บทที่ 2

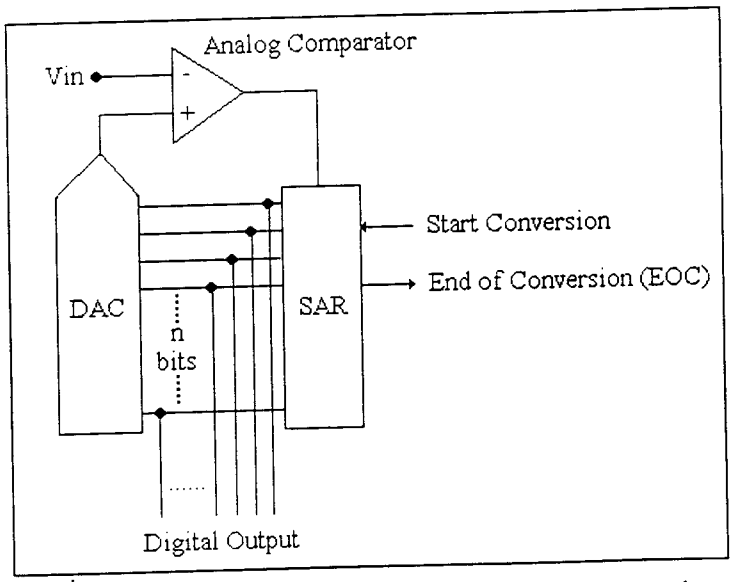
การออกแบบวงจร Analog-to-Digital Converter

(Analog-to-Digital Converter Circuit Design)

ในบทนี้จะได้นำเสนอความคิดในการออกแบบวงจร ADC โดยประยุกต์วิธีการแปลงสัญญาณ Analog เป็น Digital แบบ Successive Approximation แต่ใช้ซอฟต์แวร์เข้าควบคุม (Software-Controlled Successive Approximation ADC)

2.1 การแปลงสัญญาณ Analog เป็น Digital โดยวิธี Successive Approximation

การแปลงสัญญาณจาก Analog เป็น Digital มีหลายวิธีโดยแต่ละวิธีก็จะมีข้อดี-ข้อเสีย แตกต่างกันไป และ Successive Approximation ก็เป็นหนึ่งในวิธีเหล่านั้น มีหลักการคือ สัญญาณ Analog ที่ต้องการแปลง จะถูกสุ่มค่าเข้ามาเพื่อเปรียบเทียบกับสัญญาณ Analog ที่ถูกสร้างขึ้นจากวงจรภายใน โดยสร้างจาก DAC และ Successive Approximation Register (SAR) ดังภาพที่ 2-1

