บทที่ 2
ทฤษฎีและหลักการ

2.1 ระบบฝังตัว (Embedded System)

ระบบฝังตัว หรือ Embedded system คือ ระบบปฏิบัติการคอมพิวเตอร์ที่มีขนาดเล็กซึ่งอยู่ในชิปและฝังอยู่กับอุปกรณ์ต่างๆ คอยทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของระบบ โดยมีไมโครคอนโทรลเลอร์หรือไมโครโพรเซสเซอร์เป็นหัวใจหลักสำคัญคอยควบคุมการทำงานของระบบ ให้สามารถทำงานได้ตามความต้องการ เรามักจะพบเห็นและใช้งานอุปกรณ์ที่เป็นระบบฝังตัวมากมายในชีวิตประจำวันทั่วไปโดยไม่รู้ตัว ตัวอย่างเช่น เครื่องปรับอากาศ เครื่องซักผ้า เตาอบไมโครเวฟ เป็นต้น

2.2 ลักษณะของระบบฝังตัว

- ขนาดเล็ก มีน้ำหนักเบา เพราะต้องไปฝังติดอยู่กับอุปกรณ์ต่างๆ
- ใช้พลังงานต่ำ ทำให้เกิดความร้อนน้อย
- ระบบต้องมีความเชื่อถือได้
- งานที่นำไปใช้ ถ้ามีความสำคัญมาก ระบบจะต้องมีความแน่นอนสูงสุด เช่นระบบควบคุมการหยุดของรถในขณะเลี้ยว เป็นต้น
- ทนต่อสภาพแวดล้อมต่างๆได้ ความร้อน สั่นสะเทือน คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า
- ระบบจะต้องตอบสนอง ทำงานได้ในระยะเวลาที่คาดไว้ได้

2.3 การแบ่งระดับของระบบฝังตัว

ซึ่งสามารถจัดแบ่งระดับของระบบฝังตัว ตามระดับของประสิทธิภาพการทำงานของไมโครโปรเซสเซอร์ ในระบบฝังตัวได้ออกเป็น สามระดับดังนี้คือ

2.3.1 ระบบฝังตัวขนาดเล็ก (Low-end embedded system)

เป็นระบบฝังตัวที่มีขนาดเล็ก ใช้ไมโครโพรเซสเซอร์หรือไมโครคอนโทรลเลอร์ขนาด4 หรือ 8 บิต เป็นตัวควบคุมการทำงาน มักใช้งานในงานที่มีฟังก์ชันการทำงานง่ายไม่ซับซ้อนตัวอย่างของไมโครคอนโทรลเลอร์ เหล่านี้ได้แก่ MCS-51,PIC และ Z80 เป็นต้น

2.3.2 ระบบฝังตัวขนาดกลาง (Mid-end embedded system)

เป็นระบบฝังตัวที่มีขนาดใหญ่ขึ้นมาอีกระดับมีความสามารถในการประมวลผลสูงขึ้นมา ส่วนใหญ่จะถูกนำไปใช้ในงานที่ต้องการคุณสมบัติพิเศษ ที่ไมโครคอนโทรลเลอร์หรือไมโครโพรเซสเซอร์ขนาดเล็กไม่

สามารถให้ได้ เช่น ต้องการให้งานจำนวนหน่วยความจำขนาดมากขึ้น เป็นต้น ไมโครโพรเซสเซอร์ หรือ ไมโครคอนโทรลเลอร์เหล่านี้มักมีขนาด 16 และ 32 บิต เช่น ไมโครโพรเซสเซอร์ ตระกูล x86 ของบริษัท Intel และ AMD ตระกูลARM7 และ ตระกูล TMS320 เป็นต้น

2.3.3 ระบบฝังตัวขนาดใหญ่ (High-end embedded System)

เป็นระบบฝังตัวขนาดใหญ่ที่มีความสามารถในการประมวลผลมากเป็นพิเศษ ส่วนใหญจะใช้งาน ไมโครโพรเซสเซอร์ที่ได้รับการออกแบบสำหรับการประมวลผลเป็นหลัก มักจะอยู่ในรูปของระบบฝังตัวที่ใช้เครื่องคอมพิวเตอร์เป็นพื้นฐาน (PC-Base) ใช้ฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์สำหรับเครื่องคอมพิวเตอร์ทั่วไปเช่นระบบปฏิบัติการวินโดวส์ ดอส หรือ ลินุกซ์เป็นต้น ในการประมวลผลงานทางด้านใดด้านหนึ่งโดยเฉพาะอยู่ตลอดเวลา จึงสามารถเรียกระบบฝังตัวประเภทนี้ได้อีกแบบว่า Application Specific PC ไมโครโพรเซสเซอร์ที่ใช้งานก็จะ เป็น 32 หรือ 64 บิตของคอมพิวเตอร์ในปัจจุบัน เช่น เพนเทียม, เพนเทียมทู เป็นต้น

