สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ปริญญานิพนธ์

ชุดทดลองเซนเซอร์ และทรานสดิวเซอร์

SENSOR AND TRANSDUCERS DEMONSTRATOR

T 053158

นายเมฆ สามัคคี

นายสิทธิกร จุลการ

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 43158
วัน, เดือน, ปี 23 ก.ค. 2545

.b.....
.i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต

สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์

ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2544

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์

เรื่อง ชุดทดลองเซนเซอร์ และทรานสดิวเซอร์

Sensor and Transducers Demonstrator

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาหลักการทำงานของเซนเซอร์ และทรานสดิวเซอร์
2. เพื่อออกแบบวงจรชุดทดลอง และใบงานการทดลอง
3. เพื่อสร้างชุดทดลองเซนเซอร์ และทรานสดิวเซอร์ ใบงานการทดลอง
4. เพื่อทดลอง ชุดทดลอง และใบงานการทดลอง
5. เพื่อนำชุดทดลอง และใบงานการทดลองไปใช้งาน

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้มีความรู้เกี่ยวกับหลักการทำงานของเซนเซอร์ และทรานสดิวเซอร์
2. ได้วงจรชุดทดลองเซนเซอร์ และทรานสดิวเซอร์
3. ได้เครื่องต้นแบบชุดทดลอง และใบงานการทดลอง
4. ได้ปรับปรุงชุดทดลอง และใบงานการทดลอง
5. ได้นำชุดทดลอง และใบงานการทดลองไปใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อหัวข้อ	ชุดทดลองเซนเซอร์ และทรานสดิวเซอร์
นักศึกษา	นายเมฆ สามัคคี
	นายสิทธิกร จุลการ
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์สุรพงษ์ สิริพงศ์ดี
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	อาจารย์ไพบูลย์ พวงวงศ์ตระกูล
หลักสูตร	ครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต
สาขาวิชา	อิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์
ปีการศึกษา	2544

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ นำเสนอการออกแบบ และการสร้างชุดทดลองเซนเซอร์ และทรานสดิวเซอร์ ซึ่งประกอบด้วยวงจร และโมดูลต่างๆ ดังนี้ คือ วงจรภาคจ่ายไฟ,วงจรโวลต์มิเตอร์, วงจรวีทสโตนบริดจ์ , วงจรอินสตรูเมนต์แอมป์, โมดูลโหลดเซลล์, โมดูลการทดลองแอลวีดีที, โมดูลการทดลองอาร์ทีดี,โมดูลการทดลองเทอร์มิสเตอร์,โมดูลการทดลองเทอร์โมคับเปิ้ล, โมดูลการทดลองแอลดีอาร์ เซลล์แสงอาทิตย์ และโฟโตไดโอด, โมดูลพร๊อกซิมิตี้เซนเซอร์, โมดูลแสดงผลข้อมูล 8 บิต, โมดูลลอจิกสวิตช์ 8 บิต,โมดูลแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล โดยใช้ไอซีเบอร์ADC0804, โมดูลแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นสัญญาณแอนะลอก โดยใช้วงจรR-2Rแลดเดอร์, โมดูลแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นสัญญาณแอนะลอกโดยใช้ไอซีเบอร์ DAC0808, โมดูลวงจรควบคุมแบบพี, โมดูลวงจรควบคุมแบบไอ, โมดูลวงจรควบคุมแบบดี ชุดทดลองนี้จะช่วยให้ผู้เรียนเข้าใจหลักการทำงานของอุปกรณ์เซนเซอร์ และทรานสดิวเซอร์ในขั้นพื้นฐาน และสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับการเรียนวิชาเซนเซอร์ และทรานสดิวเซอร์ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Sensor and Transducer Demonstrator
Students	Mr.Mek Samukkee
	Mr.Sittikorn Julakarn
Advisor	Mr.Surapong Siripongdee
Co-Advisor	Mr.Paiboon Pongwongtragull
Education Level	Bachelor of Science in Industrial Education
Program in	Electronics and Computer
Academic Year	2001

ABSTRACT

This thesis presents a designing and implementation of Sensor and Transducer demonstrator. The project can be circuits and modules, Power supply module, Volts Meter module, Instrument Amp circuit module, Loadcell module, LVDT module, RTD module, Thermister module, Thermocouple module, LDR Solar cell and Photodiode, Proximity Sensor module, Eight bits display module, Eight bits switch module, Analog to digital with ADC0804 module, Digital to analog with R-2R ladder module, Digital to analog with DAC0808 module, P-control module, I-control module, D-control module. The project helps the user to easier understand the Sensor and Transducer and can be applied to use in the study Sensor and Transducers.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองปริญญานิพนธ์

ชื่อหัวข้อ ชุดทดลองเซนเซอร์และทรานสดิวเซอร์

Senser and Transducers Demonstrator

ชื่อนักศึกษา 1. นายเมฆ สามัคคี รหัสประจำตัว 43035389

2. นายสิทธิกร จุลการ รหัสประจำตัว 43035391

หลักสูตร ครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต **สาขาวิชา** อิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์

อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์สุรพงษ์ สิริพงศ์ดี

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม อาจารย์ไพบูลย์ พวงวงศ์ตระกูล

คณะกรรมการสอบปริญญานิพนธ์		ลายมือชื่อ
1. อาจารย์สุรพงษ์	สิริพงศ์ดี	.....
2. อาจารย์ไพบูลย์	พวงวงศ์ตระกูล	.....
3. อาจารย์โกศล	ตราชู	.....
4. อาจารย์พงษ์เกียรติ	เชษฐพิทักษ์สกุล	.....
5. อาจารย์ปิยะ	ศุภวราสุวัฒน์	.....

วัน/เดือน/ปีที่สอบ วันพฤหัสบดีที่ 1 พฤศจิกายน พ.ศ. 2544 เวลา 14.00 น.

สถานที่สอบ ห้อง ค.311 คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สจล.

ภาควิชารับรองแล้ว

ลงนาม.....

(ผศ.วิสุทธิ์ อธิพรธรรม)

หัวหน้าภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม

วันที่ 17 เดือน พ.ย. พ.ศ. ๒๕๔๔

<BT4402012>

ชุดทดลองเซนเซอร์และทรานสดิวเซอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงลงได้ด้วยดี เนื่องมาจากความร่วมมือของสมาชิกภายในกลุ่มทุกท่าน ขอขอบคุณอาจารย์สุรพงษ์ สิริพงศ์ดี ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม สาขาเทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม และคณาจารย์ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรมทุกท่าน ที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่องมือ และอุปกรณ์ รวมทั้งยังให้คำแนะนำ แนวความคิด ความรู้ต่างๆ แนวทางการแก้ไขปัญหา ในการจัดทำปริญญานิพนธ์ ขอขอบคุณห้องสมุดคณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม ที่ช่วยอำนวยความสะดวก และเอื้อเฟื้อสถานที่ในการค้นคว้าหาข้อมูล สุดท้ายที่ควรระลึกถึงอย่างยิ่ง บิดา และมารดา ที่เป็นผู้ให้ความสนับสนุนด้านการศึกษา และเป็นผู้ให้กำลังใจด้วยดีตลอดมา ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน จึงขอขอบคุณไว้ ณ ที่นี้ด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	IX
สารบัญรูป	XII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปริญญานิพนธ์	1
1.2 ขีดความสามารถของโครงงาน	1
1.3 เนื้อหาโดยสังเขป	2
บทที่ 2 ทฤษฎี และหลักการ	3
2.1 กล่าวนำ	3
2.2 ความหมายของอุปกรณ์เซนเซอร์และทรานสดิวเซอร์	3
2.3 การแบ่งชนิดของทรานสดิวเซอร์	4
2.3.1 แบ่งตามความต้องการพลังงาน	4
2.3.2 แบ่งตามลักษณะ และกลไกการทำงาน	4
2.3.3 แบ่งตามชนิดของการเปลี่ยนแปลงพลังงาน	4
2.3.4 แบ่งตามชนิดของสัญญาณที่ใช้	4
2.4 วงจรวีทสโตนบริดจ์	4
2.4.1วงจรวีทสโตนบริดจ์แบบพาสซีฟ	5
2.4.2 วงจรบริดจ์ชนิดแอคตีฟ	5
2.5 สเตรนเกจ	6
2.5.1 สเตรนเกจ แบบยึดติด (Bonded Strain Gage)	6
2.5.2 สเตรนเกจ แบบไม่ยึดติด (Unbounded Strain Gage)	7
2.6 แอลวีดีที	8
2.7 อุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิ	8
2.7.1 หน่วยวัดอุณหภูมิที่นิยมใช้กัน	8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
2.7.2 อาร์ทีดี	11
2.7.3 เทอร์มิสเตอร์	12
2.7.4 เทอร์โมคัปเปิ้ล	13
2.8 วงจรอินตรูเมนต์แอมป์	14
2.8.1 วงจรขยายดิฟเฟอเรนเชียล	14
2.9 แอลดีอาร์	16
2.10 เซลล์แสงอาทิตย์	17
2.11 ไดโอดพลังแสง	18
2.12 พร็อกซิมิตี้เซนเซอร์	18
2.12.1 เซนเซอร์แบบเหนี่ยวนำ	19
2.12.2 เซนเซอร์แบบเก็บประจุ	20
2.12.3 เซนเซอร์ชนิดใช้แสง	20
2.13 การแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล	22
2.13.1 การสุ่ม	22
2.13.2 แบบเปรียบเทียบแรงดัน	22
2.13.3 แบบวงจรนับแรมป์	23
2.13.4 แบบซักเซสซีฟแอปพร็อกซิเมชั่น	24
2.13.5 ไอซีแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล ADC0804	25
2.14 การแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นสัญญาณแอนะลอก	26
2.14.1วงจรแปลงแบบกำหนดน้ำหนักตัวต้านทาน	26
2.14.2 วงจร R-2R แลดเดอร์	27
2.15 ตัวควบคุมแบบพี(P-Element)	28
2.15.1 การขยายแบบกลับเฟส	28
2.15.2 วงจรขยายแบบไม่กลับเฟส	30
2.16 ตัวควบคุมแบบไอ	31
2.16.1 ตัวควบคุมแบบไอชนิดกลับเฟส	32
2.16.2ตัวควบคุมแบบไอไม่กลับเฟส	34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
2.17 ตัวควบคุมแบบดี	34
2.17.1 วงจรควบคุมแบบดีชนิดกลับเฟส	35
2.17.2 วงจรควบคุมแบบดีชนิดไม่กลับเฟส	36
บทที่ 3 การออกแบบและการสร้าง	38
3.1 กล่าวนำ	38
3.2 การออกแบบและการสร้าง	39
3.2.1 โมดูลภาคจ่ายไฟ	39
3.2.2 โมดูลโวลต์มิเตอร์	42
3.2.3 โมดูลการทดลองวงจรวีทสโตนบริดจ์	44
3.2.4 โมดูลการทดลองวงจรอินสตรูเมนต์แอมป์	45
3.2.5 โมดูลการทดลองโหลดเซลล์	46
3.2.6 โมดูลการทดลองแอลวีดีที	47
3.2.7 โมดูลการทดลอง อาร์ทีดี	47
3.2.8 โมดูลการทดลอง เทอร์มิสเตอร์	48
3.2.9 โมดูลการทดลอง เทอร์โมคัปเปิ้ล	49
3.2.10 โมดูลการทดลอง แอลดีอาร์ เซลล์แสงอาทิตย์ และ โฟโตไดโอด	49
3.2.11 โมดูลพร๊อกซิมิตี้เซนเซอร์	51
3.2.12 โมดูลแสดงผลข้อมูล 8 บิต	52
3.2.13 โมดูลลอจิกสวิตช์ขนาด 8 บิต	52
3.2.14 โมดูลแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล โดยใช้ไอซี ADC0804	53
3.2.15 โมดูลแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นสัญญาณแอนะลอก โดยใช้วงจร R-2R แลดเดอร์	54
3.2.16 โมดูลแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นสัญญาณแอนะลอก โดยใช้ไอซี DAC0808	55
3.2.17 โมดูลวงจรควบคุมแบบพี	55
3.2.18 โมดูลวงจรควบคุมแบบไอ	57

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
3.2.19 โมดูลวงจรควบคุมแบบดี	58
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง	59
4.1 การทดลองโมดูลภาคจ่ายไฟ	59
4.2 การทดลองโมดูลโวลต์มิเตอร์	60
4.3 การทดลองโมดูลวีทสโตนบริดจ์	60
4.4 การทดลองโมดูลวงจรอินตรูเมนต์แอมป์	62
4.5 การทดลองโมดูลโหลดเซลล์	63
4.6 การทดลองโมดูล อาร์ทีดี	64
4.7 การทดลองโมดูลเทอร์มิสเตอร์	65
4.8 การทดลองโมดูลเทอร์โมคัปเปิ้ล	66
4.9 การทดลองโมดูล แอลดีอาร์ เซลล์แสงอาทิตย์ และโฟโต้ไดโอด	67
4.9.1 แอลดีอาร์	67
4.9.2 เซลล์แสงอาทิตย์	68
4.9.3 โฟโต้ไดโอด	68
4.10 ชุดฝึกพร๊อกซิมิตี้เซนเซอร์	69
4.10.1 อินดักตีฟพร๊อกซิมิตี้เซนเซอร์	69
4.10.1 คาปาซิตีฟพร๊อกซิมิตี้เซนเซอร์	70
4.10.3 ออปติคอลพร๊อกซิมิตี้เซนเซอร์	71
4.11 การทดลองโมดูลแสดงผลข้อมูล 8 บิต	72
4.12 การทดลองโมดูลลอจิกสวิตช์	72
4.13 การทดลองโมดูลแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล โดยใช้ไอซีเบอร์ ADC0804	73
4.14 การทดลองโมดูลแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นสัญญาณแอนะลอก โดยใช้วงจร R-2R แลดเดอร์	74
4.15 การทดลองโมดูลแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นสัญญาณแอนะลอก โดยใช้ไอซี DAC0808	75
4.16 การทดลองตัวควบคุมแบบพี (P-Element)	76

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
4.17 การทดลองตัวควบคุมแบบไอ(I-Element)	78
4.18 การทดลองตัวควบคุมแบบดี (D-Element)	79
บทที่ 5 บทสรุป ปัญหา แนวทางการแก้ไข และพัฒนา	80
5.1 บทสรุป	80
5.2 ปัญหาที่เกิดขึ้นในการจัดทำโครงงาน	80
5.3 แนวทางการแก้ไขปัญหา	80
5.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	81
ภาคผนวก ก โมดูลต้นแบบ	82
ภาคผนวก ข ตำแหน่งการวางอุปกรณ์ และลายวงจร	99
ภาคผนวก ค ใบงานประกอบการทดลอง	117
ภาคผนวก ง เฉลยใบงาน	213
ภาคผนวก จ รายการอุปกรณ์	225
บรรณานุกรม	235
ประวัติผู้แต่ง	236

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
ตารางที่ 2.1 การเปรียบเทียบจุดอ้างอิงของอุณหภูมิในมาตราต่างๆ	9
ตารางที่ 2.2 เปรียบเทียบข้อดี และข้อเสียของเทอร์โมคัปเปิ้ล อาร์ทีดี และเทอร์มิสเตอร์	10
ตารางที่ 2.3 เปรียบเทียบความสามารถ อาร์ทีดี เทอร์โมคัปเปิ้ล และเทอร์มิสเตอร์	10
ตารางที่ 2.4 ชนิดของเทอร์โมคัปเปิ้ลมาตรฐาน	14
ตารางที่ 2.5 เปรียบเทียบคุณสมบัติระหว่างพร็อกซิมิตี้เซนเซอร์ กับ สวิตช์กลไก	19
ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองวงจรบริดจ์แบบพาสซีฟ	61
ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองวงจรบริดจ์ชนิดแอคตีฟ	61
ตารางที่ 4.3 บันทึกผลการทดลอง	62
ตารางที่ 4.4 ผลการทดลองการชั่งน้ำหนัก	63
ตารางที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับค่าความต้านทานของอาร์ทีดี	64
ตารางที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับค่าความต้านทานของเทอร์มิสเตอร์	65
ตารางที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับค่าแรงดันของ เทอร์โมคัปเปิ้ล	66
ตารางที่ 4.8 ผลการทดลองการวัดค่าแรงดันเอาต์พุต	67
ตารางที่ 4.9 ผลการทดลองวัดแรงดันเอาต์พุตที่ได้จากการทดลองเซลล์แสงอาทิตย์	68
ตารางที่ 4.10 ผลการทดลองการวัดแรงดันเอาต์พุตของการทดลอง โฟโต้ไดโอด	68
ตารางที่ 4.11 ผลการทดลองพร็อกซิมิตี้เซนเซอร์ชนิด อินดักตีฟ	69
ตารางที่ 4.12 ผลการทดลองเซนเซอร์แบบ คาปาซิตีฟ	70
ตารางที่ 4.13 ผลการทดลอง เซนเซอร์ชนิดออปติคอล	71
ตารางที่ 4.14 ผลการผลการทดลอง	73
ตารางที่ 4.15 ผลการทดลองวงจร D/A แบบ R–2R แลดเดอร์	74
ตารางที่ 4.16 ผลการทดลองDAC0808	76
ตารางที่ 4.17 ผลการทดลองวงจรขยายแบบพีชนิดกลับเฟส	77
ตารางที่ 4.18 ผลการวัดสัญญาณเอาต์พุต ของวงจรขยายแบบพีชนิดไม่กลับเฟส	77
ตารางที่ 4.19 ผลการทดลองวงจรควบคุมแบบไอชนิดกลับเฟส	78
ตารางที่ 4.20 ผลการวัด และคำนวนค่า K_D และ ค่าTime constant	79

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตาราง	หน้า
ตารางที่ ค.1 ผลการทดลองวงจรบริดจ์แบบพาสซีฟ	121
ตารางที่ ค.2 ผลการทดลองวงจรบริดจ์ชนิดแอคตีฟ	122
ตารางที่ ค.3 บันทึกผลการทดลอง	130
ตารางที่ ค.4 ผลการทดลองเปรียบเทียบน้ำหนัก และแรงดันเอาต์พุต	135
ตารางที่ ค.5 การเปรียบเทียบจุดอ้างอิงของอุณหภูมิมาตราวัดต่างๆ	143
ตารางที่ ค.6 เปรียบเทียบข้อดี และข้อเสียของเทอร์โมคัปเปิ้ล อาร์ทีดี และเทอร์มิสเตอร์	144
ตารางที่ ค.7 เปรียบเทียบความสามารถ อาร์ทีดี เทอร์โมคัปเปิ้ล และเทอร์มิสเตอร์	144
ตารางที่ ค.8 ชนิด และช่วงอุณหภูมิของเทอร์โมคัปเปิ้ล	148
ตารางที่ ค.9 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับค่าความต้านทานของอาร์ทีดี	149
ตารางที่ ค.10 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับค่าแรงดันของ เทอร์โมคัปเปิ้ล	149
ตารางที่ ค.11 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับค่าความต้านทานของเทอร์มิสเตอร์	150
ตารางที่ ค.12 ผลการทดลองการเปรียบเทียบค่าแรงดัน	151
ตารางที่ ค.13 ผลการทดลองการวัดค่าแรงดันเอาต์พุต	158
ตารางที่ ค.14 ผลการทดลองที่ 2	159
ตารางที่ ค.15 ผลการทดลองที่ 3	161
ตารางที่ ค.16 เปรียบเทียบคุณสมบัติระหว่างพร็อกซิมิตี้เซนเซอร์ กับ สวิตช์กลไก	164
ตารางที่ ค.17 ผลการทดลองเซนเซอร์ชนิด อินดักตีฟ	167
ตารางที่ ค.18 ผลการทดลองเซนเซอร์แบบ คาปาซิตีฟ	168
ตารางที่ ค.19 ผลการทดลอง เซนเซอร์ชนิดออปติคอล	169
ตารางที่ ค.20 ผลการทดลอง	178
ตารางที่ ค.21 การเปรียบเทียบค่าแรงดันอินพุต และแรงดันเอาต์พุต	179
ตารางที่ ค.22 ผลการทดลองวงจร D/A แบบ R–2R แลดเดอร์	186
ตารางที่ ค.23 ผลการทดลอง DAC0808	189
ตารางที่ ค.24 ผลการทดลองวงจรขยายแบบพีชนิดกลับเฟส	203
ตารางที่ ค.25 ผลการวัดสัญญาณเอาต์พุต (V_2) ของวงจรขยายแบบพีชนิดไม่กลับเฟส	205
ตารางที่ ค.26 ผลการทดลองวงจรควบคุมแบบไอชนิดกลับเฟส	207

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตาราง	หน้า
ตารางที่ ค.27 ผลการทดลองวงจรควบคุมแบบไอชนิดกลับเฟสเมื่อตัวเก็บประจุ C มีค่าเปลี่ยนแปลง	207
ตารางที่ ค.28 ค่าสัมประสิทธิ์อินทิเกรต (K_I) ที่ได้จากการวัด และการคำนวน	208
ตารางที่ ค.29 ผลการวัด และคำนวนค่า K_D และ ค่าTime constant	210
ตารางที่ จ.1 รายการอุปกรณ์วงจรภาคจ่ายไฟ	226
ตารางที่ จ.2 รายการอุปกรณ์วงจรโวลต์มิเตอร์	227
ตารางที่ จ.3 รายการอุปกรณ์วีทสโตนบริดจ์	228
ตารางที่ จ.4 รายการอุปกรณ์วงจรอินสตรูเมนต์แอมป์	228
ตารางที่ จ.5 รายการอุปกรณ์โมดูลโหลดเซลล์	229
ตารางที่ จ.6 รายการอุปกรณ์โมดูลอาร์ทีดี	229
ตารางที่ จ.7 รายการอุปกรณ์โมดูลเทอร์มิสเตอร์	230
ตารางที่ จ.8 รายการอุปกรณ์โมดูลเทอร์โมคัปเปิ้ล	230
ตารางที่ จ.9 รายการอุปกรณ์โมดูล แอลดีอาร์ เซลล์แสงอาทิตย์ และ โฟโตไดโอด	231
ตารางที่ จ.10 รายการอุปกรณ์โมดูลลอจิกสวิตช์	231
ตารางที่ จ.11 รายการอุปกรณ์โมดูลแสดงผลข้อมูล 8 บิต	232
ตารางที่ จ.12 รายการอุปกรณ์โมดูลแสดงผลข้อมูล 8 บิต	232
ตารางที่ จ.13 รายการอุปกรณ์โมดูลแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นสัญญาณแอนะลอก โดยใช้วงจร R-2R แลดเดอร์	233
ตารางที่ จ.14 รายการอุปกรณ์โมดูลวงจรควบคุมแบบพี	233
ตารางที่ จ.15 รายการอุปกรณ์โมดูลวงจรควบคุมแบบไอ	234
ตารางที่ จ.16 รายการอุปกรณ์โมดูลวงจรควบคุมแบบดี	234

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูป	หน้า
รูปที่ 2.1 วงจรวีทสโตนบริดจ์ชนิดพาสซีฟ	5
รูปที่ 2.2 วงจรวีทสโตนบริดจ์ชนิดแอคตีฟ	5
รูปที่ 2.3 สเตรนเกจแบบยึดติด	6
รูปที่ 2.4 สเตรนเกจแบบไม่ยึดติด	7
รูปที่ 2.5 โครงสร้างของแอลวีดีที	8
รูปที่ 2.6 การต่ออาร์ทีดีกับวงจรบริดจ์	11
รูปที่ 2.7 การต่อเทอร์มิสเตอร์อย่างง่าย	12
รูปที่ 2.8 การวัดอุณหภูมิโดยใช้เทอร์มิสเตอร์ต่อในวงจรบริดจ์	13
รูปที่ 2.9 การต่อเทอร์โมคัปเปิ้ลใช้งาน	13
รูปที่ 2.10 วงจรขยายดิฟเฟอร์เรนเชียล	14
รูปที่ 2.11 วงจรอินตรูเมนต์แอมป์	15
รูปที่ 2.12 วงจรดิฟเฟอร์เรนเชียลต่อกับวงจรอินตรูเมนแอมป์	15
รูปที่ 2.13 ภาพด้านบน และด้านข้างของ แอลดีอาร์	16
รูปที่ 2.14 โครงสร้างเซลล์แสงอาทิตย์	17
รูปที่ 2.15 โครงสร้าง และสัญลักษณ์ ของไดโอดพลังแสง	18
รูปที่ 2.16 การสุ่มสัญญาณ	22
รูปที่ 2.17 วงจรเปรียบเทียบแรงดัน	22
รูปที่ 2.18 วงจรนับแบบแรมป์	23
รูปที่ 2.19 วงจรซักเซสซีฟแอปพร็อกซิเมชั่น	24
รูปที่ 2.20 การจัดขาของไอซี ADC0804	25
รูปที่ 2.21 การต่อวงจรเพื่อให้ ADC0804 ทำงานต่อเนื่อง	25
รูปที่ 2.22 วงจร D/A แบบกำหนดน้ำหนัก	26
รูปที่ 2.23 วงจร R-2R แลดเดอร์	27
รูปที่ 2.24 วงจรขยายแบบกลับเฟส	28
รูปที่ 2.25 วงจรขยายแบบไม่กลับเฟส	29
รูปที่ 2.26 วงจรขยายแบบไม่กลับเฟส	30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูป	หน้า
รูปที่ 2.27 วงจรควบคุมแบบไอชนิดกลับเฟส	32
รูปที่ 2.28 วงจรควบคุมแบบไอชนิดไม่กลับเฟส	34
รูปที่ 2.29 วงจรควบคุมแบบดีชนิดกลับเฟส	35
รูปที่ 2.30 วงจรควบคุมแบบดีชนิดไม่กลับเฟส	36
รูปที่ 3.1 วงจรเร็กกูเลเตอร์ โดยใช้ ไอซีเบอร์ 7805	39
รูปที่ 3.2 วงจรเร็กกูเลเตอร์ โดยใช้ไอซีเบอร์ 7812	40
รูปที่ 3.3 วงจรเร็กกูเลเตอร์ โดยใช้ไอซีเบอร์ 7912	40
รูปที่ 3.4 วงจรเร็กกูเลเตอร์ปรับค่าได้ 0-25 โวลต์	40
รูปที่ 3.5 วงจรภาคจ่ายไฟ	41
รูปที่ 3.6 วงจรเปรียบเทียบ และจัดระดับสัญญาณ	42
รูปที่ 3.7 วงจรผลิตความถี่ 4 เมกะเฮิรตซ์	42
รูปที่ 3.8 วงจรเชื่อมต่อระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์กับส่วนแสดงผล	43
รูปที่ 3.9 วงจรวีทสโตนบริดจ์แบบพาสซีฟ	44
รูปที่ 3.10 วงจรวีทสโตนแบบแอคตีฟ	45
รูปที่ 3.11 วงจรอินสตรูเมนต์แอมป์	45
รูปที่ 3.12 การติดตั้งโหลดเซลล์	46
รูปที่ 3.13 ลักษณะการเรียงตัวของขดลวด	47
รูปที่ 3.14 วงจรวีทสโตนบริดจ์ที่ใช้ร่วมกับ อาร์ทีดี	47
รูปที่ 3.15 วงจรวีทสโตนบริดจ์ที่จะนำมาใช้ร่วมกับ เทอร์มิสเตอร์	48
รูปที่ 3.16 การทดลองการนำแอลดีอาร์มาต่อเป็นวงจรแบ่งแรงดัน	49
รูปที่ 3.17 การต่อเซลล์แสงอาทิตย์ และออปแอมป์	50
รูปที่ 3.18 วงจรที่ใช้โฟโตไดโอดทำหน้าที่คล้ายสวิตช์	51
รูปที่ 3.19 วงจรแสดงผลข้อมูล 8 บิต	52
รูปที่ 3.20 วงจรลอจิกสวิตช์ 8 บิต	53
รูปที่ 3.21 วงจรแปลงแอนะลอกเป็นดิจิตอล	54
รูปที่ 3.22 วงจร R-2R แลดเดอร์	54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูป	หน้า
รูปที่ 3.23 วงจรแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นแอนะลอก	55
รูปที่ 3.24 วงจรขยายแบบพี ชนิดกลับเฟส	55
รูปที่ 3.25 วงจรขยายแบบพี ชนิดไม่กลับเฟส	56
รูปที่ 3.26 วงจรขยายแบบพี ชนิดไม่กลับเฟส(อัตราขยายเท่ากับแบบกลับเฟส)	56
รูปที่ 3.27 วงจรควบคุมแบบไอ ชนิดกลับเฟส	57
รูปที่ 3.28 วงจรควบคุมแบบไอ ชนิดไม่กลับเฟส	57
รูปที่ 3.29 วงจรควบคุมแบบดี ชนิดกลับเฟส	58
รูปที่ 3.30 วงจรควบคุมแบบดี ชนิดไม่กลับเฟส(Non-Inverting D-Element)	58
รูปที่ 4.1 โมดูลภาคจ่ายไฟ	59
รูปที่ 4.2 โมดูลโวลต์มิเตอร์	60
รูปที่ 4.3 วงจรบริดจ์แบบพาสซีฟ	60
รูปที่ 4.4 วงจรบริดจ์แบบแอคตีฟ	61
รูปที่ 4.5 โมดูลการทดลองวงจรอินสตรูเมนต์แอมป์	62
รูปที่ 4.6 ชุดทดลองโหลดเซลล์	63
รูปที่ 4.7 โมดูลอาร์ทีดี (Lab5-1)	64
รูปที่ 4.8 โมดูลเทอร์มิสเตอร์(Lab5-2)	65
รูปที่ 4.9 โมดูลเทอร์โมคัปเปิ้ล (Lab5-3)	66
รูปที่ 4.10 โมดูลแอลดีอาร์ เซลล์แสงอาทิตย์ และโฟโต้ไดโอด	67
รูปที่ 4.11 การทดลองการวัดระยะของพร๊อกซิมิตี้เซนเซอร์ชนิดอินดักตีฟ	69
รูปที่ 4.12 การทดลองการวัดระยะของพร๊อกซิมิตี้เซนเซอร์ชนิดคาปาซิตีฟ	70
รูปที่ 4.13 การทดลองการวัดระยะของพร๊อกซิมิตี้เซนเซอร์ชนิดออปติคอล	71
รูปที่ 4.14 โมดูลแสดงผลข้อมูล 8 บิต	72
รูปที่ 4.15 โมดูลลอจิกสวิตช์	72
รูปที่ 4.16 โมดูลแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล	73
รูปที่ 4.17 โมดูลแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นสัญญาณแอนะลอกแบบ R-2R แลดเดอร์	74
รูปที่ 4.18 โมดูลแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นสัญญาณแอนะลอกโดยใช้ไอซี DAC0808	75

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูป	หน้า
รูปที่ 4.19 โมดูลตัวควบคุมแบบพี	76
รูปที่ 4.20 โมดูลตัวควบคุมแบบไอ	77
รูปที่ 4.21 โมดูลตัวควบคุมแบบดี	78
รูปที่ ก.1 โมดูลภาคจ่ายไฟ	83
รูปที่ ก.2 โมดูลโวลต์มิเตอร์	83
รูปที่ ก.3 โมดูลการทดลองวงจรวีทสโตนบริดจ์	84
รูปที่ ก.4 โมดูลการทดลองวงจรอินสตรูเมนต์แอมป์	84
รูปที่ ก.5 โมดูลการทดลองโหลดเซลล์	85
รูปที่ ก.6 โมดูลการทดลอง อาร์ทีดี	85
รูปที่ ก.7 โมดูลการทดลอง เทอร์มิสเตอร์	86
รูปที่ ก.8 โมดูลการทดลอง เทอร์โมคัปเปิ้ล	86
รูปที่ ก.9 โมดูลการทดลอง แอลดีอาร์ เซลล์แสงอาทิตย์ และโฟโตไดโอด	87
รูปที่ ก.10 โมดูลแสดงผลข้อมูล 8 บิต	87
รูปที่ ก.11 โมดูลลอจิกสวิตช์ขนาด 8 บิต	88
รูปที่ ก.12 โมดูลแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล โดยใช้ไอซี ADC0804	88
รูปที่ ก.13 โมดูลแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นสัญญาณแอนะลอก โดยใช้วงจร R-2R แลดเดอร์	89
รูปที่ ก.14 โมดูลแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นสัญญาณแอนะลอก โดยใช้ไอซี DAC0808	89
รูปที่ ก.15 โมดูลวงจรควบคุมแบบพี	90
รูปที่ ก.16 โมดูลวงจรควบคุมแบบไอ	90
รูปที่ ก.17 โมดูลวงจรควบคุมแบบดี	91
รูปที่ ก.18 การทดลองวงจรวีทสโตนบริดจ์	91
รูปที่ ก.19 การทดลองวงจรอินสตรูเมนต์แอมป์	92
รูปที่ ก.20 การทดลองโหลดเซลล์	92
รูปที่ ก.21 การทดลองวัดอุณหภูมิจากอุปกรณ์ตรวจวัด 3 ชนิด	93
รูปที่ ก.22 การทดลองเรื่องแอลดีอาร์ เซลล์แสงอาทิตย์ และโฟโตไดโอด	93
รูปที่ ก.23 การทดลองพร็อกซิมิตี้เซนเซอร์ทั้ง 3 ชนิด	94

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูป	หน้า
รูปที่ ก.24 การทดลองแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล โดยใช้ไอซี ADC0804	94
รูปที่ ก.25 การแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล และการแปลงกลับ	95
รูปที่ ก.26 การแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นสัญญาณแอนะลอกแบบ R-2R แลดเดอร์	95
รูปที่ ก.27 การแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นสัญญาณแอนะลอก โดยใช้ไอซี DAC0808	96
รูปที่ ก.28 การทดลองวงจรควบคุมแบบพี	96
รูปที่ ก.29 การทดลองวงจรควบคุมแบบไอ	97
รูปที่ ก.30 การทดลองวงจรควบคุมแบบดี	97
รูปที่ ก.31 รวมโมดูล	98
รูปที่ ข.1 โมดูลภาคจ่ายไฟ	100
รูปที่ ข.2 ลายวงจรพิมพ์โมดูลภาคจ่ายไฟ	100
รูปที่ ข.3 โมดูลโวลต์มิเตอร์	101
รูปที่ ข.4 ลายวงจรพิมพ์โมดูลโวลต์มิเตอร์	101
รูปที่ ข.5 โมดูลวีทสโตนบริดจ์	102
รูปที่ ข.6 ลายวงจรพิมพ์โมดูลวีทสโตนบริดจ์	102
รูปที่ ข.7 โมดูลอินสตรูเมนต์แอมป์	103
รูปที่ ข.8 ลายวงจรพิมพ์โมดูลอินสตรูเมนต์แอมป์	103
รูปที่ ข.9 โมดูลโหลดเซลล์	104
รูปที่ ข.10 ลายวงจรพิมพ์โมดูลโหลดเซลล์	104
รูปที่ ข.11 โมดูลอาร์ทีดี	105
รูปที่ ข.12 ลายวงจรพิมพ์โมดูลอาร์ทีดี	105
รูปที่ ข.13 โมดูลเทอร์มิสเตอร์	106
รูปที่ ข.14 ลายวงจรพิมพ์โมดูลเทอร์มิสเตอร์	106
รูปที่ ข.15 โมดูลเทอร์โมคัปเปิ้ล	107
รูปที่ ข.16 ลายวงจรพิมพ์โมดูลเทอร์โมคัปเปิ้ล	107
รูปที่ ข.17 โมดูลแอลดีอาร์ เซลล์แสงอาทิตย์ และโฟโตไดโอด	108
รูปที่ ข.18 ลายวงจรพิมพ์โมดูลแอลดีอาร์ เซลล์แสงอาทิตย์ และโฟโตไดโอด	108
รูปที่ ข.19 โมดูลแสดงผลข้อมูลขนาด 8 บิต	109

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูป	หน้า
รูปที่ ข.20 ลายวงจรพิมพ์โมดูลแสดงผลข้อมูลขนาด 8 บิต	109
รูปที่ ข.21 โมดูลลอจิกสวิตช์ขนาด 8 บิต	110
รูปที่ ข.22 ลายวงจรพิมพ์โมดูลลอจิกสวิตช์ขนาด 8 บิต	110
รูปที่ ข.23 โมดูลแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล โดยใช้ไอซี ADC0804	111
รูปที่ ข.24 ลายวงจรพิมพ์โมดูลแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล โดยใช้ไอซี ADC0804	111
รูปที่ ข.25 โมดูลแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นสัญญาณแอนะลอก โดยใช้ไอซี DAC0808	112
รูปที่ ข.26 ลายวงจรพิมพ์โมดูลแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นสัญญาณแอนะลอก โดยใช้ไอซี DAC0808	112
รูปที่ ข.27 โมดูล R-2R แลดเดอร์	113
รูปที่ ข.28 ลายวงจรพิมพ์โมดูล R-2R แลดเดอร์	113
รูปที่ ข.29 โมดูลตัวควบคุมแบบพี	114
รูปที่ ข.30 ลายวงจรพิมพ์โมดูลตัวควบคุมแบบพี	114
รูปที่ ข.31 โมดูลตัวควบคุมแบบไอ	115
รูปที่ ข.32 ลายวงจรพิมพ์โมดูลตัวควบคุมแบบไอ	115
รูปที่ ข.33 โมดูลตัวควบคุมแบบดี	116
รูปที่ ข.34 ลายวงจรพิมพ์โมดูลตัวควบคุมแบบดี	116
รูปที่ ค.1 วงจรวีทสโตนบริดจ์แบบพาสซีฟ	119
รูปที่ ค.2 วงจรบริดจ์ชนิดแอคตีฟ	120
รูปที่ ค.3 วงจรบริดจ์แบบพาสซีฟ	112
รูปที่ ค.4 โมดูลวีทสโตนบริดจ์ (Lab1)	113
รูปที่ ค.5 วงจรบริดจ์แบบแอคตีฟ	114
รูปที่ ค.6 วงจรขยายดิฟเฟอร์เรนเชียล	117
รูปที่ ค.7 วงจรคอมมอนโหมด	118
รูปที่ ค.8 วงจรอินตรูเมนต์แอมป์	119
รูปที่ ค.9 ตัวอย่างการคำนวนวงจร	120
รูปที่ ค.10 การต่อวงจรร่วมระหว่าง วงจรอินตรูเมนต์แอมป์ และ วงจรดิฟเฟอร์เรนเชียล	121

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูป	หน้า
รูปที่ ค.11 โมดูลอินสตรูเมนต์แอมป์	121
รูปที่ ค.12 สเตรนเกจแบบยึดติด	125
รูปที่ ค.13 สเตรนเกจแบบไม่ยึดติด	125
รูปที่ ค.14 โมดูล Lab3	127
รูปที่ ค.15 โครงสร้างของ แอลวีดีที	138
รูปที่ ค.16 โครงสร้างของโมดูล แอลวีดีที	138
รูปที่ ค.17 ผลการทดลองที่ตำแหน่งกึ่งกลาง	139
รูปที่ ค.18 ผลการทดลองที่ตำแหน่งแกนเหล็กอยู่ด้านซ้าย	139
รูปที่ ค.19 ผลการทดลองที่ตำแหน่งแกนเหล็กอยู่ด้านขวา	140
รูปที่ ค.20 การต่อวงจรที่ต้องใช้ร่วมกับ อาร์ทีดี	145
รูปที่ ค.21 การต่อวงจรเทอร์มิสเตอร์อย่างง่าย	146
รูปที่ ค.22 การวัดอุณหภูมิโดยใช้เทอร์โมมิเตอร์ต่อในวงจรบริดจ์	147
รูปที่ ค.23 การต่อใช้งานเทอร์โมคัปเปิ้ล	147
รูปที่ ค.24 การทดลองวัดค่าความต้านทานอาร์ทีดี	148
รูปที่ ค.25 การนำโมดูลที่ Lab5-1,Lab5-2,Lab-3	150
รูปที่ ค.26 ภาพด้านบน และด้านข้างของ แอลดีอาร์	154
รูปที่ ค.27 โครงสร้างเซลล์แสงอาทิตย์	155
รูปที่ ค.28 โครงสร้าง และ สัญลักษณ์ ของไดโอดพลังแสง	156
รูปที่ ค.29 การเชื่อมต่อระหว่างกล่องให้พลังงานแสง และโมดูล Lab6-1	157
รูปที่ ค.30 วงจรของโมดูลที่ Lab6-1	157
รูปที่ ค.31 การเชื่อมต่อระหว่างกล่องให้พลังงานแสง และโมดูล Lab6-3	158
รูปที่ ค.32 วงจรของโมดูลที่ Lab6-3	159
รูปที่ ค.33 การเชื่อมต่อระหว่างกล่องให้พลังงานแสง และโมดูล Lab6-2	160
รูปที่ ค.34 วงจรของโมดูลที่ Lab6-2	160
รูปที่ ค.35 การวัดระยะการทำงานของ พร๊อกซิมิตี้เซนเซอร์แบบอินดักทีฟ	166
รูปที่ ค.36 การวัดระยะการทำงานของ พร๊อกซิมิตี้เซนเซอร์แบบคาปาซิทีฟ	167

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูป	หน้า
รูปที่ ค.37 การวัดระยะการทำงานของ พร๊อกซิมิตี้เซนเซอร์ชนิด ออปติคอล	168
รูปที่ ค.38 การสุ่มสัญญาณ	172
รูปที่ ค.39 วงจรแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล	172
รูปที่ ค.40 วงจรนับแบบแรมป์	173
รูปที่ ค.41 วงจรซักเซสซีฟแอปพร็อกซิเมชั่น	174
รูปที่ ค.42 การจัดขาของไอซี ADC0804	175
รูปที่ ค.43 การต่อวงจรเพื่อให้ ADC0804 ทำงานต่อเนื่อง	175
รูปที่ ค.44 โมดูล Lab8-1	176
รูปที่ ค.45 วงจรของโมดูล Lab8-1	177
รูปที่ ค.46 การนำโมดูล A/D ต่อกับ D/A	178
รูปที่ ค.47 วงจรผสมระหว่าง A/D และ D/A	179
รูปที่ ค.48 วงจรแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นสัญญาณแอนะลอก แบบกำหนดน้ำหนักตัวต้านทาน	183
รูปที่ ค.49 วงจรแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นสัญญาณแอนะลอกแบบ R-2R แลดเดอร์	184
รูปที่ ค.50 วงจร DAC R–2R แลดเดอร์	185
รูปที่ ค.51 โมดูล Lab9-2	186
รูปที่ ค.52 วงจร D/A แบบใช้ไอซี DAC0808	188
รูปที่ ค.53 วงจรขยายแบบพีชนิดกลับเฟส	192
รูปที่ ค.54 วงจรขยายแบบพี ชนิดไม่กลับเฟส	193
รูปที่ ค.55 วงจรขยายแบบพี ชนิดไม่กลับเฟส	194
รูปที่ ค.56 วงจรควบคุมแบบไอ ชนิดกลับเฟส	197
รูปที่ ค.57 วงจรควบคุมแบบไอ ชนิดไม่กลับเฟส	198
รูปที่ ค.58 วงจรควบคุมแบบดี ชนิดกลับเฟส	199
รูปที่ ค.59 วงจรควบคุมแบบดี ชนิดไม่กลับเฟส(Non-Inverting D-Element)	200
รูปที่ ค.60 โมดูล Lab10-1	202
รูปที่ ค.61 วงจรขยายแบบกลับเฟส	202
รูปที่ ค.62 วงจรขยายแบบไม่กลับเฟส	203

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูป	หน้า
รูปที่ ค.63 วงจรขยายแบบพีชนิดไม่กลับเฟสแบบมีวงจรแบ่งแรงดันอินพุต	204
รูปที่ ค.64 กราฟความสัมพันธ์ของแรงดันเอาต์พุต (V_6) และแรงดันอินพุต (V_5)	205
รูปที่ ค.65 โมดูล Lab 10-2	205
รูปที่ ค.66 วงจรควบคุมแบบไอ ชนิดกลับเฟส	206
รูปที่ ค.67 วงจรควบคุมแบบไอ ชนิดไม่กลับเฟส	207
รูปที่ ค.68 วงจรควบคุมแบบดี ชนิดกลับเฟส	208
รูปที่ ค.69 สัญญาณเอาต์พุตเมื่อใช้ C = 4.7 nF	209
รูปที่ ค.70 วงจรควบคุมแบบดี ชนิดไม่กลับเฟส	210

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เนื่องด้วยในปัจจุบันการทำงานภายในโรงงานอุตสาหกรรม มีการใช้อุปกรณ์ควบคุมประเภทเซนเซอร์ และทรานสดิวเซอร์ เพื่อใช้ควบคุมการทำงานของเครื่องจักรอย่างกว้างขวาง ยิ่งในปัจจุบันมีการผลิตชิ้นงานที่มีขนาดเล็ก และต้องการชิ้นงานที่มีคุณภาพ ทำให้ระบบการผลิตต้องมีความเที่ยงตรงมากยิ่งขึ้น

โดยทั่วไปเป้าหมายของการวัด และการควบคุมอุปกรณ์ต่างๆ ภายในโรงงาน คือ การวัดและการควบคุมปริมาณทางฟิสิกส์อันได้แก่ อุณหภูมิ แสง ระยะทางฯ ให้มีค่าเที่ยงตรงมากที่สุด โดยการวัดที่เที่ยงตรงนั้นต้องอาศัยอุปกรณ์ประเภทเซนเซอร์ และอุปกรณ์ทรานสดิวเซอร์ให้ได้อย่างถูกต้อง และมีประสิทธิภาพ

ดังนั้นในสถาบันการศึกษาจึงได้มีการจัดการเรียนการสอนเกี่ยวกับอุปกรณ์เซนเซอร์ และทรานสดิวเซอร์ขึ้น แต่ในปัจจุบันชุดทดลองเซนเซอร์ และทรานสดิวเซอร์ที่มีจำหน่ายอยู่ในท้องตลาดนั้นมีราคาแพง ดังนั้นทางผู้จัดทำจึงมีความคิดที่จะจัดทำชุดทดลองเซนเซอร์ และทรานสดิวเซอร์ที่มีราคาถูกลง โดยมีใบงานการทดลองประกอบการเรียนการสอน เพื่อเพิ่มทักษะให้กับ ผู้เรียน ซึ่งการทดลองจะทำให้ผู้เรียนเข้าใจง่ายขึ้น จึงมีความคิดที่จะพัฒนาชุดทดลองเซนเซอร์ และทรานสดิวเซอร์ เพื่อใช้ประกอบการเรียนการสอนให้มีประสิทธิภาพยิ่งกว่าเดิม

ขีดความสามารถของโครงงาน

1) สามารถใช้เป็นชุดทดลอง เพื่อศึกษาอุปกรณ์เซนเซอร์ และทรานสดิวเซอร์โดยมีใบงานประกอบจำนวน 10 ใบงาน

2) มีอุปกรณ์ให้กำเนิดพลังงานชนิดต่างๆ เช่น ความร้อน แสงสว่าง เพื่อจ่ายให้กับอุปกรณ์เซนเซอร์ และทรานสดิวเซอร์

3) สามารถใช้เป็นชุดทดลอง เพื่อการศึกษาคุณสมบัติ ทั้งข้อดี และข้อด้อย ของอุปกรณ์เซนเซอร์ และทรานสดิวเซอร์

4) สามารถใช้เป็นชุดทดลอง เพื่อการศึกษาการนำอุปกรณ์เซนเซอร์ และทรานสดิวเซอร์เพื่อนำไปประยุกต์ใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 เนื้อหาโดยสังเขป

บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ กล่าวถึงอุปกรณ์เซนเซอร์ และทรานสดิวเซอร์ชนิดต่างๆ การนำอุปกรณ์เซนเซอร์ และทรานสดิวเซอร์ไปประยุกต์ใช้งาน ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการออกแบบการใช้งานวงจรออปแอมป์ วงจรวีทสโตนบริดจ์ วงจรอินสตรูเมนต์แอมป์ วงจรแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล และวงจรแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นสัญญาณแอนะลอก เพื่อนำไปใช้ร่วมกับอุปกรณ์เซนเซอร์ และทรานสดิวเซอร์

บทที่ 3 การออกแบบและการสร้าง กล่าวถึงการออกแบบวงจรต่างๆที่ใช้ในชุดทดลอง เช่น วงจรวีทสโตนบริดจ์ วงจรอินสตรูเมนต์แอมป์ วงจรแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล วงจรแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นแอนะลอก และการสร้างตัวให้กำเนิดพลังงานในรูปแบบต่างๆ เพื่อจ่ายให้กับอุปกรณ์เซนเซอร์และทรานสดิวเซอร์

บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง กล่าวถึงผลการทดลอง และผลการทดสอบ การนำอุปกรณ์เซนเซอร์ และทรานสดิวเซอร์แบบต่างๆ ไปใช้งาน ว่าได้ผลการทดลอง ตามที่ได้ออกแบบไว้ในบทที่ 3

บทที่ 5 ปัญหาแนวทางการแก้ไขและพัฒนา กล่าวถึงข้อสรุปข้อบกพร่องต่างๆของชุดทดลอง ปัญหาที่เกิดขึ้นในการจัดสร้าง และกล่าวถึงแนวทางการปรับปรุง การแก้ไข และการพัฒนาชุดทดลองนี้ต่อไป

ภาคผนวก ก. โมดูลต้นแบบ

ภาคผนวก ข. ตำแหน่งการวางอุปกรณ์ และลายวงจร

ภาคผนวก ค. ใบงานประกอบการทดลอง

ภาคผนวก ง. เฉลยใบงาน

ภาคผนวก จ. รายการอุปกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและหลักการ

2.1 กล่าวนำ

ในปัจจุบันลักษณะการทำงานของมนุษย์เริ่มเปลี่ยนแปลงไป โดยในอดีตการทำงานในภาคอุตสาหกรรมจำเป็นต้องใช้แรงงานของคนในการดำเนินงานเกือบทั้งหมด แต่ในปัจจุบันได้มีการนำเครื่องจักรเข้ามาทดแทนกำลังคน เนื่องจากประหยัดค่าใช้จ่าย ทำงานได้รวดเร็ว และยังได้ชิ้นงานที่มีคุณภาพ ซึ่งในการทำงานของเครื่องจักรจำเป็นต้องมีอุปกรณ์ตรวจวัดต่างๆ เช่น การตรวจจับตำแหน่ง อุณหภูมิ ความดัน ความเครียด ฯ เพื่อให้สามารถทำงานได้อย่างถูกต้อง และแม่นยำ อีกทั้งในสถานศึกษาต่างๆ ได้จัดให้มีวิชาเซนเซอร์ และทรานสดิวเซอร์ไว้ในหลักสูตร เพื่อตอบสนองความต้องการของตลาดแรงงาน แต่เนื่องจากชุดฝึก และอุปกรณ์การทดลองที่เกี่ยวกับเซนเซอร์ และทรานสดิวเซอร์ยังมีน้อย และไม่เพียงพอกับความต้องการ จึงได้มีการออกแบบชุดฝึกเซนเซอร์ และทรานสดิวเซอร์ ใบงานประกอบการทดลอง เพื่อตอบสนองความต้องการดังกล่าว

2.2 ความหมายของอุปกรณ์เซนเซอร์และทรานสดิวเซอร์

เซนเซอร์ และทรานสดิวเซอร์ เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจจับ หรือวัดค่าคุณสมบัติทางวิทยาศาสตร์ต่างๆ เช่น ความร้อน แสง สี เสียง ระยะทาง การเคลื่อนที่ ความดัน การไหล เป็นต้น

อุปกรณ์เซนเซอร์ หมายถึง อุปกรณ์ที่ใช้ตรวจจับอินพุตชนิดต่างๆ ว่า มี หรือ ไม่มี

อุปกรณ์ทรานสดิวเซอร์ หมายถึง อุปกรณ์ที่สามารถตรวจสอบ และบอกขนาดของสิ่งที่ต้องการตรวจสอบว่ามีมาก หรือน้อยเพียงใด

โดยทั่วไปอุปกรณ์เซนเซอร์ และทรานสดิวเซอร์ มีหน้าที่เปลี่ยนการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพจากรูปหนึ่งไปเป็นการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพอีกรูปแบบหนึ่ง

2.3 การแบ่งชนิดของทรานสดิวเซอร์

2.3.1 แบ่งตามความต้องการพลังงาน

1) แอคตีฟทรานสดิวเซอร์ (Active Transducer) เป็นทรานสดิวเซอร์ชนิดที่สามารถปลดปล่อยพลังงานไฟฟ้าได้เอง เช่น เทอร์โมคัปเปิ้ล สามารถให้เอาต์พุตเป็นแรงดันไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) พาสซีฟทรานสดิวเซอร์ (Passive Transducer) เป็นทรานสดิวเซอร์ที่ไม่สามารถปลดปล่อยพลังงานเองได้ จึงต้องอาศัยแหล่งจ่ายพลังงานจากภายนอก เช่น อาร์ทีดี

2.3.2 แบ่งตามลักษณะ และกลไกการทำงาน

1) การเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทาน (Variable Resistance Transducer)

2) การเปลี่ยนแปลงค่าความเหนี่ยวนำ (Variable Inductance Transducer)

3) การเปลี่ยนแปลงค่าความจุ (Variable Capacitance Transducer)

2.3.3 แบ่งตามชนิดของการเปลี่ยนแปลงพลังงาน

1) ทรานสดิวเซอร์ที่ทำหน้าที่เปลี่ยนแปลงพลังงานกลให้เป็นพลังงานไฟฟ้า

2) ทรานสดิวเซอร์ที่ทำหน้าที่เปลี่ยนแปลงพลังงานไฟฟ้าให้เป็นพลังงานกล

3) ทรานสดิวเซอร์ที่ทำหน้าที่เปลี่ยนแปลงพลังงานความร้อนให้เป็นพลังงานไฟฟ้า

4) ทรานสดิวเซอร์ที่ทำหน้าที่เปลี่ยนแปลงพลังงานแสงให้เป็นพลังงานไฟฟ้า

2.3.4แบ่งตามชนิดของสัญญาณที่ใช้

1) แอนะลอกทรานสดิวเซอร์ (Analog Transducer) คือ ทรานสดิวเซอร์ที่ให้สัญญาณเป็นแบบต่อเนื่อง

2) ไบนารี่ทรานสดิวเซอร์ (Binary Transducer) คือ ทรานสดิวเซอร์ที่ให้สัญญาณเป็นแบบเปิด-ปิด หรือ ทำงานกับไม่ทำงาน

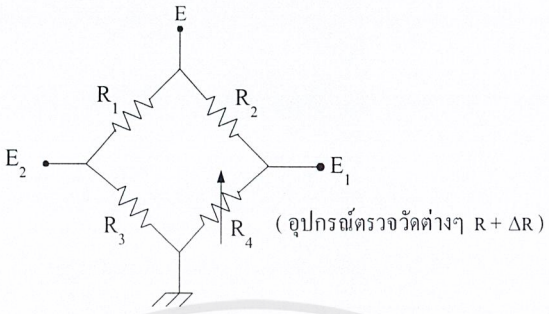
3) ดิจิตอลทรานสดิวเซอร์ (Digital Transducer) คือ ทรานสดิวเซอร์ที่ให้เอาต์พุตเป็นสัญญาณดิจิตอล

2.4 วงจรวีทสโตนบริดจ์

วงจรวีทสโตนบริดจ์ คือวงจรที่ประกอบด้วยตัวต้านทาน 4 ตัว ต่อกันแบบผสม โดยตัวต้านทาน R_1 ต่ออนุกรมกับ R_3 และ R2 ต่ออนุกรมกับ R4 ซึ่งค่าความต้านทานของตัวต้านทานแต่ละตัวมีค่าเป็นสัดส่วนกัน วงจรวีทสโตนบริดจ์มักถูกใช้ร่วมกับ สเตรนเกจ อาร์ทีดี และเทอร์มิสเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.1 วงจรวีทสโตนบริดจ์แบบพาสซีฟ

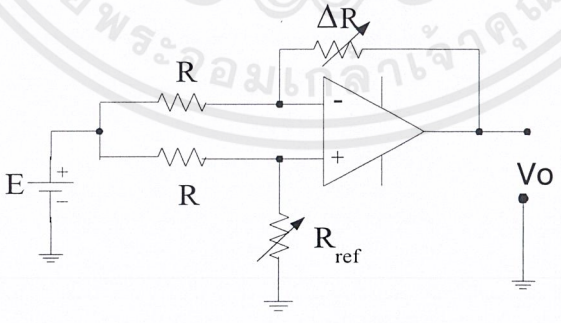


รูปที่ 2.1 วงจรวีทสโตนบริดจ์ชนิดพาสซีฟ

จากวงจรสมมุติให้ R_4 คือค่าความต้านทานที่อุปกรณ์ทรานสดิวเซอร์ปลดปล่อยออกมา และค่าความต้านทานของ R_1,R_2 และR_3 มีค่าเท่ากัน ดังนั้นหากค่าความต้านทานทั้งสี่ตัวมีค่าเท่ากัน จะทำให้เกิดสภาวะบริดจ์สมดุล คือ แรงดันที่ E_1-E_2 = 0 แต่ถ้า R_4 เกิดการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานก็จะทำให้เกิดแรงดันที่จุด E_1 เทียบกับ E_2

2.4.2 วงจรบริดจ์ชนิดแอคตีฟ

จะประกอบด้วยออปแอมป์ 1 ตัว ตัวต้านทาน 4 ตัว และอุปกรณ์ทรานสดิวเซอร์ 1 ตัว ต่อกันเป็นวงจรขยายพื้นฐาน หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งว่า ถ้าจะเป็นวงจรขยายแบบบริดจ์ แล้วจะต้องประกอบด้วยชิ้นส่วน และอุปกรณ์พื้นฐาน ต่างๆ อย่างน้อยที่สุดเท่ากับที่ได้กล่าวมาแล้ว



รูปที่ 2.2 วงจรวีทสโตนบริดจ์ชนิดแอคตีฟ

$$Vo = -E\frac{\Delta R}{R_1 + R_{ref}} \qquad (2.1)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 สเตรนเกจ (Strain Gage)

สเตรนเกจ เป็นตัวแปลงแบบเฉื่อยงาน ที่ใช้หลักการของการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานภายในขดลวด เพื่อการตรวจวัดความเครียด ที่เกิดขึ้นจากแรงที่มากระทำบนเส้นลวดนี้

การใช้งาน เราสามารถใช้สเตรนเกจในการตรวจวัดได้อย่างกว้างขวาง เช่น การวัดน้ำหนัก ความดัน แรงเชิงกล การเคลื่อนที่ เป็นต้น

หลักการทำงานเบื้องต้น เมื่อสเตรนเกจ ถูกดึงให้ยืดออก ความยาวของเส้นลวดจะเพิ่มขึ้น ในขณะที่พื้นที่หน้าตัดจะลดลง ผลก็คือความต้านทานของเส้นลวดจะเพิ่มขึ้นเนื่องจากความต้านทานของโลหะตัวนำจะแปรค่าโดยตรงตามความยาว และแปรค่าผกผันกับพื้นที่หน้าตัด ดังนั้นจึงเขียนเป็นสมการคณิตศาสตร์แสดงความสัมพันธ์ได้ว่า

$$R = \frac{\rho L}{A} \qquad (2.2)$$

เมื่อ

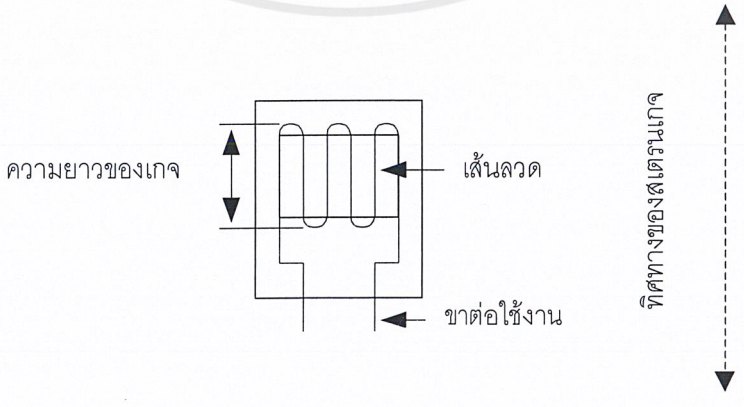
R = ความต้านทานของสเตรน เกจ หน่วย โอห์ม (Ω)

ρ = ค่าความต้านทานคงที่ของโลหะ หน่วย โอห์ม-เมตร (Ω-m)

L = คือ ความยาวของเส้นลวด หน่วย เมตร(m)

A = พื้นที่หน้าตัดของตัวนำ หน่วย ตารางเมตร (m^2)

2.5.1 สเตรนเกจ แบบยึดติด (Bonded Strain Gage)

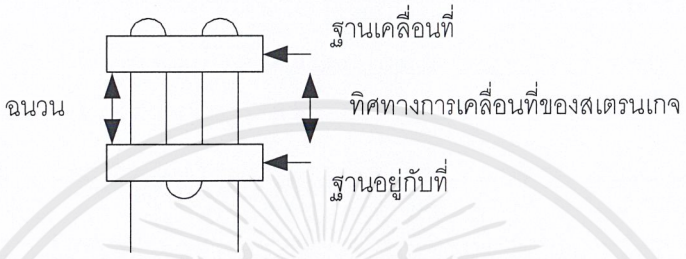


รูปที่ 2.3 สเตรนเกจแบบยึดติด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงสร้างของสเตรนเกจแบบยึดติดทำมาจากเส้นลวดเล็กๆขดไปขดมาหลายครั้ง และยึดติดไว้บนแผ่นกระดาษหรือพลาสติกบางๆ โดยทั่วไปเส้นลวดนี้จะมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 0.001 นิ้ว และมีค่าความต้านทาน 120 โอห์ม

2.5.2 สเตรนเกจ แบบไม่ยึดติด (Unbounded Strain Gage)



รูปที่ 2.4 สเตรนเกจแบบไม่ยึดติด

โครงสร้างของสเตรนเกจแบบไม่ยึดติดทำจากเส้นลวดเล็กๆที่ติดอยู่กับฐานที่อยู่กับที่และฐานที่เคลื่อนที่

การใช้งานสเตรนเกจ ในการตรวจจับความเครียดของวัตถุนั้น เราจะพิจารณาปริมาณทางกายภาพสองสิ่งคือ ค่าความต้านทานของเกจ (Gage Resistance) ที่เปลี่ยนแปลง และค่าความยาวที่เกิดการเปลี่ยนแปลง ซึ่งความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรทั้งสองนี้ จะแสดงเป็นอัตราส่วนที่เรียกว่า “เกจแฟกเตอร์” ดังสมการคณิตศาสตร์ต่อไปนี้

$$K = \frac{\Delta R/R}{\Delta L/L} \qquad \textbf{(2.3)}$$

เมื่อ K = เกจ แฟกเตอร์

R = ความต้านทานเริ่มต้น หน่วย โอห์ม (Ω)

ΔR = ความต้านทานที่เปลี่ยนแปลง หน่วย โอห์ม (Ω)

L = ความยาวที่เปลี่ยนแปลง หน่วย เมตร (m)

ΔL = ความยาวที่เปลี่ยนแปลง หน่วย เมตร (m)

ในเทอมของ $\Delta L/L$ เราสามารถกำหนดเป็นหน่วยของความเครียด (Unit Strain)ใช้อักษรแทนด้วย G ดังนั้นจึงเขียนเป็นสมการได้ใหม่ คือ

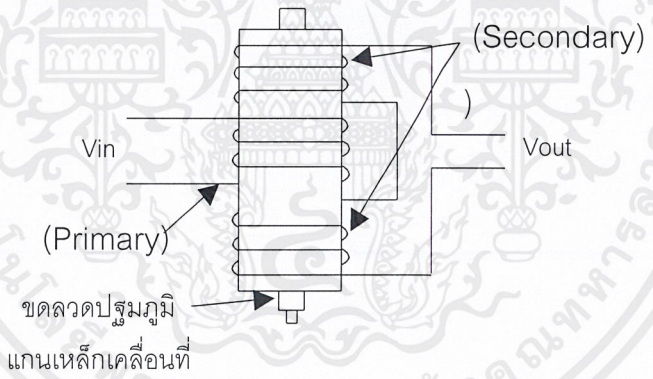
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$K = \frac{\Delta R/R}{G} \qquad (2.4)$$

2.6 แอลวีดีที (Linear Variable Differentail Transfomer)

แอลวีดีที เป็นตัวแปลงแบบเหนี่ยวนำเปลี่ยนแปลง จัดอยู่ในอุปกรณ์เฉื่อยงานอีกชนิดหนึ่งที่ต้องอาศัยแหล่งจ่ายกำลังจากภายนอก

แอลวีดีที เป็นตัวแปลงที่สามารถตรวจวัดแรง แรงดัน และการเคลื่อนที่ โดยมีหลักการทำงานคือ การเคลื่อนที่ของแกนเหล็กของหม้อแปลง เพื่อเปลี่ยนค่าสนามแม่เหล็กไฟฟ้าระหว่างขดลวด โครงสร้างพื้นฐานของ แอลวีดีที ประกอบด้วยขดลวดปฐมภูมิ (Primary Winding) และ ขดลวดทุติยภูมิ (Secondary Winding) สองขด ซึ่งขดลวดทุติยภูมิทั้งสองขดนี้จะมีจำนวนรอบที่เท่ากัน และต่ออันดับกัน แต่มีทิศทางของการพันขดลวดที่ตรงข้ามกัน ดังนั้นแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นภายในขดลวดทั้งสองจะมีศักย์ไฟฟ้าตรงข้ามกัน ดังนั้นแสดงในรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 โครงสร้างของแอลวีดีที

2.7 อุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิ

กระบวนการต่างๆ ทางอุตสาหกรรมโดยทั่วไปแล้วมักมีเงื่อนไขหรือสถานะการณ์เกี่ยวข้องกับอุณหภูมิ และความร้อนอย่างใกล้ชิดเสมอ ดังนั้นการตรวจวัด และควบคุมอุณหภูมิจึงเป็นสิ่งสำคัญมากสิ่งหนึ่งของตัวแปรในการบวนการทางอุตสาหกรรม

2.7.1 หน่วยวัดอุณหภูมิที่นิยมใช้กันก็คือ

1) ฟาห์เรนไฮต์ ซึ่งถูกคิดค้นโดยนักฟิสิกส์ชาวเยอรมันชื่อ Gabriel Daniel Fahrenheit มีจุดเยือกแข็งของน้ำอยู่ที่ 32°F และจุดเดือดของน้ำที่ 212°F

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) เซลเซียส ถูกคิดค้นโดยนักวิทยาศาสตร์ชาวสวีเดนชื่อ Ander Celsius มีจุดเดือดของน้ำที่ 0°C และจุดเดือดที่ 100°C ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยวัดอุณหภูมิแบบฟาห์เรนไฮต์ และแบบเซลเซียสสามารถแสดงได้ด้วยสมการต่อไปนี้

$$T^{\circ}F = (9/5)(T^{\circ}C) + 32 \quad \textbf{(2.5)}$$

$$T^{\circ}C = (5/9)(T^{\circ}F - 32) \quad \textbf{(2.6)}$$

3) อุณหภูมิสัมบูรณ์ (Absolute Temperature) ถูกคิดค้นขึ้นโดยนักฟิสิกส์ชาวสก็อตชื่อ William Thomson , Lord Kelvin โดยขนาดองศาที่ศูนย์สัมบูรณ์ (Absolute Zero) เป็นอุณหภูมิต่ำสุดที่เป็นไปได้ ณ.อุณหภูมินี้ทุกๆ โมเลกุลของสารจะหยุดนิ่งทั้งหมด โดยค่าศูนย์สัมบูรณ์จะมีค่าเท่ากับ –273.15°C

ตารางที่ 2.1 การเปรียบเทียบจุดอ้างอิงของอุณหภูมิในมาตราต่างๆ

จุดเปรียบเทียบ	อุณหภูมิ		
	°K	°F	°C
- จุดศูนย์สัมบูรณ์	0	-459.6	-273.15
- จุดเยือกแข็งของน้ำ	273.15	32	0
- จุดเดือดของน้ำ	373.15	212	100

อุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจจับอุณหภูมินั้นมีอยู่หลายชนิดด้วยกัน โดยอุปกรณ์แต่ละชนิดจะอาศัยหลักการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติเฉพาะของสาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 เปรียบเทียบข้อดี และข้อเสียของเทอร์โมคัปเปิ้ล อาร์ทีดี และเทอร์มิสเตอร์

