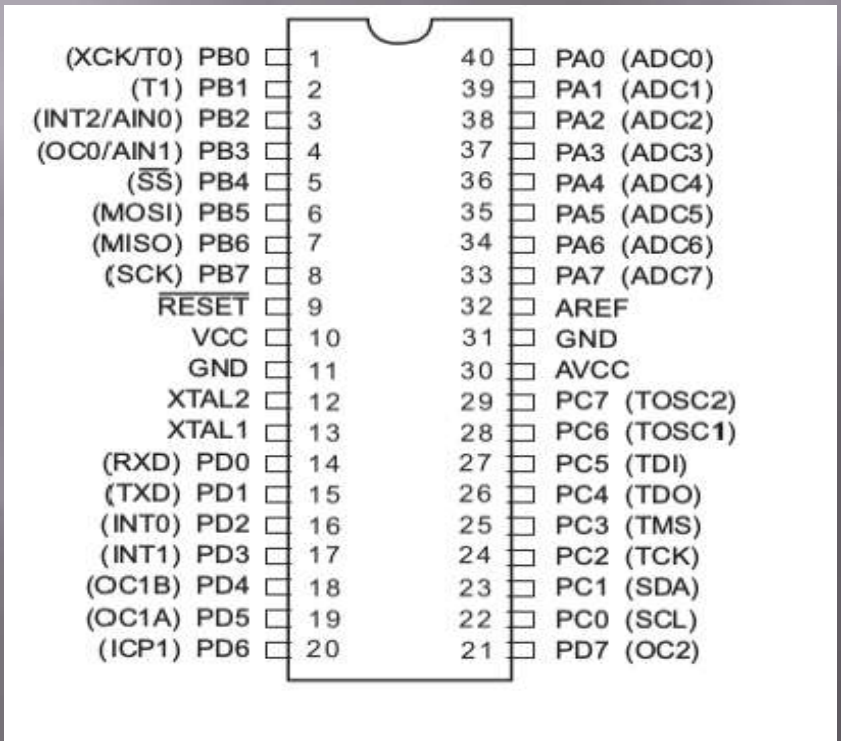
# قد نتساءل: لماذا يمتلك المتحكم زوج من الأطراف GND ؟؟؟؟؟



- ذلك لتقليل الضجيج الكهربائي Noise
- فعندما يتواجد أكثر من مسار للأرضي فإن ذلك يحسن في القضاء على الضجيج إذا كان المتحكم يقوم بتوليد إشارات عالية التردد ( ميجا هرتز)

