

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

เครื่องวัดเพื่อการเกษตร

Environment Meter for Agricultures



เลขหมู่.....
เลขทะเบียน **73154**
วัน,เดือน,ปี - 6 ก.ค. 2550

b. 41486134
i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2548

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องวัดเพื่อการเกษตร

Environment Meter for Agricultures



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2548

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องวัดเพื่อการเกษตร

Environment Meter for Agricultures

โดย

นายเมชาพล รักการงาน

รหัส 45010616

นายวรจิต สุวรรณเศรษฐ

รหัส 45010664

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ. ขนิษฐา แซ่ตั้ง

ปริญญาานิพนธ์สำหรับปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2548

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาโทปีการศึกษา 2548

ภาควิชาอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง เครื่องวัดสภาพแวดล้อมทางการเกษตร

ผู้จัดทำ

1. นาย เมธาพล รักการงาน รหัส 45010621

2. นาย วรจิต สุวรรณเศรษฐ รหัส 45010664



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องวัดสภาพแวดล้อมทางการเกษตร

นาย วรจิต สุวรรณเศรษฐ

นาย เมธาพล รักรากรงาน

รศ. ขนิษฐา แซ่ตั้ง (อาจารย์ที่ปรึกษา)

ปีการศึกษา 2548

บทคัดย่อ

เครื่องวัดสภาพแวดล้อมทางการเกษตรที่ได้ออกแบบขึ้นนี้ ประกอบด้วยอุปกรณ์การวัด 4 ส่วน คือ ส่วนวัดความเข้มแสงจะใช้หลักการการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานของตัวต้านทานไวแสง เมื่อมีแสงที่ความเข้มแตกต่างกันมาตกกระทบแล้วแปลงเป็นค่าศักย์ไฟฟ้าเพื่อนำไปขยายแล้วส่งต่อไปยังวงจรส่วนที่ทำงานถัดไป ส่วนการวัดอุณหภูมิจะใช้อุปกรณ์ตรวจจับอุณหภูมิ LM335 ที่มีศักดาทางขาออกเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิ และสุดท้ายคือส่วนการวัดความชื้นในดินจะใช้หลักการพื้นฐานของการเปลี่ยนแปลงค่าการเก็บประจุเมื่อความชื้นของสารไดอิเล็กตริกภายในซึ่งในที่นี้ก็คือดินมีค่าเปลี่ยนแปลงไป และนำค่าตัวเก็บประจุที่เปลี่ยนไปนี้ไปสร้างฐานเวลาสำหรับวงจรกำเนิดความถี่ ทำให้ความถี่เปลี่ยนไปตามค่าความชื้น ในส่วนของการแสดงผลและการส่งข้อมูลแบบอนุกรม การแสดงผลจะใช้การแสดงผลผ่านทางหน้าจอ LCD และมีการส่งข้อมูลแบบอนุกรมโดยผ่าน MAX-232

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Environment Meter for Agriculture

Mr. Methapol Rakkarnngarn ID. 45010621

Mr. Worajit Suwannaset ID.45010664

Advisor Assoc. Prof. Khanittha Saetang

Semester Educational Year 2005

Abstract

The environment meter for agricultures includes light intensity meter using LDR that varies resistances as light intensity varies. The signal, in the form of voltage level is amplified then inputted to other parts of circuits, temperature meter uses LM335 as a temperature sensor which increase output voltage with increasing temperature. Soil humidity meter shows humidity level corresponded to capacitance values that vary as the dielectric values changes. The timing base generated from difference capacitance is used for frequency generator circuit that shows the difference frequencies corresponded to the soil humidity. In monitoring LCD is used for show the sensor's value and MAX-232 is used for series data.

ปีการศึกษา 2548

กิตติกรรมประกาศ

ผู้จัดทำขอขอบพระคุณ รศ. ขนิษฐา แซ่ตั้ง ที่ได้คอยให้คำปรึกษาที่ได้ให้แนวทางและคำแนะนำต่างๆ คุณพ่อคุณแม่ที่เป็นกำลังใจเสมอมา รศ.สุมิตรา ภู่วโรดม ผศ. พรทิwa ภัฏยวงศ์หา นางสาว นุจรี บุญแปลง จากภาควิชาปรัชญาวิทยา คณะเทคโนโลยีการเกษตร และศูนย์วิจัยอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ ที่เอื้อเฟื้ออุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง หากมีข้อผิดพลาดใดๆ ผู้จัดทำขออภัยมา ณ ที่นี้ด้วย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

บทที่	หน้า
สารบัญรูปภาพ	
บทที่ 1 สภาพแวดล้อมเพื่อการเกษตร	1
บทที่ 2 ปัจจัยการเกษตรที่มีผลต่อพืช	3
ความเข้มแสง	3
อุณหภูมิ	5
ความชื้นในดิน	6
บทที่ 3 กระบวนการออกแบบ	9
วงจรวัดอุณหภูมิ	9
วงจรวัดแสง	16
วงจรวัดความชื้นในดิน	20
แปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตอล	21
ทฤษฎีพื้นฐานของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51	28
การติดต่อกับโมดูล LCD ของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51	31
การอินเตอร์เฟสโดยพอร์ต RS-232	33
บทที่ 4 ผลการทดลองและสรุปผล	35
การทดลองวัดความเข้มแสง	35
การทดลองวัดอุณหภูมิ	38
การทดลองวัดความชื้นในดิน	41
บทที่ 5 สรุปและปัญหาในการทดลอง	44
ภาคผนวก ก. โพรเซดท์การทำงานแสดงผลและส่งข้อมูล	48
ภาคผนวก ข. โปรแกรมที่ใช้ในการทำงาน	49
ภาคผนวก ค. คัด้าชีวิตไอทีที่สำคัญ	58

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

บรรณานุกรม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

หัวข้อ	หน้า
รูปที่ 1 วงจรแหล่งจ่ายศักดาไฟฟ้า	9
รูปที่ 2 วงจรเทอร์โมคัปเปิลพื้นฐาน	10
รูปที่ 3 ลักษณะรูปร่างและการต่อขาของ LM335	11
รูปที่ 4 วงจรวัดอุณหภูมิ	12
รูปที่ 5 วงจรวัดอุณหภูมิ	13
รูปที่ 6 การต่อใช้งานวงจรตัวต้านแรงดันอ้างอิง 2.5 โวลต์	14
รูปที่ 7 วงจรอินสตรูเมนต์แอมป์	15
รูปที่ 8 วงจรวัดความเข้มแสง	16
รูปที่ 9 โครงสร้างของ LDR	16
รูปที่ 10 วงจรเปรียบเทียบแรงดัน	17
รูปที่ 11 กราฟแสดงวงจรเปรียบเทียบแรงดัน	17
รูปที่ 12 วงจรขมิททริกเกอร์	18
รูปที่ 13 กราฟฮิสเตอร์รีซิส	18
รูปที่ 14 วงจรคิฟเฟอร์เรนเซียลแอมป์	19
รูปที่ 15 วงจรการใช้ทรานซิสเตอร์เป็นสวิตช์	19
รูปที่ 16 วงจรวัดความชื้นในดิน	20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อ	หน้า
รูปที่ 17 วงจรสร้างความถี่	21
รูปที่ 18 วงจรเปลี่ยนความถี่เป็นสัปดาห์ไฟฟ้า	21
รูปที่ 19 สัญญาณที่ถูกลบ	23
รูปที่ 20 บล็อกไดอะแกรมของ ADC0808	26
รูปที่ 21 ไทม์มิงไดอะแกรมของ ADC0808	26
รูปที่ 22 การเชื่อมต่อไมโครคอนโทรลเลอร์กับ ADC0808	28
รูปที่ 23 แสดงโครงสร้างแต่ละขาของ MCS-51	30
รูปที่ 24 การเชื่อมต่อกับ LCD	32
รูปที่ 25 แสดงระบบการเชื่อมต่อของแต่ละส่วน	33
รูปที่ 26 การต่อใช้การส่งสัญญาณแบบอนุกรม	34
รูปที่ 27 วงจรวัดความเข้มแสง	35
รูปที่ 28 กราฟระหว่างแรงดันและความเข้มแสง	37
รูปที่ 29 วงจรวัดอุณหภูมิ	38
รูปที่ 30 กราฟระหว่างแรงดันและอุณหภูมิ	40
รูปที่ 31 วงจรวัดความชื้นในดิน	41
รูปที่ 32 กราฟระหว่างแรงดันและความชื้นในดิน	43
รูปที่ 33 วงจรส่งข้อมูลผ่านทางพอร์ตอนุกรม	44
รูปที่ 34 ผลการทดลองส่งข้อมูลแบบอนุกรม	45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

สภาพแวดล้อมการเกษตร

ในปัจจุบันประเทศไทยถือเป็นประเทศกำลังพัฒนาทั้งทางเกษตรกรรมและอุตสาหกรรมแต่ว่าการเกษตรก็ยังสามารถทำได้ให้ประเทศมากมายและในการที่จะทำให้ผลผลิตทางการเกษตรของเราได้ผลผลิตที่มีคุณภาพและได้มาตรฐานจะมีปัจจัยหลายๆอย่างที่มากควบคุมผลผลิตการเกษตรของเราให้ได้ผลตามที่เรต้องการ สภาพแวดล้อมขณะที่ทำการเกษตรจะเป็นสิ่งสำคัญที่จะทำให้ผลผลิตทางการเกษตรกรรมได้ผลออกมาดีที่สุดยกตัวอย่างเช่นความชื้นจะส่งผลเกี่ยวกับคายน้ำของพืช แสงจะส่งผลเกี่ยวกับการสังเคราะห์แสงของพืชถ้าพืชได้รับแสงมากจะส่งผลให้พืชใบเหลืองและอาจทำให้พืชใบไหม้ได้ อุณหภูมิจะส่งผลถึงการสังเคราะห์แสงและการคายน้ำของพืช ดินที่มีความชื้นและชนิดที่ต่างกันจะส่งผลเกี่ยวกับการเจริญเติบโตของพืช และในสภาวะปัจจุบันการขาดแคลนน้ำเป็นสิ่งสำคัญถ้าเราทราบความชื้นในดินจะทำให้เราสามารถควบคุมการรดน้ำซึ่งจะช่วยในการประหยัดน้ำซึ่งสามารถช่วยประหยัดน้ำและรายจ่ายของเกษตรได้อีกด้วย ปุ๋ยจะช่วยให้พืชเจริญเติบโตและติดดอกออกผลได้มากขึ้น ความเข้มของก๊าซชนิดต่างๆจะส่งผลต่อการสังเคราะห์แสงของพืช ดังนั้นในการทำการเกษตรจึงควรที่จะต้องมีเครื่องมือมาตรฐานมาทำการวัดเพื่อตรวจสอบซึ่งในปัจจุบันอุปกรณ์ที่นำมาวัดมาตรฐานเหล่านี้จะถูกนำเข้ามาจากต่างประเทศซึ่งนอกจากราคาแพง หาซื้อและใช้งานได้ยากแล้วยังมีคุณสมบัติไม่ตรงกับความต้องการของเกษตรกรดังนั้นโครงการจึงได้คิดเครื่องมือที่นำมาตรวจสอบสภาวะแวดล้อมทางการเกษตรหลักๆที่มีผลต่อพืชโดยที่สามารถทำได้ในราคาที่ไม่แพงจนเกินไป สามารถทำได้เองโดยใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์พื้นฐาน และยังสามารถกำหนดคุณสมบัติของตัวอุปกรณ์ตามความต้องการของผู้ใช้ได้ โดยในโครงการฉบับนี้ได้เสนอการทำเครื่องวัดอุณหภูมิ เครื่องวัดความเข้มแสง เครื่องวัดความชื้นในดิน และเครื่องวัดความชื้นในอากาศ

โดยอุปกรณ์เครื่องวัดนี้จะมีหลักการคร่าวๆดังนี้การเครื่องวัดความเข้มแสง โดยจะใช้หัววัดเป็น LDR ซึ่งจะใช้หลักการว่า เมื่อมีความเข้มแสงมาตกกระทบเปลี่ยนตัว LDR จะมีความต้านทานเปลี่ยนไป เราเลยนำเอาคุณสมบัตินี้มาใช้งาน โดยการต่อเข้ากับ วงจรขยายแบบ Non inverting โดยต่อ LDR เป็นตัวควบคุมอัตราขยายเมื่อความต้านทานของ LDR เปลี่ยนไปจะทำให้ อัตราขยายมีการเปลี่ยนไปด้วย ซึ่งเราจำนำค่าเอาท์พุทนี้มาปรับแต่งกับเครื่องวัดแสงต่อไป

เครื่องวัดอุณหภูมิ เราจะใช้หลักการของเซ็นเซอร์ไอโอดที่มีหลักการว่าเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนไปจะทำให้แรงดันเบรคควานมีการเปลี่ยนไปโดยเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนไป 1°C จะทำให้มีค่าแรงดันเอาท์พุท ออกมาเพิ่มประมาณ 10mV ในโครงการนี้เราจะนำหลักการนี้มาใช้โดย เราจะต่อ ค่าแรงดันคงที่ที่ 0°C มาเปรียบเทียบกับโดยเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนไป 1°C จะทำให้มีค่าแรงดันเอาท์พุท ออกมาเพิ่มประมาณ 10 มิลลิโวลท์ ซึ่งเราจะนำค่าเอาท์พุทนี้มาปรับแต่งกับเทอร์โมมิเตอร์ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องวัดความชื้นในดิน เราจะใช้หลักการว่าดินที่มีความชื้นต่างกันจะมีค่าไดอิเล็กตริกต่างกัน ซึ่งทำให้ค่าของตัวเก็บประจุเปลี่ยนและเรานำค่าของตัวเก็บประจุที่เปลี่ยนแปลงนี้ไปใช้ในวงจรกำเนิดความถี่โดยใช้ LM555

ในส่วนของการแสดงผลและการส่งข้อมูลแบบอนุกรม การแสดงผลจะใช้การแสดงผลผ่านทางหน้าจอ LCD และมีการส่งข้อมูลแบบอนุกรมโดยผ่าน MAX-232 เพื่อไปเข้าคาส์ล็อกเกอร์

ในการทำเครื่องวัดสภาพแวดล้อมทางการเกษตร โดยเริ่มจากการออกแบบวงจรต่างๆ ได้แก่ วงจรตรวจจับอุณหภูมิ วงจรวัดความเข้มแสง วงจรวัดความชื้นในดิน วงจรวัดความชื้นในอากาศ และทำการปรับแต่งค่าของวงจรให้ถูกต้อง และทำการกัด Printed circuit board และเตรียมในส่วนของการประมวลผล แสดงผล และส่งข้อมูลแบบอนุกรมเพื่อเตรียมนำไปประยุกต์ใช้งานต่อไป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ปัจจัยทางการเกษตรที่มีผลต่อพืช

ปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช โดยหลักๆที่เราสามารถทำการวัดได้โดยไม่ยุ่งยาก ซับซ้อนมากนักก็มีอยู่หลักๆ 4 ชนิดด้วยกันนั่นก็คือ ความเข้มแสง อุณหภูมิ ความชื้นในดิน และความชื้นในอากาศโดยปัจจัยต่างๆนั้นก็จะมีผลต่อพืชทั้ง ทางตรงและทางอ้อมดังนี้

2.1 ความเข้มแสง

ปัจจัยเกี่ยวกับอุณหภูมิที่มีผลมากที่สุดต่อการพัฒนาการของพืช โดยเฉพาะต้นไม้ที่มีการปลูกแยกเป็นต้นๆก็คือแสงอาทิตย์ พืชจะได้รับพลังงานจากแสงอาทิตย์เพื่อเปลี่ยนเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ให้เป็นคาร์โบไฮเดรต และเพื่อสร้างอินทรีย์สารอื่นๆ รวมทั้งโปรตีนและวิตามิน ความแตกต่างของการรับแสง จะขึ้นอยู่กับผลที่ได้รับจากแสงที่ส่องมาโดยตรง (Direct radiation) และที่แพร่กระจายออกมา (Diffuse radiation) รวมทั้งแสงที่สะท้อนออกมาจากสิ่งที่อยู่รอบพืชแสงโดยตรงและแสงจากการแพร่กระจายจะอยู่ในรูปคลื่นสั้นส่วนแสงที่สะท้อนจากรอบด้านจะอยู่ในรูปคลื่นยาว การที่พืชได้รับแสงใดมากหรือน้อย ก็ย่อมขึ้นกับตัวพืชเอง โดยทั่วไปจะพิจารณาอิทธิพลของแสงที่มีต่อพืชรวมถึงไม้ผลเขตร้อนในแง่ของความเข้ม คุณภาพ ช่วงเวลาที่ได้รับแสง ประสิทธิภาพของการให้พลังงานแสงในการสร้าง น้ำหนักแห้ง และผลผลิตที่เก็บเกี่ยวที่ได้ระหว่างพืชในเขตอุณหภูมิต่างๆ พบว่าความแตกต่างในการสร้าง น้ำหนักแห้งของพืช จะเกิดได้ในเขตอุณหภูมิต่างกัน จะพบว่าในเขตหนาว ที่มีความผันแปรของฤดูกาลมากที่สุดจะได้รับพลังงานแสงมากที่สุดในฤดูร้อนเกือบ $500 \text{ cal/cm}^2/\text{day}$ ในระยะเวลา 16 hour/day ในขณะที่ฤดูหนาวได้รับแสงต่ำสุดเพียง $50 \text{ cal/cm}^2/\text{day}$ ส่วนในเขตกึ่งร้อนจะได้รับพลังงานแสงอาทิตย์ สูงตลอดปีแต่ก็ยังมีผลจากฤดูกาลอุณหภูมิในตอนกลางวัน ปกติจะมากกว่า 20 องศาเซลเซียสตลอดปี แต่อุณหภูมิกลางคืนอาจลดลงเหลือเพียง 5 องศาเซลเซียส ในเขตร้อนชื้นและในเขตร้อนชื้นจะมี ความยาววันคงตัว 12 ชั่วโมงจะมีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิและฤดูกาลน้อยมากแต่ขณะที่มีเมฆฝน บนฟ้า อาจบังแสงไว้บ้างทำให้ได้รับพลังงานลดลงเช่นในสิงคโปร์ วันที่ท้องฟ้าโปร่ง พลังงานส่องแสงมายังผิวโลก $400\text{-}500 \text{ cal/cm}^2/\text{day}$ ขณะที่อาจลดลงเหลือเพียง $250\text{-}300 \text{ cal/cm}^2/\text{day}$ เท่านั้นดังนั้น จะเห็นว่า ในเขตร้อนพืชจะสร้างอาหารสะสมเก็บไว้ได้มากกว่าในเขตอื่นๆ อิทธิพลของแสงต่อ ไม้ผลเขตร้อนแยกพิจารณาเป็น 2 ด้านคือ ด้านกายภาพและด้านสรีรวิทยา

2.1.1 ด้านกายภาพ

2.1.1.1 ปริมาณความเข้มแสง หมายถึงความเข้มแสงที่พืชได้รับซึ่งจะแปรผัน โดยตรงกับพลังงาน ยิ่งมีความเข้มมากจะยังมีพลังงานสูง โดยเขตกึ่งร้อนจะมี ค่าพลังงานเท่ากับ 8 GJ/m^2 ในเขตร้อนชื้นมี ประมาณ 5 GJ/m^2 แสงอาทิตย์ในปริมาณมากเหล่านี้ นอกจากจะมีผลโดยตรงต่อการสังเคราะห์แสง โดยตรงแล้ว ยังมีผลต่อการเพิ่มอุณหภูมิของอากาศ พืช และผิวดิน ทำให้ปฏิกิริยาต่างๆภายในต้นพืชเกิด ได้เร็วขึ้น การคายน้ำเร็วขึ้น ซึ่งอาจมีผลกระทบทำให้เกิดความแห้งแล้งของพื้นที่อย่างรวดเร็ว และต้นไม้ ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใช้น้ำมากกว่าปกติ รวมทั้งการสะสมอาหารจะลดลงด้วย พบว่า การที่มีความเข้มของแสงสูงทำให้ขนาดของใบมะละกอเล็กลง และความหนาของใบมากขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับใบไม้ที่ได้รับความเข้มแสงต่ำกว่า

2.1.1.2 คุณภาพ ในสภาพที่อากาศปราศจากมลภาวะ สัดส่วนของพลังงานแสงอาทิตย์ในช่วงคลื่นต่างๆที่ส่องมายังพื้นโลก จะมีส่วนที่เป็นประโยชน์ต่อการสังเคราะห์แสงคือในช่วง 0.4-0.7 ไมโครเมตรคือประมาณครึ่งหนึ่งที่เหลือแม้ไม่ได้ใช้ประโยชน์ในการสังเคราะห์แสงแต่จะถูกนำไปใช้ในกระบวนการที่ถูกกระตุ้นโดยแสง อื่นๆ ซึ่งไม่จำเป็นต้องมีความเข้มแสงมากนัก อย่างไรก็ตามหากมีสิ่งต่างๆมาบังแสงที่ส่องลงมายังผิวโลกเช่น เมฆ หมอก ไอน้ำ ตลอดจนการบดบังแสงจากพืชที่มีพุ่มสูงใหญ่ก็อาจทำคุณภาพของแสงอาทิตย์ที่พืชได้รับเปลี่ยนแปลงไปได้อันส่งผลกระทบต่อการเจริญเติบโตรูปร่างลักษณะ วงจรชีวิตด้วย

2.1.2 ด้านสรีระ

นอกจากจะควบคุมพัฒนาการของพืชโดยช่วงแสงและควบคุมการหันเหและยึดตัวของกิ่งและใบพืช โดยแสงในบางช่วงคลื่นแล้ว หน้าที่ที่สำคัญของแสงอีกประการหนึ่ง คือ การจัดหาพลังงานให้กับระบบ การสังเคราะห์แสงของพืช โดยทั่วไประบบการสังเคราะห์แสงของพืชเท่าที่ค้นพบ แบ่งเป็น 3 ระบบใหญ่ๆ คือ C_3 C_4 และ CAM พบว่าในไม้ผลเขตร้อนเกือบทุกชนิดมีการสังเคราะห์แสงแบบ C_3 ยกเว้นสับปะรด กับตะบองเพชร ที่เป็นแบบ CAM แม้ว่าในระบบ C_3 จะใช้พลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพน้อยกว่า C_4 เมื่อมีแสงมากเกินไปแต่ไม้ผลเขตร้อนหลายชนิดมีลักษณะการกระจายของใบในทรงพุ่มที่ดี ทำให้ประสิทธิภาพการใช้แสงต่อหน่วยสูงเป็นที่น่าพอใจ

ในกรณีที่แสงมีปัจจัยจำกัด คือ มีแสงน้อยจะต้องพยายามให้แสงที่มีอยู่นั้นมีประโยชน์นั่นก็คือให้อัตราส่วนระหว่างพลังงานที่สะสมไว้ โดยการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ต่อพลังงานที่ดูดซับไว้ โดยกระบวนการสังเคราะห์แสงมีค่ามากที่สุด

พืช ต้องการแสงสว่างเพื่อนำไปใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสง โดยใช้คลอโรฟิลล์เป็นตัวสังเคราะห์แสง ความเข้มของแสง (Light intensity) นี้จะมีผลต่อกระบวนการสังเคราะห์แสงของพืช การโดยปกติพืชจะไม่เริ่มกระบวนการสังเคราะห์แสงทันทีที่ได้รับแสงสว่าง ทั้งนี้เพราะพืชต้องการแสงที่มีความเข้มแสงที่มากพอ จึงสามารถสังเคราะห์คาร์โบไฮเดรต ปัจจัยที่มีผลต่อความเข้มแสงแดดที่พื้นผิวโลกได้รับประกอบด้วย

1. ช่วงเวลาในแต่ละวัน
2. ฤดูกาล
3. คุณภาพของบรรยากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 อุณหภูมิ

อุณหภูมิ มีผลต่อการเจริญเติบโตของพืช อุณหภูมิที่เหมาะสมจะทำให้พืชเจริญเติบโต ออกดอก และผลิตผลดี อุณหภูมิจึง เป็นปัจจัยสภาพดินฟ้าอากาศที่สำคัญมากเช่นเดียวกับแสงสว่าง ถึงแม้ใน ขบวนการที่กล่าวกันว่าแสงเป็นตัวกระทำทำให้ Chlorophyll active ทำให้พืชสามารถสังเคราะห์แสงได้ นั้น ถ้าหากมีเฉพาะแสงเพียงปัจจัยเดียวโดยไม่สนใจอุณหภูมิแล้ว ขบวนการนี้ก็ไม่สามารถดำเนินการได้ สมบูรณ์

- อิทธิพลของอุณหภูมิมิผลอย่างมากมายต่อการเจริญเติบโตของพืช เช่น
- อุณหภูมิมีอิทธิพลต่ออัตรา (Metabolism) กล่าวคือ ถ้าอุณหภูมิเพิ่มขึ้นพืชจะมีอัตราการเมแทบอลิซึม เพิ่มขึ้น
- อุณหภูมิมีผลต่อการเพิ่มการหายใจ กล่าวคือ เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นอัตราการหายใจจะเพิ่มขึ้น
- อุณหภูมิมีผลต่อการออกดอกของพืช โดยที่พืชจะออกดอกเมื่อได้รับอุณหภูมิที่เหมาะสม

จำเพาะ

- อุณหภูมิมีผลต่อการละลายธาตุอาหารของพืชภายในดิน
- อุณหภูมิมีผลต่อการเนาเปื่อยของอินทรีย์วัตถุ ถ้าอุณหภูมิสูงขึ้นอัตราการเนาเปื่อยจะดีขึ้น

ผลของอุณหภูมิที่มีผลต่อพืชปลูกในเขตร้อนนั้น โดยทั่วไปจะไม่เด่นชัดนักเนื่องจากอุณหภูมิใน เขตร้อน โดยเฉพาะบริเวณเส้นศูนย์สูตรค่อนข้างคงตัวกับวันในเขตภูเขาสูงเท่านั้นบริเวณที่มีอุณหภูมิผัน แปรมากที่สุด ในเขตร้อนที่มีการปลูกไม้ผลคือ บริเวณทุ่งหญ้าสะวันนา ติดต่อกับเขตกึ่งร้อนแต่ก็ยังมี ความแตกต่างของอุณหภูมิในรอบปีไม่เกิน 7°C ผลของอุณหภูมิต่อพืชทางด้าน การเจริญเติบโตอาจ แบ่งเป็น 2 แนวทางคือ ด้านทางกายภาพและทางสรีรวิทยา

2.2.1 ด้านกายภาพ

ผลของอุณหภูมิต่อไม้ผลเขตร้อนในด้านกายภาพนั้นสำหรับในบริเวณศูนย์สูตรซึ่งอุณหภูมิ ค่อนข้างสม่ำเสมอตลอดปี ผลของอุณหภูมิสูงจะทำให้พืชมีการคายน้ำมากขึ้นและมีการระเหยน้ำออกจาก แปลงปลูกพืชมากขึ้นด้วยเช่นเดียวกัน ในบางส่วนของไม้ผล ที่ได้รับแสงแดดจัดเป็นเวลานานกระทั่งทำ ให้อวัยวะที่ค่อนข้างอ่อนมีน้ำมากเกิดอาการผิดปกติ เช่น ใบไหม้, ใบกรอบ ในใบอ่อนและผล

โดยทั่วไปเราแบ่งพืชตามความทนทานต่อความร้อนเป็น 2 ระดับคือพวกที่ไวต่อความร้อนซึ่ง ปกติจะเป็นอันตรายเมื่ออุณหภูมิสูงกว่า $30-50^{\circ}\text{C}$ ซึ่งพบในพืชที่อยู่ในร่มและพวกที่มีใบอ่อนนุ่ม ส่วนใน พืชที่ขึ้นในเขตร้อนที่แดดจ้า อาจทนได้ถึง 60°C ในระยะสั้น แม้ว่าโดยทั่วไปพืชในเขตร้อนจะมีการ ปรับตัวให้ทนต่ออากาศร้อนแต่ก็อาจเป็นอันตรายเมื่อมีอุณหภูมิสูงเกินไป โดยเฉพาะเมื่อมีการคายน้ำเพื่อ ลดอุณหภูมิอย่างมากและต่อเนื่องเป็นเวลานานอาจเกิดการขาดน้ำได้กับต้น ไม้ผลที่ปลูกใหม่ซึ่งระบบราก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ยังไม่แข็งแรงพอ นอกจากนี้การได้รับความร้อนสูง อาจเกิดการ ช็อค โดยเกิดการแปรสภาพของโปรตีน และทำให้มมเบรนเสียหาย ในที่สุดพืชจะตาย