2.4 องค์ประกอบของระบบฝังตัว

2.4.1 ไมโครโพรเซสเซอร์

ไมโครโพรเซสเซอร์นับเป็นหัวใจหลักที่สำคัญของระบบฝังตัว เพราะต้องทำหน้าที่ประมวลผลข้อมูลและ ควบคุมการทำงานของระบบทั้งหมด โดยไมโครโพรเซสเซอร์ของระบบฝังตัวนี้มีมากมายหลากหลายประสิทธิภาพการทำงานสำหรับการนำไปใช้งานในด้านต่างๆ ตามความต้องการความสามารถในการประมวลผลข้อมูลในการทำงาน นับตั้งแต่ไมโครโพรเซสเซอร์ขนาด 4 บิตที่ใช้ในระบบฝังตัวทั่วไปในยุค ต้นๆ เช่น ในวงจรรีโมตคอนโทรลเป็นต้นเรื่อยมาจนกระทั่งไมโครโพรเซสเซอร์ 32 บิตหรือ 64 บิตในยุคปัจจุบันที่ต้องการความสามารถในการประมวลผลที่สูงเป็นพิเศษเช่นในกรณีของโทรศัพท์มือถือ เป็นต้น

2.4.2 หน่วยความจำ

หน่วยความจำเป็นส่วนที่สำคัญส่วนหนึ่งในระบบฝังตัว เพราะจะเป็นส่วนที่กำหนดถึงความซับซ้อน ของโปรแกรมที่ใช้ในการทำงานในระบบฝังตัว และเป็นตัวกำหนดถึงวิธีการออกแบบและพัฒนาโปรแกรมสำหรับควบคุมการทำงานของระบบขึ้นมา ซึ่งหน่วยความจำที่ใช้ในระบบฝังตัวนี้มีหลายประเภทเช่น DRAM, SRAM EPROM,EEPROM หรือหน่วยความจำแฟลช (Flash memory) เป็นต้นซึ่งมีขนาดและรูปแบบแตกต่างกัน ตั้งแต่ขนาดเล็กมีอยู่ภายในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์จนถึงแบบที่เป็นแผงหน่วยความจำแบบเดียวกับที่ใช้ในระบบคอมพิวเตอร์แบบตั้งโต๊ะในปัจจุบัน ซึ่งเลือกใช้ได้ตามความต้องการในการทำงานของแต่ละงาน

2.4.3 ส่วนอุปกรณ์เชื่อมต่อ (Peripherals)

ส่วนอุปกรณ์เชื่อมต่อเป็นส่วนที่ใช้ในการติดต่อสื่อสารระหว่างระบบฝังตัวกับโลกภายนอก ซึ่งเห็นได้ในรูปแบบต่างกันไปตามลักษณะของงานต่างๆ ในส่วนของอินพุทของระบบ ส่วนนี้มักเป็นอุปกรณ์ตรวจวัด (sensor) ชนิดต่างๆ เช่น อุปกรณ์ตรวจจับความร้อน อุปกรณ์ตรวจจับความชื้น หรือเป็นแป้นควบคุมการทำงานต่างๆ เช่น ปุ่มควบคุมตั้งเวลาและอุณหภูมิของเตาอบไมโครเวฟ หรือปุ่มกดหมายเลขและฟังก์ชันการทำ

งานต่างๆของโทรศัพท์ มือถือเป็นต้น นอกจากนี้อาจจะอยู่ในรูปของโมดูลการสื่อสารต่างๆกับระบบอื่นๆภายนอก เช่น โมดูลการเชื่อมต่อแบบ USB ,PCMCIA RS-232 หรือ RS-485 เป็นต้น ในส่วนของเอาท์พุทของระบบจะเป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เป็นส่วนติดต่อสื่อสารกับผู้ใช้งานหรือระบบอื่นๆภายนอก เช่น หน้าจอแอลซีดีสำหรับแสดงผลของเตาอบไมโครเวฟหรือโทรศัพท์มือถือ เป็นต้น