ประเภทอุปกรณ์วัดอุณหภูมิ	ข้อดี	ข้อเสีย
เทอร์โมคัปเปิ้ล	1. ไม่ต้องการแหล่งจ่ายพลังงาน 2. ทนทาน 3. ราคาถูก 4. มีช่วงอุณหภูมิกว้าง	1. ไม่เป็นเชิงเส้น 2. ให้แรงดันต่ำ 3. ต้องการค่าอ้างอิง 4. มีความคงที่น้อยที่สุด 5. มีความไวต่ำที่สุด
อาร์ทีดี	1. คงที่ที่สุด 2. เที่ยงตรงที่สุด 3. เป็นเชิงเส้นมากกว่าเทอร์โมคัปเปิ้ล	1. มีราคาแพง 2. ความเร็วต่ำ 3. ต้องใช้แหล่งจ่ายจากภายนอก 4. ค่าความต้านทานเปลี่ยนแปลงน้อย 5. กำเนิดความร้อนขึ้นมา
เทอร์มิสเตอร์	1. ให้เอาต์พุตสูง 2. ความเร็วสูง 3. เป็นการวัดแบบ 2 สาย	1. ไม่เป็นเชิงเส้น 2. ช่วงอุณหภูมิจำกัด 3. บอบบาง 4. ต้องใช้แหล่งจ่ายจากภายนอก 5. กำเนิดความร้อนขึ้นมา

ตารางที่ 2.3 เปรียบเทียบความสามารถ อาร์ทีดี เทอร์โมคัปเปิ้ล และเทอร์มิสเตอร์

หัวข้อ	เทอร์โมคัปเปิ้ล	อาร์ทีดี	เทอร์มิสเตอร์
Repeatability	2° F - 15° F	0.05° F - 0.1° F	0.2° F - 2° F
เสถียรภาพที่อาจเปลี่ยนแปลงได้	1° F - 2° F ต่อปี	น้อยกว่า 0.1%(ใน 5 ปี)	0.2° F- 5° F(ใน 1 ปี)
ความไวในการวัด	10-50 μV / $^{\circ}$ C	0.2 – 10 Ω / $^{\circ}$ C	100 - 1KΩ / $^{\circ}$ C
ค่าความเปลี่ยนแปลง	$\pm$ 0.75 %	$\pm$ 0.5%	$\pm$ 0.5%
ช่วงอุณหภูมิการวัด	-300° F - 3100° F	-200° F - 1600° F	-150° F - 550° F
สัญญาณเอาต์พุต	0-60 mV	1 - 6 V	1 - 3 V
กำลังงาน(ที่โหลด 100 Ω)	1.6 x 10^{-7} Watt	4 x 10^{-2} Watt	8 x 10^{-1} Watt
ค่าความเป็นเชิงเส้น	ดี	ดี	ไม่ดี
ลักษณะโดยทั่วไป	ประหยัดที่สุดย่านการใช้งานสูงสุด	Accuracy ดี มีเสถียรภาพการใช้งานดีที่สุด	มีความไวในการวัดสูงสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.2 อาร์ทีดี (Resistance Temperature Detector)

อาร์ทีดี เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ตรวจจับอุณหภูมิโดยอาศัยการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานทางไฟฟ้า ซึ่งค่าความต้านทานจะสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิมีค่าสูงขึ้น

โครงสร้างของ อาร์ทีดี ทำด้วยโลหะที่มีความยาวค่าหนึ่ง ซึ่งทำให้เกิดค่าความต้านทานที่ต้องการ โลหะที่นิยมนำมาทำ คือ พลาตินัม ทองแดง นิเกิล และทังสเตน(กรณีต้องการย่านวัดสูงๆ) ค่าความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานกับอุณหภูมิสามารถคำนวนได้จากสมการต่อไปนี้

$$R_T = R_o(1 + \infty\Delta T) \qquad \textbf{(2.7)}$$

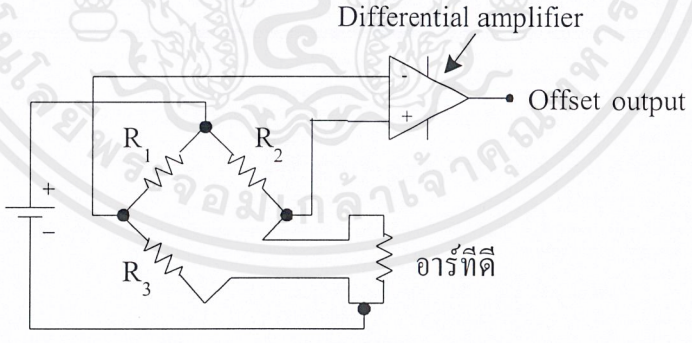
เมื่อ R_T = ค่าความต้านทานของตัวนำที่อุณหภูมิ (°C)

R_o = ค่าความต้านทานของตัวนำที่อุณหภูมิอ้างอิง (โดยทั่วไปคือ 0° C)

∞ = สัมประสิทธิ์ของค่าความต้านทาน

ΔT = ค่าความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิทำงาน และอุณหภูมิอ้างอิง

การใช้งาน จำเป็นต้องต่อร่วมกับแหล่งจ่ายไฟ และวงจรบริดจ์ ดังรูป 2.6



รูปที่ 2.6 การต่ออาร์ทีดีกับวงจรบริดจ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

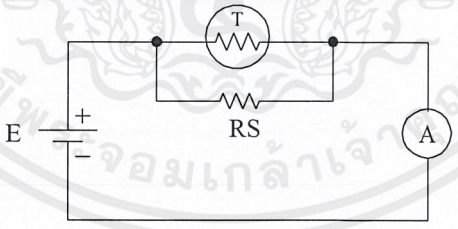
2.7.3 เทอร์มิสเตอร์

เทอร์มิสเตอร์หรือเรียกอีกอย่างว่า "ตัวต้านทานความร้อน" เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ตรวจจับอุณหภูมิโดยอาศัยการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานทางไฟฟ้าเช่นเดียวกับ อาร์ทีดี

เทอร์มิสเตอร์เป็นสิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำที่ทำมาจาก โลหะออกไซด์ อันได้แก่ นิเกิล โคบอลต์ แมงกานีส เหล็ก ทองแดง ยูเรเนียม แมกนีเซียม และไทตาเนียม โดยสารเหล่านี้ไวต่ออุณหภูมิ ซึ่งการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานจะอยู่ในช่วงตั้งแต่ –2 ถึง –6 % ต่อ 1°C ดังนั้นเทอร์มิสเตอร์จึงสามารถวัดค่าการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิเพียงเล็กน้อยได้ โดยทั่วไปเทอร์มิสเตอร์จะมีค่าความต้านทานต่อสัมประสิทธิ์ อุณหภูมิเป็นลบ(Nagative Temperature Coefficient) กล่าวคือ ถ้าอุณหภูมิสูงขึ้น ค่าความต้านทานของเทอร์มิสเตอร์จะลดลง ค่าความต้านทานของเทอร์มิสเตอร์ในทางการค้าจะพิจารณาที่อุณหภูมิ 25 °C มีพิสัยการทำงานตั้งแต่ 100 โอห์ม จนถึง 10 เมกะโอห์ม

แต่ข้อสำคัญที่ทำให้เทอร์มิสเตอร์แตกต่างจาก อาร์ทีดี คือ การเปลี่ยนแปลงค่าความต้านจะกลับกัน

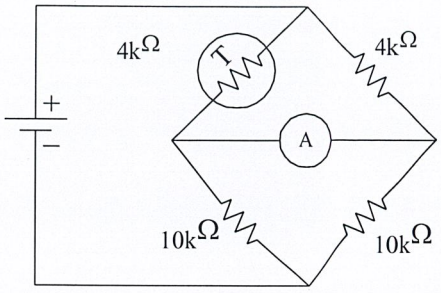
การใช้งานของเทอร์มิสเตอร์ที่ในการวัดอุณหภูมิอย่างง่ายๆ ทำได้โดย นำเทอร์มิสเตอร์ต่ออันดับกับแบตเตอร์รี่ และไมโครแอมป์มิเตอร์ เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลงไปค่าความต้านทานของเทอร์มิสเตอร์ก็จะเปลี่ยนแปลงอันมีผลทำให้กระแสที่ไหลในวงจรเกิดการเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย



รูปที่ 2.7 การต่อเทอร์มิสเตอร์อย่างง่าย

นอกจากนี้เรายังสามารถต่อเทอร์มิสเตอร์ร่วมกับวงจรบริดจ์ได้อีกด้วย ซึ่งจะทำให้มีความมีไวสูงขึ้น โดยทั่วไปเทอร์มิสเตอร์ที่ใช้ในวงจรบริดจ์จะมีค่า 4 กิโลโอห์ม ที่อุณหภูมิ 25 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

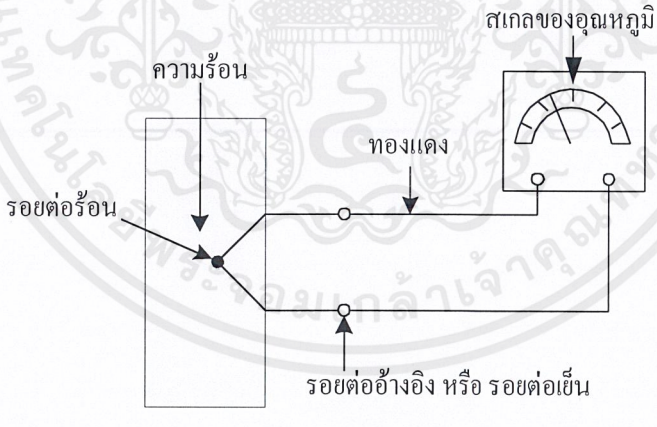


รูปที่ 2.8 การวัดอุณหภูมิโดยใช้เทอร์มิสเตอร์ต่อในวงจรบริดจ์

2.7.4 เทอร์โมคัปเปิ้ล

เทอร์โมคัปเปิ้ลเป็นอุปกรณ์ทรานสดิวเซอร์ ประเภทไวงาน(Active) เนื่องจากมันสามารถปลดปล่อยพลังงานไฟฟ้าออกมาได้โดยตรง เมื่อมีการเปลี่ยนของอุณหภูมิ

โครงสร้างของเทอร์โมคัปเปิ้ล ประกอบด้วยโลหะต่างชนิดกันสองเส้นต่อด้วยกันที่ปลายข้างหนึ่ง เรียกว่า Hot junction ส่วนปลายอีกข้างหนึ่งจะถูกนำไปต่อใช้งาน เรียกว่า Cold junction



รูปที่ 2.9 การต่อเทอร์โมคัปเปิ้ลใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

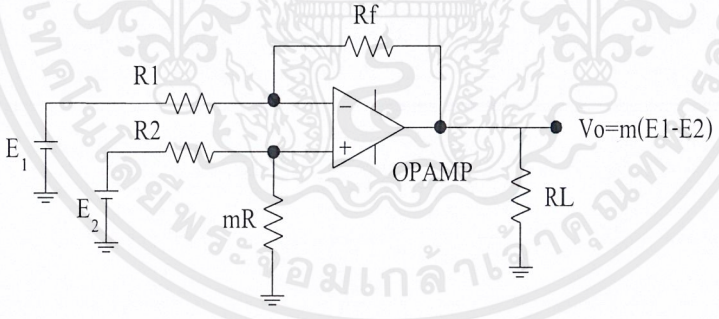
ตารางที่ 2.4 ชนิดของเทอร์โมคัปเปิ้ลมาตรฐาน

ชนิด	วัสดุ	ช่วงอุณหภูมิ
J	เหล็ก–คอนสแตนแตน	-190°C ถึง 760°C
T	ทองแดง–คอนสแตนแตน	-200°C ถึง 371°C
K	โครเมล–อลูเมล	-190°C ถึง 1,260°C
E	โครเมล–คอนสแตนแตน	-100°C ถึง 1,260°C
S	พลาตินัม 90% + โรเดียม–พลาตินัม 10%	-0°C ถึง 1482°C
R	พลาตินัม 87% + โรเดียม–พลาตินัม 13%	-0°C ถึง 1482°C

2.8 วงจรอินสตรูเมนต์แอมป์

2.8.1 วงจรขยายดิฟเฟอเรนเชียล

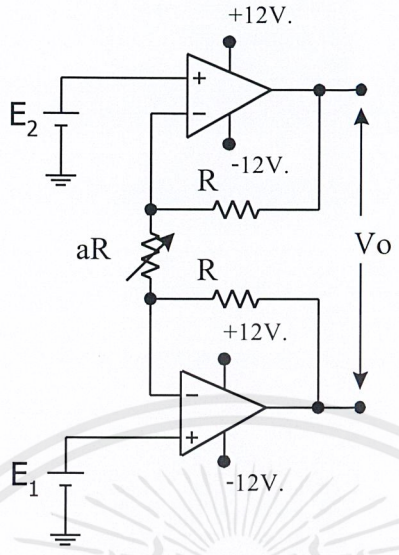
เป็นวงจรที่สามารถประยุกต์ใช้งานได้หลายรูปแบบ เช่น วงจรขยายค่าแตกต่าง ,วงจรขยายสัญญาณ หรือนำมาใช้ในการตรวจวัด



รูปที่ 2.10 วงจรขยายดิฟเฟอร์เรนเชียล

เนื่องจากวงจรดิฟเฟอร์เรนเชียลยังมีข้อเสียหลายประการ เช่น ค่าความต้านทานอินพุตที่ต่ำและไม่สามารถปรับอัตราขยายได้ จึงต้องแก้ไขด้วย วงจรขยายอินสตรูเมนเตชั่น แต่ไอซีสำเร็จนั้นมีราคาแพงมาก ตั้งแต่ 200 ถึง 3,000 บาท ซึ่งเราสามารถนำเอาออปแอมป์ 3 ตัวมาต่อกันเป็นวงจรขยายอินสตรูเมนเตชั่นได้เช่นกัน (ถึงจะไม่ดีเท่าไอซีโดยเฉพาะแต่ราคาถูกกว่ากันมาก) ดังรูปที่ 2.11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



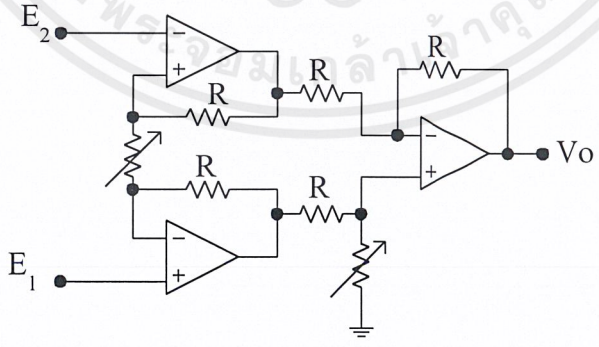
รูปที่ 2.11 วงจรอินสตรูเมนต์แอมป์

1) ข้อดีของวงจรอินสตรูเมนต์แอมป์

1.1) อัตราขยาย จะกำหนดได้โดยตัวต้านทานตัวเดียว

1.2) ค่าความต้านทานอินพุตมีค่าสูงมาก และไม่เปลี่ยนแปลงตามอัตราขยาย

1.3) แรงดัน Vo ไม่ขึ้นอยู่กับแรงดันคอมมอนที่มาจาก อินพุตเลย แต่จะเป็นผลที่ขึ้นอยู่กับค่าของแรงดันแตกต่าง เท่านั้น

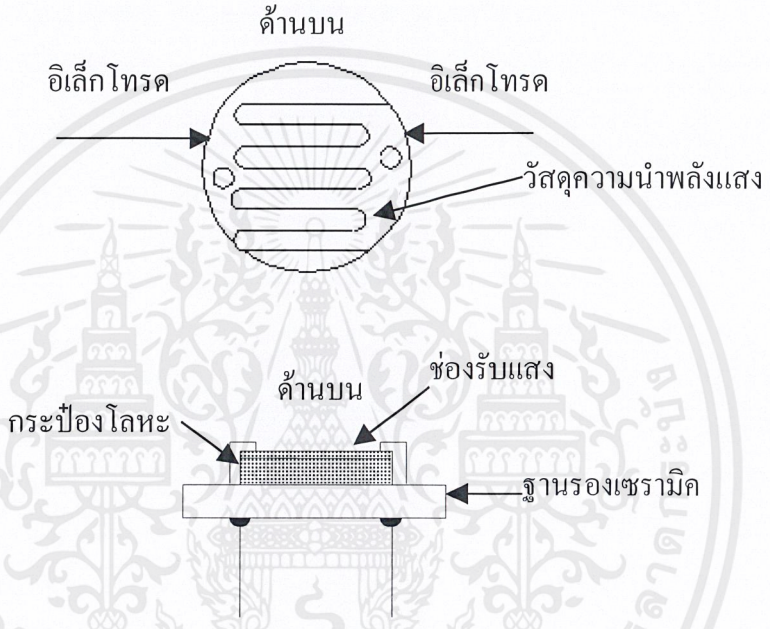


รูปที่ 2.12 วงจรดิฟเฟอร์เรนเชียลต่อกับวงจรอินสตรูเมนต์แอมป์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9 แอลดีอาร์ (Light Dependent Resistor)

แอลดีอาร์ หรือเรียกอีกอย่างว่า “ตัวต้านทานพลังแสง” ซึ่งจะมีค่าความต้านทานที่ขึ้นอยู่กับความเข้มแสง กล่าวคือ สภาพความนำทางไฟฟ้า สามารถเปลี่ยนแปลงได้เมื่อมีแสงมาตกกระทบที่ตัวมัน ตัวต้านทานพลังงานแสงจะจัดเป็นตัวแปลง แบบเฉื่อยงาน จึงจำเป็นต้องมีการจ่ายพลังงานจากภายนอก



รูปที่ 2.13 ภาพด้านบน และด้านข้างของ แอลดีอาร์

ตัวต้านทานพลังแสง หรือ แอลดีอาร์ ส่วนใหญ่มักทำจากสารกึ่งตัวนำชนิดแคดเมี่ยมซัลไฟด์(CdS) หรือ แคดเมียมซีลีไนต์ (CdSe) โดยการนำเอา สารกึ่งตัวนำดังกล่าวมาฉาบลงบนเซรามิคที่ใช้เป็นฐานรองแล้วทำการบัดกรีตัวถังไม่ให้มีอากาศเข้าไป ซึ่งจะมีขาต่อออกมาใช้งาน 2 ขา และมีช่องสำหรับแสง ทำด้วยพลาสติก หรือกระจก

ขณะเมื่อมีแสงมาตกกระทบที่วัสดุความต้านทานไวแสงของ แอลดีอาร์ อันจะทำให้เกิดอิเล็กตรอนอิสระ ซึ่งมีผลให้กระแสไหลได้ค่าความต้านทานของ แอลดีอาร์ จะลดลง และถ้ามีแสงมาตกกระทบตัว แอลดีอาร์ มากขึ้นจะมีผลทำให้ค่าความต้านทานของ แอลดีอาร์ ลดลงอย่างมาก

ผลการตอบสนองต่อแสงที่มากระทบบนสารกึ่งตัวนำที่นำมาใช้ทำ แอลดีอาร์ คือ ถ้าเป็นแคดเมียมซัลไฟด์ (CdS) จะอยู่ในช่วงประมาณ 5,000 ถึง 7,000 กว่าอังสตรอม ซึ่งจะใกล้เคียงกับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

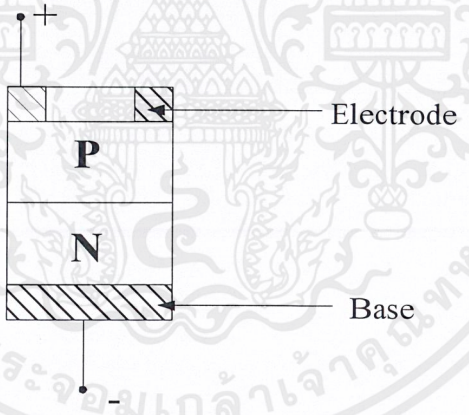
สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ช่องการตอบสนองของสายตามนุษย์ ที่อยู่ในช่วง 4,000 ถึง 7,000 กว่าอังสตรอม และถ้าเป็นแคดเมียมซิลีไนด์(CdSe) จะมีผลตอบสนองต่อแสงในช่วงประมาณ 6,000 ถึง 8,000 กว่าอังสตรอม โดยค่อนไปทางอินฟาเรด

อัตราส่วนระหว่างค่าความต้านทานของ แอลดีอาร์ ในขณะที่ไม่มีแสงกับขณะที่ได้รับแสง ซึ่งจะมีพิสัยการใช้งาน ตั้งแต่ 100:1 ถึง 10,000:1 เท่า แต่โดยทั่วไปค่าความต้านทาน แอลดีอาร์ ขณะไม่มีแสงจะมีค่าประมาณ 0.5 เมกะโอห์มขึ้นไป และขณะในที่มืดสนิทจะมีค่ามากกว่า 2 เมกะโอห์มขึ้นไป

2.10 เซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Cell)

เซลล์แสงอาทิตย์เป็นอุปกรณ์ที่สามารถให้กำเนิดแรงดันไฟฟ้าได้ เมื่อมีแสงมาตกกระทบที่ตัวมัน และถูกจัดอยู่ในตัวแปลงแบบไวงานอีกชนิดหนึ่ง ซึ่งในการใช้งานเพียงแต่ต่อโหลดเข้ากับเซลล์แสงอาทิตย์



รูปที่ 2.14 โครงสร้างเซลล์แสงอาทิตย์

โครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์ จะประกอบด้วยสารกึ่งตัวนำชนิด พี-เอ็น ที่ประกอบกันเป็นรอยต่อ ซึ่งสารที่นิยมนำมาใช้ทำเซลล์แสงอาทิตย์ ได้แก่ สารซิลิกอน(Si) หรือ สารซีลีเนียม(Se)

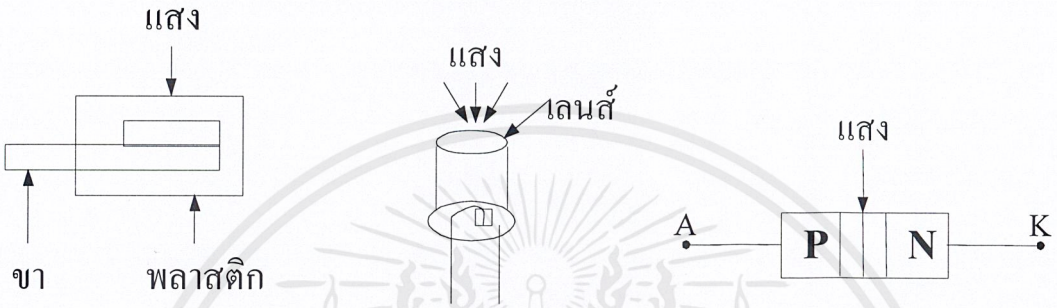
โดยปกติเซลล์แสงอาทิตย์ 1 เซลล์ จะสามารถผลิตแรงดันไฟฟ้าได้ประมาณ 0.25-0.6 โวลต์ และได้กระแสประมาณ 50 มิลลิแอมป์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

43158

2.11 ไดโอดพลังแสง (Photo Diode)

ไดโอดพลังแสงทำจากสารกึ่งตัวนำชนิดรอยต่อ P-N หนึ่งรอยต่อ แต่โฟโต้ไดโอดมีโครงสร้างที่แตกต่างกับไดโอดธรรมดาทั่วไปคือ มันจะมีช่องที่ทำด้วยกรอบแก้ว เพื่อเป็นช่องทางผ่านของแสงเข้าไปยังพื้นที่ไวแสง ของรอยต่อ P-Nได้



(ก) โครงสร้าง (ข)ลักษณะตัวถัง (ค) สัญลักษณ์

รูปที่ 2.15 โครงสร้าง และสัญลักษณ์ ของไดโอดพลังแสง

การนำเอาโฟโตไดโอดไปใช้งาน จะต้องมีการต่อวงจรในลักษณะการไบแอสย้อนกลับ เพื่อทำให้บริเวณพาหะเพิ่มขึ้น และใช้พลังงานแสงไปทำให้บริเวณปลอดพาหะลดลง เมื่อพิจารณาการทำงานของโฟโตไดโอด ขณะไม่มีแสงมาตกกระทบ รอยต่อของโฟโตไดโอดจะมีกระแสรั่วไหลผ่านไดโอดได้น้อยมาก ที่เรียกว่า “กระแสมืด” และเมื่อมีแสงส่องมากระทบตรงรอยต่อ พี-เอ็น อิเล็กตรอน ทั้งคู่จะถูกสร้างขึ้นมาเสริม ทำให้มีกระแสไหลผ่านตัวไดโอดได้ แต่เป็นทิศทางกลับกัน จะกล่าวได้ว่า โฟโตไดโอด เป็นสวิตช์ ที่ควบคุม การทำงานได้ด้วยแสง

2.12 พร็อกซิมิตี้เซนเซอร์

พร็อกซิมิตี้เซนเซอร์ คือ อุปกรณ์เซนเซอร์กลุ่มที่สามารถทำงานได้โดยไม่ต้องสัมผัสกับชิ้นงาน โดยลักษณะของการทำงานจะส่ง หรือ รับพลังงานรูปแบบใดรูปแบบหนึ่ง เช่น สนามแม่เหล็ก สนามไฟฟ้า แสง เสียง และลม ส่วนใหญ่จะใช้กับงานตรวจจับตำแหน่ง ระดับ ขนาด และรูปร่างนอกจากนี้ยังสามารถส่งสัญญาณไปให้ตัวนับชิ้นงานได้ เซนเซอร์ประเภทนี้ จะใช้ในงาน ควบคุมเป็นส่วนใหญ่

ข้อดีของเซนเซอร์ประเภทนี้มาใช้คือ มันจะไม่มีการซึกหรอ หรือ แตกหักเนื่องจากมันไม่ต้องสัมผัสกับชิ้นงาน วงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่อยู่ภายในจะถูกซีลด์ไว้อย่างสมบูรณ์ จึงสามารถป้องกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฝุ่นละออง และความชื้นได้ รวมทั้งรับประกันความเชื่อถือได้ จึงเหมาะอย่างยิ่งกับการนำมาใช้แทนสวิตช์แบบกลไก

ตารางที่ 2.5 เปรียบเทียบคุณสมบัติระหว่างพร็อกซิมิตี้เซนเซอร์ กับ สวิตช์กลไก

คุณสมบัติ	**สวิตช์แบบกลไก**	**พร็อกซิมิตี้เซนเซอร์**
ชำรุดเนื่องจากการกระแทก	มีเพราะมีการสัมผัสกับชิ้นงาน	ไม่มี
ความทนทาน	มีอยู่จำกัด	ทนทานสูง
ความเร็ว	ต่ำ	สูง
กระแสโหลด	สูงๆได้	ได้ต่ำ
การติดตั้ง	ต้องดัดแปลง	ไม่ต้องดัดแปลง
ความทนต่อสภาพแวดล้อม	ไม่ทนทาน	ทนทาน
ราคา	ราคาถูก	ราคาแพง

2.12.1 เซนเซอร์แบบเหนี่ยวนำ (Inductive Sensor)

เซนเซอร์แบบเหนี่ยวนำ หรือ อินดั๊กตีฟเซนเซอร์ เป็นเซนเซอร์ที่ทำงานโดยอาศัยหลักการเปลี่ยนแปลงค่าความเหนี่ยวนำของขดลวด ซึ่งการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวจะมีผลต่อชิ้นงานที่เป็นโลหะเท่านั้น

1) ส่วนประกอบหลักของเซนเซอร์แบบเหนี่ยวนำจะประกอบด้วย

1.1) วงจรกำเนิดคลื่นความถี่สูง (oscillator)

1.2) ส่วนของการประมวลผล (evaluator)

1.3) วงจรแยกสภาวะ และการสั่งงาน (trigger)

1.4) หลอดไฟแสดงสถานะการทำงาน (status display)

1.5) วงจรขยายสัญญาณ และป้องกันเอาต์พุต (output with protective circuit)

1.6) แหล่งจ่ายแรงดันจากภายนอก (external voltage)

1.7) วงจรรักษาระดับแรงดันให้คงที่ (internal constant voltage supply)

1.8) ส่วนหรือพื้นที่ตรวจจับที่มีขดลวด (active zone; coil)

1.9) เอาต์พุตของเซนเซอร์ว่าจะมีการทำงานหรือไม่ทำงาน (on-off)

เนื่องจากบริเวณส่วนหัวของเซนเซอร์จะมีสนามแม่เหล็กในกรณีที่มีวัตถุ หรือชิ้นงานที่เป็นโลหะเข้ามาอยู่ในบริเวณที่มีสนามแม่เหล็ก จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงค่าความเหนี่ยวนำ ทำให้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เกิดการหน่วงออสซิเลทลดลงไป และเมื่อนำเอาวัตถุนั้นออกจากบริเวณตรวจจับ วงจรกำเนิดคลื่นความถี่เริ่มต้นออสซิลเลทใหม่อีกครั้งหนึ่ง สภาวะดังกล่าวจะถูกแยกแยะได้โดยวงจรภายใน และส่งผลไปยังเอาต์พุต

2.12.2 เซนเซอร์แบบเก็บประจุ (Capactive Sensor)

เป็นเซนเซอร์ที่สามารถตรวจจับวัตถุตัวกลางได้ทั้งที่เป็นโลหะ และอโลหะ การทำงานและไม่ทำงานเกิดจากการแยกแยะสภาวะ ของวงจรกำเนิดความถี่ โดยอาศัยการเปลี่ยนแปลงค่าความจุ ลักษณะการกระจายของสนามไฟฟ้านี้ จะทำให้เกิดค่าความจุเปลี่ยนแปลงไป การเปลี่ยนแปลงค่าจะขึ้นอยู่กับระยะระหว่างตัวกลาง ค่าคงที่ของตัวกลาง และรูปร่างของตัวกลาง

นอกจากนั้นยังสามารถปรับตำแหน่งความไวของระยะการตรวจจับได้ด้วยโพเทนชิโอมิเตอร์ ซึ่งมีประโยชน์คือ สามารถปรับแต่งให้ไม่มีการตรวจจับวัตถุบางอย่างที่ขวางกั้นอยู่หน้าวัตถุที่ต้องการตรวจจับได้ ตัวอย่าง เช่น การตรวจจับน้ำที่อยู่ในภาชนะบรรจุ การตรวจจับขวดในกล่องกระดาษ

2.12.3 เซนเซอร์ชนิดใช้แสง (Optical Sensor)

ใช้ในงานที่ต้องตรวจจับชิ้นงานที่มีระยะห่างจากตัวเซนเซอร์มากๆ เซนเซอร์ชนิดใช้แสงยังสามารถตรวจจับชิ้นงานได้เกือบทุกประเภท และยังมีความเร็วสูงอีกด้วย ในบางรุ่นสามารถแยกความแตกต่างสีได้

1) โครงสร้างของเซนเซอร์ชนิดใช้แสงประกอบด้วย

1.1) วงจรกำเนิดคลื่น

1.2) แหล่งกำเนิดแสง

1.3) อุปกรณ์รับแสง

1.4) วงจรขยายสัญญาณ

1.5) วงจรเปรียบเทียบสัญญาณ

1.6) เอาต์พุต และวงจรป้องกัน

2) เซนเซอร์ชนิดแสง สามารถแบ่งตามวิธีการตรวจจับสามารถแบ่งได้ 3 แบบ คือ

1.1) แบบลำแสงผ่านตลอด จะแยกตัวส่งและตัวรับออกจากกัน และให้วัตถุตรวจจับอยู่ตรงกลางเซนเซอร์แบบนี้มี

ข้อดี คือ ได้ระยะไกล แม่นยำ ผิววัตถุไม่มีผลต่อการทำงาน

ข้อเสีย คือ ใช้เนื้อที่มาก ต้องมีแหล่งจ่ายไฟทั้งตัวส่ง และตัวรับ ไม่สามารถตรวจจับวัตถุโปร่งใสได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2) แบบแสงสะท้อนกลับ จะรวมตัวรับและสงในตัวเดียวกัน และใช้แผ่นสะท้อนแสงสะท้อนกลับ

ข้อดี คือ ใช้เนื้อที่น้อย การเดินสายไม่ยุ่งยาก ปรับแต่งได้ง่าย

ข้อเสีย คือ จำเป็นต้องใช้แผ่นสะท้อนแบบพิเศษ มีความแม่นยำน้อยในกรณีที่ตรวจจับวัตถุที่มีค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงใกล้เคียงกันกับแผ่นสะท้อนแสง

1.3) แบบจ่ายไฟโดยตรง เซนเซอร์ประเภทนี้ จะมีตัวส่ง และตัวรับอยู่ในตัวเดียวกัน และใช้ชิ้นงานเป็น ตัวสะท้อนแสงกลับ

ข้อดี คือ ใช้เนื้อที่น้อย เดินสายสะดวก ไม่ต้องปรับแต่งทิศทางแสง

ข้อเสีย คือ ระยะการตรวจจับน้อยกว่าทั้งสองแบบ ความสามารถตรวจจับขึ้นอยู่กับสีและผิวของวัตถุ

2.12.4 รีดสวิตช์ (Reed Switch)

มีลักษณะคล้ายแม็กเนติกเซนเซอร์ที่มีลักษณะเป็นแบบหน้าสัมผัส ซึ่งโดยปกติหน้าสัมผัสจะเป็นแบบปกติปิด สวิตช์นี้จะทำงานโดยอาศัยสนามแม่เหล็ก แผ่นหน้าสัมผัสจะทำมาจากสารที่มีผลต่อสนามแม่เหล็ก ติดตั้งอยู่ในกระบอกแก้วที่มีการเติมก๊าซเฉื่อย เพื่อทำให้การตัดต่อส่งกระแสไฟฟ้าได้ดียิ่งขึ้น

1) รายละเอียดทางเทคนิค

ในการนำเซนเซอร์แต่ละแบบมาใช้งานนั้น จำเป็นอย่างยิ่งที่เราต้องรู้ข้อมูลทางเทคนิคเพื่อให้สามารถนำไปใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด

1.1) ระยะการตรวจจับ (Sensing Rang) คือ ระยะที่เมื่อแผ่นโลหะที่ตรวจจับเคลื่อนที่เข้ามาใกล้ด้านหน้าของส่วนตรวจจับ แล้วมีผลทำให้สัญญาณเกิดการเปลี่ยนแปลง

1.2) ระยะการตรวจจับทั่วไป (Nominal Sensing Rang ; Sn) คือ ระยะตามคุณลักษณะโดยไม่คิดรวมค่าผิดพลาด

1.3) ระยะตรวจจับจริง (Real Sensing Rang;Sr) คือระยะการตรวจจับโดยหารใช้แหล่งจ่ายตามกำหนด อุณหภูมิกำหนด

1.4) ระยะการตรวจจับทั่วไปที่ใช้ประโยชน์(Useful Sensing Rang; Su) คือระยะการตรวจจับ วัดตามมาตรฐาน EN50010

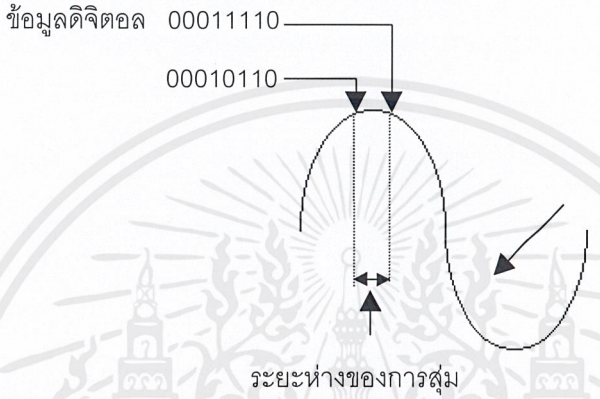
1.5) ระยะตรวจจับในการทำงาน (Working Sensor Rang;Sw) คือ ระยะใดๆ ที่เซนเซอร์สามารถทำงานได้ถูกต้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.13 การแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล

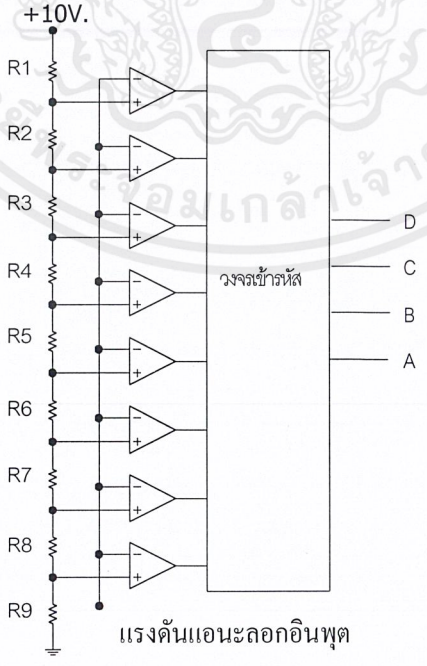
เป็นการเปลี่ยนรูปของสัญญาณเพื่อให้ระบบคอมพิวเตอร์สามารถรับรู้ และนำค่าที่ได้ไปประมวลผลตามโปรแกรมที่ได้ออกแบบไว้ สามารถทำได้หลายคือ

2.13.1 การสุ่ม (Sampling) ดังรูปที่ 2.16



รูปที่ 2.16 การสุ่มสัญญาณ

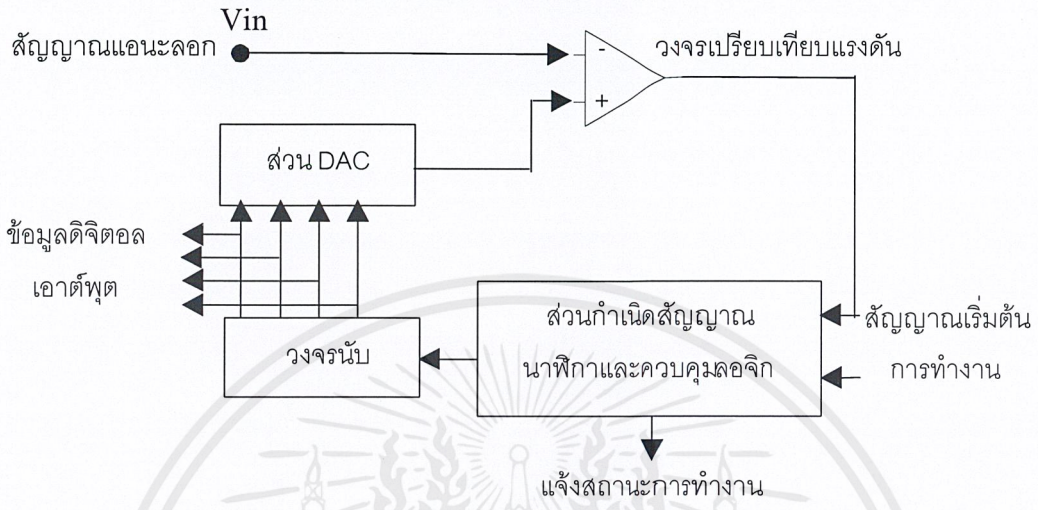
2.13.2 แบบเปรียบเทียบแรงดัน (Voltage Comparator ADC)



รูปที่ 2.17 วงจรเปรียบเทียบแรงดัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.13.3 แบบวงจรนับแรมป์ (Simple Counter-Ramp ADC)



รูปที่ 2.18 วงจรนับแบบแรมป์

1) ส่วนประกอบของวงจรนับแรมป์

1.1) วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกา และควบคุมลอจิก (Clock & Control Logic) ส่วนนี้จะได้รับสัญญาณให้เริ่มการทำงาน แล้วส่งสัญญาณนาฬิกาไปยังวงจรนับ

1.2) วงจรนับ (Counter) ส่วนนี้จะทำการนับค่าตามสัญญาณนาฬิกาที่ส่งเข้ามา แล้วส่งต่อออกไปยังวงจรแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นแอนะลอก

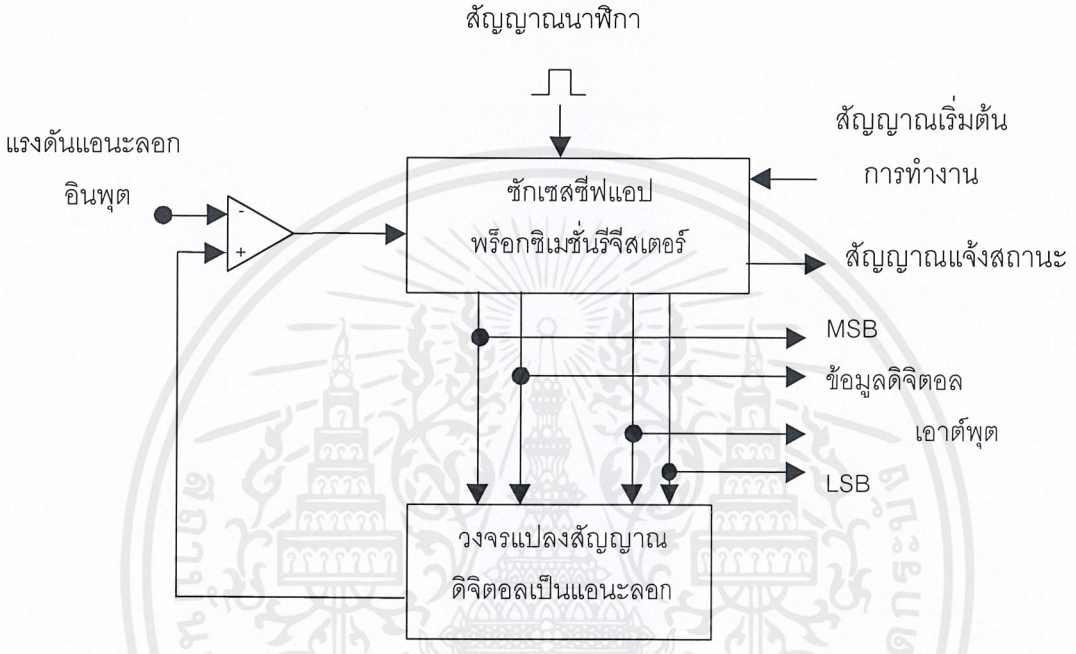
1.3) วงจรแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นแอนะลอก (DAC) ในส่วนนี้จะแปลงค่าของการนับจากวงจรนับเป็นแรงดันไฟตรง เพื่อส่งออกไปยังวงจรเปรียบเทียบแรงดัน

1.4) วงจรเปรียบเทียบแรงดัน (Comparator) จะทำหน้าที่เปรียบเทียบแรงดันจากวงจร DAC กับแรงดันแอนะลอกที่ส่งเข้ามาทางอินพุตของวงจร(Vin) หากยังไม่เท่ากันวงจรเปรียบเทียบแรงดันจะส่งสัญญาณไปยังวงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกา และส่วนควบคุมลอจิกให้ทำงานต่อไป เพื่อกระตุ้นให้วงจรนับ และวงจร DAC ทำงาน จนกระทั่งแรงดันจากวงจร DAC มีค่าเท่ากับแรงดันอินพุต วงจรเปรียบเทียบจะทำการส่งสัญญาณควบคุมให้วงจรทั้งหมดหยุดทำงาน ค่าของวงจรนับครั้งสุดท้ายคือ ผลลัพธ์จากวงจร ADC แต่ข้อเสีย ของการแปลงสัญญาณแบบนี้คือ มีความเร็วต่ำ เวลาที่ใช้ในการแปลงจะขึ้นอยู่กับปริมาณของแรงดันอินพุตหากแรงดันอินพุตมีค่ามาก ทำให้ต้องใช้เวลามากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.13.4 แบบซักเซสซีฟแอปพร็อกซิเมชั่น

อาจเรียกว่าเป็นการแปลงแบบประมาณค่าใกล้เคียง แผนผังการทำงานของการแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นสัญญาณดิจิตอลแบบซักเซสซีฟแอปฟร็อกซิเมชั่นแสดงดังรูปข้างล่าง



รูปที่ 2.19 วงจรซักเซสซีฟแอปพร็อกซิเมชั่น

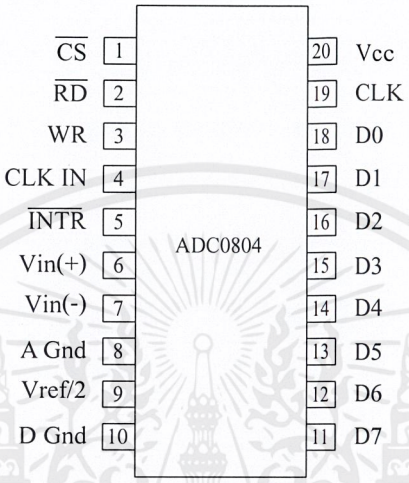
ส่วนสำคัญหลักยังคงจะต้องมีวงจรเปรียบเทียบแรงดัน ,DAC ,สัญญาณนาฬิกา และส่วนควบคุมลอจิกเช่นเดียวกับวงจรแบบนับแรมป์

จุดแตกต่างอยู่ที่ในวงจรแบบซักเซสซีฟแอปพร็อกซิเมชั่นนี้จะใช้รีจีสเตอร์เลขฐานสอง หรือ ไบนารี่รีจีสเตอร์แทนวงจรนับเลขฐานสอง แต่ละบิตของรีจีสเตอร์จะเซ็ต และรีเซ็ตโดยการควบคุมจากวงจรควบคุม

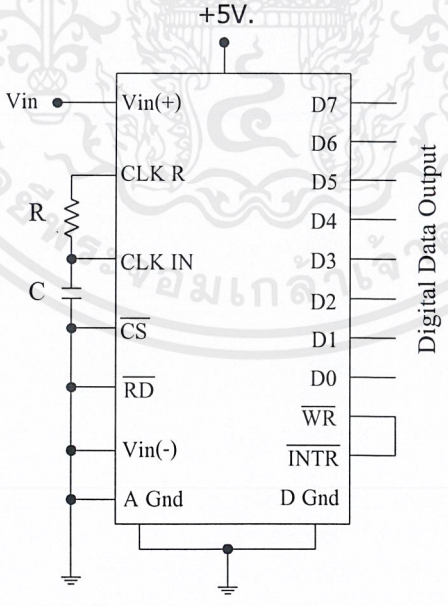
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.13.5 ไอซีแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล ADC0804

ADC0804 เป็นไอซีแปลงสัญญาณแอนะลอกเป้นสัญญาณดิจิตอลขนาด 8 บิต ซึ่งตำแหน่งขาต่างๆของ AD0804 แสดงดังรูป 2.20



รูปที่ 2.20 ตำแหน่งขาของไอซี ADC0804



รูปที่ 2.21 การต่อวงจรเพื่อให้ ADC0804 ทำงานต่อเนื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณนาฬิกาที่ใช้กับวงจรนี้ทำได้ 2 ทาง คือ ใช้สัญญาณนาฬิกาจากภายนอกโดยมีความถี่ประมาณ 100 - 800 กิโลเฮิรตซ์ ป้อนเข้าที่ขา 4 (CLK IN) อีกวิธีหนึ่งคือ ใช้สัญญาณนาฬิกาจากภายในจากขา 19 โดยสามารถกำหนดความถี่ของสัญญาณนาฬิกาได้จาก RC ภายนอก โดยค่าความถี่หาได้จากสมการ

$$f = \frac{1.1}{RC} \qquad \textbf{(2.8)}$$

เมื่อ f คือ ความถี่เอาต์พุต (Hz)

R คือ ค่าความต้านทาน (Ω)

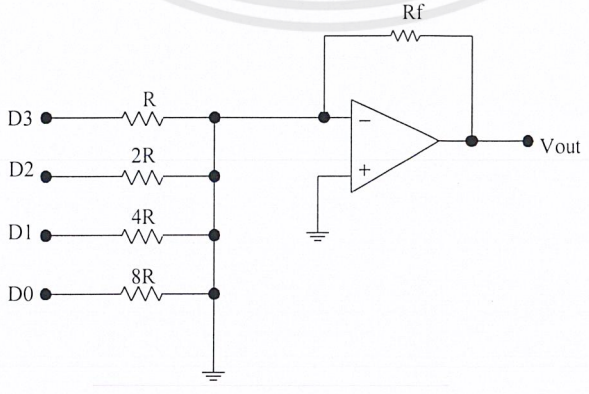
C คือ ค่าตัวเก็บประจุ (F)

ความถี่สัญญาณนาฬิกายิ่งมีค่ามากเท่าใด มีผลทำให้ข้อมูลดิจิตอลทางด้านเอาต์พุตมีค่าสอดคล้องกับสัญญาณแอนะลอกทางอินพุตมากขึ้นด้วย

2.14 การแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นสัญญาณแอนะลอก

ปัจจุบันคอมพิวเตอร์ สามารถช่วยแบ่งเบาภาระ และทำงานแทนมนุษย์ได้เป็นอย่างดี แต่การที่จะติดต่อกับคอมพิวเตอร์ หรือการนำข้อมูลดิจิตอลแปลงเป็นข้อมูลแบบแอนะลอกจำเป็นต้องใช้วงจร Digital to Analog หรือเรียกสั้นๆว่า D to A วงจร D/A นี้แบ่งเป็นประเภทต่างๆ ดังนี้

2.14.1 วงจรแปลงแบบกำหนดน้ำหนักตัวต้านทาน คือ วิธีการกำหนดน้ำหนักตัวต้านทาน (Weighted resistor) ดังรูป ซึ่งก็คือ วงจรรวมสัญญาณ (Summing Amplifier) นั่นเอง



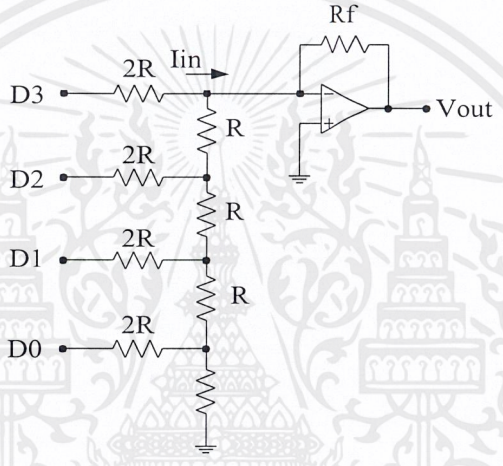
รูปที่ 2.22 วงจร D/A แบบกำหนดน้ำหนักตัวต้านทาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปเป็นวงจร DAC ขนาด 4 บิต โดยวงจรจะประกอบไปด้วยตัวต้านทาน 4 ตัว มีค่าความต้านทานแตกต่างกันตามสัดส่วน คือ 1 เท่า, 2 เท่า, 3 เท่า, 4 เท่า และ 8 เท่า ตามลำดับ เช่น ถ้าตัวต้านทานตัวแรกมีค่า 10KΩ ตัวต้านทานตัวต่อไปก็จะมีค่า 20KΩ, 40KΩ, 80KΩ เป็นต้น

2.14.2 วงจร R-2R แลดเดอร์

เป็นวงจรที่ได้รับความนิยมเป็นอย่างมาก เนื่องจากสามารถหาตัวต้านทานได้ง่ายกว่าแบบกำหนดน้ำหนัก โดยจะใช้ค่าความต้านทานเพียง 2 ค่า คือ R และ2R เช่น ถ้า R มีค่า 10 กิโลโอห์ม 2R ก็จะมีค่า 20 กิโลโอห์ม ดังรูปที่ 2.23



รูปที่ 2.23 วงจร R-2R แลดเดอร์

การคำนวน ค่า Vout

$$Vout = -Iin \times Rf \tag{2.9}$$

$$Iin = \left(\frac{I}{2} + \frac{I}{4} + \frac{I}{8} + \frac{I}{16}\right) \tag{2.10}$$

$$Vout = -\left(\frac{I}{2} + \frac{I}{4} + \frac{I}{8} + \frac{I}{16}\right) xRf \tag{2.11}$$

$$Vout = -\left(\frac{D3}{2} + \frac{D2}{4} + \frac{D1}{8} + \frac{D0}{16}\right) x \frac{Vin}{R} Rf \tag{2.12}$$

* Vin คือ ค่าแรงดันสูงสุดของอินพุต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อสัญญาณอินพุต D3-D0 เป็น 1111 แรงดันอินพุตมีขนาด 5 โวลต์, Rf = R

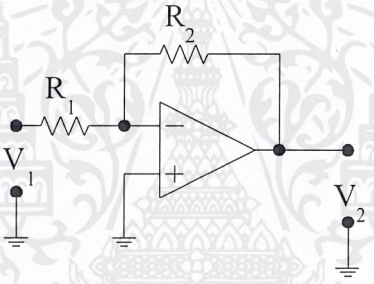
Vout = -(0.5+0.25+0.125+0.0625) x 5 V

= -(0.9375) x 5V

= - 4.6875 V

2.15 ตัวควบคุมแบบพี (P-Element)

2.15.1 การขยายแบบกลับเฟส (Inverting amplifies) หรือ บางทีเรียกว่า "ตัวควบคุมเชิงสัดส่วน" (Proportional Controller or P-Element) จะถูกใช้โดยการป้อนสัญญาณเข้าทางอินพุตขาลบ และทางเอาต์จะปรากฏสัญญาณที่ตรงข้าม



รูปที่ 2.24 วงจรขยายแบบกลับเฟส

เมื่อแรงดันอินพุตของออปแอมป์มีค่าประมาณศูนย์โวลต์ โดยที่อินพุตขาบวกถูกต่อลงกราวด์ ซึ่งจะทำให้ไม่มีกระแสไหลในอินพุตนี้ กระแสที่ไหลผ่านตัวต้านทาน R_1 และ R_2 จะมีค่าเท่ากัน จากกฎของโอห์ม

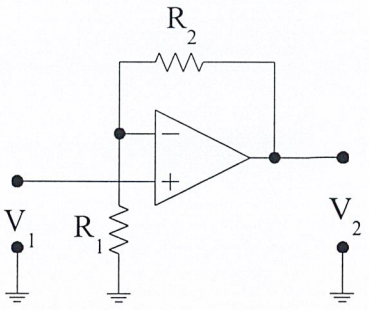
$$I_1 = \frac{V_1}{R_1} = \frac{V_2}{R_2} \qquad \textbf{(2.13)}$$

$$\text{หรือ} \quad \frac{V_2}{V_1} = \frac{R_2}{R_1} = v \qquad \textbf{(2.14)}$$

$$\therefore \text{ อัตราขยาย } v = \frac{R_2}{R_1} \qquad \textbf{(2.15)}$$

หมายเหตุ : เครื่องหมายลบแสดงการกลับเฟสสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.25 วงจรขยายแบบไม่กลับเฟส

แรงดันเอาต์พุต (V_2) จะเป็นตัวปรับแก้ความแตกต่างแรงดันอินพุตของออปแอมป์ใหม่จนกลายเป็นศูนย์ ดังนั้นในทางปฏิบัติแรงดัน V_1 จะพิจารณาได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$V_{R1} = V_1 = V_2 \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_2} \quad \textbf{(2.16)}$$

หรือ

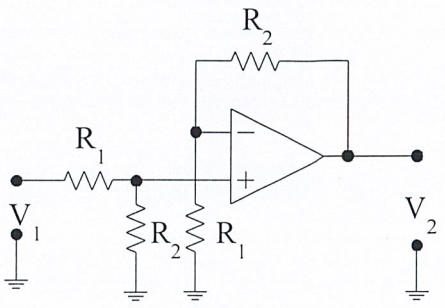
$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{R_1 + R_2}{R_1} \quad \textbf{(2.17)}$$

$$\therefore \text{ อัตราขยาย } \quad v = 1 + \frac{R_2}{R_1} \quad \textbf{(2.18)}$$

2.15.2 วงจรขยายแบบไม่กลับเฟส

จะมีอัตราขยายที่มากกว่าวงจรขยายแบบกลับเฟสอยู่ 1 เท่า เมื่อมีค่าความต้านทานที่ใช้ในวงจรเหมือนกัน ถ้าต้องการให้อัตราขยายของวงจรการขยายแบบไม่กลับเฟสมี $v = \frac{R_2}{R_1}$ สามารถทำได้โดยการต่อตัวแบ่งแรงดันเข้าที่ขาอินพุตขาบวกของออปแอมป์ดังแสดงใน รูปที่ 2.26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.26 วงจรขยายแบบไม่กลับเฟส

อัตราขยายทั้งหมดของวงจรในรูปที่ 2.26 สามารถหาได้จากสมการแรงดันอินพุตที่ขาลบของออปแอมป์

$$V_{R1} = \frac{R_1 \cdot V_2}{R_1 + R_2} \tag{2.19}$$

แรงดันอินพุตที่ขาบวกของออปแอมป์

$$V_{R2} = \frac{R_2 \cdot V_1}{R_1 + R_2} \tag{2.20}$$

เมื่อ $V_{R1} = V_{R2}$ อินพุตทั้งสองจะมีค่าความต่างศักย์เท่ากับศูนย์

$$\therefore \quad \frac{R_1 \cdot V_2}{R_1 + R_2} = \frac{R_2 \cdot V_1}{R_1 + R_2} \tag{2.21}$$

$$v = \frac{V_2}{V_1} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot \frac{R_1 + R_2}{R_1} \tag{2.22}$$

$$\therefore \quad \text{อัตราขยายรวม } v = \frac{R_2}{R_1} \tag{2.23}$$

ในการควบคุมเชิงวิศวกรรม อัตราขยายแบบนี้ถูกเรียกว่า “ตัวประกอบการถ่ายโอน” (Transfer factor)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.16 ตัวควบคุมแบบไอ (I-Element)

ตัวควบคุมอินทิเกรต (Integrating Controller or I-Element) หรือบางทีเรียกว่าแบบ "บูรณาการรวมหน่วย" เป็นวงจรทำหน้าที่เปลี่ยนแปลงแรงดันเอาต์พุต โดยใช้แรงดันอินพุตคงที่ ซึ่งอัตราของการเปลี่ยนแปลงแรงดัน (V_2) นั้นจะเป็นสัดส่วนกับแรงดันอินพุต (V_1) คือ

$$V_2 = K_I \cdot V_1 \qquad \textbf{(2.24)}$$

ถ้าอัตราการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นเป็นเชิงเส้นต่อเวลา สิ่งที่จะได้รับโดยที่สภาวะเริ่มต้นเป็นศูนย์ คือ

$$V_2 = K_I \cdot t \cdot V_1 \qquad \textbf{(2.25)}$$

เมื่อ K_I = สัมประสิทธิ์อินทีเกรต

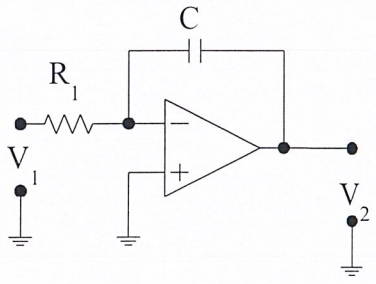
V_1 = แรงดันอินพุตคงที่

V_2 = แรงดันเอาต์พุต

ถ้าตัวควบคุมอินทิเกรตต่อวงจรแบบกลับเฟส (Inverting Circuit) แรงดันเอาต์พุตจะมีค่าลดลง ดังสมการ

$$V_2 = -K_I \cdot t \cdot V_1 \qquad \textbf{(2.26)}$$

2.16.1 ตัวควบคุมแบบไอชนิดกลับเฟส (Inverting I-Element)



รูปที่ 2.27 วงจรควบคุมแบบไอชนิดกลับเฟส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขณะเวลา t = 0 ตัวเก็บประจุ (C) จะไม่เก็บประจุเมื่อแรงดันเอาต์พุตปรับตัวมันเองทำให้ออปแอมป์มีความแตกต่างที่อินพุตทั้งสองเป็นศูนย์ ดังนั้นสมการของกระแส (I) คือ

$$I_1 = \frac{V_1}{R} \tag{2.27}$$

เมื่อ V_1 = แรงดันอินพุตคงที่ตัวเก็บประจุ (C) จะเก็บประจุ (Q) $= I_1 \bullet t$ ดังนั้นแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุ คือ

$$V_C = \frac{Q}{C} = \frac{1}{C} \bullet I1 \bullet t \tag{2.28}$$

(การไหลของกระแสประจุจะมีทิศทางที่ตรงกันข้ามกับกระแสนิยม (I_1) ซึ่งจะมีเครื่องหมายเป็นลบ)

ค่าแรงดันเอาต์พุต (V_2) จะมีค่าเท่ากับแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุ (V_C) ดังสมการ

$$V_2 = \frac{1}{C} \bullet I_1 \bullet t = \frac{1}{R \bullet C} \bullet t \bullet V_1 \tag{2.29}$$

นำสมการที่ 2.29 มาเปรียบเทียบกับสมการที่ 2.26 เราจะได้สมการสัมประสิทธิ์อินทิเกรต คือ

$$KI = \frac{1}{R \bullet C} \tag{2.30}$$

วงจรอินทิเกรตสามารถที่จะแสดงสำหรับการป้อนแรงดันคลื่นไซน์เข้าทางอินพุต โดยที่ทางเอาต์พุตจะมีแรงดันเอาต์พุตเป็นคลื่นไซน์เหมือนกัน แต่แอมปลิจูดจะขึ้นอยู่กับอัตราขยาย (v) ที่ถูกกำหนดโดยอัตราของความต้านทานทางไฟฟ้ากระแสสลับ(AC Impedance) ของตัวเก็บประจุกับตัวต้านทานทางอินพุต สำหรับความถี่ (fx) ที่กำหนดให้ทางเอาต์พุต แรงดันจะมีค่าความถี่เท่ากับแรงดันด้านเข้าทางอินพุต ซึ่งจะสามารถหาสมการความถี่ (fx) ได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$v = \frac{X_C}{R} = \frac{\frac{1}{\omega C}}{R} = \frac{1}{\omega R \cdot C} = \frac{1}{2\pi f_X \cdot R \cdot C} = 1 \quad \textbf{(2.31)}$$

หรือ $$f_X = \frac{1}{2\pi R \cdot C} \quad \textbf{(2.32)}$$

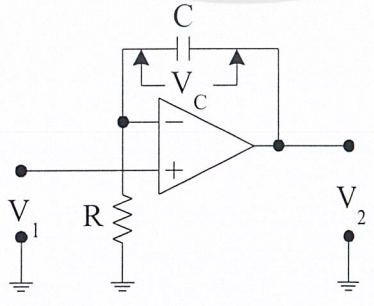
ในทางปฏิบัติ วงจรอินทิเกรตจะไม่มีเสถียรภาพมากนัก คือ เมื่อทดสอบการป้อนกลับแรงดันไฟกระแสตรง เข้าทางอินพุต อันจะมีผลทำให้แรงดันเอาต์พุตถึงขีดจำกัด ซึ่งการแก้ไขทำได้โดยการต่อตัวต้านทานค่ามากๆ ขนานกับตัวเก็บประจุ C ซึ่งจะมีผลทำให้อัตราขยายของออปแอมป์ลดลง เพื่อจำกัดอัตราขยายสัญญาณทางอินพุตมีความถี่ต่ำๆ เมื่อแรงดัน V_1 เป็นแรงดันตกคร่อมตัวต้านทาน R จะได้

$$I_1 = \frac{V_1}{R}; V_C = \frac{1}{C} \cdot I_1 \cdot t; V_2 = V_C + V_1 \quad \textbf{(2.33)}$$

โดยมากจะมีการกำหนดเงื่อนไขข้อจำกัด คือ $V_1 << V_C$ ดังนั้น

$$V_2 \quad \frac{1}{R \cdot C} \cdot t \cdot V_1 \quad \textbf{(2.34)}$$

2.16.2 ตัวควบคุมแบบไอไม่กลับเฟส (Non-Inverting I-Element)



รูปที่ 2.28 วงจรควบคุมแบบไอ ชนิดไม่กลับเฟส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรตัวควบคุมแบบไอชนิดไม่กลับเฟสจะมีสัมประสิทธิ์อินทิเกรต (K_I) มีค่าเหมือนกับวงจรตัวควบคุมแบบไอชนิดกลับเฟส ดังที่กล่าวมาแล้วในข้างต้น

ในทางปฏิบัติ วงจรนี้จะใช้สภาวะเงื่อนไขแรงดัน $V_1 << V_2$ โดยที่ทางอินพุตจะต่อเป็นวงจรแบ่งแรงดัน สำหรับเสถียรภาพของวงจร จะต้องต่อตัวต้านทานค่าสูงๆ ขนานกับตัวเก็บประจุ

2.17 ตัวควบคุมแบบดี (D-Element)

วงจร Differintiating หรือบางครั้งเรียกว่า "วงจรควบคุมแบบอนุพันธ์" ซึ่งจะประกอบด้วยออปแอมป์ที่ต่อแบบกลับเฟส (Inverting) และแบบไม่กลับเฟส (Non inverting) จะใช้ในวงจร Damping Oscillating วงจรแบบ Differntiating เป็นวงจรที่สัญญาณเอาต์พุตมีการเปลี่ยนแปลงที่มีความสำพันธ์กับสัญญาณอินพุต แรงดัน V_2 จะมีความสัมพันธ์กับสัญญาอินพุต แรงดัน V_2 จะมีความสัมพันธ์กับอัตราการเปลี่ยนแปลงของ V_1 ของแรงดันอินพุต

$$V_2 = K_D \cdot V_1 \tag{2.35}$$

K_D เป็นค่าสัมประสิทธ์ของวงจร Differetiating สำหรับแรงดันอินพุต V_1 จะเพิ่มขึ้นอย่างสม่ำเสมอเมื่อเทียบกับเวลา ค่าของ V_2 สามารถหาได้จาก

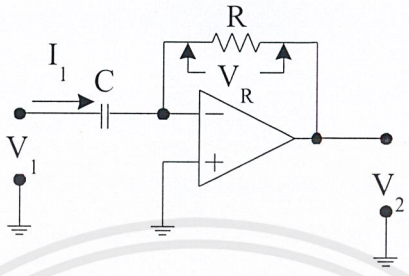
$$V_2 = K_D \cdot \frac{V_1}{t} \tag{2.36}$$

สำหรับวงจรขยายแบบกลับเฟส (Inverting Amplifier) V_2 จะเป็นลบ

$$V_2 = -K_D \cdot \frac{V_1}{t} \tag{2.37}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.17.1 วงจรควบคุมแบบดีชนิดกลับเฟส (Inverting D-Element)



รูปที่ 2.29 วงจรควบคุมแบบดีชนิดกลับเฟส

ถ้ากระแสอินพุต I_1 มีค่าคงที่ จะสามารถหาค่าแรงดันที่ตัวเก็บประจุได้ คือ

$$V_C = V_1 = \frac{1}{C} \cdot I1 \cdot t \qquad \textbf{(2.38)}$$

I_1 จะมีความสัมพันธ์กับแรงดันตกคร่อมตัวต้านทาน (V_R) ในทิศทางตรงดันข้าม

$$VR = -I1R \qquad \textbf{(2.39)}$$

ดังนั้นแรงดันเอาต์พุต คือ

$$V_2 = V_R = R \cdot C \cdot \frac{V_1}{t} \qquad \textbf{(2.40)}$$

เมื่อเปรียบเทียบกับสมการที่ 2.37 จะได้

$$K_D = R \cdot C \qquad \textbf{(2.41)}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถแสดงให้เห็นเมื่อมีสัญญาณอินพุตเป็นคลื่นไซน์ (Sine wave) สัญญาณเอาต์พุตเป็นรูปคลื่นไซน์ (Sinewave) ด้วย

$$\frac{1}{\omega C} = R \tag{2.42}$$

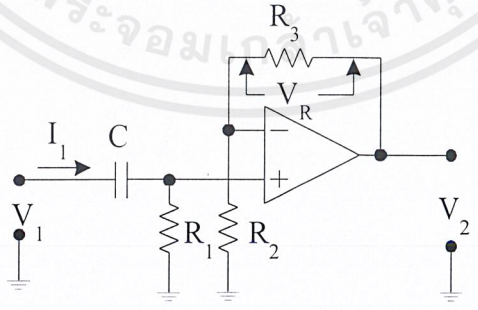
เมื่ออัตราขยาย V = 1 จะทำให้แรงดันอินพุตเท่ากับแรงดันเอาต์พุต ในการพิจารณาความถี่จะได้

$$f = \frac{1}{2\pi \cdot R \cdot C} \tag{2.43}$$

สัญญาณฮาร์มอนิก (Hamonic) จากเครื่องกำเนิดสัญญาณอินพุต ซึ่งมักจะถูกขยายรวมเข้าไปด้วย สัญญาณเอาต์พุตที่ออกมาจะไม่เป็นคลื่นไซน์ วงจรกรองความถี่ต่ำ (Low-pass filter) จะเป็นส่วนที่ทำให้สัญญาณอินพุตเปลี่ยนไป วงจรแบบ D-Element เป็นวงจรที่ใช้กับสัญญาณอินพุตที่เป็นรูปคลื่นสี่เหลี่ยม (Square wave)

ในทางปฏิบัติอาจเกิดการออสซิเลตขึ้นได้ง่ายเมื่ออัตราขยายสูงขึ้น แต่สามารถแก้ไขได้โดยการต่อความต้านทานแบบอนุกรมกัน อัตราขยายก็จะถูกจำกัด แต่การออสซิเลตจะถูกกำจัดออกไป

2.17.2 ตัวควบคุมแบบดี ชนิดไม่กลับเฟส (Non-Inverting D-Element)