2.2.2 ด้านสรีรวิทยา

พืชเขตร้อนส่วนใหญ่จะชะงักการเจริญเติบโตไปในที่สุดเมื่ออุณหภูมิในพืชนั้นลดลงต่ำกว่า 10°C ไม้ผลเขตร้อนบางชนิดเช่น ทูเรียน เงาะ มังคุด จะทนต่อสภาพอากาศเย็นได้น้อยกว่า ไม้ผลเขตร้อนชนิดอื่น เช่น มะม่วงกับ พุทรา ที่มีแหล่งกำเนิดอยู่ไกลจากเส้นศูนย์สูตรมาก

กระบวนการทางสรีรวิทยาของพืชนั้นขึ้นอยู่กับระดับของอุณหภูมิเป็นอย่างมากหากอุณหภูมิสูงหรือต่ำจนเกินไปอาจทำลายเนื้อเยื่อของพืชได้ อุณหภูมิสูงจะทำให้เนื้อเยื่อเสียหาย เกิด การเสียหายจากความร้อนขึ้นส่วนอุณหภูมิต่ำนั้นจะเกิดความเสียหายที่เรียกว่า chilling injury ซึ่งระดับอุณหภูมิที่ทำให้เกิดความเสียหายนี้จะอยู่ตั้งแต่ต่ำกว่า 12°C ลงไปขึ้นกับชนิดของพืช และระยะเวลาที่พืชได้รับอุณหภูมินั้น ซึ่งต่างกับพืชในเขตหนาว ที่จะเป็อันตรายเป็นต่อเมื่ออุณหภูมิต่ำกว่าจุดเยือกแข็ง ความรู้สึกที่ไว (Sensitive) ต่อระดับอุณหภูมิต่ำของไม้ผลร้อน ทำให้นักวิทยาศาสตร์บางท่านจัดแบ่งพืชออกเป็น 2 กลุ่ม คือพวกที่อ่อนแอ และพวกที่มีความต้านทานซึ่งเป็นผลมาจากการทนต่อสภาพความเย็น เช่น กัลยทูเรียน ไม่ทนต่อสภาพความเย็นต่างกับพืชบางชนิดเช่นส้ม อินทผลับ ทนต่ออากาศเย็นและจะมีคุณภาพดีเมื่อได้รับช่วงอากาศเย็นสลับร้อน

2.3 ความชื้น (Moisture)

ความชื้นหมายถึง ไอน้ำหรือน้ำที่ผสมหรือปะปนอยู่ในสารต่างๆ เช่นความชื้น ในอากาศ หมายถึงไอน้ำที่ปนอยู่ในอากาศผสมปะปนอยู่กับก๊าซความชื้นของดิน หมายถึงไอน้ำหรือน้ำที่มีอยู่ในดิน

2.3.1 ความชื้นในดิน (Soil moisture)

ในรูปแบบต่างๆของน้ำในดินค่อนข้างซับซ้อน จะ แปรจากสภาพที่เคลื่อนไหวได้อย่างอิสระจนถึงสภาพที่จับยึดแน่นกับผิวของอนุภาคดิน อาจแบ่งได้ 3 ชนิดใหญ่ๆ ได้แก่ น้ำซึม (Gravitational water), น้ำซับ (Capillary water) น้ำเยื่อ (Hygroscopic water) รวมทั้งน้ำในดินที่ยังอยู่ในรูปของไฮเดรชัน คือ องค์ประกอบของไฮเดรตออกไซด์เช่น เหล็ก อลูมิเนียม ซิลิกอน ซึ่งยากต่อการแยกออกและพืชไม่สามารถนำไปใช้ได้

น้ำซึม (Gravitational water)

หลังจากฝนตกหนักหรือมีการให้น้ำที่ผิวดิน จนกระทั่งอิมตัวด้วยน้ำน้ำส่วนเกินจะไหลลงสู่ดินชั้นล่างด้วยแรงโน้มถ่วงของโลก ทำให้ไม่เกิดน้ำท่วมขังในดินชั้นบนเรียกว่า น้ำซึม(Gravitational water) สำหรับน้ำที่อยู่ต่ำกว่าระดับน้ำใต้ดินลงไปเรียกว่าน้ำใต้ดิน (Ground water) เมื่อน้ำจากผิวดินซึมลงไปถึงระดับใต้ดิน จะหยุดการเคลื่อนที่ในแนวตั้ง และเข้ารวมตัวกับน้ำใต้ดินจะรวมตัวกับน้ำซึ่งเคลื่อนที่อยู่ในแนวราบจนกระทั่งไปรวมอยู่ ณ ที่ใดที่หนึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้ำซึบ (Capillary water)

น้ำซึบมีความสำคัญต่อพืช เนื่องจากส่วนใหญ่ของน้ำที่พืชดูดไปใช้มาจากน้ำซึบ น้ำซึบจะคงอยู่ระหว่างเม็ดดิน ไม่ถูกแรงดึงดูดไปสู่ชั้นดินข้างล่าง โดยเฉพาะอิทธิพลความหนาของชั้นน้ำภายในช่องว่างของดิน หากหนามากจะเคลื่อนที่ได้ง่าย แต่ถ้าบางมากจะถูกยึดติดกับอนุภาคดิน ดังนั้นเนื้อดินใดมีความสำคัญเช่น ดินที่มีเนื้อละเอียด จะมีช่องว่างมากกว่าดินที่เนื้อหยาบแต่ช่องว่างมักจะมีขนาดเล็ก ซึ่งทำให้การเคลื่อนที่ของน้ำถูกจำกัด การเคลื่อนที่ในแนวนอนของน้ำซึบจึงมีไม่มากดังนั้นในการให้น้ำแก่พืชที่ปลูกในดินเนื้อละเอียด จึงต้องให้ใกล้กับราก ในเขตแห้งแล้งพืชหลายชนิดจะใช้น้ำจากในบริเวณนี้เนื่องจากมีรากลึก แต่การที่พืชจะหยั่งรากได้ลึกนั้น ดินชั้นล่างต้องมีอากาศพอเพียงกับการหายใจของรากด้วย

น้ำเยื่อ (Hygroscopic water)

น้ำเยื่อเป็นน้ำที่เกาะแน่นกับอนุภาคดินจะไม่แยกออกจากดินง่าย ๆ ยกเว้นแห้งแล้งมากๆ จึงมีประโยชน์ต่อพืชน้อย

ความจุความชื้นในสนาม(Field Capacity)

คือ จำนวนน้ำที่คงค้างอยู่ในดิน หลังจากน้ำซึมไหลผ่านไปแล้ว และยังไม่มีการสูญเสียน้ำจากดินด้วยกระบวนการอื่นๆ น้ำในส่วนของความจุความชื้นในสนามเป็นน้ำที่ถูกดูดซับอยู่ในรูพรุนน้ำซึบและอยู่ในช่องว่างต่างๆ ในดิน ค่าความจุความชื้นในสนามเป็นดัชนีชี้ให้เห็นว่าดินสามารถรับน้ำได้สูงสุดเท่าใด และยังใช้คำนวณหาปริมาณน้ำชลประทานให้แก่พืชได้

การเหี่ยวชั่วคราวและการเหี่ยวถาวร

ตามปกติพืชจะได้น้ำส่งที่ต้นตลอดเวลาหากไม่มีฝนตกลงมาความชื้นในดินก็จะลดลงเรื่อยๆ จนถึงจุดหนึ่ง อัตราการดูดน้ำจะน้อยกว่าอัตราการคายน้ำ ทำให้ สมดุลของน้ำในต้นพืชเป็นลบ พืชจะแสดงอาการตอบสนองโดยการเหี่ยวของใบ และปากใบ เพื่อช่วยระงับการสูญเสียน้ำอาการนี้เรียกว่าการเหี่ยวชั่วคราว(Temporary wilting) เพราะตราบไตที่พืชยังมีน้ำเพียงพอสมดุลน้ำในพืชก็จะกลับมาเป็นปกติได้อีกในเวลาเย็นหรือกลางคืน แต่หากในเวลากลางวันพืชยังได้รับแสงจ้าเหมือนเดิมการเหี่ยวของพืชจะเกิดต่อเนื่อง และไม่สามารถฟื้นคืนสู่สภาพปกติได้ ภาวะนี้เรียกว่า จุดเหี่ยวถาวร (Permanent wilting) ไม้ยืนต้นและไม้ล้มลุกที่เกิดการเหี่ยวอย่างถาวรจะตายใน 2 อาทิตย์แต่ไม้พุ่มและหญ้าจะทนได้ดีกว่า

ความชื้นในดินหมายถึง น้ำที่มีปะปนอยู่ในอนุภาคของดิน และจะมีผลโดยตรงต่อพืชที่อยู่บนดินนั้น เพราะความชื้นในดินจะเป็นแหล่งน้ำแหล่งเดียวของพืชที่จะสามารถดูดและนำไปใช้ได้ และความชื้นในดินจะมีผลทางอ้อมต่อสิ่งมีชีวิตอื่นๆ ในโลกและต่อสภาพแวดล้อม

- ความชื้นในดินมีอิทธิพลต่อดินดังนี้
- ควบคุมการระเหยน้ำของดิน
- ควบคุมปริมาณน้ำในต้นพืช และควบคุมอุณหภูมิภายในต้นพืช
- ควบคุมการแพร่กระจายและการหยั่งรากของพืช
- ควบคุมปริมาณน้ำในต้นพืช
- ช่วยให้อินทรีย์วัตถุในดินเน่าเปื่อยได้ดี
- ความชื้นในดินจะเป็นตัวทำลายธาตุอาหารที่มีประโยชน์ของต้นพืช

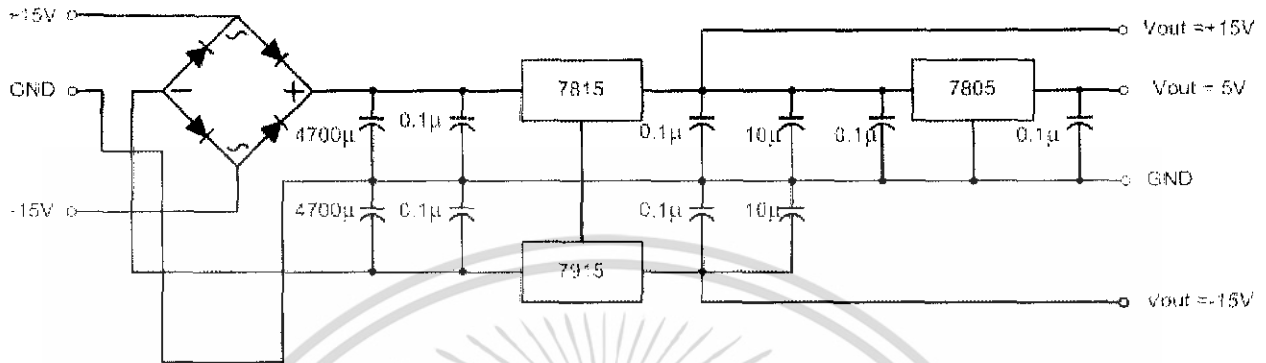


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

กระบวนการออกแบบ

3.1 วงจรแหล่งจ่ายตัดดาไฟฟ้า



รูปที่ 1 วงจรแหล่งจ่ายตัดดาไฟฟ้า

จากวงจรดังรูปเราจะได้อัลดักดาเอาท์พุท

จาก 7815 เราจะได้ตัดดาทางขาออกคือ 15 โวลท์

จาก 7915 เราจะได้ตัดดาทางขาออกคือ -15 โวลท์

จาก 7805 เราจะได้ตัดดาทางขาออกคือ 5 โวลท์

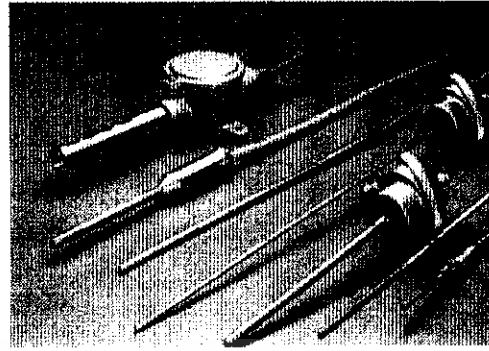
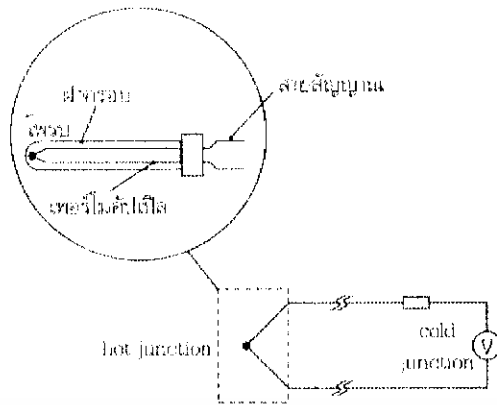
3.2 ตัวตรวจจับอุณหภูมิ

3.2.1 เทอร์โมคัปเปิล (Thermocouples)

เทอร์โมคัปเปิลมีข้อดีโดยที่แข็งแรงและทนทาน ใช้งานง่าย และยังมี่านการวัดอุณหภูมิกว้างแต่ข้อเสียคือ ค่าเอาท์พุทใช้ไม่เป็นเชิงเส้น ต้องการสัญญาณอ้างอิง ไม่เสถียรภาพ และมีการตอบสนองช้ามาก

รูปที่ 2 แสดงวงจรเทอร์โมคัปเปิลพื้นฐานและลักษณะของเทอร์โมคัปเปิลในรูปแบบต่างๆ ซึ่งจะถูกบรรจุอยู่ในฝาครอบป้องกันจะทำหน้าที่เป็นโพรบ(Probe) นำไปยึดติดกับชิ้นงานหรืออุปกรณ์ที่จะตรวจสอบอุณหภูมิ ดังนั้นเมื่อเกิดความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิที่จุดตรวจสอบ กับจุดอ้างอิงแล้วด้วยคุณสมบัติของเทอร์โมคัปเปิลจึงทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้า e.m.f หรือแรงดันไฟฟ้า เป็นผลให้มีกระแสไฟฟ้าไหลขึ้นในวงจร โดยมีขนาดและทิศทางการไหลขึ้นอยู่กับชนิดโลหะตัวนำของเทอร์โมคัปเปิลที่นำมาตรวจสอบ โวลท์มิเตอร์ที่ต่อทางปลายอีกด้านหนึ่งทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์แสดงผลให้กับผู้อ่านซึ่งมีการปรับเทียบให้ค่าที่ได้ออกมาอยู่ในรูปอุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2 วงจรเทอร์โมคัปเปิลพื้นฐาน

3.2.2 เทอร์มิสเตอร์

เทอร์มิสเตอร์มีข้อดีคือให้การตอบสนองรวดเร็วและให้เอาต์พุตสูงแต่มีข้อเสียค่าเอาต์พุตที่ออกมาไม่เป็นเชิงเส้น ย่านอุณหภูมิการวัดแคบ แรกหักได้ง่าย และยังเกิดความร้อนสะสม

เป็นเซนเซอร์สำหรับตรวจจับอุณหภูมิที่อาศัยความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานไฟฟ้าของวัสดุกับอุณหภูมิ เทอร์มิสเตอร์ทำมาจากวัสดุประเภทสารกึ่งตัวนำ ซึ่งเป็นโลหะผสมระหว่างทองแดงกับโลหะออกไซด์ เช่นแมงกานีส นิกเกิล โคบอลต์ หรือ โครเมียม และด้วยคุณสมบัติของวัสดุดังกล่าวที่มีความไวสูงในการแปรค่าความต้านทานไฟฟ้าต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ คือมีค่าประมาณ $5m\Omega$ ต่ออุณหภูมิที่เปลี่ยนไป $1^{\circ}C$

3.2.3 วงจรวัดอุณหภูมิตัวตรวจจับอุณหภูมิ LM335

LM335 มีความเป็นเชิงเส้นค่อนข้างมาก และให้เอาต์พุตที่สูงแต่มีข้อเสียคือ มีรูปแบบการใช้งานที่จำกัด ย่านการวัดอุณหภูมิน้อยกว่า $200^{\circ}C$ ต้องการแหล่งจ่ายไฟเลี้ยง และเกิดความร้อนสะสม

เราเลือกตัว LM335 เป็นเซนเซอร์วัดอุณหภูมิเพราะว่า มีความเป็นเชิงเส้น

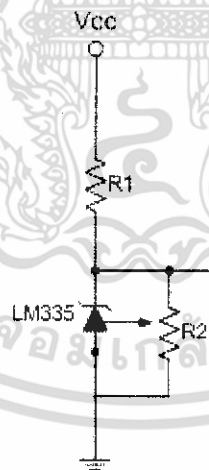
โครงสร้าง ไอซีเบอร์ LM335 เป็นวงจรรวม ซึ่งทำเป็นตัวตรวจจับอุณหภูมิ สำหรับใช้ในย่านอุณหภูมิตั้งแต่ $0^{\circ}C$ ขึ้นไป จนถึง $100^{\circ}C$ โดยได้ผลิตออกมาในรูปแบบตัวถังสี่ขา ซึ่งมีลักษณะการต่อขาตั้งรูป และในตัวถังโลหะแบบ TO-46 ซึ่งมีลักษณะการต่อขาตั้งรูป

ยอมให้กระแสไหลผ่านตัวต้านทานปรับค่าได้ที่ต่อขนานกับไอซีสำหรับที่กระแสเอาต์พุตใดๆ โดยกระแสประมาณ 400 ไมโครแอมแปร์จะเป็นกระแสต่ำสุดที่ไอซีตัวนี้สามารถทำงานได้เป็นปกติ ถ้าตรวจจับอุณหภูมิใช้ในสถานที่ซึ่งความต้านทานทางอุณหภูมิต่อสิ่งแวดล้อมนั้นคงที่ ค่าความผิดพลาดจากความร้อนที่เกิดขึ้นในตัวเอง สามารถที่จะปรับปรุงให้ถูกต้องได้ ซึ่งจะทำให้อุปกรณ์ตัวนั้นทำงานด้วยกระแส คงที่ไม่ขึ้นกับอุณหภูมิ ความร้อนที่เกิดขึ้นกับอุปกรณ์จะแปรผันโดยแรงดันซีเนอร์ และอุณหภูมิสัมบูรณ์ ดังนั้นค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากความร้อนในตัวของมันเองจะแปรผันโดยตรงกับค่าอุณหภูมิสัมบูรณ์ และความเป็นเชิงเส้นของสเกลอุณหภูมิที่รักษาไว้

ในวงจรทั่วไปของ LM335 ซึ่งไม่ได้ปรับค่าตัวความต้านทาน ค่าความผิดพลาดเนื่องจากอุณหภูมิจะเท่ากับสององศาเซลเซียสที่อุณหภูมิ 25 °C หรือ 4 °C ตลอดย่านการทำงานเมื่อได้มีการปรับค่าความถูกต้องไว้ ค่าความผิดพลาดเป็น 2 °C ความไม่เป็นเชิงเส้นที่กระแส 1 mA จะเท่ากับ 0.3 °C ตลอดย่านในอากาศ อุปกรณ์ตัวนี้ต้องใช้เวลาระยะประมาณ 3 นาทีจึงจะมีอุณหภูมิถึงสุดท้ายหลังจากที่อุณหภูมิเปลี่ยนไป ค่าคงที่ของเวลาจะมีค่าตามที่ออกแบบไว้เท่ากับ 80 วินาที ในน้ำมันที่กวนให้เคลื่อนที่ ค่าอุณหภูมิสุดท้ายจะถึงในเวลาประมาณ 3 วินาที (ค่าคงที่ของเวลาจะเท่ากับ 1 วินาทีตามที่ออกแบบไว้) ตลอด 1000 ชั่วโมงถึงแม้ที่อุณหภูมิ 125 °C

ค่าไดนามิกอิมพีแดนซ์จะน้อยกว่า 1 Ω ที่ความถี่สูงกว่า 1 กิโลเฮิร์ตซ์แต่จะมีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 20 - 30 Ω ที่ความถี่ 100 kHz

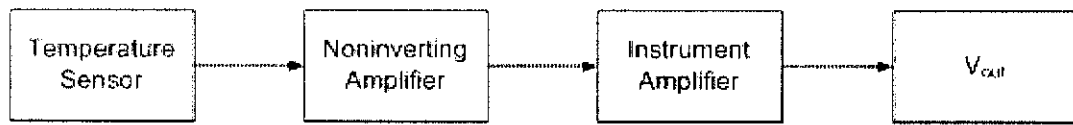
การต่อใช้งาน LM335



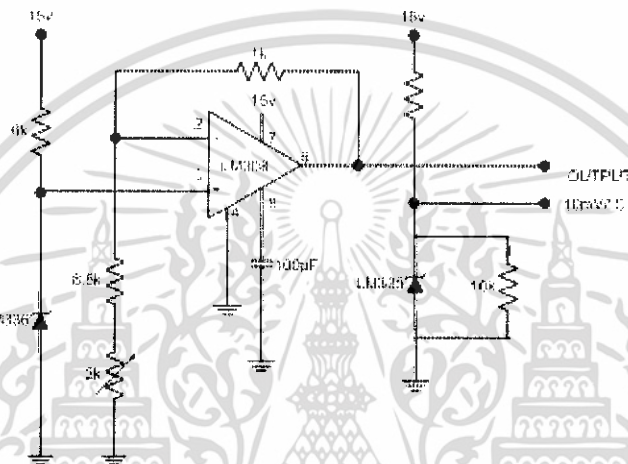
รูปที่ 4 วงจรวัดอุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรที่ใช้ในการวัดอุณหภูมิ



Block diagram ของวงจรวัดอุณหภูมิ



รูปที่ 5 วงจรวัดอุณหภูมิ

การทำงานของวงจรจะเป็นดังนี้ โดยตอนแรกเราต่อให้ตัว LM 336 เกิดการเบรคควีน เราจะได้ อินพุททางขาบวกของออปแอมป์เป็น 2.5 โวลท์ แล้วผ่านอัตราขยายของวงจร ขยายไม่กลับเฟสเป็น $1 + \frac{R_1}{R_2}$ เท่า เราจะได้ศักดาที่ขาออกเป็น $2.5 \left[1 + \left(\frac{R_1}{R_2} + R_3 \right) \right]$ โวลท์ ให้เราทำการปรับศักดาขาออกให้เป็น 2.73 โวลท์ เพื่อที่จะเป็นค่าอ้างอิงที่ 0°C ของ LM335 จากนั้นเราก็ทำการปรับแต่งค่าศักดาทางขาออก LM335 โดยการเอาไปใส่ในน้ำที่อุณหภูมิ 0°C แล้วทำการปรับขาบวกของ LM335 ให้ได้ 2.73 โวลท์ แล้ววัดเอาที่พุทระหว่างค่าจากวงจรขยาย มาเทียบกับค่าเบรคควีนของ LM335 โดยจะหาค่าอุณหภูมิได้จากเอาเอาที่พุทมาหารด้วยค่า 10 mV

การตั้งค่าศักดาอ้างอิงด้วยไอซีเบอร์ LM336

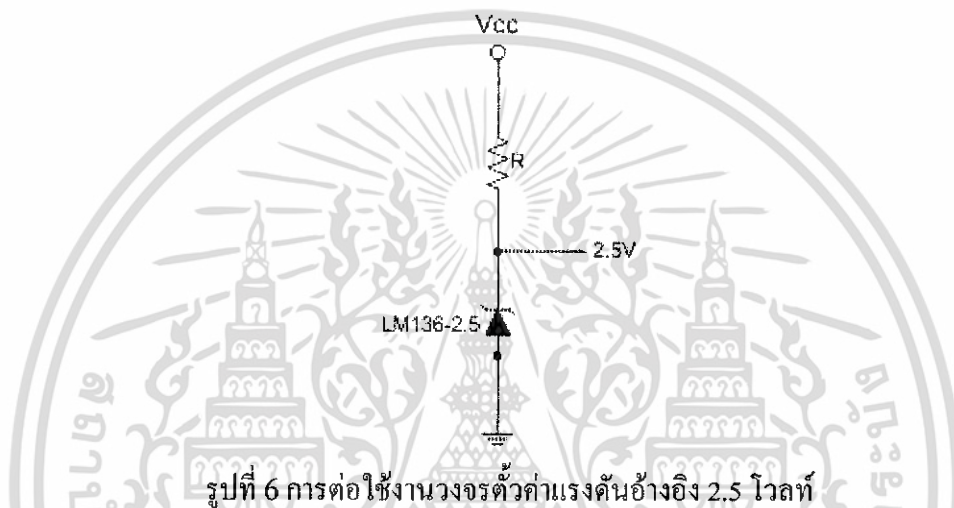
ตัววงจรรวม LM336-2.5 จะให้ค่าความต่างศักย์อ้างอิงออกมาที่ 2.5 โวลท์ และมีความต้านทานไดนามิก 0.2Ω โดยเบอร์ LM136-2.5 สามารถทำงานได้ในช่วงตั้งแต่ -55°C ถึง 125°C เบอร์ LM236-2.5 สามารถทำงานได้ในช่วงตั้งแต่ -25°C ถึง 85°C และเบอร์ LM336-2.5 ตัวถังแบบ TO-46 สามารถทำงานได้ในช่วงตั้งแต่ 0°C ถึง 70°C เบอร์ LM336-2.5 ตัวถังแบบ TO-92 สามารถทำงานได้ในช่วงตั้งแต่ -55°C ถึง 125°C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยไอซีเบอร์นี้มีคุณสมบัติพิเศษอื่นๆอีกหลายประการดังนี้ สามารถเริ่มใช้งาน (Turn on fast) และสามารถใช้งานได้ในช่วงกระแสที่กว้าง ตั้งแต่ 400 mA ถึง 10 mA และยังมีคุณสมบัติต่ออุณหภูมิอีกด้วย

LM336 นี้เป็นตัวที่ใช้งานง่ายกว่าซีเนอร์ไดโอดแบบก่อนๆ จากการที่มันสามารถใช้ได้ใน ช่วงกว้างทำให้มันสามารถใช้ได้ในเกือบจะทุกวงจร และยังสามารถเลือกปรับค่าใช้ตามความเหมาะสม ได้อีกด้วย

จากรูปที่ 5 เป็นการต่อ LM136 กับตัวความต้านทาน 10k เพื่อใช้สำหรับปรับค่าศักดาเบรกดาว์น ซึ่งสามารถปรับเพื่อแก้ไขค่าความไม่ถูกต้องได้โดยไม่มีผลกระทบ ต่อวงจร



Op -Amp LM308

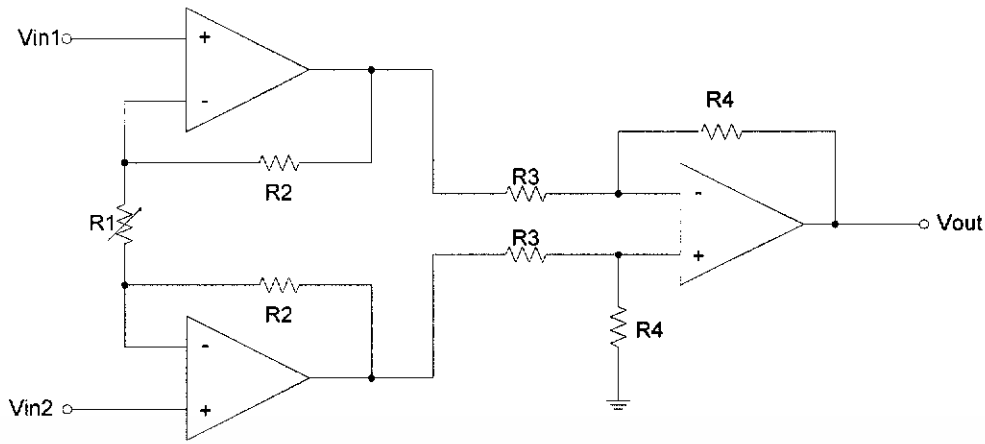
ออปแอมป์ตระกูล LM108 เป็นตัวที่ให้ความแม่นยำ โดยตัวอุปกรณ์สามารถใช้ ขั้วพลายได้ ตั้งแต่ 2 ถึง 20 โวลท์ ในด้านลบ และ 2 ถึง 20 โวลท์ในด้านบวก