2.4.4 ซอฟต์แวร์

ซอฟต์แวร์เป็นองค์ประกอบส่วนหนึ่งที่สำคัญในระบบฝังตัว ซึ่งเป็นตัวควบคุมกำหนดหน้าที่ฟังก์ชันการทำงานของระบบ ซึ่งภายในอาจประกอบด้วยส่วนที่เป็นตัวเริ่มต้นการทำงานและปรับแต่งระบบ (Initialization and configuration) ส่วนของระบบปฏิบัติการหรือส่วนจัดการสภาพแวดล้อมขณะทำงาน (Run-time environment) ส่วนของแอพลิเคชัน และ ส่วนจัดการความผิดพลาด ซึ่งในแต่ละระบบก็ซอฟต์แวร์ภายในก็จะประกอบด้วยส่วนต่างๆแตกต่างกันไปตามความจำเป็นของแต่ละชนิด

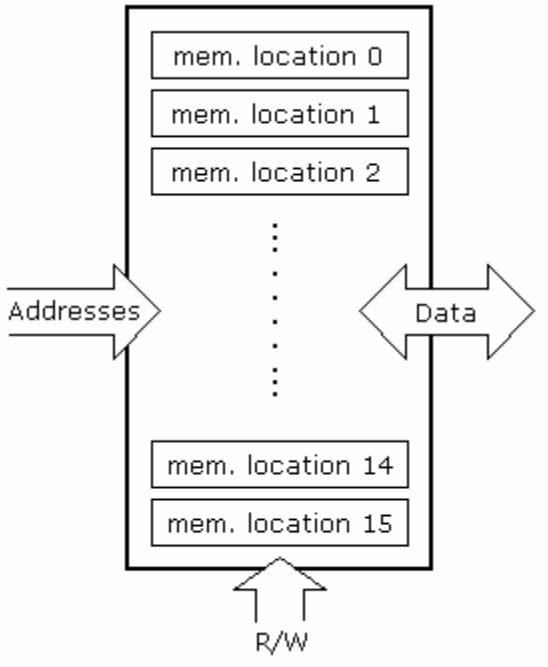
2.5 แอพพลิเคชันของระบบฝังตัว

ดังที่ได้กล่าวมาแล้วว่าระบบฝังตัว คือระบบที่มีคอมพิวเตอร์ขนาดเล็กอยู่ภายใน ทำงานเป็นส่วนหนึ่งของระบบ ทั้งนี้เนื่องจากความสามารถในการทำงานที่ซับซ้อน ได้อย่างถูกต้องและแม่นยำของคอมพิวเตอร์ระบบฝังตัวจึงถูกนำไปประยุกต์ใช้ในงานต่างๆ เช่น ใช้ในอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าเพื่อให้ใช้งานได้ง่ายขึ้น ใช้ในระบบควบคุมเบรคและถุงลมนิรภัยของรถยนต์ซึ่งเป็นงานที่ต้องการความแม่นยำสูง เป็นต้น นอกจากนี้คอมพิวเตอร์ยังตอบสนองความต้องการด้านการสื่อสารได้เป็นอย่างดีเนื่องจากมีโครงสร้างสถาปัตยกรรมเครือข่ายคอมพิวเตอร์ที่เป็นมาตรฐานและมีการใช้งานกันอย่างกว้างขวางอยู่แล้ว ทำให้ระบบฝังตัวสามารถนำไปใช้งานที่มีความต้องการด้านการติดต่อสื่อสาร เช่น ระบบควบคุมอุปกรณ์ระยะไกล ได้ เราอาจมองงานของระบบฝังตัวได้เป็นกลุ่มดังนี้อุปกรณ์เครื่องใช้ต่างๆ ระบบควบคุมโรงงาน อาคาร ซึ่งเป็นระบบใหญ่ที่มีการทำงานร่วมกันของอุปกรณ์จำนวนมาก และชุดพัฒนาต่างๆที่ใช้ในด้านการศึกษา วิจัย และพัฒนา

2.6 องค์ประกอบพื้นฐานของบอร์ดควบคุม

2.6.1 หน่วยความจำ (Memory unit)