รูปที่ 2.30 วงจรควบคุมแบบดีชนิดไม่กลับเฟส (Non-Inverting D-Element)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้ามีกระแสอินพุต I_1 ไหลเข้ามาในวงจร แรงดันที่ตัวเก็บประจุจะมีค่า

$$V_C = \frac{1}{C} \cdot I_1 \cdot t \qquad \textbf{(2.44)}$$

ถ้ากำหนดให้ $I_1 \bullet R_1 \langle\langle V_1$ ดังนั้น

$$V_1 \approx V_C \qquad \textbf{(2.45)}$$

วงจรออปแอมป์จะขยายแรงดันด้วยอัตราขยาย

$$v = \frac{R_3}{R_2} = 1 \qquad \textbf{(2.46)}$$

จะได้

$$V_2 = \left(\frac{R_3}{R_2} + 1 \right) \cdot I_1 \cdot R_1 = R_1 \cdot C \cdot \left(\frac{R_3}{R_2} + 1 \right) \cdot \frac{V_1}{t} \qquad \textbf{(2.47)}$$

เปรียบเทียบกับสมการที่ 2.34 จะได้

$$K_D = R_1 \cdot C \cdot \frac{R_3}{R_2} + 1 \qquad \textbf{(2.48)}$$

ค่าสัมประสิทธิ์ต่างๆ ของวงจรจะมีค่า สัมประสิทธิ์สูงกว่า วงจรที่กล่าวมาข้างต้น ตัวควบคุมแบบนี้ส่วนมากจะนำไปใช้ร่วมกับตัวควบคุมแบบอื่นๆ เช่น ใช้ร่วมกับตัวควบคุมเชิงสัดส่วน ซึ่งจะเรียกว่า "ตัวควบคุมเชิงสัดส่วนบวกกับแบบอนุพันธ์ หรือตัวควบคุมแบบพีดี (PD – Element)" ตัวควบคุมแบบอนุพันธ์นี้จะช่วยให้เราปรับค่าความหน่วง (Damping) ในระบบที่จะควบคุมให้มีค่ามากขึ้นนั่นคือทำให้ระบบมีเสถียรภาพมากขึ้น แต่โดยทั่วไปแล้วตัวควบคุมเชิงอนุพันธ์นี้จะไม่ทำให้ค่าผิดพลาดในสถานะอยู่ตัวมีค่าเป็นศูนย์ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
การออกแบบ การสร้างและการทำงาน

3.1 กล่าวนำ

ชุดทดลองเซนเซอร์ และทรานสดิวเซอร์ ประกอบด้วยอุปกรณ์เซนเซอร์ชนิดต่างๆ และโมดูลย่อยๆ เพื่อใช้ประกอบการทดลอง โดยมีรายการดังต่อไปนี้

1. โมดูลภาคจ่ายไฟ
2. โมดูลโวลต์มิเตอร์
3. โมดูลการทดลองวงจรวีทสโตนบริดจ์
4. โมดูลการทดลองวงจรอินสตรูเมนต์แอมป์
5. โมดูลการทดลองโหลดเซลล์
6. การออกแบบการทดลอง แอลวีดีที
7. โมดูลการทดลอง อาร์ทีดี
8. โมดูลการทดลอง เทอร์มิสเตอร์
9. โมดูลการทดลอง เทอร์โมคัปเปิ้ล
10. โมดูลการทดลอง แอลดีอาร์ เซลล์แสงอาทิตย์ และโฟโตไดโอด
11. โมดูลพร๊อกซิมิตี้เซนเซอร์
12. โมดูลแสดงผลข้อมูล 8 บิต
13. โมดูลลอจิกสวิตช์ขนาด 8 บิต
14. โมดูลแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล โดยใช้ไอซี ADC0804
15. โมดูลแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นสัญญาณแอนะลอก โดยใช้วงจร R-2R แลดเดอร์
16. โมดูลแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นสัญญาณแอนะลอก โดยใช้ไอซี DAC0808
17. โมดูลวงจรควบคุมแบบพี
18. โมดูลวงจรควบคุมแบบไอ
19. โมดูลวงจรควบคุมแบบดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 การออกแบบ และการสร้าง

3.2.1 โมดูลภาคจ่ายไฟ

วงจรภาคจ่ายไฟ นับเป็นวงจรที่มีความสำคัญมาก เนื่องจากหากวงจรภาคจ่ายไฟไม่มีเสถียรภาพในการทำงาน ก็อาจประสบปัญหาต่างๆ มากมาย ดังนั้นจึงควรให้ความสำคัญกับวงจรส่วนนี้ด้วย โดยในโครงงานนี้ ภาคจ่ายไฟถูกออกแบบให้สามารถจ่ายแรงดันได้ 5 ระดับดังนี้

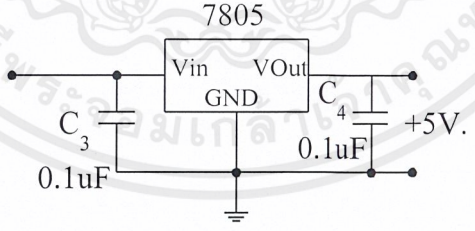
1. แรงดัน +5 โวลต์
2. แรงดัน +12 โวลต์
3. แรงดัน –12 โวลต์
4. แรงดันปรับค่าได้ 0-5 โวลต์
5. แรงดันปรับค่าได้ 0-25 โวลต์

1) ขั้นตอนการออกแบบวงจรภาคจ่ายไฟ

1.1) ใช้หม้อแปลง เพื่อลดระดับแรงดัน จาก 220 โวลต์ เหลือแรงดัน 12 โวลต์

1.2) ใช้ไดโอดบริดจ์ เพื่อทำหน้าที่เรียงกระแส

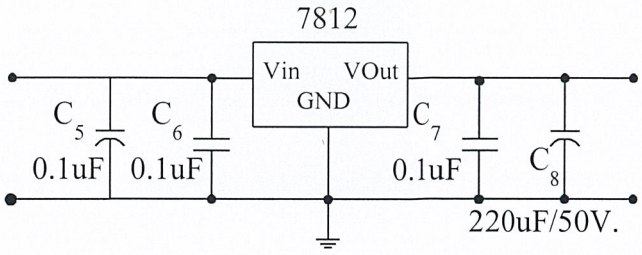
1.3) ใช้ ไอซีเร็กกูเลเตอร์ เบอร์ 7805 เพื่อจำกัดแรงดันเอาต์พุตให้ได้ 5 โวลต์ โดยเลือกใช้ไอซี 7805 มีขาใช้งานทั้งหมด 3 ขา คือ ขา Vin ,ขา GND และขา Vout จากรูปที่ 3.1 ตัวเก็บประจุ C_3 และ C_4 ต่อไว้เพื่อป้องกันสัญญาณรบกวน



รูปที่ 3.1 วงจรเร็กกูเลเตอร์ โดยใช้ ไอซีเบอร์ 7805

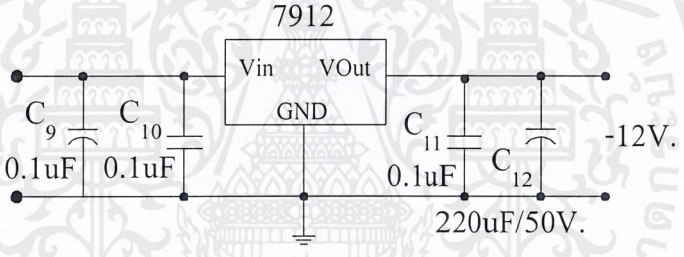
1.4) ใช้ไอซีเร็กกูเลเตอร์ เบอร์ 7812 เพื่อจำกัดแรงดันเอาต์พุตให้ได้ 12 โวลต์ โดยไอซี 7812 มีขาใช้งานทั้งหมด 3 ขา คือ ขา Vin ,ขา GND และขา Vout จากวงจรรูปที่ 3.2 ตัวเก็บประจุ 0.1 และ250 ไมโครฟารัด ใส่ไว้เพื่อป้องกันสัญญาณรบกวน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



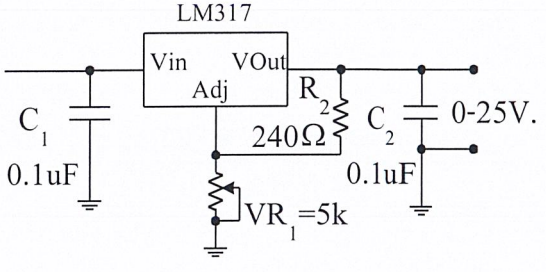
รูปที่ 3.2 วงจรเร็กกูเลเตอร์ โดยใช้ไอซีเบอร์ 7812

1.5) ใช้ไอซีเร็กกูเลเตอร์ เบอร์ 7912 โดยวงจรนี้มีลักษณะเหมือนกับวงจรที่แล้ว เพียงแต่เปลี่ยนมาใช้ไอซีเบอร์ 7912 เท่านั้น



รูปที่ 3.3 วงจรเร็กกูเลเตอร์ โดยใช้ไอซีเบอร์ 7912

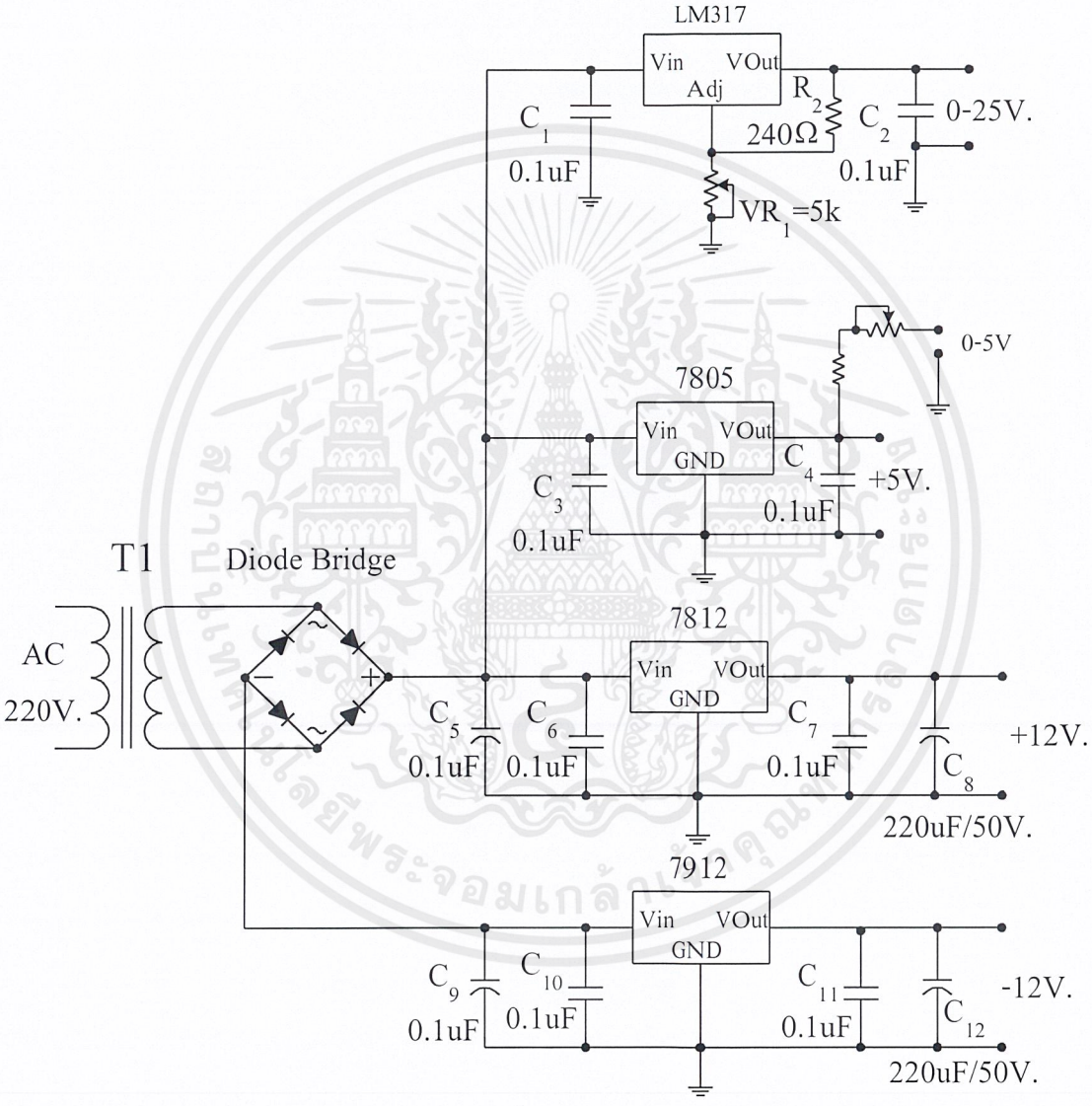
1.6) ใช้ไอซีเร็กกูเลเตอร์ เบอร์ LM317 ไอซีเบอร์นี้ มี 3 ขาคือ Vin , Adj , Vout ตัวต้านทานปรับค่าได้ (VR_1) ทำหน้าที่ปรับระดับแรงดันได้ตั้งแต่ 0 – 25โวลต์, ตัวเก็บประจุ 0.1 ไมโครฟารัด ทำหน้าที่ป้องกันสัญญาณรบกวน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.7) วงจรปรับระดับแรงดัน 0-5 โวลต์ เพื่อความประหยัดเนื่องจากเรามีแรงดัน 5 โวลต์ อยู่แล้ว การปรับค่าก็เพียงแต่ใส่ตัวต้านทานปรับค่าได้เข้าไป ก็จะสามารถปรับค่าแรงดันได้

2) การออกแบบวงจรในแต่ละส่วน สามารถนำมารวมกันเป็นวงจรภาคจ่ายไฟดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.5 วงจรภาคจ่ายไฟ

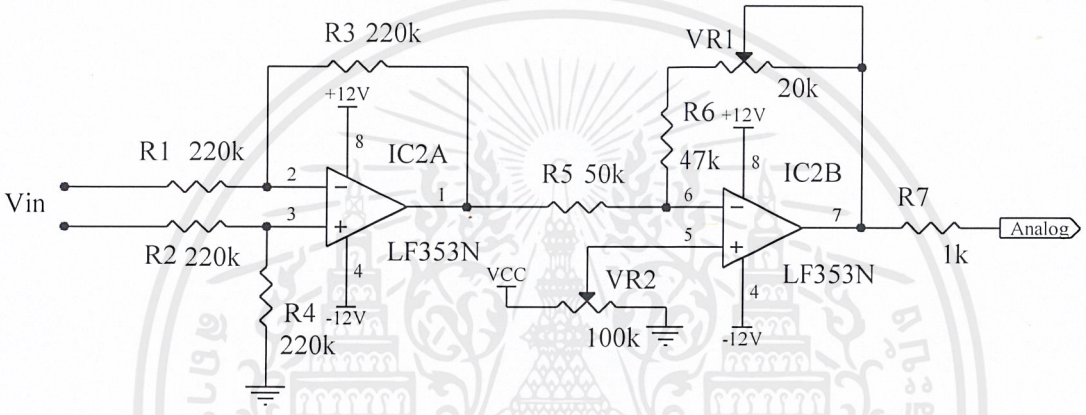
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2 การออกแบบ และการสร้างโมดูลโวลต์มิเตอร์

โมดูลโวลต์มิเตอร์สร้างขึ้นเพื่อใช้วัดค่าแรงดันที่อยู่ในระดับ ±5 โวลต์ โดยในส่วนของการออกแบบสามารถแบ่งเป็นส่วนประกอบสำคัญๆ 3 ส่วนคือ

1) วงจรเปรียบเทียบ และจัดระดับของแรงดัน

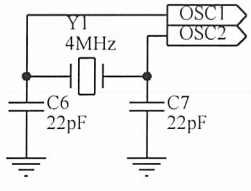
โดยวงจรในส่วนนี้มีหน้าที่จัดระดับของแรงดันให้มีค่าไม่เกิน 5 โวลต์ เพื่อป้อนให้กับส่วนต่อไป คือ ประมวลผล และแสดงผล ดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 วงจรเปรียบเทียบ และจัดระดับแรงดัน

จากรูปที่ 3.6 มีการเลือกใช้ออปแอมป์ เบอร์ LF353N เนื่องจากมีออปแอมป์ 2 ตัว อยู่ภายในตัวถังตัวเดียว ทั้งนี้เพื่อประหยัดเนื้อที่ และง่ายในการออกแบบลายวงจร ,VR1 ทำหน้าที่ปรับอัตราขยายในส่วนที่ 2 และ VR_2 ทำหน้าที่ปรับระดับแรงดันอ้างอิงให้มีค่า 2.5 โวลต์

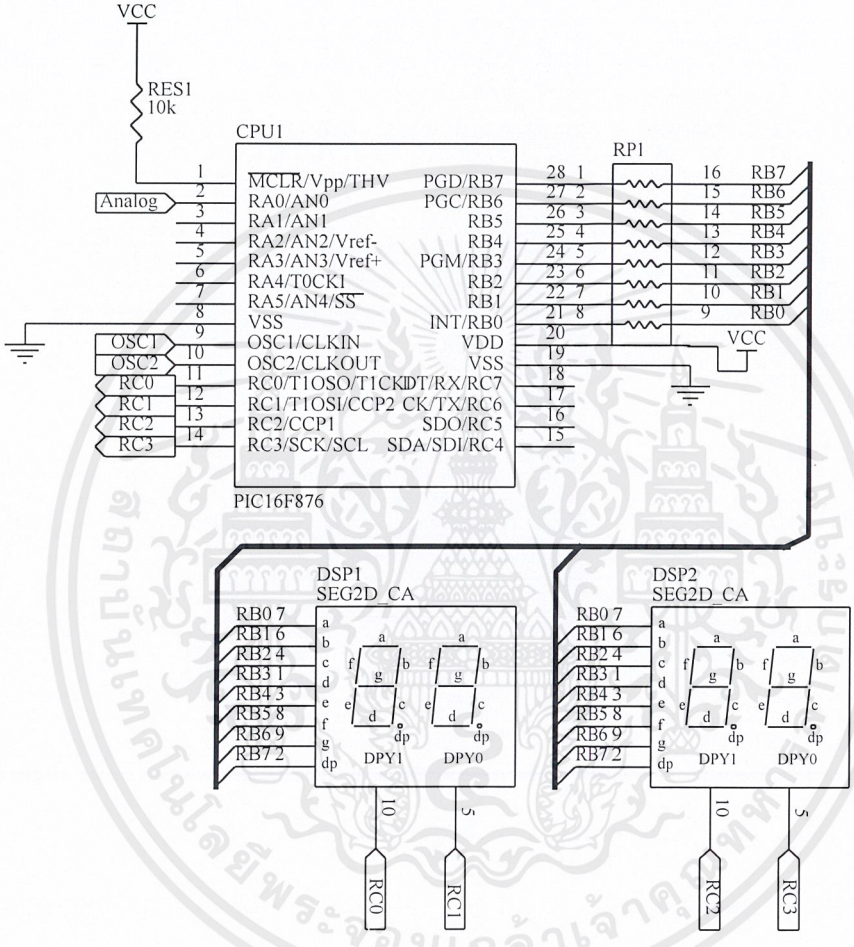
2) วงจรผลิตความถี่เพื่อป้อนให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์



รูปที่ 3.7 วงจรผลิตความถี่ 4 เมกะเฮิรตซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) วงจรส่วนประมวลผล และแสดงผล โดยออกแบบให้ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC เบอร์ 16F876 เนื่องจากภายในมีวงจร A/D ทำให้ประหยัดทั้งงบประมาณ และเนื้อที่ได้มากเลยทีเดียว



รูปที่ 3.8 วงจรเชื่อมต่อระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์กับส่วนแสดงผล

ขั้นตอนการทดสอบโมดูล

1) ยังไม่ต้องเสียบไอซี PIC ลงไป เนื่องจากอาจมีแรงดันที่เข้า ส่วนของ A/D มากเกินไป

2) นำสายวัดทั้งสองเส้นมาแตะกัน ปรับ VR2 จนได้ค่าแรงดันอ้างอิงเท่ากับ 2.5 โวลต์

3) นำสายทั้งสองเส้นวัดแรงดัน 5 โวลต์ โดยสายแดงจับขั้วบวก สายดำจับขั้วลบ ปรับ VR_1 จนกว่าจะได้ 5 โวลต์ พอดี

4) ลองกลับสายวัดดู จะได้แรงดัน 0 โวลต์พอดีเช่นกัน

5) ปลดแหล่งจ่ายทั้งหมดออก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

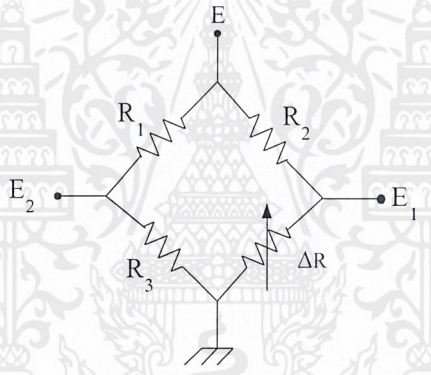
6) เสียบไอซี PIC 16F876 ที่ผ่านการเบิร์นโปรแกรมเรียบร้อยลงบนซ็อกเก็ต

7) นำสายวัดจับแรงดัน 5 โวลต์ ค่าที่อ่านได้ควรเป็น 5 โวลต์ พอดี หากเกิดค่าผิดพลาดก็ให้ทำการปรับ VR1 จนได้ค่าแรงดัน 5 โวลต์ เป็นอันเสร็จสิ้นการสร้าง

3.2.3 วงจรวีทสโตนบริดจ์

1) การออกแบบวงจรวีทสโตนบริดจ์แบบพาสซีฟ

ค่าความต้านทานที่จะนำมาทำวงจรบริดจ์ ควรเป็นค่าความต้านทานที่อยู่ในระดับที่ใกล้เคียงกับค่าความต้านทานที่อุปกรณ์ทรานสดิวเซอร์ปล่อยออกมา โดยวงจรวีทสโตนจ์บริดจ์แบบพาสซีฟที่ออกแบบนี้ ใช้ตัวต้านทานค่าคงที่ 10 กิโลโอห์มจำนวน 3 ตัว และใช้ตัวต้านทานปรับค่าได้ 10 กิโลโอห์ม 1 ตัว (เพื่อสมมุติเป็นอุปกรณ์ทรานสดิวเซอร์) โดยนำตัวความต้านทานทั้ง 4 ตัว ต่อเป็นวงจร ดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 วงจรวีทสโตนบริดจ์แบบพาสซีฟ

เนื่องจากค่าความต้านทานทั้ง 4 ตัว มีค่าเท่ากัน ดังนั้นเมื่อปรับค่าความต้านทานของตัวต้านทานปรับค่าได้ให้มีค่า 10 กิโลโอห์ม ก็จะทำให้ค่าความต่างศักย์ของแรงดันที่จุด E_2 และ E_1 มีค่าเท่ากัน ซึ่งสามารถอธิบายด้วยสมการคณิตศาสตร์ดังต่อไปนี้

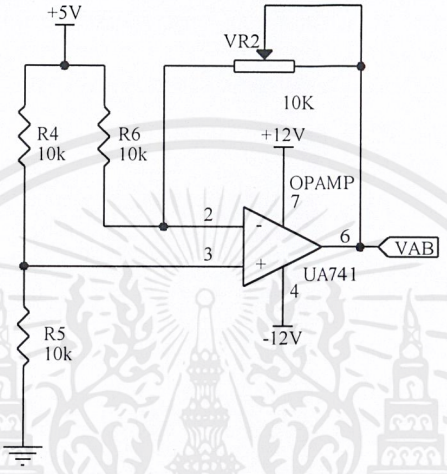
$$E_1 = E_2 = \frac{E}{2} \quad \textbf{(3.1)}$$

$$E_1 - E_2 = 0V. \quad \textbf{(3.2)}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

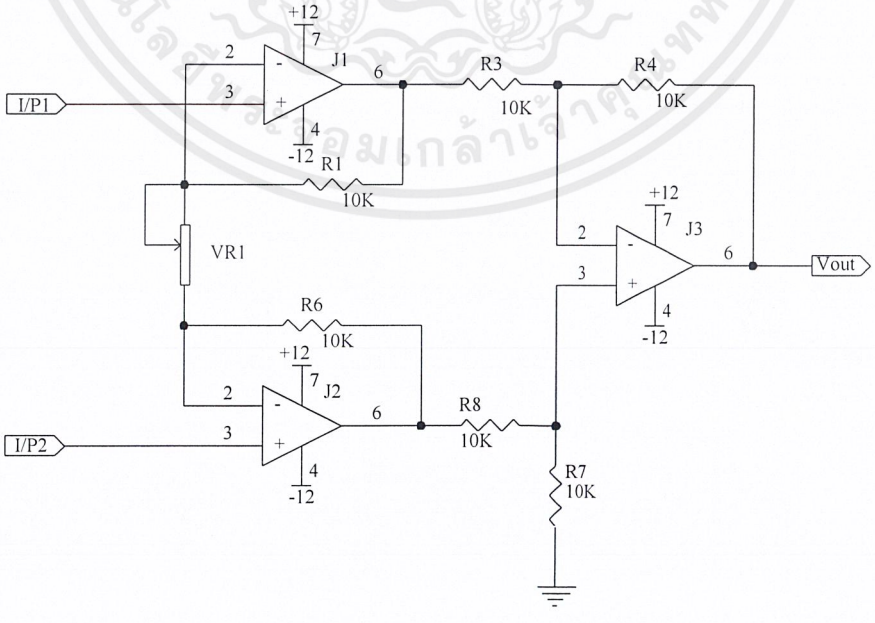
2) การออกแบบวงจรวีทสโตนบริดจ์แบบแอคตีฟ

ใช้ตัวต้านทานชนิดค่าคงที่ 10 กิโลโอห์ม จำนวน 3 ตัว , ออปแอมป์เบอร์ UA741 1 ตัว และตัวต้านทานปรับค่าได้ 10 กิโลโอห์ม 1 ตัว (เพื่อจำลองเป็นอุปกรณ์ทรานสดิวเซอร์) โดยตัวต้านทานปรับค่าได้ต่ออยู่ระหว่างขาอินพุต(ขา 2) และเอาต์พุต(ขา 6) ดังรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 วงจรวีทสโตนบริดจ์แบบแอคตีฟ

3.2.4 วงจรอินสตรูเมนต์แอมป์



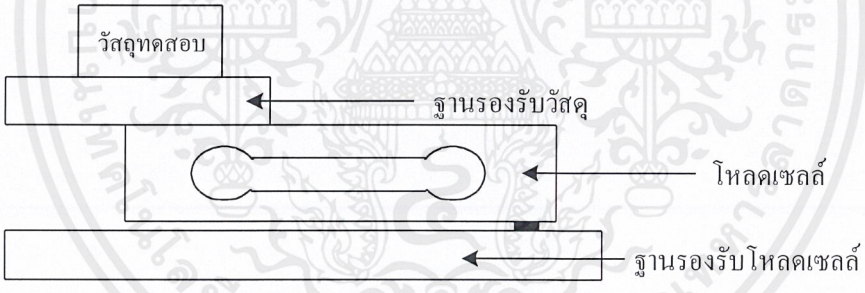
รูปที่ 3.11 วงจรอินสตรูเมนต์แอมป์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การสร้างวงจรอินสตรูเมนต์แอมป์ จะใช้ออปแอมป์เบอร์ OP07 จำนวน 3 ตัว และตัวต้านทานปรับค่าได้ 200 กิโลโอห์ม 1 ตัว เพื่อทำหน้าที่ปรับอัตราขยายของวงจร โดยในวงจรส่วนแรกประกอบด้วยออปแอมป์ 2 ตัว ต่ออยู่กับอินพุต โดยออปแอมป์ทั้งสองตัวนี้มีหน้าที่เปรียบเทียบระดับของแรงดันอินพุตของแต่ละขั้ว โดยหากออปแอมป์ตัวใดได้รับค่าอินพุต ก็จะทำให้เกิดการขยายค่าผลต่างกับอีกตัว ส่งผลให้วงจรดิฟเฟอร์เรนเชียลแอมป์ที่อยู่ภาคหลังสุดสามารถตรวจสอบอินพุตได้ดีขึ้น พร้อมกันนี้วงจรดิฟเฟอร์เรนเชียลแอมป์ยังช่วยในการขยายสัญญาณขึ้นอีกด้วย

3.2.5 โมดูลการทดลองโหลดเซลล์

การออกแบบ และการสร้างโมดูลโหลดเซลล์ จากคุณสมบัติของโหลดเซลล์ คือ มันถูกออกแบบมาเพื่อวัดค่าแรงกด (ชั่งน้ำหนัก) ดังนั้นในโมดูลนี้จึงออกแบบให้มันเหมือนเป็นเครื่องชั่งน้ำหนักเพื่อให้ผู้เรียนได้เห็นลักษณะการทำงาน และวงจรที่เข้ามาเกี่ยวข้องกับโหลดเซลล์ เนื่องจากค่าแรงดันที่โหลดเซลล์ให้ออกมานั้นมีขนาดแรงดันที่ต่ำมาก จึงต้องมีวงจรอินสตรูเมนต์แอมป์เพื่อขยายค่าแรงดันนั้นให้สูงขึ้น ในส่วนของ ตัวโหลดเซลล์ถูกยึดติดลงบนแท่นพลาสติกที่ใช้เป็นฐาน และส่วนบนก็มีถาดรองรับวัตถุดังรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.12 การติดตั้งโหลดเซลล์

เมื่อมีแรงกดลงบนฐานรองรับวัสดุ จะทำให้แท่งอลูมิเนียมเกิดการบิดตัว ส่งผลให้เกิดแรงดันที่เอาต์พุต โดยข้อมูลจำเพาะของโหลดเซลล์ที่ใช้มีรายละเอียดดังนี้

1. สามารถรับน้ำหนักได้ไม่เกิน 3 กิโลกรัม
2. แรงดันเอาต์พุต 2 มิลลิโวลต์ / แรงดันอ้างอิง 1 โวลต์
3. ความหมายของสีที่อยู่บนสายแต่ละเส้นมีดังนี้

สีเขียว หมายถึง แรงดันอ้างอิงบวก

สีดำ หมายถึง แรงดันอ้างอิงลบ

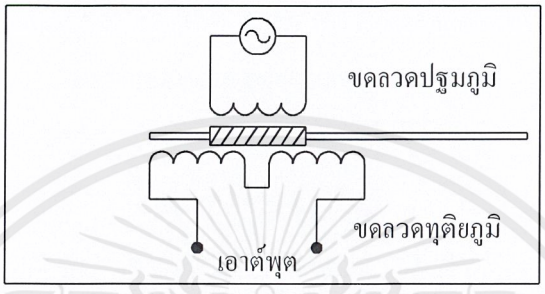
สีแดง หมายถึง แรงดันเอาต์พุตบวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สีขาว หมายถึง แรงดันเอาต์พุตลบ

3.2.6 การออกแบบการทดลองแอลวีดีที

เนื่องจากแอลวีดีที คือ อุปกรณ์ทรานสดิวเซอร์ ประเภทที่ใช้บอกตำแหน่ง และระยะในการเคลื่อนที่ โดยประกอบด้วยขดลวด 3 ขดคือ



รูปที่ 3.13 ลักษณะการเรียงตัวของขดลวด

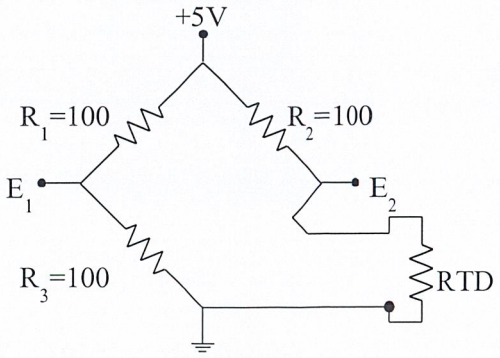
โดยมีหลักการทำงานคือ เมื่อเราจ่ายแรงดันกระแสสลับเข้าที่ขดปฐมภูมิ และแกนเหล็กอยู่บริเวณกึ่งกลาง จะทำให้เกิดการเหนี่ยวนำของขดลวดทุติยภูมิทั้งสองในปริมาณที่เท่ากัน แต่หากมีการเลื่อนแกนเหล็กไปในทิศทางใด ก็จะทำให้เกิดการเหนี่ยวนำไปยังขดนั้นมากกว่าอีกขดหนึ่ง ซึ่งการกระทำเช่นนี้ก็หมายถึงการเพิ่มขึ้นของเฟสที่แรงดันเป็นตัวบ่งบอกถึงทิศทาง และระยะของการเคลื่อนที่

3.2.7 โมดูลการทดลองอาร์ทีดี

เนื่องจากคุณสมบัติของอาร์ทีดีคือ ค่าความต้านทานจะเพิ่มขึ้นถ้ามีการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ ดังนั้นในการออกแบบโมดูลอาร์ทีดี จึงต้องมีส่วนประกอบ 2 ส่วน คือ

1) วงจรวีทสโตนบริดจ์ การออกแบบโดยดูจากค่าความต้านทานเริ่มต้นของ อาร์ทีดี คือ 100 โอห์ม(25 °C) ดังนั้นค่าความต้านทานของแขนที่เหลือของวงจรวีทสโตนจ์บริดจ์คือ 100 โอห์มเช่นกัน ดังรูปที่ 3.14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



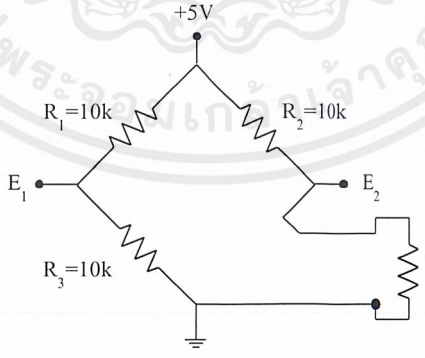
รูปที่ 3.14 วงจรวีทสโตนบริดจ์ที่ใช้ร่วมกับ อาร์ทีดี

2) วงจรอินสตรูเมนต์แอมป์ สามารถใช้วงจรอินสตรูเมนต์แอมป์เหมือนที่เคยออกแบบได้

3.2.8 โมดูลเทอร์มิสเตอร์

เนื่องจากเทอร์มิสเตอร์ก็เป็นอุปกรณ์ทรานสดิวเซอร์ที่ใช้วัดอุณหภูมิเช่นเดียวกับ อาร์ทีดี และเอาต์พุตที่ได้ก็อยู่ในรูปของค่าความต้านทาน ดังนั้นส่วนประกอบของโมดูลเทอร์มิสเตอร์จึงประกอบด้วย

1) วงจรวีทสโตนบริดจ์ โดยค่าความต้านทานเริ่มต้นของเทอร์มิสเตอร์ คือ 10 กิโลโอห์ม ดังนั้นวงจรบริดจ์จึงใช้ต้องใช้ตัวต้านทานค่า 10 กิโลโอห์มเช่นเดียวกัน ดังรูปที่ 3.15



รูปที่ 3.15 วงจรวีทสโตนบริดจ์ที่จะนำมาใช้ร่วมกับ เทอร์มิสเตอร์

2) วงจรอินสตรูเมนต์แอมป์ ใช้วงจรเดียวกันซึ่งออกแบบไว้แล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

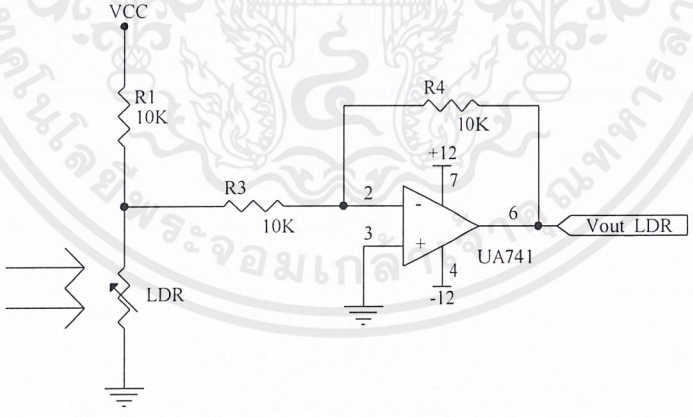
3.2.9 โมดูลเทอร์โมคัปเปิ้ล

การออกแบบ และการสร้างโมดูลเทอร์โมคัปเปิ้ล เนื่องจากเทอร์โมคัปเปิ้ลเป็นอุปกรณ์ทรานสดิวเซอร์ที่ใช้วัดอุณหภูมิเช่นเดียวกัน แต่แตกต่างกันตรงค่าของเอาต์พุตจะอยู่ในรูปแรงดันแต่มีค่าน้อยมาก (ไมโครโวลต์) จึงไม่จำเป็นต้องใช้วงวีทสโตนบริดจ์เหมือนเช่นดัง อาร์ทีดี และเทอร์มิสเตอร์ แต่ยังคงต้องใช้วงจรอินสตรูเมนต์แอมป์อยู่เนื่องจากสัญญาณเอาต์พุตที่ได้จากเทอร์โมคัปเปิ้ลมีขนาดเล็กมาก

3.2.10 แอลดีอาร์ เซลล์แสงอาทิตย์ และโฟโตไดโอด

การออกแบบ และการสร้างโมดูลนี้ จะเป็นการรวมการตรวจวัดโดยใช้อุปกรณ์ตรวจวัด 3 ชนิด คือ แอลดีอาร์ เซลล์แสงอาทิตย์ และโฟโตไดโอด หากสังเกตุวงจรก็จะเห็นว่าอุปกรณ์ตรวจวัดแต่ละชิ้นถูกต่ออยู่กับวงจรแบ่งแรงดันทั้งสิ้น

1) แอลดีอาร์ การสร้างออกแบบ และการสร้างโมดูลการทดลองแอลดีอาร์ จะมีการสร้างกล่องให้พลังงานแสง และบรรจุ แอลดีอาร์ ไว้ภายใน จากนั้นให้ทำการปรับค่าความเข้มของแสงโดยหมุนที่ลูกบิดที่อยู่ข้างกล่องให้พลังงานแสงตามระดับที่กำหนดในตาราง และอ่านค่าแรงดันที่ได้จากโมดูลโวลต์มิเตอร์



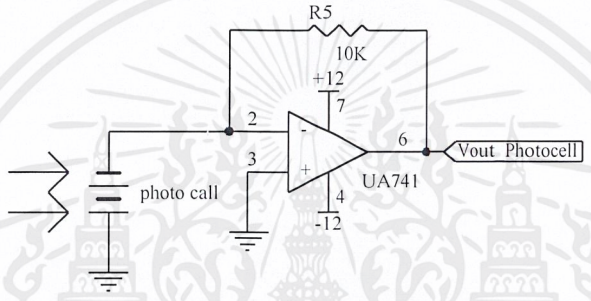
รูปที่ 3.16 การทดลองการนำแอลดีอาร์มาต่อเป็นวงจรแบ่งแรงดัน

จากรูปที่ 3.16 ในขณะที่ แอลดีอาร์ ยังไม่ได้รับแสงสว่าง ค่าความต้านทานในตัวของมันก็จะสูงทำให้ปริมาณของกระแสที่ไหลไปยังออปแอมป์มีค่าน้อย แต่เมื่อแอลดีอาร์ได้รับแสงก็จะทำให้ความต้านทานภายในลดลง ทำให้ปริมาณของกระแสที่ไหลไปยังออปแอมป์สูงขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) เซลล์แสงอาทิตย์

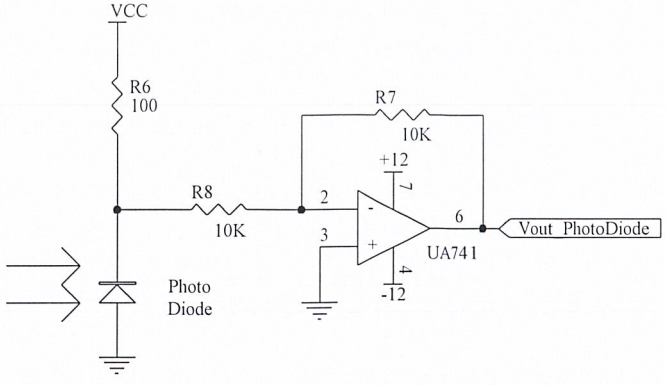
การออกแบบ และการสร้างโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งโดยทั่วไป ลำพังมีเพียงเซลล์แสงอาทิตย์เพียงอย่างเดียวก็สามารถเปลี่ยนพลังงานแสงให้กลายเป็นพลังงานไฟฟ้าได้แล้ว แต่เนื่องจากพลังงานนั้นมีค่าน้อย จึงออกแบบให้มีออปแอมป์เพื่อขยายค่าของแรงดันให้เพิ่มขึ้น จากรูปที่ 3.17 เซลล์แสงอาทิตย์ถูกต่ออยู่กับอินพุตของออปแอมป์ ดังนั้นเมื่อเซลล์แสงอาทิตย์ได้รับพลังงานแสง มันก็จะผลิตกระแสไฟฟ้าขึ้น ส่งผลให้มีแรงดันเข้าไปที่อินพุตของออปแอมป์ และเกิดการขยายแรงดันขึ้น



รูปที่ 3.17 การต่อเซลล์แสงอาทิตย์ และออปแอมป์

3) โฟโต้ไดโอด

เนื่องจากพฤติกรรมการทำงานของ โฟโต้ไดโอด คือ มันจะทำงานคล้ายเป็นสวิตช์แสง คือ เมื่อได้รับแสงก็จะทำให้มันสามารถนำกระแสได้ จึงมีการออกแบบให้ไดโอดถูกต่อเป็นสวิตช์ โดยขณะที่โฟโตไดโอดยังไม่ได้รับแสงก็เปรียบเสมือนมันเปิดวงจร คือไม่มีกระแสไหล แต่เมื่อมันได้รับแสงก็จะทำให้มันนำกระแสจึงมีแรงดันไหลไปยังอินพุตของออปแอมป์



รูปที่ 3.18 วงจรที่ใช้โฟโตไดโอดทำหน้าที่คล้ายสวิตช์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.11 โมดูลพร๊อกซิมิตี้เซนเซอร์

1) อินดักตีฟพร๊อกซิมิตี้เซนเซอร์

การออกแบบ และการสร้างโมดูลพร๊อกซิมิตี้เซนเซอร์ชนิดอินดักตีฟ ใช้หลักการที่ว่าตรงส่วนหัวของเซนเซอร์ จะมีสนามแม่เหล็กซึ่งมีความถี่สูง โดยได้รับสัญญาณมาจากวงจรกำเนิดความถี่ และเมื่อมีวัตถุที่เป็นโลหะเข้ามาอยู่ในบริเวณสนาแม่เหล็กก็จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงค่าความเหนี่ยวนำ จากเหตุการนี้ทำให้เกิดการหน่วงออสซิลเลทลดลงไป หรือบางทีอาจเกิดการหยุดออสซิลเลท และเมื่อวัตถุออกจากบริเวณตรวจจับวงจรกำเนิดความถี่ก็จะเริ่มต้นออสซิลเลทใหม่อีกครั้ง

การสร้าง เนื่องจากเซนเซอร์ที่ใช้มีการใช้งานที่ไม่ยากเพียงแต่ป้อนแรงดัน 12 ถึง 24 โวลต์เท่านี้ก็สามารถทำงานได้แล้ว

ความหมายของสีประจำสายมีดังนี้

สีน้ำตาล หมายถึง แรงดัน อินพุต 12 ถึง 24 โวลต์ (DC)

สีดำ หมายถึง เอาต์พุต

สีฟ้า หมายถึง กราวด์

2) เซนเซอร์ชนิดเก็บประจุ (Capacitive Sensor)

สามารถตรวจจับวัตถุได้ทั้งโลหะ และอโลหะ โดยไม่ต้องสัมผัสกับวัตถุ โดยอาศัยหลักการเปลี่ยนแปลงค่าความจุ ซึ่งเนื่องมาจากการเคลื่อนที่ของวัตถุชนิดหนึ่งเข้ามาใกล้สนามไฟฟ้าของคาปาซิเตอร์ ค่าความจุของวงจรกำเนิดความถี่ก็จะเปลี่ยนไป โดยมีการแสดงผลที่ส่วนท้ายด้วยหลอดแสดงสถานะการทำงานอยู่ด้วย

ความหมายของสายสีต่างๆ

สีน้ำตาล หมายถึง แรงดันอินพุต 10 ถึง 40 โวลต์ (DC)

สีดำ หมายถึง แรงดันเอาต์พุต

สีฟ้า หมายถึง กราวด์

การสร้างทำโดยนำเซนเซอร์ไปยึดติดลงบนฐานรองรับ จากนั้นนำวัตถุทดสอบวางไว้ด้านหน้าในระยะที่แตกต่างกัน หากวัตถุเข้าไปอยู่ในระยะการทำงาน ก็จะมีไฟติดที่ส่วนแสดงผล

3) การออกแบบการทดลองเซนเซอร์ชนิดใช้แสง (Optical Sensor)

เนื่องเซนเซอร์ชนิดนี้ใช้ลำแสงอินฟาเรดในการทำงาน จึงมีส่วนประกอบ 2 ส่วนคือ

3.1) ตัวส่งมีหน้าที่ส่งลำแสงอินฟาเรดออกไป ซึ่งต้องป้อนแรงดันให้ โดยมีสาย 2 เส้น คือ

สีน้ำตาล หมายถึง แรงดันอินพุต 24 ถึง 240โวลต์ (AC) หรือ 12 ถึง 240 โวลต์ (DC)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สีฟ้า หมายถึง กราวด์

3.2) ตัวรับมีหน้าที่รับลำแสงจากตัวส่ง โดยมีสาย 5 เส้น

สีน้ำตาล หมายถึง แรงดันอินพุต 24 ถึง 240โวลต์ (AC) หรือ 12 ถึง 240 โวลต์ (DC)

สีฟ้า หมายถึง กราวด์

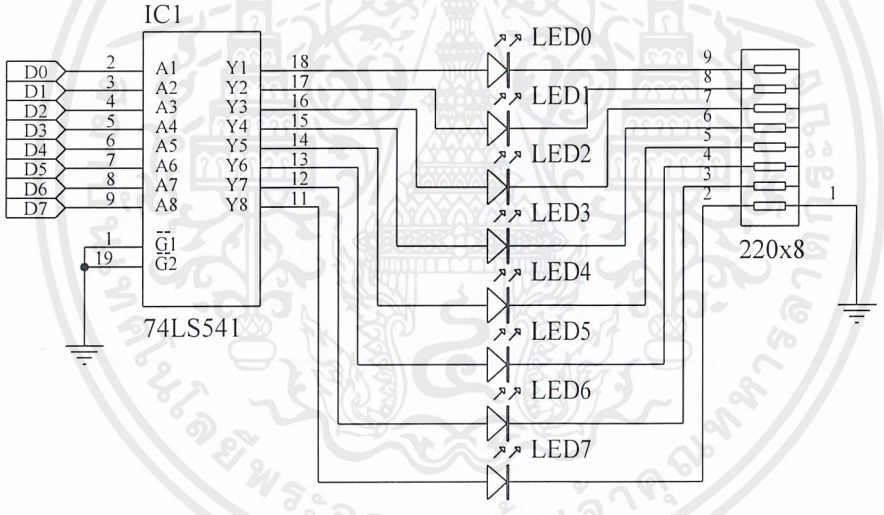
สีขาว หมายถึง ปกติปิด

สีดำ หมายถึง ปกติเปิด

สีเทา หมายถึง จุดร่วม

3.2.12 โมดูลแสดงผลข้อมูลขนาด 8 บิต

การออกแบบใช้ ไอซี 74HC541 เพื่อทำหน้าที่เป็นบัฟเฟอร์, หลอดแอลอีดี 8 ดวง ทำหน้าที่แสดงผล และตัวต้านทานแบบแพ็กทำหน้าที่เป็นโหลด

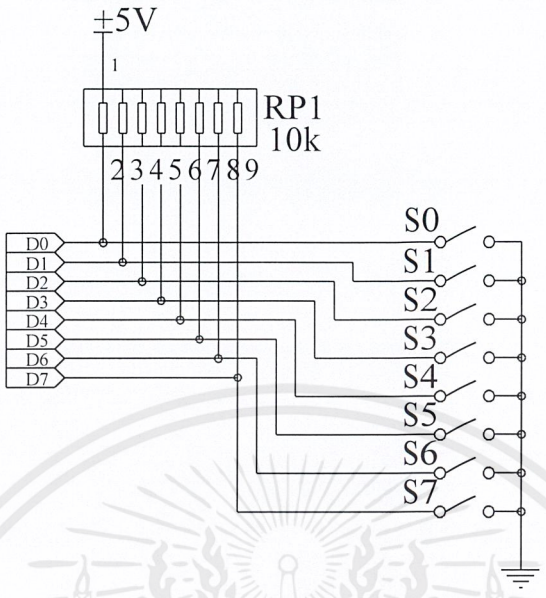


รูปที่ 3.19 วงจรแสดงผลข้อมูล 8 บิต

3.2.13 โมดูลลอจิกสวิตช์ขนาด 8 บิต

การออกแบบ ใช้สวิตช์ชนิดกดติด กดดับเพื่อใช้ในการสร้างลอจิก “0” และ “1” โดยสภาวะของลอจิก “0” เกิดจากการที่สวิตช์อยู่ในตำแหน่ง ON ดังนั้นจึงทำให้มีกระแสไหลผ่านตัวต้านทาน 10 กิโลโอห์ม ผ่านสวิตช์ และลงกราวด์ สภาวะของลอจิก “1” เกิดจากเมื่อกดสวิตช์ สวิตช์จะอยู่ในสภาวะ OFF คือ กระแสไม่สามารถวิ่งลงกราวด์ได้ มันจึงไหลออกไปยังส่วนอื่นๆ แทน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.20 วงจรลอจิกสวิตช์ 8 บิต

3.2.14 การแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล โดยใช้ไอซีเบอร์ ADC0804

ซึ่งไอซีเบอร์นี้มีการใช้งานที่ไม่ยุ่งยากนัก เพียงมีวงจรผลิตความถี่ที่จะใช้ในการแซมปลิ้งเท่านั้น โดยความถี่ที่ใช้ควรอยู่ในช่วง 100 – 800 กิโลเฮิรตซ์ ซึ่งในที่นี้ออกแบบให้ใช้ ตัวต้านทาน และ ตัวเก็บประจุอย่างละตัวเพื่อทำหน้าที่ผลิตความถี่ ซึ่งสามารถหาได้จากสูตรต่อไปนี้

$$F = \frac{1.1}{RC} \tag{3.3}$$

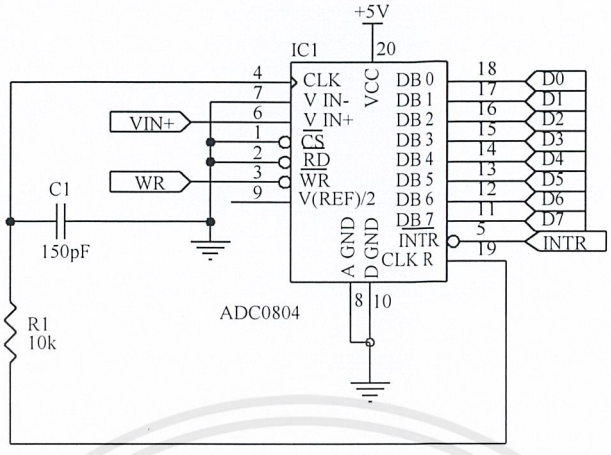
$$F = \frac{1.1}{(10k)(150pF)} = 733.33KHz \tag{3.4}$$

เมื่อ f คือ ความถี่เอาต์พุต (Hz)

R คือ ค่าความต้านทาน (Ω)

C คือ ค่าตัวเก็บประจุ (F)

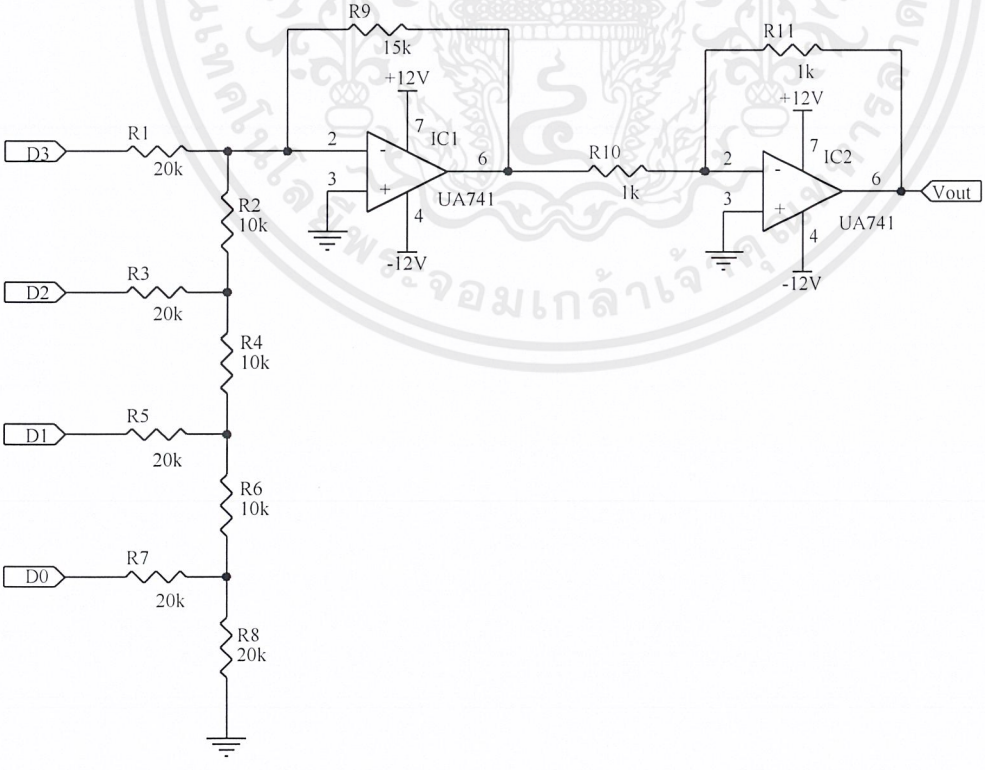
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.21 วงจรแปลงแอนะลอกเป็นดิจิตอล

3.2.15 โมดูลแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นสัญญาณแอนะลอก แบบ R-2R แลดเดอร์

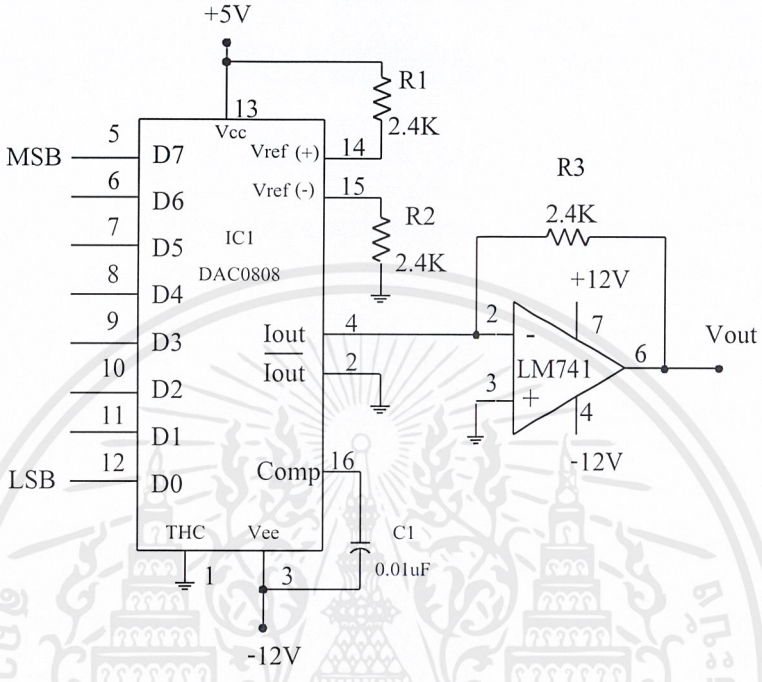
การออกแบบใช้ตัวต้านทาน 2 ค่าคือ 20 กิโลโอห์ม และ 10 กิโลโอห์ม จากนั้นนำไปเข้าออปแอมป์เพื่อรวมสัญญาณ หลังจากนั้น เข้าออปแอมป์อีกตัวเพื่อกลับเฟสของสัญญาณ



รูปที่ 3.22 วงจร R-2R แลดเดอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.16 โมดูลแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นสัญญาณแอนะลอกโดยใช้ไอซีเบอร์ DAC0808

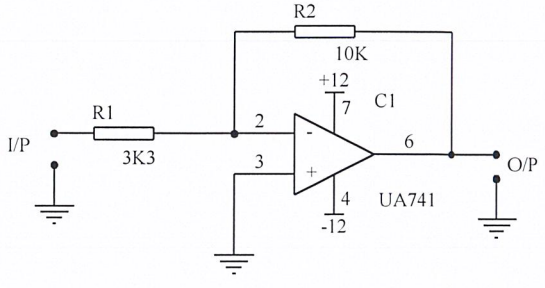


รูปที่ 3.23 วงจรแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นแอนะลอก

3.2.17 ตัวควบคุมแบบพี(P-Element)

1) การออกแบบวงจรการขยายแบบกลับเฟส (Inverting amplifies)

อินพุตรูปไซน์จะถูกป้อนเข้าทางขาลบ ของออปแอมป์ ทำให้เอาต์พุตปรากฏสัญญาณที่ตรงข้าม ซึ่งค่าเอาต์พุตจะเพิ่มขึ้นตามขนาดของแรงดันอินพุต

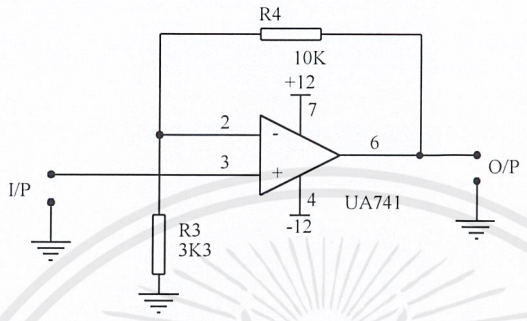


รูปที่ 3.24 วงจรขยายแบบพีชนิดกลับเฟส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

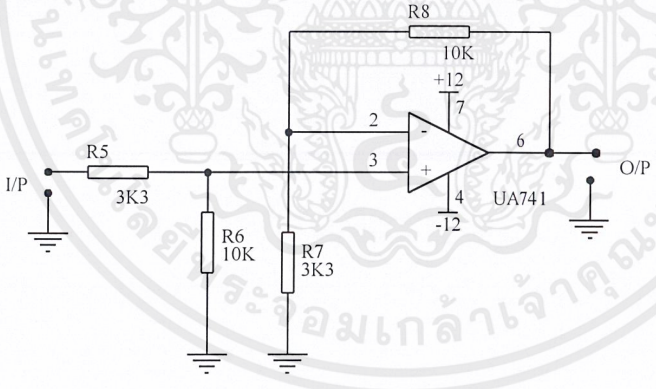
2) การขยายแบบไม่กลับเฟส (Non–Inverting Amplifier)

เป็นการป้อนสัญญาณไซน์เข้าทางอินพุตขาบวกของออปแอมป์ โดยที่ทางด้านเอาต์พุตจะปรากฏสัญญาณที่เหมือนกับสัญญาณที่เข้าทางด้านอินพุต



รูปที่ 3.25 วงจรขยายแบบพีชนิดไม่กลับเฟส

การขยายแบบไม่กลับเฟส(มีอัตราขยายเท่ากับแบบกลับเฟส)



รูปที่ 3.26 วงจรขยายแบบพีชนิดไม่กลับเฟส (อัตราขยายเท่ากับแบบกลับเฟส)

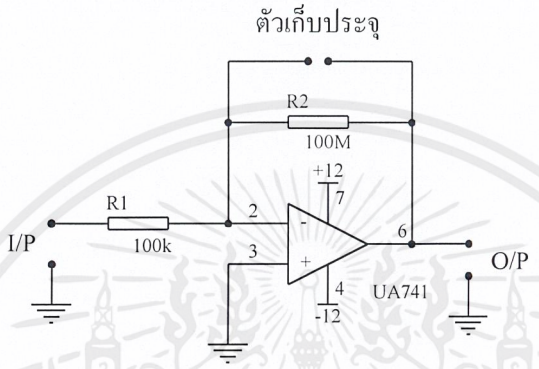
ในการควบคุมเชิงวิศวกรรม อัตราขยายแบบนี้ถูกเรียกว่า "ตัวประกอบการถ่ายโอน" (Transfer factor)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.18 การออกแบบตัวควบคุมแบบไอ (I-Element)

เป็นวงจรทำหน้าที่เปลี่ยนแปลงแรงดันเอาต์พุต โดยใช้แรงดันอินพุตคงที่ ซึ่งอัตราของการเปลี่ยนแปลงแรงดันเอาต์พุต จะเป็นสัดส่วนกับแรงดันอินพุต

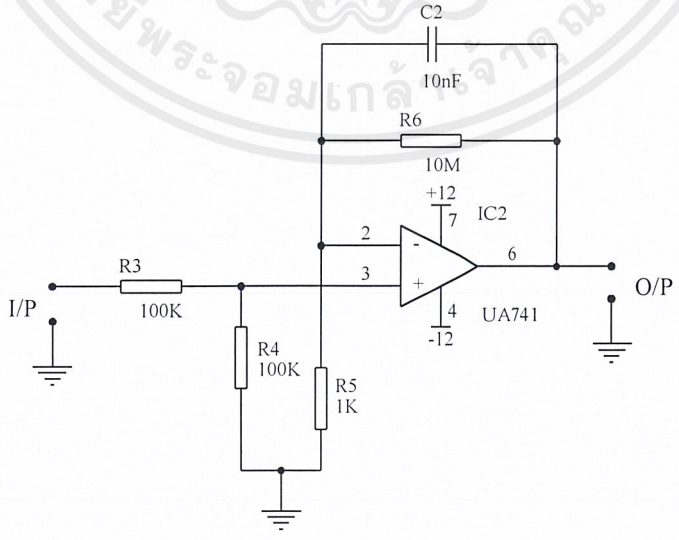
1) วงจรตัวควบคุมแบบไอชนิดกลับเฟส (Inverting I-Element)



รูปที่ 3.27 วงจรควบคุมแบบไอชนิดกลับเฟส

โดยออกแบบมีการป้อนสัญญาณคลื่นสี่เหลี่ยมจตุรัส ขนาด 5 โวลต์ และคลื่นไซน์ โดยออกแบบให้สามารถเปลี่ยนค่าของตัวเก็บประจุได้ง่าย เพราะค่าความจุมีผลต่อรูปคลื่นการอินทิเกรต

2) ตัวควบคุมแบบไอไม่กลับเฟส (Non-Inverting I-Element)



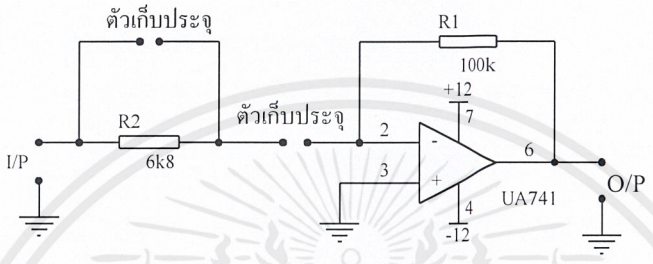
รูปที่ 3.28 วงจรควบคุมแบบไอ ชนิดไม่กลับเฟส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การออกแบบกำหนดให้มีการป้อนสัญญาณอินพุตรูปไซน์ ขนาด 5 โวลต์ เพื่อดูการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณเอาต์พุต

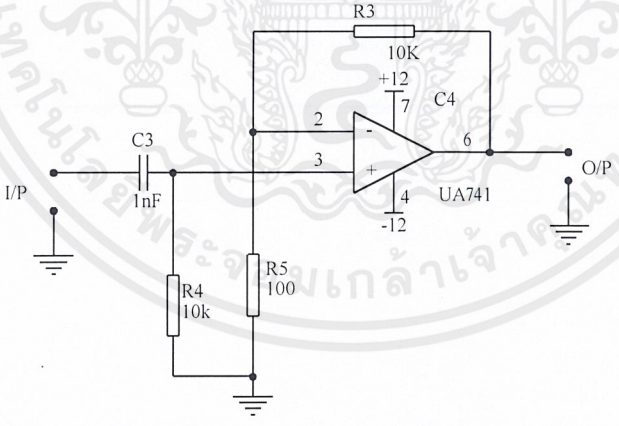
3.2.19 การออบแบบตัวควบคุมแบบดี (D-Element)

1) วงจรควบคุมแบบดีชนิดกลับเฟส (Inverting D-Element)



รูปที่ 3.29 วงจรควบคุมแบบดีชนิดกลับเฟส

2) ตัวควบคุมแบบดี ชนิดไม่กลับเฟส (Non-Inverting D-Element)



รูปที่ 3.30 วงจรควบคุมแบบดีชนิดไม่กลับเฟส (Non-Inverting D-Element)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

ในส่วนของบทนี้จะกล่าวถึง การทดลอง และผลการทดลอง ของชุดทดลองเซนเซอร์ และทรานสดิวเซอร์

4.1 การทดลองโมดูลภาคจ่ายไฟ

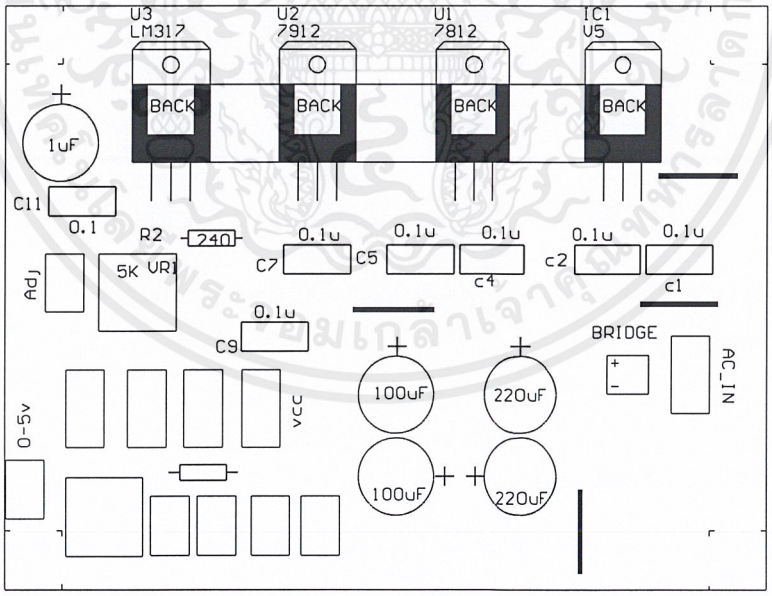
จากบทที่ 3 ได้มีการออกแบบวงจรภาคจ่ายไฟ ให้สามารถจ่ายแรงดันได้ 5 ระดับคือ

1) แรงดัน +5 โวลต์

2) แรงดัน ±12 โวลต์

3) แรงดันปรับค่าได้ 0-5 โวลต์

4) แรงดันปรับค่าได้ 0-25 โวลต์



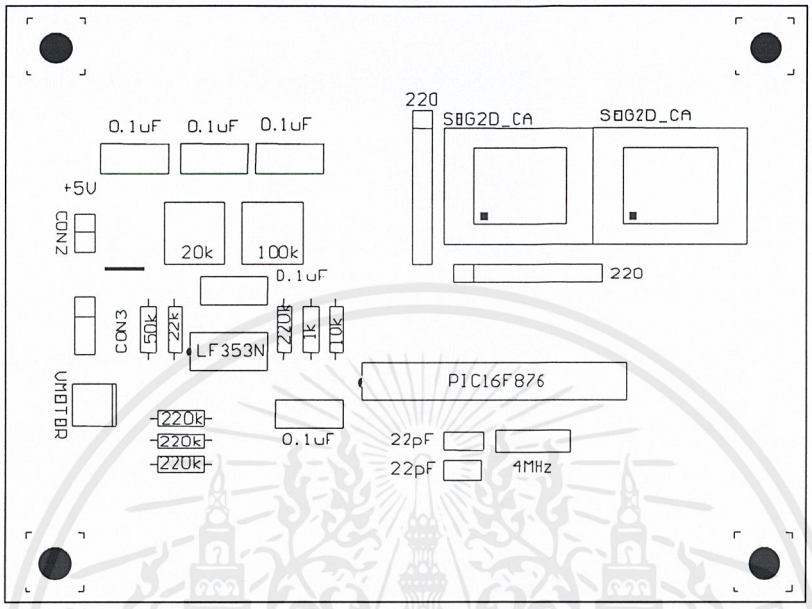
รูปที่ 4.1 โมดูลภาคจ่ายไฟ

ผลการทดลองโมดูลภาคจ่ายไฟ

ปรากฏว่า สามารถจ่ายแรงดันได้ 5 ระดับ ตรงตามที่ได้ออกแบบไว้ทุกประการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การทดลองโมดูลโวลต์มิเตอร์



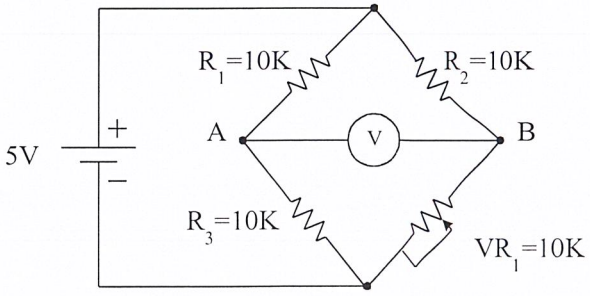
รูปที่ 4.2 โมดูลโวลต์มิเตอร์

ผลการทดลองโมดูลโวลต์มิเตอร์

ปรากฏว่าโมดูลโวลต์มิเตอร์สามารถวัดค่าแรงดันได้ ในย่าน ตั้งแต่ –5โวลต์ ถึง +5โวลต์ ตามที่ได้ออกแบบไว้

4.3 การทดลองโมดูลวีทสโตนบริดจ์

4.3.1 การทดลองการทำงานของวงจรวีทสโตนบริดจ์ แบบพาสซีฟ



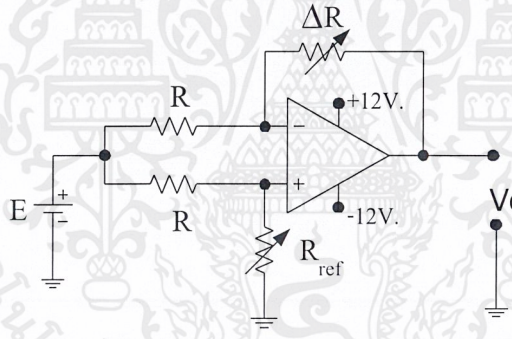
รูปที่ 4.3 วงจรบริดจ์แบบพาสซีฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองวงจรบริดจ์แบบพาสซีฟ

ปรับค่าความต้านทาน	แรงดัน
ค่าความต้านทาน ณ จุดที่บริดจ์สมดุล	0 V.
2	1.89 V.
4	1.19 V.
6	0.72 V.
8	0.34 V.
10	0 V.