ออปแอมป์ตัวนี้ใช้กระแสทางเข้าต่ำจึงทำให้สามารถนำไปใช้งานได้หลายแบบซึ่งไม่เหมือนกับ ออปแอมป์เบอร์อื่นๆ ซึ่งความจริงมันทำงานตั้งแต่ $10M\Omega$ ของความต้านทานแหล่งกำเนิด และจะทำให้ error น้อยกว่าเบอร์ 709 ที่ $10k\Omega$ ของความต้านทานแหล่งกำเนิด

มีกระแส Offset ที่น้อย 400 p A ที่อุณหภูมิค่าต่างๆ

วงจรอินสตรูเมนต์แอมป์

เราสามารถสร้างอินสตรูเมนต์แอมป์ได้โดยการนำออปแอมป์ 3 ตัว มาต่อดังรูป



รูปที่ 7 วงจรอินสตรูเมนต์แอมป์

คุณสมบัติของอินสตรูเมนต์แอมป์

1. อัตราขยายแรงดันสามารถกำหนดได้โดยการปรับค่าความต้านทานปรับค่าได้เพียงแคตัวเดียว
2. ความต้านทานทางอินพุตจะมีค่าสูงมากและไม่ขึ้นกับอัตราขยาย
3. ค่าคัตตาทงด้านขาออกจะขึ้นกับผลต่างของอินพุตเท่านั้น

$$Gain = \frac{R_3}{R_4} \left[1 + 2 \frac{R_2}{R_1} \right]$$

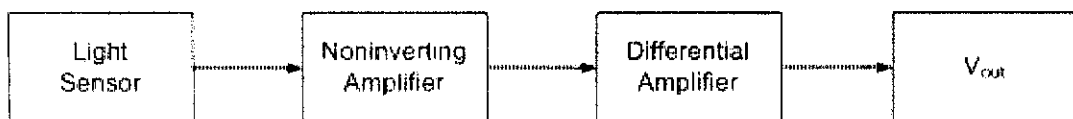
การออกแบบวงจรอินสตรูเมนต์แอมป์นี้เลือกอัตราขยายเท่ากับ 10 เท่า โดยจะให้ $R_1=R_2$ และเลือก $R_3 = 4.5K$

$$Gain = \frac{R_3}{R_4} \left[1 + 2 \frac{R_2}{R_1} \right]$$

$$10 = 1 + \frac{2 \times 4.5 \times 10^3}{R_4}$$

$$R_4 = 1k$$

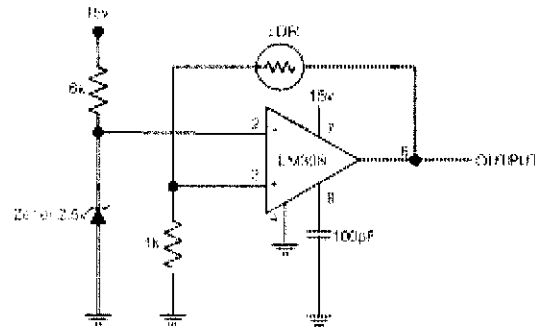
3.3 วงจรวัดแสง



Block diagram ของวงจรวัดแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรที่ใช้ในการวัดความเข้มแสง

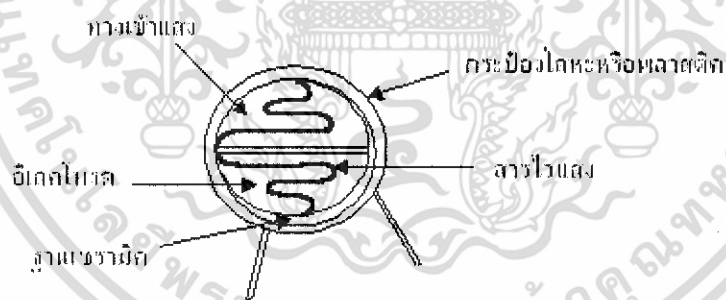


รูปที่ 8 วงจรวัดความเข้มแสง

การทำงานของวงจรจะเป็นดังนี้ โดยตอนแรกเราต่อให้ตัว LM 336 เกิดการเบรคคว่ำ เราจะได้ อินพุตทางขาบวกของออปแอมป์เป็น 2.5 โวลต์ แล้วผ่านอัตราขยายของวงจรขยายไม่กลับเฟสเป็น $1 + \frac{R_1}{R_2}$ เท่า เราจะได้ศักดาที่ขาออกเป็น $2.5 \left[1 + \left(\frac{R_{LDR}}{10^3} \right) \right]$ โวลต์ โดยจะนำศักดาที่ขาออกมาเทียบกับค่า ความเข้มแสงค่าต่างๆ

ตัวต้านทานไวแสง

ตัวต้านทานไวแสง (Light Dependent Resistor) หรือเรียกสั้น ๆ ว่า LDR ทำมาจากสาร แคดเมียมซัลไฟด์ (CdS) หรือแคดเมียมซีลีไนด์ (CdSe) ซึ่งเป็นสารประกอบชนิดกึ่งตัวนำมาฉาบบน แผ่นเซรามิกที่ใช้เป็นฐานรอง แล้วต่อขาจากสารที่ฉาบเอาไว้ออกมาตั้งโครงสร้างในรูปที่ 8



รูปที่ 9 โครงสร้างของ LDR

คุณสมบัติทางแสง

LDR ไวต่อแสงช่วงคลื่น 400-1000 นาโนเมตร (1 นาโนเมตร = 10^{-9} เมตร) ซึ่งครอบคลุมช่วง คลื่นที่ไวต่อตากคน (400-700นาโนเมตร) นั่นคือ LDR ไวต่อแสงอาทิตย์ และแสงจากหลอดไส้ หรือ หลอดเรืองแสง และยังไวต่อแสงอินฟราเรดที่ตามองไม่เห็นอีกด้วย (ช่วงคลื่นตั้งแต่ 700นาโนเมตรขึ้นไป)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คุณสมบัติทางไฟฟ้า

อัตราส่วนของความต้านทาน LDR ขณะที่ไม่มีความสว่างกับในขณะที่มีความสว่างอาจมีค่าต่างกัน 100, 1,000, 10,000 เท่า แล้วแต่แบบหรือรุ่น

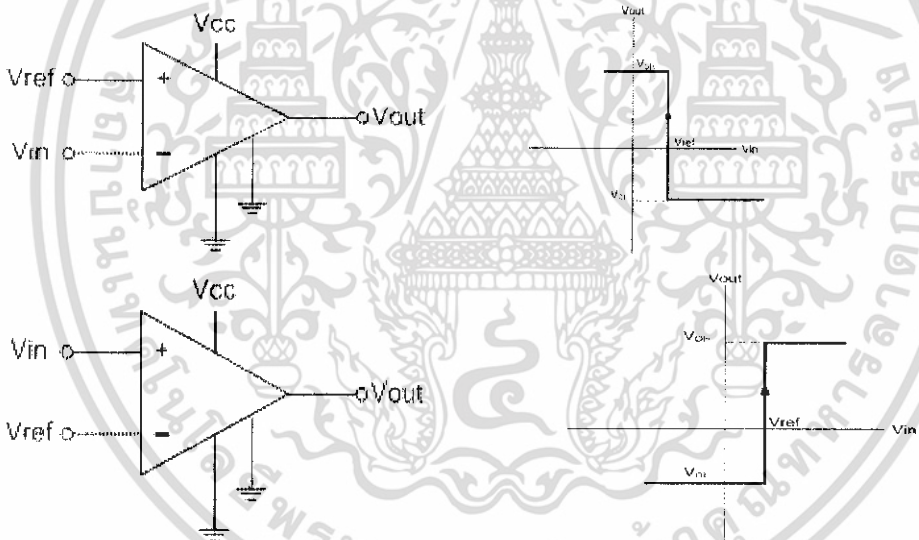
ความต้านทานในขณะไม่มีความสว่างจะอยู่ในช่วงตั้งแต่ 0.5MW ขึ้นไป และค่าความต้านทานของ LDR ขณะที่มีความสว่างจะมีความต้านทานประมาณ 200 กิโลโอห์ม ขณะสว่าง LDR จะมีความต้านทานประมาณ 10 กิโลโอห์ม ลงมาตามแรงดันสูงสุดได้มากกว่า 100โวลท์ และกำลังสูญเสียอย่างต่ำประมาณ 50 mW

วงจรเปรียบเทียบแรงดัน

หน้าที่ของวงจรเปรียบเทียบแรงดัน คือ ทำการเปรียบเทียบแรงดันอินพุตที่ป้อนให้กับวงจรกับแรงดันอ้างอิงซึ่งจะทำให้เกิดแรงดันเอาต์พุตอยู่สองสถานะคือสูงและต่ำ ซึ่งการทำงานของวงจรมีความสัมพันธ์สรุปได้ดังนี้

$V_{OUT} = V_{OH}$ เมื่อ $V_{IN} > V_{REF}$

$V_{OUT} = V_{OL}$ เมื่อ $V_{IN} < V_{REF}$



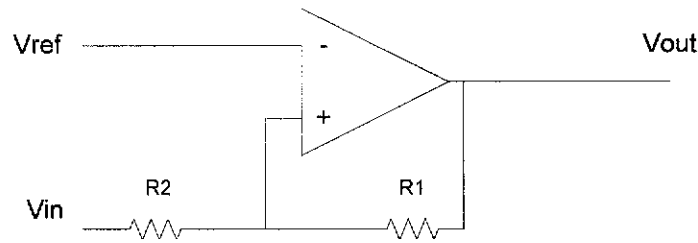
รูปที่ 10 วงจรเปรียบเทียบแรงดัน รูปที่ 11 กราฟแสดงวงจรเปรียบเทียบแรงดัน

วงจรมิติทริกเกอร์

วงจรมิติทริกเกอร์เป็นวงจรเปรียบเทียบแรงดันชนิดหนึ่งซึ่งอาศัยหลักการป้อนกลับแบบบวกโดยนำสัญญาณเอาต์พุตบางส่วนนำป้อนกลับมาเพื่อเปรียบเทียบสัญญาณอินพุตอีกวงจรและจะทำให้เกิดความแตกต่างขึ้นระหว่างเอาต์พุตของทั้งสองสถานะ โดยวงจรที่เราใช้คือ วงจรมิติทริกเกอร์ไม่กลับเฟส

73154

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

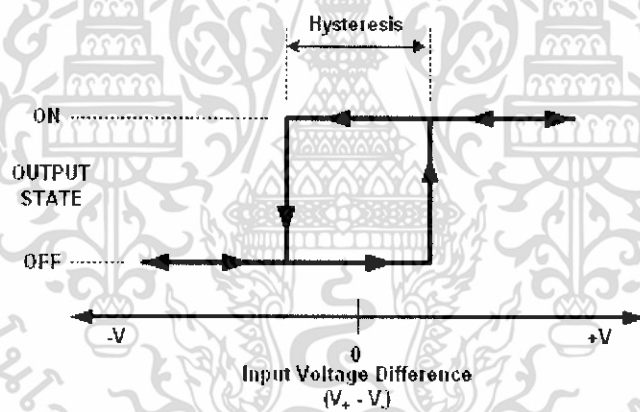


รูปที่ 12 วงจรขมิตทริกเกอร์

วงจรขมิตทริกเกอร์ไม่กลับเฟสจะประกอบด้วยวงจรเปรียบเทียบแรงดันและตัวต้านทานแบ่งแรงดัน R_1 และ R_2 ทำหน้าที่เป็นส่วนป้อนกลับแบบบวก หากพิจารณาจากวงจรจะเห็นว่าแรงดันอินพุตของวงจรมันถูกเปรียบเทียบกับแรงดันขีดเริ่ม (threshold voltage, V_t) ที่ได้จากป้อนกลับโดยใช้ R_1 และ R_2 ซึ่งมีค่าขึ้นกับค่าแรงดันเอาต์พุตของวงจร V_{out} เปลี่ยนแปลงสองสภาวะ คือ $V_{out} = V_{OH}$ และ $V_{out} = V_{OL}$ โดยมีค่าแรงดันขีดเริ่มเท่ากับ

$$V_{TH} = \frac{R_2}{R_1} V_{OL}$$

$$V_{TL} = \frac{R_2}{R_1} V_{OH}$$



รูปที่ 13 กราฟฮิสเตอร์รีซิส

จากกราฟคุณสมบัติของวงจรดังรูป ค่าความแตกต่างที่เกิดขึ้นระหว่างสัญญาณเอาต์พุตทั้งสองสภาวะนี้จะเรียกว่า “ฮิสเตอร์รีซิส” และความกว้างของสภาวะฮิสเตอร์รีซิส ถูกกำหนดโดย

$$V_H = V_{TH} - V_{TL}$$

และจะได้

$$V_H = \frac{R_2}{R_1} (V_{OH} - V_{OL})$$

วงจรมายสัญญาณผลต่าง (Differential Amplifier)

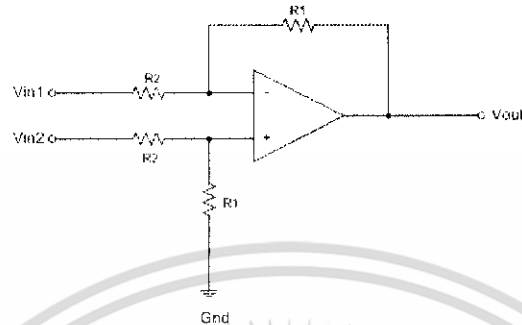
วงจรมายสัญญาณผลต่างใช้สำหรับหาผลต่างทางพีชคณิตของแรงดันสองชุด โดยแรงดันทางขาออกจะได้เท่ากับผลต่างของสัญญาณคูณกับอัตราขยายของวงจร โดยวงจรมีอัตราขยายดังนี้

$$Gain = m = \frac{R_1}{R_2}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะได้ค่าค้ำคาค้าที่ทางขาออกเป็น

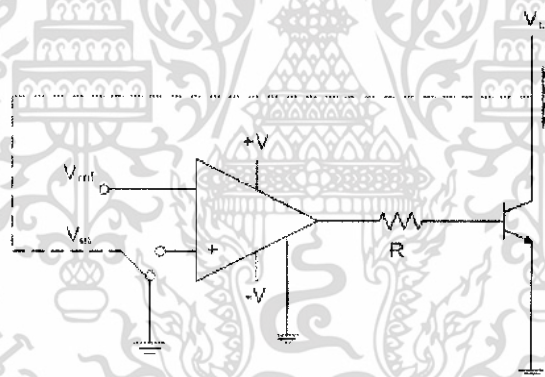
$$V_O = m(V_{in2} - V_{in1})$$



รูปที่ 14 วงจรดิฟเฟอเรนเชียลแอมป์

การใช้งานทรานซิสเตอร์เป็นสวิตช์

เนื่องจากวงจรวัดแสงของเรามีค่าเกิน 5 โวลต์ทำให้ตัวแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัลไม่สามารถทำงานได้เราจึงใช้วงจรเปรียบเทียบแรงดันและทรานซิสเตอร์มาเป็นสวิตช์เปิด-ปิด โดยวงจรเป็นดังรูป



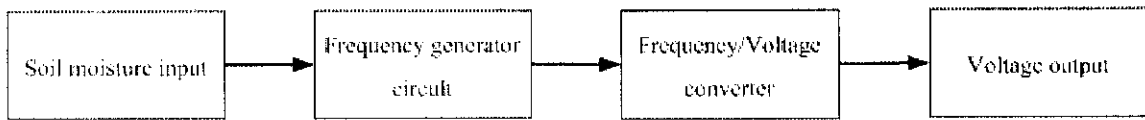
รูปที่ 15 วงจรการใช้ทรานซิสเตอร์เป็นสวิตช์

เมื่อสัญญาณเข้าทางขาบวกมีค่าน้อยกว่าสัญญาณขาเข้าทางด้านลบคอมพาราเตอร์แอมป์จะมีเอาต์พุตเท่ากับศูนย์จะทำให้ทรานซิสเตอร์เหมือนเปิดวงจรเลยจะไม่มีกระแสไหลผ่าน

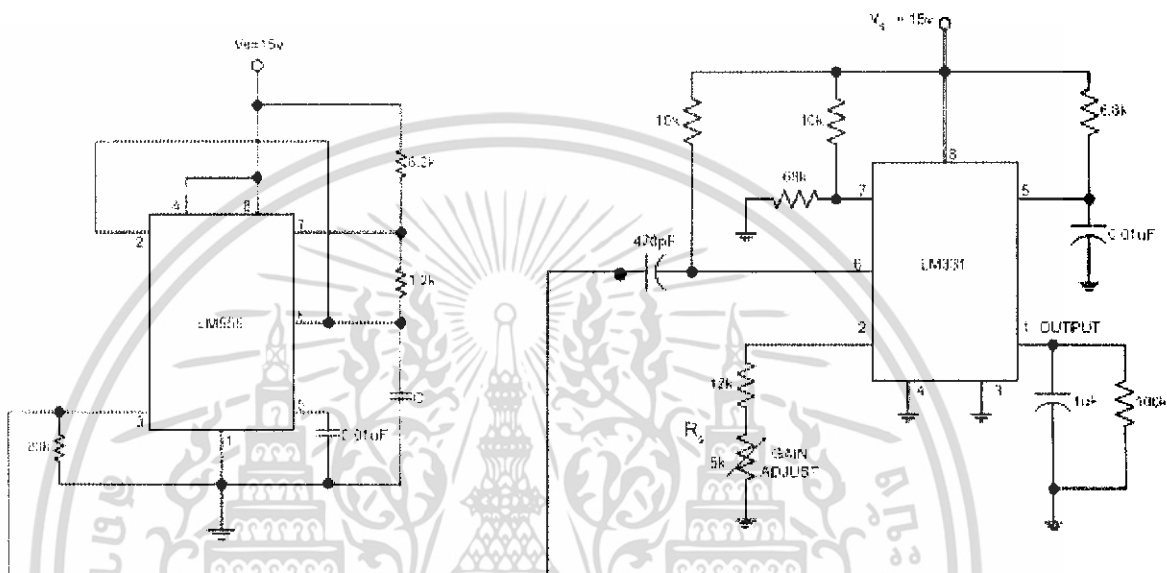
เมื่อสัญญาณเข้าทางขาบวกมีค่ามากกว่าสัญญาณขาเข้าทางด้านลบคอมพาราเตอร์แอมป์จะมีเอาต์พุตเท่ากับศูนย์จะทำให้ทรานซิสเตอร์มีการทำงานจะมีกระแสไหลผ่านรีเลย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 วงจรวัดความชื้นในดิน



Block diagram ของวงจรวัดความชื้นในดิน



รูปที่ 16 วงจรวัดความชื้นในดิน

ใช้วงจรสร้างความถี่แล้วจะผลิตความถี่ได้เท่ากับ $f = 1/t = 1.44(R_a + 2R_b)C$

โดยเมื่อค่าไดโอดอิเล็กทริกของตัวเก็บประจุมีค่าเปลี่ยนไป (ความชื้นในดินเปลี่ยนไป) ก็จะทำให้ความถี่ที่ถูกสร้างออกมานั้นต่างกันความถี่ที่แตกต่างกันนี้จะถูกนำไปแปลงเป็นศักดาไฟฟ้าผ่านวงจรแปลงความถี่เป็นศักดาไฟฟ้า

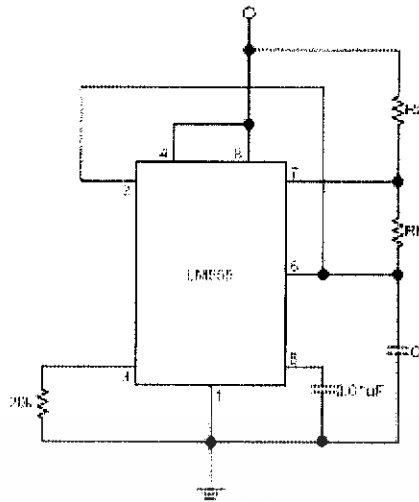
วงจรสร้างความถี่โดยใช้ไอซีเบอร์ LM555

LM555 เป็นอุปกรณ์ที่สำหรับผลิตความถี่ ซึ่งในการใช้งาน แบบ astable ความถี่จะถูกควบคุมโดยค่า ความต้านทานภายนอกสองค่าและค่าตัวเก็บประจุวงจรจะถูกทริก และตค และทางด้านเอาท์พุทของวงจรจะสามารถผลิตหรือ ชิมซับ กระแสได้ 200 mA

โดยตัว LM555 เรานำมาใช้งานในโหมด astable ยังสามารถ ปรับค่า duty cycle ได้ และยังมีเสถียรภาพต่ออุณหภูมิสูง โดยมีค่าเสถียรภาพมากกว่า 0.005% ต่อ องศาเซลเซียส

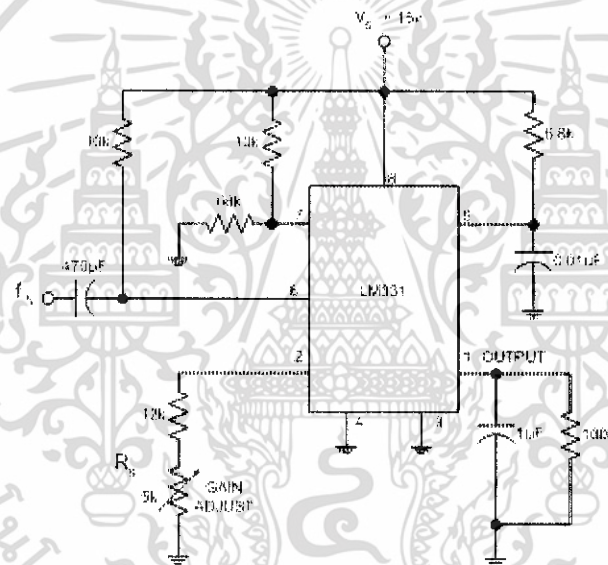
โดยมีวิธีคำนวณค่าความถี่ดังนี้ $f = 1/t = 1.44(R_a + 2R_b)C$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 17 วงจรสร้างควมถึ

วงจรเปลี่ยนควมถึเป็นศัคคาไฟฟ้า



รูปที่ 18 วงจรเปลี่ยนควมถึเป็นศัคคาไฟฟ้า

3.5 การแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล (Analog to Digital Converter:ADC)

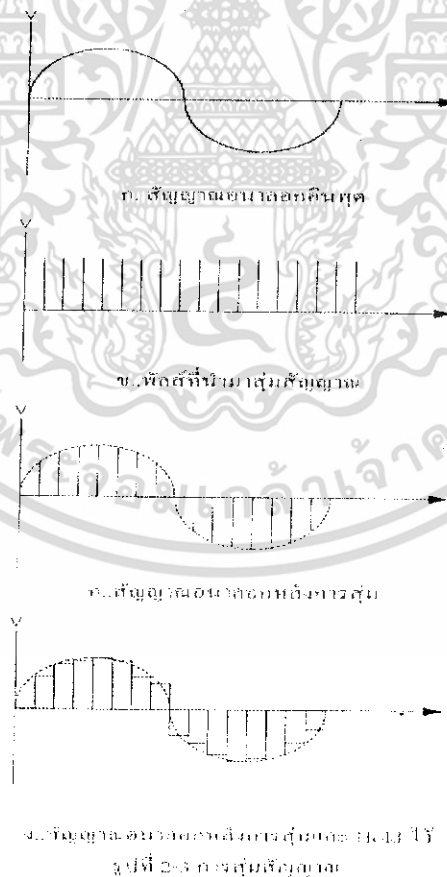
การนำสัญญาณอนาลอกมาประมวลผลในวงจรดิจิตอลจำเป็นต้องอาศัยตัวแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิตอลหรือเรียกว่าADCซึ่งความละเอียดของการแปลงสัญญาณขึ้นอยู่กับจำนวนบิตของADCในการแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอลนั้นมีขั้นตอนต่างๆที่ซับซ้อนพอสมควรกว่าจะได้เป็นสัญญาณดิจิตอลที่มีค่าผิดพลาดต่ำซึ่ง โดยส่วนใหญ่แล้วจะประกอบด้วยขั้นตอนที่สำคัญอยู่สามขั้นตอนคือการสุ่ม(Sampling)การจัดระดับ(Quantizing)และการเข้ารหัส(Encoder)โดยทั้งหมดนั้นถือเป็นทฤษฎีพื้นฐานในการแปลงสัญญาณจากอนาลอกเป็นดิจิตอล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทฤษฎีการสุ่ม(Sampling Theory)

ในการแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัลนั้น ADC จำเป็นต้องใช้เวลาช่วงหนึ่งในการจัดการ ซึ่งช่วงเวลาดังกล่าวนั้นขึ้นอยู่กับหลายปัจจัยต่างๆ เช่น ความละเอียดของการแปลงสัญญาณ เทคนิคของการแปลงสัญญาณและความเร็วในการทำงานของอุปกรณ์รวมอื่นๆ การกำหนดความเร็วของการแปลงสัญญาณขึ้นอยู่กับการประยุกต์ใช้งานเฉพาะอย่างและความแม่นยำที่ต้องการช่วงเวลาในการแปลงสัญญาณบางครั้งอาจเรียกว่า Aperture Time ซึ่งหมายถึงช่วงเวลาที่เกิดความไม่แน่นอนขึ้นในการวัด และผลก็คือความผิดพลาด(error) ต่อค่าที่วัดได้วงจร Sampling and Hold จะทำการสุ่มอินพุต และนำสัญญาณที่สุ่มนั้นมาเก็บ(hold)ไว้ในช่วงเวลาใดเวลาหนึ่ง ซึ่งส่วนใหญ่จะใช้ในการประจุมวลสัญญาณในตัวเก็บประจุที่รั่วไหลต่ำ Aperture time ของ Sampling and Hold คือเวลาตั้งแต่เริ่มสุ่มสัญญาณจนเก็บค่าประจุมวลจนถึงค่าที่สุ่ม ซึ่งค่า Aperture time สำหรับค่าความถี่ในการสุ่มนั้นจะขึ้นอยู่กับแบนด์วิธของสัญญาณ

สัญญาณอนาลอกถูกสุ่มเป็นระยะๆ การสุ่มจะเป็นการตัดต่อสัญญาณอนาลอกในช่วงเวลาสั้น ด้วยสวิทช์ความเร็วสูง ผลการสุ่มสัญญาณจะเสมือนการคูณขบวนสัญญาณพัลส์เข้ากับสัญญาณอนาลอกจะได้สัญญาณที่มีมอดคูลเลทระหว่างขบวนพัลส์กับสัญญาณอนาลอก โดยเหมือนกับอนาลอกซ้อนทับสัญญาณพัลส์



รูปที่ 19 สัญญาณที่ถูกสุ่ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้าสัญญาณต่อเนื่อง ซึ่งมีความถี่และฮาร์โมนิกส์ไม่เกิน f_c ถูกสุ่มด้วยอัตราการสุ่มไม่น้อยกว่า $2f_c$ แล้วสัญญาณดังกล่าวจะสามารถเปลี่ยนกลับมาได้อย่างเดิมโดยไม่สูญเสียรายละเอียดหรือผิดเพี้ยนไป

ผลของการใช้อัตราการสุ่มที่ไม่เหมาะสมจะทำให้เกิดสัญญาณรบกวนความถี่ต่ำกว่าเรียกว่า Aliasing frequency เมื่อสัญญาณถูกเปลี่ยนกลับมาเช่นเดิมหลังจากสุ่มแล้ว $\frac{F_c}{2}$ จะเห็นว่าความถี่