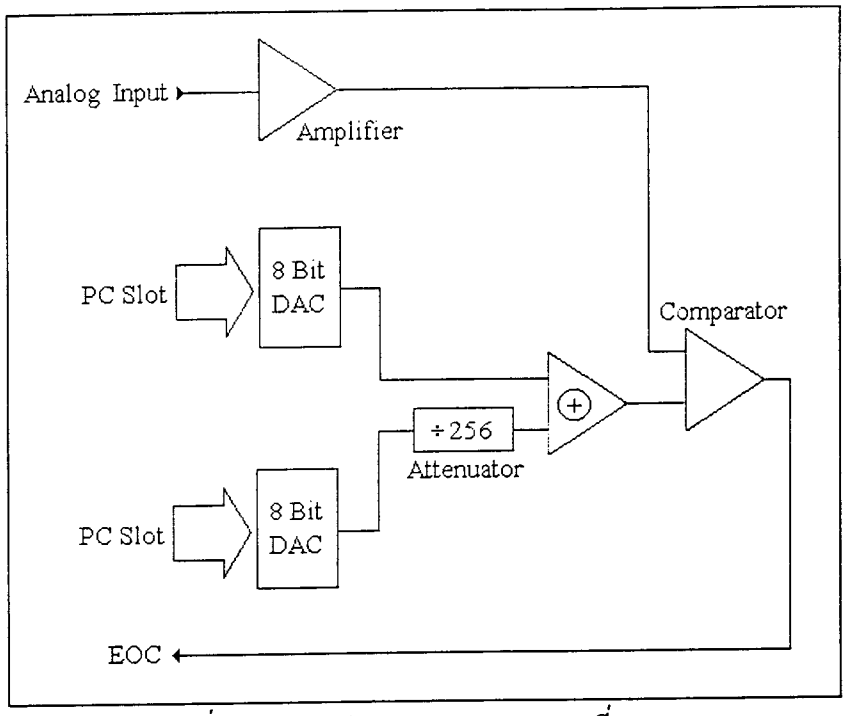


ภาพที่ 2-1 แสดงผังการทำงานของวงจร Successive Approximation

การทำงานของ SAR จะเป็นแบบ Binary search เพื่อให้การทำงานของวงจรเร็วที่สุด สัญญาณ Digital ที่สร้างจาก SAR จะถูกส่งไปยัง DAC เพื่อที่จะแปลงให้เป็นสัญญาณ Analog สำหรับใช้เปรียบเทียบกับสัญญาณ Input ตัว Comparator จะมีสัญญาณ Output เพื่อส่งไปควบคุมการนับของ SAR หากผลการเปรียบเทียบให้ค่าที่เท่ากัน สัญญาณจาก Comparator ก็จะสั่งให้ SAR หยุดการนับ และค่าของสัญญาณ Digital ที่เทียบเท่ากับสัญญาณ Input ก็คือค่าของข้อมูล Digital ที่ SAR ส่งไปให้กับ DAC นั่นเอง

2.2 การประยุกต์วิธี Successive Approximation เพื่อออกแบบวงจร

จากหลักการของ Successive Approximation ดังที่ได้กล่าวข้างต้น โดยมากแล้วการทำงานทั้งหมดจะเป็น Hardware เพื่อให้สามารถแปลงสัญญาณได้เร็วที่สุด แต่หากพิจารณาการใช้งานของเครื่องชั่งน้ำหนัก จะพบว่าความเร็วไม่ได้เป็นจุดที่สำคัญ ดังนั้นในการวิจัยนี้จึงได้ออกแบบวงจรที่ทำงานโดยใช้หลักการของ Successive Approximation แต่ใช้การควบคุมโดย Software ที่ทำงานบนเครื่อง PC ดังมีผังการทำงานดังภาพที่ 2-2

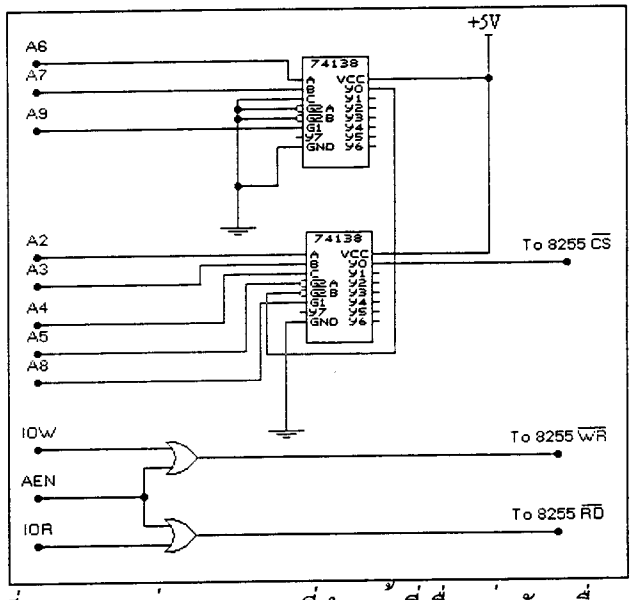


ภาพที่ 2-2 แสดงผังการทำงานของวงจรที่ออกแบบ

การทำงานของวงจรที่ออกแบบขึ้นยังคงอาศัยหลักการของ Successive Approximation แต่ในส่วนของ SAR ได้ออกแบบขึ้นใหม่ เพื่อต้องการใช้ PC ทำหน้าที่แทน โดยส่งข้อมูลผ่าน Slot มายัง DAC ขนาด 8 บิต จำนวน 2 ตัว ซึ่งทำงานร่วมกับ Summing Amplifier เพื่อแทน DAC ขนาด 16 บิต ซึ่งมีราคาแพง ในส่วนของสัญญาณ EOC ก็จะถูกส่งกลับมายัง PC เพื่อใช้บอกผลของการเปรียบเทียบ ดังนั้นหาก PC ตรวจพบว่าผลการเปรียบเทียบให้ค่าที่เท่ากัน ก็แสดงว่าค่าของข้อมูลที่ส่งไปให้กับ DAC ทั้ง 2 ตัวนั้นก็คือค่าของข้อมูล Digital ที่แทนสัญญาณ Analog Input นั่นเอง และความเร็วในการแปลงสัญญาณของวงจรที่ออกแบบ จะขึ้นกับ Algorithm ของ Software ที่ใช้ส่งข้อมูลมายัง DAC ทั้ง 2 ตัว