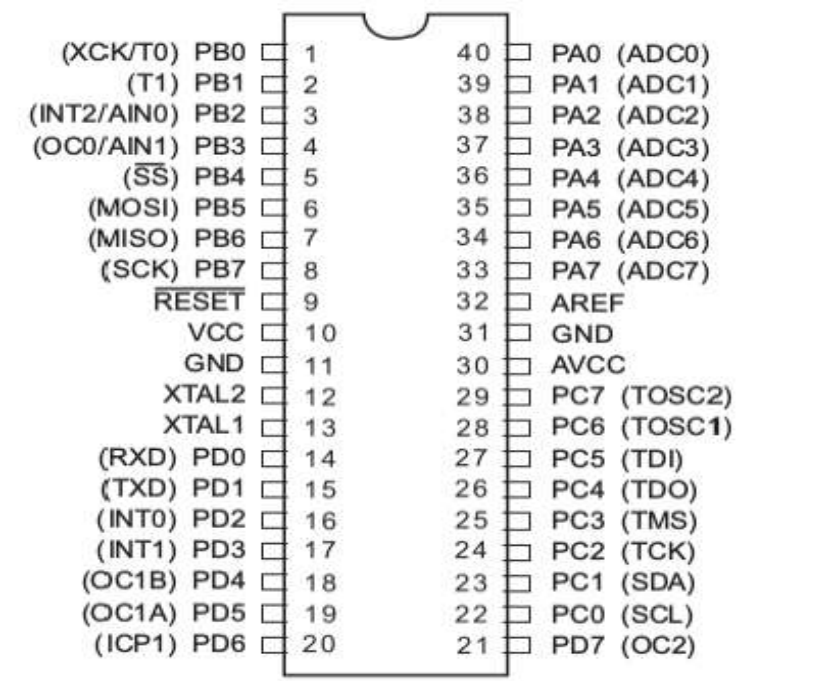
# الطرفان XTAL1, XTAL2

- الأطراف التي بتم توصيلها بدارة المذبذب الخارجي



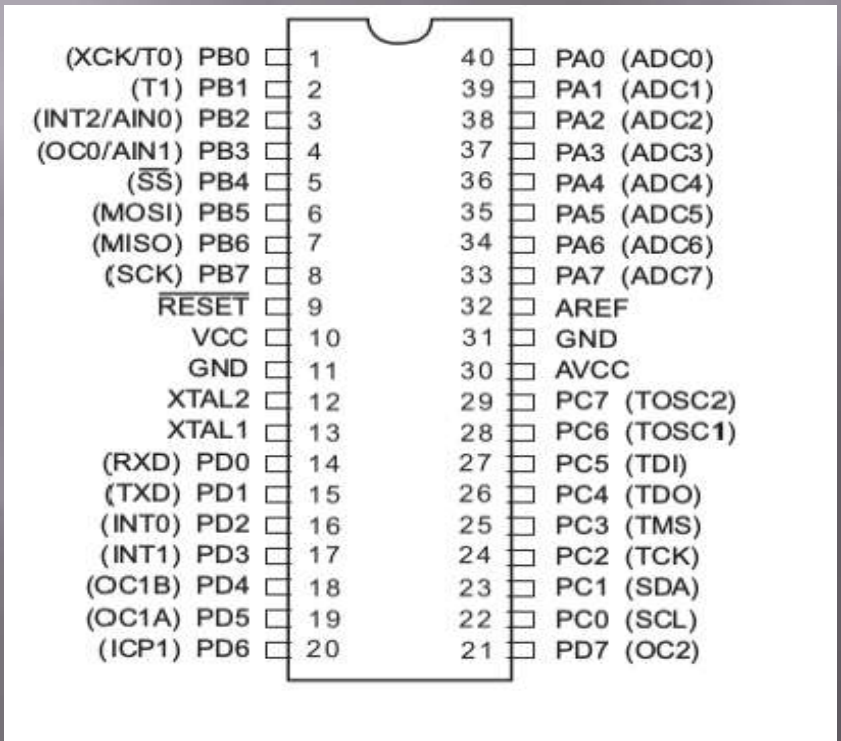
# الطرف AVCC

- ADC VCC هذا الطرف مسؤول عن تشغيل المبدل التماثلي الرقمي الموجود داخل المتحكم ويتم توصيله بنفس الجهد الذي يتصل به الطرف Vcc



# الطرف AREF

- Analog Reference



- أما باقي أطراف المتحكم موزعة على البورتات المختلفة A,B,C,D والتي تمتلك القدرة على التحكم بالمكونات الإلكترونية المختلفة كما تستطيع استقبال البيانات القادمة من الحساسات ( سواء كانت رقمية أو تماثلية) لذا فهي تسمى منافذ إدخال / إخراج عامة (GPIO General Purpose In/Ou
- كما تمتلك مجموعة من الوظائف الإضافية مثل الاتصالات التسلسلية، المقاطعات ..... الخ