Aliasing จะแตกต่างจากความถี่เดิมไปมาก Anti aliasing filter เป็นวงจรกรองผ่านความถี่ต่ำที่จะช่วยลดสัญญาณในแถบความถี่ที่ทำให้เกิด Aliasing frequency ในขณะที่ไม่ต้องการให้เกิดความผิดพลาดของสัญญาณในแบนด์ที่ใช้งานและไม่ลดความแม่นยำในการวัดโดยรวมอีกด้วยนอกจากการใช้ฟิลเตอร์ฮาร์โมนิกส์ที่สูงๆแล้วพยายามให้การสุ่มเป็นไปอย่างรวดเร็วมากที่สุดซึ่งปกติจะสูงกว่าความถี่ต่ำสุดตามทฤษฎี Sampling คือ $2f_c$

การใช้ Anti aliasing filter ขึ้นอยู่กับ

- ความถี่สูงสุดที่น่าสนใจ
- อัตราการสุ่ม
- ความละเอียดของการแปลงสัญญาณ

จากทฤษฎีการสุ่มที่ว่าให้ $f_s > 2f_c$ นั่นก็เพื่อจัดการซ้อนกันของสเปกตรัม (Aliasing Effect) เพื่อจำกัดแบนด์วิธของสัญญาณที่จะถูกแปลงไม่ให้เกินไปกว่า $(\frac{F_c}{2})$ ซึ่งในทางปฏิบัติแล้วจะยังคงเกิด

frequency folding ได้เสมอจากส่วนฮาร์โมนิกส์ของสัญญาณและสเปกตรัมของสัญญาณที่ยังคงมีอยู่แม้ว่าจะทำการฟิลเตอร์ก็ตาม

การจัดระดับสัญญาณ (Quantizing)

อีกขั้นตอนหนึ่งที่สำคัญหลังจากที่สัญญาณผ่านการสุ่มมาแล้วก็คือขั้นตอนการจัดระดับของสัญญาณ โดยสัญญาณที่ผ่านการสุ่มมาแล้วจะมีลักษณะที่ไม่ต่อเนื่อง (Discrete Signal) และเนื่องจากสัญญาณอนาลอกส่วนใหญ่จะมีสัญญาณรบกวนปะปนมาด้วยเสมอจึงจำเป็นต้องกำจัดสัญญาณเหล่านี้ออกไปเพื่อไม่ให้เกิดความผิดพลาดในการประมวลผลแบบดิจิทัล และสามารถนำไปเข้ารหัสได้ง่าย

เมื่อผ่านการสุ่มการจัดระดับแล้ว ข้อมูลที่เป็นสัญญาณอนาลอกจะถูกเปลี่ยนเป็นระดับสัญญาณที่แน่นอนและมีลักษณะที่ไม่ต่อเนื่องเป็นระดับต่างๆกัน ในแต่ละสถานะของสัญญาณดิจิทัลเอาที่พูดจะแทนขนาดของสัญญาณอนาลอกค่าใดค่าหนึ่งในช่วงแคบๆ ระหว่างจุดแบ่งระดับ เรียกช่วงเล็กๆนี้ว่า Analog Quantization หรือหนึ่งควอนตัม (Quantum) หรือ 1 LSB (Least Significant Bit) ของการแปลงสัญญาณ คลาดเคลื่อน (Error) ในการแทนค่าสัญญาณอนาลอกในช่วงนั้นๆ อยู่ด้วย ค่าความคลาดเคลื่อนนี้เป็นธรรมชาติของ Quantizing ซึ่งทำการแก้ไขไม่ได้นอกจากการเพิ่มจำนวนบิตของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Quantizer ให้มากขึ้นและอีกอย่างหนึ่งที่สำคัญมากก็คือความละเอียด (Resolution) ของตัวแปลงว่ามีกี่บิต เพราะว่าจำนวนบิตของตัวแปลงจะบอกถึงจำนวนระดับสัญญาณคือ

$$\text{จำนวนระดับสัญญาณ}(Q) = 2^n ; n \text{ คือจำนวนบิต}$$

ถ้าเราใช้ตัวแปลงขนาด 8 บิต กับขนาดสัญญาณอนาล็อกที่สูงสุด 10 โวลท์จะได้ระดับสัญญาณเท่ากับ 256 ระดับ ดังนั้นค่าของบิตขวาสุด(Least Significant Bit : LSB) จะมีค่าเป็น

$$\text{ค่าหนึ่งบิตด้านต่ำ} = \text{แรงดันสัญญาณด้านสูง/จำนวนระดับสัญญาณ}$$

ในบางครั้งเราเรียก LSB ว่า Step Size โดยใช้สัญญาณจากตัวแปลง 8 บิต และ ขนาดสัญญาณ 10 โวลท์ จะมีค่า $\frac{5}{256} = 0.019V$ แล้วอาจเขียนสมการในการหาค่า(Δ)ใหม่ได้ว่า

$$\Delta = \text{FSR}/Q$$

เมื่อ Q คือ จำนวนระดับสัญญาณ

FSR คือ ช่วงเต็มสเกลของแรงดันอนาล็อก (Full Scale Range)

Δ คือ ค่าความผิดพลาดจากการจัดระดับสัญญาณ

จะเห็นได้ว่าจำนวนบิตมาก ค่าจะยิ่งลดลงจะทำให้ค่าความผิดพลาดลดลงไปด้วย โดยค่าความผิดพลาดจะอยู่ระหว่าง 0 ถึงซึ่งค่าความผิดพลาดอาจจะเป็นศูนย์ถ้าสัญญาณอนาล็อกมีค่าที่กึ่งกลางของควอนตัมพอดี

การเข้ารหัส(Coding)

ในการเข้ารหัสสัญญาณที่ผ่านการสุ่ม และการจัดระดับมาแล้วนั้นส่วนใหญ่จะแปลงให้อยู่ในรูปแบบของรหัสตัวเลขฐานสอง (Binary code)

จากตารางที่ 1 จะแสดงการเข้ารหัสของระดับแรงดันจากการสุ่มสัญญาณขนาด 0 ถึง 5 โวลต์และผ่านการจัดระดับ สัญญาณมาแล้ว ซึ่งที่ระดับแรงดันต่ำที่สุดก็จะมีขนาด 8 บิตเลขฐานสองเป็น 0000 0000 ส่วนระดับแรงดันสูงที่สุดก็จะมีรหัสเลขฐานสองเป็น 1111 1111 เป็นต้น

ตารางที่ 1 แสดงการเข้ารหัสสัญญาณ

V_{in}	Binary code
0	0000 0000
0.5	0001 1101
1.0	0011 0011
1.5	0100 1011
2.0	0110 0111
2.5	1000 0000
3.0	1001 1100
3.5	1011 0010
4.0	1100 1111
4.5	1110 1001
5.0	1111 1111

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากขั้นตอนทั้งหมดของการแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัล นั้นเราสามารถกำหนดความสามารถหรือคุณภาพในการแปลงได้ด้วยปัจจัยหนึ่งที่สำคัญมากก็คือ ความละเอียด(Resolution) ซึ่งขึ้นอยู่กับจำนวนบิตนั่นเอง แต่ในการใช้จริงแล้วยังมีเรื่องความเร็วในการแปลงอีกด้วย

การเปลี่ยนสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณเชิงเลขแบบประมาณรวบยอด (Successive Approximation)

เทคนิคการประมาณค่าหลายๆครั้ง (ประมาณรวบยอด) เป็นวงจร ADC ที่ได้รับความนิยมและเหมาะต่อการเลือกใช้เนื่องจากราคาถูกความเร็วปานกลางและค่อนข้างสูงมีความละเอียดพอสมควร ซึ่งสามารถใช้ในการแปลงสัญญาณอนาลอกให้เป็นสัญญาณดิจิทัลได้ดี และมีประสิทธิภาพเพราะไม่เกิดการออสซิลเลตส์แต่ถ้ากระบวนการของเทคนิคแบบนี้จะเข้าใจได้ยากกว่าเทคนิคแบบอื่นๆ ซึ่งหัวใจของ SA Converter ก็คือ อุปกรณ์ Successive Approximation Register : SAR ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่มีจุดประสงค์แตกต่างจากวงจรนับทั่วไปอย่างมากเพราะเป็นไอซี MSI (Medium Scale Integrated Circuit) ที่ได้รับการออกแบบเป็นพิเศษเพื่อทำหน้าที่นี้โดยเฉพาะและการจัดวงจรคล้ายกับแบบเกนเนอร์ที่ทำงานในลักษณะการป้อนกลับ ซึ่งบล็อกไดอะแกรมได้แสดงไว้ในรูปที่ 2.5

ข้อจำกัดประการหนึ่ง สำหรับการใช้งานคือ สัญญาณอนาลอกอินพุตจะต้องคงที่ในช่วงเวลาทำการเปลี่ยนแปลงสัญญาณ โดยเปลี่ยนได้ไม่เกิน $\frac{1}{2}$ LSB วงจร ADC แบบนี้สามารถทำงานได้สองโหมดคือ โหมดที่ทำงานอิสระ (Free running) และโหมดที่รอคำสั่ง (Start conversion) จากภายนอกเวลาที่ใช้ในการเปลี่ยนแปลงสัญญาณใช้ (n+1) ถูกพัลส์ clock โดย clock ลูกแรกจะใช้ในการรีเซ็ตรีจิสเตอร์ภายในสุดท้ายของระบบนี้จะขึ้นอยู่กับคุณภาพของวงจรเปลี่ยนสัญญาณดิจิทัลเป็นอนาลอก (DAC) ด้วย

3.6 ไอซีสำหรับเปลี่ยนสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัล ADC0808 : 8 bit A/D

ไอซีเบอร์ ADC0808 นี้เป็นอุปกรณ์ที่สามารถแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัลขนาด 8 บิตสามารถรับอินพุตได้ 8 ช่องและมัลติเพล็กซ์สัญญาณได้ด้วยสามารถเชื่อมต่อกับไมโครโปรเซสเซอร์ได้ง่ายใช้วิธีการแปลงแบบ Successive Approximation สามารถต่อกับอุปกรณ์ TTL และทำงานในลักษณะ Tri-State ได้

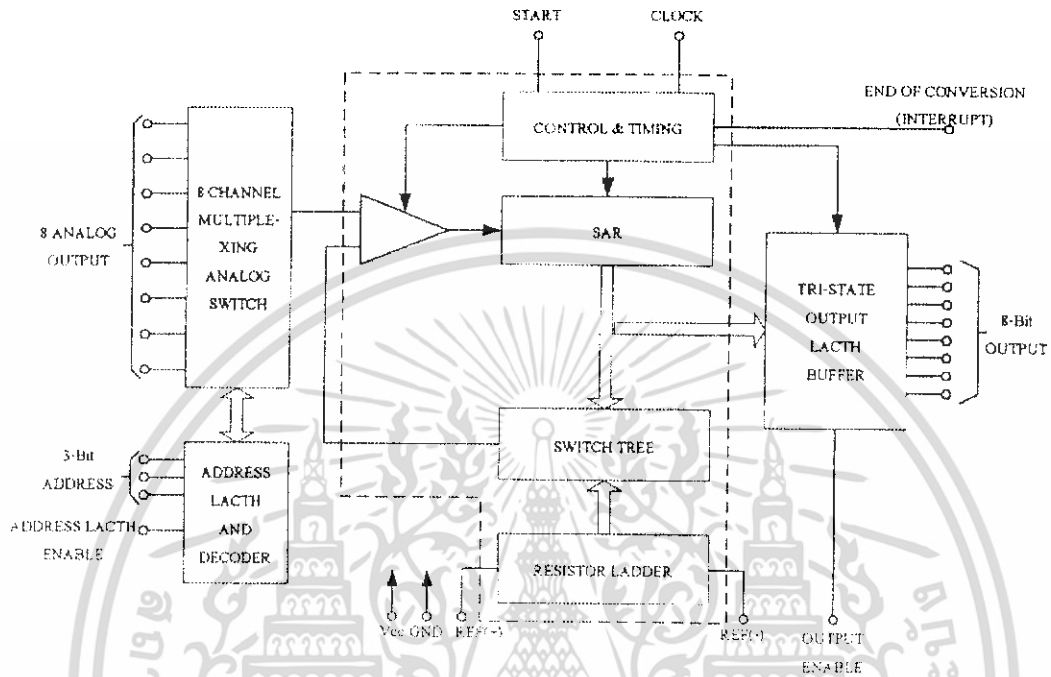
ลักษณะสำคัญของ ADC0808

- เชื่อมต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์ทุกเบอร์ได้ง่าย
- สามารถปรับแรงดันอ้างอิงได้ในช่วง 0 ถึง +5 V_{DC}
- มัลติเพล็กซ์ได้ถึง 8 ช่องด้วย address logic
- แรงดันเอาต์พุตเป็น TTL
- อยู่ในรูปของไอซี 28 ขาแบบ DIP

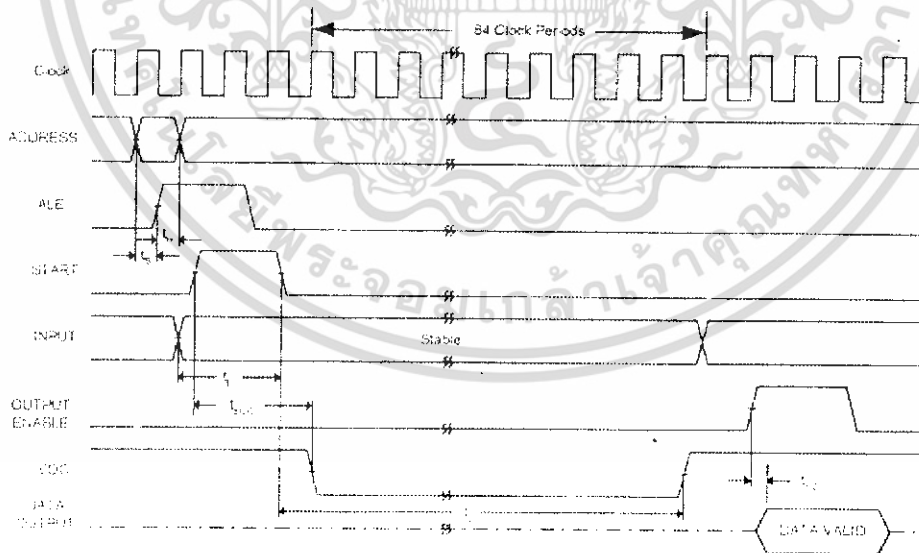
คุณสมบัติที่สำคัญของ ADC0808

เอกสารความละเอียด (Resolution) 8 บิต ใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ค่าความผิดพลาดสูงสุดอยู่ระหว่าง $\pm 1/2$ LSB
- แหล่งจ่ายเดียว 5 V_{DC}
- กินกำลังไฟต่ำที่ 15 mW
- Conversion time 100uS



รูปที่ 20 บล็อกไดอะแกรมของ ADC0808



รูปที่ 21 ไทม์มิ่งไดอะแกรมของ ADC0808

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 20 แสดงถึงไทม์มิงไดอะแกรมการทำงานของ ADC0808 เพื่อที่จะเริ่มการแปลงสัญญาณนั้นเราจะต้องป้อนสัญญาณพัลส์ (สัญญาณ Clock) ที่ขา START โดยที่สัญญาณขอบขาขึ้นจะเป็นการเคลียร์รีจิสเตอร์ภายใน และที่สัญญาณขาลงจะเป็นการเริ่มต้นการแปลงสัญญาณ

การทำงาน

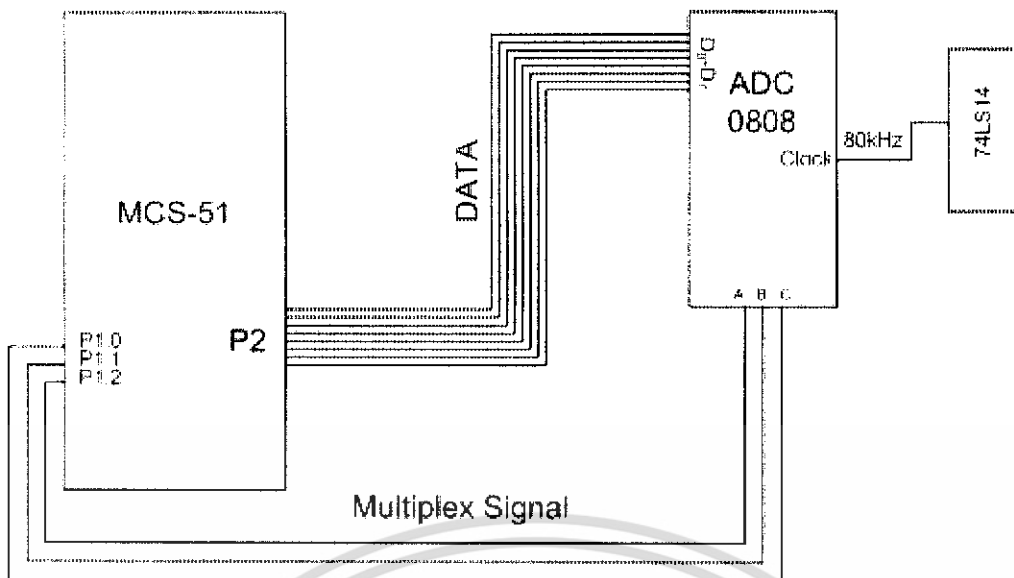
ในโครงการนี้เราจะต้องนำค่าที่ได้จากเซนเซอร์ทั้ง 3 ชนิด คือ แสง อุณหภูมิ ความชื้นในดินมาทำการประมวลผลและแสดงผลผ่านทาง LCD ซึ่งข้อมูลที่ได้จากเซนเซอร์ทั้ง 3 ชนิด จะอยู่ในรูปของ DC Voltage ซึ่งเป็นค่าแบบ Analog เราจำเป็นต้องนำไปเข้า ADC เพื่อแปลงข้อมูลให้เป็นข้อมูลแบบ Digital ซึ่งในโครงการนี้ได้เลือกใช้ ADC0808 ซึ่งสามารถรับข้อมูลได้ 8 ช่องซึ่งคุณสมบัติของ ADC0808

ลักษณะการทำงานของ ADC 0808 ในโครงการนี้ทำงานในโหมดอิสระ (Free Running) โดย ADC0808 รับสัญญาณ Clock จาก คือมีการ Convert ค่าอยู่ตลอดเวลา นั่นคือเมื่อเซนเซอร์ทั้ง 3 ชนิดมีการเปลี่ยนแปลงเราจะทราบได้ทันที

การทำให้ ADC0808 มีการ Convert ค่าอยู่ตลอดเวลา มีวิธีการคือ ต่อขา START, OE กับ Vcc และ ขา ALE กับ Clock เพื่อให้ Address ของค่า Input มีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลาตามสัญญาณ Multiplex Signal ที่ส่งสัญญาณควบคุมมาจาก MCS-51

เมื่อเราต้องการจะทราบข้อมูลจากเซนเซอร์ตัวใดก็ส่งให้ MCS-51 ส่งค่าของ Address ของเซนเซอร์ให้กับ ADC0808 โดย ADC0808 จะมี Register ที่ทำหน้าที่คอยเลือกช่องสัญญาณว่าจะแปลงค่าของช่องไหนค่า Logic ที่นำมา Control ADC0808 นี้ นำค่ามาจาก MCS-51 โดยที่มีค่า Logic ดังนี้

Channel	ค่า Logic
1	000
2	001
3	010



รูปที่ 22 การเชื่อมต่อไมโครคอนโทรลเลอร์กับ ADC0808

3.7 ทฤษฎีพื้นฐานของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

ไมโครคอนโทรลเลอร์ เป็นชื่ออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์แบบหนึ่งที่มีบรรจุความสามารถมากมายไม่ว่าจะเป็นหน่วยประมวลผลหน่วยคำนวณทางคณิตศาสตร์และลอจิกวงจรรับสัญญาณอินพุตวงจรขับสัญญาณออกทางเอาท์พุทหน่วยความจำวงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกาทำให้ไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานแทนวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่ซับซ้อนได้เป็นอย่างดี โดยช่วยลดจำนวนของอุปกรณ์ และขนาดของระบบลงในขณะที่มีขีดความสามารถสูงซึ่งนั่นไมโครคอนโทรลเลอร์จึงเป็นอุปกรณ์ที่ใช้นิยมในการควบคุม โดยสามารถเขียนโปรแกรมเพื่อกำหนดรูปแบบการควบคุมได้อย่างอิสระ

คุณสมบัติไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

- เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้ซีพียู 8 บิต
- ภายในมีหน่วยความจำเป็นแบบแฟลชสามารถลบและเขียนใหม่ได้เป็นพันครั้ง
- สายอินพุตและเอาท์พุทมีจำนวน 32 เส้นใช้เลือกแอดเดรสแยกต่างหากจากกันได้
- มีแรมบรรจุภายในขนาด 128 ไบต์ หรือ 256 บิต
- วงจรตั้งเวลา/วงจรมีขนาด 16 บิตอย่างน้อย 2 ตัว
- กำหนดเป็น UART(Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter) ส่งข้อมูลอนุกรมได้สองทิศทาง
- อินเทอร์รัปต์ แบ่งเป็น 2 ระดับจาก 5 หรือ 6 แหล่ง
- มีสัญญาณนาฬิกาอยู่ภายในตัว

เอกสารนี้เป็นทรัพย์สินทางปัญญาของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- สามารถขยายหน่วยความจำภายนอกเพิ่มเติมได้สูงสุด 64 กิโลไบต์
- คำสั่งทั้งหมดมี 111 คำสั่ง
- ทำงานด้วยเลขฐานสิบ และเลขฐานสิบหก
- ไมโคร AT89C2051, AT89C1051, จะลดขนาดลงเหลือแค่ 20 ขา โดยมี ROM ภายในจำนวน 2 กิโลไบต์ และ 1 กิโลไบต์ ตามลำดับ โดยจะไม่มี Port 0, Port 2, ALE, PSEN, EA และ RD เนื่องจากได้อัดโปรแกรมไว้ในตัวแล้วขาเหล่านี้จะไม่ได้ใช้งาน

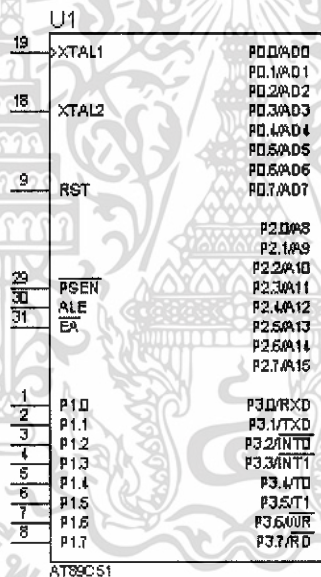
โครงสร้างสถาปัตยกรรมของ MCS-51

หน้าที่การใช้งานแต่ละขาของชิปไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 มีดังนี้

- ขา Vss (ขา 20) สำหรับต่อลงกราวด์
- ขา Vcc (ขา 40) สำหรับต่อแหล่งจ่ายแรงดันกระแสไฟตรงขนาด 5 โวลต์
- ขาพอร์ต 0 (ขา 32-39) มี 8 ขา ใช้เป็นขาสำหรับพอร์ต 0 ขนาด 8 บิต (P0.0-P0.7) แบบ Open drain Bi-directional พอร์ตนี้สามารถใช้งานเป็นพอร์ตอินพุต เอาท์พุตทั่วไปได้และใช้ในการติดต่อหน่วยความจำสำหรับ โปรแกรมและข้อมูลภายนอกชิปด้วย
 - ขาพอร์ต 1 (ขา 1-8) มี 8 ขา ใช้สำหรับพอร์ต 1 (P1.0-P1.7) สามารถใช้เป็นอินพุต และเอาท์พุต พอร์ตทั่วไปได้ หากต้องการใช้งานเป็นพอร์ตอินพุต ต้องโหลดค่า ไปยังแต่ละบิตของพอร์ตนี้
 - ขาพอร์ต 2 (ขา 21-28) มี 8 ขา ใช้เป็นขาสำหรับพอร์ต 2 ขนาด 8 (P2.0-P2.7) มีโครงสร้างคล้ายพอร์ต 0 โดยมี FET ตัวล่างตัวเดียวส่วนด้านบนใช้ความต้านทานพูลอัพแทน พอร์ตนี้ทำงานได้สองหน้าที่คือ สามารถใช้เป็น แอดเดรสบัส ขนาด 8 บิต (A8-A15) และเป็นพอร์ตอินพุต เอาท์พุตใช้งานทั่วไป เมื่อจะใช้งานเป็นพอร์ตอินพุต ต้องส่ง ลอจิก “1” มาที่พอร์ตนี้ก่อนเพื่อบังคับให้ FET อยู่ในสถานะ off
 - ขาพอร์ต 3 (ขา 10-17) มี 8 ขา ใช้เป็นขาสำหรับพอร์ต 3 (P3.0-3.7) ขนาด 8 บิต พอร์ตนี้สามารถใช้งานเป็นอินพุต เอาท์พุตพอร์ตทั่วไปได้ นอกจากนี้ยังใช้งานในหน้าที่พิเศษต่างๆ ดังนี้
 - ขา P3.0 ใช้รับข้อมูลจากภายนอกแบบอนุกรม
 - ขา P3.1 ใช้ส่งข้อมูลออกไปภายนอกแบบอนุกรม
 - ขา P3.2 ใช้เป็นอินพุตเพื่อรับสัญญาณอินเตอร์รัปต์ชนิดที่ 0
 - ขา P3.3 ใช้เป็นอินพุตเพื่อรับสัญญาณอินเตอร์รัปต์ชนิดที่ 1
 - ขา P3.4 สัญญาณอินพุตให้เคาน์เตอร์ของ ไทม์เมอร์ 0
 - ขา P3.5 สัญญาณอินพุตให้เคาน์เตอร์ของ ไทม์เมอร์ 1
 - ขา P3.6 ใช้เป็นสัญญาณควบคุมการเขียนข้อมูลไปยังหน่วยความจำสำหรับเก็บภายนอกชิป
 - ขา P3.7 ใช้เป็นสัญญาณควบคุมการเขียนข้อมูลจากหน่วยความจำสำหรับเก็บภายนอกชิป
- ขา RT (ขา 9) ใช้สำหรับการรีเซ็ตวงจรทุกอย่างภายในชิป เพื่อเริ่มต้นการทำงานใหม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ขา ALE/PROG (ขา30) เป็นขาใช้สำหรับส่งสัญญาณออกไปภายนอก เพื่อควบคุมการแลตช์ค่าแอดเดรสไบต์ต่ำ (Address Latch Enable) พอร์ต 0 ในการติดต่อหน่วยความจำสำหรับโปรแกรมหรือข้อมูลภายนอก สัญญาณนี้จะแอกทีฟทุก ๆ 2 ครั้งใน 1 แมกซ์ซินไซเคิล
- ขา PSEN (ขา 29) ใช้ส่งสัญญาณสโตรบ เพื่ออ่านคำสั่งจากโปรแกรมที่เก็บไว้ในหน่วยความจำภายนอกชิป (Program Strobe Enable) สัญญาณนี้จะส่งออกมาสองครั้งในแต่ละแมกซ์ซินไซเคิล แต่ถ้าเป็นการอ่านคำสั่งจากหน่วยความจำโปรแกรมภายในจะไม่มีสัญญาณออกที่ขานี้
- ขา EA/Vpp (ขา 31) เป็นขาสำหรับใช้เลือกให้ MCS-51 ทำงานจากโปรแกรมที่อยู่ภายในชิปหรือภายนอกชิป หากขานี้มีสถานะเป็น 0 หมายถึง ให้ใช้โปรแกรมที่อยู่ภายนอก หากขานี้มีสถานะเป็น 1 หมายถึงบังคับให้ MCS-51 ใช้โปรแกรมจากหน่วยความจำสำหรับโปรแกรมภายในชิป ส่วน MCS-51 ที่ไม่มีหน่วยความจำโปรแกรมสำหรับเก็บโปรแกรมภายในชิปให้ต่อขานี้ลงกราวด์เสมอ
- ขา XTAL1(ขา19) ใช้ต่อคริสตัลภายนอก โดยเป็นอินพุตเข้าสู่จอร์จอสซิลเลเตอร์
- ขา XTAL2 (ขา 18) ใช้ต่อคริสตัลภายนอก โดยเป็นเอาต์พุตออกจากจอร์จอสซิลเลเตอร์