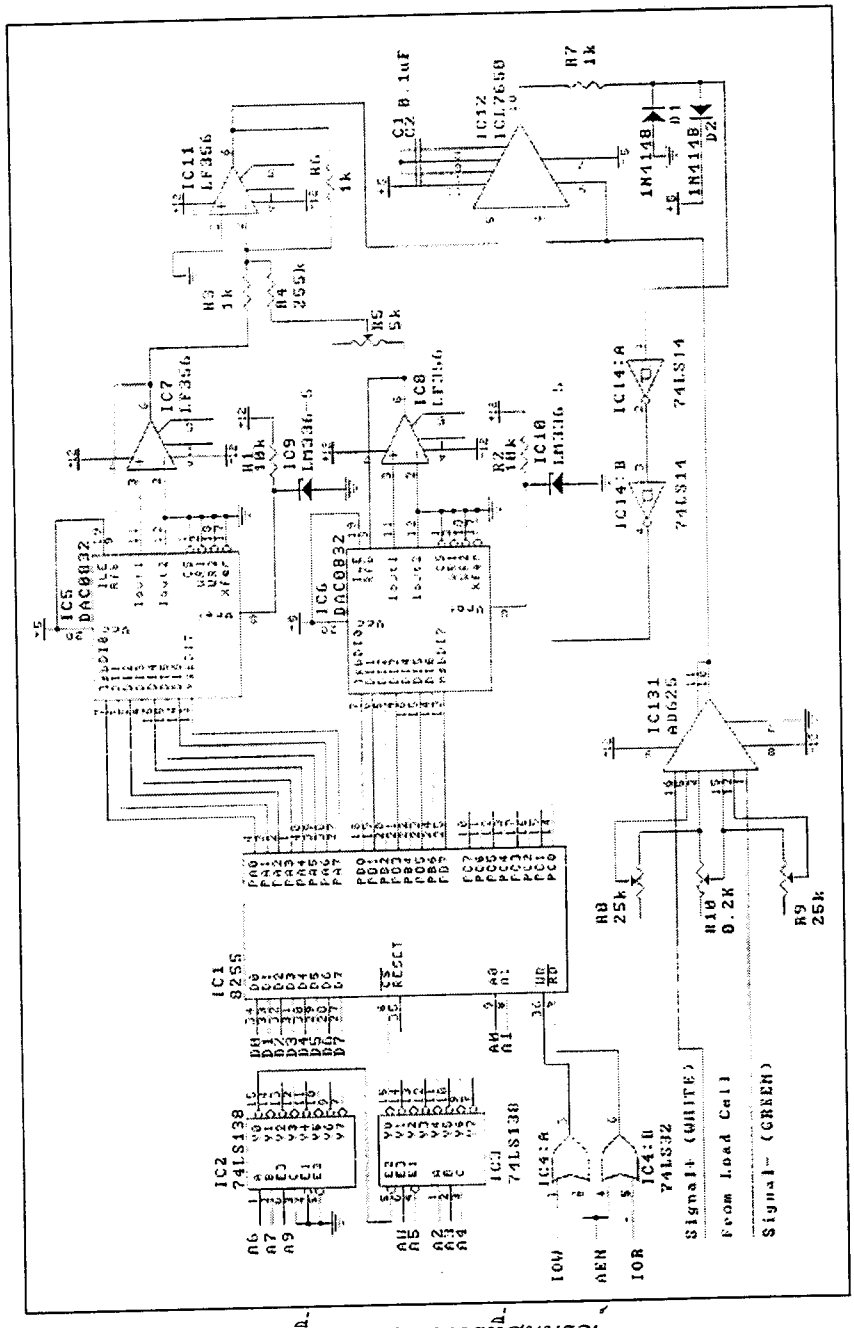
2.3 การสร้างวงจร

เนื่องจากวงจรที่ได้ออกแบบจะต้องติดต่อกับ PC โดยผ่านทาง Slot แบบ ISA และเพื่อให้วงจรสามารถจะใช้งานได้กับเครื่อง PC หลายรุ่นตั้งแต่ PC/XT เป็นต้นมา จึงจำเป็นต้องออกแบบในส่วนของการเชื่อมต่อกับ PC ให้มีขนาด 8 บิต ดังนั้นภายในวงจรจะต้องมีส่วนที่ทำหน้าที่เป็น Multiplexer ให้กับข้อมูลที่จะส่งไปให้กับ DAC ทั้ง 2 ตัว โดยเลือกใช้ 8255 Programmable Peripheral Interface มาใช้ทำหน้าที่ดังกล่าว ภาพที่ 2-3 แสดงส่วนของวงจรเชื่อมต่อกับ PC



ภาพที่ 2-3 แสดงส่วนของวงจรที่ทำหน้าที่เชื่อมต่อกับเครื่องคอมพิวเตอร์