# إعدادات مسجلات الدخل والخرج الرقمي Digital I/O

- تمتلك متحكمات AVR ثلاث مسجلات أساسية للتحكم
- أشهرها

DDR x: data direction register

PORT x: port output register

PIN x : port input register

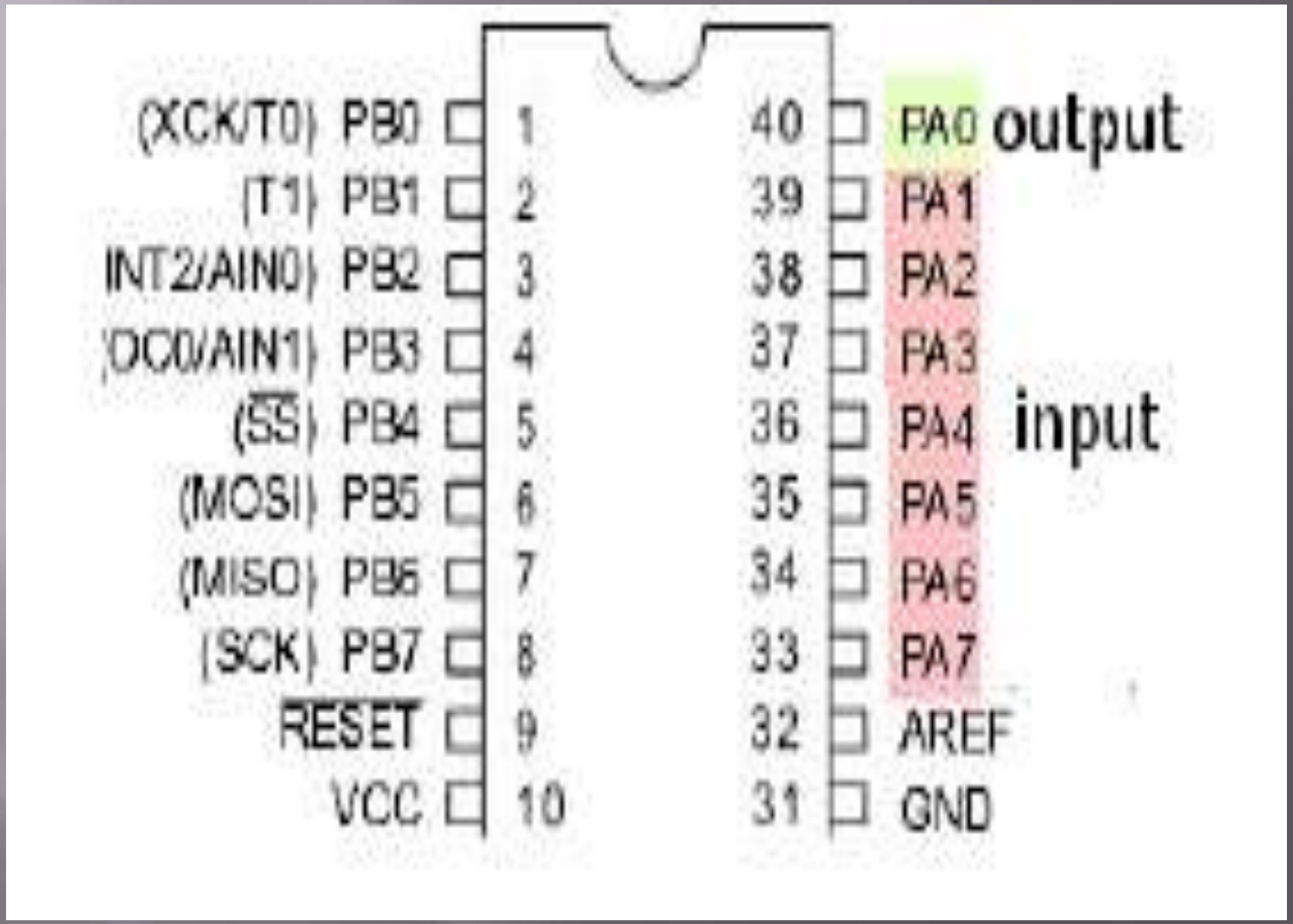
# المسجل DDR x
# Data Direction Register

- هو مسجل 8 bit يتحكم في اتجاه البيانات، ويعتبر المسؤول عن التحكم في أطراف أي منفذ لتعمل كدخل أو خرج
- حرف الـ x في نهاية اسم المسجل ( وكذلك جميع المسجلات) يعبر عن أحد الرموز A,B,C,D وهي أسماء المنافذ
- فمثلاً DDRC هو مسجل اتجاه البيانات للمنفذ C
- كل bit داخل هذا المسجل تتحكم في أحد الأطراف الخاصة بالمنفذ، حيث يعبر الرقم 1 عن أن هذا الطرف يعمل كخرج output ، أما الرقم 0 يعني أن هذا الطرف يعمل كدخل input

- عندما نضبط أحد الأطراف لتعمل كخرج، فهذا يعني أنه يمكن توصيل أي عنصر إلكتروني بهذا المنفذ خلال إرسال إشارات كهربائية إلى هذه العناصر التي قد تكون Speaker, LCD, Relay, Motor
- أما إذا جعلنا هذا الطراف لتعمل كدخل، فهذا يعني أنه يمكن استقبال إشارة كهربائية قادمة من الحساسات Sensors أو مفاتيح