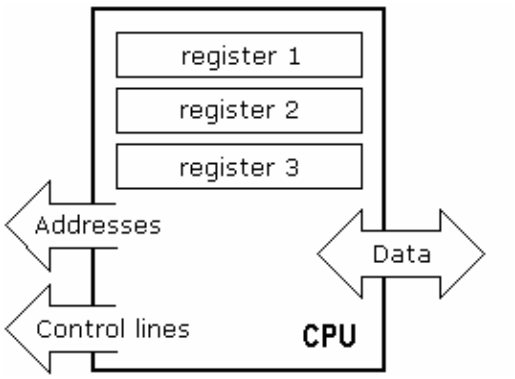
หน่วยความจำเป็นส่วนที่ไมโครโปรเซสเซอร์ใช้ ทำหน้าที่เก็บข้อมูล จากรูปข้างล่างเป็นตัวอย่างที่เป็นรูปแบบง่ายๆ ของหน่วยความจำ โดยใช้สัญญาณควบคุม R/W เป็นตัวกำหนดการติดต่อเมื่อเราต้องการอ่านหรือ เขียน



รูปที่ 2.1 บล็อกไดอะแกรมของหน่วยความจำ

2.6.2 หน่วยประมวลผลกลาง (Central Processing Unit)

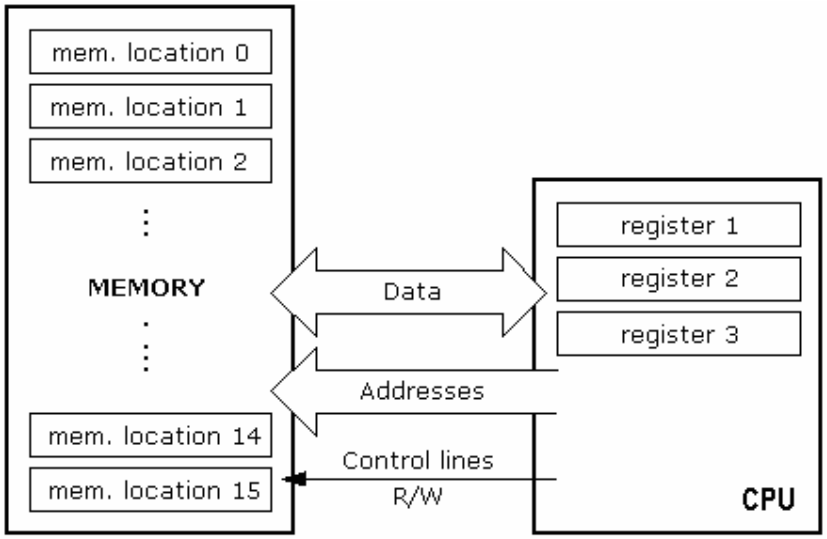
หน่วยประมวลผลกลางหรือที่เรียกว่า ซีพียู (CPU) ซึ่งมีความสามารถในกระบวนการทำงานทางคณิตศาสตร์และลอจิก จากรูป ซีพียูจะประกอบด้วยรีจิสเตอร์สามตัว โดยรีจิสเตอร์เหล่านี้เปรียบเสมือนหน่วยความจำมีหน้าที่หลายอย่างในการการทำงานทางด้านคณิตศาสตร์ หรือการทำงานอื่นๆที่เกี่ยวกับข้องกับข้อมูล (data)



รูปที่ 2.2 บล็อกไดอะแกรมของหน่วยประมวลผลกลาง

2.6.3 บัส (Bus)

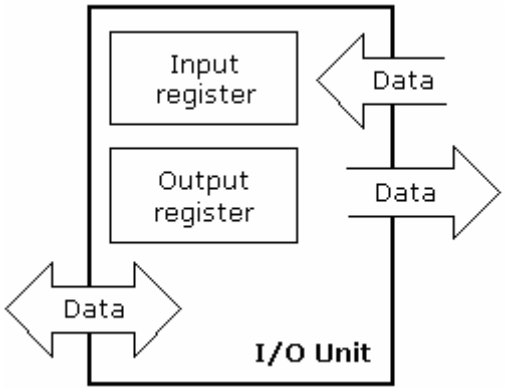
เป็นกลุ่มทางเดินข้อมูลที่มีขนาด 8,16 หรือมากกว่านั้น โดยบัสแบ่งออกเป็นสองชนิด คือแอดเดรสบัสและดาต้าบัสจากรูปเป็นการแสดงการเชื่อมต่อบัส โดยส่วนแรกเป็นการส่งแอดเดรสจากซีพียูไปยัง หน่วยความจำและอีกส่วนเป็นการต่อดาต้าบัส