4.3.2 การทดลองการทำงานของวงจรวีทสโตนบริดจ์ แบบแอคตีฟ



รูปที่ 4.4 วงจรบริดจ์แบบแอคตีฟ

ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองวงจรบริดจ์ชนิดแอคตีฟ

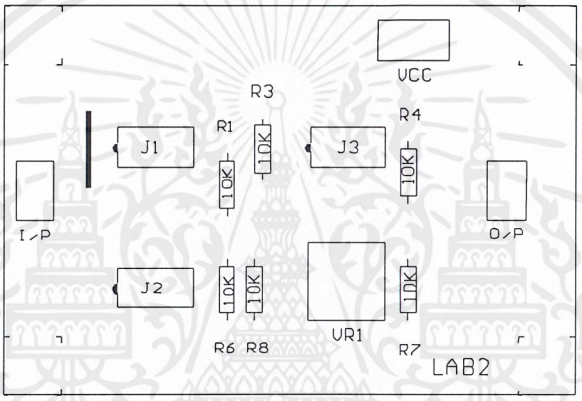
ปรับค่าความต้านทาน	แรงดัน
ค่าความต้านทาน ณ จุดที่บริดจ์สมดุล	0 V.
2	2.24 V.
4	1.54 V.
6	1.16 V.
8	0.52 V.
10	0.09 V.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลองโมดูลวีทสโตนบริดจ์

ปรากฏว่าค่าแรงดันเอาต์พุตที่ได้จากวงจรบริดจ์ทั้งสองแบบ เป็นไปตามทฤษฎี คือ เมื่อค่าความต้านทานของตัวต้านทานปรับค่าได้มีค่าเท่ากับค่าความต้านทานของตัวต้านทานที่แขนของวงจรบริดจ์ ก็จะทำให้วงจรบริดจ์เกิดสภาวะสมดุล หมายถึง แรงดันที่จุด A เทียบจุด B มีค่าท่ากับ 0 โวลต์

4.4 โมดูลการทดลองวงจรอินสตรูเมนต์แอมป์



รูปที่ 4.5 โมดูลการทดลองวงจรอินสตรูเมนต์แอมป์

ตารางที่ 4.3 บันทึกผลการทดลอง

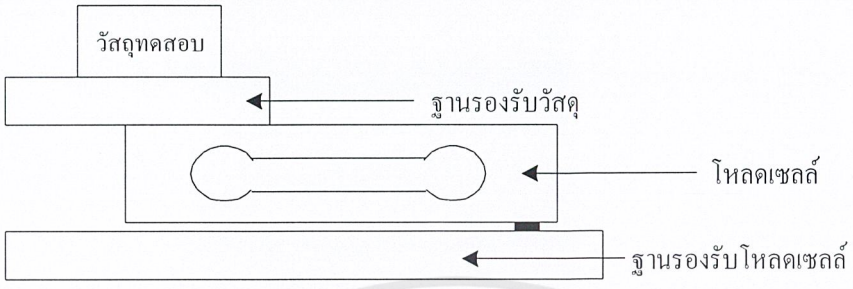
แรงดันอินพุต		แรงดันเอาต์พุต
V_1	V_2	Vo
0	0	0
3	0	-5.75
0	3	5.75

ผลการทดลองโมดูลวงจรอินสตรูเมนต์แอมป์

ผลปรากฏว่าวงจรอินสตรูเมนต์แอมป์ที่ได้ออกแบบไว้ สามารถตรวจวัดค่าความแตกต่างของสัญญาณอินพุตที่มีขนาดเล็กได้ดี (มีความไวสูง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 โมดูลการทดลองโหลดเซลล์



รูปที่ 4.6 ชุดทดลองโหลดเซลล์

ตารางที่ 4.4 ผลการทดลองการชั่งน้ำหนัก

น้ำหนักทดสอบ	แรงดันเอาต์พุต
0.5 กิโลกรัม	1.45 มิลลิโวลต์
1 กิโลกรัม	3.1 มิลลิโวลต์
1.5 กิโลกรัม	5.2 มิลลิโวลต์
2 กิโลกรัม	6.5 มิลลิโวลต์

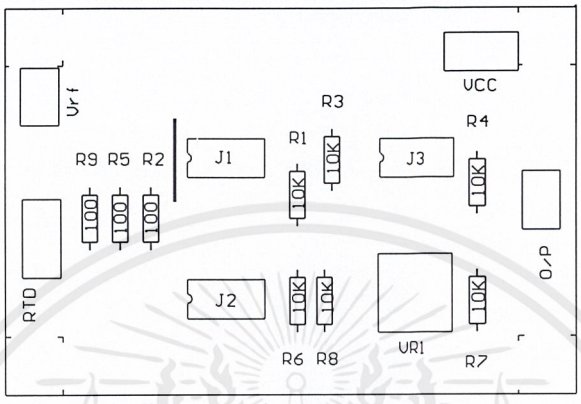
ผลการทดลองโมดูลโหลดเซลล์

ปรากฏว่าค่าแรงดันที่ออกมาจากโหลดเซลล์มีค่าน้อย แต่เมื่อนำแรงดันขนาดเล็กมาผ่านวงจรอินสตรูเมนต์แอมป์แล้ว ทำให้สามารถอ่านค่าความแตกต่างของแรงดันได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6 โมดูลการทดลองอาร์ทีดี

การทดลองวัดคุณสมบัติของอาร์ทีดี



รูปที่ 4.7 โมดูลอาร์ทีดี(Lab5-1)

ตารางที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับค่าความต้านทานของอาร์ทีดี

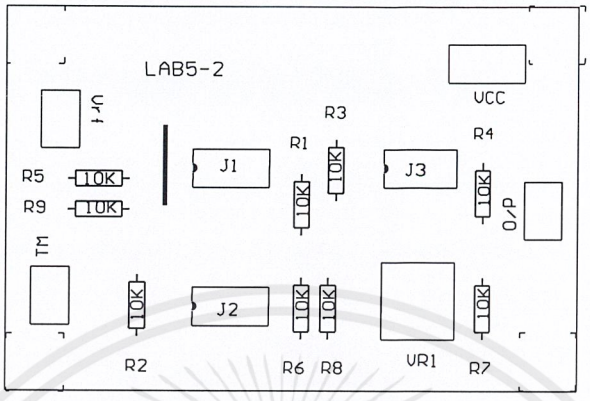
ค่าอุณหภูมิ	ค่าความต้านทาน	ค่าอุณหภูมิ	ค่าความต้านทาน
อุณหภูมิห้อง.....	110 Ω	100°C	180 Ω
40°C	120 Ω	110°C	190 Ω
50°C	130 Ω	120°C	200 Ω
60°C	140 Ω	130°C	205 Ω
70°C	150 Ω	140°C	210 Ω
80°C	160 Ω	150°C	215 Ω
90°C	170 Ω	160°C	220 Ω

ผลการทดลองโมดูลอาร์ทีดี

ปรากฏว่าหากอุณหภูมิเพิ่มขึ้นก็จะทำให้ ค่าความต้านทานจะเพิ่มขึ้นตามไปด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.7 โมดูลเทอร์มิสเตอร์



รูปที่ 4.8 โมดูลเทอร์มิสเตอร์(Lab5-2)

ตารางที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับค่าความต้านทานของเทอร์มิสเตอร์

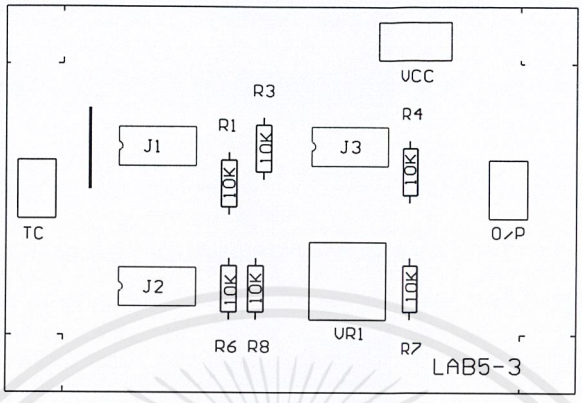
ค่าอุณหภูมิ	ค่าความต้านทาน	ค่าอุณหภูมิ	ค่าความต้านทาน
อุณหภูมิห้อง.....	9k Ω	100°C	285 Ω
40°C	3.5k Ω	110°C	270 Ω
50°C	1.2k Ω	120°C	270 Ω
60°C	600 Ω	130°C	270 Ω
70°C	310 Ω	140°C	265 Ω
80°C	290 Ω	150°C	265 Ω
90°C	290 Ω	160°C	250 Ω

ผลการทดลองโมดูลเทอร์มิสเตอร์

ปรากฏว่า เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นค่าความต้านทานที่เทอร์มิสเตอร์ปล่อยออกมาจะลดลงเรื่อยๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.8 โมดูลเทอร์โมคัปเปิ้ล



รูปที่ 4.9 โมดูลเทอร์โมคัปเปิ้ล(Lab5-3)

ตารางที่ 4.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับค่าแรงดันของ เทอร์โมคัปเปิ้ล

ค่าอุณหภูมิ	ค่าแรงดัน	ค่าอุณหภูมิ	ค่าแรงดัน
อุณหภูมิห้อง.....	10 มิลลิโวลต์	100°C	80 มิลลิโวลต์
40°C	20 มิลลิโวลต์	110°C	90 มิลลิโวลต์
50°C	30 มิลลิโวลต์	120°C	100 มิลลิโวลต์
60°C	40 มิลลิโวลต์	130°C	130 มิลลิโวลต์
70°C	55 มิลลิโวลต์	140°C	170 มิลลิโวลต์
80°C	60 มิลลิโวลต์	150°C	190 มิลลิโวลต์
90°C	70 มิลลิโวลต์	160°C	220 มิลลิโวลต์

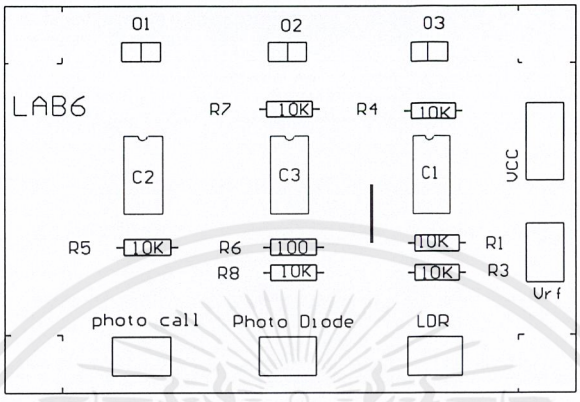
ผลการทดลองโมดูลเทอร์โมคัปเปิ้ล

ปรากฏว่าค่าแรงดันที่อ่านได้จากมัลติมิเตอร์มีความเป็นสัดส่วน ซึ่งสามารถบอกถึงปริมาณของความร้อนที่เพิ่มขึ้นอย่างเป็นลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.9 โมดูลการทดลอง แอลดีอาร์ เซลล์แสงอาทิตย์ และโฟโต้ไดโอด

4.9.1 แอลดีอาร์



รูปที่ 4.10 โมดูลแอลดีอาร์ เซลล์แสงอาทิตย์ และโฟโต้ไดโอด

ตารางที่ 4.8 ผลการทดลองการวัดค่าแรงดันเอาต์พุต

ระดับของความเข้มของแสง	Vout
1	3.00 โวลต์
2	2.45 โวลต์
3	2.25 โวลต์
4	2.25 โวลต์
5	2.25 โวลต์

ผลการทดลองแอลดีอาร์

ปรากฏว่า เมื่อแอลดีอาร์ได้รับพลังงานแสงสว่างค่าความต้านทานจะลดทำให้แรงดันลดตามไปด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.9.2 เซลล์แสงอาทิตย์

ตารางที่ 4.9 ผลการทดลองวัดแรงดันเอาต์พุตที่ได้จากการทดลองเซลล์แสงอาทิตย์

ระดับของความเข้มของแสง	Vout
1	0.5 โวลต์
2	0.75 โวลต์
3	1.25 โวลต์
4	1.65 โวลต์
5	2.00 โวลต์

ผลการทดลองเซลล์แสงอาทิตย์

ปรากฏว่าค่าแรงดันเอาต์พุตที่ได้มีขนาดใหญ่ขึ้นเนื่องจากถูกขยายโดยออปแอมป์

4.9.3 โฟโต้ไดโอด

ตารางที่ 4.10 ผลการทดลองการวัดแรงดันเอาต์พุตของการทดลองโฟโต้ไดโอด

ระดับของความเข้มของแสง	Vout
1	0 โวลต์
2	4.6 โวลต์
3	4.6 โวลต์
4	4.6 โวลต์
5	4.6 โวลต์

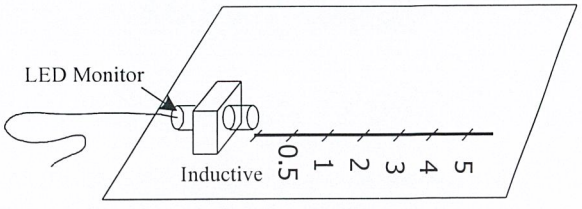
ผลการทดลองโฟโตไดโอด

ปรากฏว่าเมื่อโฟโต้ไดโอดได้รับแสงสว่างมันก็จะนำกระแสทันที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.10 ชุดฝึกพร๊อกซิมิตี้เซนเซอร์

4.10.1 อินดักตีฟพร๊อกซิมิตี้เซนเซอร์



รูปที่ 4.11 การทดลองการวัดระยะของพร๊อกซิมิตี้เซนเซอร์ชนิดอินดักตีฟ

ตารางที่ 4.11 ผลการทดลองพร๊อกซิมิตี้เซนเซอร์ชนิดอินดักตีฟ

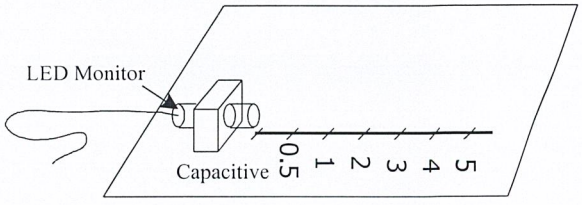
ชนิดวัตถุ	ระยะทาง(ซ.ม.)					
	5	4	3	2	1	0.5
เหล็ก	0	0	1	1	1	1
ทองแดง	0	0	0	1	1	1
ทองเหลือง	0	0	0	1	1	1
อลูมิเนียม	0	0	0	1	1	1
พลาสติก	0	0	0	0	0	0
ไม้	0	0	0	0	0	0

ผลการทดลองอินดักตีฟพร๊อกซิมิตี้เซนเซอร์

ปรากฏว่า ถ้าวัตถุทดสอบเป็นโลหะ แอลอีดีมอนิเตอร์ก็จะทำงาน เนื่องจากคุณสมบัติของอินดักตีฟพร๊อกซิมิตี้เซนเซอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.10.2 คาปาซิตีฟพร๊อกซิมิตี้เซนเซอร์



รูปที่ 4.12 การทดลองการวัดระยะของพร๊อกซิมิตี้เซนเซอร์ชนิดคาปาซิตีฟ

ตารางที่ 4.12 ผลการทดลองเซนเซอร์แบบคาปาซิตีฟ

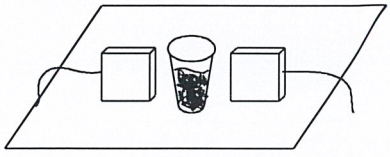
ชนิดวัตถุ	ระยะทาง(ซ.ม.)					
	5	4	3	2	1	0.5
เหล็ก	0	0	1	1	1	1
ทองแดง	0	0	1	1	1	1
ทองเหลือง	0	0	1	1	1	1
อลูมิเนียม	0	0	1	1	1	1
พลาสติก	0	0	0	1	1	1
ไม้	0	0	0	1	1	1

ผลการทดลองคาปาซิตีฟพร๊อกซิมิตี้เซนเซอร์

ปรากฏว่า หากนำวัตถุที่เป็น โลหะ และ อโลหะ แอลอีดีมอนิเตอร์ก็จะทำงาน เนื่องจากคุณสมบัติของคาปาซิตีฟพร็อกซิมิตี้เซนเซอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.10.3 ออปติคอลพร๊อกซิมิตี้เซนเซอร์



รูปที่ 4.13 การทดลองการวัดระยะของพร๊อกซิมิตี้เซนเซอร์ชนิดออปติคอล

ตารางที่ 4.13 ผลการทดลอง เซนเซอร์ชนิดออปติคอล

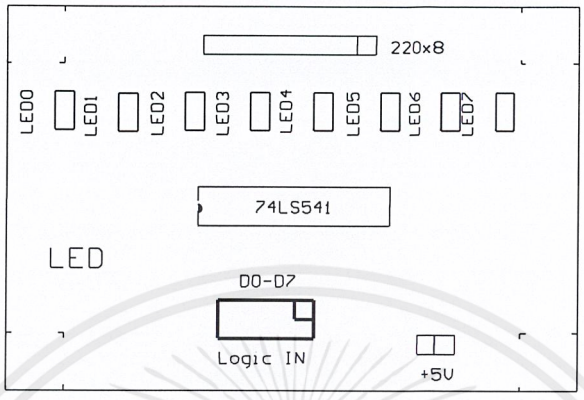
ชนิดชิ้นงาน	ผลการทำงาน
กระดาษ A4 1แผ่น	ทำงาน
พลาสติกใส	ทำงาน
น้ำอยู่ในแก้ว	ทำงาน
พลาสติกขุ่น	ไม่ทำงาน
กระจก	ทำงาน

ผลการทดสอบพร็อกซิมิตี้เซนเซอร์ชนิดออปติคอล

ปรากฏว่าสามารถตรวจจับได้เฉพาะวัตถุโปร่งแสง เนื่องจากเป็นการส่งแสงอินฟาเรด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.11 โมดูลแสดงผลข้อมูล 8 บิต

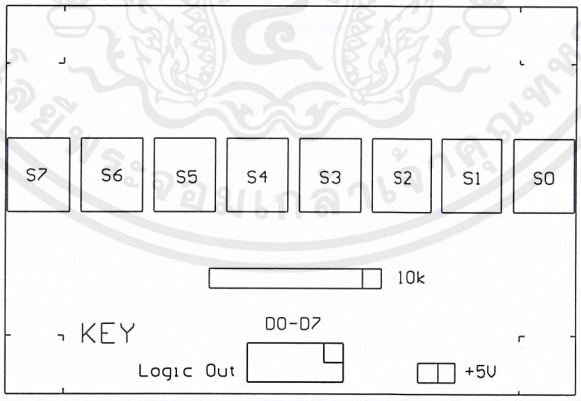


รูปที่ 4.14 โมดูลแสดงผลข้อมูล 8 บิต

ผลการทดสอบ และผลการทดลอง

ปรากฏว่า โมดูลแสดงผลข้อมูล 8 บิต สามารถทำงานได้ตรงตามที่ได้ออกแบบไว้

4.12 โมดูลลอจิกสวิตช์ 8 บิต



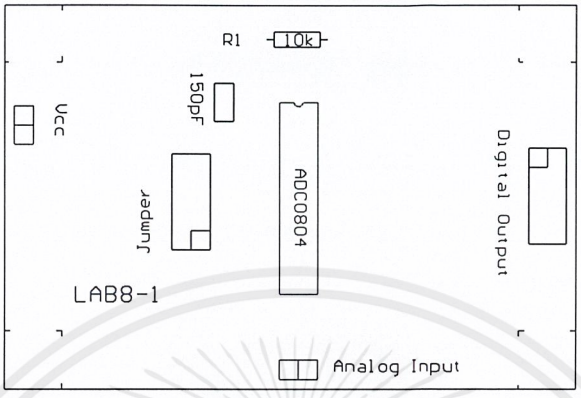
รูปที่ 4.15 โมดูลลอจิกสวิตช์ 8 บิต

ผลการทดสอบ

ปรากฏว่า โมดูลลอจิกสวิตช์ทำงานได้ ตามตรงตามที่ได้ออกแบบไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.13 โมดูลแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล โดยใช้ไอซี ADC0804



รูปที่ 4.16 โมดูลแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล

ตารางที่ 4.14 ผลการผลการทดลองโมดูลแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล

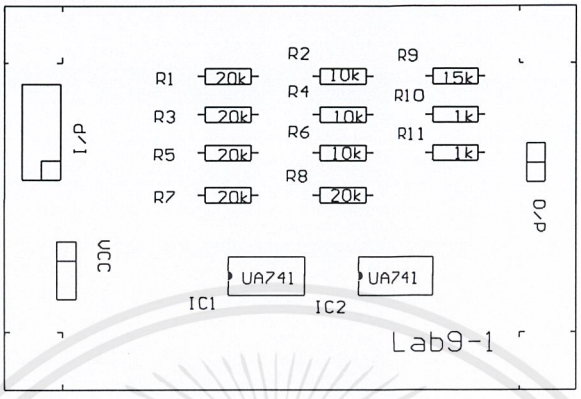
Vin	เอาต์พุตเมื่อขา WR ต่อกับลอจิกสวิตซ์								เอาต์พุตเมื่อขา WR ต่อกับขา INTR							
	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
1V	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	1
1.5V	0	1	0	1	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	1	0
2.0V	0	1	1	0	1	0	1	1	0	1	1	0	1	0	1	0
2.5V	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0
3.0V	1	0	0	1	1	1	1	0	1	0	0	1	1	1	1	0
3.5V	1	0	1	1	0	1	1	0	1	0	1	1	0	1	1	0
4.0V	1	1	0	1	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0
4.5V	1	1	1	0	1	0	1	0	1	1	1	0	1	0	1	0
5.0V	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

ผลการทดลอง และการทดสอบ

ปรากฏว่าโมดูลแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นสัญญาณดิจิตอลสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิ์ภาพ ตรงตามที่ได้ออกแบบเอาไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.14 โมดูลวงจร R-2R แลดเดอร์



รูปที่ 4.17 โมดูลแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นสัญญาณแอนะลอกแบบ R-2R แลดเดอร์

ตารางที่ 4.15 ผลการทดลองวงจร D/A แบบ R–2R แลดเดอร์

ข้อมูลอินพุต	แรงดันเอาต์พุต (Vout)	
D3 – D0	ค่าที่ได้จากคำนวณ	ค่าที่ได้จากการทดลอง
0000	0	0
0001	0.31	0.29
0010	0.62	0.60
0011	1.87	1.83
0100	1.25	1.20
0101	1.56	1.49
0110	1.87	1.82
0111	2.18	2.12
1000	2.50	2.31
1001	2.81	2.59
1010	3.12	3.02
1011	3.43	3.36
1100	3.75	3.53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

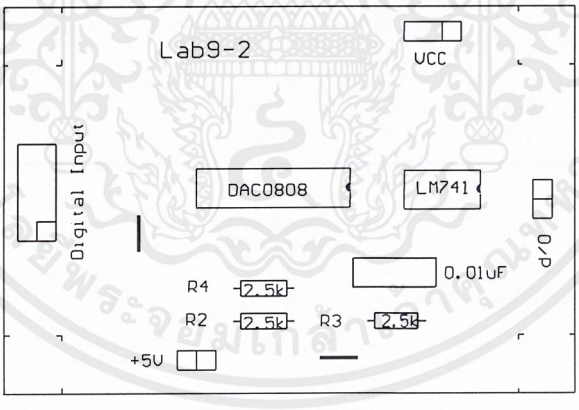
ตารางที่ 4.15 (ต่อ)

ข้อมูลอินพุต	แรงดันเอาต์พุต (Vout)	
D3 – D0	ค่าที่ได้จากคำนวณ	ค่าที่ได้จากการทดลอง
1101	4.06	3.89
1110	4.37	4.24
1111	4.68	4.5

ผลการทดลอง และการทดสอบ

ปรากฏว่าวงจรแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นสัญญาณแอนะลอกสามารถทำงานได้ใกล้เคียงค่าที่ได้จากการคำนวน

4.15 โมดูลแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นสัญญาณแอนะลอก โดยใช้ไอซี DAC0808



รูปที่ 4.18 โมดูลแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นสัญญาณแอนะลอกโดยใช้ไอซี DAC0808

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.16 ผลการทดลอง DAC0808

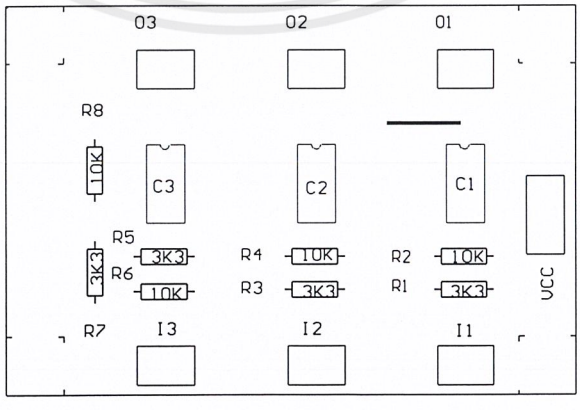
อินพุต D7 – D0	Vout (โวลต์)
00000000	0
00000001	0.02
00000010	0.04
00000100	0.07
00001000	0.18
00010000	0.30
00100000	0.65
01000000	1.25
11111111	5

ผลการทดสอบ

ปรากฏว่า แรงดันเอาต์พุตที่ได้มีความใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการคำนวณ ซึ่งสามารถปรับแต่งค่าของแรงดันเอาต์พุตได้โดยการปรับอัตราขยายของออปแอมป์ให้เหมาะสม

4.16 ตัวควบคุมแบบพี (P-Element)

4.16.1 วงจรขยายแบบพีชนิดไม่กลับเฟส



รูปที่ 4.19 โมดูลตัวควบคุมแบบพี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.17 ผลการทดลองวงจรขยายแบบพีชนิดกลับเฟส

V1(Vp-p)	V2(Vp-p)	$v = \frac{V_2}{V_1}$
1	-3	-3
2	-6	-3
3	-9	-3
4	-12	-3
5	-15	-3

ผลการทดสอบ

ปรากฏว่า โมดูลวงจรควบคุมแบบพี ชนิดกลับเฟส สามารถให้เอาต์พุตที่ตรงตามทฤษฎี

ตารางที่ 4.18 ผลการวัดสัญญาณเอาต์พุต (V_2) ของวงจรขยายแบบพีชนิดไม่กลับเฟส

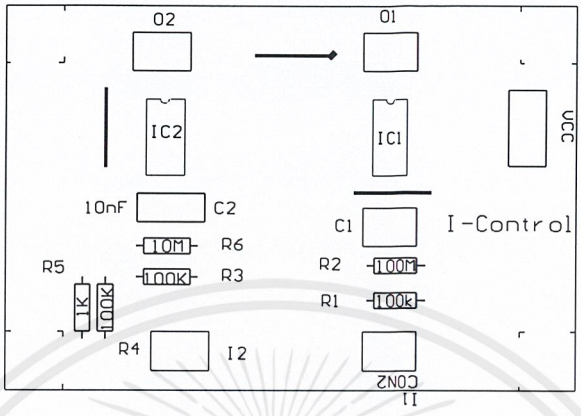
V1(Vp-p)	V2(Vp-p)	$v = 1 + \frac{V_2}{V_1}$
1	3	3
2	6	3
3	9	3
4	12	3
5	15	3

ผลการทดลอง และผลการทดสอบ

ปรากฏว่า วงจรตัวควบคุมแบบพีชนิด ไม่กลับเฟสจะให้เอาต์พุตเหมือนกับวงจรแบบกลับเฟส แต่แตกต่างกันที่เฟสของสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.17 ตัวควบคุมแบบไอ(I-Element)



รูปที่ 4.20 โมดูล ตัวควบคุมแบบไอ

ตารางที่ 4.19 ผลการทดลองวงจรควบคุมแบบไอชนิดกลับเฟส

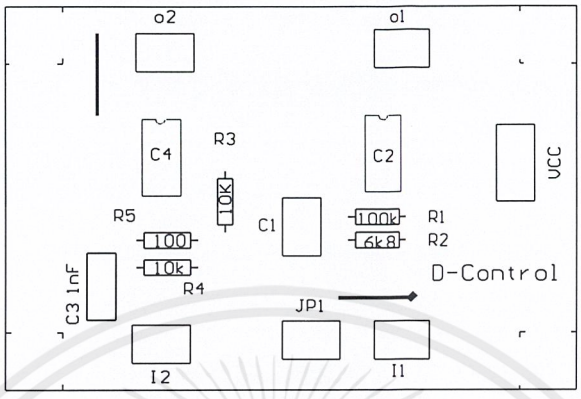
C	Rate of rise
1 nF	10ms
4.7 nF	25ms
10 nF	30ms

ผลการทดลอง และการทดสอบ

ปรากฏว่าหากค่าความจุของตัวเก็บประจุมีค่ามากขึ้น ก็จะทำให้ มีช่วงเวลาไต่ขึ้นที่มากขึ้นตามไปด้วย ทั้งนี้เนื่องมาจากคุณสมบัติของอุปกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.18 ตัวควบคุมแบบดี (D-Element)



รูปที่ 4.21 โมดูลตัวควบคุมแบบดี

ตารางที่ 4.20 ผลการวัดค่าTime constant

C	V_2(Measured)
1 nF	10 ms
4.7 nF	35 ms
10 nF	45 ms

ผลการทดลอง และผลการสอบ

ปรากฏว่า รูปคลื่นเอาต์พุตที่ได้มีลักษณะที่ใกล้เคียงกับทฤษฎีวงจรควบคุมแบบดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
บทสรุป ปัญหา แนวทางการแก้ไข และการพัฒนา

5.1 บทสรุป

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นการนำเสนอชุดทดองเซนเซอร์ และทรานสดิวเซอร์ ซึ่งเป็นการรวบรวมการทดลองเกี่ยวกับอุปกรณ์ทรานสดิวเซอร์ชนิดต่างๆ ไว้ในชุดเดียวกันเพื่อเป็นการปูพื้นฐานให้เกิดความเข้าใจในอุปกรณ์ทรานสดิวเซอร์ขั้นพื้นฐาน เพื่อเพิ่มทักษะ และ สามารถนำความรู้ที่ได้ไปประยุกต์ใช้กับงานกับงานอื่นๆได้ในอนาคต

อย่างไรก็ดีในการจัดทำชุดทดลองเซนเซอร์ และทรานสดิวเซอร์นี้ ประสบปัญหาในการจัดทำหลายประการ จึงขอเสนอแนวทางการแก้ไขปัญหา และการพัฒนาที่น่าจะเป็นไปได้

5.2 ปัญหาที่เกิดขึ้นในการจัดทำโครงงาน

1. ราคาของอุปกรณ์เซนเซอร์ และทรานสดิวเซอร์ส่วนใหญ่มีราคาสูง และหาซื้อได้ยาก
2. การสร้างแผ่นวงจรพิมพ์ที่ผิดพลาดเนื่องมาจากโปรแกรมที่ใช้ในการออกแบบ
3. เนื่องจากอุปกรณ์ทรานสดิวเซอร์บางอย่าง ไม่สามารถหาซื้อได้ จึงต้องมีการสร้างขึ้นเอง แต่ก็ประสพปัญหาขาดแคลนอุปกรณ์ และเครื่องมือ

5.3 แนวทางการแก้ไขพัฒนาโครงงาน

1. น่าจะมีการพิจารณาหางบสนับสนุนพิเศษสำหรับโครงงานบางตัวที่ สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้อย่างกว้างขวาง
2. ควรใช้ความพิถีพิถันเป็นอย่างมากก่อนทำการออกแบบลายวงจร ควรตรวจสอบอุปกรณ์ว่าครบถ้วนแล้วหรือยังเพื่อป้องกันปัญหาอุปกรณ์บางตัวขาดหายไป
3. น่าจะได้รับการสนับสนุนเครื่องมือบางประเภทให้มากกว่านี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

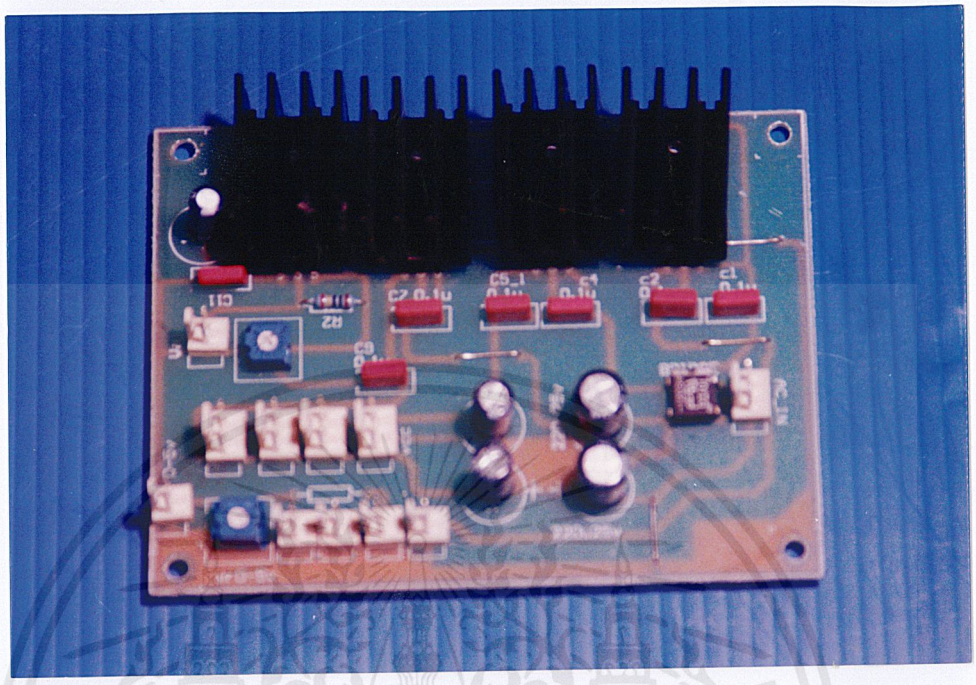
5.4 ประโยชน์ที่จะได้รับ

1. ได้ความรู้เกี่ยวกับลักษณะการทำงานของอุปกรณ์ทรานสดิวเซอร์ชนิดต่างๆ
2. ได้ชุดทดลองเซนเซอร์ และทรานสดิวเซอร์ และใบงานประกอบการทดลอง
3. ได้เครื่องต้นแบบของชุดทดลอง และใบงานการทดลอง
4. ได้นำชุดทดลอง และใบงานการทดลองไปใช้งาน

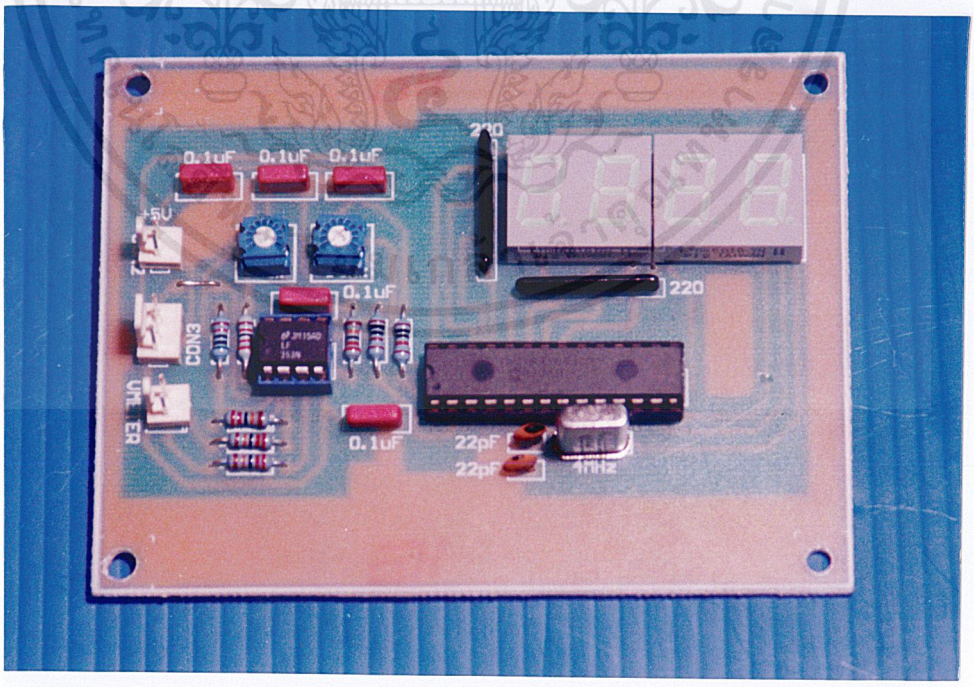
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก
โมดูลต้นแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

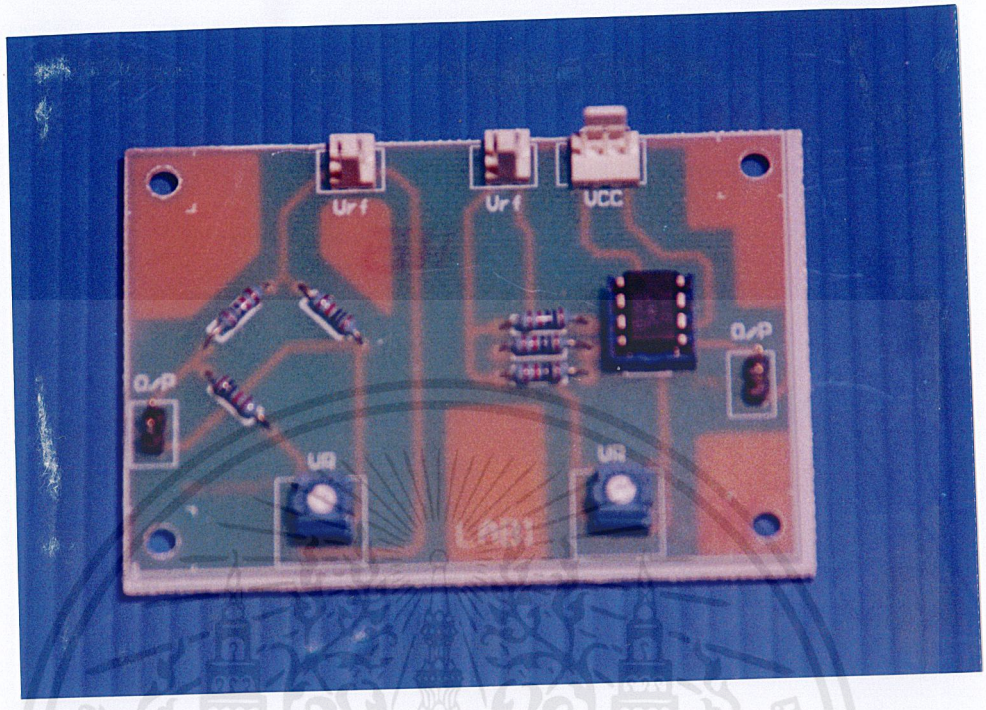


รูปที่ ก.1 โมดูลภาคจ่ายไฟ

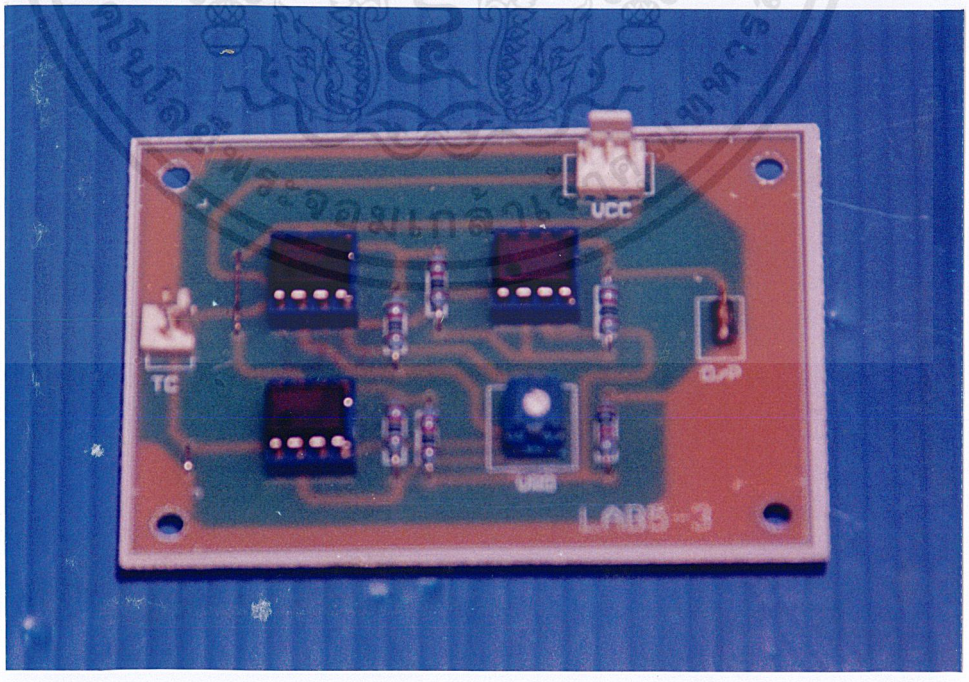


รูปที่ ก.2 โมดูลโวลต์มิเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

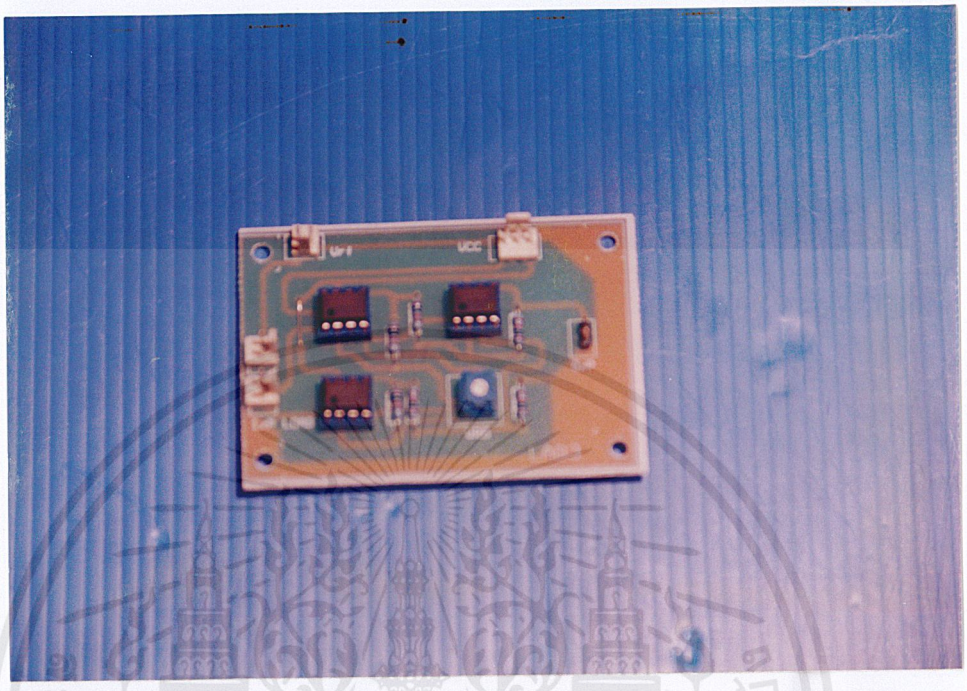


รูปที่ ก.3 โมดูลการทดลองวงจรวีทสโตนบริดจ์

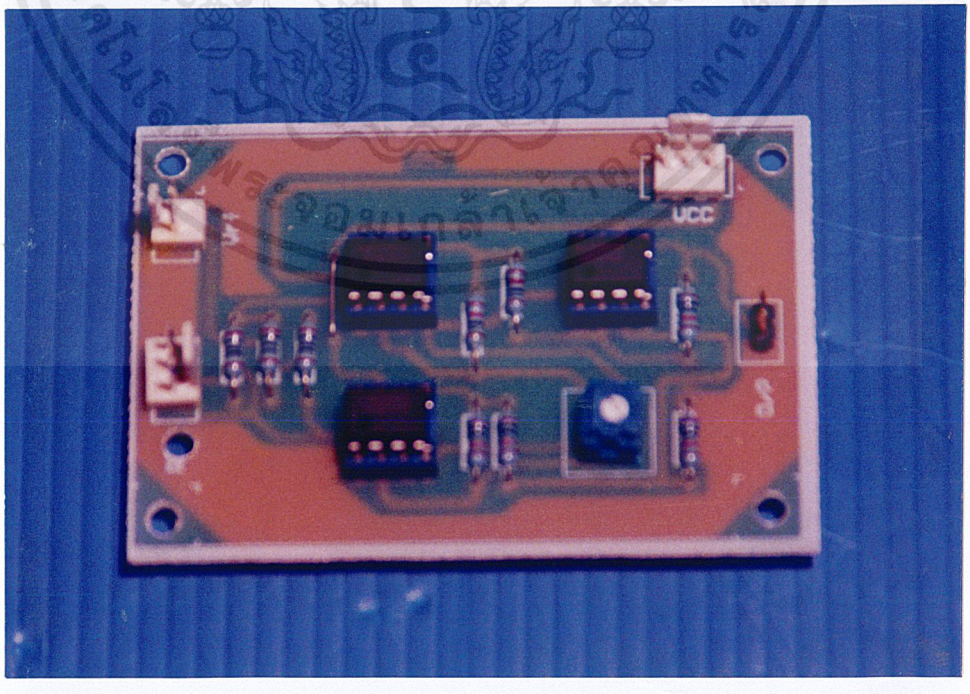


รูปที่ ก.4 โมดูลการทดลองวงจรอินสตรูเมนต์แอมป์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

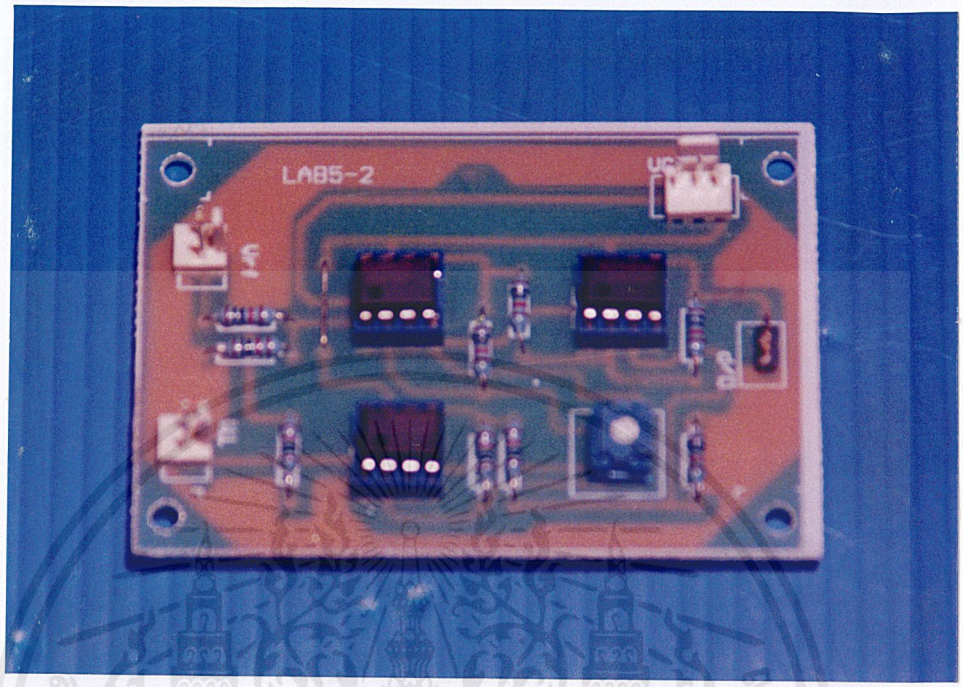


รูปที่ ก.5 โมดูลการทดลองโหลดเซลล์

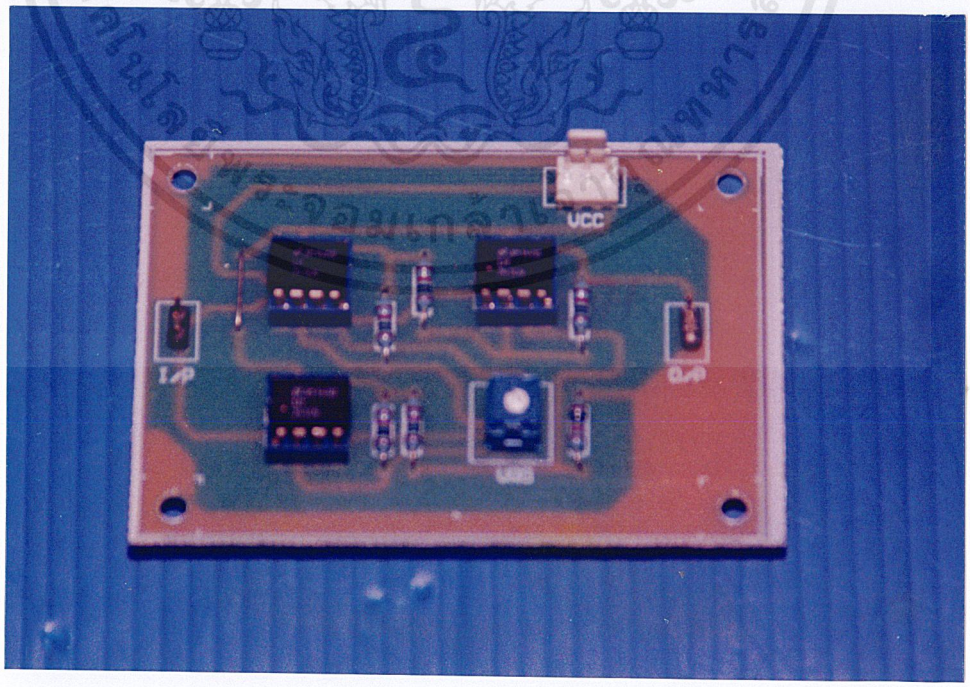


รูปที่ ก.6 โมดูลการทดลอง อาร์ทีดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

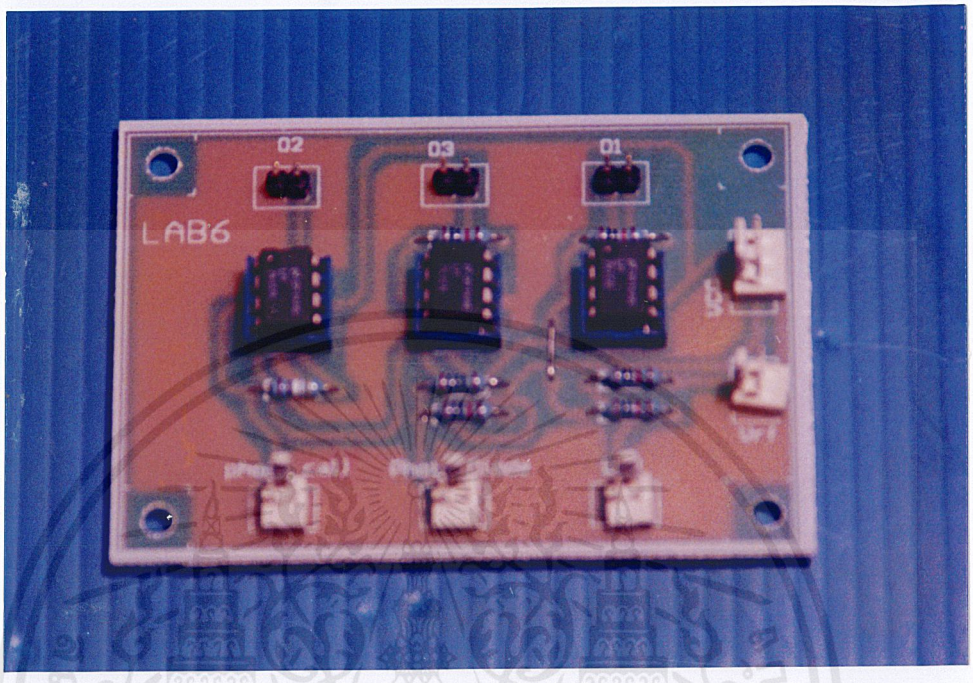


รูปที่ ก.7 โมดูลการทดลอง เทอร์มิสเตอร์

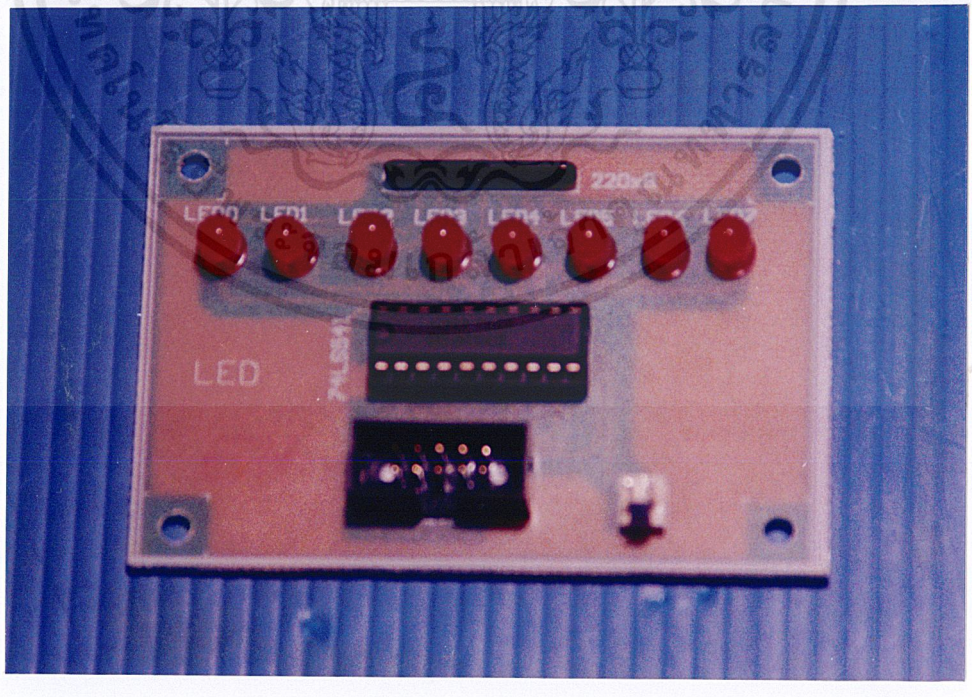


รูปที่ ก.8 โมดูลการทดลอง เทอร์โมคัปเปิ้ล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

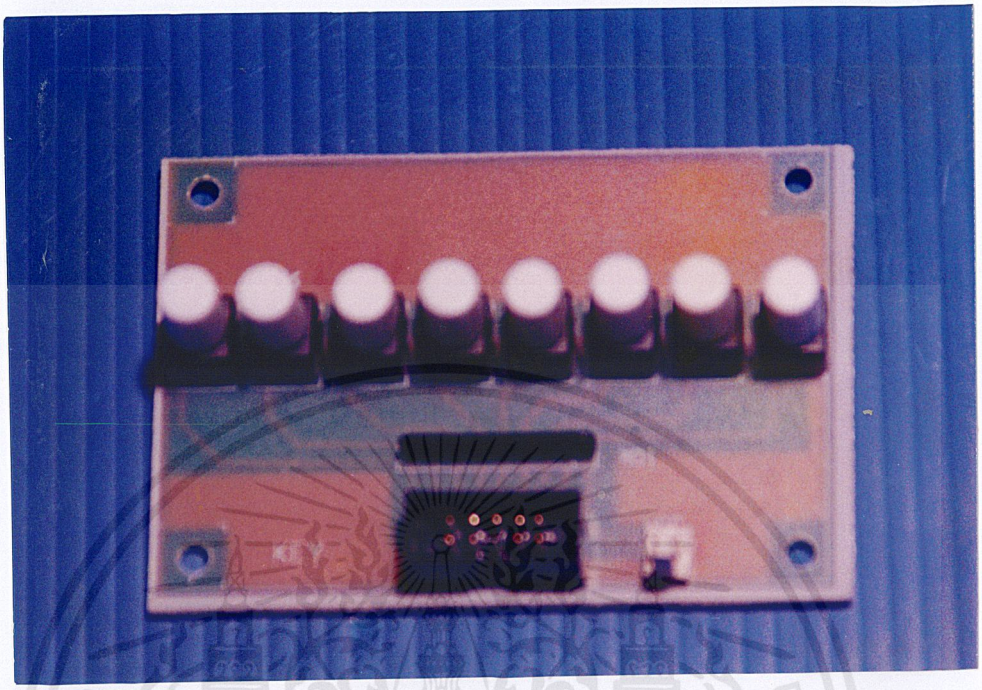


รูปที่ ก.9 โมดูลการทดลอง แอลดีอาร์ เซลล์แสงอาทิตย์ และโฟโตไดโอด

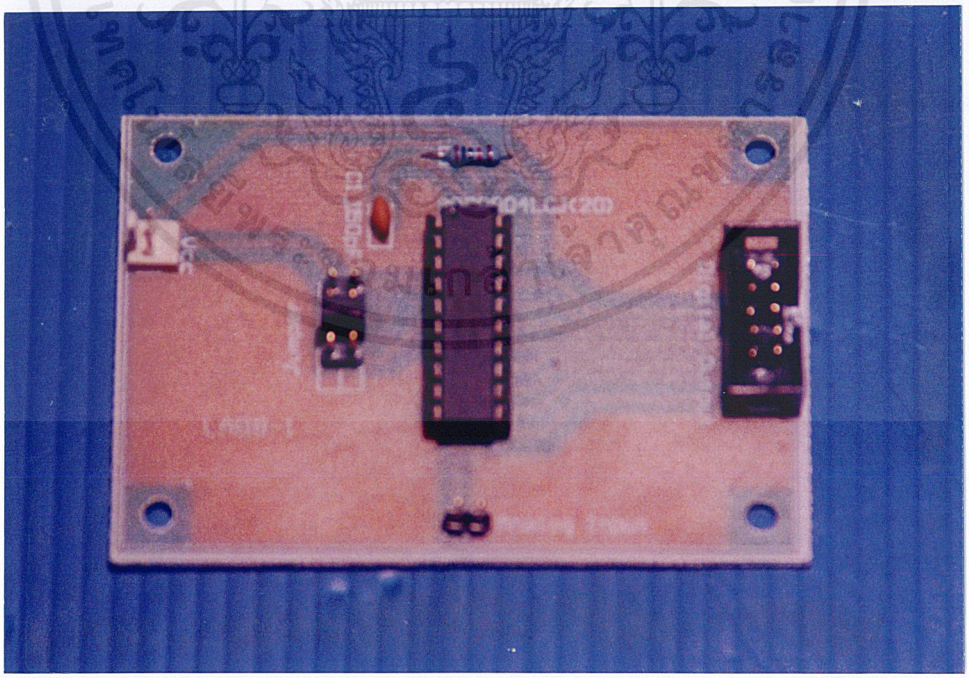


รูปที่ ก.10 โมดูลแสดงผลข้อมูล 8 บิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

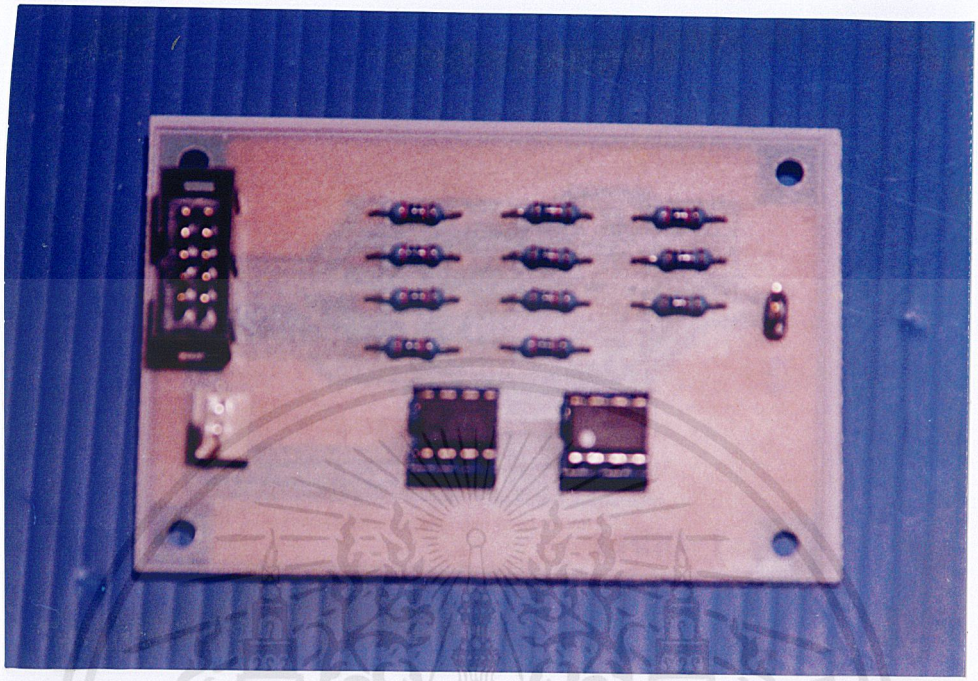


รูปที่ ก.11 โมดูลลอจิกสวิตช์ขนาด 8 บิต

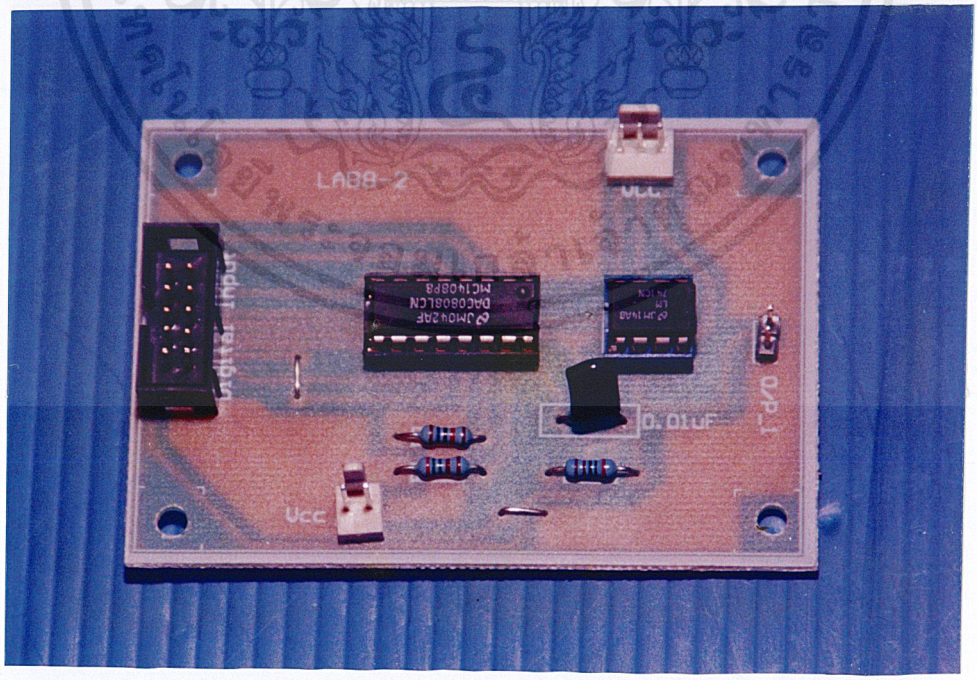


รูปที่ ก.12 โมดูลแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล โดยใช้ไอซี ADC0804

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

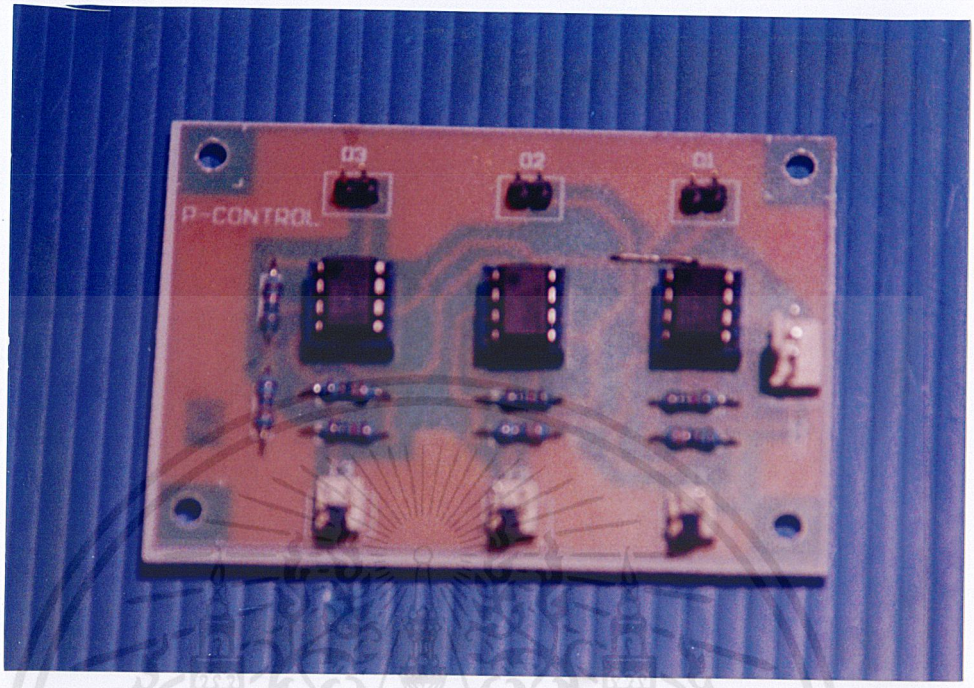


รูปที่ ก.13 โมดูลแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นสัญญาณแอนะลอก โดยใช้วงจร R-2R แลดเดอร์

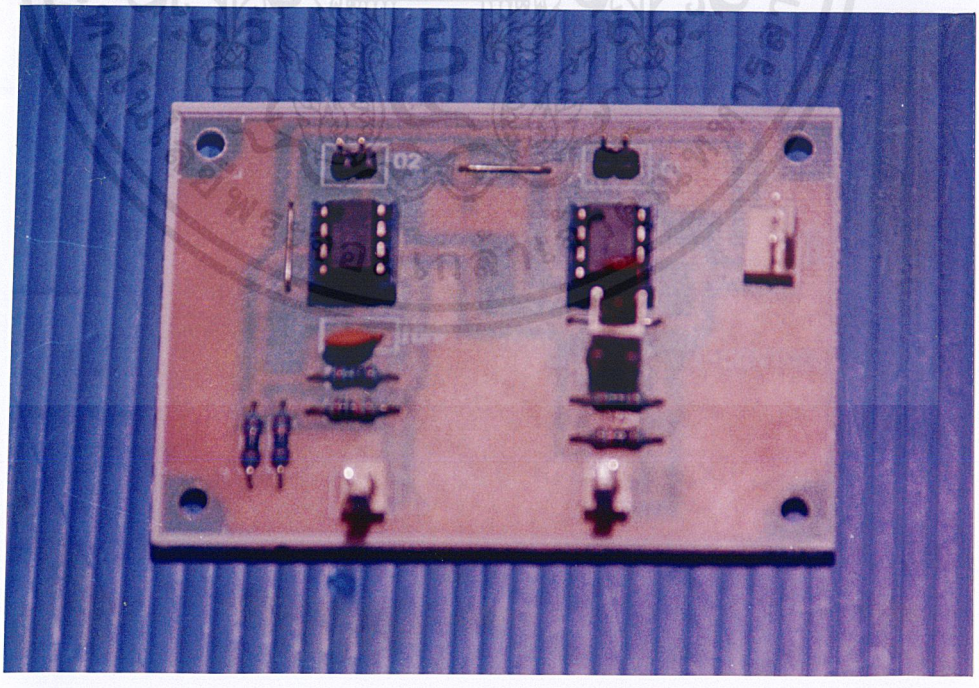


รูปที่ ก.14 โมดูลแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นสัญญาณแอนะลอก โดยใช้ไอซี DAC0808

