

เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสงแบบพกพา
PORTABLE ABSORBANCE MEASUREMENT DEVICE



ปริญญาบัตรนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาระดับอุดมศึกษา
สาขาวิชาวิศวกรรมระบบควบคุม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2555

เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสงแบบพกพา
PORTABLE ABSORBANCE MEASUREMENT DEVICE



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมระบบควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ในห้องเรียน ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังซึ่งมีการนำไปใช้

ปีการศึกษา 2555

PORTABLE ABSORBANCE MEASUREMENT DEVICE



Kanokpol

Chaowanitti

Nattawut

Prasitratanaporn

Soranut

Kittipanyangam

THIS THESIS IS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF ENGINEERING IN CONTROL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

ACADEMIC YEAR 2012

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์ เวลาคำขอสงวนลิขสิทธิ์จะหมดอายุในวันที่ ๓๑ ธันวาคม ๒๕๖๒
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกหรือเผยแพร่เอกสารนี้โดยไม่ได้รับอนุญาตจากทางสถาบันฯ
สงวนเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2555

สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดและควบคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง เครื่องวัดความเข้มข้นของสารละลายแบบพกพา

THE PORTABLE ABSORBANCE MEASUREMENT DEVICE

ผู้จัดทำ	นายกนกพล	เชาวนิทธิ	52010004
	นายณัฐวุฒิ	ประสิทธิ์รัตนพร	52010368
	นายสรณัฐ	กิตติปัญญาาม	52011246



กมล วัฒน

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นพดล มณีรัตน์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสงแบบพกพา

PORTABLE ABSORBANCE MEASUREMNT DEVICE

โดย

นายกนกพล เชาวนิทธิ 52010004

นายณัฐวุฒิ ประสิทธิ์รัตนพร 52010368

นายสรณัฐ กิตติปัญญาาม 52011246

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นพดล มณีรัตน์

ปีการศึกษา 2555

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ นำเสนอการออกแบบและสร้างเครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสงแบบพกพา โดยเป็นการย่อส่วนเครื่อง UV spectrophotometer ซึ่งตัวเครื่องนี้ใช้ในการวัดการดูดกลืนแสงของสารละลาย โดยสารละลายแต่ละสีนั้นจะมีค่าการดูดกลืนแสงไม่เท่ากันเป็นลักษณะเฉพาะของสารละลายชนิดนั้น ส่วนประกอบของเครื่องประกอบด้วย 2 คือ ส่วนแรกคือฮาร์ดแวร์ (hardware) ซึ่งประกอบด้วยหลอด LED เป็นแหล่งกำเนิดแสง ส่วนประมวลผลคือไมโครคอนโทรลเลอร์ และส่วนรับแสงคือโฟโตไดโอด และส่วนที่สองคือส่วนซอฟต์แวร์คือโปรแกรมซึ่งบรรจุอยู่ในไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยใช้หลักการในการแปลงค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าเป็นค่าการดูดกลืนแสงคือกฎของเบียร์ ซึ่งนำมาประยุกต์ในการสร้างวงจรไฟฟ้าที่ใช้วัดค่าการดูดกลืนแสง เครื่องที่ได้จัดทำขึ้นนั้นมีวัตถุประสงค์เพื่อใช้ในงานวิจัยทางด้านเคมีวิเคราะห์ ซึ่งเป็นส่วนช่วยในการทำวิจัยของนักวิทยาศาสตร์ และช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายในการซื้อเครื่องมือวัดทางวิทยาศาสตร์จากต่างประเทศ โดยมีประสิทธิภาพที่ใกล้เคียงกันกับ

เครื่อง UV spectrophotometer

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์ ซึ่งงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PORTABLE ABSORBANCE MEASUREMENT DEVICE