รูปที่ 23 แสดง โครงสร้างแต่ละขาของMCS-51

การใช้งานเป็นพอร์ตอินพุต

การใช้งานพอร์ตเป็นการอินพุตข้อมูลนั้นก่อนอื่นจะต้องส่งข้อมูลค่า “1” ออกมาที่บิตของพอร์ตก่อนเพื่อยกชุดการทำงานของทรานซิสเตอร์ที่ทำหน้าที่ขับสัญญาณเอาต์พุตของบิตนั้น ทำให้ขาสัญญาณของบิตถูกต่อเข้ากับตัวต้านทาน ซึ่งทำหน้าที่ Pull-up ภายใน ซึ่งมีผลให้บิตนั้น ๆ ของพอร์ต 1, 2 และ 3 มีสถานะลอจิกสูง ตัวต้านทานเหล่านี้มีค่าประมาณ 50K ซึ่งเป็นค่าที่สูงมาก ทำให้อุปกรณ์ภายนอกสามารถขับสัญญาณของพอร์ตเหล่านี้เป็นลอจิกต่ำได้ง่าย สำหรับบิตของพอร์ต 0 นั้นแม้ว่าจะมีการทำงานที่คล้ายคลึงกับบิตของพอร์ตอื่น ๆ แต่เนื่องจากการที่ไม่มีตัวต้านทาน ทำหน้าที่ Pull-up เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภายในไว้ทำให้เมื่อทรานซิสเตอร์ที่ทำหน้าที่ขับสัญญาณเอาต์พุตนั้นหยุดทำงาน ก็จะเป็นผลให้ขาสัญญาณนี้อยู่ในสถานะ High Impedance แทน

การใช้งานเป็นพอร์ตเอาต์พุต

เมื่อมีการส่งข้อมูลที่มีค่าเป็น 0 ให้กับแต่ละบิตของพอร์ตทุกพอร์ต ข้อมูลนี้จะถูกส่งให้กับ ฟลิปฟลอป ซึ่งจะค้างค่านี้เอาไว้และมีผลทำให้ทรานซิสเตอร์ที่ทำหน้าที่ขับสัญญาณเอาต์พุตนั้นทำงาน ดังนั้นขาสัญญาณก็จะมีสถานะเป็นลอจิกต่ำด้วย ส่วนการส่งข้อมูลที่มีค่าเป็น 1 ออกมานั้นในกรณีที่เป็นการทำงานในแต่ละบิต พอร์ต 1 , 2 หรือ 3 จะทำให้ทรานซิสเตอร์ที่ทำหน้าที่ขับสัญญาณจะเป็นสถานะอิมพีแดนซ์สูงแทน เนื่องจากไม่มีตัวต้านทานภายในเชื่อมต่ออยู่นั่นเอง ดังนั้นในการใช้งานพอร์ต 0 เป็นการเอาต์พุตข้อมูล จึงจำเป็นต้องใช้ตัวต้านทานภายนอก Pull-up สัญญาณไว้กับไฟเลี้ยงแทน

3.8 การติดต่อกับโมดูล LCD ของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

โมดูล LCD เป็นอุปกรณ์แสดงผลแบบหนึ่งที่ได้รับคามนิยมในการใช้งานสูงมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อนำมาเชื่อมต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์ สำหรับในบทนี้จะนำเสนอการติดต่อกับระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์ LCD กับ โมดูล LCD แบบอักษรขนาด 16 ตัวอักษร 2 บรรทัด ด้วยโปรแกรมภาษา C โดยโมดูล LCD ที่ใช้เป็นโมดูล LCDมาตรฐานที่ใช้ชิปเบอร์ HD44780 หรือเทียบเท่าเป็นตัวควบคุมการทำงาน

ข้อมูลเบื้องต้น ของโมดูล LCD

ในรูป แสดงการจัดขาของโมดูล LCD ขนาด 16 ตัวอักษร 2 บรรทัด

V_{SS} (ขา 1) : ต่อกราวด์

V_{DD} (ขา 2) : ต่อ ไฟเลี้ยง +5V

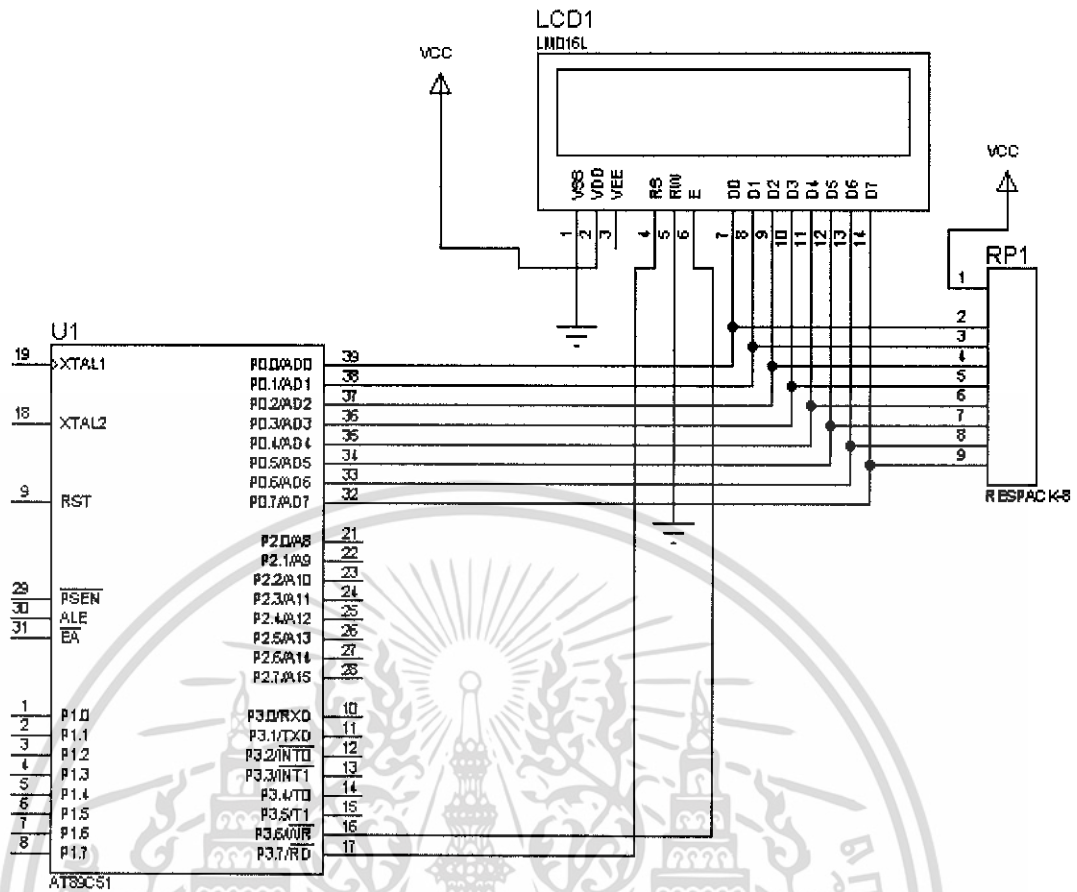
V_O (ขา 3) : เป็นขาอินพุตรับแรงดันเพื่อปรับความเข้มของการแสดงผล

R_S (ขา 4) : เป็นขาอินพุตใช้แยกชนิดของข้อมูลที่ประมวลผลว่าเป็นคำสั่งหรือเป็นข้อมูล โดยถ้าขานี้เป็น “0” ข้อมูลที่ส่งมาจะเป็นคำสั่ง แต่ถ้าเป็น “1” ข้อมูลที่ส่งมาจะเป็นข้อมูลแสดงผล

R/W (ขา 5) : เป็นขาที่ใช้เลือกการอ่านหรือเขียนข้อมูลกับ โมดูล LCD ถ้าเป็น “0” เป็นการกำหนดให้เขียนข้อมูล แต่ถ้าเป็น “1” จะเป็นการอ่านข้อมูล

E(ขา 6) : เป็นขาสำหรับรับสัญญาณพัลส์เอ็นเอเบิล โมดูล LCD ให้ทำงาน

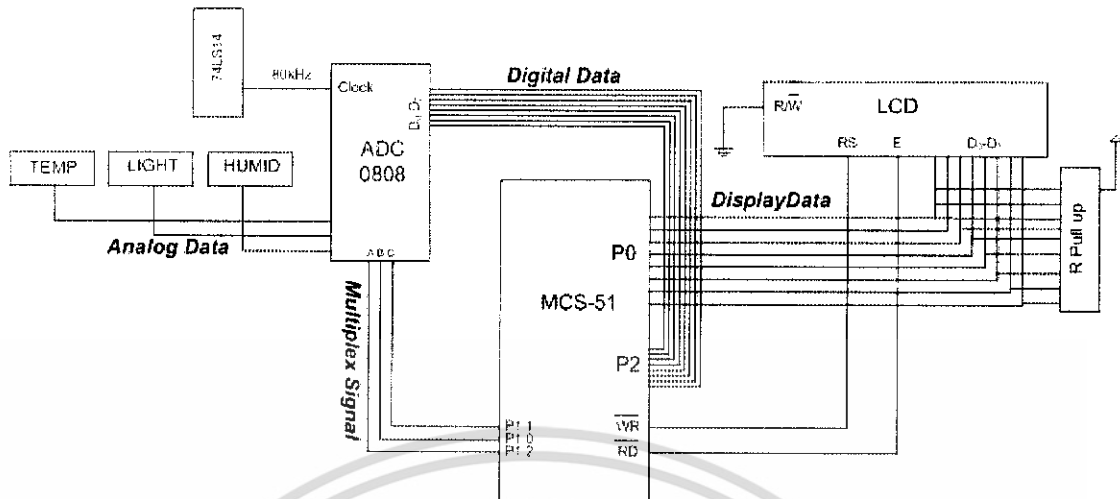
D0-D7 (ขา 7-14) : เป็นขาข้อมูลระหว่าง LCD กับอุปกรณ์ภายนอกขนาด 8 บิต



รูปที่ 24 การเชื่อมต่อกับ LCD

การทำงาน

เมื่อ MCS-51 ส่งค่าไปเลือกช่องของ ADC0808 เรียบร้อยแล้ว ข้อมูล Digital จะเข้าสู่ MCS-51 ทาง P2 จากนั้น MCS-51 จะทำหน้าที่คำนวณค่าซึ่งขึ้นอยู่กับว่าเป็นเซนเซอร์ชนิดไหนก็คำนวณตามสมการนั้น หลังจากนั้น MCS-51 จะส่งค่าไปให้กับ LCD ประมวลผล ซึ่งกระบวนการดังกล่าวนี้จะทำอยู่ตลอดเวลา จึงทำให้เมื่อค่า input มีการเปลี่ยนแปลง LCD ก็จะแสดงผลได้ทันที



รูปที่ 25 แสดงระบบการเชื่อมต่อของแต่ละส่วน

3.9 การอินเตอร์เฟสโดยพอร์ต RS-232

ลักษณะของการส่งข้อมูลแบบอนุกรมนั้น ข้อมูลจะถูกส่งออกมาทีละบิต จากตัวอุปกรณ์ส่งไปยังอุปกรณ์รับช่องสัญญาณในการส่งข้อมูลอาจจะใช้เพียง 1 หรือ 2 ช่องสัญญาณเท่านั้น ทำให้ค่าใช้จ่ายในการสื่อสารถูกกว่าแบบขนานแต่อัตราการส่งข้อมูลจะช้ากว่าการส่งแบบขนาน ในการส่งข้อมูลแบบอนุกรม ข้อมูลที่ต้องการส่งจะอยู่ในลักษณะเป็นไบนารี จะถูกทยอยส่งทีละบิต และทางอุปกรณ์รับจะรองรับข้อมูลเข้ามาทีละบิต แล้วมารวมกันเป็นไบนารีซึ่งทางด้านอุปกรณ์รับจะต้องคอยตรวจสอบว่าบิตใดเป็นบิตเริ่มแรกของไบนารีนั้น การตรวจสอบจะขึ้นอยู่กับรูปแบบของรหัสบิตที่ใช้ในการรับส่งข้อมูลแบบอนุกรม ระหว่างไมโครคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์ภายนอกนั้น จำเป็นต้องมีมาตรฐานในการรับส่ง ซึ่งเป็นมาตรฐานที่นิยมมากที่สุดก็คือมาตรฐาน RS-232

มาตรฐาน RS-232

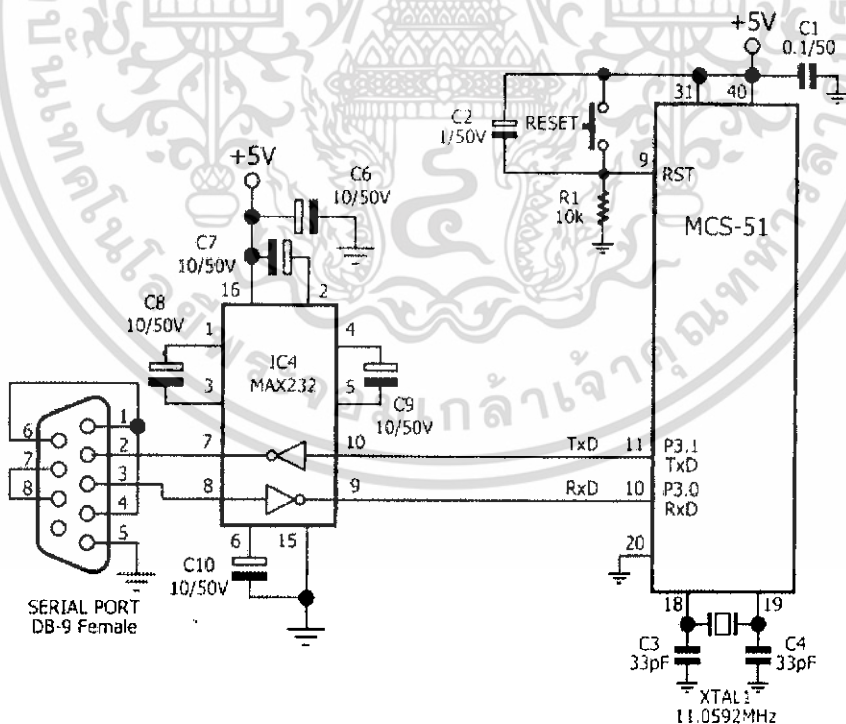
เพื่อที่จะให้อุปกรณ์จากผู้ผลิตต่างกันทำงานร่วมกันได้ มาตรฐานหลายชนิดจึงได้รับการออกแบบขึ้น มาตรฐานที่ใช้กันอย่างกว้างขวางที่สุดคือ RS-232 ซึ่งโดยปกติไมโครคอมพิวเตอร์จะมีพอร์ตที่เป็นแบบอนุกรมอยู่ในตัวอยู่แล้วและจะทำหน้าที่รับส่งข้อมูลในแบบอนุกรม ตามจุดประสงค์ของมาตรฐาน RS-232C นั้น เพื่อจะสามารถเชื่อมต่อกันระหว่างอุปกรณ์รับส่งข้อมูลปลายทาง (Data Terminal Equipment : DTE) เช่น พอร์ตของคอมพิวเตอร์หลักหรืออุปกรณ์ปลายทางกับอุปกรณ์สื่อสารข้อมูล (Data Communication Equipment : DCE) หมายถึงอุปกรณ์ที่สามารถแปลงรูปคลื่นดิจิทัลไปเป็นสัญญาณที่เหมาะสมสำหรับการส่งผ่านสายโทรศัพท์หรือตัวกลางการสื่อสารอย่างอื่น โดยกระบวนการผสมสัญญาณ (Modulation)

การอินเทอร์เฟสตามมาตรฐาน RS-232C

มาตรฐาน RS-232C ใช้สัญญาณเพียงเส้นเดียวในการส่งสัญญาณโดยสัญญาณที่ส่งไปได้ทิศทางเดียว สำหรับความเร็วและระยะทางของการเชื่อมต่อ RS-232C สามารถเชื่อมต่อการถ่ายโอนข้อมูลได้ถึง 200 Kbps ซึ่งเพียงพอสำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์ที่มีอัตรา 110-9600 บอด ความยาวของสายเชื่อมสัญญาณระหว่าง DTE และ DCE โดยสัญญาณตามมาตรฐานของ RS-232 จำกัดอยู่ที่ 50 ฟุตหรือประมาณ 15 เมตร ซึ่งเพียงพอสำหรับการสื่อสารไมโครคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์ภายนอกสำหรับแรงดันของระดับสัญญาณจะถูกกำหนดลงใน 2 บริเวณ คือ

- แรงดันไฟบวก (สถานะ Space) อยู่ระหว่าง +5 ถึง +15 โวลต์สำหรับเอาต์พุตและระหว่าง -3 ถึง +15 สำหรับอินพุต ความแตกต่างมีไว้เพื่อกรณีที่แรงดันไฟฟ้าสูญหายเนื่องจากความยาวของสัญญาณ
- แรงดันไฟลบ (สถานะ Mark) ถูกกำหนดไว้ระหว่าง -5 ถึง -15 โวลต์ สำหรับเอาต์พุต และระหว่าง -3 ถึง -15 โวลต์สำหรับอินพุต

ซึ่งจะเห็นได้ว่าถ้าให้สายสัญญาณยาวเกินไป ระดับแรงดันไฟฟ้าจะตกลงเกินขอบเขตที่กำหนด นอกจากนี้ค่าความจุไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจะมีผลกับคุณภาพของสัญญาณ โดยทำให้การเปลี่ยนสถานะจากแรงดันไฟบวกไปเป็นแรงดันไฟลบนั้นไม่ชัดเจน เนื่องจาก RS-232C ไม่ได้ออกแบบให้นำไปใช้กับระยะทางไกล ดังนั้นถ้าอุปกรณ์อยู่ห่างกันมาก อาจจำเป็นต้องใช้โมเด็มหรือวิธีการอื่น ๆ แทน



รูปที่ 26 การต่อใช้การส่งสัญญาณแบบอนุกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

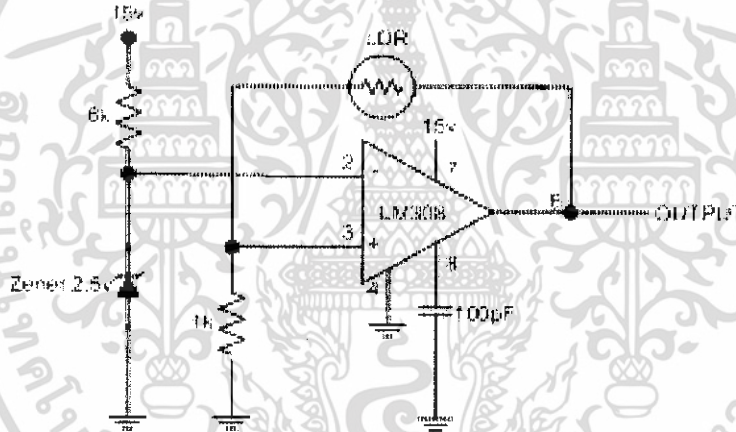
บทที่ 4

ผลการทดลองและสรุปผล

4.1 การทดลองการวัดความเข้มแสง

4.1.1 วิธีทดลอง

1. ต่อบอร์ดวงจรรูปที่ 26 โดยใช้ตัว LDR เป็นตัวต้านทานที่ทำหน้าที่เป็นตัวควบคุมอัตราขยาย
2. ปรับค่าความเข้มแสงให้มีความเข้มค่าต่างๆผ่าน LDR โดยใช้โคมไฟปรับค่าได้มาเป็นตัวกำหนดความเข้มแสง
3. จดค่าแรงดันเอาต์พุตที่ความเข้มแสงค่าต่างๆ(ที่นี้ใช้ตั้งแต่ 150 – 20,000 Lux)
4. วิเคราะห์ผลการทดลองเทียบกับสูตรคำนวณแรงดันเอาต์พุต $V_{out} = 2.5[1 + R_{LDR} / 1K]$



รูปที่ 27 วงจรวัดความเข้มแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2 ผลการทดลอง

4.1.3 ตารางแสดงผลการทดลอง

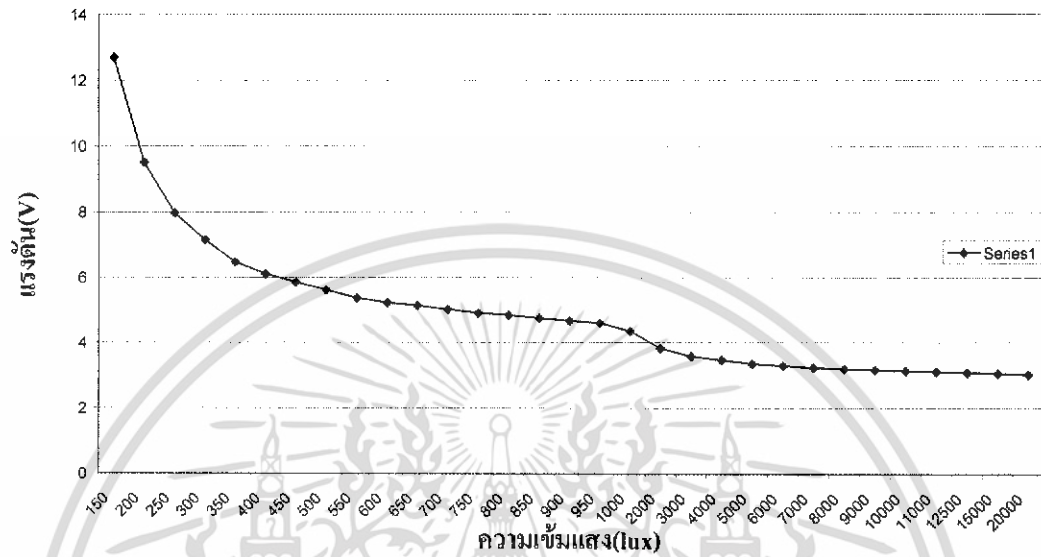
ความเข้มแสง(lux)	แรงดัน(Volt)	ความเข้มแสง(lux)	แรงดัน(Volt)
150	12.7	1000	4.35
200	9.52	2000	3.825
250	7.98	3000	3.58
300	7.16	4000	3.465
350	6.48	5000	3.35
400	6.11	6000	3.29
450	5.86	7000	3.235
500	5.63	8000	3.19
550	5.37	9000	3.16
600	5.24	10000	3.13
650	5.15	11000	3.11
700	5.03	12500	3.08
750	4.92	15000	3.05
800	4.85	20000	3.02
850	4.76		
900	4.67		
950	4.61		

ตารางที่ 1 ผลการทดลองวัดความเข้มแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.4 กราฟแสดงผลการทดลอง

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับความเข้มแสง



รูปที่ 28 กราฟระหว่างแรงดันและความเข้มแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 ผลการทดลอง

4.2.3 ตารางแสดงผลการทดลอง

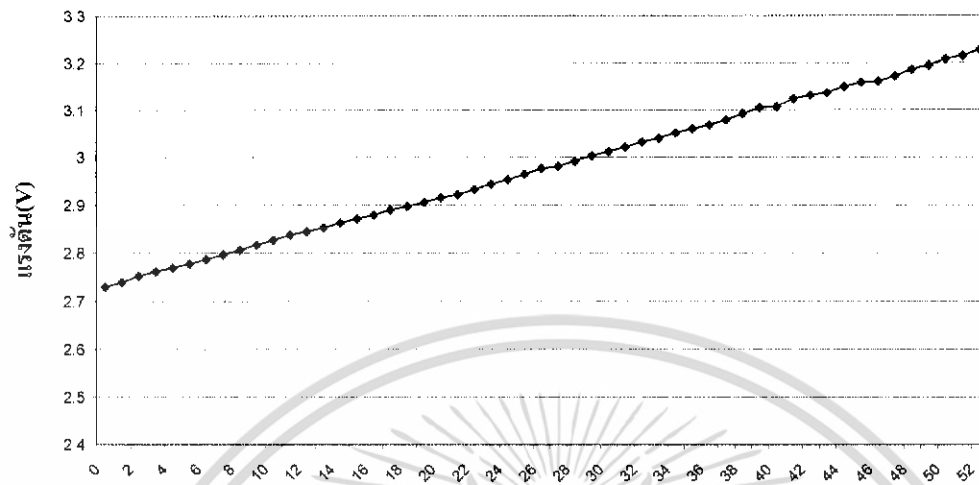
อุณหภูมิ(°C)	แรงดัน(Volt)	อุณหภูมิ(°C)	แรงดัน(Volt)
0	2.73	27	2.981
1	2.74	28	2.992
2	2.753	29	3.003
3	2.762	30	3.012
4	2.77	31	3.021
5	2.778	32	3.032
6	2.787	33	3.04
7	2.797	34	3.051
8	2.807	35	3.06
9	2.817	36	3.068
10	2.827	37	3.079
11	2.838	38	3.092
12	2.845	39	3.105
13	2.853	40	3.107
14	2.863	41	3.124
15	2.872	42	3.132
16	2.88	43	3.137
17	2.89	44	3.15
18	2.898	45	3.159
19	2.906	46	3.161
20	2.916	47	3.172
21	2.922	48	3.186
22	2.933	49	3.195
23	2.944	50	3.208
24	2.953	51	3.215
25	2.965	52	3.228
26	2.977		

ตารางที่ 2 ผลการทดลองวัดอุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.4 กราฟแสดงผลการทดลอง

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับแรงดัน



อุณหภูมิ(องศาเซลเซียส)

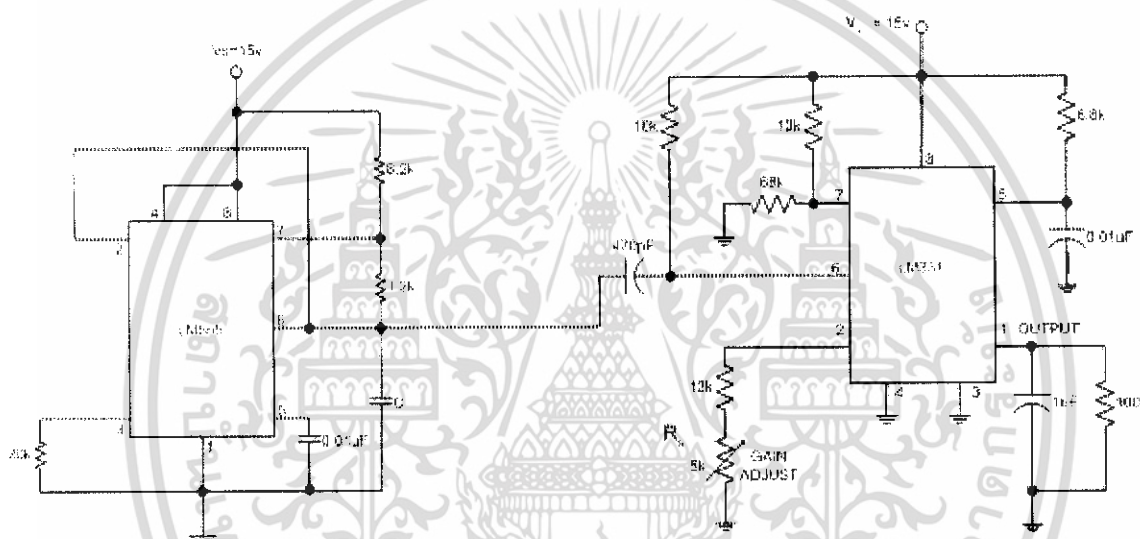
รูปที่ 30 กราฟระหว่างแรงดันและอุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 การทดลองวัดความชื้นในดิน