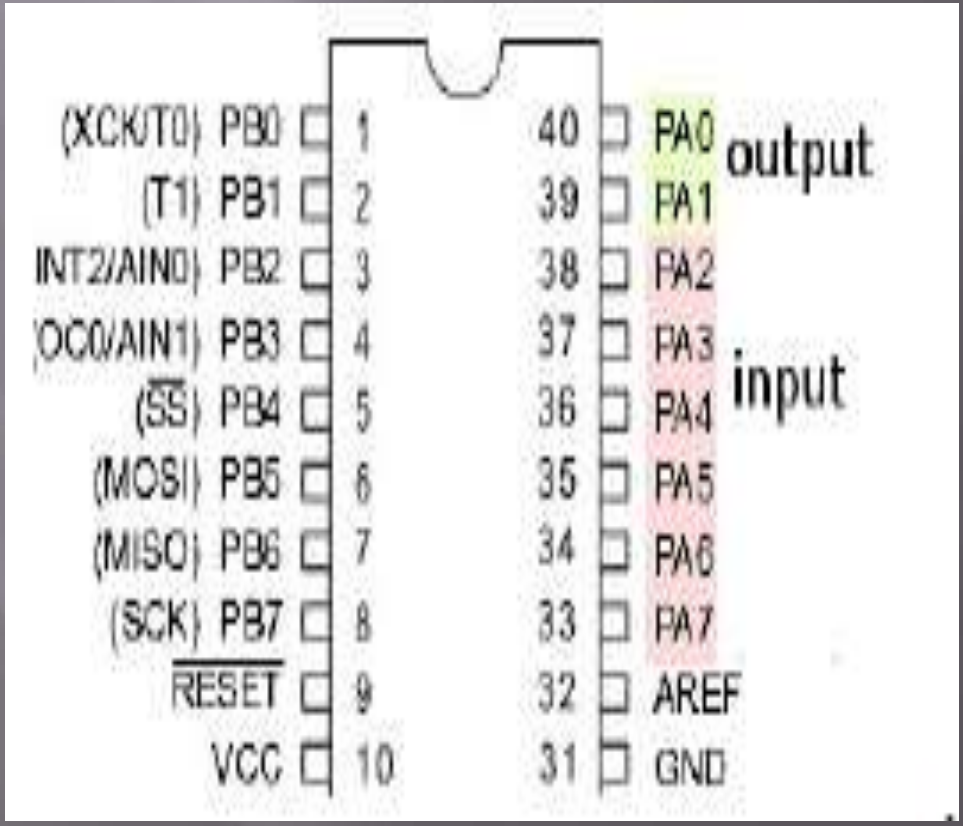
```
DDRA = 0b00000001;
```

- يعني هذا الأمر أن نضع القيمة 00000001 داخل المسجل DDRA والتي تعني أن البت الأولى فقط = 1
- البتات الأخرى = 0
- أي أن الطرف PA0 يعمل كخرج
- باقي الأطراف تعمل كدخل


(XCK/T0) PB0 1
(T1) PB1 2
INT2/AIN0) PB2 3
(OC0/AIN1) PB3 4
(SS) PB4 5
(MOSI) PB5 6
(MISO) PB6 7
(SCK) PB7 8
RESET 9
VCC 10
40 PA0
39 PA1
38 PA2
37 PA3
36 PA4
35 PA5
34 PA6
33 PA7
32 AREF
31 GND
output
input

```
DDRA = 0b00000011;
```

- فهذا يعني أن الطرف PA0, PA1 تعمل كخرج وباقي الأطراف كدخل



# المسجل
# PORTx Register

يتحكم المُسجِل PORTx في الخرج الرقمي لأي طرف

```
PORTA = 0b00000001;
```

يعني تغيير قيمة البت الخاصة بالطرف PA0 لتساوي **1**

وهذا يعني إخراج إشارة كهربية بقيمة HIGH (5 volt) على الطرف

باقي البتات تساوي **0**

باقي الأطراف تكون LOW (0 volt)

```
PORTA = 0b00000000;
```