รูปที่ 2.3 บล็อกไดอะแกรมของบัส

2.6.4 อินพุท – เอาท์พุท (Input-output unit)

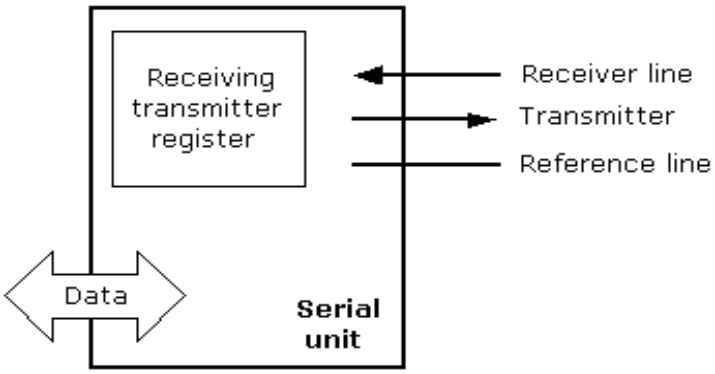
เป็นส่วนที่เราเรียกว่า “ พอร์ต ” ใช้ในการสื่อสารกับอุปกรณ์ภายนอก พอร์ตมีหลายแบบ ทั้งที่เป็นอินพุต , เอาท์พุต หรือเป็นได้ทั้ง อินพุตและ เอาท์พุท เมื่อมีการทำงานกับพอร์ตสิ่งแรกคือ จะมีการกำหนดพอร์ตที่ต้องการทำงานและ จากนั้นจากนั้นจะมีการส่งข้อมูลหรือ รับข้อมูลเกิดขึ้นผ่านพอร์ตดังกล่าว จากรูปเป็นตัวอย่าง หน่วยอินพุท-เอาท์พุท ที่ใช้ในการติดต่อกับส่วนภายนอก



รูปที่ 2.4 บล็อกไดอะแกรมของอินพุต – เอาท์พุท

2.6.5 การติดต่อสื่อสารแบบอนุกรม (Serial communication)

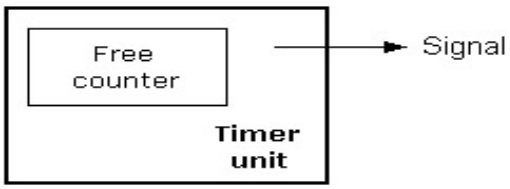
ใช้สำหรับการรับและส่งข้อมูล โดยจะมีการส่งข้อมูลในเป็นลำดับ จากรูปมีสายสามเส้นซึ่งเส้นแรกใช้สำหรับในการส่งข้อมูล เส้นที่สองใช้ในการรับข้อมูล ส่วนเส้นที่สุดท้ายใช้ทั้งในการส่งและรับข้อมูล



รูปที่ 2.5 บล็อกไดอะแกรมของการติดต่อสื่อสารแบบอนุกรม

2.6.6 ตัวกำเนิดสัญญาณเวลา (Timer unit)

เป็นตัวกำเนิดสัญญาณช่วงเวลาให้กับการทำงานของไมโครคอนโทรเลอร์



รูปที่ 2.6 บล็อกไดอะแกรมของ Timer unit

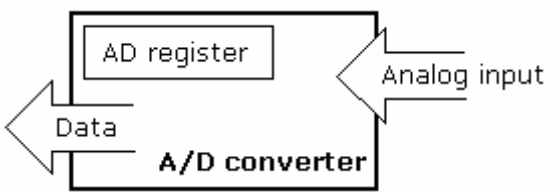
2.6.7 วอทช์ด็อก (Watchdog)

เป็นตัวคอยดูแลควบคุมการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์โดยไม่ให้เกิดข้อผิดพลาด เช่น ไมโครคอนโทรลเลอร์อาจเกิดการทำงานผิดพลาด ในบางครั้งมีการหยุดเอ็กซ์ซิคิวโปรแกรม ทำให้เกิดผลผิดพลาด หรือในตอนเริ่มทำงานมีสิ่งที่ผิดพลาดเกิดขึ้น ซึ่งถ้าข้อผิดพลาดเหล่านี้ เกิดขึ้นกับเครื่องคอมพิวเตอร์ เราสามารถแก้ ปัญหาได้โดยง่ายด้วยการกดปุ่มรีเซตแล้วมันก็จะสามารถเริ่มทำงานใหม่ได้ แต่สำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์แล้วมันไม่มีปุ่มรีเซต จึงต้องใช้ตัว watchdog ในการแก้ปัญหาดังกล่าว