4.3.1 วิธีการทดลอง

1. ทำการต่อวงจรดังรูปที่ 28
2. นำดินแห้ง(ความชื้น0%) มาทำการวัดค่าแรงดันอ้างอิง
3. ทำการหาเปอร์เซ็นต์ความชื้น โดยการเติมน้ำเข้าไปโดยการวัดปริมาณน้ำแล้วเติมน้ำเข้าไป
คลุกเคล้าให้ทั่วแล้วทำการวัดค่าแรงดันที่ความชื้นต่างๆ(ในที่นี้ใช้ 0- 40 %)
4. จดค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นและจดผลที่ค่าความชื้นต่างๆ



รูปที่ 31 วงจรวัดความชื้นในดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.2 ผลการทดลอง

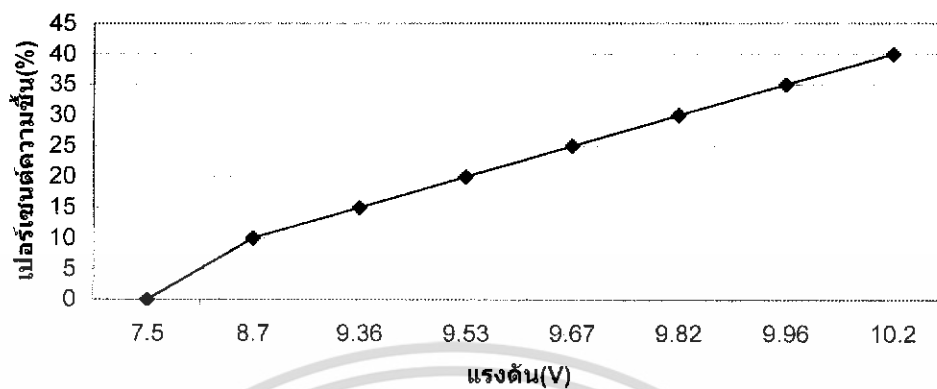
เปอร์เซ็นต์ความชื้น(%)	ค่าแรงดันที่ได้(V)
0	7.5
10	8.7
15	9.36
20	9.53
25	9.67
30	9.82
35	9.96
40	10.2

ตารางที่ 3 ผลการทดลองวัดความชื้นในดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.3 กราฟแสดงผลการทดลอง

กราฟแสดงความสัมพันธ์ของเปอร์เซ็นต์ความชื้นกับแรงดัน



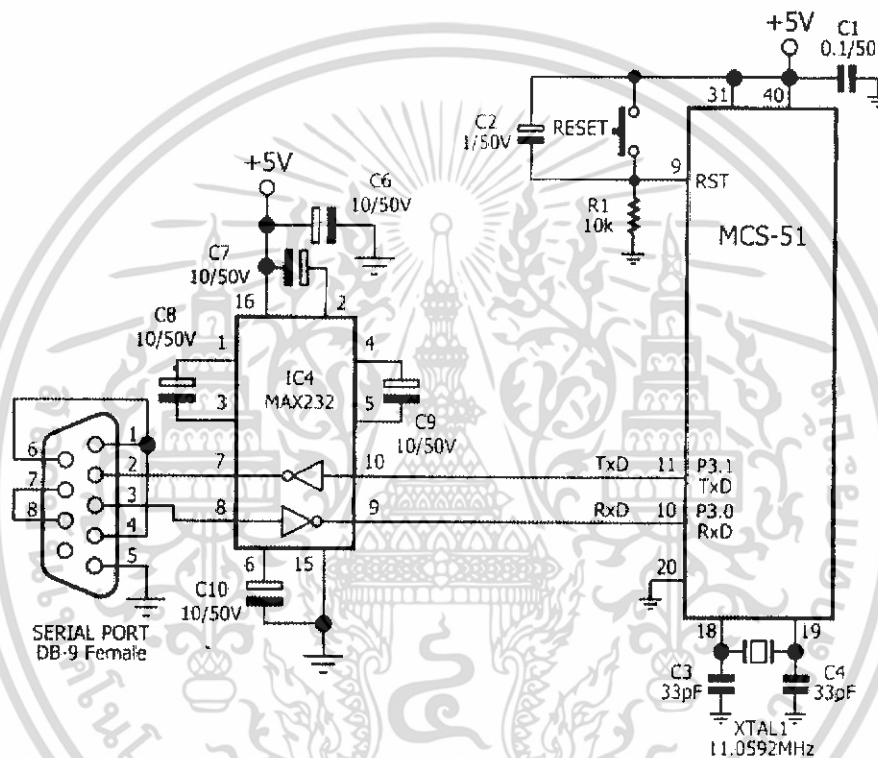
รูปที่ 32 กราฟระหว่างแรงดันและความชื้นในดิน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 การทดลองส่งข้อมูลแบบอนุกรม

1. ต่อดังตามรูป
2. ทำการทดสอบโดยเปิดไฟล์ที่มีนามสกุลเป็น hex ไปดาวน์โหลดลงไมโครคอนโทรลเลอร์
3. เปิดโปรแกรม Hyper Terminal กำหนดอัตราบอดเป็น 9600 บิตต่อวินาที
4. ทำการรันโปรแกรมบนไมโครคอนโทรลเลอร์ สังเกตผลบนหน้าต่าง Debug Terminal

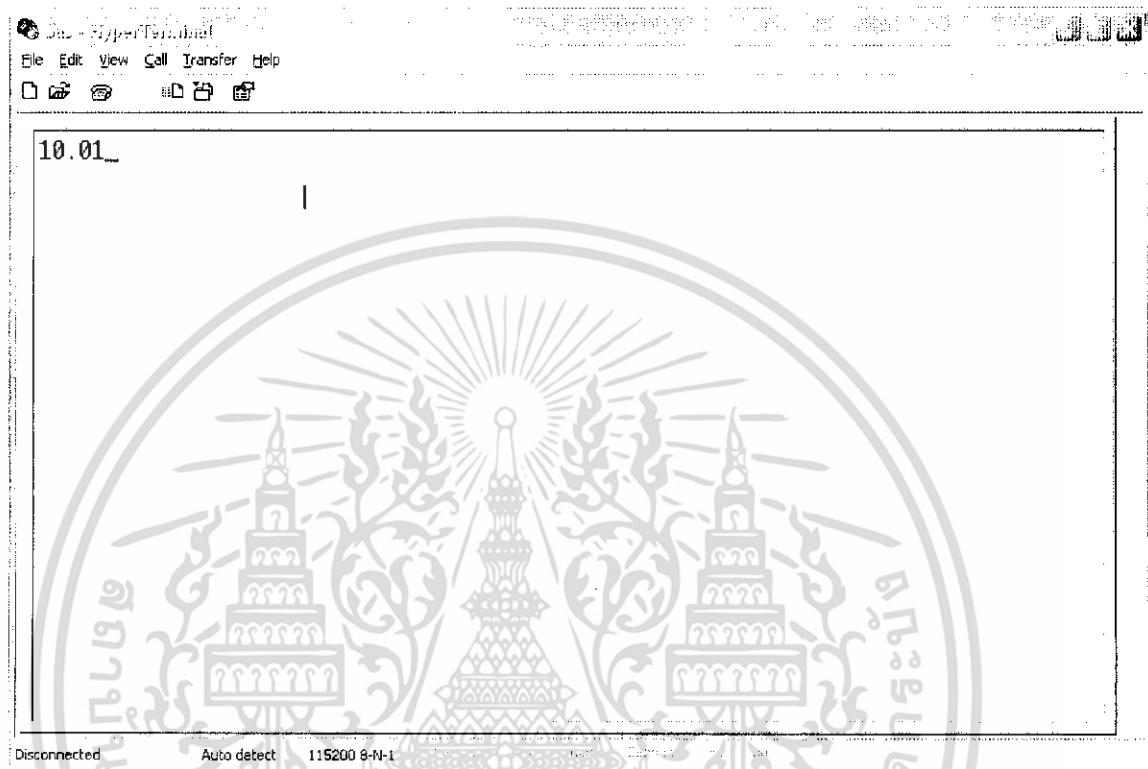


รูปที่ 33 วงจรส่งข้อมูลผ่านทางพอร์ตอนุกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลองส่งข้อมูลแบบอนุกรม

เมื่อส่งข้อมูลแบบอนุกรมผ่าน Max-232 เข้าทางHyper terminal จะได้ผลการทดลอง ดังรูปข้างล่าง



รูปที่ 34 ผลการทดลองส่งข้อมูลแบบอนุกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและปัญหาในการทดลอง

5.1 สรุปและปัญหาในการทดลองวงจรวัดความเข้มแสง

สรุปผลการทดลองวงจรวัดความเข้มแสง

ผลการทดลองที่ได้พบว่าในช่วงความเข้มแสงที่เราได้เราพบว่าค่าศักดาทางด้านเอาต์พุทที่ออกมาในช่วงความเข้มแสง 150 -20000 Luxs ก่อนข้างจะมีความเป็นเชิงเส้น โดยที่เมื่อความเข้มแสงน้อยความต้านทานของ LDR จะมีความต้านทานมากจะทำให้แรงดันเอาต์พุทมีค่าสูงเพราะมีค่าอัตราขยายสูง และเมื่อมีความเข้มแสงมากจะทำให้แรงดันเอาต์พุทมีค่าน้อยลงเพราะว่าค่าอัตราขยายมีค่าต่ำลง

ปัญหาในการทดลองวงจรวัดความเข้มแสง

ปัญหาในการทดลองวัดความเข้มแสงคือ การจัดวางอุปกรณ์การวัดแสงซึ่งต้องอยู่ตรงตำแหน่งที่ระดับเดียวกับเครื่องวัดมาตรฐานทางแนวตั้งและแนวนอน และปัญหาที่เกิดจากแสงภายนอกมารบกวน

5.2 สรุปและปัญหาในการทดลองวงจรวัดอุณหภูมิ

สรุปผลการทดลองวงจรวัดอุณหภูมิ

ผลการทดลองที่ได้พบว่า ในช่วงอุณหภูมิที่เราสนใจตั้งแต่ 0- 50°C เราจะได้ว่าค่าศักดาที่ออกมา ก่อนข้างจะมีความเป็นเชิงเส้น เมื่ออุณหภูมิมีน้อยจะทำให้มีแรงดันเอาต์พุทที่ออกมาน้อย และเมื่ออุณหภูมิมีก่ามากขึ้นจะทำให้แรงดันทางด้านเอาต์พุทมีค่ามากขึ้น โดยประมาณจะได้เกือบๆ 10mVต่อองศาเซลเซียส

ปัญหาในการทดลองวงจรวัดอุณหภูมิ

ปัญหาในการทดลองวัดอุณหภูมิ คือ การเคลื่อนขาคิวเซนเซอร์ด้วยกาวต้องทำให้ไม่มีฟองอากาศอยู่บนขาของตัวเซนเซอร์ เพราะจะทำให้ผลการทดลองที่ได้ผิดพลาดอย่างมาก และการวัดค่าก็ค่อนข้างลำบากจากแรงดันที่มีการเปลี่ยนแปลงค่อนข้างน้อย และซ้ำทำให้การวัดค่าค่อนข้างจะยาก และ การอ่านค่าจากเทอร์โมมิเตอร์ก็ขึ้นอยู่กับมุมการมองระดับปรอทที่เทอร์โมมิเตอร์ด้วย

5.3 สรุปและปัญหาในการทดลองวงจรวัดความชื้นในดิน

สรุปผลการทดลองวงจรวัดความชื้นในดิน

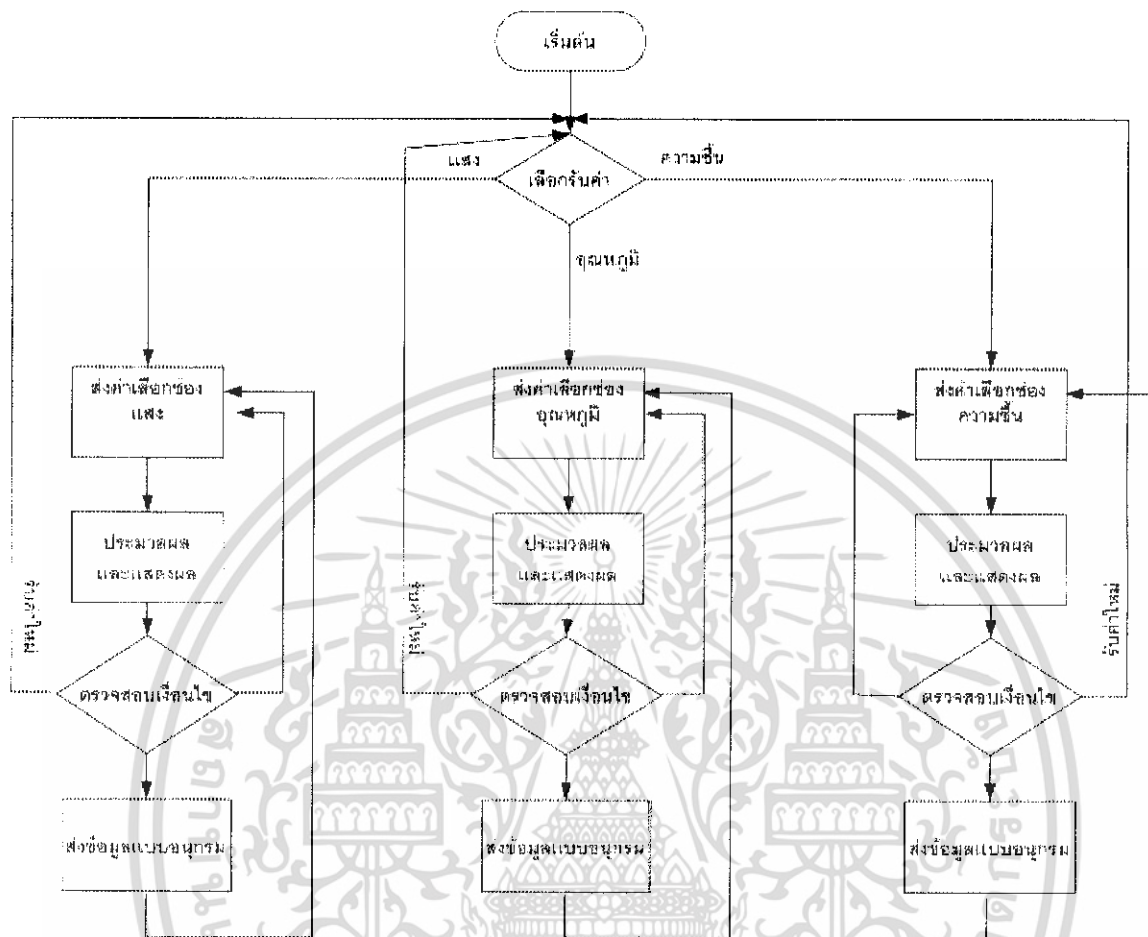
ผลการทดลองที่ได้พบว่าเมื่อความชื้นในดินเพิ่มขึ้นแรงดันเอาต์พุตที่ได้มีค่าเพิ่มขึ้นซึ่งเป็นผลมาจากการที่ค่าความชื้นของดินเพิ่มขึ้นนั้นค่าความเก็บประจุได้เพิ่มขึ้นทำให้ออสซิลเลทควาถ์ได้สูงทำเมื่อผ่านวงจร แปลงความถี่เป็นแรงดันแล้วแรงดันมีค่าสูงขึ้น

ปัญหาในการทดลองวงจรวัดความชื้นในดิน

ปัญหาในการทดลองการทดลองวัดความชื้นในดิน ในช่วงแรกประสบปัญหาคือ การทำดินให้แห้งที่จะนำมาใช้เป็นค่าอ้างอิงจะต้องนำดินไปอบที่อุณหภูมิซึ่งต้องทำเรื่องขออนุมัติ และการทำให้ดินมีความชื้นที่เปอร์เซ็นต์ที่ค่าต่าง ๆ นั้นจะต้องนำดินมาผสมซึ่งความยากก็คือการที่จะทำให้ดินทั้งหมดมีความชื้นเท่ากันรวมถึงความชื้นในดินก็สามารถทำได้แค่ที่ค่าหนึ่งเท่านั้นเพราะว่าที่ค่าความชื้นของดินมากกว่านี้จะทำให้ไม่สามารถใส่เซนเซอร์วัดความชื้นในดินของเราใส่ลงไปได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก. โปรแกรมที่การทำงานแสดงผลและส่งข้อมูล



โปรแกรมที่การทำงานแสดงผลและส่งข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข. โปรแกรมที่ใช้ในการทำงาน

```

#include "reg51.h"
#include <stdio.h>           //Keil library
#include <math.h>           //Keil library
#include <string.h>         //Keil library

#define LCD P0
sbit RS = P3^7;             // Bit control Command/Data LCD
sbit E = P3^6;             // Bit control enable recive data LCD
sbit x = P1^0;
sbit y= P1^1;
sbit z= P1^2;
sbit q= P1^3;
sbit r = P1^4;
sbit s = P1^5;
sbit k = P1^6;
sbit l = P1^7;
float a1,a2,a3,a4;
char m;
int c,c1,x1[4];
//
*****IntitialLCD*****
void InitLCD() {
    unsigned int i;

    for (i=0;i<5000;i++) ;

    LCD = 0x01;             // Clear screen
    RS = 0;
    E = 1; E = 0;
    for (i=0;i<200;i++);

    LCD = 0x3F;           // Set 8-bit mode
    RS = 0;
    E = 1; E = 0;
    for (i=0;i<200;i++);

    LCD = 0x0C;           // Display on
    RS = 0;
    E = 1; E = 0;
    for (i=0;i<200;i++);
}
//*****DisplayLCD*****
void ClearLCD() {
    unsigned int i;
    LCD = 0x01;           // Clear screen
    RS = 0;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

RS = 1;
E = 1; E = 0;
for (i=0;i<30;i++);
}
void PrintLCD(unsigned char stt[]){           // Convert data to string
    unsigned char BB;
    for (BB=0;stt[BB]!=0;BB++)
        WriteLCD(stt[BB]);
    }

void GotoLCD(unsigned char addr) {           // Set LCD address
    unsigned int i;
    LCD = addr | 0x80;
    RS = 0;
    E = 1; E = 0;
    for (i=0;i<30;i++);
}
//
*****Fundtiondelay*****

void delay(unsigned char tick) {             // Function delay
    unsigned i,j;
    for (i=0;i<tick;i++)
        for (j=0;j<200;j++);
    }
//*****Sendserial*****
void intserial(){                             //Initial serial port
    TMOD = 0x21;
    SCON = 0x50;
    TH1 = 0xFA;
    TL1 = 0xFA;
    TF1 = 0;
    TI = 0;
    TR1 = 1;
    }
void sendserial(){                             // Send serial port
    intserial();
    for(i=0;i<4;i++){
        SBUF = x1[i];
        while(~TI);
        TI = 0;
    }
}
// *****Equation
calcaulate*****
void temp (unsigned char w){
    a1 = w*0.2;                               //Equation
    temperature
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

void light (unsigned char w1){                                     //Equation light density
    if(w1<=40)
    {
        a3 = (20000-(338*w1));
    }
    if(41<w1 && w1<=134)
    {
        a3 = (6500 - (69*(w1-40)));
    }
    if(135<=w1 && w1<=235)
    {
        a3 = (int)(30-(0.3*(w1-134)));
    }
    if(236 <=w1)
    {
        a3 = (w1*0);
    }
}
void humi (unsigned char w2){                                     // Equation soid humidity
    if(w2>=0 && w2<=90)
    {
        a2 = 0.161*w2;
    }
    if(w2>90 && w2<=135)
    {
        a2 = 15 + (0.59*(w2-93));
    }
}
}
/*****
***
void send (float scc){
unsigned char sdd[20];
    sprintf(sdd,"%0.2f",scc);PrintLCD(sdd);
    delay(50);
}
void send1 ( int soo){
unsigned char scc[10];
    sprintf(scc,"%d",soo);PrintLCD(scc);
    delay(50);
}
}
/*****Fundtiontemperature*****/
void fa()
{

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    x = 0; // Multiplex
signal
    y = 0; // Multiplex
signal
    z = 0; // Multiplex
signal
    P2 = 0xFF;
    m = P2;
    temp(m);
    GotoLCD(0x00);
    PrintLCD("TEMP");
    GotoLCD(0x04);
    PrintLCD(" ");
    GotoLCD(0x06);
    PrintLCD(" ");
    GotoLCD(0x0A);
    send(a1);
    delay1(30);
    GotoLCD(0x0F);
    PrintLCD("C");
}
//*****Fundtion lightdensity*****
void fb()
{
    x = 0; // Multiplex
signal
    y = 1; // Multiplex
signal
    z = 0; // Multiplex
signal
    P2 = 0xFF;
    m = P2;
    light(m);
    GotoLCD(0x00);
    PrintLCD("LIGHT");
    if (a3 < 99999 && a3 > 9999)
    {
        GotoLCD(0x08);
        send1(a3);
        delay1(500);
    }
    if (a3 < 9999 && a3 > 999)
    {
        GotoLCD(0x08);
        PrintLCD(" ");
        GotoLCD(0x09);
        send1(a3);
        delay1(500);
    }
    if (a3 < 999 && a3 > 99)

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    GotoLCD(0x08);
    PrintLCD(" ");
    GotoLCD(0x0A);
    send1(a3);
    delay1(500);
}
if (a3 < 99 && a3 > 9)
{
    GotoLCD(0x08);
    PrintLCD(" ");
    GotoLCD(0x0B);
    send1(a3);
    delay1(500);
}
if (a3 < 9 )
{
    GotoLCD(0x08);
    PrintLCD(" ");
    GotoLCD(0x0C);
    send1(a3);
    delay1(500);
}

    GotoLCD(0x00);
    GotoLCD(0x0D);
    PrintLCD("LUX");
}

}

//*****Fundntion soil himidity *****
void fc()
{
    x = 0;           // Multiplex signal
    y = 0;           // Multiplex signal
    z = 1;           // Multiplex signal
    P2 = 0xFF;
    m = P2;
    humi(m);
    GotoLCD(0x00);
    PrintLCD("HUMI");
    GotoLCD(0x04);
    PrintLCD(" ");
    GotoLCD(0x06);
    PrintLCD(" ");
    GotoLCD(0x0A);
    send(a2);
    delay1(30);
    GotoLCD(0x0F);
    PrintLCD("%");
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

*****Send temperature*****
void fd(){
    unsigned char i;
    x = 0;
    y = 0;
    z = 0;
    P2 = 0xFF;
    m = P2;
    temp(m);
    c = (int)a1;
    x1[0] = c/10;
    x1[1] = c%10;
    c1 = (a1-c)*100;
    x1[2] = c1/10;
    x1[3] = c1%10;
    sendserial();
}
*****Send light density*****
void fe(){
    unsigned char i;
    x = 0;
    y = 1;
    z = 0;
    P2 = 0xFF;
    m = P2;
    light(m);
    if (a3<9)
    {
        x[1],x[2],x[3],x[4] = 0;
        x[0] = a3;
    }
    if(a3>9 && a3<=99)
    {
        x[2],x[3],x[4] = 0;
        x[1] = a3/10;
        x[0] = a3%10;
    }
    if(a3>99 && a3<=999)
    {
        x[3],x[4] = 0;
        x[2] = a3/100;
        x[1] = (a3%100)/10;
        x[0] = a3%10;
    }
    if (a3>999 &&a3<=9999)
    {
        x[4] = 0;
        x[3] = a3/1000;
        x[2] = (a3%1000)/100;
        x[1] = ((a3%1000)%100)/10;
        x[0] = a3%10
    }
    if (a3>9999 && a3<=999999)

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        {
        x[4] = a3/10000;
        x[3] = (a3%10000)/1000;
        x[2] = ((a3%10000)%1000)/100;
        x[1] = (((a3%10000)%1000)%100)/10;
        x[0] = a3%10;

        intserial();
        for(i=0;i<5;i++){
        SBUF = x1[i];
        while(~TI);
        TI = 0;
        }
}
}
/*****Send soli humidity*****/
void ff(){
unsigned char i;
    x = 0;
    y = 0;
    z = 1;
    P2 = 0xFF;
    m = P2;
    humi(m);
    c = (int)a2;
    x1[0] = c/10;
    x1[1] = c%10;
    c1 = (a2-c)*100;
    x1[2] = c1/10;
    x1[3] = c1%10;
    sendserial();
}
/*****Main*****/
void main()
{
    InitLCD();
    while(1)
    {

        if (q==0 && r==1 && s==1 && k==1 && l==1 )
            // Check condition convert always

        while (1)
        {
            if ((q==1 && r==0 && s==1) || (q==1 && r==1 && s==0))
                //Check to out loop

                break;
            else if (k==1 && l==0)
                // Check to send serial
    
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญ // Check to send serial การค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

{
    fd();
}
else if (k==0 && l==1)
{
    fe();
}
else if (k==0 && l==0)
{
    ff();
}

fa(); // Display temperature

}

}
if(q==1 && r == 0 && s == 1 && k==1 && l==1)
    // Check condition convert always
{
    while (1)
    {
        if((q==0 && r==1 && s==1) || (q==1 && r==1 && s==0))
            //Check to out loop
            break;
        else if (k==1 && l==0)
            // Check to send serial
            {
                fd();
            }
        else if (k==0 && l==1)
            {
                fe();
            }
        else if (k==0 && l==0)
            {
                ff();
            }
    }

fb(); //Display light density
}

}

if (q==1 && r==1 && s==0 && k==1 && l==1)
    // Check condition convert always
{
    while (1)
    {
        if((q==0 && r==1 && s==1) || (q==1 && r==0 && s==1))

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

loop
break;
else if (k==1 && l==0)
//Check to out

serial
{
fd();
}
else if (k==0 && l==1)
{
fe();
}
else if (k==0 && l==0)
{
ff();
}
fc(); //Display soil humidity

```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

1. ผศ.วราพงษ์ ตั้งศรีรัตน์ “ ออปแอมป์และการประมวลผล” ,บริษัท ว.เพ็ชรสกุล,กรุงเทพฯ,2545
2. ชีรบุญย์ หล่อวิเชียรรุ่ง “ปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ด้วยภาษาซี”บริษัท อินโนเวทีฟ เอ็กเพอริเมนต์,2540



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ADC0808/ADC0809

8-Bit μ P Compatible A/D Converters with 8-Channel Multiplexer

General Description

The ADC0808, ADC0809 data acquisition component is a monolithic CMOS device with an 8-bit analog-to-digital converter, 8-channel multiplexer and microprocessor compatible control logic. The 8-bit A/D converter uses successive approximation as the conversion technique. The converter features a high impedance chopper stabilized comparator, a 256R voltage divider with analog switch tree and a successive approximation register. The 8-channel multiplexer can directly access any of 8 single-ended analog signals.

The device eliminates the need for external zero and full-scale adjustments. Easy interfacing to microprocessors is provided by the latched and decoded multiplexer address inputs and latched TTL TRI-STATE outputs.

The design of the ADC0808, ADC0809 has been optimized by incorporating the most desirable aspects of several A/D conversion techniques. The ADC0808, ADC0809 offers high speed, high accuracy, minimal temperature dependence, excellent long-term accuracy and repeatability, and consumes minimal power. These features make this device ideally suited to applications from process and machine control to consumer and automotive applications. For 16-channel multiplexer with common output (sample/hold port) see ADC0816 data sheet. (See AN-247 for more information.)