ภาพที่ 2-4 แสดงวงจรสมบูรณ์ของวงจรแปลงสัญญาณ Analog เป็น Digital ขนาด 16 บิต ที่สร้างขึ้น



ภาพที่ 2-4 แสดงวงจรที่สมบูรณ์

2.4 การทำงานของวงจร

จากวงจรในภาพที่ 2-4 IC1 จะทำหน้าที่เป็น Multiplexer ข้อมูลให้กับ IC5 และ IC6 โดยส่งข้อมูลออกทาง Port A สำหรับ IC5 และ Port B สำหรับ IC6 ในขณะเดียวกันที่ Port C จะถูกใช้เพียง 1 บิต คือ PC0 สำหรับตรวจสอบสัญญาณ EOC สำหรับ IC2, IC3 และ IC4 ทำงานร่วมกันเป็นวงจร Decoder ให้กับ IC1 โดยมี Address ดังนี้

Port	Address
A (Upper 8 bit DAC)	300H
B (Lower 8 bit DAC)	301H
C (EOC detector ; PC0 only)	302H
8255 Control Port	303H

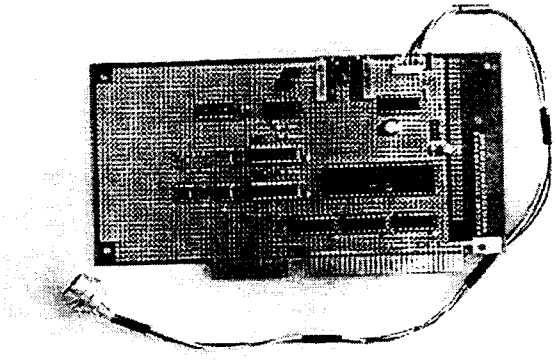
ตารางที่ 2-1 แสดง Port และ Address ของ 8255