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

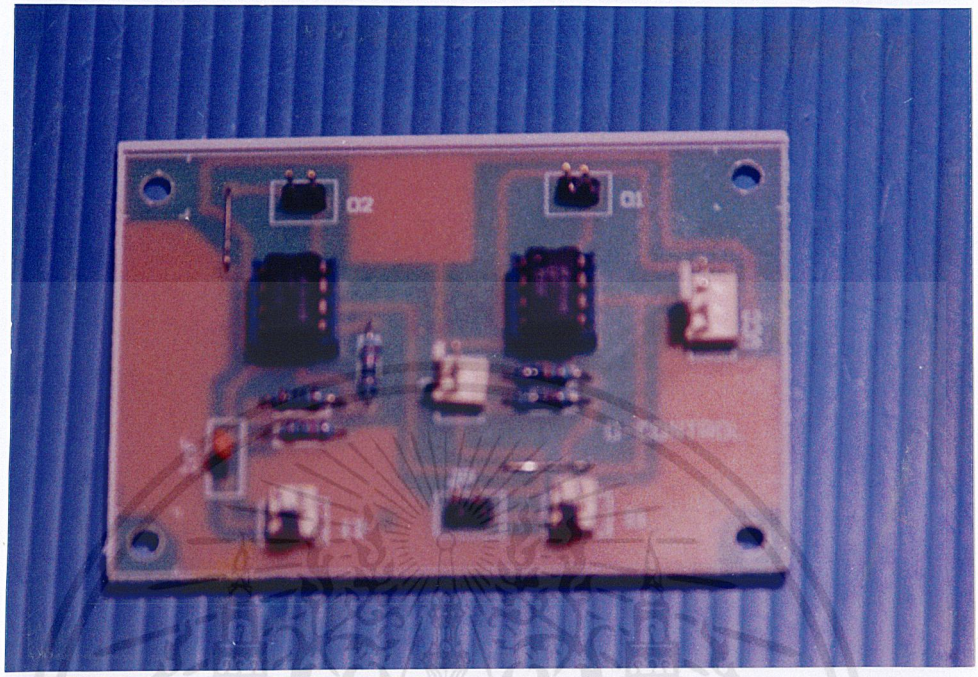


รูปที่ ก.15 โมดูลวงจรควบคุมแบบพี

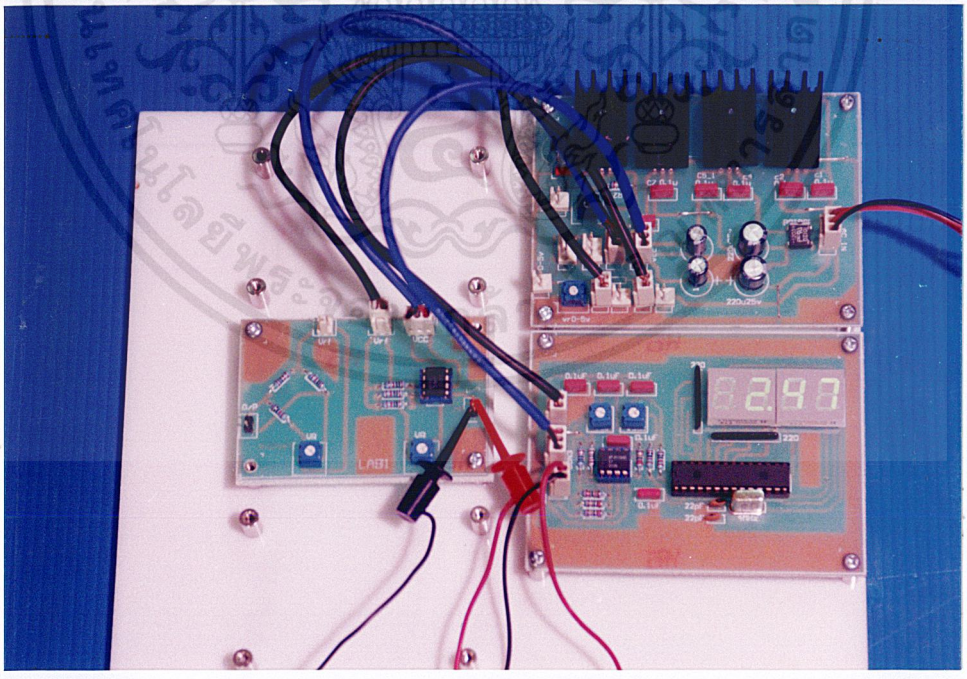


รูปที่ ก.16 โมดูลวงจรควบคุมแบบไอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

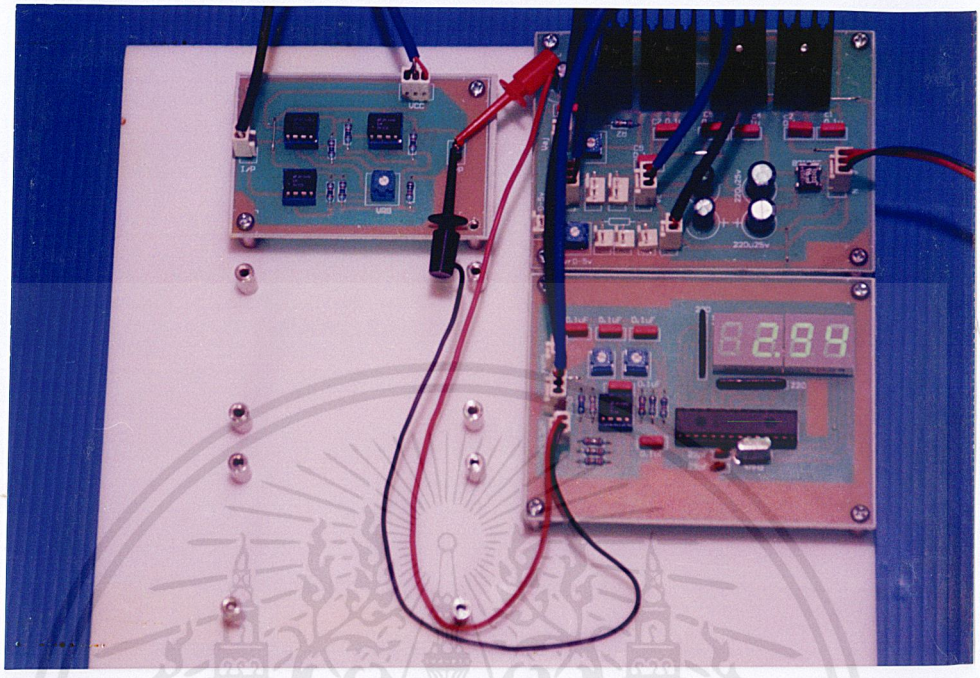


รูปที่ ก.17 โมดูลวงจรควบคุมแบบดี

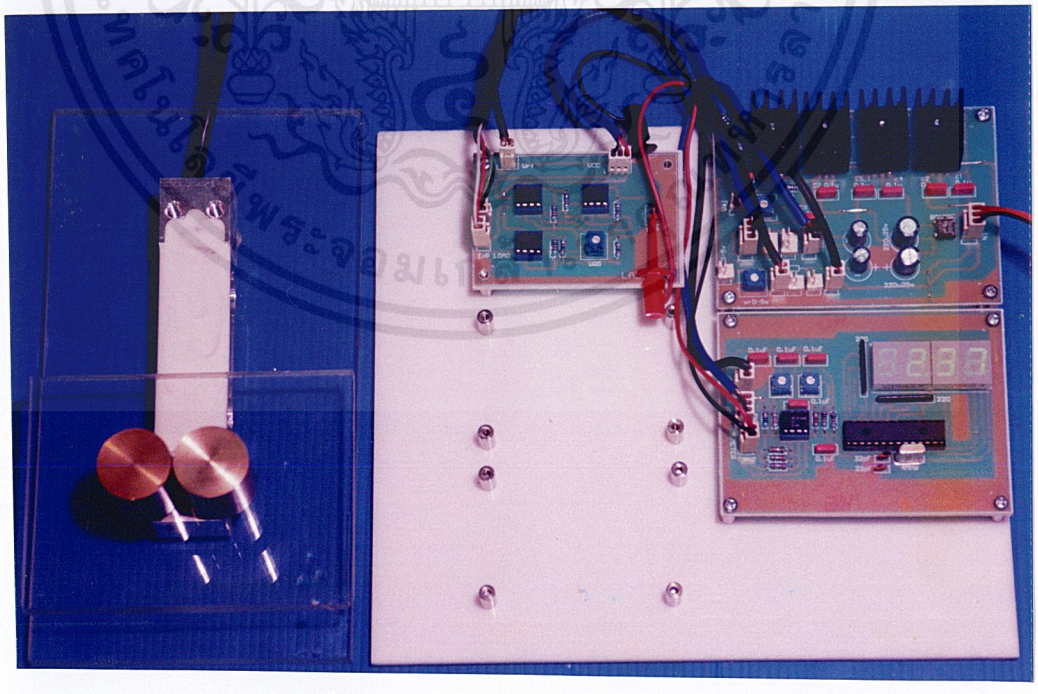


รูปที่ ก.18 การทดลองวงจรวีทสโตนบริดจ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

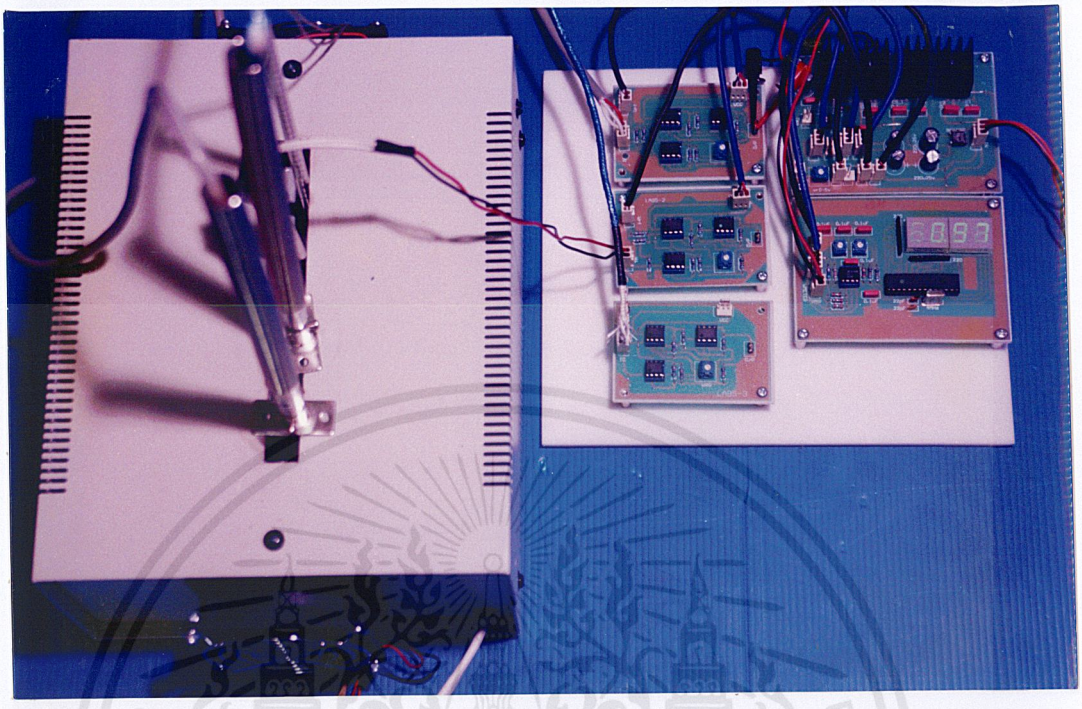


รูปที่ ก.19 การทดลองวงจรอินสตรูเมนต์แอมป์

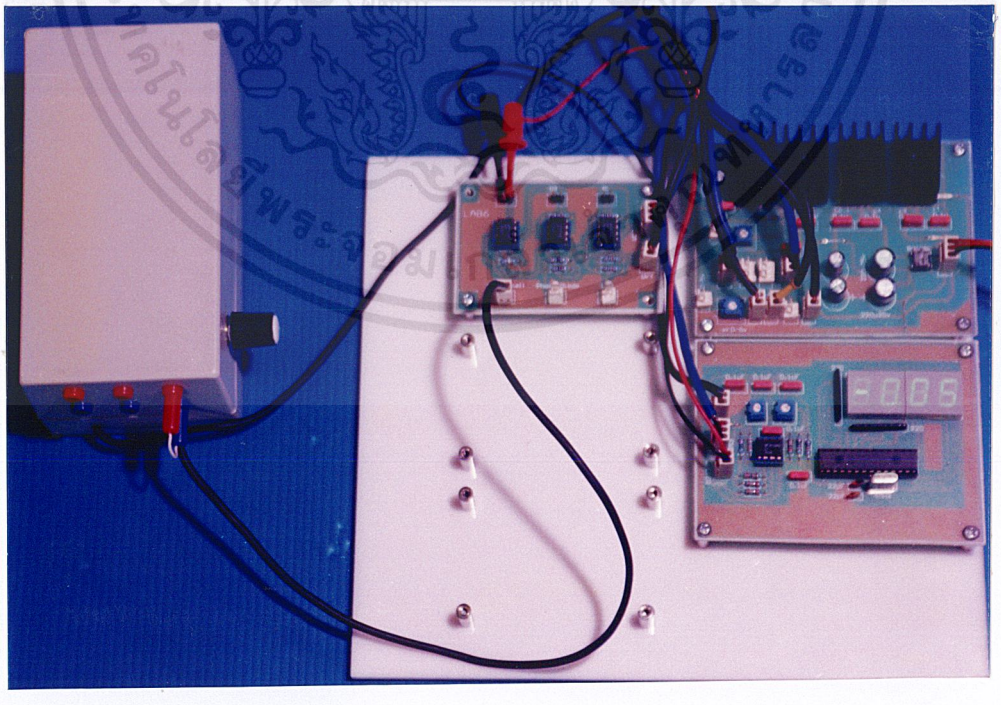


รูปที่ ก.20 การทดลองโหลดเซลล์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

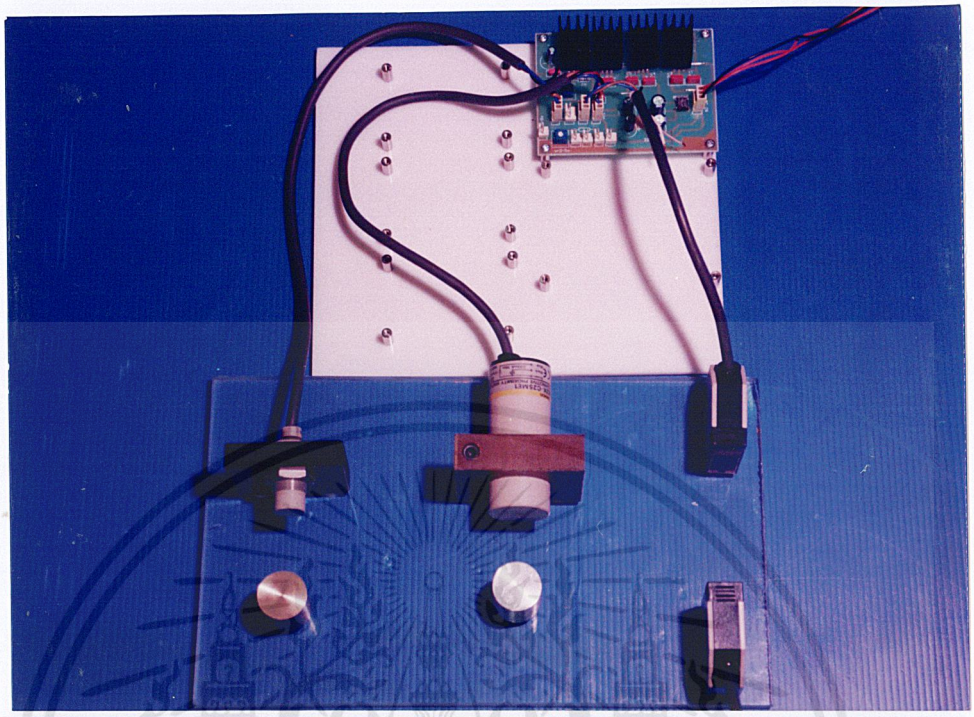


รูปที่ ก.21 การทดลองการวัดอุณหภูมิจากอุปกรณ์ตรวจวัด 3 ชนิด

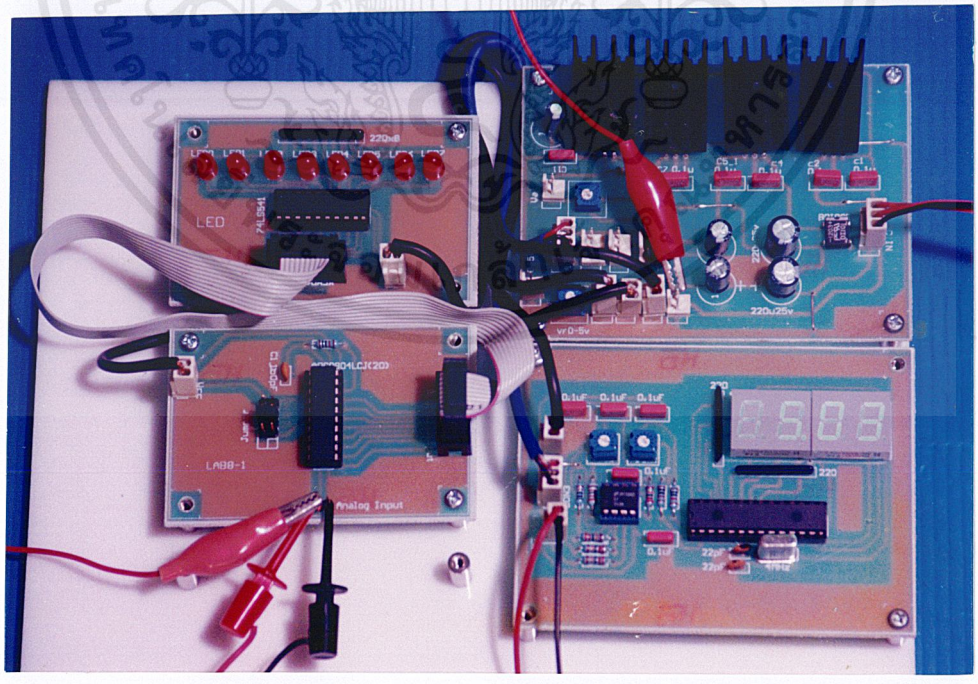


รูปที่ ก.22 การทดลองเรื่อง แอลดีอาร์ เซลล์แสงอาทิตย์ และโฟโตไดโอด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

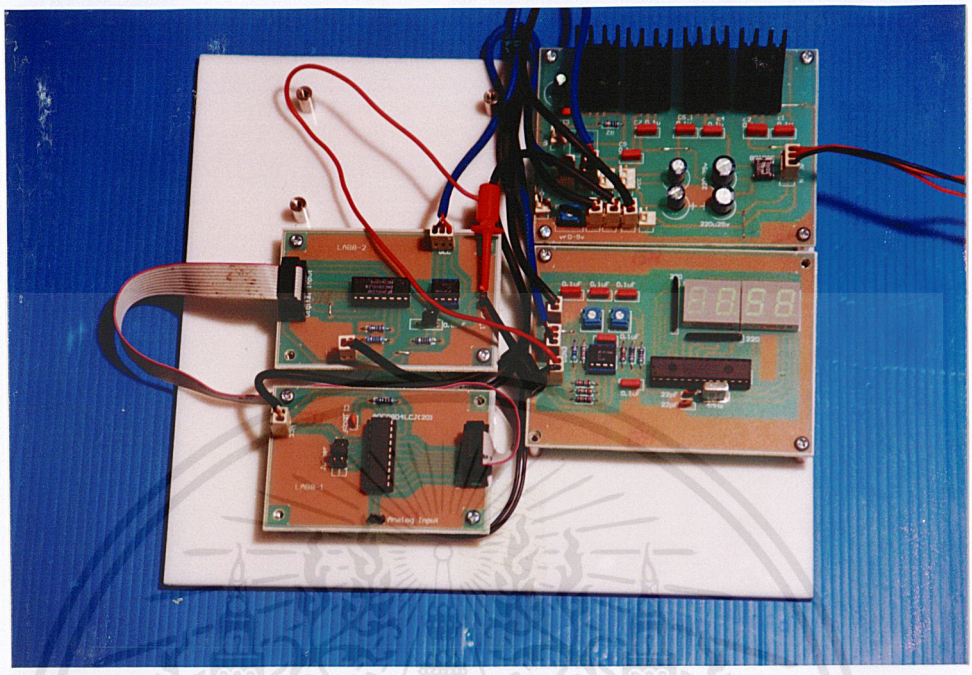


รูปที่ ก.23 การทดลองพร๊อกซิมิตี้เซนเซอร์ ทั้ง 3 ชนิด

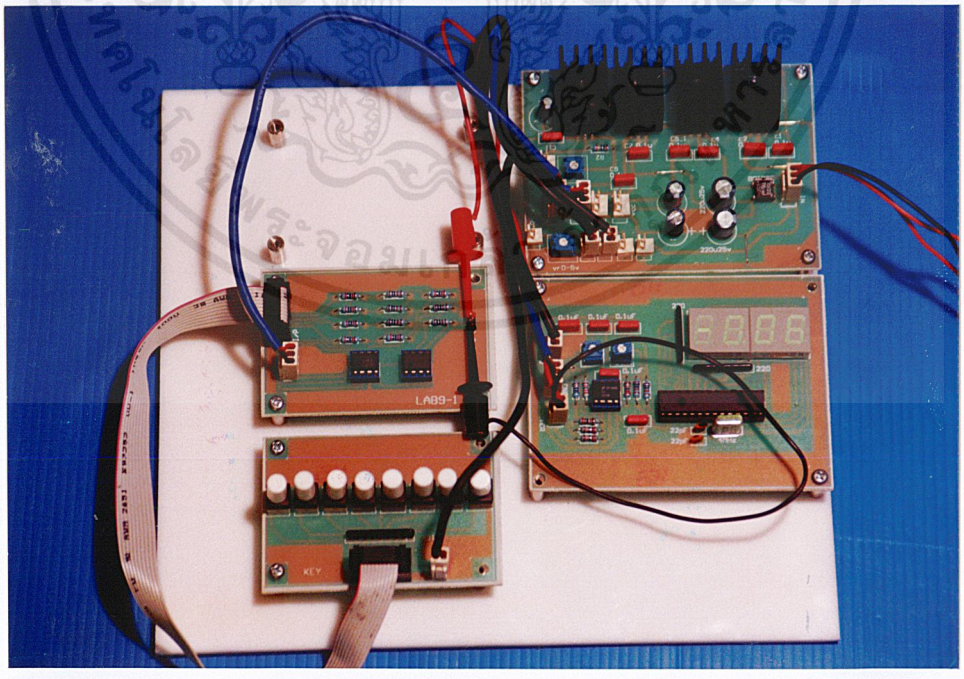


รูปที่ ก.24 การแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล โดยใช้ไอซี ADC0804

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

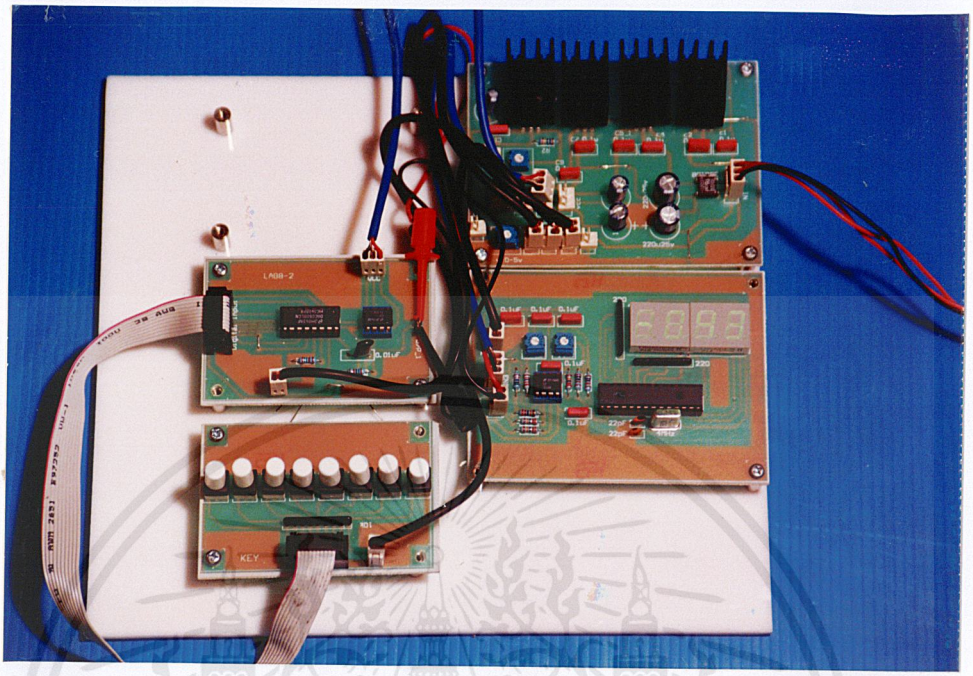


รูปที่ ก.25 การแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล และการแปลงกลับ

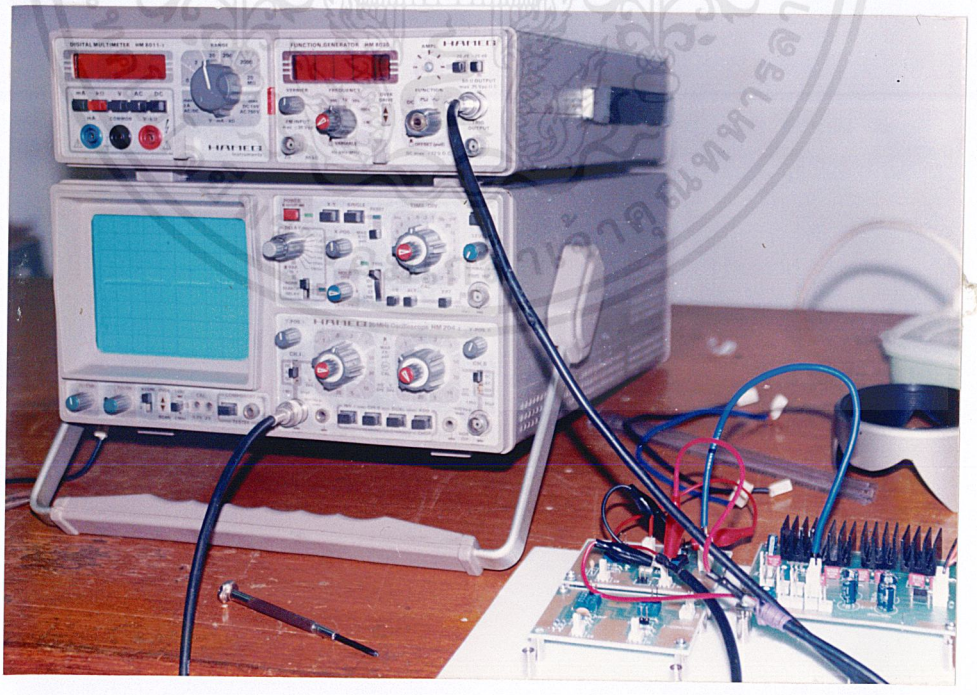


รูปที่ ก.26 การแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นสัญญาณแอนะลอก โดยใช้วงจร R-2R แลดเดอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

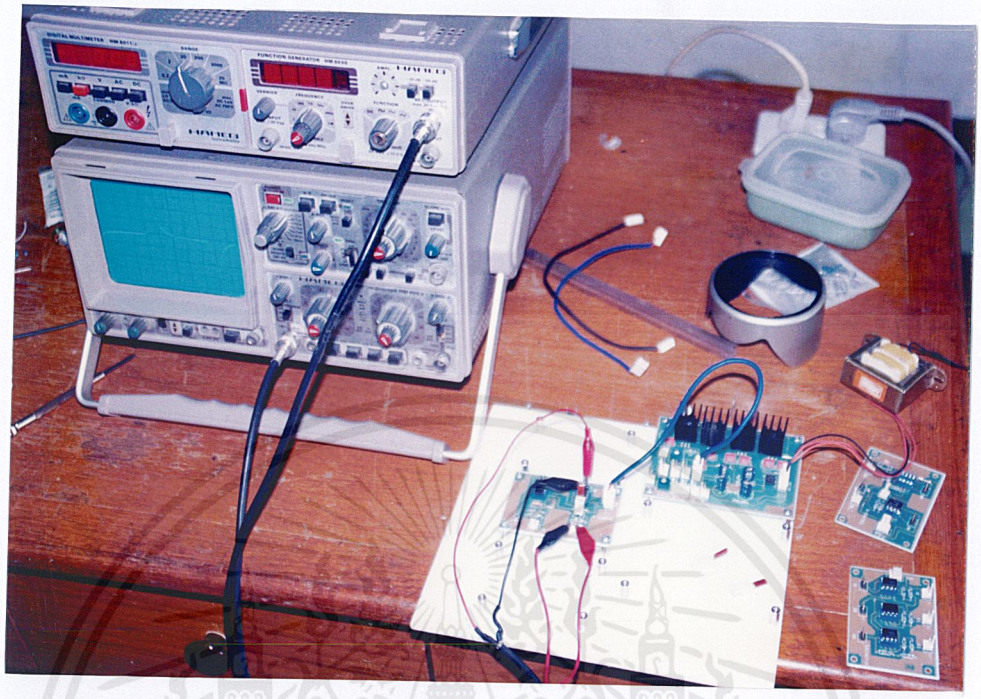


รูปที่ ก.27 การแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นสัญญาณแอนะลอก โดยใช้ไอซี DAC0808

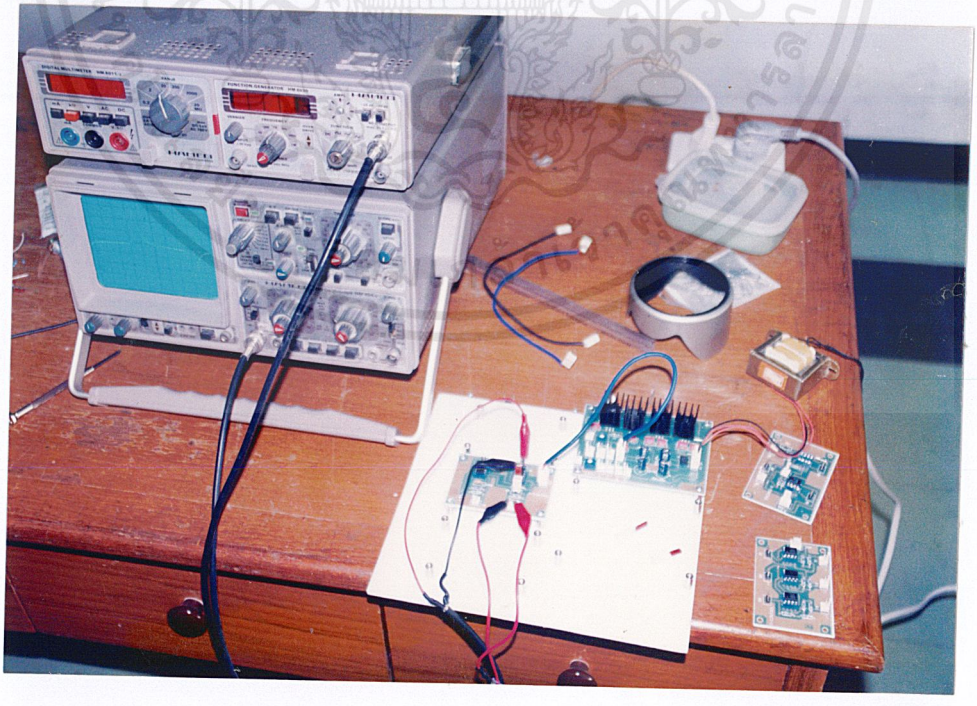


รูปที่ ก.28 การทดลองวงจรควบคุมแบบพี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

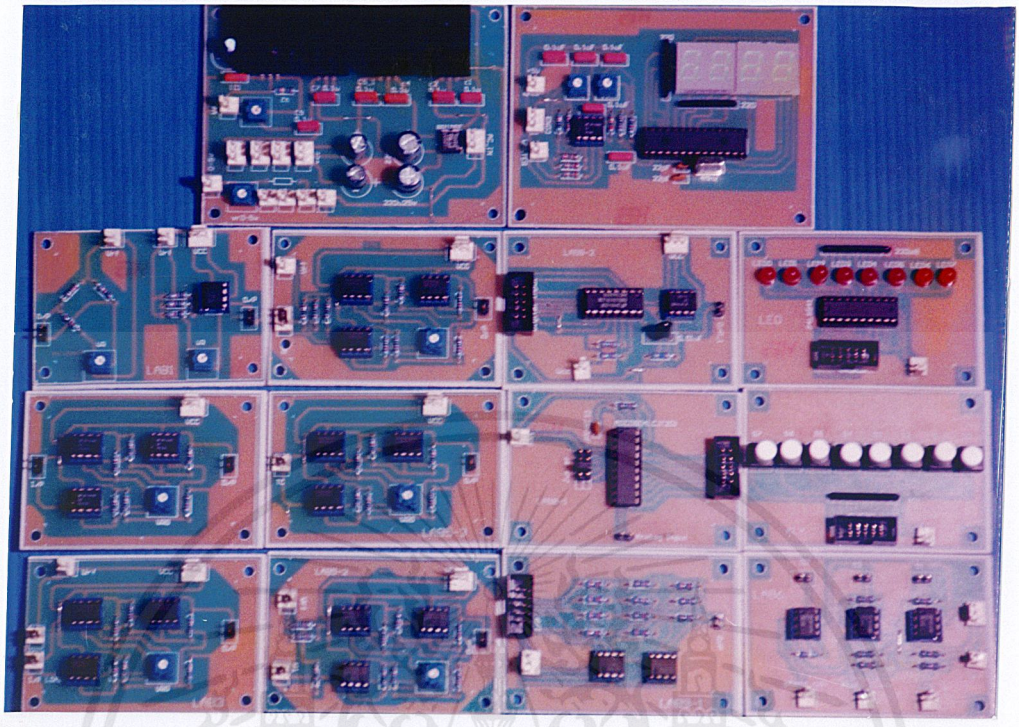


รูปที่ ก.29 การทดลองวงจรควบคุมแบบไอ



รูปที่ ก.30 การทดลองวงจรควบคุมแบบดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



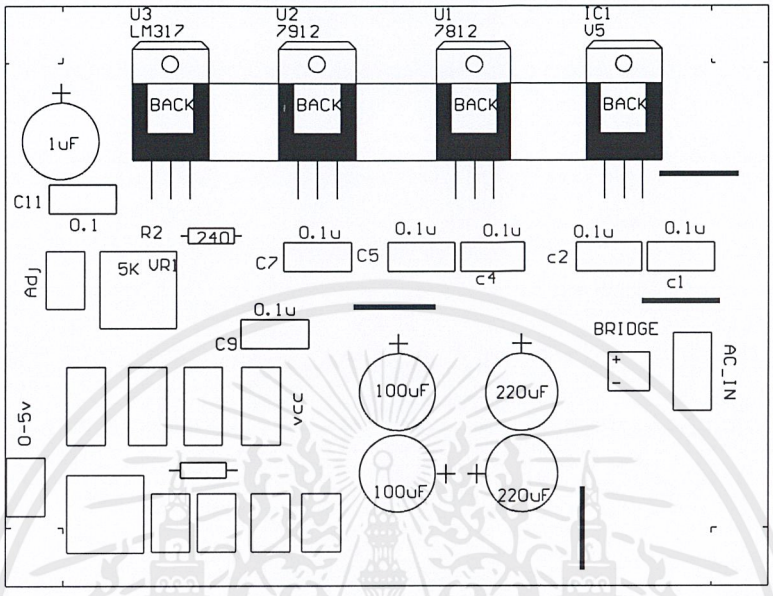
รูปที่ ก.31 รวมโมดูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

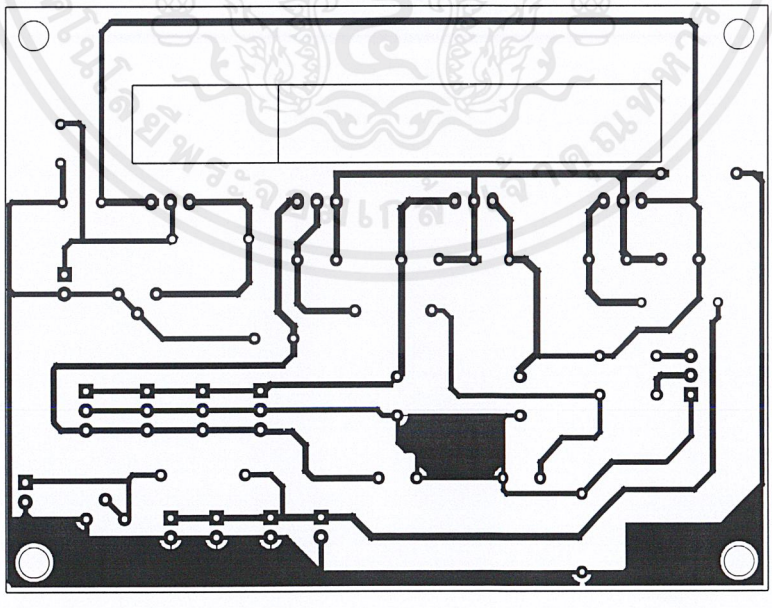
ภาคผนวก ข

ตำแหน่งอุปกรณ์ และลายวงจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

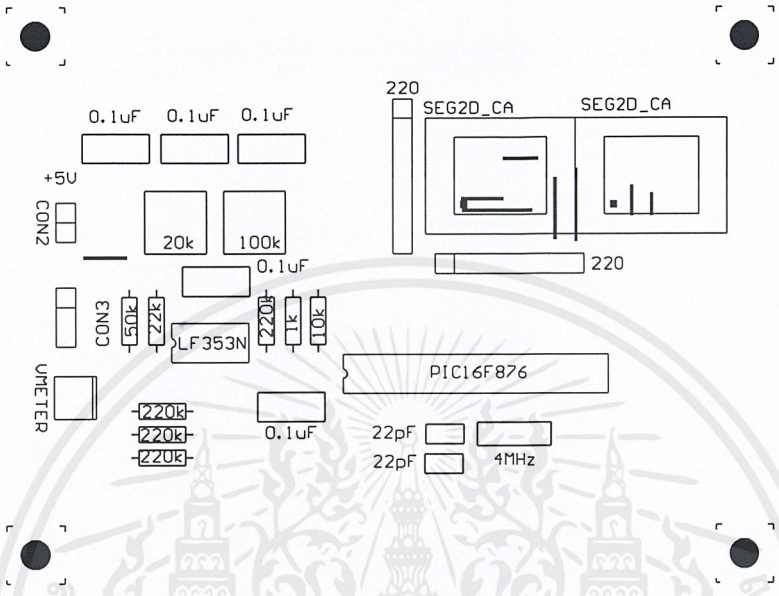


รูปที่ ข.1 โมดูลภาคจ่ายไฟ

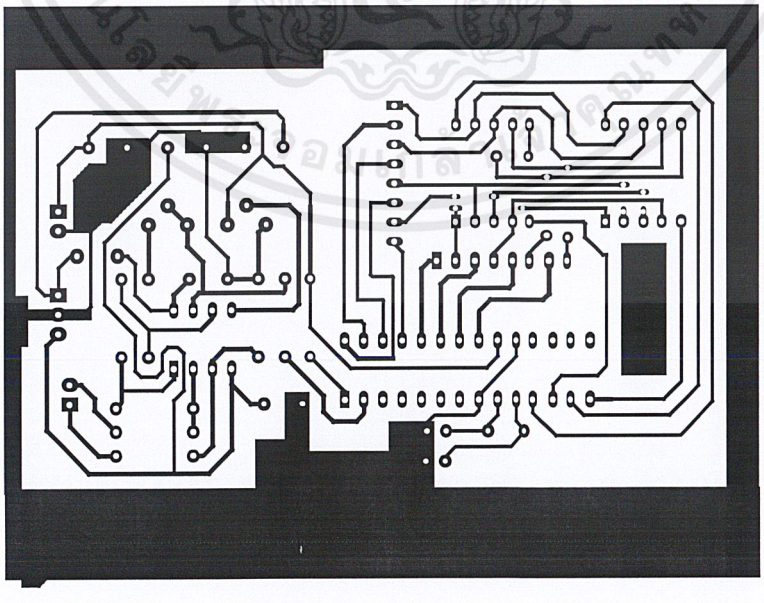


รูปที่ ข.2 ลายวงจรพิมพ์โมดูลภาคจ่ายไฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

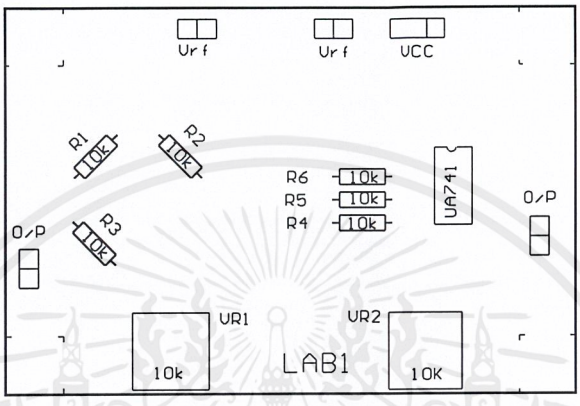


รูปที่ ข.3 โมดูลโวลต์มิเตอร์

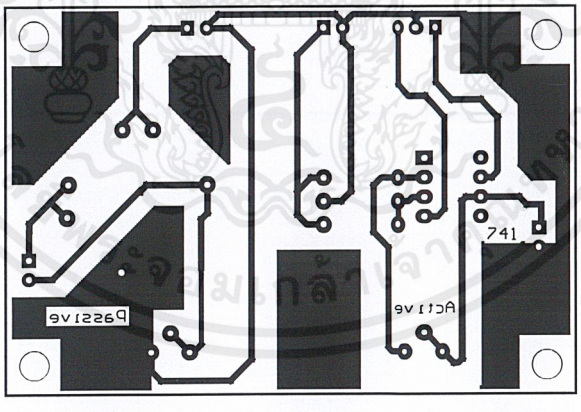


รูปที่ ข.4 ลายวงจรพิมพ์โมดูลโวลต์มิเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

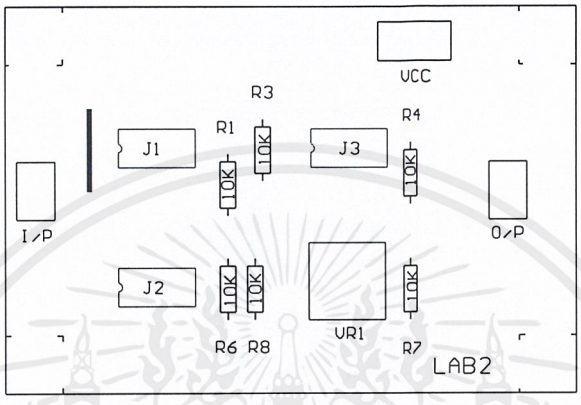


รูปที่ ข.5 โมดูลวีทสโตนบริดจ์

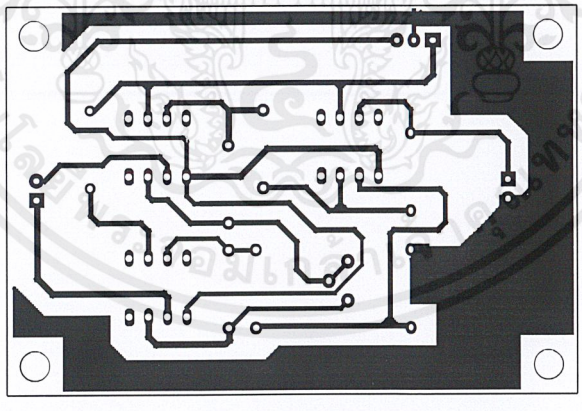


รูปที่ ข.6 ลายวงจรพิมพ์โมดูลวีทสโตนบริดจ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

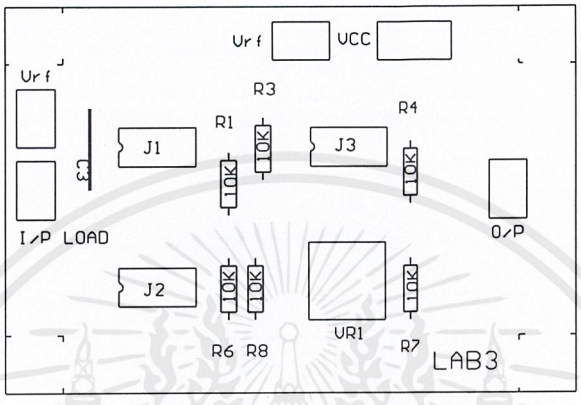


รูปที่ ข.7 โมดูลอินสตรูเมนต์แอมป์

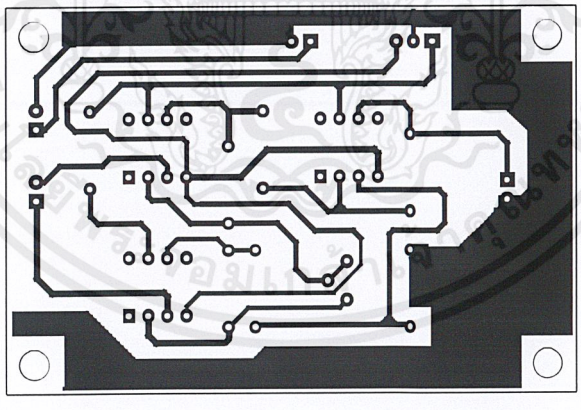


รูปที่ ข.8 ลายวงจรพิมพ์โมดูลอินสตรูเมนต์แอมป์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

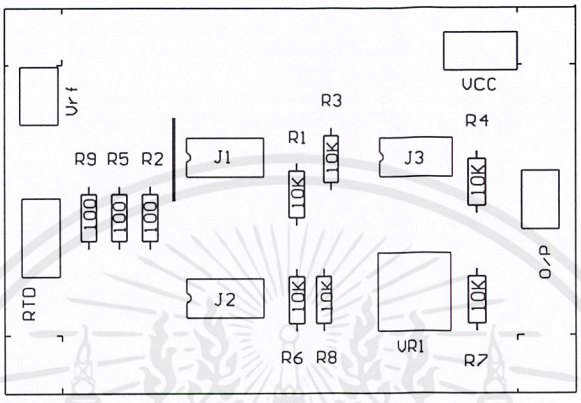


รูปที่ ข.9 โมดูลโหลดเซลล์

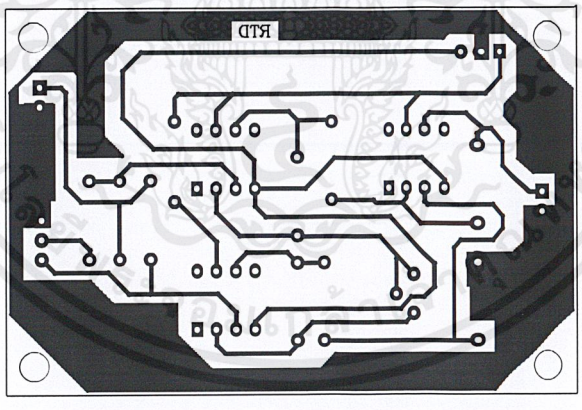


รูปที่ ข.10 ลายวงจรพิมพ์โมดูลโหลดเซลล์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

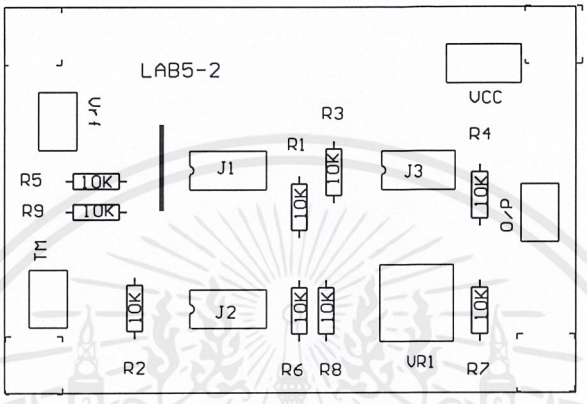


รูปที่ ข.11 โมดูลอาร์ทีดี

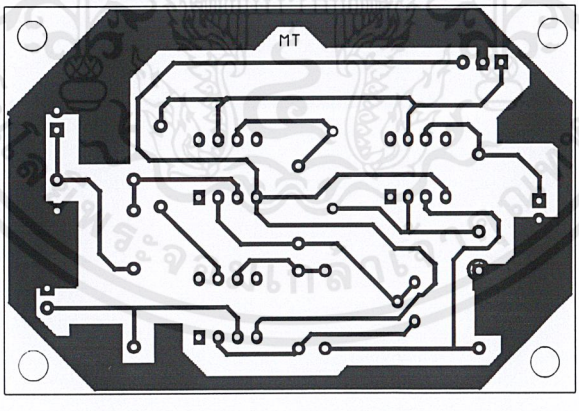


รูปที่ ข.12 ลายวงจรพิมพ์โมดูลอาร์ทีดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

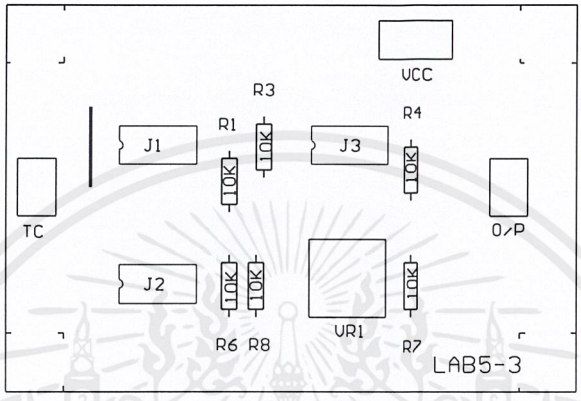


รูปที่ ข.13 โมดูลเทอร์มิสเตอร์

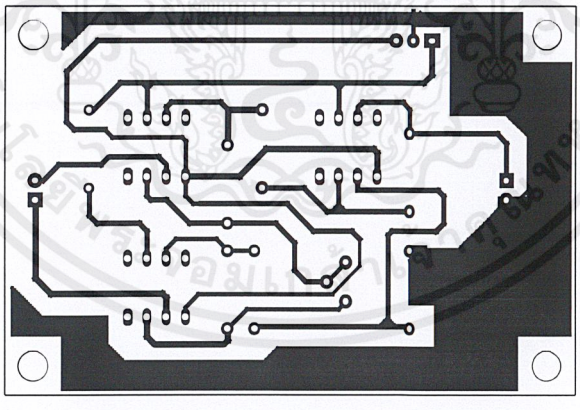


รูปที่ ข.14 ลายวงจรพิมพ์โมดูลเทอร์มิสเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

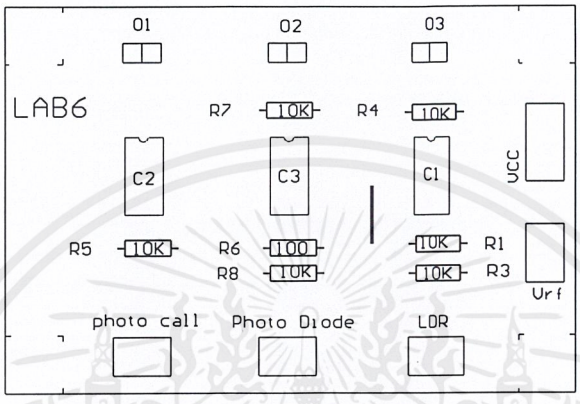


รูปที่ ข.15 โมดูลเทอร์โมคัปเปิ้ล

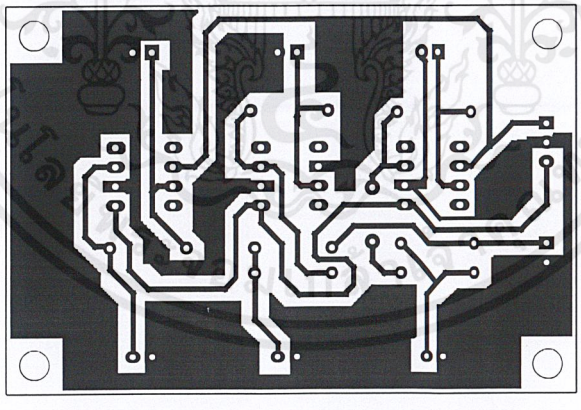


รูปที่ ข.16 ลายวงจรพิมพ์โมดูลเทอร์โมคัปเปิ้ล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

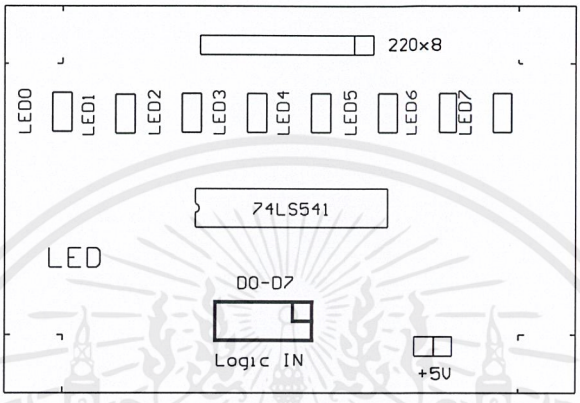


รูปที่ ข.17 โมดูลแอลดีอาร์ เซลล์แสงอาทิตย์ และ โฟโตไดโอด

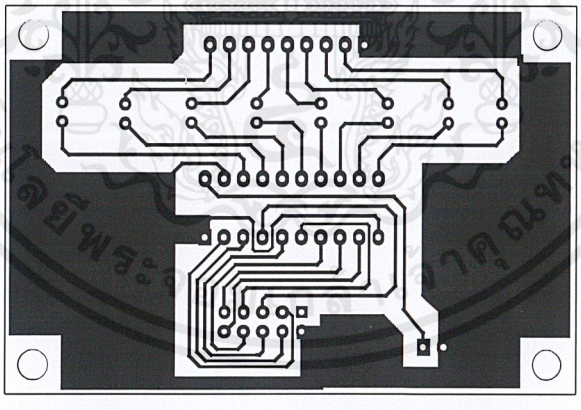


รูปที่ ข.18 ลายวงจรพิมพ์โมดูลแอลดีอาร์ เซลล์แสงอาทิตย์ และ โฟโตไดโอด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

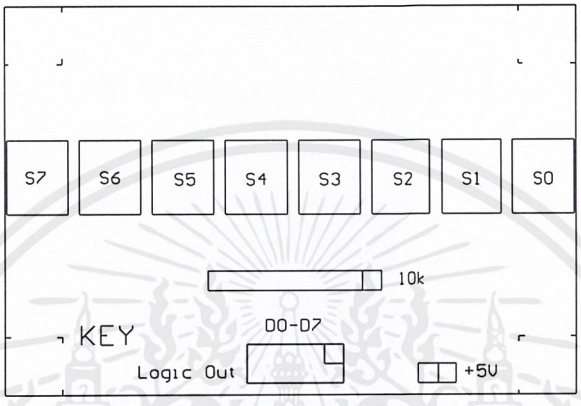


รูปที่ ข.19 โมดูลแสดงผลข้อมูลขนาด 8 บิต

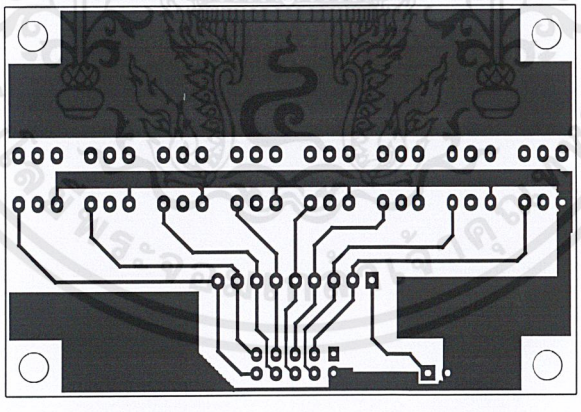


รูปที่ ข.20 ลายวงจรพิมพ์โมดูลแสดงผลข้อมูลขนาด 8 บิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

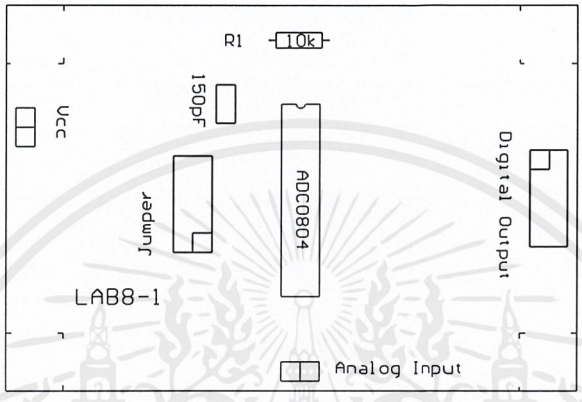


รูปที่ ข.21 โมดูลลอจิกสวิตช์ขนาด 8 บิต

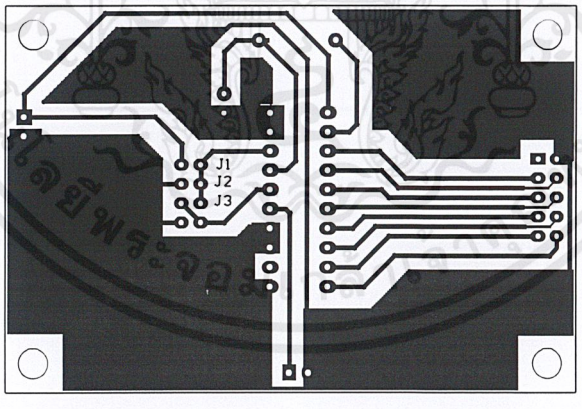


รูปที่ ข.22 ลายวงจรพิมพ์โมดูลลอจิกสวิตช์ขนาด 8 บิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

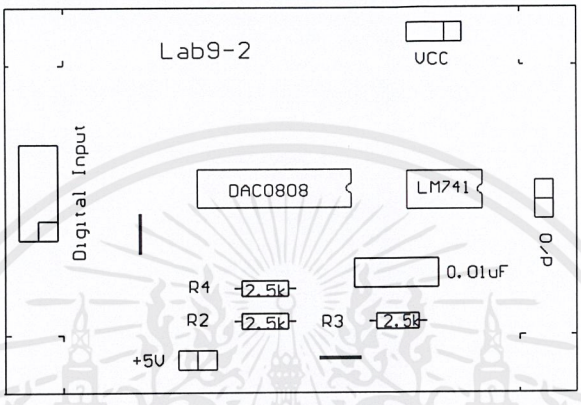


รูปที่ ข.23 โมดูลแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล โดยใช้ไอซี ADC0804

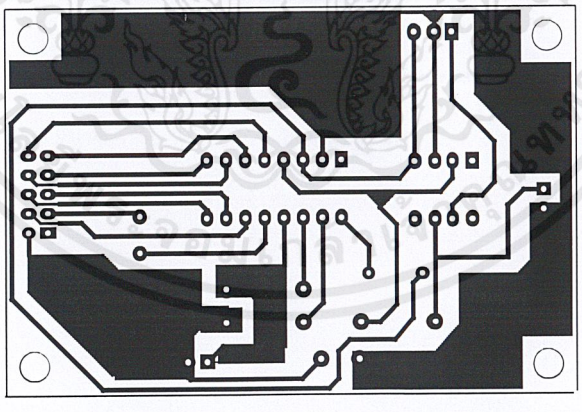


รูปที่ ข.24 ลายวงจรพิมพ์โมดูลแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล โดยใช้ไอซี ADC0804

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

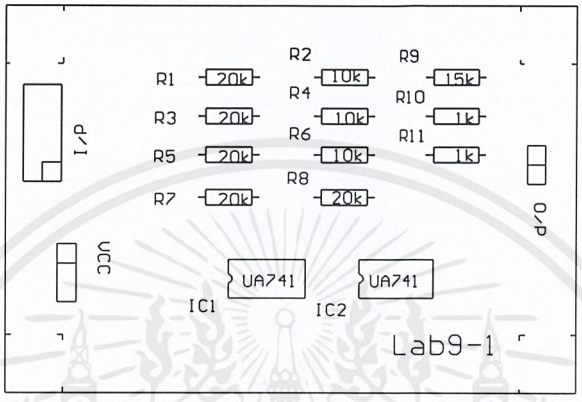


รูปที่ ข.25 โมดูลแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นสัญญาณแอนะลอก โดยใช้ไอซี DAC0808

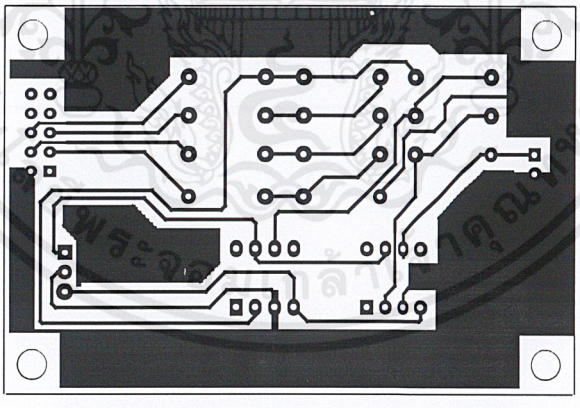


รูปที่ ข.26 ลายวงจรพิมพ์โมดูลแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นสัญญาณแอนะลอก โดยใช้ไอซี DAC0808

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

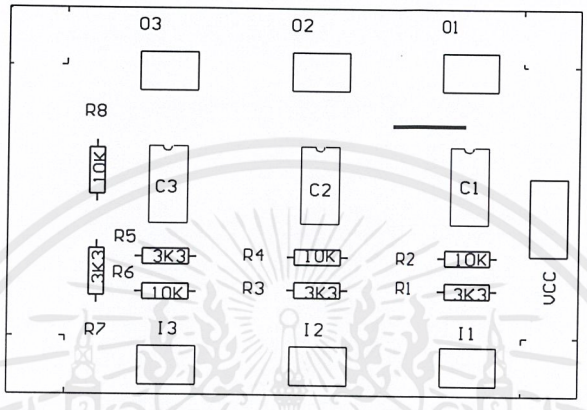


รูปที่ ข.27 โมดูลแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นสัญญาณแอนะลอกแบบ R-2R แลดเดอร์

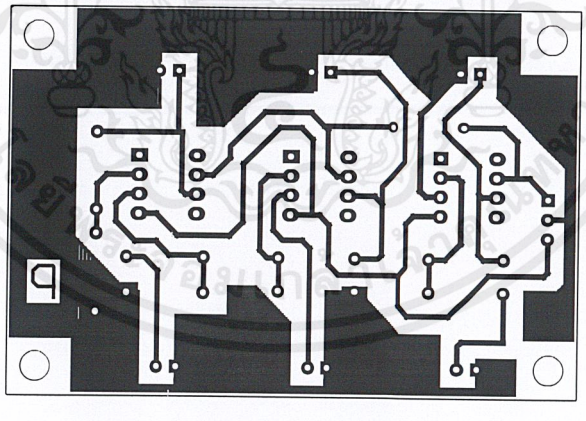


รูปที่ ข.28 ลายวงจรพิมพ์โมดูลแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นสัญญาณแอนะลอกแบบ R-2R แลดเดอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

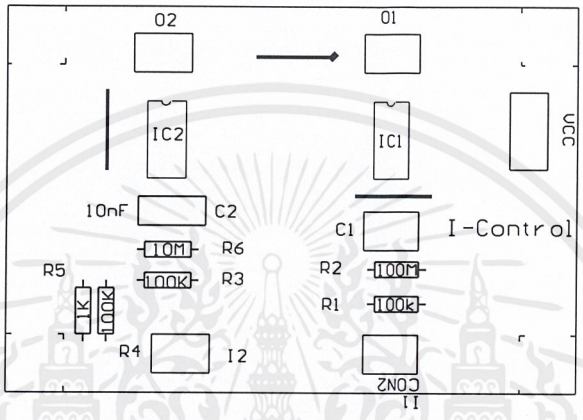


รูปที่ ข.29 โมดูลตัวควบคุมแบบพี

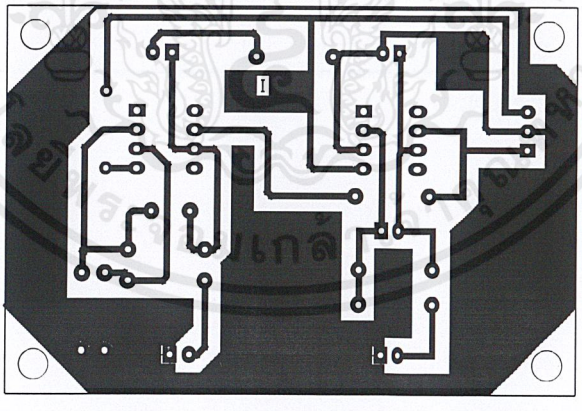


รูปที่ ข.30 ลายวงจรพิมพ์โมดูลตัวควบคุมแบบพี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

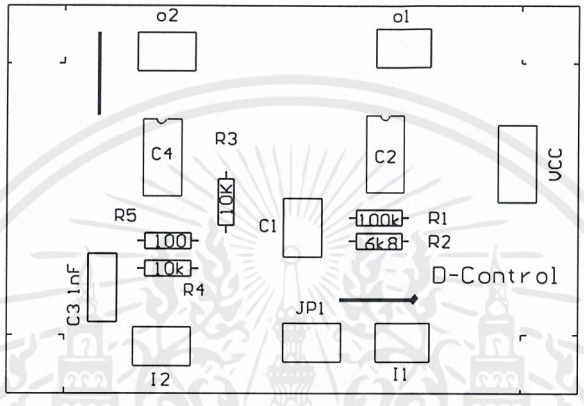


รูปที่ ข.31 โมดูลตัวควบคุมแบบไอ

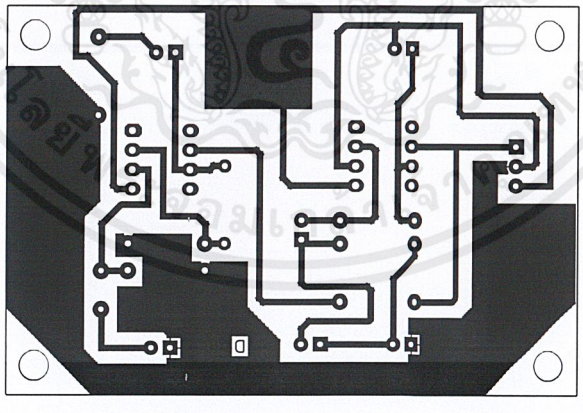


รูปที่ ข.32 ลายวงจรพิมพ์โมดูลตัวควบคุมแบบไอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.33 โมดูลตัวควบคุมแบบดี



รูปที่ ข.34 ลายวงจรพิมพ์โมดูลตัวควบคุมแบบดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค
ใบงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใบงานที่ 1
วงจรวีทสโตนบริดจ์

วัตถุประสงค์

1. สามารถอธิบายการทำงานของวงจรวีทสโตนบริดจ์ได้
2. สามารถคำนวณหาค่าต่างๆในวงจรวีทสโตนบริดจ์ได้
3. สามารถนำวงจรวีทสโตนบริดจ์ไปประยุกต์ใช้ในงานจริงได้

เครื่องมือและอุปกรณ์การทดลอง

1. มาสเตอร์บอร์ด	1	แผ่น
2. โมดูลวีทสโตนบริดจ์ (Lab1)	1	แผ่น
3. โมดูลโวลต์มิเตอร์	1	แผ่น
4. อื่นๆ เช่น สายต่อวงจร		

ทฤษฎีเบื้องต้น

วงจรวีทสโตนบริดจ์ เป็นวงจรที่ถูกออกแบบขึ้น เพื่อใช้งานร่วมกับอุปกรณ์ทรานสดิวเซอร์ประเภทเฉื่อยงาน เช่น สเตรนเกจ (Strain Gage), แอลวีดีที (LVDT), อาร์ทีดี(RTD) เป็นต้น

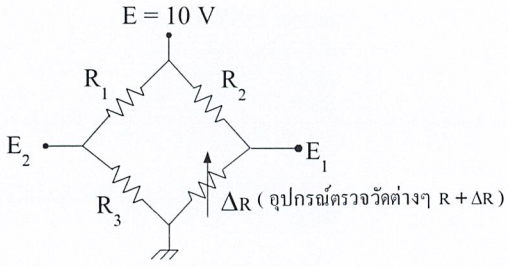
เนื่องจากค่าเอาต์พุตที่อุปกรณ์ดังกล่าวขับออกมาอยู่ในรูปของค่าความต้านทาน จึงไม่เหมาะกับการใช้งานทั่วๆไป ซึ่งวงจรวีทสโตนบริดจ์สามารถแก้ไขปัญหานี้ได้

วงจรวีทสโตนบริดจ์มี 2 แบบ คือ

1)วงจรบริดจ์แบบพาสซีฟ

ประกอบด้วยตัวต้านทาน 4 ตัว ต่อกันเป็นวงจร ดังรูปที่ ค.1 โดยค่าความต้านทานของตัวต้านทานแต่ละตัวเป็นสัดส่วนกันจึงทำให้เกิดความสมดุลของแรงดัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ค.1 วงจรวีทสโตนบริดจ์แบบพาสซีฟ

จากรูปที่ ค.1 กำหนดให้ R_1 , R_2 , R_3 และสมมุติว่าค่าความต้านทานของอุปกรณ์ตรวจวัดในขณะที่ยังไม่เกิดความเครียดเท่ากับมีค่าเท่ากับ R จะได้สมการคณิตศาสตร์ดังนี้

$$E_1 = E_2 = \frac{E}{2} \tag{1.1}$$

$$E_1 - E_2 = 0V. \tag{1.2}$$

ซึ่งนั่นหมายความว่า วงจรวีทสโตนบริดจ์กำลังอยู่ในสภาวะสมดุล แต่เมื่ออุปกรณ์ตรวจวัดมีการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทาน ก็จะทำให้ค่าแรงดันที่ E_1 และE_2 เกิดการเปลี่ยนแปลงไปด้วย

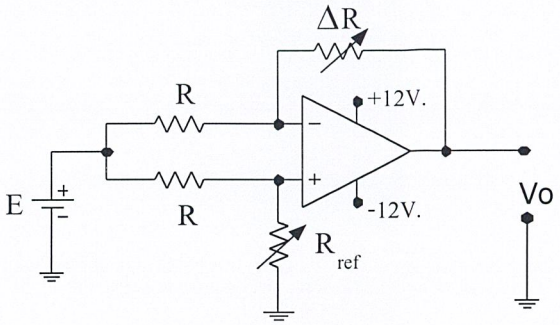
$$E_1 - E_2 = E\frac{\Delta R}{4R} \tag{1.3}$$

จากสมการที่ 1.3 แสดงว่าแรงดันที่แหล่งจ่ายมีผลต่อค่าแรงดันดิฟเฟอร์เรนเชียล E_1-E_2 โดยหากแหล่งจ่ายมีค่ามากขึ้นก็จะทำให้แรงดันดิฟเฟอร์เรนเชียลที่ E_1-E_2 มีค่ามากขึ้นตามไปด้วย

2) วงจรบริดจ์ชนิดแอคตีฟ

วงจรบริดจ์ชนิดแอคตีฟมีความคล้ายคลึงกับแบบแรก โดยมีตัวต้านทานเป็นส่วนประกอบเช่นเดียวกัน และมีการใช้ออปแอมป์ ให้สามารถเพิ่มอัตราขยายได้ โดยจากวงจรรูปที่ 2 ΔR คือ ตัวกำหนดอัตราขยาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ค.2 วงจรบริดจ์ชนิดแอคตีฟ

จากรูปที่ ค.2 ค่าของแรงดันเอาต์พุตสามารถหาได้จากสมการที่ 1.4

$$Vo = -E\frac{\Delta R}{R + R_{ref}} \qquad \textbf{(1.4)}$$

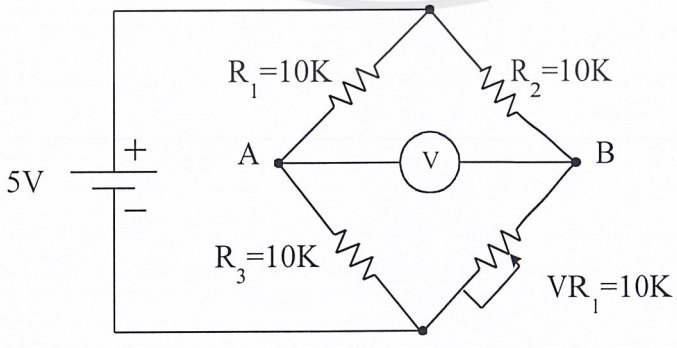
เมื่อ

R_{ref} คือ ตัวต้านทานปรับค่าได้ที่มีหน้าที่ทำให้เกิดสภาวะบริดจ์สมดุล

ΔR คือ ค่าความต้านทานที่อุปกรณ์ทรานสดิวเซอร์ปล่อยออกมา

Vo คือ ค่าของแรงดันเอาต์พุต

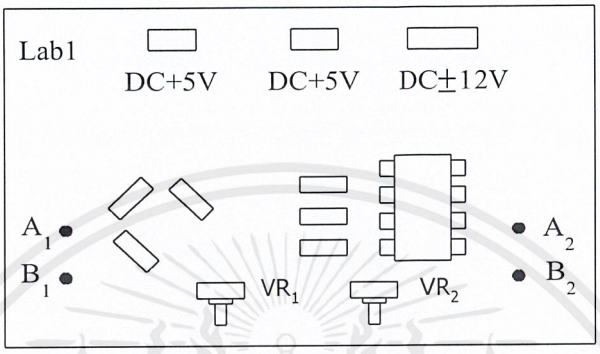
การทดลองที่ 1 วงจรวีทสโตนบริดจ์ แบบพาสซีฟ



รูปที่ ค.3 วงจรบริดจ์แบบพาสซีฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูป ค.3 จะเห็นว่า ค่าความต้านทานของ R_1, R_2, R_3 มีค่าเท่ากันคือ 10KΩ และสมมุติให้ VR_1 เป็นอุปกรณ์ทรานสดิวเซอร์ ดังนั้นหาก VR_1 มีการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทาน ก็จะทำให้แรงดันที่จุด A_1 และB_1 เกิดการเปลี่ยนแปลงไปด้วย



รูปที่ ค.4 โมดูลวีทสโตนบริดจ์ (Lab1)

ลำดับขั้นการทดลอง

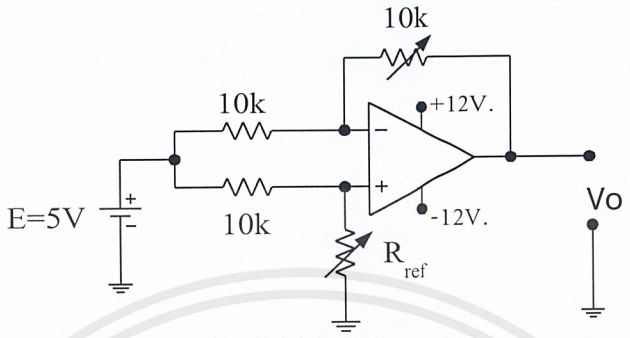
1. จ่ายไฟเลี้ยงแผ่นโมดูล Lab1 โดยจ่ายแรงดัน +5V ที่คอนเน็กเตอร์ DC+5V
2. นำสายวัดจับแรงดันเอาต์พุตที่ จุด A_1 และ B_1
3. ทำการหาจุดที่วงจรบริดจ์สมดุลโดยปรับ VR1 จนได้แรงดันเอาต์พุต 0 โวลต์
4. ปรับค่าความต้านทานตามตารางที่ ค.1 พร้อมบันทึกผลการทดลองลงในตาราง

ตารางที่ ค.1 ผลการทดลองวงจรบริดจ์แบบพาสซีฟ

ปรับค่าความต้านทาน	แรงดันเอาต์พุต (โวลต์)
ค่าความต้านทาน ณ จุดที่บริดจ์สมดุล	
2	
4	
6	
8	
10	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองที่ 2 วงจรวีทสโตนบริดจ์แบบแอคตีฟ



รูปที่ ค.5 วงจรบริดจ์แบบแอคตีฟ

ลำดับขั้นการทดลอง

1. จ่ายไฟเลี้ยงให้โมดูล Lab1 ที่ +5V และ ±12 V
2. นำสายวัดจับแรงดันเอาต์พุต ที่จุด A_2 เทียบกับ B_2
3. ทำการหาจุดที่วงจรบริดจ์สมดุลโดยปรับ VR_2 จนได้แรงดันเอาต์พุต 0 โวลต์
4. ปรับค่าความต้านทานตามตารางที่ ค.2 พร้อมบันทึกผลการทดลอง

ตารางที่ ค.2 ผลการทดลองวงจรบริดจ์ชนิดแอคตีฟ

ปรับค่าความต้านทาน	แรงดันเอาต์พุต (โวลต์)
ค่าความต้านทาน ณ จุดที่บริดจ์สมดุล	
2	
4	
6	
8	
10	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

คำถามท้ายการทดลอง

1. วงจรวีทสโตนบริดจ์มีกี่แบบ แบบใดบ้าง ?