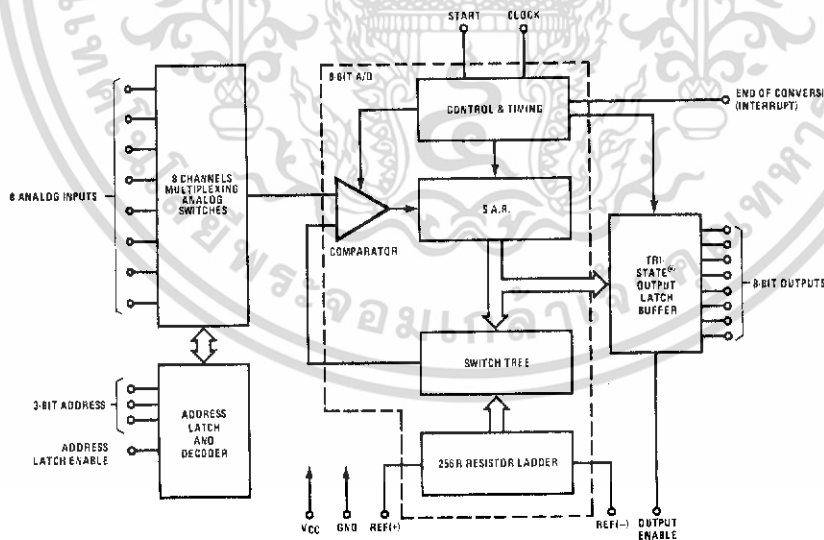
Features

- Easy interface to all microprocessors
- Operates ratiometrically or with 5 V_{DC} or analog span adjusted voltage reference
- No zero or full-scale adjust required
- 8-channel multiplexer with address logic
- 0V to 5V input range with single 5V power supply
- Outputs meet TTL voltage level specifications
- ADC0808 equivalent to MM74C949
- ADC0809 equivalent to MM74C949-1

Key Specifications

- | | |
|--------------------------|-------------------------------|
| ■ Resolution | 8 Bits |
| ■ Total Unadjusted Error | $\pm 1/2$ LSB and ± 1 LSB |
| ■ Single Supply | 5 V _{DC} |
| ■ Low Power | 15 mW |
| ■ Conversion Time | 100 μ s |

Block Diagram



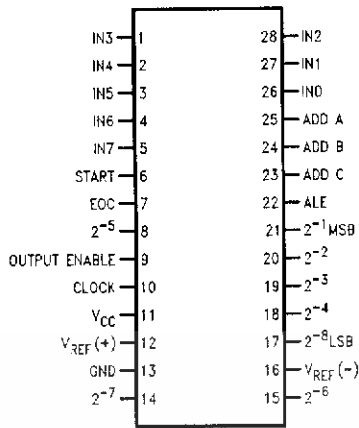
See Ordering Information

00567201

ADC0808/ADC0809 8-Bit μ P Compatible A/D Converters with 8-Channel Multiplexer

Connection Diagrams

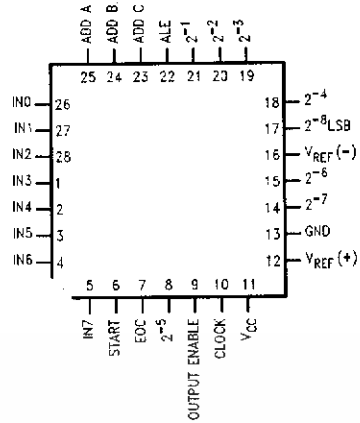
Dual-In-Line Package



00567211

Order Number ADC0808CCN or ADC0809CCN
See NS Package J28A or N28A

Molded Chip Carrier Package



00567212

Order Number ADC0808CCV or ADC0809CCV
See NS Package V28A

Ordering Information

TEMPERATURE RANGE		-40°C to +85°C	
Error	±½ LSB Unadjusted	ADC0808CCN	ADC0808CCV
	±1 LSB Unadjusted	ADC0809CCN	ADC0809CCV
Package Outline		N28A Molded DIP	V28A Molded Chip Carrier

Absolute Maximum Ratings (Notes 2, 1)

If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the National Semiconductor Sales Office/ Distributors for availability and specifications.

Supply Voltage (V _{CC}) (Note 3)	6.5V
Voltage at Any Pin	-0.3V to (V _{CC} +0.3V)
Except Control Inputs	
Voltage at Control Inputs (START, OE, CLOCK, ALE, ADD A, ADD B, ADD C)	-0.3V to +15V
Storage Temperature Range	-65°C to +150°C
Package Dissipation at T _A =25°C	875 mW
Lead Temp. (Soldering, 10 seconds)	

Dual-In-Line Package (plastic)	260°C
Molded Chip Carrier Package	
Vapor Phase (60 seconds)	215°C
Infrared (15 seconds)	220°C
ESD Susceptibility (Note 8)	400V

Operating Conditions (Notes 1, 2)

Temperature Range (Note 1)	T _{MIN} ≤ T _A ≤ T _{MAX}
ADC0808CCN, ADC0809CCN	-40°C ≤ T _A ≤ +85°C
ADC0808CCV, ADC0809CCV	-40°C ≤ T _A ≤ +85°C
Range of V _{CC} (Note 1)	4.5 V _{DC} to 6.0 V _{DC}

Electrical Characteristics

Converter Specifications: V_{CC}=5 V_{DC}=V_{REF(+)}, V_{REF(-)}=GND, T_{MIN} ≤ T_A ≤ T_{MAX} and f_{CLK}=640 kHz unless otherwise stated.

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units
	ADC0808					
	Total Unadjusted Error (Note 5)	25°C T _{MIN} to T _{MAX}			±1/2 ±3/4	LSB LSB
	ADC0809					
	Total Unadjusted Error (Note 5)	0°C to 70°C T _{MIN} to T _{MAX}			±1 ±1 1/4	LSB LSB
	Input Resistance	From Ref(+) to Ref(-)	1.0	2.5		kΩ
	Analog Input Voltage Range	(Note 4) V(+) or V(-)	GND-0.10		V _{CC} +0.10	V _{DC}
V _{REF(+)}	Voltage, Top of Ladder	Measured at Ref(+)		V _{CC}	V _{CC} +0.1	V
$\frac{V_{REF(+)} + V_{REF(-)}}{2}$	Voltage, Center of Ladder		V _{CC} /2-0.1	V _{CC} /2	V _{CC} /2+0.1	V
V _{REF(-)}	Voltage, Bottom of Ladder	Measured at Ref(-)	-0.1	0		V
I _{IN}	Comparator Input Current	f _o =640 kHz, (Note 6)	-2	±0.5	2	μA

Electrical Characteristics

Digital Levels and DC Specifications: ADC0808CCN, ADC0808CCV, ADC0809CCN and ADC0809CCV, 4.75 ≤ V_{CC} ≤ 5.25V, -40°C ≤ T_A ≤ +85°C unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units
ANALOG MULTIPLEXER						
I _{OFF(+)}	OFF Channel Leakage Current	V _{CC} =5V, V _{IN} =5V, T _A =25°C T _{MIN} to T _{MAX}		10	200	nA μA
I _{OFF(-)}	OFF Channel Leakage Current	V _{CC} =5V, V _{IN} =0, T _A =25°C T _{MIN} to T _{MAX}	-200 -1.0	-10		nA μA
CONTROL INPUTS						
V _{IN(1)}	Logical "1" Input Voltage		V _{CC} -1.5			V
V _{IN(0)}	Logical "0" Input Voltage				1.5	V
I _{IN(1)}	Logical "1" Input Current (The Control Inputs)	V _{IN} =15V			1.0	μA
I _{IN(0)}	Logical "0" Input Current (The Control Inputs)	V _{IN} =0	-1.0			μA
I _{CC}	Supply Current	f _{CLK} =640 kHz		0.3	3.0	mA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Electrical Characteristics (Continued)

Digital Levels and DC Specifications: ADC0808CCN, ADC0808CCV, ADC0809CCN and ADC0809CCV, $4.75 \leq V_{CC} \leq 5.25V$, $-40^\circ C \leq T_A \leq +85^\circ C$ unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units
DATA OUTPUTS AND EOC (INTERRUPT)						
$V_{OUT(1)}$	Logical "1" Output Voltage	$V_{CC} = 4.75V$ $I_{OUT} = -360\mu A$ $I_{OUT} = -10\mu A$		2.4 4.5		V(min) V(min)
$V_{OUT(0)}$	Logical "0" Output Voltage	$I_O = 1.6 mA$			0.45	V
$V_{OUT(0)}$	Logical "0" Output Voltage EOC	$I_O = 1.2 mA$			0.45	V
I_{OUT}	TRI-STATE Output Current	$V_O = 5V$ $V_O = 0$	-3		3	μA μA

Electrical Characteristics

Timing Specifications $V_{CC} = V_{REF(+)} = 5V$, $V_{REF(-)} = GND$, $t_r = t_f = 20 ns$ and $T_A = 25^\circ C$ unless otherwise noted.

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units
t_{WS}	Minimum Start Pulse Width	(Figure 5)		100	200	ns
t_{WALE}	Minimum ALE Pulse Width	(Figure 5)		100	200	ns
t_s	Minimum Address Set-Up Time	(Figure 5)		25	50	ns
t_H	Minimum Address Hold Time	(Figure 5)		25	50	ns
t_D	Analog MUX Delay Time From ALE	$R_S = 0\Omega$ (Figure 5)		1	2.5	μs
t_{H1}, t_{H0}	OE Control to Q Logic State	$C_L = 50 pF$, $R_L = 10k$ (Figure 8)		125	250	ns
t_{1H}, t_{0H}	OE Control to Hi-Z	$C_L = 10 pF$, $R_L = 10k$ (Figure 8)		125	250	ns
t_c	Conversion Time	$f_c = 640 kHz$, (Figure 5) (Note 7)	90	100	116	μs
f_c	Clock Frequency		10	640	1280	kHz
t_{EOC}	EOC Delay Time	(Figure 5)	0		8+2 μs	Clock Periods
C_{IN}	Input Capacitance	At Control Inputs		10	15	pF
C_{OUT}	TRI-STATE Output Capacitance	At TRI-STATE Outputs		10	15	pF

Note 1: Absolute Maximum Ratings indicate limits beyond which damage to the device may occur. DC and AC electrical specifications do not apply when operating the device beyond its specified operating conditions.

Note 2: All voltages are measured with respect to GND, unless otherwise specified.

Note 3: A zener diode exists, internally, from V_{CC} to GND and has a typical breakdown voltage of 7 V_{DC} .

Note 4: Two on-chip diodes are tied to each analog input which will forward conduct for analog input voltages one diode drop below ground or one diode drop greater than the V_{CC} supply. The spec allows 100 mV forward bias of either diode. This means that as long as the analog V_{IN} does not exceed the supply voltage by more than 100 mV, the output code will be correct. To achieve an absolute 0V_{DC} to 5V_{DC} input voltage range will therefore require a minimum supply voltage of 4.900 V_{DC} over temperature variations, initial tolerance and loading.

Note 5: Total unadjusted error includes offset, full-scale, linearity, and multiplier errors. See Figure 3. None of these A/Ds requires a zero or full-scale adjust. However, if an all zero code is desired for an analog input other than 0V, or if a narrow full-scale span exists (for example: 0.5V to 4.5V full-scale) the reference voltages can be adjusted to achieve this. See Figure 13.

Note 6: Comparator input current is a bias current into or out of the chopper stabilized comparator. The bias current varies directly with clock frequency and has little temperature dependence (Figure 6). See paragraph 4.0.

Note 7: The outputs of the data register are updated one clock cycle before the rising edge of EOC.

Note 8: Human body model, 100 pF discharged through a 1.5 k Ω resistor.

Functional Description

Multiplexer. The device contains an 8-channel single-ended analog signal multiplexer. A particular input channel is selected by using the address decoder. *Table 1* shows the input states for the address lines to select any channel. The address is latched into the decoder on the low-to-high transition of the address latch enable signal.

TABLE 1.

SELECTED ANALOG CHANNEL	ADDRESS LINE		
	C	B	A
IN0	L	L	L
IN1	L	L	H
IN2	L	H	L
IN3	L	H	H
IN4	H	L	L
IN5	H	L	H
IN6	H	H	L
IN7	H	H	H

CONVERTER CHARACTERISTICS

The Converter

The heart of this single chip data acquisition system is its 8-bit analog-to-digital converter. The converter is designed to give fast, accurate, and repeatable conversions over a wide range of temperatures. The converter is partitioned into 3 major sections: the 256R ladder network, the successive approximation register, and the comparator. The converter's digital outputs are positive true.

The 256R ladder network approach (*Figure 1*) was chosen over the conventional R/2R ladder because of its inherent monotonicity, which guarantees no missing digital codes. Monotonicity is particularly important in closed loop feedback control systems. A non-monotonic relationship can cause oscillations that will be catastrophic for the system. Additionally, the 256R network does not cause load variations on the reference voltage.

The bottom resistor and the top resistor of the ladder network in *Figure 1* are not the same value as the remainder of the network. The difference in these resistors causes the output characteristic to be symmetrical with the zero and full-scale points of the transfer curve. The first output transition occurs when the analog signal has reached $+\frac{1}{2}$ LSB and succeeding output transitions occur every 1 LSB later up to full-scale.

The successive approximation register (SAR) performs 8 iterations to approximate the input voltage. For any SAR type converter, n-iterations are required for an n-bit converter. *Figure 2* shows a typical example of a 3-bit converter. In the ADC0808, ADC0809, the approximation technique is extended to 8 bits using the 256R network.

The A/D converter's successive approximation register (SAR) is reset on the positive edge of the start conversion start pulse. The conversion is begun on the falling edge of the start conversion pulse. A conversion in process will be interrupted by receipt of a new start conversion pulse. Continuous conversion may be accomplished by tying the end-of-conversion (EOC) output to the SC input. If used in this mode, an external start conversion pulse should be applied after power up. End-of-conversion will go low between 0 and 8 clock pulses after the rising edge of start conversion.

The most important section of the A/D converter is the comparator. It is this section which is responsible for the ultimate accuracy of the entire converter. It is also the comparator drift which has the greatest influence on the repeatability of the device. A chopper-stabilized comparator provides the most effective method of satisfying all the converter requirements.

The chopper-stabilized comparator converts the DC input signal into an AC signal. This signal is then fed through a high gain AC amplifier and has the DC level restored. This technique limits the drift component of the amplifier since the drift is a DC component which is not passed by the AC amplifier. This makes the entire A/D converter extremely insensitive to temperature, long term drift and input offset errors.

Figure 4 shows a typical error curve for the ADC0808 as measured using the procedures outlined in AN-179.

Functional Description (Continued)

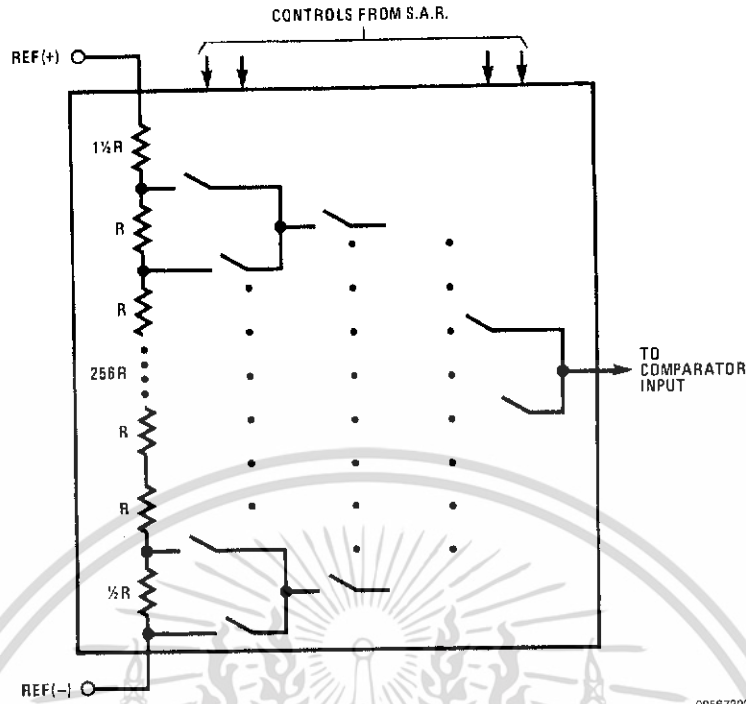


FIGURE 1. Resistor Ladder and Switch Tree

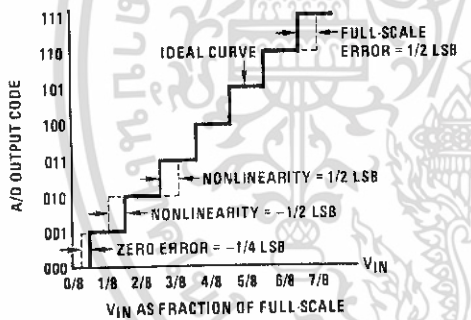


FIGURE 2. 3-Bit A/D Transfer Curve

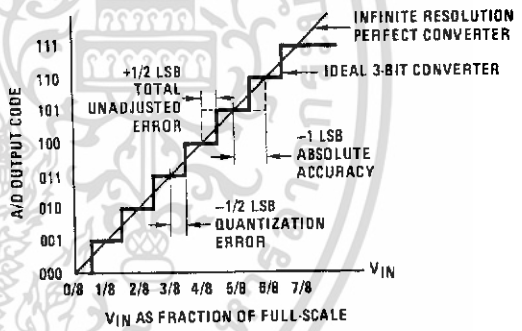


FIGURE 3. 3-Bit A/D Absolute Accuracy Curve

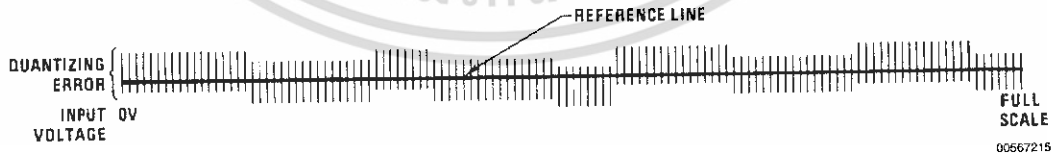
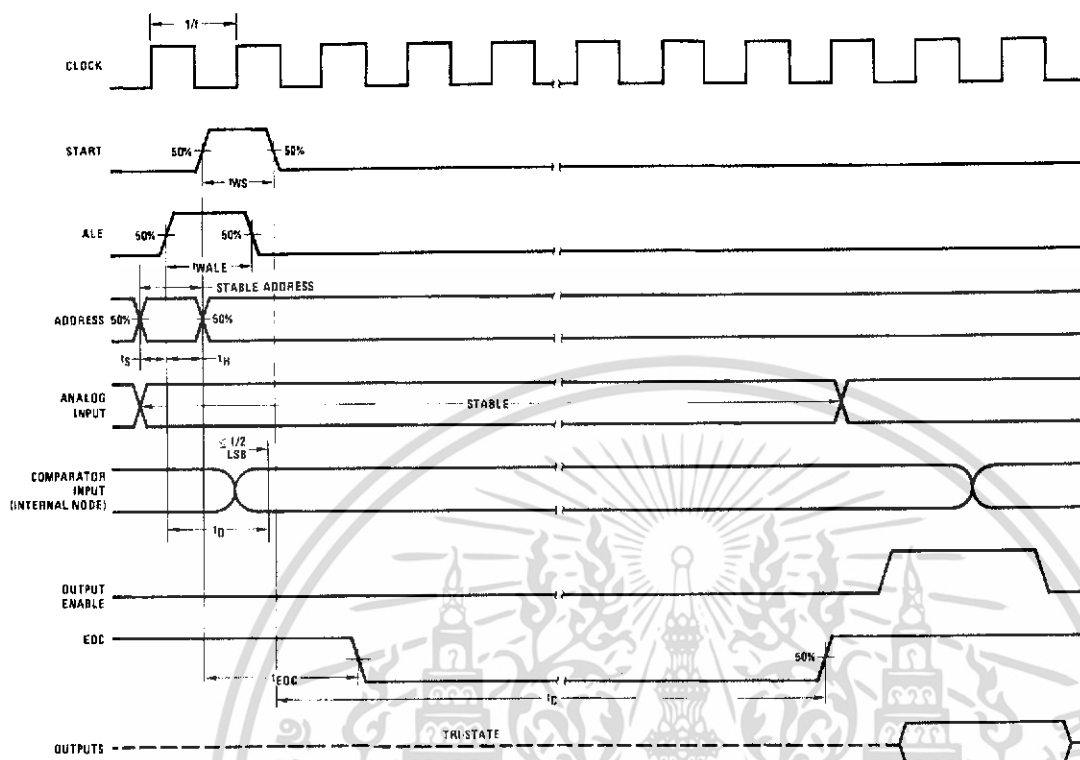


FIGURE 4. Typical Error Curve

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Timing Diagram



00567204

FIGURE 5.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Performance Characteristics

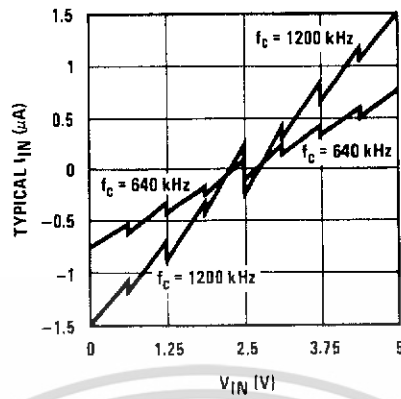


FIGURE 6. Comparator I_{IN} vs V_{IN}
($V_{CC}=V_{REF}=5V$)

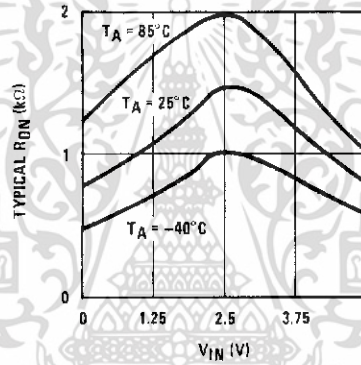


FIGURE 7. Multiplexer R_{ON} vs V_{IN}
($V_{CC}=V_{REF}=5V$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TRI-STATE Test Circuits and Timing Diagrams

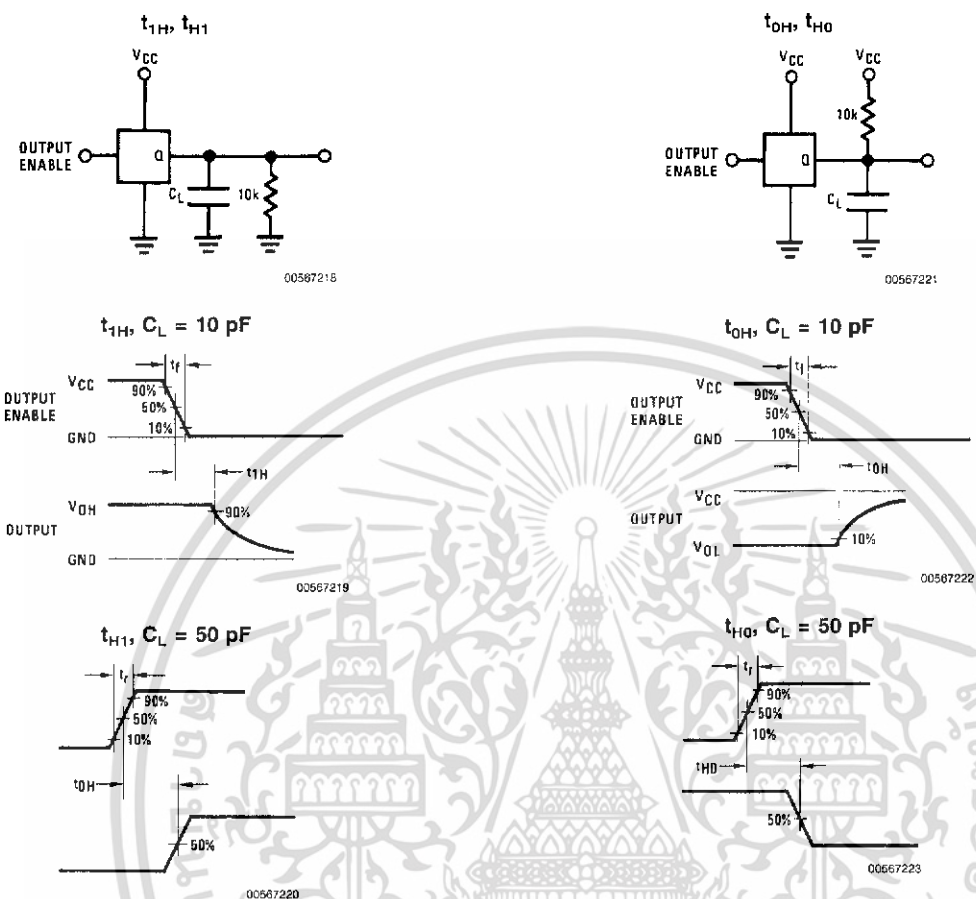


FIGURE 8.

Applications Information

OPERATION

1.0 RATIOMETRIC CONVERSION

The ADC0808, ADC0809 is designed as a complete Data Acquisition System (DAS) for ratiometric conversion systems. In ratiometric systems, the physical variable being measured is expressed as a percentage of full-scale which is not necessarily related to an absolute standard. The voltage input to the ADC0808 is expressed by the equation

$$\frac{V_{IN}}{V_{fs} - V_z} = \frac{D_x}{D_{MAX} - D_{MIN}} \tag{1}$$

- V_{IN} =Input voltage into the ADC0808
- V_{fs} =Full-scale voltage
- V_z =Zero voltage
- D_x =Data point being measured
- D_{MAX} =Maximum data limit

D_{MIN} =Minimum data limit

A good example of a ratiometric transducer is a potentiometer used as a position sensor. The position of the wiper is directly proportional to the output voltage which is a ratio of the full-scale voltage across it. Since the data is represented as a proportion of full-scale, reference requirements are greatly reduced, eliminating a large source of error and cost for many applications. A major advantage of the ADC0808, ADC0809 is that the input voltage range is equal to the supply range so the transducers can be connected directly across the supply and their outputs connected directly into the multiplexer inputs, (Figure 9).

Ratiometric transducers such as potentiometers, strain gauges, thermistor bridges, pressure transducers, etc., are suitable for measuring proportional relationships; however, many types of measurements must be referred to an absolute standard such as voltage or current. This means a system reference must be used which relates the full-scale voltage to the standard volt. For example, if $V_{CC}=V_{REF}=5.12V$, then the full-scale range is divided into 256 standard steps. The smallest standard step is 1 LSB which is then 20 mV.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Applications Information (Continued)

2.0 RESISTOR LADDER LIMITATIONS

The voltages from the resistor ladder are compared to the selected into 8 times in a conversion. These voltages are coupled to the comparator via an analog switch tree which is referenced to the supply. The voltages at the top, center and bottom of the ladder must be controlled to maintain proper operation.

The top of the ladder, Ref(+), should not be more positive than the supply, and the bottom of the ladder, Ref(-), should

not be more negative than ground. The center of the ladder voltage must also be near the center of the supply because the analog switch tree changes from N-channel switches to P-channel switches. These limitations are automatically satisfied in ratiometric systems and can be easily met in ground referenced systems.

Figure 10 shows a ground referenced system with a separate supply and reference. In this system, the supply must be trimmed to match the reference voltage. For instance, if a 5.12V is used, the supply should be adjusted to the same voltage within 0.1V.

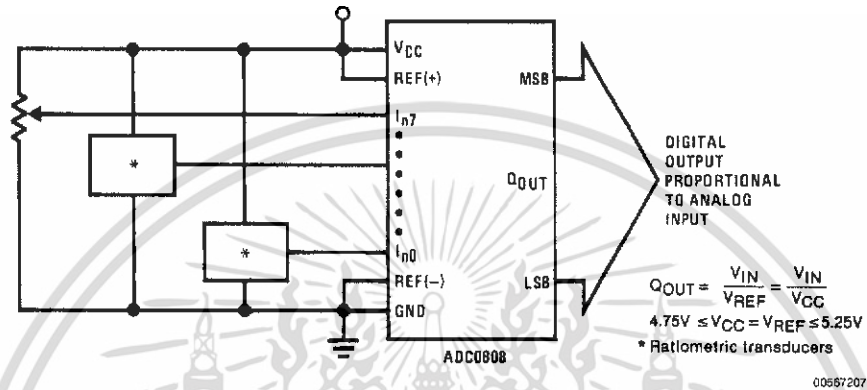
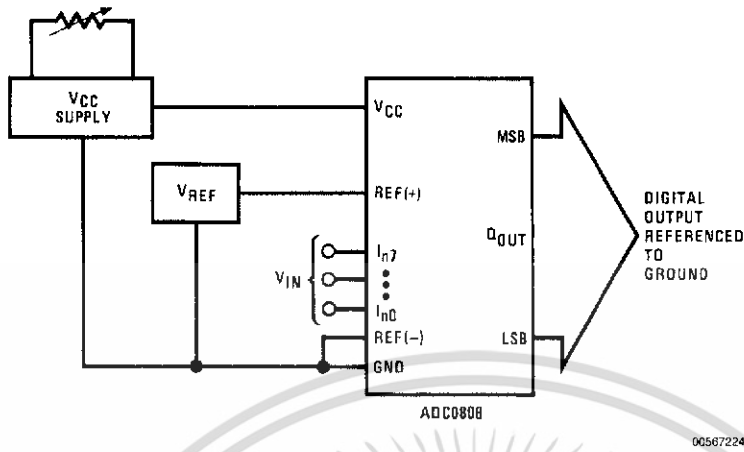


FIGURE 9. Ratiometric Conversion System

The ADC0808 needs less than a milliamp of supply current so developing the supply from the reference is readily accomplished. In Figure 11 a ground referenced system is shown which generates the supply from the reference. The buffer shown can be an op amp of sufficient drive to supply the milliamp of supply current and the desired bus drive, or if a capacitive bus is driven by the outputs a large capacitor will supply the transient supply current as seen in Figure 12. The LM301 is overcompensated to insure stability when loaded by the 10 μ F output capacitor.