เนื่องจาก Output ของ IC5 และ IC6 จะเป็นค่ากระแสแทนที่จะเป็นแรงดัน ดังนั้นจึงต้องใช้ IC7 และ IC8 ทำหน้าที่เป็น Current-to-Voltage Converter ให้ตามลำดับ IC11 ทำหน้าที่เป็น Summing Amplifier โดยจะรวมสัญญาณที่ได้จาก IC7 และ IC8 แต่จะทำการลดทอนระดับแรงดันที่มาจาก IC8 ลง 256 เท่าเมื่อเทียบกับสัญญาณที่มาจาก IC7 ทั้งนี้เนื่องจากต้องการให้ IC6 ทำหน้าที่เป็นตัวสร้างสัญญาณ 8 บิตล่าง และให้ IC5 ทำหน้าที่เป็นตัวสร้างสัญญาณ 8 บิตบน อัตราส่วนของการลดทอนนี้ถูกกำหนดโดย R3, R4, R5 และ R6 สำหรับ R5 นั้นจะใช้เป็นตัวปรับละเอียด จึงเจาะจงใช้ Pot แบบหมุนหลายรอบ โดยปรับให้ได้ค่า 1k Ohm จากนั้น Output ของ IC11 จะถูกต่อไปยัง IC12 ซึ่งทำหน้าที่เป็น Comparator โดย IC12 นี้จะมีการทำงานภายในเป็นแบบ Chopper-Stabilized Operational Amplifier จึงจำเป็นต้องมี C1 และ C2 เพื่อใช้สร้าง Internal Chopping Frequency มีค่าประมาณ 250 Hz. การเปรียบเทียบสัญญาณของ IC12 นี้จะให้ผลการเปรียบเทียบได้ 2 ค่าคือ มากกว่า และน้อยกว่า ไม่สามารถให้ผลการเปรียบเทียบที่เท่ากันได้ ดังนั้นตัว Software จึงจำเป็นต้องตรวจสอบจังหวะที่ Output ของ IC12 นี้เริ่มเปลี่ยนสถานะ เพื่อใช้แทนผลการเปรียบเทียบว่าเท่ากัน ส่วน D1 และ D2 ทำหน้าที่ Clamp ระดับแรงดัน Output ของ IC12 ให้อยู่ในระดับ 0-5 V. เนื่องจากต้องนำไปต่อเข้ากับ Port C ของ 8255 ซึ่งทำงานที่แรงดันระดับ TTL และ IC14 ซึ่งเป็น Inverter แบบ Schmitt Trigger ช่วยทำให้สัญญาณมีความราบเรียบก่อนที่จะส่งไปยัง Port PC0 ในส่วนของสัญญาณ Input ที่ได้จาก Load cell จะถูกขยายด้วย IC13 ซึ่งเป็น Instrument Amplifier เนื่องจากสัญญาณ Output ของ Load cell นั้นเป็นแบบ Differencial สำหรับ R8, R9 และ R10 ทำหน้าที่กำหนดอัตราการขยายให้กับ IC13 โดยกำหนดให้ Full Scale Output ของ IC13

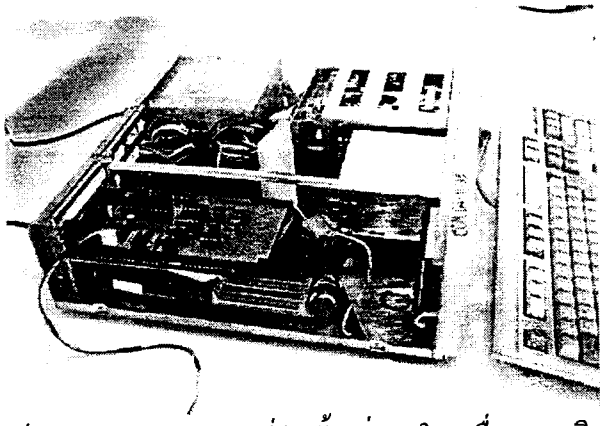
มีค่าเป็น 5 Volt. ในส่วนของ IC9 และ IC10 ทำหน้าที่กำหนดแรงดันอ้างอิงให้กับ IC5 และ IC6 ตามลำดับ

2.5 การประกอบวงจร

วงจรที่ออกแบบขึ้นจะถูกประกอบลงบน PC 8 bit Prototype Card แล้วใช้การบัดกรีเชื่อมสายสัญญาณต่างๆเข้าด้วยกัน โดยที่ IC แต่ละตัวจะมี Coupling Capacitor แบบ Tantalum ขนาดความจุ 1 uF ต่อร่วมด้วยเพื่อลดสัญญาณรบกวน ภาพที่ 2-5 แสดงวงจรที่ประกอบเสร็จแล้ว และภาพที่ 2-6 แสดงการติดตั้งภายในเครื่องคอมพิวเตอร์



ภาพที่ 2-5 แสดงแผงวงจรต้นแบบที่สมบูรณ์



ภาพที่ 2-6 แสดงแผงวงจรที่ติดตั้งอยู่ภายในเครื่องคอมพิวเตอร์

สำหรับการทดสอบวงจร ได้ใช้ Load cell ขนาดเดียวกับที่ติดตั้งอยู่ภายในระบบเครื่องชั่ง โดยมีความสามารถในการรับน้ำหนักได้ 500 กิโลกรัม และไม่ได้ต่ออยู่กับกลไกเพื่อเพิ่มความสามารถในการรับน้ำหนัก ดังนั้นค่าน้ำหนักที่ได้จาก Load cell จึงเป็นค่าน้ำหนักจริงที่ Load cell รับอยู่ ภาพที่ 2-7 แสดงภาพของ Load cell ที่ใช้ในการวิจัย

ภาพที่ 2-7 แสดง Load cell ที่ใช้ในการวิจัย