.....

.....

.....

.....

.....

2. จากรูปที่ ค.1 ถ้ากำหนดให้ E = 5V , ΔR = 10 kΩ , R = 20 kΩ จงคำนวณหาค่า E_1-E_2 ?

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

3. ถ้าเพิ่มแรงดัน E ให้มากขึ้นจะมีผลต่อแรงดันดิฟเฟอร์เรนเชียลอย่างไรจงอธิบาย ?

.....

.....

.....

.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. จากรูปที่ ค.2 ถ้ากำหนดให้ E =10V, ΔR 20kΩ, R=10kΩ , Rref = 10kΩ จงหาค่า Vo ?

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

5. จากรูปที่ ค.2 ถ้ามีการปรับค่า Rref จะทำให้ส่งผลอย่างไร ?

.....

.....

.....

.....

.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใบงานที่ 2
อินสตรูเมนต์แอมป์

วัตถุประสงค์

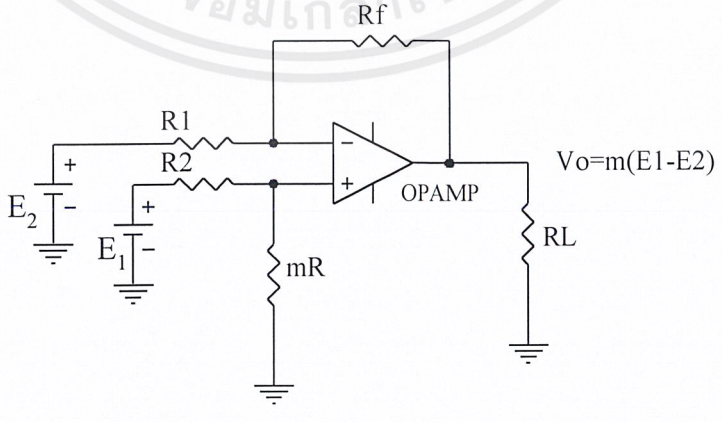
1. สามารถอธิบายหลักการทำงานของวงจรอินสตรูเมนต์แอมป์ได้
2. สามารถคำนวณหาค่าต่างๆในวงจรอินสตรูเมนต์แอมป์ได้
3. สามารถนำวงจรอินสตรูเมนต์แอมป์ไปประยุกต์ใช้ในงานจริงได้

เครื่องมือ และอุปกรณ์การทดลอง

1. มาสเตอร์บอร์ด 1 แผ่น
2. แผ่นวงจรอินสตรูเมนต์แอมป์(Lab2) 1 แผ่น
3. มัลติมิเตอร์ 1 เครื่อง
4. อื่นๆ เช่นสายไฟต่อวงจร

ทฤษฎีเบื้องต้น

ก่อนอื่นขอกล่าวถึงวงจรขยายดิฟเฟอร์เรนเชียล ซึ่งสามารถประยุกต์ใช้งานได้หลายรูปแบบ เช่น วงจรขยายค่าแตกต่าง ,วงจรการตรวจวัด หรือนำมาใช้ขยายสัญญาณ



รูปที่ ค.6 วงจรขยายดิฟเฟอร์เรนเชียล

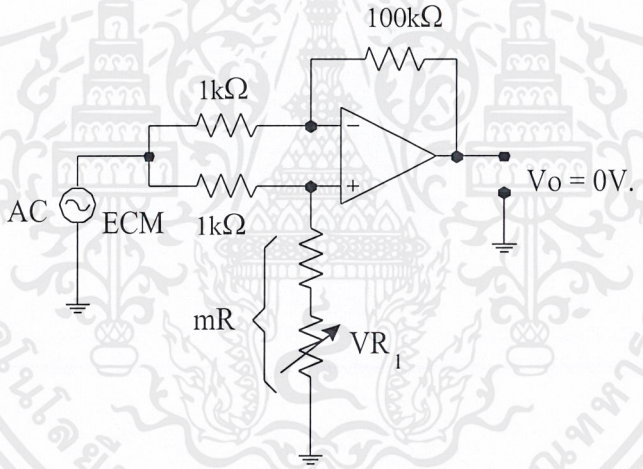
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากวงจรในรูปที่ ค.6 หากทำการลัดวงจรที่ E_1วงจรจะกลายเป็นวงจรขยายแบบอินเวอร์ติ้ง ซึ่งจะให้ค่าอัตราขยายเท่ากับ –m เท่าของแรงดัน E_2 แต่ในกรณีที่ E_2 ถูกแทนด้วยการลัดวงจร แรงดัน E1 จะถูกแบ่งโดย R และ mR จะเป็น E_1 m(1+M) ที่มาบวกของ ออปแอมป์เมื่อมองวงจรเป็นวงจรขยายแบบนอนอินเวอร์ติ้ง เราจะได้ค่าขยายเท่ากับ (m+1) เท่าของแรงดัน E_1 หรือประมาณเท่ากับ mE1 ดังนั้นถ้าทั้ง E_1 และ E_2 ปรากฏอยู่ที่ขาทั้งสองของ ออปแอมป์ ค่าแรงดันเอาต์พุตจะมีค่า

$$Vo = mE_1 - mE_2 = m(E_1 - E_2) \quad \textbf{(2.1)}$$

แรงดันแบบคอมมอนโหมด

แรงดันเอาต์พุตของออปแอมป์ควรจะเป็น 0 โวลต์เมื่อ E_1=E_2



รูปที่ ค.7 วงจรคอมมอนโหมด

การรวบปลายของอินพุตทั้งสองเข้าด้วยกันนี้ เราจะเรียกว่า Ecm หรือแรงดันอินพุตแบบคอมมอนโหมด (Command-Mode input Voltage) ที่มีค่าเท่ากับศูนย์

อนึ่งในทางปฏิบัติเพื่อที่จะทำให้ได้ค่าที่ถูกต้อง จึงต้องใช้ VR ปรับค่าได้จนได้ค่าเป็น 0 V ซึ่งจะทำให้สามารถตรวจสอบผลต่างของสัญญาณที่มีค่าน้อยๆได้

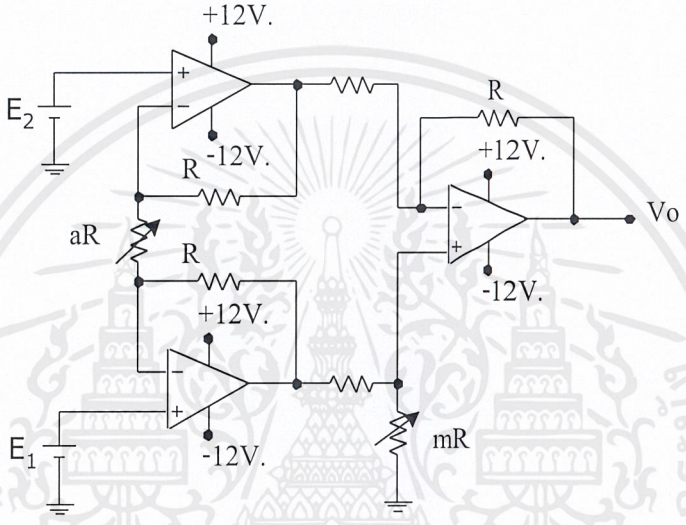
ข้อเสียของวงจรดิฟเฟอร์เรนเชียล

1. ความต้านทานอินพุตต่ำ ทำให้การปรับอัตราขยายทำได้ยาก
2. ไม่สามารถปรับอัตราขยายได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งวงจรขยายอินสตรูเมนต์แอมป์สามารถแก้ปัญหาได้ โดยวงจรอินสตรูเมนต์แอมป์ที่มีขายในท้องตลาด จะประกอบด้วยออปแอมป์ และตัวต้านทานความเที่ยงตรงสูง ทำให้เอาต์พุตที่ได้มีเสถียรภาพสูง แต่ก็มีราคาแพงมาก ประมาณ 200-3,000 บาท

ซึ่งหากเราไม่ต้องการความเที่ยงตรงมากนัก เราก็สามารถสร้างวงจรอินสตรูเมนต์แอมป์ขึ้นมาเองได้ โดยนำออปแอมป์ 3 ตัวมาต่อกัน ดังรูปที่ ค.8



รูปที่ ค.8 วงจรอินสตรูเมนต์แอมป์

$$\frac{Vo}{E1 - E2} = 1 + \frac{2}{a} \qquad \textbf{(2.3)}$$

คุณสมบัติของวงจรอินสตรูเมนต์แอมป์

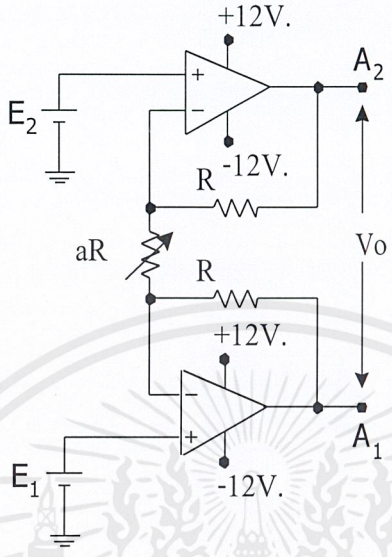
1. อัตราขยาย จะกำหนดได้โดยตัวต้านทานตัวเดียว

2. ค่าความต้านทานอินพุตจะมีค่าสูงมาก และไม่เปลี่ยนแปลงตามอัตราขยาย ในขณะที่ออปแอมป์ ธรรมดาทั่วไปจะมีการเปลี่ยนแปลงในกรณีนี้เสมอ

3. แรงดันเอาต์พุตไม่ขึ้นอยู่กับแรงดันคอมมอนที่มาจาก อินพุตเลย แต่จะเป็นผลที่ขึ้นอยู่กับค่าของแรงดันแตกต่าง เท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณวงจร



รูปที่ ค.9 ตัวอย่างการคำนวณวงจร

$$A_1 = E_1 - \frac{E_1 - E_2}{a} \tag{2.4}$$

$$Vo = (E_1 - E_2)(1 + \frac{2}{a}) \tag{2.5}$$

$$A_2 = E_2 - \frac{E_1 - E_2}{a} \tag{2.6}$$

จากรูปที่ ค.9 ก็จะมีค่า E_1 ,E_2 ตกคร่อมตัวต้านทาน aR

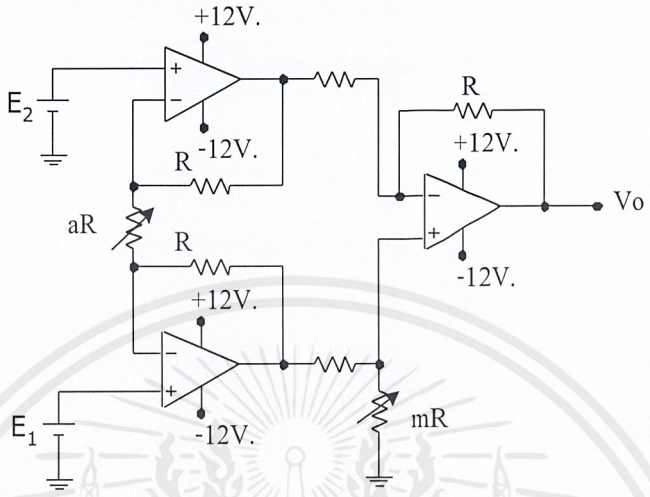
$$I = \frac{(E_1 - E_2)}{aR} \tag{2.7}$$

$$Vo = (E1 - E2)\left(1 + \frac{2}{a}\right) \tag{2.8}$$

$$a = aR/R \tag{2.9}$$

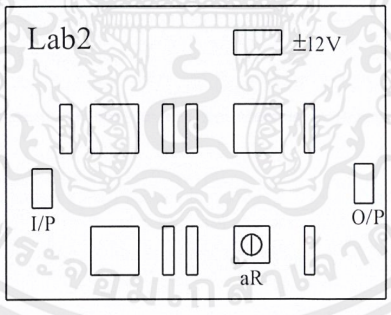
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากวงจรรูปที่ ค.9 เมื่อนำวงจรดิฟเฟอร์เรนเชียลมาต่อ จะได้วงจงอินสตรูเมนต์แอมป์ ดังรูปที่ ค.10



รูปที่ ค.10 การต่อวงจรร่วมระหว่าง วงจรอินตรูเมนต์แอมป์ และวงจรดิฟเฟอร์เรนเชียล

การทดลองที่ 1 การทดลองวงจรอินสตรูเมนต์แอมป์



รูปที่ ค.11 โมดูลอินสตรูเมนต์แอมป์

ลำดับขั้นการทดลอง

1. ต่อวงจรแผ่นทดลองกับมาสเตอร์บอร์ด
2. ป้อนแรงดัน ± 12 Vให้โมดูล Lab2
3. ป้อนแรงดันอินพุตตามค่าในตารางที่ ค.3
4. วัด และบันทึกค่าแรงดันเอาต์พุตลงในตารางที่ ค.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.3 บันทึกผลการทดลอง

อินพุต		เอาต์พุต
V_1	V_2	Vo
0	0	
3	0	
0	3	

สรุปผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

.....

.....

คำถามท้ายการทดลอง

1. จากวงจรรูป ค.9 ถ้าปรับ aR ให้มีค่าเท่ากับ 2K และ R=9K จงคำนวณหาอัตราขยาย a ?

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. จากข้อ 1 ถ้าแรงดัน E_1 =10 mV ,E_2 = 5mV จงคำนวณหาค่า Vo ?

.....

.....

.....

.....

.....

.....

3. จงบอกข้อเสียของวงจรดิฟเฟอร์เรนเชียล ?

.....

.....

.....

.....

4. VR หรือ aR มีไว้ทำหน้าที่อะไร?

.....

.....

.....

5. การปรับ Command Mode เพื่ออะไร ?

.....

.....

.....

.....

.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใบงานที่ 3

สเตรนเกจ และโหลดเซลล์

วัตถุประสงค์

1. สามารถอธิบายหลักการทำงานของ สเตรนเกจ และโหลดเซลล์ได้
2. สามารถบอกประเภทของ สเตรนเกจ และโหลดเซลล์ ได้
3. สามารถนำความรู้ที่ได้ไปประยุกต์ใช้ในงานจริงได้

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. มาสเตอร์บอร์ด	1 แผ่น
2. ชุดทดลองโหลดเซลล์	1 ชุด
3. แผ่นโมดูลอินสตรูเมนต์แอมป์ (Lab2)	1 แผ่น
4. อื่นๆ	

ทฤษฎีเบื้องต้น

สเตรนเกจ (Strain Gage) เป็นตัวแปลงแบบเฉื่อยงาน ที่ใช้หลักการของการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานภายในขดลวด เพื่อการตรวจวัดความเครียด(Strain) ที่เกิดขึ้นจากแรงที่มากระทำบนเส้นลวดนี้ สเตรนเกจ มีการใช้งานในการตรวจวัดได้อย่างกว้างขวาง เช่น การวัดน้ำหนัก ความดัน, แรงเชิงกล หรือการเคลื่อนที่

เมื่อสเตรน เกจ ถูกดึงให้ยืดออก ความยาวของเส้นลวดจะเพิ่มขึ้นในขณะที่พื้นที่หน้าตัดจะลดลง ผลก็คือความต้านทานของเส้นลวดจะเพิ่มขึ้นเนื่องจากความต้านทานของโลหะตัวนำจะแปรค่าโดยตรงตามความยาว และแปรค่าผกผันกับพื้นที่หน้าตัด ดังนั้นจึงเขียนเป็นสมการคณิตศาสตร์แสดงความสัมพันธ์ได้ว่า

$$R = \frac{\rho L}{A} \qquad (3.1)$$

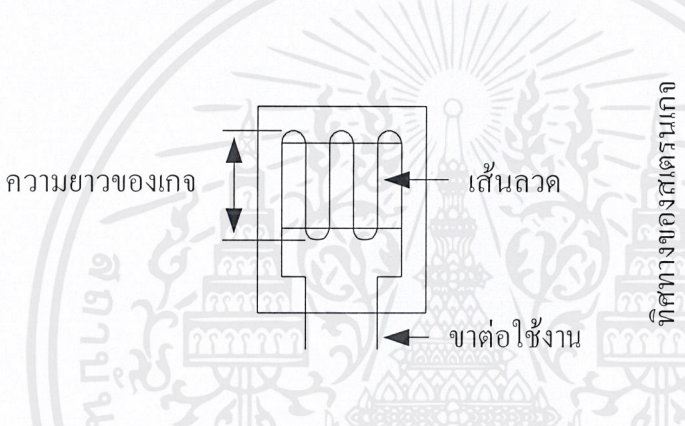
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ

R = ความต่านทานของสเตรน เกจ	หน่วย โอห์ม (Ω)
ρ = ค่าความต้านทานคงที่ของโลหะ	หน่วย โอห์ม-เมตร (Ω-m)
L = คือ ความยาวของเส้นลวด	หน่วย เมตร(m)
A = พื้นที่หน้าตัดของตัวนำ	หน่วย ตารางเมตร (m^2)

สเตรน เกจ แบ่งได้สองแบบคือ

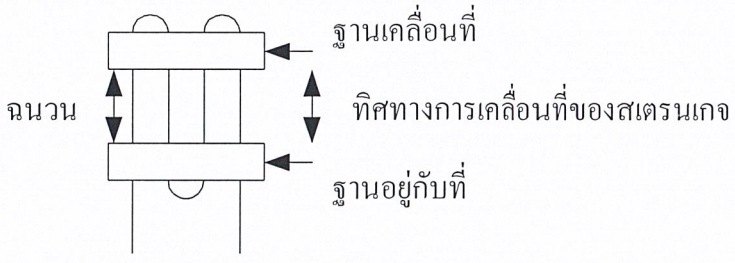
1. สเตรนเกจ แบบยึดติด (Bonded Strain Gage)



รูปที่ ค.12 สเตรนเกจ แบบยึดติด

จากรูปที่ ค.12 โครงสร้างของสเตรน เกจแบบยึดติดทำมาจากเส้นลวดเล็กๆขดไปขดมาหลายครั้ง และยึดติดไว้บนแผ่นกระดาษหรือพลาสติกบางๆ โดยทั่วไปเส้นลวดนี้จะมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 0.001 นิ้ว และมีค่าความต้านทานประมาณ 120 โอห์ม

2. สเตรนเกจ แบบไม่ยึดติด (Unbonded Strain Gage)



รูปที่ ค.13 สเตรนเกจ แบบไม่ยึดติด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ ค.13 สเตรนเกจแบบไม่ยึดติดทำจากเส้นลวดเล็กๆที่ติดอยู่กับฐานที่อยู่กับที่ และฐานที่เคลื่อนที่

การใช้งานสเตรนเกจ ในการตรวจจับความเครียดของวัตถุนั้น เราจะพิจาราณาปริมาณทางกายภาพสองสิ่งคือ ค่าความต้านทานของเกจ (Gage Resistance) ที่เปลี่ยนแปลง และค่าความยาวที่เปลี่ยนแปลง ซึ่งความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรทั้งสองนี้ จะแสดงเป็นอัตราส่วนที่เรียกว่า "เกจ แฟกเตอร์" ดังสมการคณิตศาสตร์ต่อไปนี้

$$K = \frac{\Delta R/R}{\Delta L/L} \tag{3.2}$$

เมื่อ K = เกจ แฟกเตอร์

R = ความต้านทานเริ่มต้น หน่วย โอห์ม (Ω)

ΔR = ความต้านทานที่เปลี่ยนแปลง หน่วย โอห์ม (Ω)

L = ความยาวที่เปลี่ยนแปลง หน่วย เมตร (m)

ΔL = ความยาวที่เปลี่ยนแปลง หน่วย เมตร (m)

ในเทอมของ ΔL/L เราสามารถกำหนดเป็นหน่วยของความเครียด (Unit Strain)ใช้อักษรแทนด้วย G ดังนั้นจึงเขียนเป็นสมการได้ใหม่คือ

$$K = \frac{\Delta R/R}{G} \tag{3.3}$$

ตัวอย่าง สเตรนเกจ มีค่าแฟกเตอร์ เท่ากับ 2 นำไปแปะติดไว้กับเหล็กที่ใช้ในการก่อสร้างซึ่งมีความเครียดของวัตถุ $1x10^{-6}$ ถ้าความต้านทางเริ่มต้นของเกจมีค่า 130 Ω จงคำนวณหาค่าความต้านทานที่เปลี่ยนแปลง

วิธีทำ จากสมการที่ 3.2 และ 3.3

$$K = \frac{\Delta R/R}{\Delta L/L} = \frac{\Delta R/R}{G} \tag{3.4}$$

$$\Delta R = KGR \tag{3.5}$$

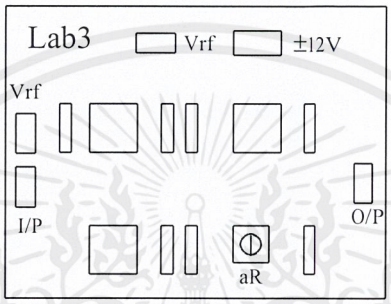
$$\Delta R = (2)(1x10^{-6})(130) \tag{3.6}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\Delta R = 260\,\mu\Omega \quad (3.7)$$

$\therefore$ ค่าความต้านทานที่เปลี่ยนแปลง =260 ไมโครโอห์ม

การทดลองที่ 1



รูปที่ ค.14 โมดูลโหลดเซลล์ (Lab3)

ลำดับขั้นการทดลอง

1. ป้อนแรงดัน ± 12 V และ Vrf = +5 V ให้แก่โมดูล Lab3
2. นำสายไฟจากโหลดเซลล์มาเสียบที่อินพุต และป้อนแรงดันอ้างอิง 5 V ให้โหลดเซลล์
3. นำโลหะทดสอบวางไว้บนแท่นของโหลดเซลล์ ทีละชิ้น
4. บันทึกผลการทดลองในตารางที่ ค.4

ตารางที่ ค.4 ผลการทดลองเปรียบเทียบน้ำหนัก และแรงดันเอาต์พุต

น้ำหนักทดสอบ	แรงดันเอาต์พุต
0.5 kg.	
1 kg.	
1.5 kg.	
2 kg.	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

คำถามท้ายการทดลอง

1. จงอธิบายหลักการทำงานของโหลดเซลล์ ?

.....

.....

.....

.....

.....

2. จงยกตัวอย่างอุปกรณ์ หรือ เครื่องมือที่มีโหลดเซลล์เข้าไปเป็นเป็นส่วนประกอบ ?

.....

.....

.....

.....

.....

3. จงยกตัวอย่างการนำสเตรนเกจไปใช้งาน ?

.....

.....

.....

.....

.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใบงานที่ 4
แอลวีดีที

วัตถุประสงค์

1. สามารถอธิบายหลักการทำงานของ แอลวีดีที ได้
2. สามารถนำความรู้ที่ได้ไปประยุกต์ใช้ในงานจริงได้

เครื่องมือและอุปกรณ์การทดลอง

1.มาสเตอร์บอร์ด	1 แผ่น
2. โมดูล แอลวีดีที	1 ชุด
3. ฟังก์ชั่นเจนเนอร์เรเตอร์	1 เครื่อง
4. ออสซิลโลสโคป	1 เครื่อง
5. อื่นๆ	

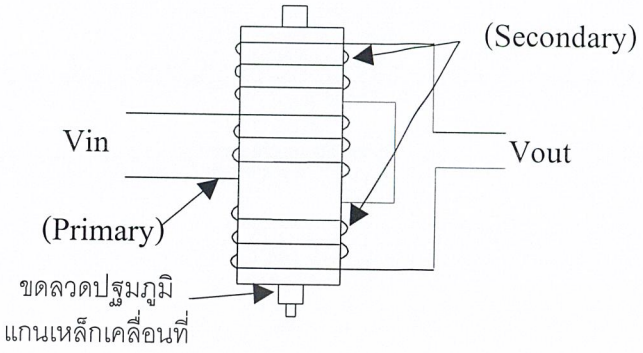
ทฤษฎีเบื้องต้น

แอลวีดีที (Linear Variable Differentail Transformer)

แอลวีดีที เป็นตัวแปลงแบบเหนี่ยวนำเปลี่ยนแปลง จัดอยู่ในอุปกรณ์เฉื่อยงานอีกชนิดหนึ่งที่ต้องอาศัยแหล่งจ่ายกำลังจากภายนอก

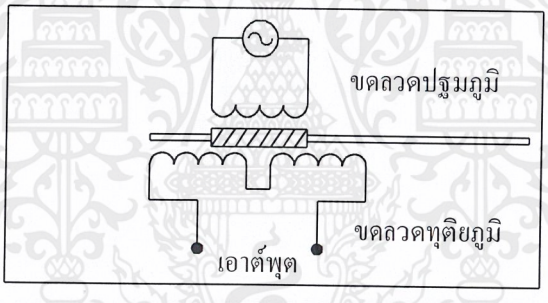
แอลวีดีที เป็นตัวแปลงที่สามารถตรวจวัดแรง แรงดัน และ การเคลื่อนที่ โดยมีหลักการทำงานคือ การเคลื่อนที่ของแกนเหล็กของหม้อแปลงเพื่อเปลี่ยนค่าสนามแม่เหล็กไฟฟ้าระหว่างขดลวด โครงสร้างพื้นฐานของ แอลวีดีที ประกอบด้วยขดลวดปฐมภูมิ (Primary Winding) และ ขดลวดทุติยภูมิ (Secondary Winding) สองขด ซึ่งขดลวดทุติยภูมิทั้งสองขดนี้จะมีจำนวนรอบที่เท่ากัน และ ต่ออันดับกัน แต่มีทิศทางของการพันขดลวดที่ตรงข้ามกัน ดังนั้นแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นภายในขดลวดทั้งสองจะมีศักย์ไฟฟ้าตรงข้ามกัน ดังนั้นแสดงในรูปที่ ค.15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ค.15 โครงสร้างของ แอลวีดีที

การทดลองที่ 1 การสังเกตุพฤกติกรรมของสัญญาณเอาต์พุต



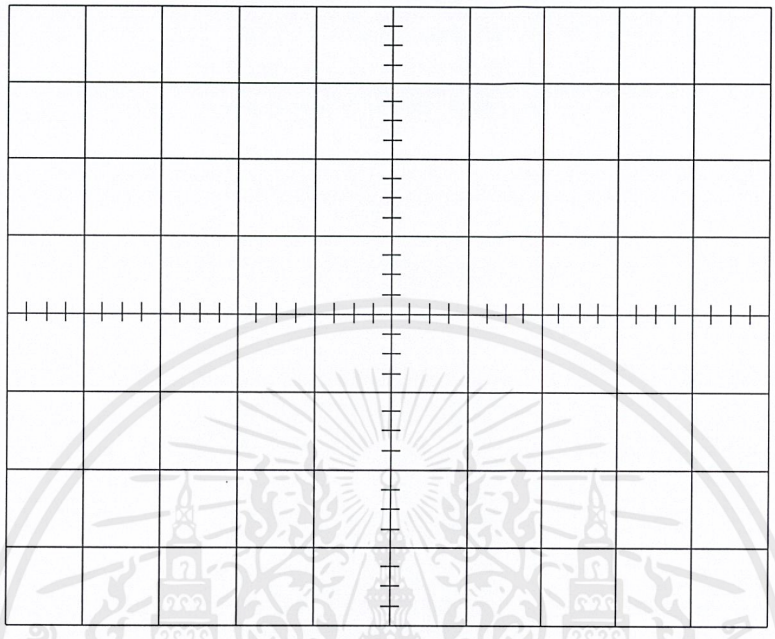
รูปที่ ค.16 โครงสร้างของโมดูล แอลวีดีที

ลำดับขั้นการทดลอง

1. ป้อนสัญญาณไซน์เวฟขนาด 5 โวลต์พีค-ทู-พีค ความถี่ 1 กิโลเฮิรตซ์เข้าที่จุด TI
2. ใช้ออสซิลโลสโคปวัดที่จุด TO
3. เลื่อนแกนเหล็กให้อยู่บริเวณกึ่งกลาง
4. บันทึกรูปคลื่นของสัญญาณในรูปที่ ค.17
5. เลื่อนแกนเหล็กไปทางซ้าย แล้วบันทึกผล ในรูป ค.18
6. เลื่อนแกนเหล็กไปทางขวา แล้วบันทึกผล ในรูป ค.19

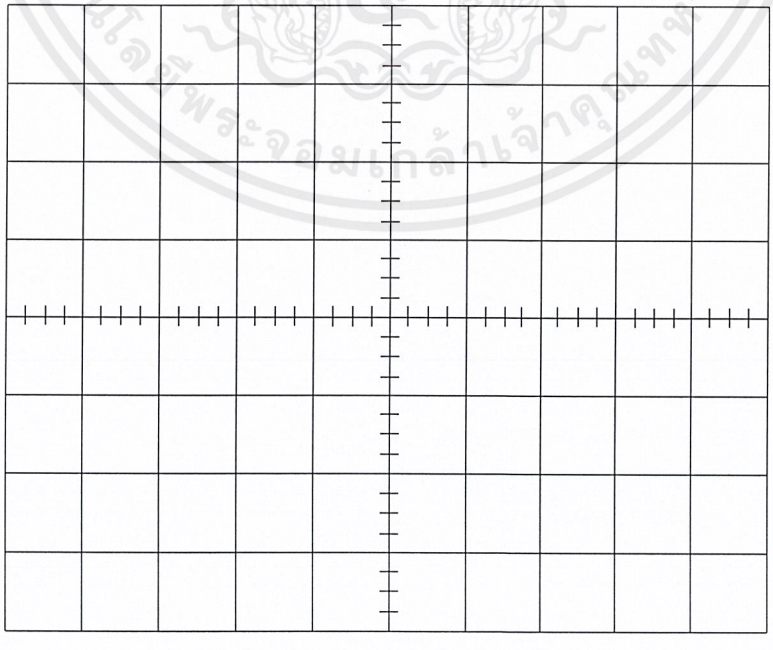
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Volts / Div…….. **Time / Div……..**



รูปที่ ค.17 ผลการทดลองที่ตำแหน่งกึ่งกลาง

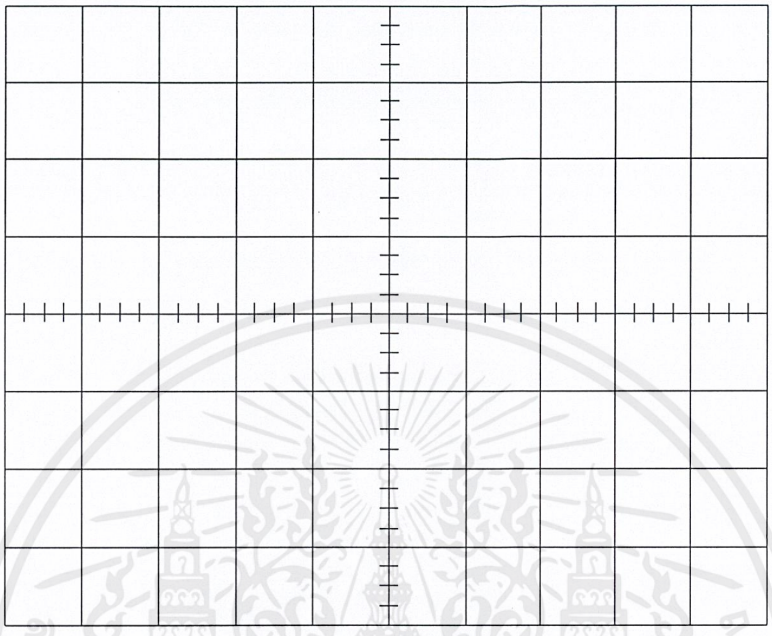
Volts / Div…….. **Time / Div……..**



รูปที่ ค.18 ผลการทดลองที่ตำแหน่งแกนเหล็กอยู่ด้านซ้าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Volts / Div…… **Time / Div……..**



รูปที่ ค.19 ผลการทดลองที่ตำแหน่งด้านขวา

สรุปผลการทดลอง

……

……

……

……

……

……

……

……

……

……

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำถามท้ายการทดลอง

1. จงยกตัวอย่างการนำ แอลวีดีที ไปประยุกต์ใช้งาน 2 อย่าง ?

.....

.....

.....

.....

.....

2. โครงสร้างของแอลวีดีทีประกอบด้วยขดลวดทั้งหมดกี่ขด ?

.....

.....

.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใบงานที่ 5
อาร์ทีดี เทอร์โมคัปเปิ้ล และเทอร์มิสเตอร์

วัตถุประสงค์

1. สามารถอธิบายหลักทำงานการของ อาร์ทีดี เทอร์โมคัปเปิ้ล และเทอร์มิสเตอร์ได้
2. สามารถบอกประเภทของ อาร์ทีดี เทอร์โมคัปเปิ้ล และเทอร์มิสเตอร์ได้
3. สามารถนำวงจรไปประยุกต์ใช้ในงานจริงได้

เครื่องมือและอุปกรณ์การทดลอง

1. มาสเตอร์บอร์ด	1 แผ่น
2. แผ่นวงจรโมดูลอาร์ทีดี (Lab5-1)	1 แผ่น
3. แผ่นวงจรโมดูล (Lab5-2)	1 แผ่น
4. แผ่นวงจรโมดูล (Lab5-3)	1 แผ่น
5. โพรบตัวตรวจวัดอาร์ทีดี	1 ตัว
6. โพรบตัวตรวจวัดเทอร์โมคัปเปิ้ล	1 ตัว
7. โพรบตัวตรวจวัดเทอร์มิสเตอร์	1 ตัว
8. เครื่องกำเนิดความร้อน	1 เครื่อง
9. มัลติมิเตอร์	1 เครื่อง
10. อื่นๆ เช่นสายไฟต่อวงจร	

ทฤษฎีเบื้องต้น

กระบวนการต่างๆ ทางอุตสาหกรรมโดยทั่วไปแล้วมักมีเงื่อนไขหรือสถานะการณ์เกี่ยวข้องกับอุณหภูมิและความร้อนอย่างใกล้ชิดเสมอ ดังนั้นการตรวจวัดและควบคุมอุณหภูมิจึงเป็นสิ่งสำคัญมากสิ่งหนึ่งของตัวแปรในการบวนการทางอุตสาหกรรม

หน่วยวัดอุณหภูมิที่นิยมใช้กันก็คือ

1) ฟาห์เรนไฮต์ ซึ่งถูกคิดค้นโดยนักฟิสิกส์ชาวเยอรมันชื่อ Gabriel Daniel Fahrenheit มีจุดเยือกแข็งของน้ำอยู่ที่ 32°F และจุดเดือดของน้ำที่ 212°F

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) เซลเซียส ถูกคิดค้นโดยนักวิทยาศาสตร์ชาวสวีเดนชื่อ Ander Celsius มีจุดเดือดของน้ำที่ 0°C แลจุดเดือดที่ 100°C ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยวัดอุณหภูมิแบบฟาห์เรนไฮต์ และแบบเซลเซียสสามารถแสดงได้ด้วยสมาการต่อไปนี้

$$T^{\circ}F = (9/5)(T^{\circ}C) + 32 \quad \textbf{(5.1)}$$

$$T^{\circ}C = (5/9)(T^{\circ}F - 32) \quad \textbf{(5.2)}$$

3) อุณหภูมิสัมบูรณ์ (absolute temperature) ถูกคิดค้นโดยนักฟิสิกส์ชาวสก็อตชื่อ William Thomson , Lord Kelvin โดยขนาดองศาที่ศูนย์สัมบูรณ์(absolute zero)เป็นอุณหภูมิต่ำสุดที่เป็นไปได้ ณ. อุณหภูมินี้ทุกๆ โมเลกุลของสารจะหยุดนิ่งหมด ศูนย์สัมบูรณ์จะมีค่าเท่ากับ –273.15°C

ตารางที่ ค.5 การเปรียบเทียบจุดอ้างอิงของอุณหภูมิมาตราวัดต่างๆ

จุดเปรียบเทียบ	อุณหภูมิ		
	°K	°F	°C
- จุดศูนย์สัมบูรณ์	0	-459.6	-273.15
- จุดเยือกแข็งของน้ำ	273.15	32	0
- จุดเดือดของน้ำ	373.15	212	100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.6 เปรียบเทียบข้อดี และข้อเสียของเทอร์โมคัปเปิล อาร์ทีดี และเทอร์มิสเตอร์

ประเภทอุปกรณ์วัดอุณหภูมิ	ข้อดี	ข้อเสีย
เทอร์โมคัปเปิ้ล	1. ไม่ต้องการแหล่งจ่ายพลังงาน 2. ทนทาน 3. ราคาถูก 4. มีช่วงอุณหภูมิกว้าง	1. ไม่เป็นเชิงเส้น 2. ให้แรงดันต่ำ 3. ต้องการค่าอ้างอิง 4. มีความคงที่น้อยที่สุด 5. มีความไวต่ำที่สุด
อาร์ทีดี	1. คงที่ที่สุด 2. เที่ยงตรงที่สุด 3. เป็นเชิงเส้นมากกว่าเทอร์โมคัปเปิ้ล	1. มีราคาแพง 2. ความเร็วต่ำ 3. ต้องใช้แหล่งจ่ายจากภายนอก 4. ค่าความต้านทานเปลี่ยนแปลงน้อย 5. กำเนิดความร้อนขึ้นมา
เทอร์มิสเตอร์	1. ให้เอาต์พุตสูง 2. ความเร็วสูง 3. เป็นการวัดแบบ 2 สาย	1. ไม่เป็นเชิงเส้น 2. ช่วงอุณหภูมิจำกัด 3. บอบบาง 4. ต้องใช้แหล่งจ่ายจากภายนอก 5. กำเนิดความร้อนขึ้นมา

ตารางที่ ค.7 เปรียบเทียบความสามารถ อาร์ทีดี เทอร์โมคัปเปิ้ล และเทอร์มิสเตอร์

หัวข้อ	เทอร์โมคัปเปิ้ล	อาร์ทีดี	เทอร์มิสเตอร์
Repeatability	2° F – 15° F	0.05° F - 0.1° F	0.2° F - 2° F
เสถียรภาพที่อาจเปลี่ยนแปลงได้	1° F – 2° F ต่อปี	น้อยกว่า 0.1%(ใน 5 ปี)	0.2° F- 5° F(ใน 1 ปี)
ความไวในการวัด	10-50 μV / ° C	0.2 - 10 Ω / ° C	100 - 1KΩ / ° C
ค่าความเปลี่ยนแปลง	± 0.75 %	± 0.5%	± 0.5%
ช่วงอุณหภูมิการวัด	-300° F - 3100° F	-200° F - 1600° F	-150° F - 550° F
สัญญาณเอาต์พุต	0-60 mV	1 - 6 V	1 - 3 V
กำลังงาน(ที่โหลด 100 Ω)	1.6 x 10^{-7} Watt	4 x 10^{-2} Watt	8 x 10^{-1} Watt
ค่าความเป็นเชิงเส้น	ดี	ดี	ไม่ดี
ลักษณะโดยทั่วไป	ประหยัดที่สุดย่านการใช้งานสูงสุด	Accuracy ดี มีเสถียรภาพการใช้งานดีที่สุด	มีความไวในการวัดสูงสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1 อาร์ทีดี (Resistance Temperature Detector)

อาร์ทีดี เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ตรวจจับอุณหภูมิโดยอาศัยการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานทางไฟฟ้า ซึ่งค่าความต้านทานจะสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิมีค่าเพิ่มขึ้น

โครงสร้างของ อาร์ทีดี ทำด้วยโลหะที่มีความยาวค่าหนึ่ง ซึ่งทำให้เกิดค่าความต้านทานที่ต้องการ โลหะที่นิยมนำมาทำ คือ พลาตินัม ทองแดง นิเกิล และทังสเตน(กรณีต้องการย่านวัดสูงๆ) ค่าความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานกับอุณหภูมิสามารถคำนวนได้จากสมการต่อไปนี้

$$R_T = R_o(1 + \infty\Delta T) \qquad \textbf{(5.3)}$$

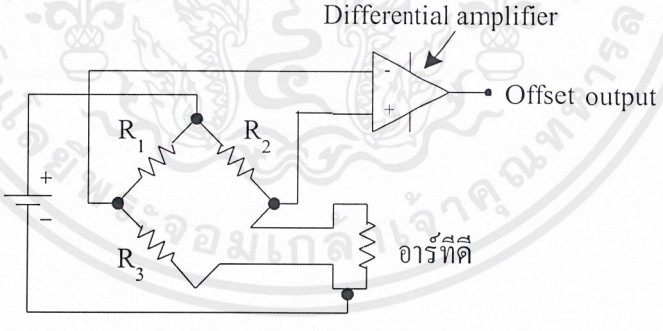
เมื่อ R_T = ค่าความต้านทานของตัวนำที่อุณหภูมิ t (°C)

R_o = ค่าความต้านทานของตัวนำที่อุณหภูมิอ้างอิง (โดยทั่วไปคือ 0° C)

∞ = สัมประสิทธิ์ของค่าความต้านทาน

ΔT = ค่าความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิทำงานและอุณหภูมิอ้างอิง

การใช้งาน เนื่องจากอาร์ทีดีเป็นอุปกรณ์เฉื่อยงานจึงจำเป็นต้องต่อร่วมกับวงจรบริดจ์ ดังรูป



รูปที่ ค.20 การต่อวงจรที่ต้องใช้ร่วมกับ อาร์ทีดี

5.2 เทอร์มิสเตอร์

เทอร์มิสเตอร์หรือเรียกอีกอย่างว่า "ตัวต้านทานความร้อน" เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ตรวจจับอุณหภูมิโดยอาศัยการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานทางไฟฟ้าเช่นเดียวกับ อาร์ทีดี

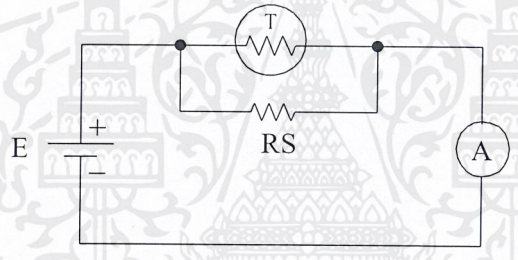
เทอร์มิสเตอร์เป็นสิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำที่ทำมาจาก โลหะออกไซด์ อันได้แก่ นิเกิล โคบอลต์ แมงกานีส เหล็ก ทองแดง ยูเรเนียม แมกนีเซียมและไทตาเนียม โดยสารเหล่านี้ไวต่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุณหภูมิ ซึ่งการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานจะอยู่ในช่วงตั้งแต่ –2 ถึง –6 % ต่อ 1°C ดังนั้นเทอร์มิสเตอร์จึงสามารถวัดค่าการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิเพียงเล็กน้อยได้ โดยทั่วไปเทอร์มิสเตอร์จะมีค่าความต้านทานต่อสัมประสิทธิ์ อุณหภูมิเป็นลบ(Nagative Temperature Coefficient) กล่าวคือ ถ้าอุณหภูมิสูงขึ้น ค่าความต้านทานของเทอร์มิสเตอร์จะลดลง ค่าความต้านทานของเทอร์มิสเตอร์ในทางการค้าจะพิจารณาที่อุณหภูมิ 25 °C มีพิสัยการทำงานตั้งแต่ 100 โอห์ม จนถึง 10 เมกะโอห์ม

แต่ข้อสำคัญที่ทำให้เทอร์มิสเตอร์แตกต่างจาก อาร์ทีดี คือ การเปลี่ยนแปลงค่าความต้านจะกลับกัน

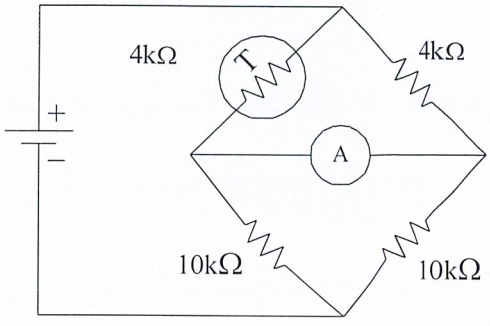
การใช้งานของเทอร์มิสเตอร์ที่ในการวัดอุณหภูมิอย่างง่ายๆ ทำได้โดย นำเทอร์มิสเตอร์ต่ออันดับกับแบตเตอร์รี่ และไมโครแอมป์มิเตอร์ เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลงไปค่าความต้านทานของเทอร์มิสเตอร์ก็จะเปลี่ยนแปลงอันมีผลทำให้กระแสที่ไหลในวงจรเกิดการเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย



รูปที่ ค.21 การต่อวงจรเทอร์มิสเตอร์อย่างง่าย

นอกจากนี้เรายังสามารถต่อเทอร์มิสเตอร์ร่วมกับวงจรบริดจ์ได้อีกด้วย ซึ่งจะทำให้มีความไวสูงขึ้น โดยทั่วไปเทอร์มิสเตอร์ที่ใช้ในวงจรบริดจ์จะมีค่า 4,000 โอห์ม ที่อุณหภูมิ 25 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

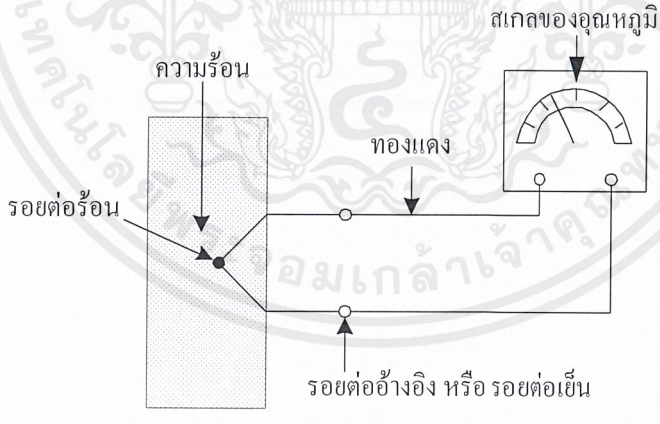


รูปที่ ค.22 การวัดอุณหภูมิโดยใช้เทอร์มิสเตอร์ต่อในวงจรบริดจ์

5.3 เทอร์โมคัปเปิ้ล

เทอร์โมคัปเปิ้ลเป็นอุปกรณ์ทรานสดิวเซอร์ ประเภทไวงาน(Active) เนื่องจากมันสามารถปลดปล่อยพลังงานไฟฟ้าออกมาได้โดยตรง เมื่อมีการเปลี่ยนของอุณหภูมิ

โครงสร้างของเทอร์โมคัปเปิ้ล ประกอบด้วยโลหะต่างชนิดกันสองเส้นต่อด้วยกันที่ปลายข้างหนึ่ง เรียกว่า Hot junction ส่วนปลายอีกข้างหนึ่งจะถูกนำไปต่อใช้งาน เรียกว่า Cold junction



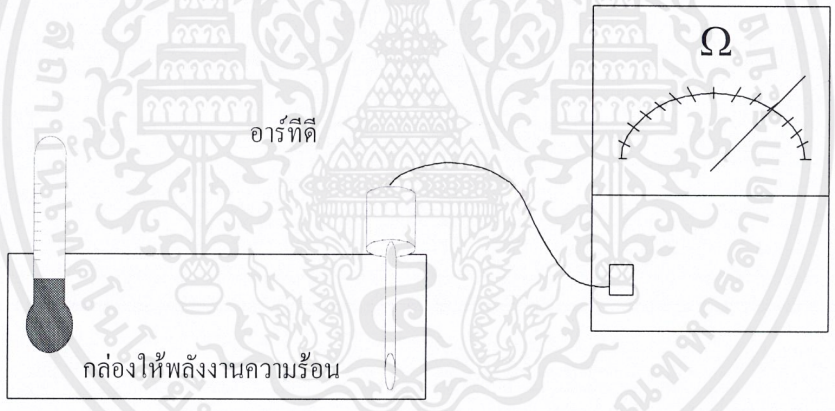
รูปที่ ค.23 การต่อใช้งานเทอร์โมคัปเปิ้ล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.8 ชนิด และช่วงอุณหภูมิของเทอร์โมคัปเปิ้ล

ชนิด	วัสดุ	ช่วงอุณหภูมิ
J	เหล็ก–คอนสแตนแตน	-190°C ถึง 760°C
T	ทองแดง–คอนสแตนแตน	-200°C ถึง 371°C
K	โครเมล–อลูเมล	-190°C ถึง 1,260°C
E	โครเมล–คอนสแตนแตน	-100°C ถึง 1,260°C
S	พลาตินัม 90% + โรเดียม–พลาตินัม 10%	-0°C ถึง 1482°C
R	พลาตินัม 87% + โรเดียม–พลาตินัม 13%	-0°C ถึง 1482°C

การทดลองที่ 1 การวัดคุณสมบัติของอุปกรณ์แต่ละชนิด



รูปที่ ค.24 การทดลองวัดค่าความต้านทานอาร์ทีดี

ลำดับขั้นการทดลอง

1.ให้นำโพรบ อาร์ทีดี ใส่ในตู้ให้ความร้อน

2. จ่ายไฟ 220V. ให้ตู้กำเนิดความร้อน

3. สังเกตอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นจากเทอร์โมมิเตอร์ บันทึกผลการทดลองลงในตารางที่ ค.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.9 ผลการทดลองวัดอุณหภูมิเปรียบเทียบกับค่าความต้านทานของอาร์ทีดี

ค่าอุณหภูมิ	ค่าความต้านทาน	ค่าอุณหภูมิ	ค่าความต้านทาน
อุณหภูมิห้อง.....	Ω	100°C	Ω
40°C	Ω	110°C	Ω
50°C	Ω	120°C	Ω
60°C	Ω	130°C	Ω
70°C	Ω	140°C	Ω
80°C	Ω	150°C	Ω
90°C	Ω	160°C	Ω

4. นำโพรบเทอร์โมคัปเปิ้ล ใส่ในตู้ให้ความร้อน บันทึกผลในตารางที่ ค.10

ตารางที่ ค.10 ผลการทดลองวัดอุณหภูมิเปรียบเทียบกับค่าแรงดัน เทอร์โมคัปเปิ้ล

ค่าอุณหภูมิ	ค่าแรงดัน	ค่าอุณหภูมิ	ค่าแรงดัน
อุณหภูมิห้อง.....	V.	100°C	V.
40°C	V.	110°C	V.
50°C	V.	120°C	V.
60°C	V.	130°C	V.
70°C	V.	140°C	V.
80°C	V.	150°C	V.
90°C	V.	160°C	V.

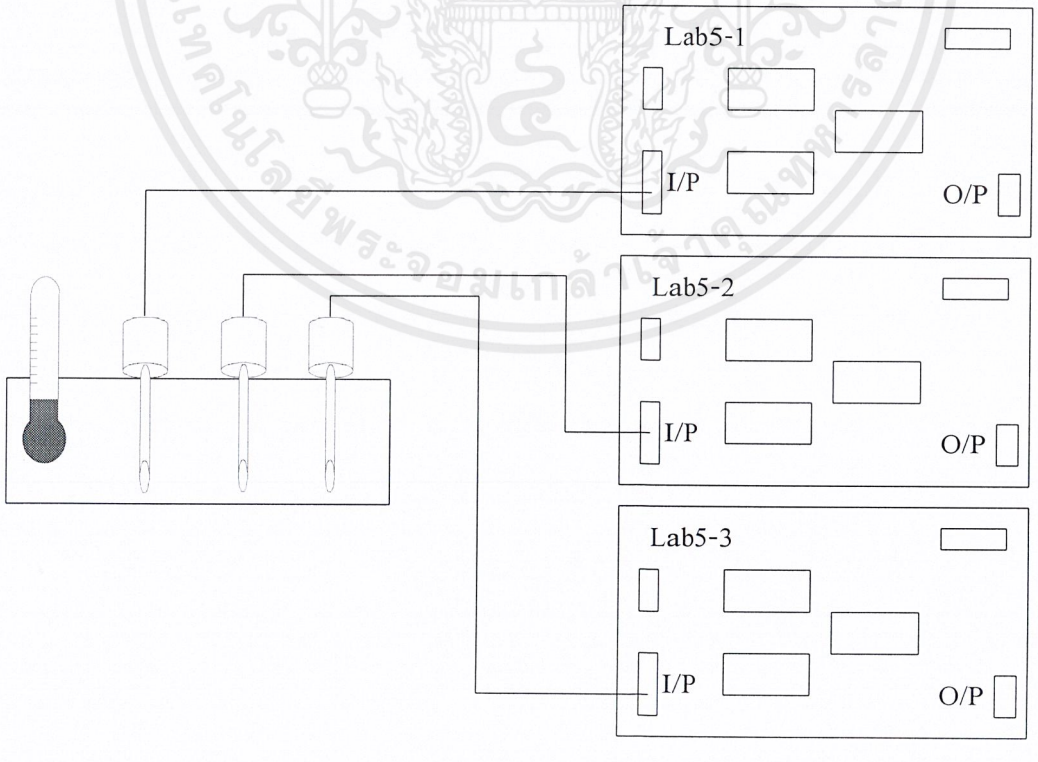
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. นำโพรบเทอร์มิสเตอร์ใส่ในตู้ให้ความร้อน บันทึกผลในตารางที่ ค.11

ตารางที่ ค.11 ผลการทดลองวัดอุณหภูมิเปรียบเทียบกับค่าความต้านทานของ เทอร์มิสเตอร์

ค่าอุณหภูมิ	ค่าความต้านทาน	ค่าอุณหภูมิ	ค่าความต้านทาน
อุณหภูมิห้อง.....	Ω	100°C	Ω
40°C	Ω	110°C	Ω
50°C	Ω	120°C	Ω
60°C	Ω	130°C	Ω
70°C	Ω	140°C	Ω
80°C	Ω	150°C	Ω
90°C	Ω	160°C	Ω

การทดลองที่ 2 เปรียบเทียบค่าแรงดันที่ได้จากอุปกรณ์แต่ละตัว



รูปที่ ค.25 การนำโมดูลที่ Lab5-1,Lab5-2,Lab-3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลำดับขั้นการทดลอง

1. นำสายของอุปกรณ์ตรวจวัดทั้ง 3 ชนิด ต่อเข้ากับโมดูลแต่ละโมดูล ดังรูปที่ ค.25
2. อ่านค่าแรงดันที่ได้จากโมดูลมัลติมิเตอร์

ตารางที่ ค.12 ผลการทดลองการเปรียบเทียบค่าแรงดัน

เทอร์โมมิเตอร์	อาร์ทีดี	เทอร์มิสเตอร์	เทอร์โมคัปเปิ้ล
อุณหภูมิห้อง.....	V.	V.	V.
40 °C	V.	V.	V.
50 °C	V.	V.	V.
60 °C	V.	V.	V.
70 °C	V.	V.	V.
80 °C	V.	V.	V.
90 °C	V.	V.	V.
100 °C	V.	V.	V.
110 °C	V.	V.	V.
120 °C	V.	V.	V.
130 °C	V.	V.	V.
140 °C	V.	V.	V.
150 °C	V.	V.	V.

สรุปผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำถามท้ายการทดลอง

1. จงอธิบายหลักการทำงานของ อาร์ทีดี

.....

.....

.....

.....

.....

2. จงอธิบายหลักการทำงานของ เทอร์โมคัปเปิ้ล

.....

.....

.....

.....

.....

.....

3. จงอธิบายหลักการทำงานของเทอร์มิสเตอร์

.....

.....

.....

.....

.....

.....

4. จงบอกข้อดี และข้อเสียของอาร์ทีดี

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. จงบอกข้อดี และข้อเสียของเทอร์โมคัปเปิ้ล

.....

.....

.....

.....

.....

6. จงบอกข้อดี และข้อเสียของเทอร์มิสเตอร์

.....

.....

.....

.....