The top and bottom ladder voltages cannot exceed V_{CC} and ground, respectively, but they can be symmetrically less than V_{CC} and greater than ground. The center of the ladder voltage should always be near the center of the supply. The sensitivity of the converter can be increased, (i.e., size of the LSB steps decreased) by using a symmetrical reference system. In Figure 13, a 2.5V reference is symmetrically centered about $V_{CC}/2$ since the same current flows in identical resistors. This system with a 2.5V reference allows the LSB bit to be half the size of a 5V reference system.

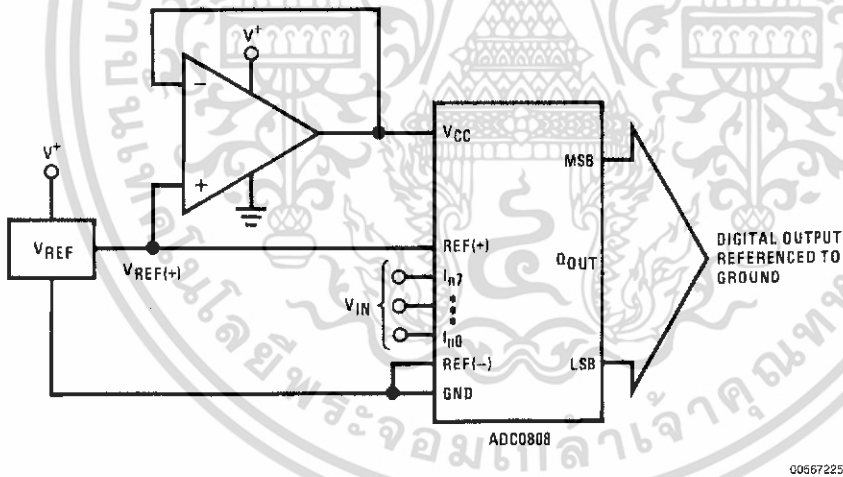
Applications Information (Continued)



$$Q_{OUT} = \frac{V_{IN}}{V_{REF}}$$

$$4.75V \leq V_{CC} = V_{REF} \leq 5.25V$$

FIGURE 10. Ground Referenced Conversion System Using Trimmed Supply



$$Q_{OUT} = \frac{V_{IN}}{V_{REF}}$$

$$4.75V \leq V_{CC} = V_{REF} \leq 5.25V$$

FIGURE 11. Ground Referenced Conversion System with Reference Generating V_{CC} Supply

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Applications Information (Continued)

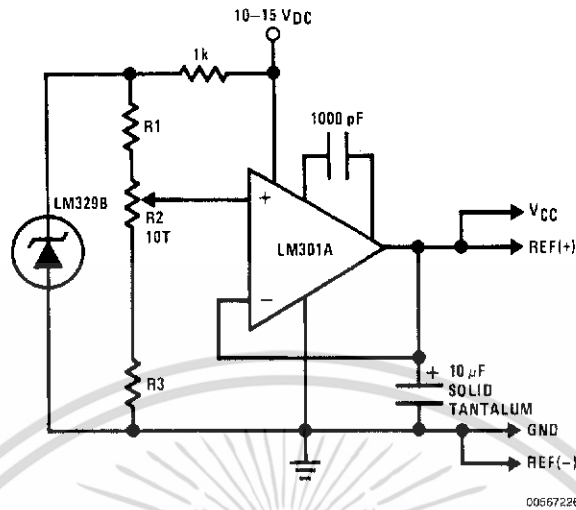
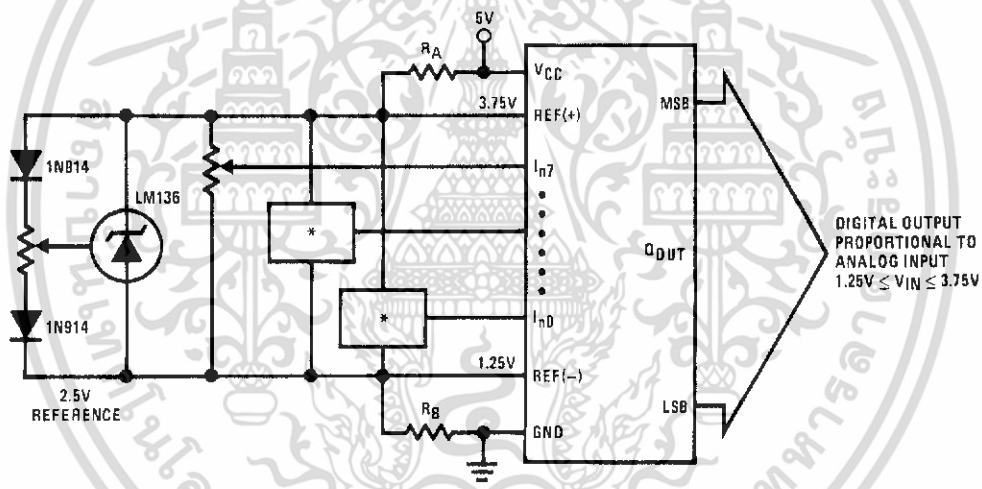


FIGURE 12. Typical Reference and Supply Circuit



$R_A = R_B$
*Ratiometric transducers

FIGURE 13. Symmetrically Centered Reference

3.0 CONVERTER EQUATIONS

The transition between adjacent codes N and N+1 is given by:

$$V_{IN} = \left\{ (V_{REF(+)} - V_{REF(-)}) \left[\frac{N}{256} + \frac{1}{512} \right] \pm V_{TUE} \right\} + V_{REF(-)} \quad (2)$$

The center of an output code N is given by:

$$V_{IN} \left\{ (V_{REF(+)} - V_{REF(-)}) \left[\frac{N}{256} \right] \pm V_{TUE} \right\} + V_{REF(-)} \quad (3)$$

The output code N for an arbitrary input are the integers within the range:

$$N = \frac{V_{IN} - V_{REF(-)}}{V_{REF(+)} - V_{REF(-)}} \times 256 \pm \text{Absolute Accuracy} \quad (4)$$

Where: V_{IN} = Voltage at comparator input
 $V_{REF(+)}$ = Voltage at Ref(+)
 $V_{REF(-)}$ = Voltage at Ref(-)
 V_{TUE} = Total unadjusted error voltage (typically $V_{REF(+)} \div 512$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Applications Information (Continued)

4.0 ANALOG COMPARATOR INPUTS

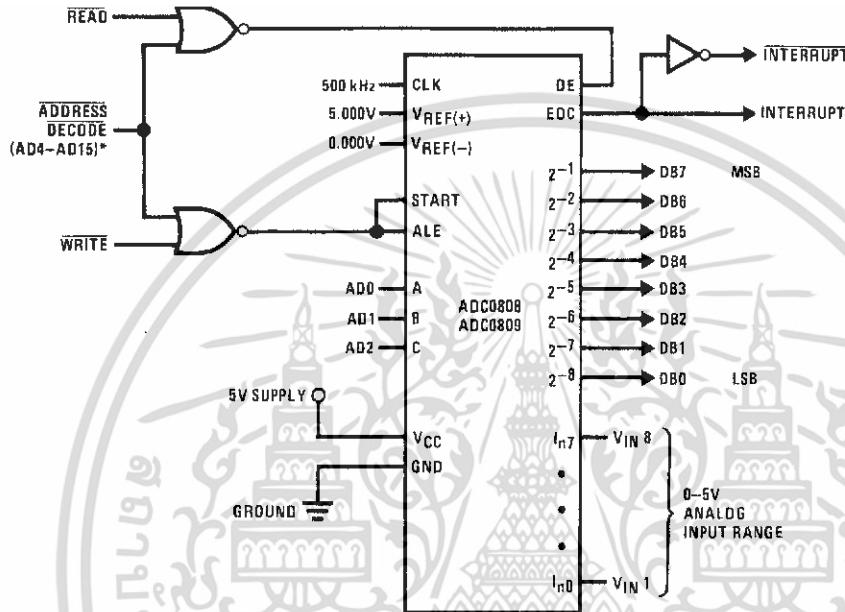
The dynamic comparator input current is caused by the periodic switching of on-chip stray capacitances. These are connected alternately to the output of the resistor ladder/switch tree network and to the comparator input as part of the operation of the chopper stabilized comparator.

The average value of the comparator input current varies directly with clock frequency and with V_{IN} as shown in Figure 6.

If no filter capacitors are used at the analog inputs and the signal source impedances are low, the comparator input current should not introduce converter errors, as the transient created by the capacitance discharge will die out before the comparator output is strobed.

If input filter capacitors are desired for noise reduction and signal conditioning they will tend to average out the dynamic comparator input current. It will then take on the characteristics of a DC bias current whose effect can be predicted conventionally.

Typical Application



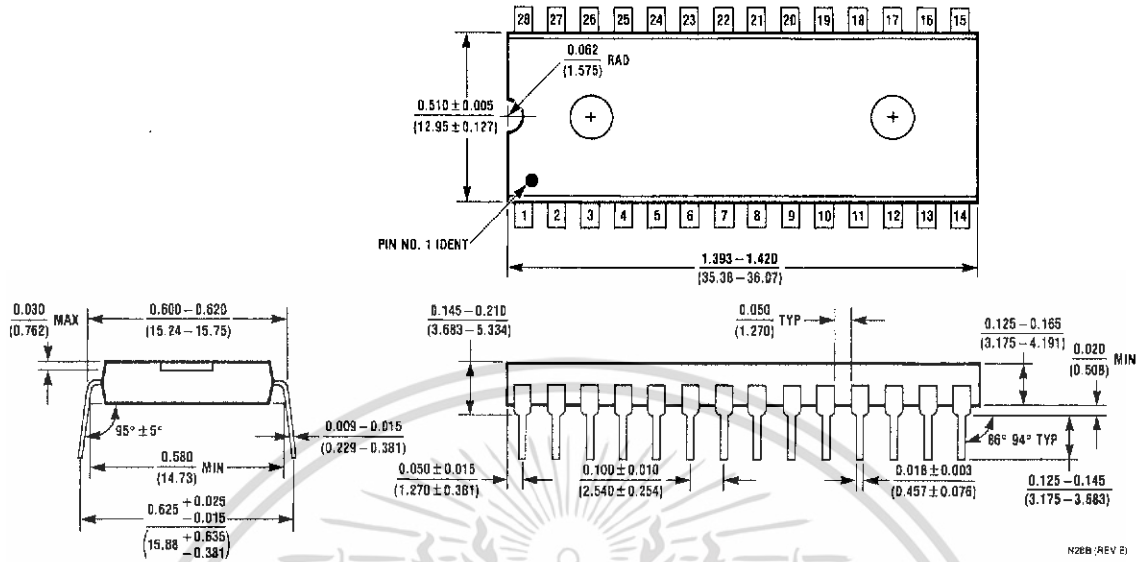
00567210

*Address latches needed for 8085 and SC/MP interfacing the ADC0808 to a microprocessor

TABLE 2. Microprocessor Interface Table

PROCESSOR	READ	WRITE	INTERRUPT (COMMENT)
8080	MEMR	MEMW	INTR (Thru RST Circuit)
8085	\overline{RD}	\overline{WR}	INTR (Thru RST Circuit)
Z-80	\overline{RD}	\overline{WR}	\overline{INT} (Thru RST Circuit, Mode 0)
SC/MP	NRDS	NWDS	SA (Thru Sense A)
6800	$VMA \cdot \phi 2 \cdot R/W$	$VMA \cdot \phi \cdot \overline{R/W}$	\overline{IRQA} or \overline{IRQB} (Thru PIA)

Physical Dimensions inches (millimeters)
unless otherwise noted

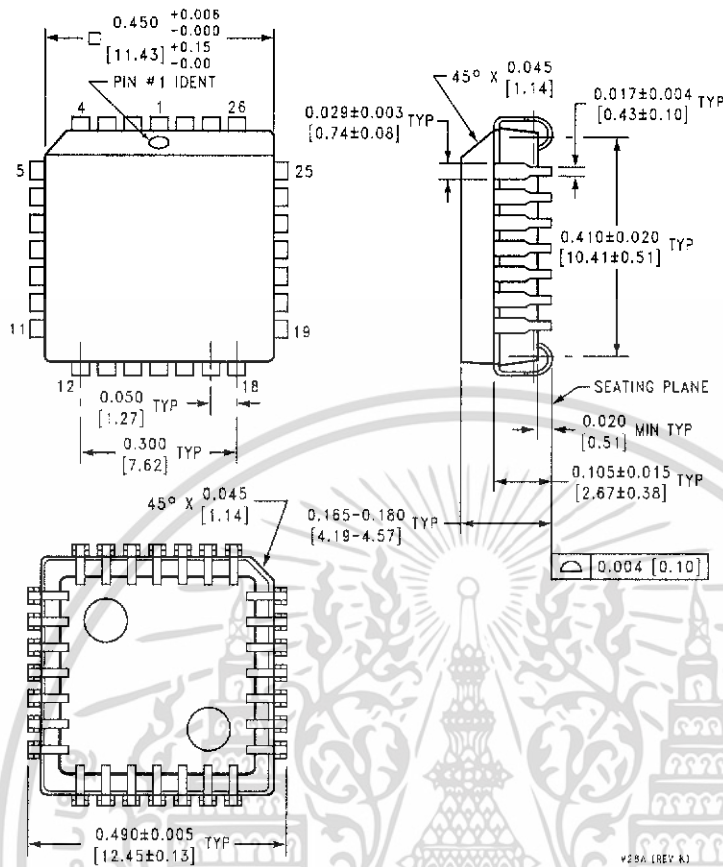


Molded Dual-In-Line Package (N)
Order Number ADC0808CCN or ADC0809CCN
NS Package Number N28B

N28B/REV 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Physical Dimensions inches (millimeters) unless otherwise noted (Continued)



Molded Chip Carrier (V)
 Order Number ADC0808CCV or ADC0809CCV
 NS Package Number V28A

LIFE SUPPORT POLICY

NATIONAL'S PRODUCTS ARE NOT AUTHORIZED FOR USE AS CRITICAL COMPONENTS IN LIFE SUPPORT DEVICES OR SYSTEMS WITHOUT THE EXPRESS WRITTEN APPROVAL OF THE PRESIDENT AND GENERAL COUNSEL OF NATIONAL SEMICONDUCTOR CORPORATION. As used herein:

1. Life support devices or systems are devices or systems which, (a) are intended for surgical implant into the body, or (b) support or sustain life, and whose failure to perform when properly used in accordance with instructions for use provided in the labeling, can be reasonably expected to result in a significant injury to the user.
2. A critical component is any component of a life support device or system whose failure to perform can be reasonably expected to cause the failure of the life support device or system, or to affect its safety or effectiveness.

National Semiconductor Corporation Americas
 Email: support@nsc.com

National Semiconductor Europe
 Fax: +49 (0) 180-530 85 86
 Email: europe.support@nsc.com
 Deutsch Tel: +49 (0) 69 9508 6208
 English Tel: +44 (0) 870 24 0 2171
 Français Tel: +33 (0) 1 41 91 8790

National Semiconductor Asia Pacific Customer Response Group
 Tel: 65-2544466
 Fax: 65-2504466
 Email: ap.support@nsc.com

National Semiconductor Japan Ltd.
 Tel: 81-3-5639-7560
 Fax: 81-3-5639-7507

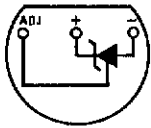
www.national.com

National does not assume any responsibility for use of any circuitry described, no circuit patent licenses are implied and National reserves the right at any time without notice to change said circuitry and specifications.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Connection Diagrams

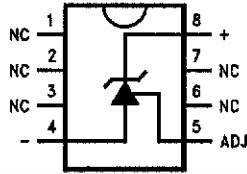
TO-92
Plastic Package



DS005698-8

Bottom View
Order Number LM335Z
or LM335AZ
See NS Package
Number Z03A

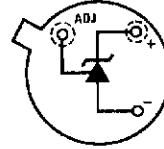
SO-8
Surface Mount Package



DS005698-25

Order Number LM335M
See NS Package
Number M08A

TO-46
Metal Can Package*



DS005698-26

*Case is connected to negative pin

Bottom View
Order Number LM135H,
LM135H-MIL, LM235H,
LM335H, LM135AH,
LM235AH or LM335AH
See NS Package
Number H03H



Absolute Maximum Ratings (Note 4)

If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the National Semiconductor Sales Office/Distributors for availability and specifications.

Reverse Current	15 mA
Forward Current	10 mA
Storage Temperature	
TO-46 Package	-60°C to +180°C
TO-92 Package	-60°C to +150°C
SO-8 Package	-65°C to +150°C

Specified Operating Temp. Range

	Continuous	Intermittent (Note 2)
LM135, LM135A	-55°C to +150°C	150°C to 200°C
LM235, LM235A	-40°C to +125°C	125°C to 150°C
LM335, LM335A	-40°C to +100°C	100°C to 125°C
Lead Temp. (Soldering, 10 seconds)		
TO-92 Package:		260°C
TO-46 Package:		300°C
SO-8 Package:		300°C
Vapor Phase (60 seconds):		215°C
Infrared (15 seconds):		220°C

Temperature Accuracy (Note 1)

LM135/LM235, LM135A/LM235A

Parameter	Conditions	LM135A/LM235A			LM135/LM235			Units
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Operating Output Voltage	$T_C = 25^\circ\text{C}, I_R = 1\text{ mA}$	2.97	2.98	2.99	2.95	2.98	3.01	V
Uncalibrated Temperature Error	$T_C = 25^\circ\text{C}, I_R = 1\text{ mA}$		0.5	1		1	3	°C
Uncalibrated Temperature Error	$T_{\text{MIN}} \leq T_C \leq T_{\text{MAX}}, I_R = 1\text{ mA}$		1.3	2.7		2	5	°C
Temperature Error with 25°C Calibration	$T_{\text{MIN}} \leq T_C \leq T_{\text{MAX}}, I_R = 1\text{ mA}$		0.3	1		0.5	1.5	°C
Calibrated Error at Extended Temperatures	$T_C = T_{\text{MAX}}$ (Intermittent)		2			2		°C
Non-Linearity	$I_R = 1\text{ mA}$		0.3	0.5		0.3	1	°C

Temperature Accuracy (Note 1)

LM335, LM335A

Parameter	Conditions	LM335A			LM335			Units
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Operating Output Voltage	$T_C = 25^\circ\text{C}, I_R = 1\text{ mA}$	2.95	2.98	3.01	2.92	2.98	3.04	V
Uncalibrated Temperature Error	$T_C = 25^\circ\text{C}, I_R = 1\text{ mA}$		1	3		2	6	°C
Uncalibrated Temperature Error	$T_{\text{MIN}} \leq T_C \leq T_{\text{MAX}}, I_R = 1\text{ mA}$		2	5		4	9	°C
Temperature Error with 25°C Calibration	$T_{\text{MIN}} \leq T_C \leq T_{\text{MAX}}, I_R = 1\text{ mA}$		0.5	1		1	2	°C
Calibrated Error at Extended Temperatures	$T_C = T_{\text{MAX}}$ (Intermittent)		2			2		°C
Non-Linearity	$I_R = 1\text{ mA}$		0.3	1.5		0.3	1.5	°C

Electrical Characteristics (Note 1)

Parameter	Conditions	LM135/LM235 LM135A/LM235A			LM335 LM335A			Units
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Operating Output Voltage Change with Current	$400\ \mu\text{A} \leq I_R \leq 5\text{ mA}$ At Constant Temperature		2.5	10		3	14	mV
Dynamic Impedance	$I_R = 1\text{ mA}$		0.5			0.6		Ω
Output Voltage Temperature Coefficient			+10			+10		mV/°C
Time Constant	Still Air		80			80		sec
	100 ft/Min Air		10			10		sec
	Stirred Oil		1			1		sec
Time Stability	$T_C = 125^\circ\text{C}$		0.2			0.2		°C/chr

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Electrical Characteristics (Note 1) (Continued)

Note 1: Accuracy measurements are made in a well-stirred oil bath. For other conditions, self heating must be considered.

Note 2: Continuous operation at these temperatures for 10,000 hours for H package and 5,000 hours for Z package may decrease life expectancy of the device.

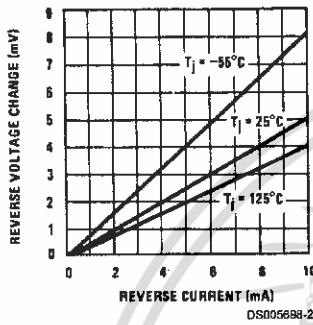
Note 3:

Thermal Resistance	TO-92	TO-46	SO-8
θ_{JA} (junction to ambient)	202°C/W	400°C/W	165°C/W
θ_{JC} (junction to case)	170°C/W	N/A	N/A

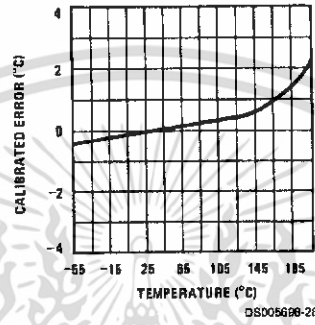
Note 4: Refer to RETS135H for military specifications.

Typical Performance Characteristics

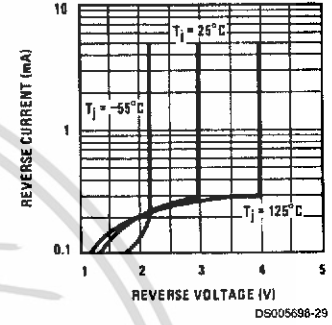
Reverse Voltage Change



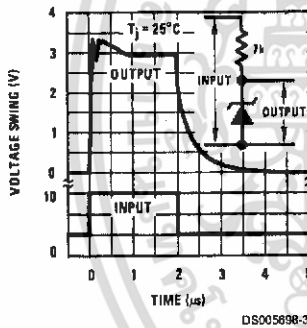
Calibrated Error



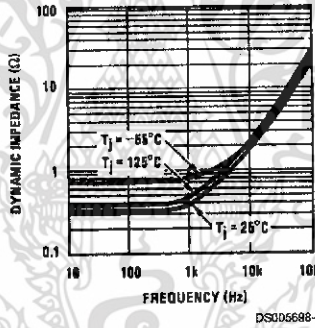
Reverse Characteristics



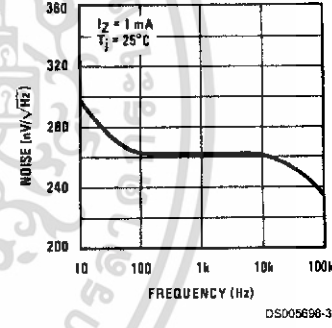
Response Time



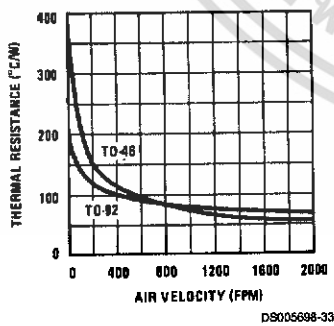
Dynamic Impedance



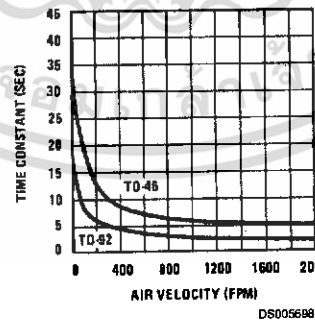
Noise Voltage



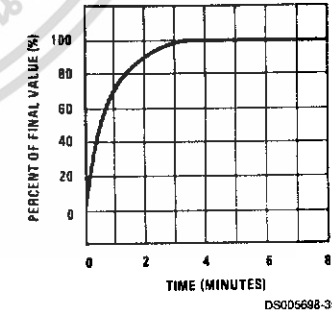
Thermal Resistance Junction to Air



Thermal Time Constant

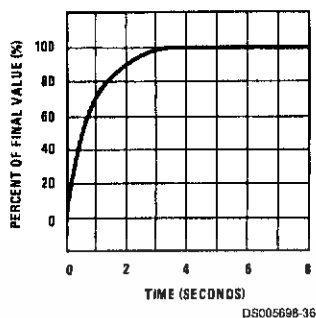


Thermal Response in Still Air

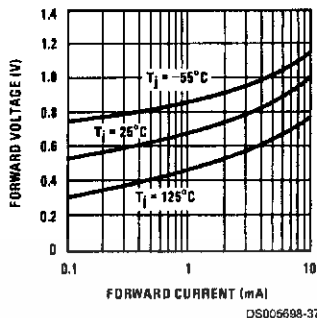


Typical Performance Characteristics (Continued)

Thermal Response in Stirred Oil Bath



Forward Characteristics



Application Hints

CALIBRATING THE LM135

Included on the LM135 chip is an easy method of calibrating the device for higher accuracies. A pot connected across the LM135 with the arm tied to the adjustment terminal allows a 1-point calibration of the sensor that corrects for inaccuracy over the full temperature range.

This single point calibration works because the output of the LM135 is proportional to absolute temperature with the extrapolated output of sensor going to 0V output at 0°K (-273.15°C). Errors in output voltage versus temperature are only slope (or scale factor) errors so a slope calibration at one temperature corrects at all temperatures.

The output of the device (calibrated or uncalibrated) can be expressed as:

$$V_{OUT_T} = V_{OUT_{T_0}} \times \frac{T}{T_0}$$

where T is the unknown temperature and T₀ is a reference temperature, both expressed in degrees Kelvin. By calibrating the output to read correctly at one temperature the output at all temperatures is correct. Nominally the output is calibrated at 10 mV/°K.

To insure good sensing accuracy several precautions must be taken. Like any temperature sensing device, self heating can reduce accuracy. The LM135 should be operated at the lowest current suitable for the application. Sufficient current, of course, must be available to drive both the sensor and the calibration pot at the maximum operating temperature as well as any external loads.

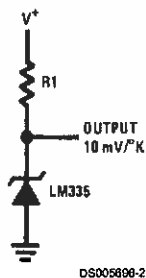
If the sensor is used in an ambient where the thermal resistance is constant, self heating errors can be calibrated out. This is possible if the device is run with a temperature stable current. Heating will then be proportional to zener voltage and therefore temperature. This makes the self heating error proportional to absolute temperature the same as scale factor errors.

WATERPROOFING SENSORS

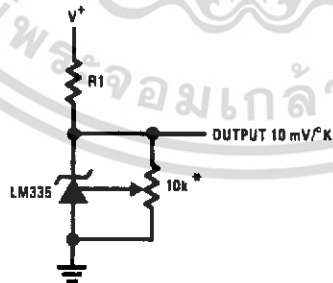
Meltable inner core heat shrinkable tubing such as manufactured by Raychem can be used to make low-cost waterproof sensors. The LM335 is inserted into the tubing about 1/2" from the end and the tubing heated above the melting point of the core. The unfilled 1/2" end melts and provides a seal over the device.

Typical Applications

Basic Temperature Sensor



Calibrated Sensor



*Calibrate for 2.982V at 25°C

Wide Operating Supply