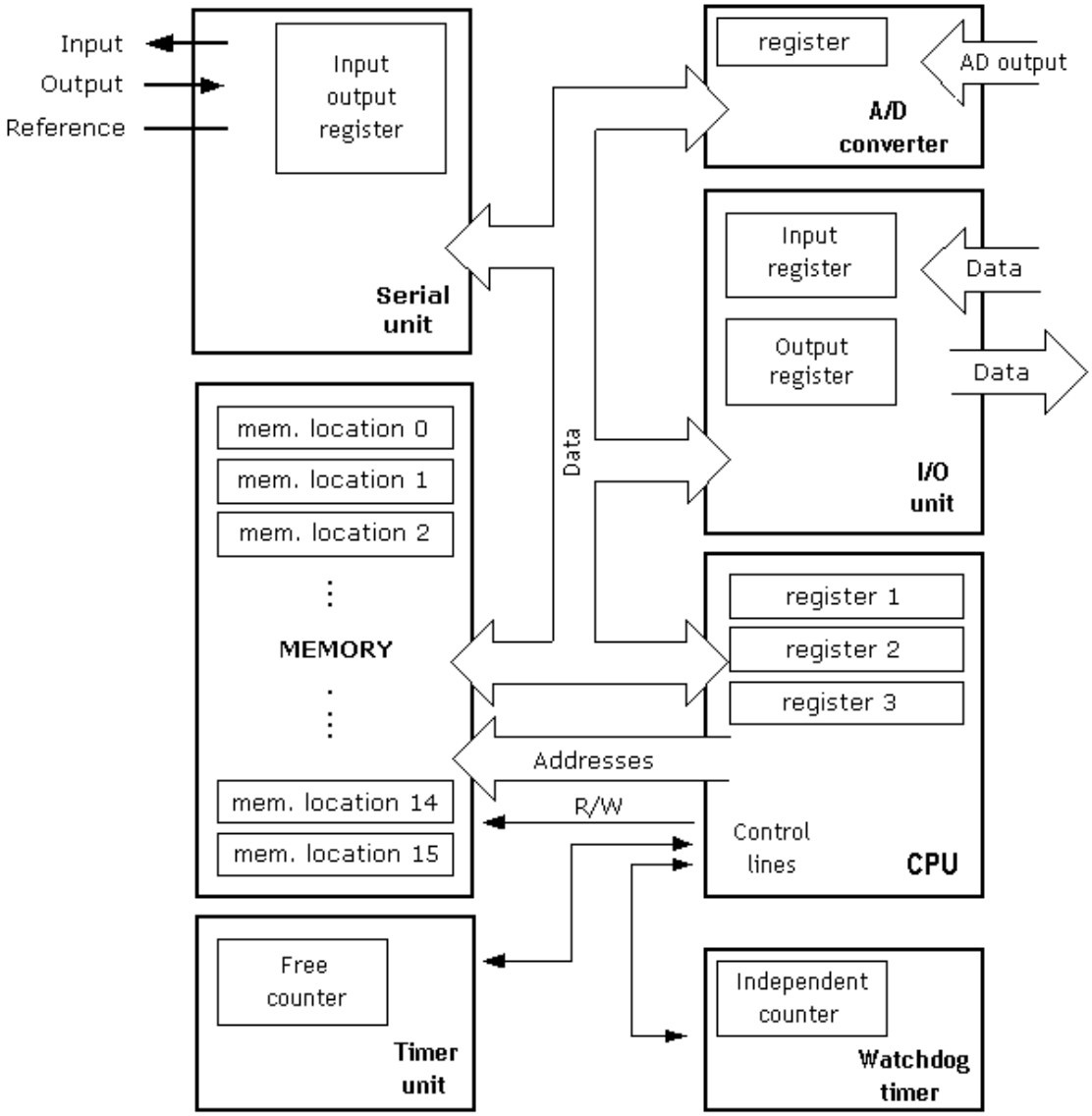
รูปที่ 2.7 บล็อกไดอะแกรมของ Watchdog

2.6.8 หน่วยแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตอล (Analog – Digital Converter)