.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใบงานที่ 6
แอลดีอาร์ ,โซล่าเซลล์ และโฟโตไดโอด

วัตถุประสงค์

1. สามารถอธิบายหลักการของ แอลดีอาร์ , โซล่าเซลล์ , และโฟโตไดโอดได้
2. สามารถคำนวณหาค่าต่างๆในวงจรได้
3. สามารถนำวงจรไปประยุกต์ใช้ในงานจริงได้

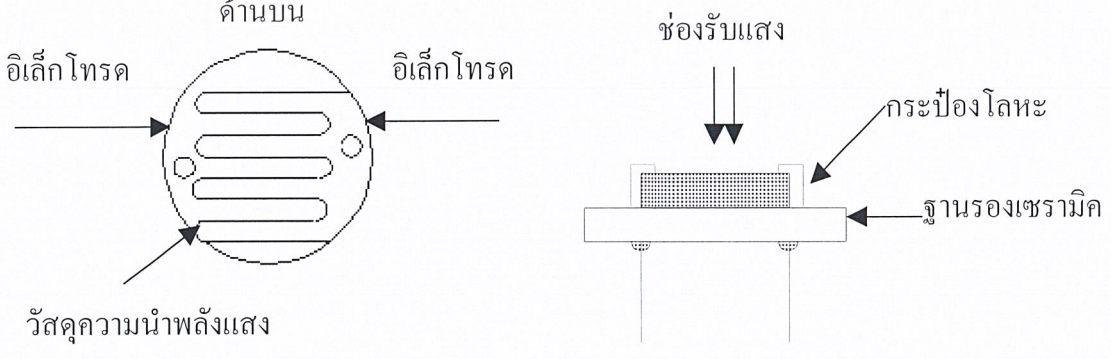
เครื่องมือและอุปกรณ์

1. มาสเตอร์บอร์ด	1 แผ่น
2. กล่องให้พลังงานแสง	1 เครื่อง
3. แผ่นวงจรโมดูล Lab6	1 แผ่น
4. อื่นๆ	

ทฤษฎีเบื้องต้น

6.1 แอลดีอาร์ (Light Dependent Resistor)

แอลดีอาร์ หรือ เรียกอีกอย่างว่า “ตัวต้านทานพลังแสง” ซึ่งจะมีค่าความต้านทานที่ขึ้นอยู่กับความเข้มแสง กล่าวคือ สภาพความนำทางไฟฟ้า สามารถเปลี่ยนแปลงได้เมื่อมีแสงมาตกกระทบที่ตัวมัน ตัวต้านทานพลังงานแสงจะจัดเป็นตัวแปลง แบบเฉื่อยงาน จึงต้องแรงดันจากภายนอก



รูปที่ ค.26 ภาพด้านบน และด้านข้างของ แอลดีอาร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แอลดีอาร์ หรือ ตัวต้านทานพลังแสง ส่วนใหญ่มักทำจากสารกึ่งตัวนำชนิดแคดเมี่ยมซัลไฟด์(CdS) หรือ แคดเมียมซีลีไนต์ (CdSe) โดยการนำเอา สารกึ่งตัวนำดังกล่าวมาฉาบลงบนเซรามิคที่ใช้เป็นฐานรองแล้วทำการบัดกรีตัวถังไม่ให้มีอากาศเข้าไป ซึ่งจะมีขาต่อออกมาใช้งาน 2 ขา และมีช่องสำหรับแสง ทำด้วยพลาสติกหรือกระจก

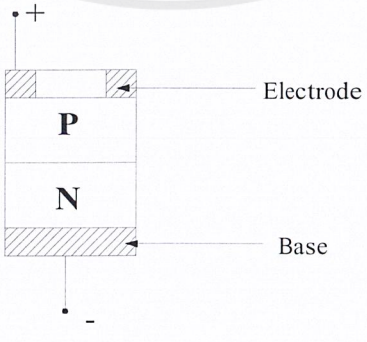
ขณะเมื่อมีแสงมาตกกระทบที่วัสดุความต้านทานไวแสงของ แอลดีอาร์ อันจะทำให้เกิดอิเล็กตรอนอิสระ ซึ่งมีผลให้กระแสไหลได้ค่าความต้านทานของ แอลดีอาร์ จะลดลง และถ้ามีแสงมาตกกระทบตัว แอล ดี อาร์ มากขึ้นจะมีผลทำให้ค่าความต้านทานของ แอลดีอาร์ ลดลงอย่างมาก

ผลการตอบสนองต่อแสงที่มากระทบบนสารกึ่งตัวนำที่นำมาใช้ทำ แอลดีอาร์ คือ ถ้าเป็นแคดเมียมซัลไฟด์ (CdS) จะอยู่ในช่วงประมาณ 5,000 ถึง 7,000 กว่าอังสตรอม ซึ่งจะใกล้เคียงกับช่องการตอบสนองของสายตามนุษย์ ที่อยู่ในช่วง 4,000 ถึง 7,000 กว่าอังสตรอม และถ้าเป็นแคดเมียมซิลีไนด์(CdSe) จะมีผลตอบสนองต่อแสงในช่วงประมาณ 6,000 ถึง 8,000 กว่าอังสตรอม โดยค่อนไปทางอินฟาเรด

อัตราส่วนระหว่างค่าความต้านมานของ แอลดีอาร์ ในขณะที่ไม่มีแสงกับขณะที่ได้รับแสง ซึ่งจะมีพิสัยการใช้งาน ตั้งแต่ 100:1 ถึง 10,000:1 เท่า แต่โดยทั่วไปค่าความต้านทาน แอลดีอาร์ ขณะไม่มีแสงจะมีค่าประมาณ 0.5 เมกะโอห์ม และ ในที่มืดสนิทจะมีค่ามากกว่า 2 เมกะโอห์มขึ้นไป

6.2 เซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Cell)

เซลล์แสงอาทิตย์เป็นอุปกรณ์ที่สามารถให้กำเนิดแรงดันไฟฟ้าได้ เมื่อมีแสงมาตกกระทบตัวมัน จัดอยู่ในตัวแปลงแบบไวงานอีกชนิดหนึ่ง ในการใช้งาน เพียงแต่ต่อโหลดเข้ากับเซลล์แสงอาทิตย์



รูปที่ ค.27 โครงสร้างเซลล์แสงอาทิตย์

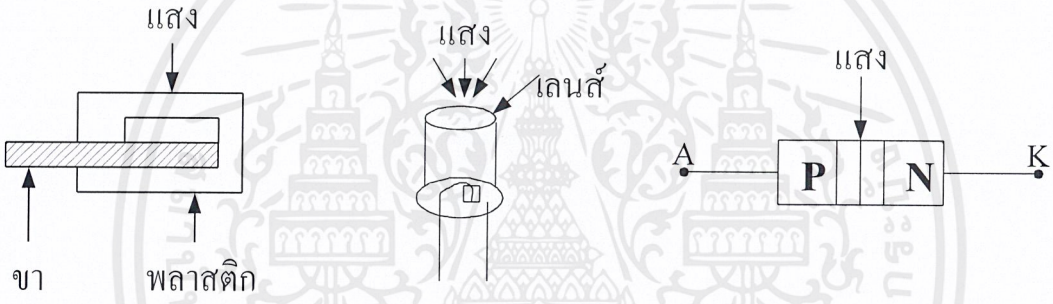
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์ จะประกอบด้วยสารกึ่งตัวนำชนิด พี-เอ็น ที่ประกอบกันเป็นรอยต่อ ซึ่งสารที่นิยมนำมาใช้ทำเซลล์แสงอาทิตย์ ได้แก่ สารซิลิกอน(Si) หรือ สารซีลีเนียม(Se)

โดยปรกติเซลล์แสงอาทิตย์ 1 เซลล์จะสามารถผลิตแรงดันไฟฟ้าได้ประมาณ 0.25-0.6 V กระแสที่ได้ถึง 50 mA

6.3 ไดโอดพลังแสง (Photo Diode)

ไดโอดพลังแสงทำจากสารกึ่งตัวนำชนิดรอยต่อ P-N หนึ่งรอยต่อ แต่โฟโต้ไดโอดมีโครงสร้างที่แตกต่างกับไดโอดธรรมดาทั่วไปคือ มันจะมีช่องที่ทำด้วยกรอบแก้ว เพื่อเป็นช่องทางผ่านของแสงเข้าไปยังพื้นที่ไวแสง ของรอยต่อ P-Nได้

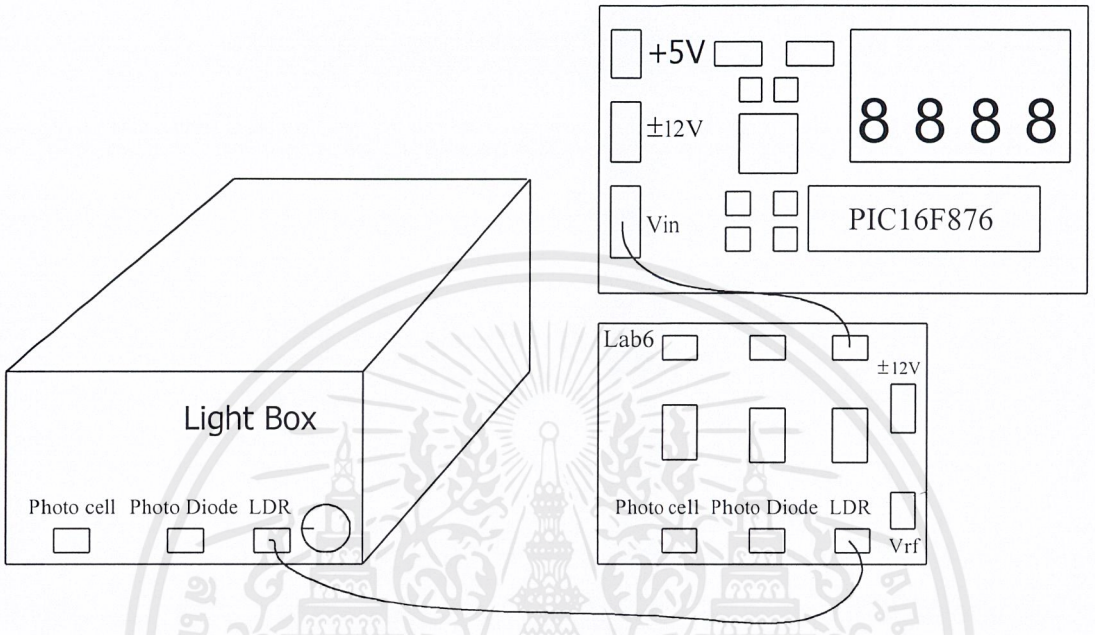


รูปที่ ค.28 โครงสร้าง และสัญลักษณ์ ของไดโอดพลังแสง

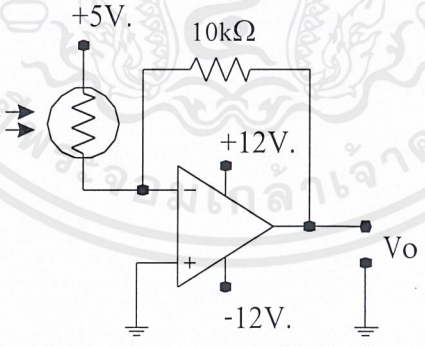
การนำเอาโฟโตไดโอดไปใช้งานจะต้องมีการต่อวงจรในลักษณะการไบแอสย้อนกลับ เพื่อทำให้บริเวณพาหะเพิ่มขึ้น และใช้พลังงานแสงไปทำให้บริเวณปลอดพาหะลดลง เมื่อพิจารณาการทำงานของโฟโตไดโอด ขณะที่ไม่มีแสงมาตกกระทบ รอยต่อของโฟโตไดโอดจะมีกระแสรั่วไหลผ่านไดโอดได้น้อยมาก ที่เรียกว่า "กระแสมืด" และเมื่อมีแสงส่องมากระทบตรงรอยต่อ พี-เอ็น อิเล็กตรอน ทั้งคู่จะถูกสร้างขึ้นมาเสริม ทำให้มีกระแสไหลผ่านตัวไดโอดได้ แต่เป็นทิศทางกลับกัน จะกล่าวได้ว่า โฟโตไดโอด เป็นสวิตช์ ที่ควบคุม การทำงานได้ด้วยแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองที่ 1 ทดลอง แอลดีอาร์



รูปที่ ค.29 การเชื่อมต่อระหว่างกล่องให้พลังงานแสง และโมดูล Lab6-1



รูปที่ ค.30 วงจรของโมดูลที่ Lab6-1

ลำดับขั้นการทดลอง

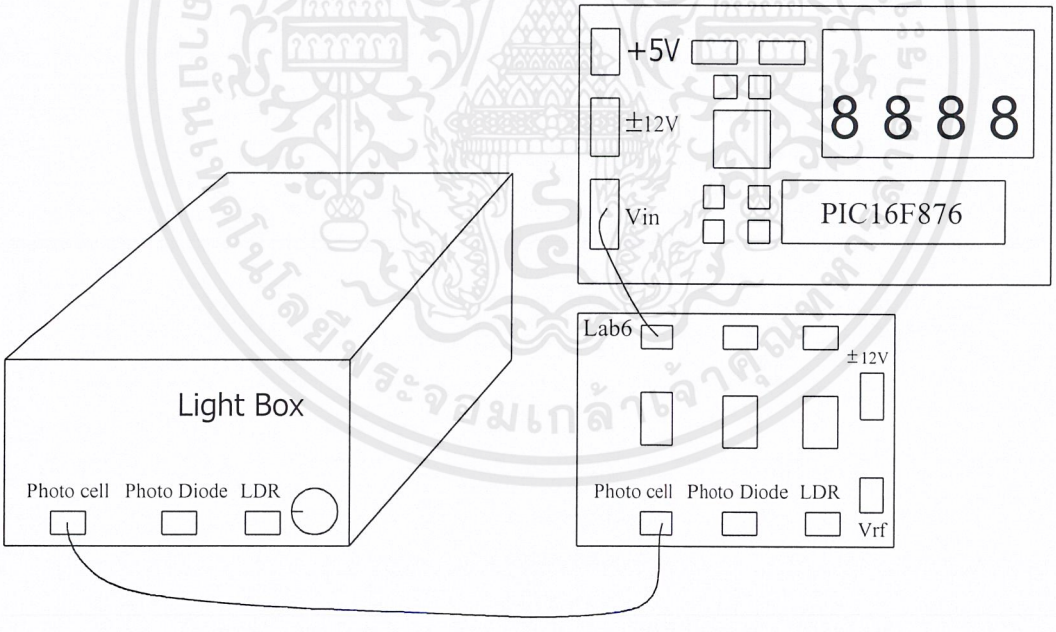
1. ต่อวงจรตามรูปที่ ค.29 โดยใช้โมดูลที่ Lab6-1
2. ปรับความเข้มของแสงตามตารางที่ ค.13
3. บันทึกผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.13 ผลการทดลองการวัดค่าแรงดันเอาต์พุต

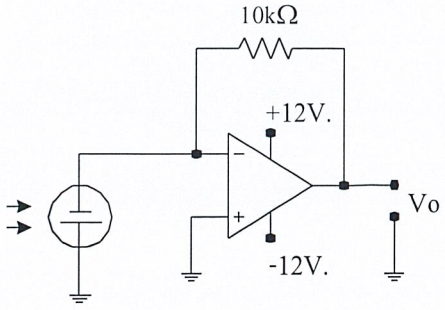
ระดับของความเข้มของแสง	Vout
1	V.
2	V.
3	V.
4	V.
5	V.

การทดลองที่ 2 การวัดค่าแรงดันเอาต์พุตของเซลล์แสงอาทิตย์



รูปที่ ค.31 การเชื่อมต่อระหว่างกล่องให้พลังงานแสง และโมดูล Lab6-3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ค.32 วงจรของโมดูลที่ Lab6-3

ลำดับขั้นการทดลอง

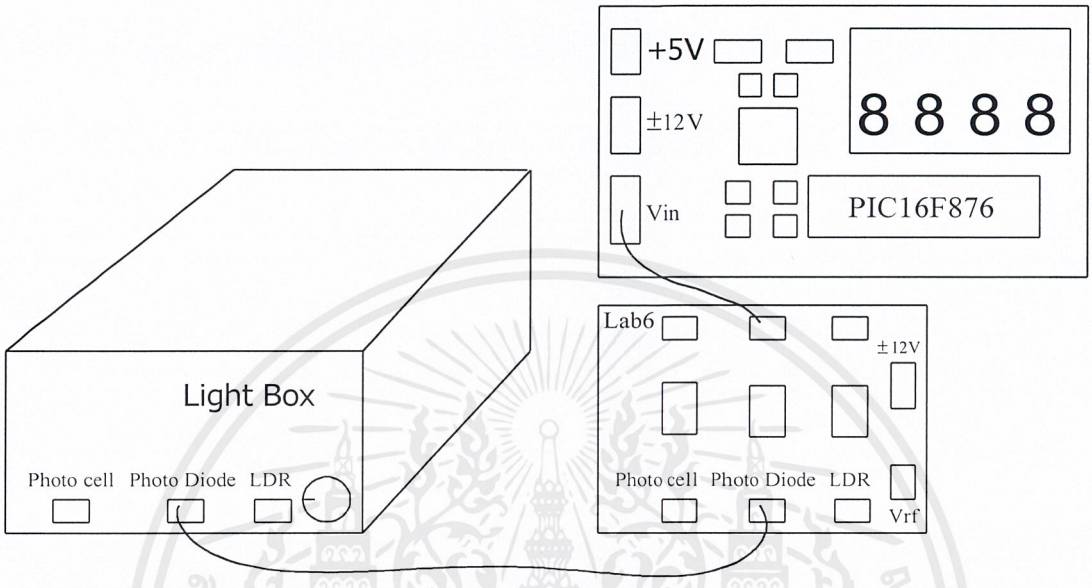
1. ต่อวงจรตามรูปที่ ค.31 โดยใช้โมดูลที่ Lab6-3
2. ปรับความเข้มของแสงตามตารางที่ ค.14
3. บันทึกผลการทดลอง

ตารางที่ ค.14 ผลการทดลองที่ 2

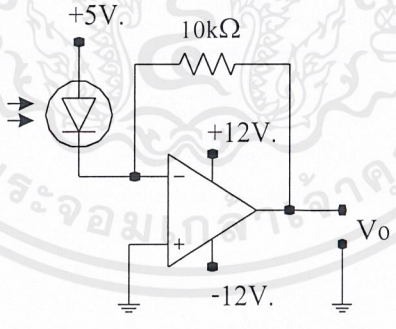
ระดับของความเข้มของแสง	Vout
1	
2	
3	
4	
5	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองที่ 3 ทดลองโฟโตไดโอด



รูปที่ ค.33 การเชื่อมต่อระหว่างกล่องให้พลังงานแสง และโมดูล Lab6-2



รูปที่ ค.34 วงจรของโมดูลที่ Lab6-2

ลำดับขั้นการทดลอง

1. ต่อวงจรตามรูปที่ ค.28 โดยใช้โมดูลที่ Lab6-2
2. ปรับความเข้มของแสงตามตารางที่ ค.15
3. บันทึกผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.15 ผลการทดลองที่ 3

ระดับของความเข้มของแสง	Vout
1	
2	
3	
4	
5	

สรุปผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

คำถามท้ายการทดลอง

1. ถ้าต้องการวัดค่าความเข้มของแสงควรใช้อุปกรณ์อะไร?

.....

.....

.....

2. เซลล์แสงอาทิตย์เป็นตัวแปลงแบบใด จงอธิบาย ?

.....

.....

.....

.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ถ้าต้องการได้ปริมาณกระแสมากๆจากเซลล์แสงอาทิตย์จะมีวิธีต่ออย่างไร ?

.....

.....

.....

.....

.....

.....

4. จงอธิบายข้อแตกต่างระหว่างไดโอดธรรมดากับโฟโตไดโอด ?

.....

.....

.....

.....

5. สารใดที่นิยมนำมาทำเซลล์แสงอาทิตย์ ?

.....

.....

.....

.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใบงานที่ 7
พร็อกซิมิตี้เซนเซอร์

วัตถุประสงค์

1. สามารถอธิบายหลักการของ สวิตซ์ แบบต่างๆ ได้
2. สามารถบอกประเภทของ สวิตซ์แบบต่างๆ ได้
3. สามารถนำวงจรไปประยุกต์ใช้ในงานจริงได้

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. มาสเตอร์บอร์ด	1	แผ่น
2. โมดูลอุปกรณ์พร็อกซิมิตี้มิเตอร์	1	ชุด
3. เซนเซอร์ชนิด อินดักตีฟ	1	ตัว
4. เซนเซอร์ชนิด คาปาซิตีฟ	1	ตัว
5. เซนเซอร์ชนิด ออปติคอล	1	ตัว
6. วัตถุทดสอบ เช่น ไม้ เหล็ก ทองแดง กระดาษ กระจก		
7. อื่นๆ		

ทฤษฎีเบื้องต้น

พร็อกซิมิตี้เซนเซอร์ คืออุปกรณ์เซนเซอร์กลุ่มที่สามารถทำงานได้โดยไม่ต้องสัมผัสกับชิ้นงาน โดยลักษณะของการทำงานจะส่ง หรือ รับพลังงานรูปแบบใดรูปแบบหนึ่ง เช่น สนามแม่เหล็ก สนามไฟฟ้า แสง และ เสียง ส่วนใหญ่จะใช้กับงานตรวจจับตำแหน่ง ระดับ ขนาด และการส่งสัญญาณไปให้ตัวนับชิ้นงานได้ เซนเซอร์ประเภทนี้ จะใช้ในงาน ควบคุมเป็นส่วนใหญ่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.16 เปรียบเทียบคุณสมบัติระหว่างพร็อกซิมิตี้เซนเซอร์ กับ สวิตช์กลไก

คุณสมบัติ	สวิตช์แบบกลไก	พร็อกซิมิตี้เซนเซอร์
การชำรุดเนื่องจากการกระแทก	มี(เพราะมีการสัมผัสกับชิ้นงาน)	ไม่มี (เพราะไม่สัมผัสกับชิ้นงาน)
ความทนทาน	มีอยู่จำกัด	ทนทานสูง
ความเร็ว	ต่ำ	สูง
กระแสโหลด	สูงๆได้	ได้ต่ำ
การติดตั้ง	ต้องดัดแปลง	ไม่ต้องดัดแปลง
ความทนต่อสภาพแวดล้อม	ไม่ทนทาน	ทนทาน
ราคา	ราคาถูก	ราคาแพง

7.1เซนเซอร์แบบเหนี่ยวนำ (Inductive Sensor)

เซนเซอร์แบบเหนี่ยวนำ หรือ อินดักตีฟเซนเซอร์ เป็นเซนเซอร์ที่ทำงานโดยอาศัยหลักการเปลี่ยนแปลงค่าความเหนี่ยวนำของขดลวด ซึ่งการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวจะมีผลต่อชิ้นงาน หรือวัตถุที่เป็นโลหะเท่านั้น

ส่วนประกอบหลักของเซนเซอร์แบบเหนี่ยวนำจะประกอบด้วย

1. วงจรกำเนิดคลื่นความถี่
2. ส่วนของการประมวลผล
3. วงจรแยกสภาวะและการสั่งงาน
4. วงจรขยายสัญญาณ และ ป้องกันเอาต์พุต

หลักการทำงาน

ที่บริเวณส่วนหัวของเซนเซอร์จะมีสนามแม่เหล็กในกรณีที่มีวัตถุ หรือชิ้นงานที่เป็นโลหะเข้ามาอยู่ในบริเวณที่มีสนามแม่เหล็ก จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงค่าความเหนี่ยวนำ ทำให้เกิดการหน่วงออสซิเลทลดลงไป และเมื่อนำเอาวัตถุนั้นออกจากบริเวณตรวจจับ วงจรกำเนิดคลื่นความถี่เริ่มต้นออสซิลเลทใหม่อีกครั้งหนึ่ง สภาวะดังกล่าวจะถูกแยกแยะได้โดยวงจรภายใน และส่งผลไปยังเอาต์พุต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.2 เซนเซอร์แบบเก็บประจุ (Capactive Sensor)

เป็นเซนเซอร์ที่สามารถตรวจจับวัตถุตัวกลางได้ทั้งที่เป็นโลหะ และอโลหะ การทำงาน (ON) และไม่ทำงาน(OFF) เกิดจากการแยกแยะสภาวะ ของวงจรกำเนิดความถี่ โดยอาศัยการเปลี่ยนแปลงค่าความจุ ลักษณะการกระจายของสนามไฟฟ้านี้ จะทำให้เกิดค่าความจุเปลี่ยนแปลงไป การเปลี่ยนแปลงค่า จะขึ้นอยู่กับระยะระหว่างตัวกลาง ค่าคงที่ของตัวกลาง และรูปร่างของตัวกลาง

7.3เซนเซอร์ชนิดใช้แสง (Optical Sensor)

ใช้ในงานที่ต้องตรวจจับชิ้นงานที่มีระยะห่างจากตัวเซนเซอร์มากๆ เซนเซอร์ชนิดใช้แสงยังสามารถตรวจจับชิ้นงานได้เกือบทุกประเภท และยังมีความเร็วสูงอีกด้วย ในบางรุ่นสามารถแยกความแตกต่างสีได้

โครงสร้างของเซนเซอร์ชนิดใช้แสงประกอบด้วย

1. วงจรกำเนิดคลื่น
2. แหล่งกำเนิดแสง
3. อุปกรณ์รับแสง
4. วงจรขยายสัญญาณ
5. วงจรเปรียบเทียบสัญญาณ
6. เอาต์พุต และวงจรป้องกัน

เซนเซอร์ชนิดแสงที่มีใช้ในโรงงานนั้น หากแบ่งตามวิธีการตรวจจับสามารถแบ่งได้ 3 แบบ

7.3.1แบบลำแสงผ่านตลอด จะแยกตัวส่งและตัวรับออกจากกัน และให้วัตถุตรวจจับอยู่ตรงกลางเซนเซอร์แบบนี้มี

ข้อดี คือ ได้ระยะไกล แม่นยำ ผิววัตถุไม่มีผลต่อการทำงาน

ข้อเสีย คือ ใช้เนื้อที่มาก ต้องมีแหล่งจ่ายไฟทั้งตัวส่งและตัวรับ ไม่สามรถตรวจจับวัตถุโปร่งใสได้

7.3.2แบบแสงสะท้อนกลับ จะรวมตัวรับและสงในตัวเดียวกัน และใช้แผ่นสะท้อนแสงสะท้อนกลับ

ข้อดี คือ ใช้เนื้อที่น้อย การเดินสายไม่ยุ่งยาก ปรับแต่งได้ง่าย

ข้อเสีย คือ จำเป็นต้องใช้แผ่นสะท้อนแบบพิเศษ มีความแม่นยำน้อยในกรณีที่ตรวจจับวัตถุที่มีค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงใกล้เคียงกันกับแผ่นสะท้อนแสง

7.3.3แบบจ่ายไฟโดยตรง เซนเซอร์ประเภทนี้ จะมีตัวส่งและตัวรับอยู่ในตัวเดียวกัน และใช้ชิ้นงานเป็นตัวสะท้อนแสงกลับ

ข้อดี คือ ใช้เนื้อที่น้อย เดินสายสะดวก ไม่ต้องปรับแต่งทิศทางแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อเสีย คือ ระยะการตรวจจับน้อยกว่าทั้งสองแบบ ความสามารถขึ้นอยู่กับสี และผิวของวัตถุ

7.4 รีดสวิตช์ (Reed Switch) คือ แม็กเนติกเซนเซอร์ที่มีลักษณะเป็นแบบหน้าสัมผัส ซึ่งโดยปกติหน้าสัมผัสจะเป็นแบบปกติปิด สวิตช์นี้จะทำงานโดยอาศัยสนามแม่เหล็กแผ่นหนาสัมผัสจะทำมาจากสารที่มีผลต่อสนามแม่เหล็ก ติดตั้งอยู่ในกระบอกแก้วที่มีการเติมก๊าซเฉื่อย เพื่อทำให้การตัดต่อส่งกระแสไฟฟ้าได้ดียิ่งขึ้น

ข้อแนะนำการใช้งานเซนเซอร์

ในการนำเซนเซอร์แต่ละแบบมาใช้งานนั้น จำเป็นอย่างยิ่งที่เราต้องรู้ข้อมูลทางเทคนิค เพื่อให้สามารถนำไปใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด

1) ระยะการตรวจจับ (Sensing Rang) คือระยะที่เมื่อแผ่นโลหะที่ตรวจจับเคลื่อนที่เข้ามาใกล้ด้านหน้าของส่วนตรวจจับ แล้วมีผลทำให้สัญญาณเกิดการเปลี่ยนแปลง

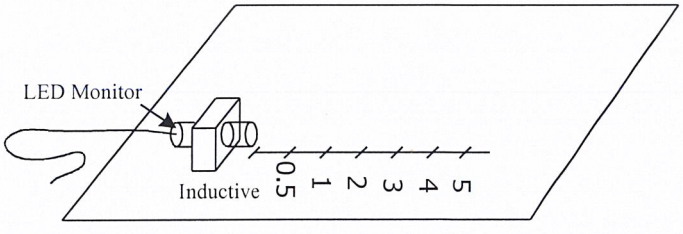
2) ระยะการตรวจจับทั่วไป (Nominal Sensing Rang ; Sn) คือระยะตามคุณลักษณะโดยไม่คิดรวมค่าผิดพลาด

3) ระยะตรวจจับจริง (Real Sensing Rang;Sr) คือระยะการตรวจจับโดยหารใช้แหล่งจ่ายตามกำหนด อุณหภูมิกำหนด

4) ระยะการตรวจจับทั่วไปที่ใช้ประโยชน์ (Useful Sensing Rang ;Su) คือระยะการตรวจจับ วัดตามมาตรฐาน EN50010

5) ระยะตรวจจับในการทำงาน (Working Sensor Rang;Sw) คือระยะใดๆ ที่เซนเซอร์สามารถทำงานได้ถูกต้อง

การทดลองที่ 1 เซนเซอร์ชนิดอินดักตีฟ



รูปที่ ค.35 การวัดระยะการทำงานของ พร๊อกซิมิตี้เซนเซอร์แบบอินดักทีฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

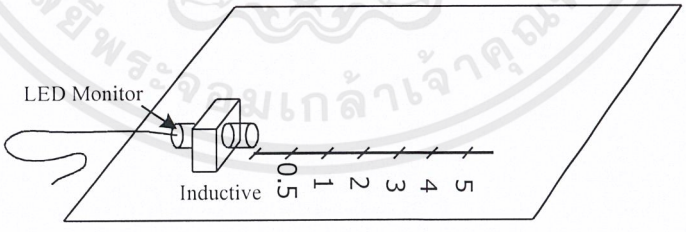
ลำดับขั้นการทดลอง

1. ต่อชุดทดลองพร้อมพร็อกซิมิตี้เซนเซอร์ กับแหล่งจ่ายไฟ
2. นำวัตถุทดสอบทีละชนิดวางหน้าเซอร์แบบ อินดักตีฟ ตามระยะในตารางที่ ค.17
3. สังเกตุการทำงานของเซนเซอร์ที่ LED Monitor บันทึกผลการทดลองในตารางที่ ค.17

ตารางที่ ค.17 ผลการทดลองเซนเซอร์ชนิด อินดักตีฟ

ชนิดชิ้นงาน	ระยะทาง(ซ.ม.)					
	5	4	3	2	1	0.5
เหล็ก						
ทองแดง						
ทองเหลือง						
อลูมิเนียม						
พลาสติก						
ไม้						

การทดลองที่ 2 เซนเซอร์ชนิด คาปาซิตีฟ



รูปที่ ค.36 การวัดระยะการทำงานของ พร็อกซิมิตี้เซนเซอร์แบบ

ลำดับขั้นการทดลอง

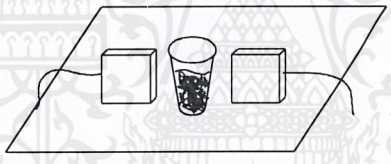
1. ต่อชุดทดลองพร้อมพร็อกซิมิตี้เซนเซอร์ กับแหล่งจ่ายไฟ
2. นำวัตถุทดสอบทีละชนิดวางหน้าเซอร์แบบ คาปาซิตีฟ ตามระยะในตารางที่ ค.18
3. สังเกตุการทำงานของเซนเซอร์ที่ LED Monitor บันทึกผลการทดลองในตารางที่ ค.18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.18 ผลการทดลองเซนเซอร์แบบ คาปาซิตีฟ

ชนิดชิ้นงาน	ระยะทาง(ซ.ม.)					
	5	4	3	2	1	0.5
เหล็ก						
ทองแดง						
ทองเหลือง						
อลูมิเนียม						
พลาสติก						
ไม้						

การทดลองที่ 3 เซนเซอร์ชนิด ออปติคอล



รูปที่ ค.37 การวัดระยะการทำงานของ พร๊อกซิมิตี้เซนเซอร์ชนิด ออปติคอล

ลำดับขั้นการทดลอง

1. ต่อชุดทดลองพร้อมพร็อกซิมิตี้เซนเซอร์ กับแหล่งจ่ายไฟ
2. นำวัตถุทดสอบทีละชนิดวางระหว่างเซนเซอร์ทั้งสองตัว
3. สังเกตุการทำงานของเซนเซอร์ที่ LED Monitor บันทึกผลการทดลองในตารางที่ ค.19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.19 ผลการทดลอง เซนเซอร์ชนิดออปติคอล

ชนิดชิ้นงาน	ผลการทำงาน
กระดาษ A4 1แผ่น	
พลาสติกใส	
น้ำอยู่ในแก้ว	
พลาสติกขุ่น	
กระจก	

สรุปผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

.....

.....

คำถามท้ายการทดลอง

1. ถ้าต้องการตรวจจับชิ้นงานที่มีทั้งไม้และเหล็กควรใช้เซนเซอร์ชนิดใด ?

.....

.....

.....

2. จงบอกข้อดี และข้อเสียของเซนเซอร์ ชนิดใช้แสง ?

.....

.....

.....

.....

.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ถ้าต้องการตรวจจับเฉพาะวัตถุที่เป็นโลหะควรใช้เซนเซอร์ชนิดใด ?

.....

.....

.....

4. ถ้าต้องการตรวจจับว่ามีน้ำอยู่ในขวดหรือไม่ต้องใช้เซนเซอร์แบบใด?

.....

.....

.....

.....

.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใบงานที่ 8
การแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล

วัตถุประสงค์

1. สามารถอธิบายหลักการแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นสัญญาณดิจิตอลได้
2. สามารถบอกประเภทของวงจรแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นสัญญาณดิจิตอลได้
3. สามารถอธิบายการทำงานของวงจรได้
4. สามารถนำวงจรไปประยุกต์ใช้ในงานจริงได้

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. มาสเตอร์บอร์ด	1 แผ่น
2. โมดูล Lab8-1	1 แผ่น
3. โมดูล Lab9-2	1 แผ่น
4. โมดูล LED Monitor	1 แผ่น
5. อื่นๆ เช่น สายแพ	

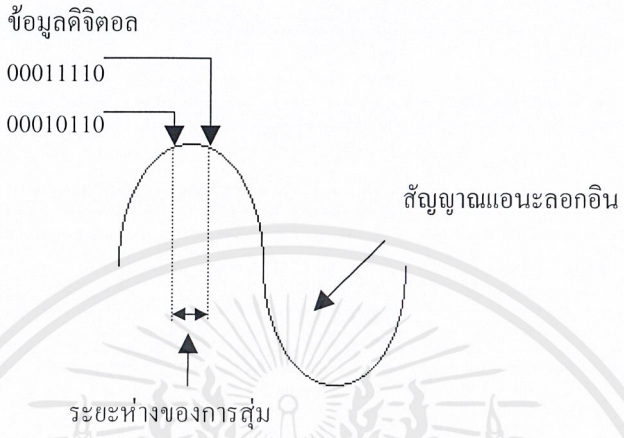
ทฤษฎีเบื้องต้น

ปัจจุบันคอมพิวเตอร์ เป็นอุปกรณ์ที่สามารถช่วยแบ่งเบาภาระ อีกทั้งยังสามารถทำงานแทนมนุษย์ได้เป็นอย่างดี แต่ในการทำงานของคอมพิวเตอร์นั้น เป็นการทำงานในระบบดิจิตอล ส่วนการทำงานของมนุษย์ และเครื่องมือบางอย่างยังคงเป็นสัญญาณแอนะลอกอยู่ดังนั้นหากเราต้องการที่จะติดต่อกับคอมพิวเตอร์ เราจำเป็นต้องใช้วงจร Analog to Digital หรือ เรียกสั้นๆว่า A to D

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

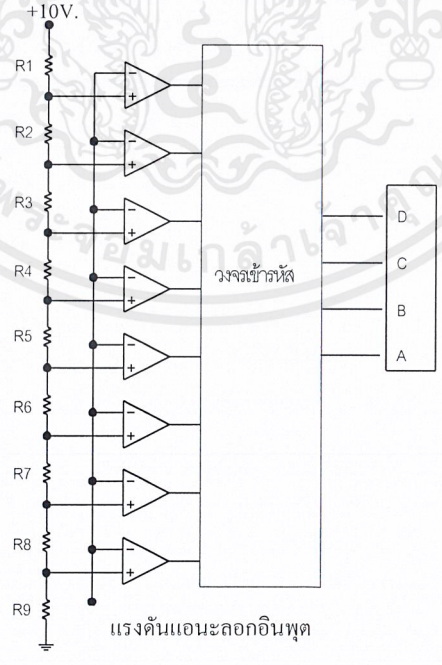
การแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล สามารถทำได้หลาย คือ

1. การสุ่ม (Sampling) ดังรูปที่ ค.38



รูปที่ ค.38 การสุ่มสัญญาณ

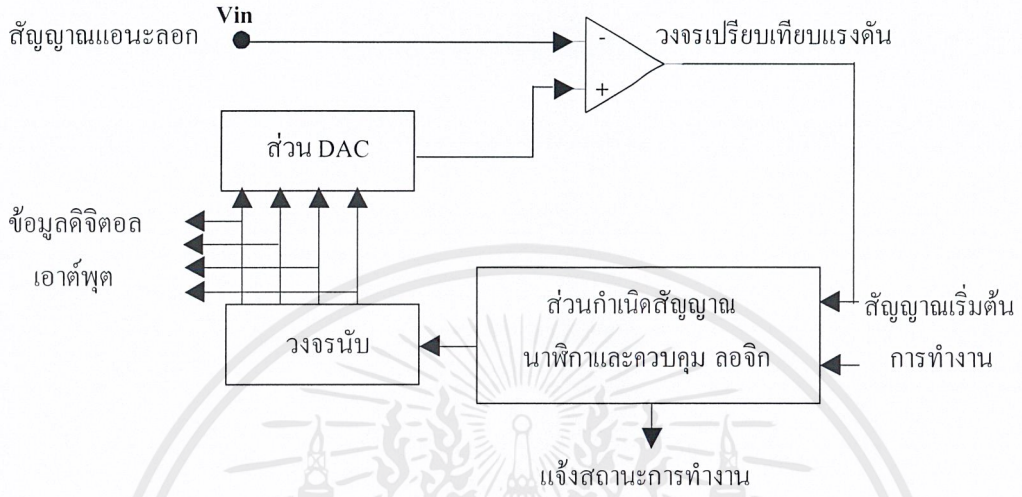
2.แบบเปรียบเทียบแรงดัน (Voltage Comparator ADC)



รูปที่ ค.39 วงจรแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. แบบวงจรนับแรมป์ (Simple Counter-Ramp ADC)



รูปที่ ค.40 วงจรนับแบบแรมป์

ส่วนประกอบของวงจรนับแรมป์

1. วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกา และ ควบคุมลอจิก (Clock & Control Logic) ส่วนนี้จะได้รับสัญญาณให้เริ่มการทำงาน แล้วส่งสัญญาณนาฬิกาไปยังวงจรนับ

2. วงจรนับ (Counter) ส่วนนี้จะทำการนับค่าตามสัญญาณนาฬิกาที่ส่งเข้ามมาแล้วส่งต่อออกไปยังวงจรแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นแอนะลอก

3. วงจรแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นแอนะลอก (DAC) ในส่วนนี้จะแปลงค่าของการนับจากวงจรนับเป็นแรงดันไฟตรง เพื่อส่งออกไปยังวงจรเปรียบเทียบแรงดัน

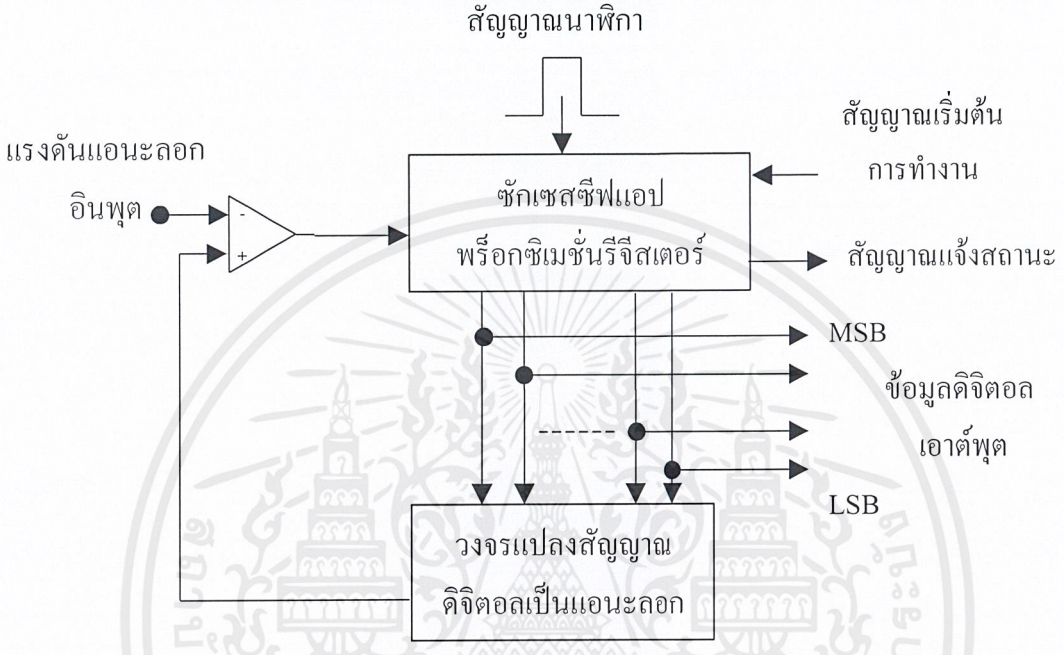
4. วงจรเปรียบเทียบแรงดัน (Comparator) จะทำหน้าที่เปรียบเทียบแรงดันจากวงจร DAC กับแรงดันแอนะลอกที่ส่งเข้ามาทางอินพุตของวงจร (Vin) หากยังไม่เท่ากันวงจรเปรียบเทียบแรงดันจะส่งสัญญาณไปยังวงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกาและส่วนควบคุมลอจิกให้ทำงานต่อไป เพื่อกระตุ้นให้วงจรนับและวงจร DAC ทำงาน จนกระทั่งแรงดันจากวงจร DAC มีค่าเท่ากับแรงดันอินพุต วงจรเปรียบเทียบจะทำการส่งสัญญาณควบคุมให้วงจรทั้งหมดหยุดทำงาน ค่าของวงจรนับครั้งสุดท้ายคือผลลัพธ์จากวงจร ADC

ข้อเสีย ของการแปลงสัญญาณแบบนี้คือ มีความเร็วต่ำ เวลาที่ใช้ในการแปลงจะขึ้นอยู่กับปริมาณของแรงดันอินพุตหากแรงดันอินพุตมีค่ามาก เวลาที่ใช้ก็จะมากตาม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. แบบซักเซสซีฟแอปพร็อกซิเมชั่น

อาจเรียกว่าเป็นการแปลงแบบประมาณค่าใกล้เคียง แผนผังการทำงานของการแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นสัญญาณดิจิตอลแบบซักเซสซีฟแอปฟร็อกซิเมชั่นแสดงดังรูป ค.41



รูปที่ ค.41 วงจรซักเซสซีฟแอปพร็อกซิเมชั่น

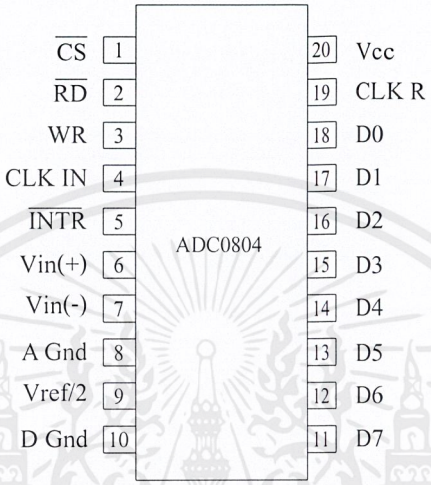
ส่วนสำคัญหลักยังคงจะต้องมีวงจรเปรียบเทียบแรงดัน ,DAC ,สัญญาณนาฬิกา และส่วนควบคุมลอจิกเช่นเดียวกับวงจรแบบนับแรมป์

จุดแตกต่างอยู่ที่ในวงจรแบบซักเซสซีฟแอปพร็อกซิเมชั่นนี้จะใช้รีจีสเตอร์เลขฐานสอง หรือ ไบนารี่รีจีสเตอร์แทนวงจรนับเลขฐานสอง แต่ละบิตของรีจีสเตอร์จะเซ็ต และรีเซ็ตโดยการควบคุมจากวงจรควบคุม

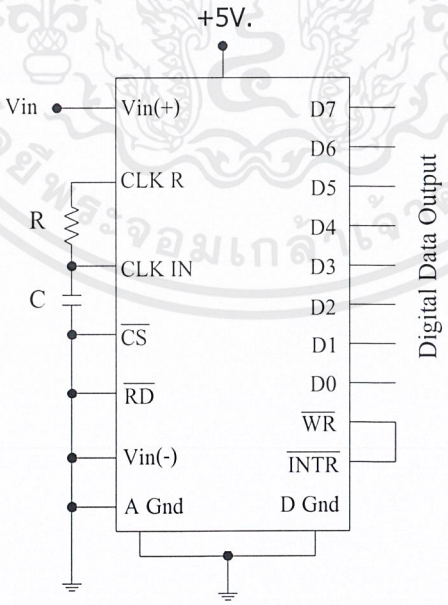
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไอซีแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล เบอร์ ADC0804

ADC0804 เป็นไอซีแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นสัญญาณดิจิตอลขนาด 8 บิต ซึ่งตำแหน่งขาต่างๆของ AD0804 แสดงดังรูป ค.42



รูปที่ ค.42 การจัดขาของไอซี ADC0804



รูปที่ ค.43 การต่อวงจรเพื่อให้ ADC0804 ทำงานต่อเนื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณนาฬิกาที่ใช้กับวงจรนี้ทำได้ 2 ทาง คือ ใช้สัญญาณนาฬิกาจากภายนอกค่า 100 ถึง 800 กิโลเฮิรตซ์ ป้อนเข้าที่ขา 4 (CLK IN) อีกวิธีหนึ่งคือ ใช้สัญญาณนาฬิกาจากภายในจากขา 19 โดยสามารถกำหนดความถี่ของสัญญาณนาฬิกาได้จาก RC ภายนอก โดยค่าความถี่หาได้จากสมการ

$$f = \frac{1.1}{RC} \qquad \textbf{(8.1)}$$

เมื่อ f คือ ความถี่เอาต์พุต (Hz)

R คือ ค่าความต้านทาน (Ω)

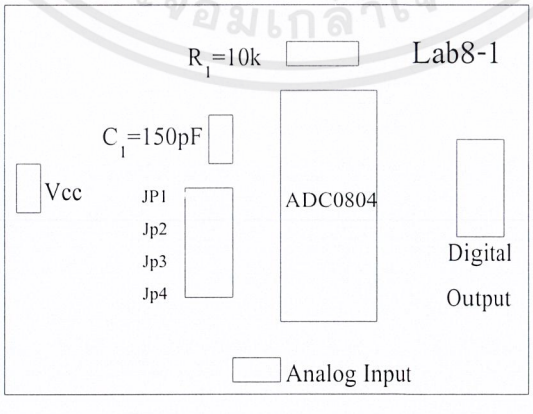
C คือ ค่าตัวเก็บประจุ (F)

ความถี่สัญญาณนาฬิกายิ่งมีค่ามากเท่าใด มีผลทำให้ข้อมูลดิจิตอลทางด้านเอาต์พุตมีค่าสอดคล้องกับสัญญาณแอนะลอกทางอินพุตมากขึ้นด้วย

ขา 5 เป็นขา $\overline{\text{INTR}}$ หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า EOC (End of Conersion)จะทำให้เอาต์พุตมีลอจิก “0” เมื่อการเปลี่ยนแปลงเสร็จสมบูรณ์

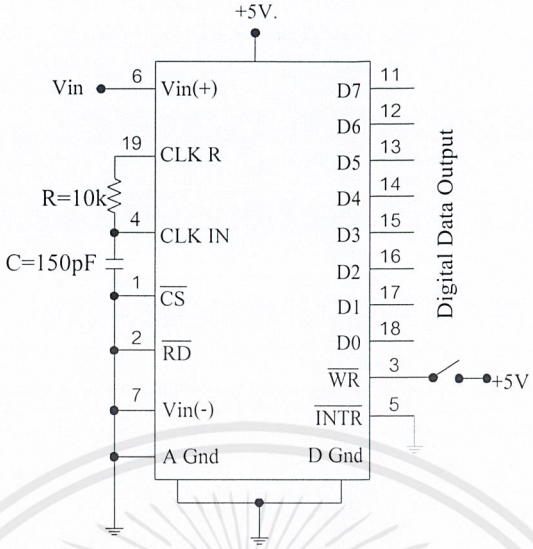
การกำหนดแรงดันอ้างอิงสามารถกำหนดได้ที่ขา 9 (Vref/2) ถ้าต้องการแรงดันอ้างอิงเท่ากับ 3 โวลต์ จะต้องป้อนแรงดันค่า 1.5 โวลต์ เข้าทางขา 9

การทดลองที่ 1 วงจรแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล โดยใช้ไอซีเบอร์ ADC0804



รูปที่ ค.44 โมดูล Lab8-1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ค.45 วงจรของโมดูล Lab8-1

ลำดับขั้นการทดลอง

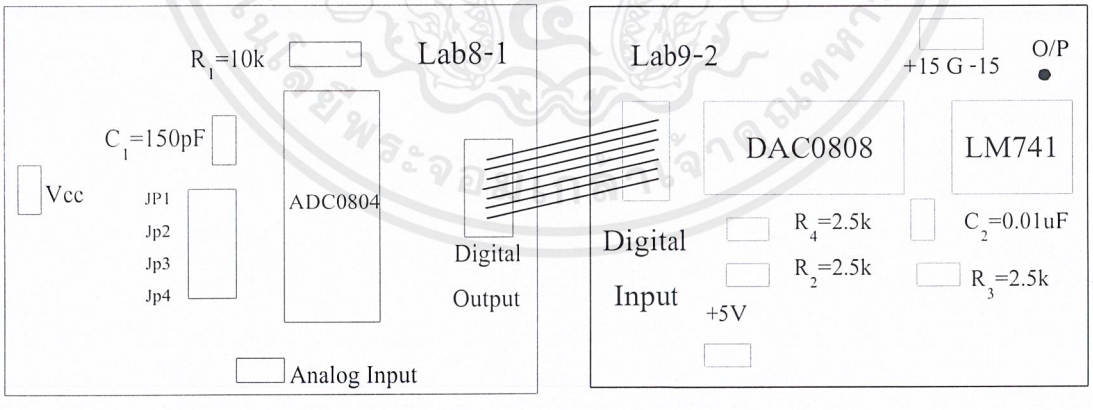
1. ใช้โมดูลที่ Lab8-1 ป้อนลอจิก 1 ให้ขา 3 ของ ADC0804 (โดยนำจัมพ์เปอร์ เสียบที่ JP1)
2. ป้อนลอจิก 0 ให้ขา $\overline{\text{INTR}}$ (โดยเสียบจัมพ์เปอร์ที่ JP4)
3. นำสายแพเสียบที่ Digital Output เข้ากับโมดูลลอจิกมอนิเตอร์
4. ป้อนแรงดันอินพุตขนาด 1 โวลต์ (ใช้แรงดันจากแหล่งจ่ายปรับค่าได้)
5. ทำให้ขา $\overline{\text{WR}}$ เป็น ศูนย์ชั่วขณะ (ถอด JP1 ออกแล้วนำมาเสียบ JP2 จากนั้นนำกลับมาเสียบที่ JP1 เหมือนเดิม)
6. บันทึกผลการทดลองของเอาต์พุตที่เกิดขึ้นในตารางที่ ค.20
7. ป้อนแรงดันอินพุต ตามค่าในตารางที่ ค.20 แล้วทำเหมือนกับข้อ 5,6
8. ต่อขา $\overline{\text{INTR}}$ และ $\overline{\text{WR}}$ เข้าด้วยกัน(โดยถอดจัมพ์เปอร์ทั้งหมด และ เสียบจัมพ์เปอร์ JP3)
9. ทำการป้อนแรงดันตามค่าในตารางที่ ค.20 บันทึกผลการทดลองในตารางที่ ค.20
10. เปรียบเทียบผลการทดลองที่ได้ของการต่อขา $\overline{\text{WR}}$ ต่อเข้ากับลอจิกสวิตซ์ และ การต่อขา $\overline{\text{WR}}$ เข้ากับขา $\overline{\text{INTR}}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.20 ผลการทดลอง

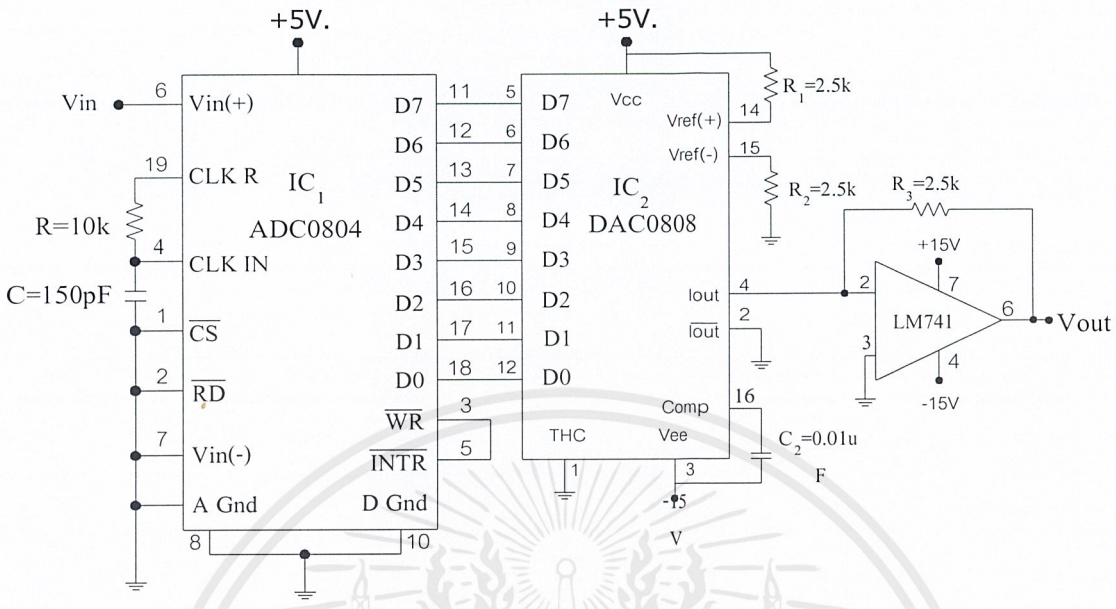
Vin	เอาต์พุตเมื่อขา WR ต่อกับลอจิกสวิตซ์								เอาต์พุตเมื่อขา WR ต่อกับขา INTR							
	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
1V																
1.5V																
2.0V																
2.5V																
3.0V																
3.5V																
4.0V																
4.5V																
5.0V																

การทดลองที่ 2 การแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล แล้วแปลงกลับจากสัญญาณดิจิตอลเป็นสัญญาณแอนะลอก เพื่อเปรียบเทียบค่าแรงดันอินพุต และแรงดันเอาต์พุต



รูปที่ ค.46 การนำโมดูล A/D ต่อกับ D/A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ค.47 วงจรผสมระหว่าง A/D และ D/A

ลำดับขั้นการทดลอง

1. นำโมดูลที่ Lab8-1 เชื่อมต่อด้วยสายแพ กับโมดูลที่ Lab9-2 ดังรูปที่ ค.46
2. ป้อนแรงดันที่ จุด แอนะลอกอินพุตตามค่าในตารางที่ ค.21
3. บันทึกผลการทดลอง

ตารางที่ ค.21 การเปรียบเทียบค่าแรงดันอินพุต และแรงดันเอาต์พุต

Vin	Vout
1.0V	V.
1.5V	V.
2.0V	V.
2.5V	V.
3.0V	V.
3.5V	V.
4.0V	V.
4.5V	V.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

คำถามท้ายการทดลอง

1. จงบอกประโยชน์ของการแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล ?

.....

.....

.....

.....

.....

2. การแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นสัญญาณดิจิตอลมีกี่วิธีอะไรบ้าง?

.....

.....

.....

.....

.....

3. จงอธิบายเปรียบเทียบระหว่าง การต่อ ขา $\overline{WR}$ กับลอจิกสวิตช์ เทียบกับ $\overline{WR}$ ต่อกับ $\overline{INTR}$?

.....

.....

.....

.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ไอซี ADC0804 หากป้อน แรงดันต่ำให้จะเกิดอะไรขึ้นกับเอาต์พุต

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

5. จงยกตัวอย่างการนำวงจรแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นสัญญาณดิจิตอลเป็นส่วนประกอบ ?

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใบงานที่ 9
การแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นสัญญาณแอนะลอก

วัตถุประสงค์

1. สามารถอธิบายหลักการแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นแอนะลอกได้
2. สามารถบอกประเภทของวงจรแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นแอนะลอกได้
3. สามารถสามารถคำนวณหาค่าในวงจรได้
4. สามารถนำวงจรไปประยุกต์ใช้ในงานจริงได้

เครื่องมือและอุปกรณ์

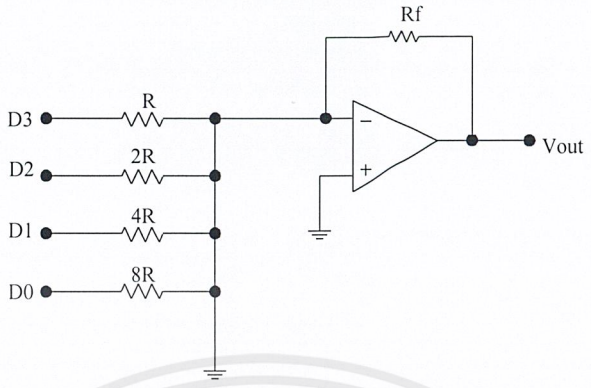
1. มาสเตอร์บอร์ด	1 แผ่น
2. แผ่นวงจรโมดูล Lab9-1	1 แผ่น
3. แผ่นวงจรโมดูล Lab9-2	1 แผ่น
4. แผ่นโมดูลลอจิกสวิตซ์	1 แผ่น
5. มัลติมิเตอร์	1 เครื่อง
5. อื่นๆ เช่นสายต่อวงจร	

ทฤษฎีเบื้องต้น

สืบเนื่องจากใบงานที่ 8 เป็นการแปลงสัญญาณแอนะลอกให้เป็นสัญญาณดิจิตอล ใบงานนี้เป็นการแปลงกลับคือ เป็นการแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นสัญญาณแอนะลอกบ้าง ซึ่งสามารถทำได้หลายวิธี ดังนี้

1) วงจรแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นสัญญาณแอนะลอกแบบกำหนดน้ำหนักตัวต้านทาน คือ วิธีการกำหนดน้ำหนักตัวต้านทาน (Weighted resistor) ดังรูป ซึ่งก็คือ วงจรรวมสัญญาณ (Summing Amplifier) นั่นเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ค.48 วงจรแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นสัญญาณแอนะลอกแบบกำหนดน้ำหนักตัวต้านทาน

จากรูปที่ ค.48 เป็นวงจรแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นสัญญาณแอนะลอกขนาด 4 บิต โดยวงจรจะประกอบไปด้วยตัวต้านทาน 4 ตัว มีค่าความต้านทานแตกต่างกันตามสัดส่วน คือ 1,2,4 และ 8 เท่า ตามลำดับ เช่น ถ้าตัวต้านทานตัวแรกมีค่า 10KΩ ตัวต้านทานตัวต่อไปก็จะมีค่า 20KΩ, 40KΩ, 80KΩ เป็นต้น

แรงดันแอนะลอกทางเอาต์พุตสามารถหาได้จากความสัมพันธ์

$$Vout = -\left(\frac{Vin}{Ri}\right)xRf \qquad \textbf{(9.1)}$$

เมื่อ Ri คือ ค่าของตัวต้านทานอินพุต

Vin คือ แรงดันอินพุต ซึ่งมีด้วยกัน 2 ค่า คือ 0V และ +5V (ระดับ TTL)

จากวงจรในรูปที่ ค.48 จะได้

$$Vout = -\left(\frac{Vin}{R} + \frac{Vin}{2R} + \frac{Vin}{4R} + \frac{Vin}{8R}\right)xRf \qquad \textbf{(9.2)}$$

$$Vout = -\left(\frac{D3}{R} + \frac{D2}{2R} + \frac{D1}{4R} + \frac{D0}{8R}\right)xVinRf \qquad \textbf{(9.3)}$$

*Vin คือค่าแรงดันสูงสุดของอินพุตและเมื่อ R=Rf จะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$Vout = -(D3 + 0.5D2 + 0.25D1 + 0.125D0)Vin \quad \textbf{(9.4)}$$

*Vin คือค่าแรงดันสูงสุดของอินพุต

*D3-D0 คือ สัญญาณดิจิตอลมีค่า 0 และ 1

ตัวอย่าง เมื่อสัญญาณอินพุต D3-D0 เป็น 1111 แรงดันอินพุตมีขนาด 5 โวลต์ จะทำให้

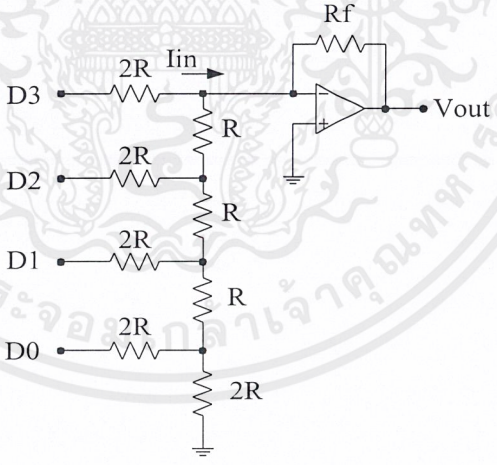
Vout = -(1+0.5+0.25+0.125)x 5V

=-(1.875)x 5V

=-9.375

2) วงจรแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นสัญญาณแอนะลอกแบบ R-2R แลดเดอร์

เป็นวงจรที่ได้รับความนิยมเป็นอย่างมาก เนื่องจากสามารถหาตัวต้านทานได้ง่ายกว่าแบบกำหนดน้ำหนัก โดยจะใช้ค่าความต้านทานเพียง 2 ค่า คือ R และ 2R เช่น ถ้า R มีค่า 10KΩ, 2R ก็จะมีค่า 20KΩ



รูปที่ ค.49 วงจรแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นสัญญาณแอนะลอกแบบ R-2R แลดเดอร์

การคำนวณ ค่า Vout

$$Vout = -Iin \times Rf \quad \textbf{(9.5)}$$

$$Iin = \left(\frac{I}{2} + \frac{I}{4} + \frac{I}{8} + \frac{I}{16}\right) \quad \textbf{(9.6)}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{Vout} = -\left(\frac{I}{2} + \frac{I}{4} + \frac{I}{8} + \frac{I}{16}\right)\text{xRf} \qquad \textbf{(9.7)}$$

$$\text{Vout} = -\left(\frac{D3}{2} + \frac{D2}{4} + \frac{D1}{8} + \frac{D0}{16}\right)\text{x}\ \frac{\text{Vin}}{R}\ \text{Rf} \qquad \textbf{(9.8)}$$

* Vin คือ ค่าแรงดันสูงสุดของอินพุต

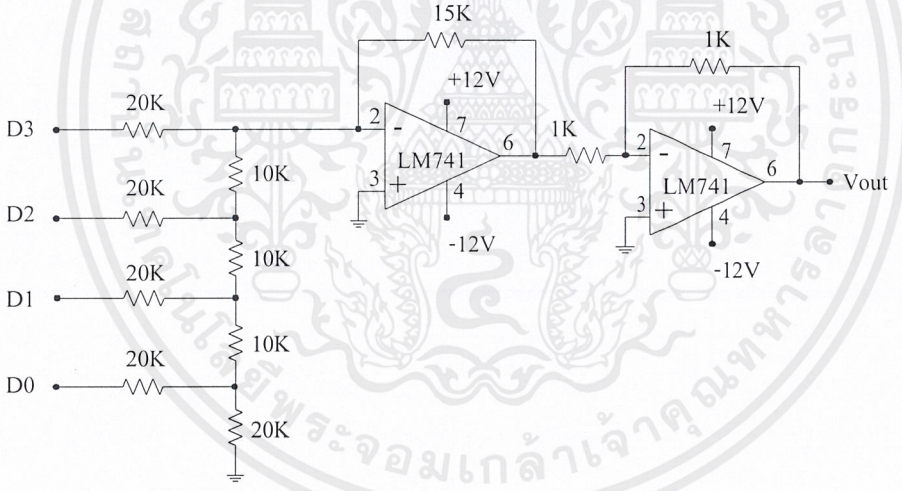
ตัวอย่าง เมื่อสัญญาณอินพุต D3-D0 เป็น 1111 แรงดันอินพุตมีขนาด 5 โวลต์ Rf = R

Vout = -(0.5+0.25+0.125+0.0625) x 5 V

= -(0.9375) x 5V

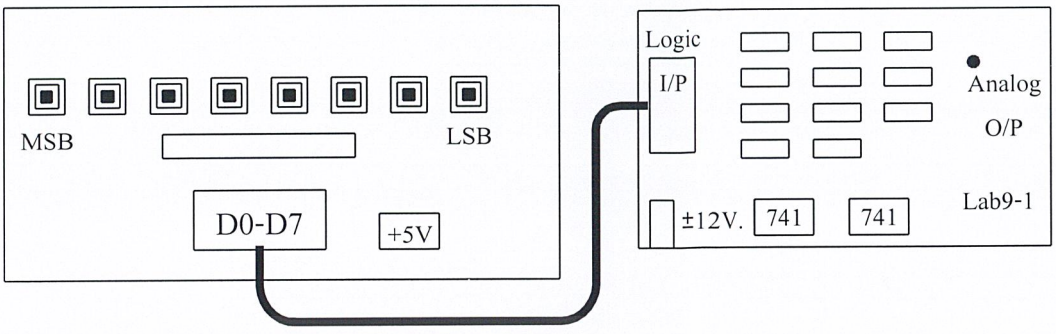
= -4.6875 V

การทดลองที่ 1 การแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นสัญญาณแอนะลอกแบบ R-2R แลดเดอร์



รูปที่ ค.50 วงจร DAC R–2R แลดเดอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ค.51 การเชื่อมต่อระหว่างโมดูล Lab9-1

ลำดับขั้นการทดลอง

1. นำโมดูลสวิตช์ 8 บิต และโมดูล R-2R แลดเดอร์ ต่อกันดังรูปที่ ค.51
2. คำนวณแรงดันเอาต์พุตของวงจรรูปที่ ค.50 แล้วบันทึกผลการคำนวณลงตารางที่ ค.22

ตารางที่ ค.22 ผลการทดลองวงจร D/A แบบ R–2R แลดเดอร์

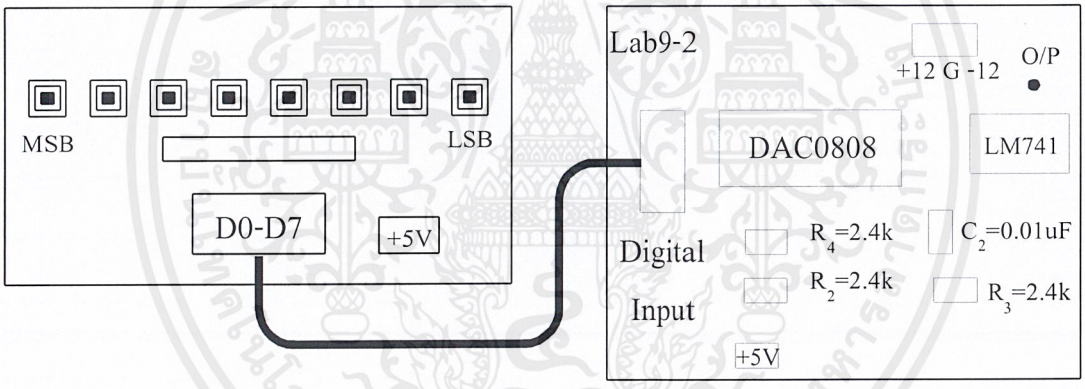
ข้อมูลอินพุต	แรงดันเอาต์พุต (Vout)	
D3 – D0	ค่าที่ได้จากคำนวณ	ค่าที่ได้จากการทดลอง
0000		
0001		
0010		
0011		
0100		
0101		
0110		
0111		
1000		
1001		
1010		
1011		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.22 (ต่อ)

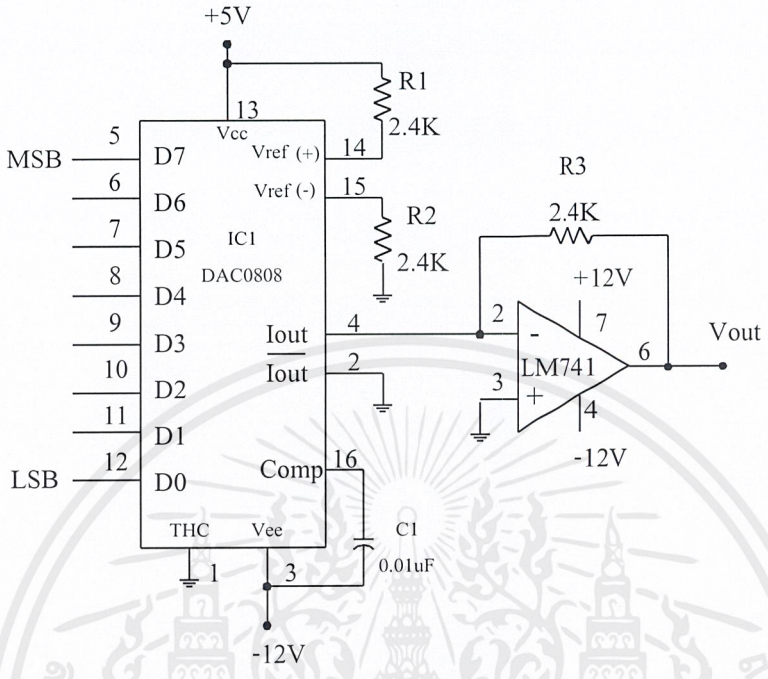
ข้อมูลอินพุต	แรงดันเอาต์พุต (Vout)	
D3 – D0	ค่าที่ได้จากคำนวณ	ค่าที่ได้จากการทดลอง
1100		
1101		
1110		
1111		

การทดลองที่ 2 วงจร D/A ใช้ไอซี DAC0808



รูปที่ ค.52 โมดูล Lab9-2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ค.52 วงจร D/A แบบใช้ไอซี DAC0808

ลำดับขั้นการทดลอง

1. นำโมดูล Sw-8 มาเชื่อมต่อกับโมดูล Lab9-2 โดยใช้สายแพ
2. นำสายที่โมดูลมัลติมิเตอร์วัดที่จุด Vout ของโมดูล Lab9-2
3. ป้อนข้อมูลดิจิตอลตามค่าในตารางที่ ค.23 วัดแรงดันเอาต์พุตที่ จุด O/P
4. บันทึกผลลงในตาราง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.23 ผลการทดลอง DAC0808

อินพุต D7 – D0	Vout (โวลต์)
00000000	
00000001	
00000010	
00000100	
00001000	
00010000	
00100000	
01000000	
11111111	

สรุปผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำถามท้ายการทดลอง

1. จงบอกประโยชน์ของการแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นสัญญาณแอนะลอก ?

.....

.....

.....

.....

2.จงบอกข้อดี ของวงจร D/A แบบ R-2R แลดเดอร์ เมื่อเทียบกับ แบบกำหนดน้ำหนักตัวต้านทาน ?

.....

.....

.....

.....

3. จากวงจรรูปที่ ค.48 กำหนดให้ สัญญาณอินพุต D3-D0 เป็น 1111 แรงดันอินพุตมีขนาด 10 โวลต์ จงคำนวณหาค่าแรงดันเอาต์พุต ?

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

4. เพราะเหตุใด วงจร R-2R แลดเดอร์ ในรูปที่ ค.44 จึงต้องใช้ ออปแอมป์ 2 ตัว ?

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใบงานที่ 10
วงจรควบคุม พี ไอ ดี

วัตถุประสงค์

1. สามารถอธิบายหลักการของ วงจรควบคุมป้อนกลับแบบพี แบบไอ และแบบดี ได้
2. สามารถอธิบายการทำงานของ วงจรควบคุมป้อนกลับแบบพี แบบไอ และแบบดี ได้
3. สามารถปรับปรุงการทำงานของ วงจรควบคุมป้อนกลับแบบพี แบบไอ และแบบดี ได้
4. สามารถนำวงจรไปประยุกต์ใช้ในงานจริงได้

เครื่องมือ และอุปกรณ์

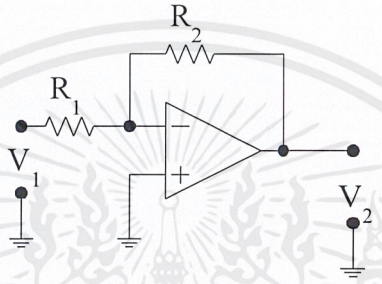
1. มาสเตอร์บอร์ด	1 แผ่น
2. แผ่นวงจรทดลองตัวควบคุมแบบพี	1 แผ่น
3. แผ่นวงจรทดลองตัวควบคุมแบบไอ	1 แผ่น
4. แผ่นวงจรทดลองตัวควบคุมแบบดี	1 แผ่น
5. ออสซิลโลสโคป	1 เครื่อง
6. ฟังชั่นเจนเนอร์เรเตอร์	1 เครื่อง
7. อื่นๆ เช่น สายต่อวงจร	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทฤษฎีเบื้องต้น

10.1 ตัวควบคุมแบบพี(P-Element)

10.1.1 การขยายแบบกลับเฟส (Inverting amplifies) หรือ บางทีเรียกว่า "ตัวควบคุมเชิงสัดส่วน" (Proportional Controller or P-Element) จะถูกใช้โดยการป้อนสัญญาณเข้าทางอินพุตขาลบ และทางเอาต์พุตจะปรากฏสัญญาณที่ตรงข้าม



รูปที่ ค.53 วงจรขยายแบบพีชนิดกลับเฟส

เมื่อแรงดันอินพุตของออปแอมป์มีค่าประมาณศูนย์โวลต์ โดยที่อินพุตขาบวกถูกต่อลงกราวด์ ซึ่งจะทำให้ไม่มีกระแสไหลในอินพุตนี้ กระแสที่ไหลผ่านตัวต้านทาน R_1 และ R_2 จะมีค่าเท่ากัน จากกฎของโอห์ม

$$I_1 = \frac{V_1}{R_1} = \frac{-V_2}{R_2} \qquad \textbf{(10.1)}$$

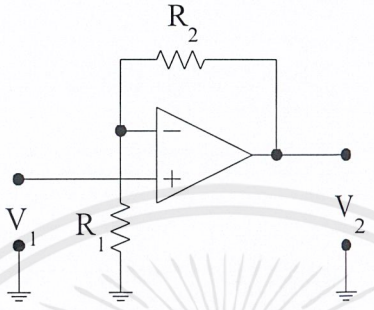
$$\text{หรือ} \quad \frac{V_2}{V_1} = -\frac{R_2}{R_1} = v \qquad \textbf{(10.2)}$$

$$\therefore \text{ อัตราขยาย } \quad v = -\frac{R_2}{R_1} \qquad \textbf{(10.3)}$$

*หมายเหตุ : เครื่องหมายลบแสดงการกลับเฟสของสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

10.1.2 การขยายแบบไม่กลับเฟส (Non–Inverting Amplifier) เป็นการป้อนสัญญาณเข้าทางอินพุตขาบวกของออปแอมป์ โดยที่ทางด้านเอาต์พุตจะปรากฏสัญญาณที่เหมือนกับสัญญาณที่เข้าทางด้านอินพุต



รูปที่ ค.54 วงจรขยายแบบพีชนิดไม่กลับเฟส

แรงดันเอาต์พุต (V_2) จะเป็นตัวปรับแก้ค่าความแตกต่างแรงดันอินพุตของออปแอมป์ใหม่จนกลายเป็นศูนย์ ดังนั้น ในทางปฏิบัติแรงดัน V_1 จะพิจารณาได้จากสมการดังต่อไปนี้

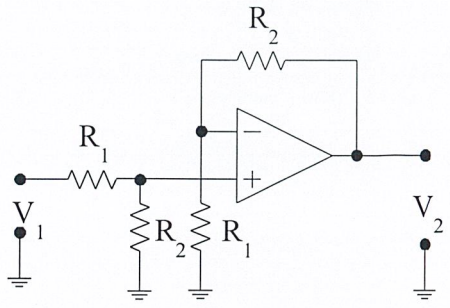
$$V_{R1} = V_1 = V_2 \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_2} \qquad \textbf{(10.4)}$$

หรือ $$\frac{V_2}{V_1} = \frac{R_1 + R_2}{R_1} \qquad \textbf{(10.5)}$$

$$\therefore \text{ อัตราขยาย } v = 1 + \frac{R_2}{R_1} \qquad \textbf{(10.6)}$$

วงจรขยายแบบพีชนิดไม่กลับเฟสจะมีอัตราขยายที่มากกว่าวงจรขยายแบบกลับเฟสอยู่ 1 เท่า เมื่อมีค่าความต้านทานที่ใช้ในวงจรเหมือนกัน ถ้าต้องการให้อัตราขยายของวงจรการขยายแบบไม่กลับเฟสมี $v = \frac{R_2}{R_1}$ สามารถทำได้โดยการต่อตัวแบ่งแรงดันเข้าที่ขาอินพุตขาบวกของออปแอมป์ดังแสดงใน รูปที่ ค.55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ค.55 วงจรขยายแบบพีชนิดไม่กลับเฟส

อัตราขยายทั้งหมดของวงจรในรูปที่ ค.55 สามารถหาได้จากสมการแรงดันอินพุตที่ขาลบของออปแอมป์

$$V_{R1} = \frac{R_1 \bullet V_2}{R_1 + R_2} \qquad \textbf{(10.6)}$$

แรงดันอินพุตที่ขาบวกของออปแอมป์

$$V_{R2} = \frac{R_2 \bullet V_1}{R_1 + R_2} \qquad \textbf{(10.7)}$$

เมื่อ $V_{R1} = V_{R2}$ อินพุตทั้งสองจะมีค่าความต่างศักย์เท่ากับศูนย์

$$\therefore \quad \frac{R_1 \bullet V_2}{R_1 + R_2} = \frac{R_2 \bullet V_1}{R_1 + R_2} \qquad \textbf{(10.8)}$$

$$v = \frac{V_2}{V_1} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \bullet \frac{R_1 + R_2}{R_1} \qquad \textbf{(10.9)}$$

$$\therefore \quad \text{อัตราขยายรวม } v = \frac{R_2}{R_1} \qquad \textbf{(10.10)}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการควบคุมเชิงวิศวกรรม อัตราขยายแบบนี้ถูกเรียกว่า “ตัวประกอบการถ่ายโอน” (Transfer factor)

10.2 ตัวควบคุมแบบไอ (I-Element)

ตัวควบคุมอินทิเกรต (Integrating Controller or I-Element) หรือบางทีเรียกว่า “แบบบูรณาการรวมหน่วย” เป็นวงจรทำหน้าที่เปลี่ยนแปลงแรงดันเอาต์พุต โดยใช้แรงดันอินพุตคงที่ ซึ่งอัตราของการเปลี่ยนแปลงแรงดัน (V_2) นั้นจะเป็นสัดส่วนกับแรงดันอินพุต (V_1) คือ

$$V_2 = K_I \bullet V_1 \tag{10.11}$$

ถ้าอัตราการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นเป็นเชิงเส้นต่อเวลา สิ่งที่จะได้รับโดยที่สภาวะเริ่มต้นเป็นศูนย์ คือ

$$V_2 = K_I \bullet t \bullet V_1 \tag{10.12}$$

เมื่อ K_I = สัมประสิทธิ์อินทีเกรต

V_1 = แรงดันอินพุตคงที่

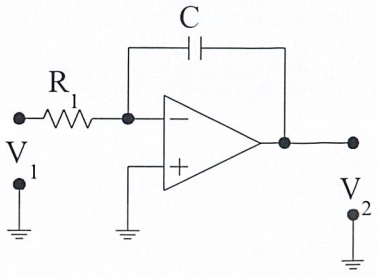
V_2 = แรงดันเอาต์พุต

ถ้าตัวควบคุมอินทิเกรตต่อวงจรแบบกลับเฟส (Inverting Circuit) แรงดันเอาต์พุตจะมีค่าลดลง ดังสมการ

$$V_2 = -K_I \bullet t \bullet V_1 \tag{10.13}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

10.2.1 ตัวควบคุมแบบไอชนิดกลับเฟส (Inverting I-Element)



รูปที่ ค.56 วงจรควบคุมแบบไอชนิดกลับเฟส

ขณะเวลา t = 0 ตัวเก็บประจุ (C) จะไม่เก็บประจุเมื่อแรงดันเอาต์พุตปรับตัวมันเองทำให้ออปแอมป์มีความแตกต่างที่อินพุตทั้งสองเป็นศูนย์ ดังนั้นสมการของกระแส (I) คือ

$$I_1 = \frac{V_1}{R} \qquad \textbf{(10.14)}$$

เมื่อ V_1 = แรงดันอินพุตคงที่ ตัวเก็บประจุ (C) จะเก็บประจุ (Q) $= I_1 \bullet t$ ดังนั้นแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุ คือ

$$V_C = -\frac{Q}{C} = \frac{1}{C} \bullet I1 \bullet t \qquad \textbf{(10.15)}$$

*หมายเหตุ : การไหลของกระแสประจุ จะมีทิศทางที่ตรงกันข้ามกับกระแสนิยม (I_1) ซึ่งจะมีเครื่องหมายเป็นลบ

ค่าแรงดันเอาต์พุต (V_2) จะมีค่าเท่ากับแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุ (V_C) ดังสมการ

$$V_2 = -\frac{1}{C} \bullet I_1 \bullet t = -\frac{1}{R \bullet C} \bullet t \bullet V_1 \qquad \textbf{(10.16)}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำสมการที่ 10.16 มาเปรียบเทียบกับสมการที่ 10.13 เราจะได้สมการสัมประสิทธิ์อินทิเกรต คือ

$$KI = \frac{1}{R \bullet C} \qquad \textbf{(10.17)}$$

วงจรอินทิเกรตสามารถที่จะแสดงสำหรับการป้อนแรงดันคลื่นไซน์เข้าทางอินพุต โดยที่ทางเอาต์พุตจะมีแรงดันเอาต์พุตเป็นคลื่นไซน์เหมือนกัน แต่แอมปลิจูดจะขึ้นอยู่กับอัตราขยาย (v) ที่ถูกกำหนดโดยอัตราของความต้านทานทางไฟฟ้ากระแสสลับ(AC Impedance) ของตัวเก็บประจุกับตัวตานทานทางอินพุต สำหรับความถี่ (fx) ที่กำหนดให้ทางเอาต์พุต แรงดันจะมีค่าความถี่เท่ากับแรงดันด้านเข้าทางอินพุต ซึ่งจะสามารถหาสมการความถี่ (fx) ได้ดังนี้

$$v = \frac{X_C}{R} = \frac{\frac{1}{\omega C}}{R} = \frac{1}{\omega R \bullet C} = \frac{1}{2\pi f_X \bullet R \bullet C} = 1 \qquad \textbf{(10.18)}$$

$$\text{หรือ} \quad f_X = \frac{1}{2\pi R \bullet C} \qquad \textbf{(10.19)}$$

ในทางปฏิบัติ วงจรอินทิเกรตจะไม่มีเสถียรภาพมากนัก คือ เมื่อทดสอบการป้อนกลับแรงดันไฟกระแสตรง เข้าทางอินพุตอันจะมีผลทำให้แรงดันเอาต์พุตถึงขีดจำกัด ซึ่งการแก้ไขทำได้โดยการต่อตัวต้านทานค่ามากๆ ขนานกับตัวเก็บประจุ C ซึ่งจะมีผลทำให้อัตราขยายของออปแอมป์ลดลงเพื่อจำกัดอัตราขยายสัญญาณทางอินพุตมีความถี่ต่ำๆ เมื่อแรงดัน V_1 เป็นแรงดันตกคร่อมตัวต้านทาน R จะได้

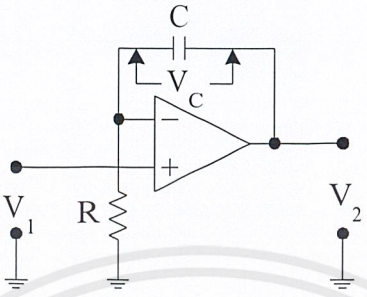
$$I_1 = \frac{V_1}{R}; V_C = \frac{1}{C} \bullet I_1 \bullet t; V_2 = V_C + V_1 \qquad \textbf{(10.20)}$$

โดยมากจะมีการกำหนดเงื่อนไข ข้อจำกัด คือ $V_1 << V_C$ ดังนั้น

$$V_2 \approx \frac{1}{R \bullet C} \bullet t \bullet V_1 \qquad \textbf{(10.21)}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

10.2.2 ตัวควบคุมแบบไอไม่กลับเฟส (Non-Inverting I-Element)



รูปที่ ค.57 วงจรควบคุมแบบไอ ชนิดไม่กลับเฟส

วงจรตัวควบคุมแบบไอชนิดไม่กลับเฟสจะมีสัมประสิทธิ์อินทิเกรต (K_I) มีค่าเหมือนกับวงจรตัวควบคุมแบบไอชนิดกลับเฟส ดังที่กล่าวมาแล้วในข้างต้น

ในทางปฏิบัติ วงจรนี้จะใช้สภาวะเงื่อนไขแรงดัน $V_1 << V_2$ โดยที่ทางอินพุตจะต่อเป็นวงจรแบ่งแรงดัน สำหรับเสถียรภาพของวงจรจะต้องต่อตัวต้านทานค่าสูงๆขนานกับตัวเก็บประจุ

10.3 ตัวควบคุมแบบดี (D-Element)

วงจร Differintiating หรือบางครั้งเรียกว่า "วงจรควบคุมแบบอนุพันธ์" ซึ่งจะประกอบด้วยออปแอมป์ที่ต่อแบบกลับเฟส (Inverting) และแบบไม่กลับเฟส (Non inverting) จะใช้ในวงจร Damping Oscillating วงจรแบบ Differentiating เป็นวงจรที่สัญญาณเอาต์พุตมีการเปลี่ยนแปลงที่มีความสำพันธ์กับสัญญาณอินพุต แรงดัน V_2 จะมีความสัมพันธ์กับสัญญาอินพุต แรงดัน V_2 จะมีความสัมพันธ์กับอัตราการเปลี่ยนแปลงของ V_1 ของแรงดันอินพุต

$$V_2 = K_D \bullet V_1 \qquad \textbf{(10.21)}$$

K_D เป็นค่าสัมประสิทธ์ของวงจร Differentiating สำหรับแรงดันอินพุต V_1 จะเพิ่มขึ้นอย่างสม่ำเสมอเมื่อเทียบกับเวลา ค่าของ V_2 สามารถหาได้จาก

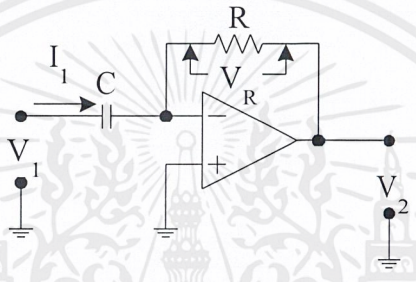
$$V_2 = K_D \bullet \frac{V_1}{t} \qquad \textbf{(10.22)}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับวงจรขยายแบบกลับเฟส (Inverting Amplifier) V_2 จะเป็นลบ

$$V_2 = -K_D \bullet \frac{V_I}{t} \qquad \textbf{(10.23)}$$

10.3.1 วงจรควบคุมแบบดีชนิดกลับเฟส (Inverting D-Element)



รูปที่ ค.58 วงจรควบคุมแบบดีชนิดกลับเฟส

ถ้ากระแสอินพุต I_1 มีค่าคงที่ จะสามารถหาค่าแรงดันที่ตัวเก็บประจุได้ คือ

$$V_C = V_I = \frac{1}{C} \bullet I1 \bullet t \qquad \textbf{(10.24)}$$

I_1 จะมีความสัมพันธ์กับแรงดันตกคร่อมตัวต้านทาน (V_R) ในทิศทางตรงดันข้าม

$$VR = -I1 \bullet R \qquad \textbf{(10.25)}$$

ดังนั้นแรงดันเอาต์พุตคือ

$$V_2 = V_R = -R \bullet C \bullet \frac{V_I}{t} \qquad \textbf{(10.26)}$$

เมื่อเปรียบเทียบกับสมการที่ 10.23 จะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$K_D = R \bullet C \tag{10.27}$$

สามารถแสดงให้เห็นเมื่อมีสัญญาณอินพุตเป็นคลื่นไซน์ (Sine wave) สัญญาณเอาต์พุตเป็นรูปคลื่นไซน์ (Sinewave) ด้วย

$$\frac{1}{\omega C} = R \tag{10.28}$$

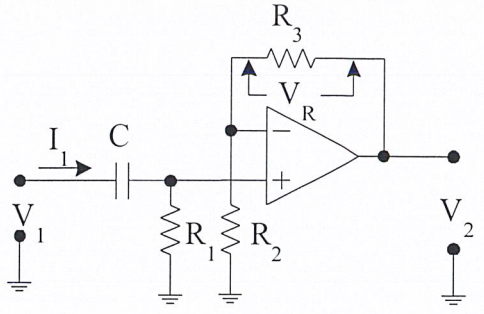
เมื่ออัตราขยาย V = 1 จะทำให้แรงดันอินพุต เท่ากับ แรงดันเอาต์พุต ในการพิจารณาความถี่จะได้

$$f = \frac{1}{2\pi \bullet R \bullet C} \tag{10.29}$$

สัญญาณฮาร์มอนิก (Hamonic) จากเครื่องกำเนิดสัญญาณอินพุต ซึ่งมักจะถูกขยายรวมเข้าไปด้วย สัญญาณเอาต์พุตที่ออกมาจะไม่เป็นคลื่นไซน์ วงจรกรองความถี่ต่ำ (Low-pass filter) จะเป็นส่วนที่ทำให้สัญญาณอินพุตเปลี่ยนไป วงจรแบบ D-Element เป็นวงจรที่ใช้กับสัญญาณอินพุตที่เป็นรูปคลื่นสี่เหลี่ยม (Square wave)

ในทางปฏิบัติอาจเกิดการออสซิเลตขึ้นได้ง่ายเมื่ออัตราขยายสูงขึ้น แต่สามารถแก้ไขได้โดยการต่อความต้านทานแบบอนุกรมกัน อัตราขยายก็จะถูกจำกัด แต่การออสซิเลตจะถูกกำจัดออกไป

10.3.2 ตัวควบคุมแบบดี ชนิดไม่กลับเฟส (Non-Inverting D-Element)



รูปที่ ค.59 วงจรควบคุมแบบดีชนิดไม่กลับเฟส(Non-Inverting D-Element)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้ามีกระแสอินพุต I_1 ไหลเข้ามาในวงจร แรงดันที่ตัวเก็บประจุจะมีค่า

$$V_C = \frac{1}{C} \bullet I_1 \bullet t \qquad \textbf{(10.30)}$$

ถ้ากำหนดให้ $I_1 \bullet R_1 \langle\langle V_1$ ดังนั้น

$$V_1 \approx V_C \qquad \textbf{(10.31)}$$

วงจรออปแอมป์จะขยายแรงดันด้วยอัตราขยาย

$$v = \frac{R_3}{R_2} = 1 \qquad \textbf{(10.32)}$$

จะได้ $$V_2 = \left(\frac{R_3}{R_2} + 1\right) \bullet I_1 \bullet R_1 = R_1 \bullet C \bullet \left(\frac{R_3}{R_2} + 1\right) \bullet \frac{V_1}{t} \qquad \textbf{(10.33)}$$

เปรียบเทียบกับสมการที่ 10.22 จะได้

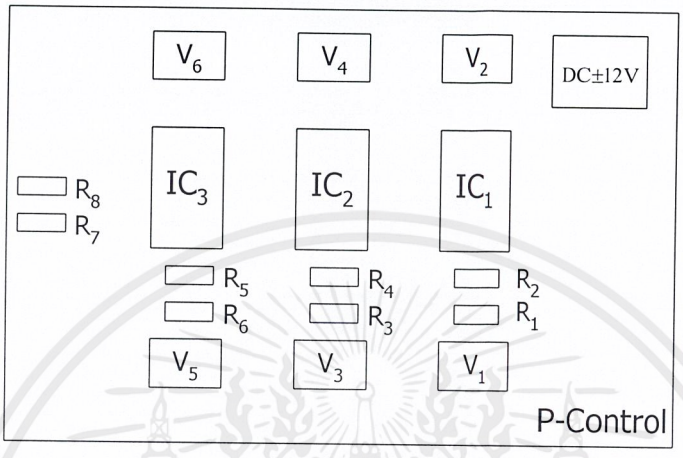
$$K_D = R_1 \bullet C \bullet \left(\frac{R_3}{R_2} + 1\right) \qquad \textbf{(10.34)}$$

ค่าสัมประสิทธ์ต่างๆ ของวงจรจะมีค่า สัมประสิทธ์สูงกว่า วงจรที่กล่าวมาข้างต้น ตัวควบคุมแบบนี้ส่วนมากจะนำไปใช้ร่วมกับตัวควบคุมแบบอื่นๆ เช่น ใช้ร่วมกับตัวควบคุมเชิงสัดส่วน ซึ่งจะเรียกว่า "ตัวควบคุมเชิงสัดส่วนบวกกับแบบอนุพันธ์ หรือตัวควบคุมแบบพีดี (PD – Element)" ตัวควบคุมแบบอนุพันธ์นี้จะช่วยให้เราปรับค่าความหน่วง (Damping) ในระบบที่จะควบคุมให้มีค่ามากขึ้นนั่นคือทำให้ระบบมีเสถียรภาพมากขึ้น แต่โดยทั่วไปแล้วตัวควบคุมเชิงอนุพันธ์นี้จะไม่ทำให้ค่าผิดพลาดในสถานะอยู่ตัวมีค่าเป็นศูนย์ได้

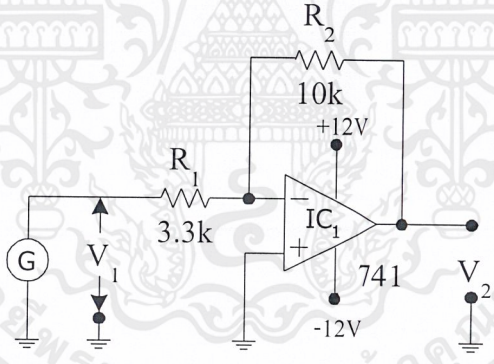
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองที่ 1 ตัวควบคุมแบบพี (P-Element)

1.1) วงจรขยายแบบพีชนิดกลับเฟส



รูปที่ ค.60 โมดูล Lab10-1



รูปที่ ค.61 วงจรขยายแบบกลับเฟส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

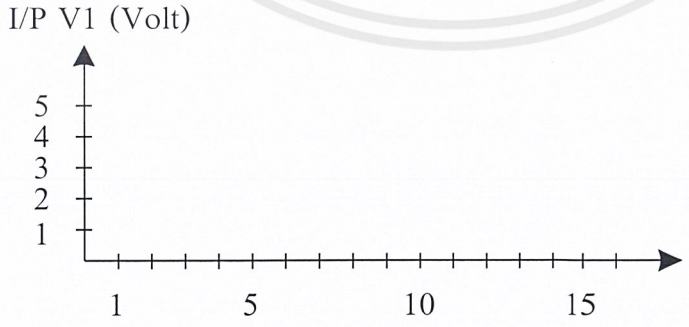
ลำดับขั้นการทดลอง

1. ทำการทดลองวงจรการขยายแบบพีชนิดกลับเฟส โดยใช้แผงโมดูล Lab 10.1
2. ป้อนแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง ±12 โวล์ต
3. ป้อนสัญญาณรูปคลื่นไซน์ (Sinewave) ความถี่ 1 kHz ที่ จุด V_1
4. ปรับแรงดันอินพุต (V_1) ตามค่าในตารางที่ ค.24
5. วัดแรงดันเอาต์พุต (V_2) ที่เป็นค่ายอดถึงยอด (Vp-p) บันทึกผลในตารางที่ ค.24
6. คำนวณหาอัตราการขยาย (v) ของวงจร และบันทึกผลที่ได้ลงในตารางที่ ค.24

ตารางที่ ค.24 ผลการทดลองวงจรขยายแบบพีชนิดกลับเฟส

V1(Vp-p)	V2(Vp-p)	$v = \frac{V_2}{V_1}$
1		
2		
3		
4		
5		

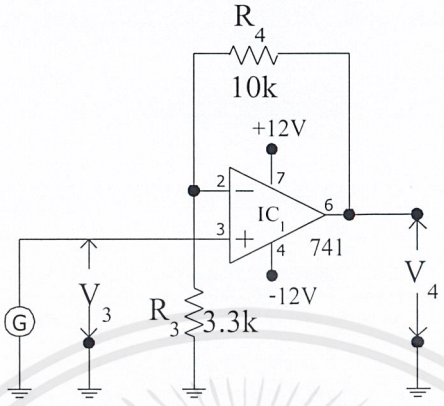
7. พล็อตค่าแรงดันเอาต์พุต (V_2) และค่าแรงดันอินพุต (V_1) ที่กำหนดให้ ลงในรูปที่ ค.62



รูปที่ ค.62 กราฟของแรงดันเอาต์พุต (V_2) และ แรงดันอินพุต (V_1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2) วงจรขยายแบบพีชนิดไม่กลับเฟส



รูปที่ ค.63 วงจรขยายแบบไม่กลับเฟส

ลำดับขั้นการทดลอง

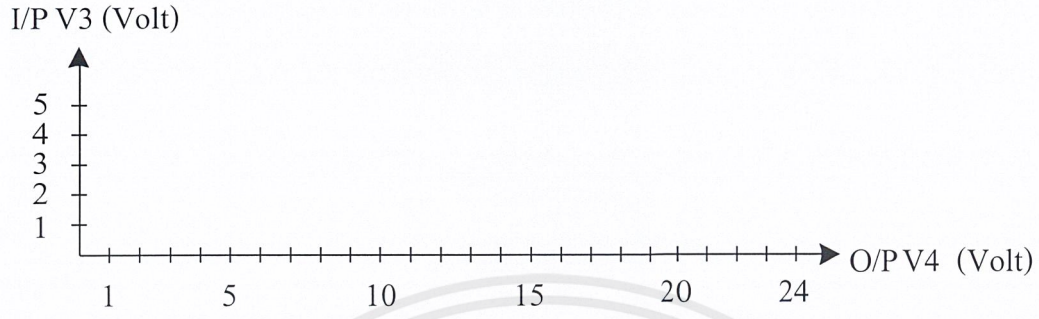
1. ใช้แผงวงจรโมดูลที่ Lab 10-1
2. จ่ายแรงดัน 12 โวลต์ให้กับโมดูล
3. ป้อนสัญญาณไซน์(Sinewave) ความถี่ (f) = 1 kHz ที่จุด V_3
4. ปรับแอมปลิจูดตามค่าในตารางที่ ค.25
5. ใช้ออสซิลโลสโคปวัดแรงดันเอาต์พุต (V_4) แล้วบันทึกผลลงในตารางที่ ค.25
6. คำนวนหาค่าอัตราการขยาย (v) ของวงจร และบันทึกผลลงในตารางที่ ค.25

ตารางที่ ค.25 ผลการวัดสัญญาณเอาต์พุต (V_2) ของวงจรขยายแบบพีชนิดไม่กลับเฟส

V1(Vp-p)	V2(V)	$v = 1 + \frac{V_2}{V_1}$
1		
2		
3		
4		
5		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

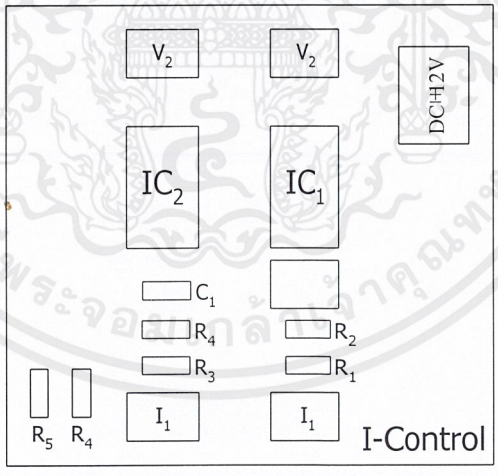
7. พล็อตค่าแรงดันเอาต์พุต (V_4) และค่าแรงดันอินพุต (V_3) ที่กำหนดให้ลงในกราฟรูปที่ ค.64



รูปที่ ค.64 กราฟของแรงดันเอาต์พุต (V_4) และแรงดันอินพุต (V_3)

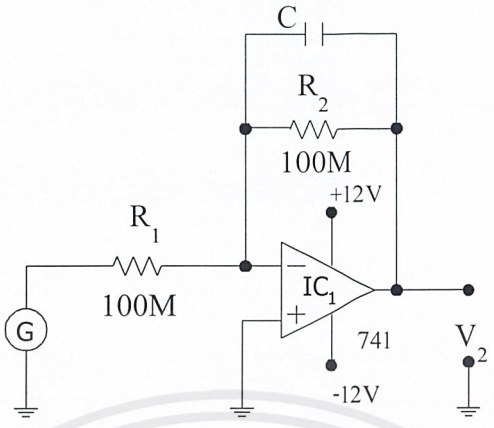
การทดลองที่ 2 ตัวควบคุมแบบไอ (I-Element)

2.1 วงจรตัวควบคุมแบบไอชนิดกลับเฟส



รูปที่ ค.65 โมดูล Lab 10-2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ค.66 วงจรควบคุมแบบไอชนิดกลับเฟส

ลำดับขั้นการทดลอง

1. ใช้แผงทดลอง โมดูล Lab 10-2

2. จ่ายแรงดัน ±12 โวล์ตให้กับวงจร

3. ป้อนสัญญาณคลื่นจตุรัส(Square wave) แอมปลิจูด 5 Vp-p ที่จุด V_1

4. ทำการทดสอบวงจรโดยใช้ตัวเก็บประจุตามตารางที่ 10.4 และ ทำการวัดช่วงขึ้น (rate of rise) ของแรงดันเอาต์พุต (V_2) ในหน่วยแรงดันต่อวินาที (V/S) โดยปรับความถี่ที่เหมาะสมไม่ให้พุ่งเกิน (Do not over shoot) แล้วบันทึกผลการวัดลงในตารางที่ ค.26

5. คำนวนค่าสัมประสิทธ์อินทิเกรต (K_1) จากการวัดและค่าคงตัวเวลา (Time constant) แล้วบันทึกผลลงในตารางที่ ค.26

ตารางที่ ค.26 ผลการทดลองวงจรควบคุมแบบไอชนิดกลับเฟส

C	Rate of rise	K1(Measured)	K1(Calculated)
1 nF			
4.7 nF			
10 nF			

6. ป้อนสัญญาณไซน์(Sine wave) แล้วทำการวัด และคำนวนค่าความถี่ (fx) เมื่ออัตราขยาย (v) = 1 สำหรับการเปลี่ยนค่าตัวเก็บประจุทั้ง 3 ตัวตามตารางที่ ค.26

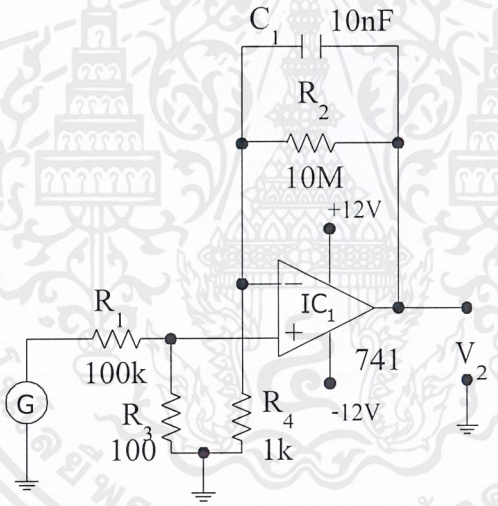
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. บันทึกผลการคำนวน และการวัดความถี่ที่ใช้ออสซิลโลสโคป ลงในตารางที่ ค.27

ตารางที่ ค.27 ผลการทดลองวงจรควบคุมแบบไอชนิดกลับเฟสเมื่อตัวเก็บประจุ C มีค่าเปลี่ยนแปลง

C	fx(Measured)	fx(Calculated)
1 nF		
4.7 nF		
10 nF		

2.2) วงจรตัวควบคุมแบบไอชนิดไม่กลับเฟส



รูปที่ ค.67 วงจรควบคุมแบบไอชนิดไม่กลับเฟส

ลำดับขั้นการทดลอง

1. ใช้แผงทดลอง Lab10-2

2. ป้อนแรงดันไฟตรง ±12 V ให้วงจร

3. ป้อนสัญญาณคลื่นสีเหลี่ยม(Sqare wave) แอมปลิจูด 5 Vp-p ในหน่วย V/S แล้วบันทึกผลลงในตารางที่ ค.28

4. ค่าสัมประสิทธ์อินทิเกรต (K_1) ที่ได้จากการวัดและค่าคงเวลา (Time Constant) และบันทึกผลลงในตารางที่ ค.28 (โดยพิจารณาค่าแรงดันอินพุต (V_1) จากวงจรแบ่งแรงดันทางอินพุต)

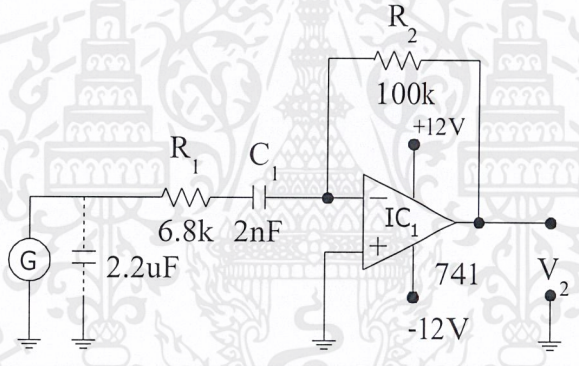
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.28 ค่าสัมประสิทธิ์อินทิเกรต (K_I) ที่ได้จากการวัด และการคำนวน

Rate of rise	K_I(Measured)	K_I(Calculated)

การทดลองที่ 3 ตัวควบคุมแบบดี (D-Element)

3.2 วงจรควบคุมแบบดีชนิดไม่กลับเฟส

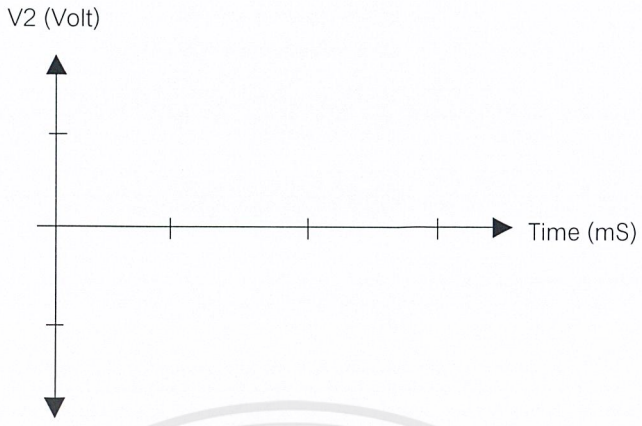


รูปที่ ค.68 วงจรควบคุมแบบดี ชนิดกลับเฟส

ลำดับขั้นการทดลอง

1. ใช้แผงวงจรโมดูล Lab 10-3 ป้อนแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง ± 12 โวลต์
2. ป้อนสัญญาณคลื่นสี่เหลี่ยม (Square wave) ความถี่ 100 Hz แอมปลิจูด 1 Vp-p
3. ใช้ออสซิลโลสโคปวัดสัญญาณเอาเอาต์พุตที่ขา 6 ของไอซี แล้วบันทึกผลลงในรูปที่ ค.69 โดยเลือกใช้ C = 4.1 nF

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ค.69 สัญญาณเอาต์พุตเมื่อใช้ C = 4.7 nF

4. ลัดวงจรตัวต้านทาน 6.8kΩ สังเกตุผลที่เกิดขึ้นที่เอาต์พุต(Damped oscillation at output)

ตอบ.....

.....

5. ป้อนสัญญาณรูปสามเหลี่ยม (Triangular waveform)

6. วัดอัตราการเพิ่มของแรงดันอินพุต V_I(V/S)

V_I = ...V/S

7. วัดสัญญาณเอาต์พุตเมื่อใช้ค่าตัวเก็บประจุแต่ละค่าตามตารางที่ ค.28 แล้วบันทึกผลลงในตารางที่ ค.28

8. คำนวนค่า K_D Time constant ที่ได้จากการวัด แล้วบันทึกผลลงในตารางที่ ค.28

ตารางที่ ค.29 ผลการวัด และคำนวนค่า K_D และ ค่าTime constant

C	V_2(Measured)	K_D(Calculated)	Timer Constant
1 nF			
4.7 nF			
10 nF			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9. ปรับเครื่องกำเนิดสัญญาณไปตำแหน่งไซน์เวฟ (Sine wave) แล้วสังเกตผลที่เกิดขึ้นที่ออสซิลโลสโคป

ตอบ.....

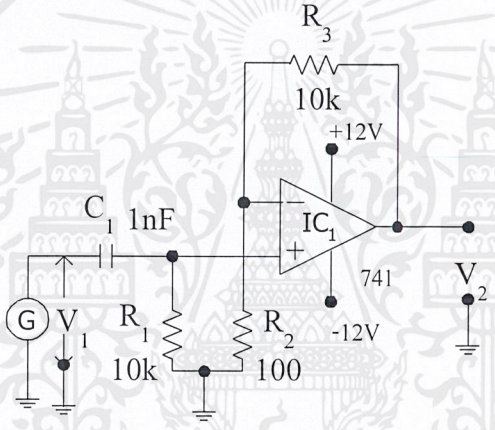
.....

10. เมื่อใช้ C = 4.7 nF วัดและคำนวนค่าความถี่ (f) เมื่ออัตราขยาย v = 1

ก. ความถี่ที่ได้จากการวัด.....f = ...เฮิตรซ์

ข. ความถี่ที่ได้จากการคำนวน.....f = ...เฮิตรซ์

3.2 วงจรควบคุมแบบดีชนิดไม่กลับเฟส



รูปที่ ค.70 วงจรควบคุมแบบดีชนิดไม่กลับเฟส

ลำดับขั้นการทดลอง

1. ใช้แผงทดลองที่ Lab 10-3

2. ป้อนแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง

3. ปรับเครื่องกำเนิดสัญญาณรูปคลื่นสามเหลี่ยม ความถี่ 100 เฮิรตซ์

4. วัดอัตราการเพิ่มของสัญญาณอินพุต V_1 และ สัญญาณเอาต์พุต V_2 แล้วบันทึกผลลงในตารางที่ ค.29

5. คำนวนค่า K_D และค่า Time constant ที่ได้จากการวัดและบันทึกผลลงในตารางที่ ค.29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.29 ผลการวัด และคำนวนค่า K_D และค่า time constant

C	V_2(Measured)	K_D(Calculated)	Time Constant
1nF			

สรุปผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

คำถามท้ายการทดลอง

1. จงบอกคุณสมบัติของวงจรควบคุมแบบพี (P-Element)

ตอบ.....

.....

.....

2.วงจรควบคุมแบบพีชนิดกลับเฟสมีคุณสมบัติอย่างไร

ตอบ.....

.....

.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. วงจรควบคุมแบบพีชนิดไม่กลับเฟสที่มีตัวแบ่งแรงดันทางอินพุต มีค่า R_1 = 10 kΩ, R_2 = 100kΩ มีแรงดันเอาต์พุตเท่ากับ 10 โวลต์ แรงดันที่ขา Non-inverting ของออปแอมป์มีค่าเท่าใด

ตอบ.....

.....

.....

4. ความถี่ที่ทำให้วงจรควบคุมแบบไอมีอัตราการขยายเท่ากับ 1 จะมีค่าเท่าใด

ตอบ.....

.....

.....

5. ในวงจรควบคุมแบบไอค่าอัตราการไต่ขึ้น (Rate of rise) มีค่าสัมพันธ์กับตัวเก็บประจุอย่างไร

ตอบ.....

.....

.....

6. วงจรควบคุมแบบดี เมื่อป้อนสัญญาณอินพุตเป็นสัญญาณสามเหลี่ยมสัญญาณเอาต์พุตจะเป็นแบบใด

ตอบ.....

.....

.....

7. ค่าสัมประสิทธิ์ของวงจรควบคุมแบบดีมีวิธีการหาอย่างไร

ตอบ.....

.....

.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง
เฉลยใบงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใบงานที่ 1
วงจรวีทสโตนบริดจ์

คำถามท้ายการทดลอง

1. วงจรวีทสโตนบริดจ์มีกี่แบบ แบบใดบ้าง ?

วงจรวีทสโตนบริดจ์ มี 2 แบบ คือ

1. วงจรวีทสโตนบริดจ์แบบพาสซีฟ ประกอบด้วย ตัวต้านทานแบบค่าคงที่ 3 ตัว
2. วงจรวีทสโตนบริดจ์แบบแอคตีฟ ประกอบด้วยตัวต้านทาน 3 ตัว และ ออปแอมป์

2. จากรูปที่ 1 ถ้ากำหนดให้ E = 5V , ΔR = 10 kΩ , R = 20 kΩ จงคำนวนหาค่า E_1-E_2 ?

วิธีทำ จาก สมการที่ 1.3 $E_1 - E_2 = E\dfrac{\Delta R}{4R}$

แทนค่าในสมการ $= 5V\left(\dfrac{10k}{(4)(20k)}\right)$

$= 0.65$ โวลต์

3. ถ้าเพิ่มแรงดัน E ให้มากขึ้นจะมีผลต่อแรงดันดิฟเฟอร์เรนเชียลอย่างไรจงอธิบาย ?

ตอบ ทำให้แรงดันเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ตามสมการที่ 1.3 $E_1 - E_2 = E\dfrac{\Delta R}{4R}$

4. จากรูปที่ 2 ถ้ากำหนดให้ E =10V, ΔR 20kΩ, R=10kΩ , Rref = 10kΩ จงหาค่า Vo ?

วิธีทำ จากสมการที่ 1.4 $Vo = -E\dfrac{\Delta R}{R + Ref}$

แทนค่าในสมการ $= -10V\left(\dfrac{20k}{10k + 10k}\right)$

$=$ -10 โวลต์

5. จากรูปที่ 2 ถ้ามีการปรับค่า Rref จะทำให้ส่งผลอย่างไร ?

ตอบ ทำให้วงจรบริดจ์อยู่ในสภาวะสมดุล เนื่องจาก เป็นการปรับแรงดันอ้างอิงให้มีค่าสมดุล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใบงานที่ 2

อินสตรูเมนต์แอมป์

คำถามท้ายการทดลอง

1. จากวงจรรูป 4 ถ้าปรับ aR ให้มีค่าเท่ากับ 2K และ R=9K จงคำนวนหาอัตราขยาย a ?

วิธีทำ จากสมการที่ 2.9 $a = \frac{aR}{R}$

แทนค่าในสมการ $= \frac{2k}{9k}$

$= 0.22$ เท่า

2. จากข้อ 1 ถ้าแรงดัน E_1 =10 mV ,E_2 = 5mV จงคำนวนหาค่า Vo ?

วิธีทำ จากสมการที่ 2.8 $Vo = (E_1 - E_2)\left(1 + \frac{2}{a}\right)$

แทนค่าในสมการ $= (10mV - 5mV)1 + \frac{2}{a}$

$= 0.0$ โวลต์

3. จงบอกข้อเสียของวงจรดิฟเฟอร์เรนเชียล ?

ตอบ 1. มีค่าความต้านทานอินพุตต่ำ

2. การปรับอัตราขยายทำได้ยาก

4. VR หรือ aR มีไว้ทำหน้าที่อะไร?

ตอบ ปรับอัตราขยาย

5. การปรับ Command Mode เพื่ออะไร ?

ตอบ เพื่อให้วงจรสามารถตรวจวัดผลต่างของสัญญาณที่มีค่าน้อยๆได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใบงานที่ 3
สเตรนเกจ และ โหลดเซลล์

คำถามท้ายการทดลอง

1. จงอธิบายหลักการทำงานของโหลดเซลล์ ?

ตอบ ภายในโหลดเซลล์จะประกอบไปด้วย สเตรนเกจ และวงจรวีทสโตนบริดจ์ โดยนำสเตรนเกจติดไว้ที่ผิวของ อลูมิเนียม เมื่อมีแรงกด ก็จะทำให้อลูมิเนียมเกิดการบิดตัว ทำให้ สเตรนเกจเกิดเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทาน ส่งผลให้ค่าแรงดันที่ แขนทั้งสองเกิดความแตกต่างทำให้เราได้เอาต์พุตที่อยู่ในรูปของค่าแรงดัน

2. จงยกตัวอย่างอุปกรณ์ หรือ เครื่องมือที่มีโหลดเซลล์เข้าไปเป็นเป็นส่วนประกอบ ?

ตอบ เครื่องชั่งน้ำหนัก

3. จงยกตัวอย่างการนำสเตรนเกจไปใช้งาน ?

ตอบ การวัดอาการทรุดหรือการวัดความเครียดบนสิ่งก่อสร้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใบงานที่ 4
แอลวีดีที

คำถามท้ายการทดลอง

1. จงยกตัวอย่างการนำ แอลวีดีที ไปประยุกต์ใช้งาน 2 อย่าง ?

ตอบ 1. การตรวจสอบระยะการเคลื่อนที่ของวัตถุ

2. การชั่งน้ำหนัก

2. โครงสร้างของแอลวีดีทีประกอบด้วยขดลวดทั้งหมดกี่ขด ?

ตอบ 3 ขด คือ ขดปฐมภูมิ 1 ขด และ ขดทุติยภูมิ 2 ขด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใบงานที่ 5
อาร์ทีดี เทอร์โมคัปเปิ้ล และ เทอร์มิสเตอร์

คำถามท้ายการทดลอง

1. จงอธิบายหลักการทำงานของ อาร์ทีดี

ตอบ อาร์ทีดีทำจากโลหะที่มีความยาวค่าหนึ่งจึงทำให้เกิดความความต้านทานเริ่มต้น ดังนั้นเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนไปก็จะส่งผลต่อโลหะที่นำมาทำเกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพ ส่งผลให้เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นค่าความต้านทานก็จะเพิ่มขึ้นตามไปด้วย

2. จงอธิบายหลักการทำงานของ เทอร์โมคัปเปิ้ล

ตอบ เกิดจาการนำโลหะต่างชนิดกันมาเชื่อมต่อกัน ตรงจุดชื่อมต่อเรียกว่ารอยต่อร้อน ส่วนปลายที่นำไปใช้งานเรียกว่ารอยต่อเย็น เมื่อโลหะทั้งสองชนิดได้รับความร้อน ทำให้เกิดการปั่นป่วนของอิเล็กตรอน และเกิดเป็นบวกขึ้น กระแสก็จะไหลมากขึ้น

3. จงอธิบายหลักการทำงานของเทอร์มิสเตอร์

ตอบ เป็นสิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำที่ทำมาจากโลหะออกไซด์ ที่มีความไวต่ออุณหภูมิมาก แต่มีความแตกต่างกับอาร์ทีดี โดยถ้าอุณหภูมิสูงขึ้นก็จะทำให้ค่าความต้านทานลอลอง

4. จงบอกข้อดีและข้อเสียของอาร์ทีดี

ตอบ ข้อดี คือ 1.มีความคงที่
2.ความเที่ยงตรง
3.มีความเป็นเชิงเส้น

ข้อเสีย คือ 1.ราคาแพง
2.ความเร็วต่ำ
3.ค่าความต้านทานเปลี่ยนแปลงน้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. จงบอกข้อดีและข้อเสียของเทอร์โมคัปเปิ้ล

ตอบ ข้อดี คือ 1.มีความทนทาน
2.ราคาถูก
3.มีช่วงอุณหภูมิกว้าง

ข้อเสีย คือ 1.ไม่เป็นเชิงเส้น
2.ให้แรงดันต่ำ
3.มีความไวต่ำที่สุด

6. จงบอกข้อดีและข้อเสียของเทอร์มิสเตอร์

ตอบ ข้อดี คือ 1.ให้เอาต์พุตสูง
2.ความเร็วสูง
3.เป็นการวัดแบบสองสาย

ข้อเสีย คือ 1.ไม่เป็นเชิงเส้น
2.บอบบาง
3.ช่วงอุณหภูมิจำกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใบงานที่ 6

แอลดีอาร์ ,โซล่าเซลล์ และโฟโตไดโอด

คำถามท้ายการทดลอง

1. ถ้าต้องการวัดค่าความเข้มของแสงควรใช้อุปกรณ์อะไร?

ตอบ แอลดีอาร์

2. เซลล์แสงอาทิตย์เป็นตัวแปลงแบบใด จงอธิบาย ?

ตอบ ตัวแปลงแบบไวงาน คือมันสามารถที่จะจ่ายแรงดันออกมาได้

3. ถ้าต้องการได้ปริมาณกระแสมากๆจากเซลล์แสงอาทิตย์จะมีวิธีต่ออย่างไร ?

ตอบ นำมาต่อแบบขนาน

4. จงอธิบายข้อแตกต่างระหว่างไดโอดธรรมดากับโฟโตไดโอด ?

ตอบ โฟโตไดโอดมีช่องสำหรับให้แสงส่องลงมาได้เพื่อให้เกิดการจุดชนวนให้มีกระแสไหล หรืออาจเรียกโฟโตไดโอดว่า สวิตช์แสงก็ได้

5. สารใดที่นิยมนำมาทำเซลล์แสงอาทิตย์ ?

ตอบ ซิลิกอน หรือ ซิลีเนียม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใบงานที่ 7
พร็อกซิมิตี้เซนเซอร์

คำถามท้ายการทดลอง

1. ถ้าต้องการตรวจจับชิ้นงานที่มีทั้งไม้ และเหล็กควรใช้เซนเซอร์ชนิดใด ?

ตอบ เซนเซอร์แบบเก็บประจุ หรือ คาปาซิตีฟพร็อกซิมิตี้เซนเซอร์

2. จงบอกข้อดีและข้อเสียของเซนเซอร์ ชนิดใช้แสง ?

ตอบ ระยะการทำงานได้ไกลกว่า มีความแม่นยำสูง

3. ถ้าต้องการตรวจจับเฉพาะวัตถุที่เป็นโลหะควรใช้เซนเซอร์ชนิดใด ?

ตอบ อินดักตีฟพร็อกซิมิตี้เซนเซอร์

4. ถ้าต้องการตรวจจับว่ามีน้ำอยู่ในขวดหรือไม่ต้องใช้เซนเซอร์แบบใด?

ตอบ ออปติคอล เซนเซอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใบงานที่ 8

การแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล

คำถามท้ายการทดลอง

1. จงบอกประโยชน์ของการแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล ?

ตอบ เพื่อนำข้อมูลไปใช้กับคอมพิวเตอร์ หรือ ไมโครคอนโทรลเลอร์

2. การแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นสัญญาณดิจิตอลมีกี่วิธีอะไรบ้าง?

ตอบ 4 แบบคือ

1. การแซมปลิ้ง
2. การเปรียบเทียบแรงดัน
3. วงจรนับแบบแรมป์
4. ซักเซสซีฟแอปพร๊อกซิเมชั่น

3. จงอธิบายเปรียบเทียบระหว่าง การต่อ ขา $\overline{WR}$ กับลอจิกสวิตช์ เทียบกับ $\overline{WR}$ ต่อกับ $\overline{INTR}$?

ตอบ ค่าที่ได้เท่ากัน

4. ไอซี ADC0804 หากป้อน แรงดันต่ำให้จะเกิดอะไรขึ้นกับเอาต์พุต

ตอบ ค่าของบิตเอาต์พุตมีค่าน้อย

5. จงยกตัวอย่างการนำวงจรแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นสัญญาณดิจิตอลเป็นส่วนประกอบ ?

ตอบ ซาวด์การ์ดของคอมพิวเตอร์ ดิจิตอลมัลติมิเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใบงานที่ 9

การแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นสัญญาณแอนะลอก

คำถามท้ายการทดลอง

1. จงบอกประโยชน์ของการแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นสัญญาณแอนะลอก ?

ตอบ เพื่อใช้อุปกรณ์พวกคอมพิวเตอร์ไปใช้ทำงานต่างๆตามโปรแกรมที่ได้ออกแบบไว้

2. จงบอกข้อดี ของวงจร D/A แบบ R-2R แลดเดอร์ เมื่อเทียบกับ แบบกำหนดน้ำหนักตัวต้านทาน ?

ตอบ สามารถหาค่าความต้านทานง่าย เนื่องจาก มีเพียง 2 ค่า คือ R และ 2R

3. จากวงจรรูปที่ ค 4.3 หากกำหนดให้ สัญญาณอินพุต D3-D0 เป็น 1111 แรงดันอินพุตมีขนาด 10 โวลต์ จงคำนวนหาค่าแรงดันเอาต์พุต ?

ตอบ $Vo = -(0.5 + 0.25 + 0.125 + 0.0625)(10)$

$= -9.375$

4. เพราะเหตุใด วงจร R-2R แลดเดอร์ ในรูปที่ 9.3 จึงต้องใช้ ออปแอมป์ 2 ตัว ?

ตอบ เพื่อกลับเฟสของสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใบงานที่ 10
วงจรควบคุม พี ไอ ดี

คำถามท้ายการทดลอง

1. จงบอกคุณสมบัติของวงจรควบคุมแบบพี (P-Element)

ตอบ เป็นวงจรที่ใช้ควบคุมระบบโดยการดูการเพิ่มขึ้นอย่างเป็นสัดส่วนของ สัญญาณอินพุต

2. วงจรควบคุมแบบพีชนิดกลับเฟสมีคุณสมบัติอย่างไร

ตอบ ทำให้อัตราการเพิ่มขึ้นของอินพุตมีค่าที่เป็นสัดส่วน

3. วงจรควบคุมแบบพีชนิดไม่กลับเฟสที่มีตัวแบ่งแรงดันทางอินพุต มีค่า R_1 = 10 kΩ, R_2 = 100kΩ มีแรงดันเอาต์พุตเท่ากับ 10 โวลต์ แรงดันที่ขา Non-inverting ของออปแอมป์มีค่าเท่าใด

วิธีทำ จาก สมการ 10.6 $$V = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$

แทนค่า $$= 1 + \frac{100k}{10k}$$

$$= 11 \text{ โวลต์}$$

4. ในวงจรควบคุมแบบไอค่าอัตราการไต่ขึ้น (Rate of rise) มีค่าสัมพันธ์กับตัวเก็บประจุอย่างไร

ตอบ ค่าความจุยิ่งมากทำให้ค่าคาบเวลาเพิ่มขึ้น

5. ค่าสัมประสิทธ์ของวงจรควบคุมแบบดีมีวิธีการหาอย่างไร

ตอบ $$K_D = R1 \bullet C \bullet \left(\frac{R_3}{R_2} + 1 \right)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ
รายการอุปกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายการอุปกรณ์

1. โมดูลภาคจ่ายไฟ

ตารางที่ จ.1 รายการอุปกรณ์วงจรภาคจ่ายไฟ

รายการอุปกรณ์	จำนวน
ไอซี 7805	1
ไอซี 7812	1
ไอซี 7912	1
ไอซี LM317	1
ตัวต้านทาน 200 โอห์ม 1% 1/4W	1
ตัวต้านทาน 100 โอห์ม 1% 1/4W	1
ตัวต้านทานปรับค่าได้ 5 กิโล	1
โอห์ม	1
ตัวต้านทานปรับค่าได้ 50 กิโล	7
โอห์ม	1
ตัวเก็บประจุ 0.1uF	2
ตัวเก็บประจุ 1 uF	2
ตัวเก็บประจุ 100 uF	1
ตัวเก็บประจุ 220 uF	6
ไดโอดบริดจ์	5
คอนเน็กเตอร์ 2 ขา	
คอนเน็กเตอร์ 3 ขา	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. โมดูลโวลต์มิเตอร์

ตารางที่ จ.2 รายการอุปกรณ์วงจรโวลต์มิเตอร์

รายการอุปกรณ์	จำนวน
ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F876	1
ไอซี 353	1
ตัวต้านทาน 220 กิโลโอห์ม 1% 1/4W	4
ตัวต้านทาน 10 กิโลโอห์ม 1% 1/4W	2
ตัวต้านทาน 22 กิโลโอห์ม 1% 1/4W	1
ตัวต้านทาน 50 กิโลโอห์ม 1% 1/4W	1
ตัวต้านทานปรับค่าได้ 5 กิโลโอห์ม	1
ตัวต้านทานปรับค่าได้ 50 กิโลโอห์ม	1
ตัวเก็บประจุ 0.1uF	4
ตัวเก็บประจุ 22 pF	2
คอนเน็กเตอร์ 2 ขา	2
คอนเน็กเตอร์ 3 ขา	1
R-PACK 220 โอห์ม 8 ขา	2
7-SEGMENT คู่	2
XTAL 4 เมกะเฮิรตซ์	1
ซ็อกเก็ต 28 ขา	1
ซ็อกเก็ต 8 ขา	1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. โมดูลวีทสโตนบริดจ์

ตารางที่ จ.3 รายการอุปกรณ์วีทสโตนบริดจ์

รายการอุปกรณ์	จำนวน
ตัวต้านทาน 10 กิโลโอห์ม 1% 1/4W	6
ตัวต้านทานปรับค่าได้ 10 กิโลโอห์ม	2
คอนเน็กเตอร์ 2 ขา	4
คอนเน็กเตอร์ 3 ขา	1
ซ็อกเก็ต 8 ขา	1
ไอซี 741	1

4. โมดูลวงจรอินสตรูเมนต์แอมป์

ตารางที่ จ.4 รายการอุปกรณ์วงจรอินสตรูเมนต์แอมป์

รายการอุปกรณ์	จำนวน
ตัวต้านทาน 10 กิโลโอห์ม 1% 1/4W	6
ตัวต้านทานปรับค่าได้ 200 กิโลโอห์ม	1
คอนเน็กเตอร์ 2 ขา	2
คอนเน็กเตอร์ 3 ขา	1
ซ็อกเก็ต 8 ขา	3
ไอซี OP07	3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. โมดูลโหลดเซลล์

ตารางที่ จ.5 รายการอุปกรณ์โมดูลโหลดเซลล์

รายการอุปกรณ์	จำนวน
ตัวต้านทาน 10 กิโลโอห์ม	6
ตัวต้านทานปรับค่าได้ 200 กิโลโอห์ม	1
คอนเน็กเตอร์ 2 ขา	1
คอนเน็กเตอร์ 3 ขา	3
ซ็อกเก็ต 8 ขา	3
ไอซี OP07	1

6. โมดูลอาร์ทีดี

ตารางที่ จ.6 รายการอุปกรณ์โมดูลอาร์ทีดี

รายการอุปกรณ์	จำนวน
ตัวต้านทาน 100 โอห์ม 1% 1/4 W	3
ตัวต้านทาน 10 กิโลโอห์ม 1% 1/4W	6
ตัวต้านทานปรับค่าได้ 200 กิโลโอห์ม	1
คอนเน็กเตอร์ 2 ขา	2
คอนเน็กเตอร์ 3 ขา	1
ซ็อกเก็ต 8 ขา	3
ไอซี OP07	3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. โมดูลเทอร์มิสเตอร์

ตารางที่ จ.7 รายการอุปกรณ์โมดูลเทอร์มิสเตอร์

รายการอุปกรณ์	จำนวน
ตัวต้านทาน 10 กิโลโอห์ม 1% 1/4W	9
ตัวต้านทานปรับค่าได้ 200 กิโลโอห์ม	1
คอนเน็กเตอร์ 2 ขา	2
คอนเน็กเตอร์ 3 ขา	1
ซ็อกเก็ต 8 ขา	3
ไอซี OP07	3

8. โมดูลเทอร์เทอร์โมคัปเปิ้ล

ตารางที่ จ.8 รายการอุปกรณ์โมดูลเทอร์โมคัปเปิ้ล

รายการอุปกรณ์	จำนวน
ตัวต้านทาน 10 กิโลโอห์ม 1% 1/4W	6
ตัวต้านทานปรับค่าได้ 200 กิโลโอห์ม	1
คอนเน็กเตอร์ 2 ขา	2
คอนเน็กเตอร์ 3 ขา	1
ซอกเก็ต 8 ขา	3
ไอซี OP07	3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9. โมดูล แอลดีอาร์ เซลล์แสงอาทิตย์ และโฟโตไดโอด

ตารางที่ จ.9 รายการอุปกรณ์โมดูล แอลดีอาร์ เซลล์แสงอาทิตย์ และ โฟโตไดโอด

รายการอุปกรณ์	จำนวน
ตัวต้านทาน 100 โอห์ม	1
ตัวต้านทาน 10 กิโลโอห์ม	5
ตัวต้านทาน 5 กิโลโอห์ม	1
ซ็อกเก็ต 8 ขา	3
คอนเน็กเตอร์ 2 ขา	7
คอนเน็กเตอร์ 3 ขา	1

10. โมดูลลอจิกสวิตช์

ตารางที่ จ.10 รายการอุปกรณ์โมดูลลอจิกสวิตช์

รายการอุปกรณ์	จำนวน
สวิตช์กดติด กดดับ	8
ตัวต้านทานแบบแพ็ค 10 กิโลโอห์ม	1
คอนเน็กเตอร์ 2 ขา	1
ซ็อกเก็ต 16 ขา	1
คอนเน็กเตอร์ 10 ขา	1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

11. โมดูลแสดงผลข้อมูล 8 บิต

ตารางที่ จ.11 รายการอุปกรณ์โมดูลแสดงผลข้อมูล 8 บิต

รายการอุปกรณ์	จำนวน
LED	8
ตัวต้านทาน 10 กิโลโอห์ม	1
คอนเน็กเตอร์ 2 ขา	1
คอนเน็กเตอร์	1
ซ็อกเก็ต 20 ขา	1
ไอซี 74LS541	1

12. โมดูลแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล โดยใช้ไอซี ADC 0804

ตารางที่ จ.12 รายการอุปกรณ์โมดูลแปลงสัญญาณแอนะลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล โดยใช้ไอซี ADC 0804

รายการอุปกรณ์	จำนวน
ไอซี ADC0804	1
ซ็อกเก็ต 20	1
คอนเน็กเตอร์ 2 ขา	2
คอเน็กเตอร์ 3 ขา	1
คอนเน็กเตอร์ 10 ขา	1
คอนเน็กเตอร์ 8 ขา	1
ตัวเก็บประจุ 150 pF	1
ตัวต้านทาน 2.5 กิโลโอห์ม	3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

13. โมดูลแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นสัญญาณแอนะลอก โดยใช้ไอซี R-2R แลดเดอร์

ตารางที่ จ.13 รายการอุปกรณ์โมดูลวงจร R-2R แลดเดอร์

รายการอุปกรณ์	จำนวน
ตัวต้านทาน 20 กิโลโอห์ม	5
ตัวต้านทาน 10 กิโลโอห์ม	4
ตัวต้านทาน 1 กิโลโอห์ม	2
ตัวต้านทาน 15 กิโลโอห์ม	1
ซ็อกเก็ต 8 ขา	2
คอเน็กเตอร์ 3 ขา	1
คอนเน็กเตอร์	1
ไอซี 741	1

14. โมดูลวงจรควบคุมแบบพี

ตารางที่ จ.14 รายการอุปกรณ์โมดูลวงจรควบคุมแบบพี

รายการอุปกรณ์	จำนวน
ตัวต้านทาน 3.3 กิโลโอห์ม	4
ตัวต้านทาน 10 กิโลโอห์ม	4
ตัวต้านทาน 1 กิโลโอห์ม	2
ตัวต้านทาน 15 กิโลโอห์ม	1
ซ็อกเก็ต 8 ขา	3
คอนเน็กเตอร์ 2 ขา	6
คอนเน็กเตอร์ 3 ขา	1
ไอซี 741	3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

15. โมดูลวงจรควบคุมแบบไอ

ตารางที่ จ.15 รายการอุปกรณ์โมดูลวงจรควบคุมแบบไอ

รายการอุปกรณ์	จำนวน
ตัวต้านทาน 100 กิโลโอห์ม	3
ตัวต้านทาน 10 กิโลโอห์ม	4
ตัวต้านทาน 1 กิโลโอห์ม	1
ตัวต้านทาน 100 เมกะโอห์ม	1
ซ็อกเก็ต 8 ขา	2
คอนเน็กเตอร์ 2 ขา	6
คอนเน็กเตอร์ 3 ขา	1
ไอซี 741	2

16. โมดูลวงจรควบคุมแบบดี

ตารางที่ จ.16 รายการอุปกรณ์โมดูลวงจรควบคุมแบบดี

รายการอุปกรณ์	จำนวน
ตัวต้านทาน 100 โอห์ม	1
ตัวต้านทาน 10 กิโลโอห์ม	2
ตัวต้านทาน 100 กิโลโอห์ม	1
ตัวต้านทาน 6.8 กิโลโอห์ม	1
ซ็อกเก็ต 8 ขา	2
คอนเน็กเตอร์ 2 ขา	6
คอนเน็กเตอร์ 3 ขา	1
ไอซี 741	2
ตัวเก็บประจุ 1 nF	1
ตัวเก็บประจุ 10 nF	1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

พรจิต ประทุมสุวรรณ. **เซนเซอร์ และทรานสดิวเซอร์.** กรุงเทพฯ : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

สมศักดิ์ กีรติวุฒิเศรษฐ์. **หลักการใช้งานเครื่องมือวัดอุตสาหกรรม.** กรุงเทพฯ : บริษัท ส.เอเซียเพรส จำกัด

เกษตร์ ศิริสันติสัมฤทธิ์. **เครื่องมือวัดทางอุตสาหกรรม.** กรุงเทพฯ : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

อนันท์ คัมภิรานนท์. **ทฤษฎีอิเล็กทรอนิกส์อุตสาหกรรม.** กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์สกายบุคส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้แต่ง

ชื่อผู้ทำปริญญานิพนธ์ นายเมฆ สามัคคี

วันเดือนปีเกิด 16 มิถุนายน 2523

สถานที่เกิดกรุงเทพ กรุงเทพ ฯ

ภูมิลำเนาเดิม 269/90 ซอยจรัญสนิทวงศ์ 35 แขวงบางขุนศรี เขตบางกอกน้อย กรุงเทพฯ

ที่อยู่ปัจจุบัน 269/90 ซอยจรัญสนิทวงศ์ 35 แขวงบางขุนศรี เขตบางกอกน้อย กรุงเทพฯ

โทรศัพท์ 02-4184655

ประวัติการศึกษา

ประถมศึกษา โรงเรียนวัดมกุฎกษัตริย์

มัธยมศึกษาตอนต้น โรงเรียนวัดมกุฎกษัตริย์

มัธยมศึกษาตอนปลาย(ม.4) โรงเรียนวัดมกุฎกษัตริย์

ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.) สถาบันเทคโนโลยีราชมงคลวิทยาเขตนนทบุรี

ปริญญาตรี สาขาอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์
ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม
คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม

ผลงานที่ได้รับรางวัล

ทุนการศึกษา

คติพจน์ กล้ารับสภาพความเป็นจริงคือหนึ่งในความยิ่งใหญ่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้แต่ง

ชื่อผู้ทำปริญญานิพนธ์	นาย สิทธิกร จุลการ
วันเดือนปีเกิด	3 มีนาคม 2522
สถานที่เกิด	จังหวัดปัตตานี
ภูมิลำเนาเดิม	จังหวัดปัตตานี
ที่อยู่ปัจจุบัน	228/45 ซ.หลังธนาคารกรุงเทพฯ ถ.อ่อนนุช ข.ลาดกระบัง จังหวัดปัตตานี
โทรศัพท์	02-7390738-40 (404)

ประวัติการศึกษา

ประถมศึกษา	โรงเรียนเทศบาล 2
มัธยมศึกษาตอนต้น	โรงเรียนเดชะปัตตนยานุกูล
ประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช.)	วิทยาลัยเทคนิคปัตตานี
ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.)	วิทยาลัยเทคนิคปัตตานี
ปริญญาตรี	สาขาอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์ ภาควิชาครุศาสตร์วิศวกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
ผลงานที่ได้รับรางวัล	-
ทุนการศึกษา	-
คติพจน์	หากคิดจะสู้ก็ไม่มีคำว่าอุปสรรค์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้