การเปลี่ยนสัญญาณอนาล็อกให้อยู่ในรูปของสัญญาณดิจิตอล (0 หรือ 1) ที่ไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถเข้าใจได้ เป็นหน้าที่การทำงานในส่วนของหน่วยแปลงสัญญานอนาล็อกเป็นดิจิตอล หรือ AD converter ซึ่งทำหน้าที่แปลงข้อมูล (information) ที่เป็นค่าอนาล็อก ให้อยู่ในรูปของค่าไบนารี



รูปที่ 2.8 บล็อกไดอะแกรมของ A/D converter



รูปที่ 2.9 ส่วนประกอบโดยรวมของไมโครคอนโทรลเลอร์

2.7 ระบบปฏิบัติการสำหรับระบบฝังตัว

ในการพัฒนาระบบฝังตัวนั้น ระบบปฏิบัติการเป็นองค์ประกอบอย่างหนึ่งที่สำคัญ ของระบบซอร์ฟแวร์ทั้งหมด เพราะเป็นส่วนที่ทำให้การพัฒนาซอร์ฟแวร์แอพพลิเคชันสำหรับงานต่างๆ ทำได้รวดเร็วยิ่งขึ้น สามารถพัฒนาซอร์ฟแวร์แอพพลิเคชันที่มีความซับซ้อนได้ง่ายยิ่งขึ้น สามารถดูแลแก้ไขได้ง่าย สามารถนำโค้ดของแอพพลิเคชันที่มีอยู่กลับมาใช้ใหม่ได้ในรูปของไลบรารี ส่งผลให้ระยะเวลาในการพัฒนาผลิต สั้นลง ลดต้นทุนได้มาก และทำให้เวลาในการเข้าสู่ตลาดของผลิตภัณฑ์ สั้นลงในขณะที่ยังคงรักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ไว้

2.7.1 คุณสมบัติของระบบปฏิบัติการในงานระบบฝังตัว

- Reliability คือ มีความเชื่อถือได้
- Small kernel คือ มีเคอร์เนลขนาดเล็ก เนื่องจากต้องนำไปใช้ในระบบที่มีข้อจำกัดทางด้านฮาร์ดแวร์ ทั้งในด้านหน่วยความจำที่ใช้เก็บข้อมูล
- Modularity คือ ระบบปฏิบัติการสามารถแบ่งออกเป็นโมดูลย่อยๆ ได้ เพื่อเหมาะสมกับการนำไปปรับใช้กับแต่ละงาน
- Scalability คือ ความสามารถในการรองรับการเพิ่มหรือลดขนาดของฮาร์ดแวร์
- Multiplatform คือ สามารถทำงานได้บนไมโครโพรเซสเซอร์ หรือไมโครคอนโทรเลอร์ ได้หลายตระกูล
- Networking Support คือ สนับสนุนความสามารถด้านเน็ตเวิร์ก
- Power Management คือ การสนับสนุนความสามารถในการประหยัดพลังงาน
- Real-Time Support คือการสนับสนุนการทำงานแบบเรียลไทม์ สำหรับใช้ในบางลักษณะงานที่ต้องการ
- multi-tasking สนับสนุนการทำงานได้หลายๆ งาน

2.7.2 ประเภทของระบบปฏิบัติการที่ใช้ในระบบฝังตัว

2.7.2.1 Real-Time Operating System

คือระบบปฏิบัติการที่รองรับการทำงานตามเงื่อนไขของเวลา ซึ่งต้องสามารถรองรับการทำงานที่ต้องการการตอบรับ ในเวลาที่ถูกต้องตามเหตุการณ์ที่เข้ามาจากภายนอก ตัวอย่างระบบปฏิบัติการเหล่า นี้ในปัจจุบันได้แก่ QNX, VxWorks, LynxOS, RT-Kernel, Itron,pSOS เป็นต้น

2.7.2.2 Non Real-Time Operating System

คือระบบปฏิบัติการอื่นๆที่ไม่ได้เป็นระบบที่รองรับการทำงานแบบเรียลไทม์ แต่เป็นระบบ ปฏิบัติการที่ใช้ในงานทางด้านระบบคอมพิวเตอร์ฝังตัวทั่วไปเช่น Embedded Linux, RomDos, ELKS เป็นต้น