By

Mr. Kanokpol Chaowanitti 52010004

Mr. Nattawut Prasitratanaporn 52010368

Mr. Soranut Kittipanyangam 52011246

Advisor

Asst.Prof.Dr Noppadol Maneerat

Academic Year 2012

ABSTRACT

This thesis presents design and development a portable absorbance measurement device. It is minimized from UV spectrophotometer. This device is used for measuring the absorbance of solution. Each solution has a specific absorbance differently. The device is consists of 2 main parts. The first part is hardware which consists of LED bulb as a light source, a microcontroller and photo diode. The other is software that loaded in microcontroller. The principle conversion between voltage to absorbance is Beer's law which applied to create an electrical circuit for measuring the absorbance. This device is produced for the chemistry analytical research that supported the scientific experiments. It can help to save the expense for purchasing the scientific instruments from aboard. The portable absorbance measurement device has a good performance as same as the UV spectrophotometer.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สามารถเสร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เพราะได้รับความช่วยเหลือเป็นอย่างดีจาก

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นพดล มณีรัตน์ ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำที่ดีมาโดยตลอด และได้รับความช่วยเหลือที่เป็นประโยชน์ต่อโครงการ ผู้จัดทำรู้สึกซาบซึ้งและขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง
ดร.ณัฐวุฒิ เชิงชั้น อาจารย์ประจำภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่กรุณาสับสนุนทุนในการทำโครงการในการทำงานครั้งนี้ และได้ให้ความกรุณาในการจัดสารเคมีสำหรับการทดลอง รวมถึงอุปกรณ์ทางวิทยาศาสตร์ทั้งหมด ผู้จัดทำรู้สึกซาบซึ้งและขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบคุณที่ปริญญโทคณะวิศวกรรมศาสตร์ และคณะวิทยาศาสตร์ในการให้คำแนะนำในการนำมาเป็นแนวทางในการจัดโครงการในครั้งนี้ และคอยให้กำลังใจที่ดีตลอดมา

สุดท้ายนี้ผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และครอบครัว ของผู้จัดทำที่คอยเป็นกำลังใจให้ รวมถึงสนับสนุนค่าใช้จ่ายในการจัดทำโครงการในครั้งนี้ ตลอดจนเป็นแรงบันดาลใจที่ดีที่สุดที่ทำให้โครงการนี้สำเร็จลงได้

คณะผู้จัดทำ

กนกพล เชาวนิธิ

ณัฐวุฒิ ประสิทธิ์รัตนพร

สรณัฐ กิตติปัญญางาม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญรูป	VI
สารบัญตาราง	VIII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 ขอบเขตของโครงการ	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.5 องค์ประกอบของโครงการ	2
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 สเปกตรัมของรังสีแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Spectrum)	3
2.1.1 สเปกตรัม (Spectrum)	4
2.1.2 Absorption Spectroscopy	4
2.1.3 Beer's law	5
2.2 Microcontroller PIC16F877	7
2.2.1 คุณสมบัติของไมโคร คอนโทรลเลอร์ PIC16F877	7
2.3 ออปแอมป์ (Op-Amp)	8
2.4 ไอซีเร็กกูเลเตอร์	9
2.4.1 เร็กกูเลเตอร์แบบขนาน (Shunt Regulator)	9
2.4.2 เร็กกูเลเตอร์แบบอนุกรม (Series Regulator)	10
2.4.3 แผนผังวงจรพื้นฐานของเร็กกูเลเตอร์แบบอนุกรม	10
2.4.4 ไอซีเร็กกูเลเตอร์สามขาชนิดจ่ายแรงดันคงที่	11
2.5 โฟโตไดโอด (Photo Diode)	12
2.6 Basic 16x2 Character LCD 1602 Black on Green	13
2.6.1 คุณสมบัติ Basic 16x2 Character LCD 1602 Black on Green	13
2.7 ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสั้นใจ (R^2)	14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่...
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งนี้...
ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไป

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 การคำนวณและการออกแบบ	15
3.1 ขอบเขตการทำงานของเครื่อง	15
3.2 การออกแบบวงจรรับค่าแสง	15
3.3 วงจรขยายสัญญาณโฟโตไดโอด	16
3.4 วงจรออปแอมป์แบบกลับเฟส	17
3.5 ไมโครคอนโทรลเลอร์คำนวณค่าการดูดกลืนแสง	18
3.6 วงจรทั้งหมดของเครื่อง	19
3.7 ลายวงจรของเครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง	20
บทที่ 4 การทดลอง	23
4.1 อุปกรณ์ที่ใช้วัดค่าการดูดกลืนแสง	23
4.2 การทดลอง	23
4.3 สารที่ใช้ในการทดลอง	27
4.4 ผลการทดลอง	28
บทที่ 5 บทวิจารณ์และสรุป	31
5.1 สรุปผลการปฏิบัติงาน	31
5.2 ปัญหาและอุปสรรค	31
5.3 แนวทางการแก้ไข	31
5.4 ข้อเสนอแนะในการค้นคว้าและพัฒนา	31
เอกสารอ้างอิง	32
ภาคผนวก ก	33
ภาคผนวก ข	35
ภาคผนวก ค	38
ประวัติผู้เขียน	58

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 สเปกตรัมของรังสีแม่เหล็กไฟฟ้า	3
2.2 แสดงการเปลี่ยนระดับพลังงานของอิเล็กตรอน	4
2.3 กราฟสเปกตรัมการดูดกลืนแสง	4
2.4 การดูดกลืนแสงของสาร	5
2.5 กราฟระหว่าง Absorbance กับ c จะได้กราฟเส้นตรง	6
2.6 ภาพการทำงานของเครื่อง DIY' spectrophotometer	6
2.7 Microcontroller PIC16F877/874	7
2.8 วงจรออปแอมป์	8
2.9 แผนผังการทำงานของเรีกูเลเตอร์แบบขนาน	9
2.10 แผนผังการทำงานของเรีกูเลเตอร์แบบอนุกรม	10
2.11 แผนผังวงจรพื้นฐานของเรีกูเลเตอร์แบบอนุกรม	10
2.12 การต่อไอซีเรีกูเลเตอร์ใช้งานแบบง่าย	11
2.13 ตำแหน่งขาของ IC Regulator เบอร์ 78xx และ 79xx	12
2.14 สัญลักษณ์ และการไบอัสใช้งาน	12
2.15 ตัวอย่างไฟโตไดโอด	12
2.16 การจ่ายไบอัสกลับให้ไฟโตไดโอด	13
2.17 จอ LCD 1602a	13
3.1 ระบบโดยรวมของเครื่อง	15
3.2 วงจรทดสอบไฟโตไดโอด	16
3.3 รูปวงจรขยายสัญญาณไฟโตไดโอด	16
3.4 รูปวงจรออปแอมป์แบบกลับเฟส	17
3.5 วงจรขยายสัญญาณไฟโตไดโอดและวงจรกลับสัญญาณที่ต่อเข้าด้วยกัน	17
3.6 รูปวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ในเครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสงแบบพกพา	18
3.7 การทำงานของโปรแกรมของตัวเครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสงแบบพกพา	19
3.8 รูปวงจรตัวเครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสงแบบพกพา	20
3.9 รูปลายวงจรแผ่น PCB	21
3.10 รูปแผ่น PCB	21
3.11 แผ่น PCB ที่ทำการติดตั้งอุปกรณ์แล้ว	22
4.1 แผนผังการทำงานของเครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสงแบบพกพา	23
4.2 การทดลองขณะยังไม่ได้บรรจุวงจรลงบนแผ่น PCB	25

สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.3 วงจรที่ถูกรวบรวมลงในแผ่น PCB	26
4.4 ตัวเครื่องที่ทำการประดิษฐ์ขึ้น	26
4.5 สารละลายสีผสมอาหารที่ใช้ในการทดสอบ	27
4.6 กราฟการวัดการกระจายของการวัดสารละลายน้ำสีแดง	28
4.7 กราฟการวัดการกระจายของการวัดสารละลายน้ำสีเขียว	29
4.8 กราฟการวัดการกระจายของการวัดสารละลายน้ำสีน้ำเงิน	30



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1 ตารางแสดงค่าการดูดกลืนแสงของสารละลาย	24
4.2 ความเข้มข้นของน้ำสีผสมอาหารที่ใช้ในการทดลอง	27
4.3 ผลการวัดค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายน้ำสีแดงระหว่างเครื่อง UV spectrophotometer และ เครื่องที่ทำการสร้างขึ้น	28
4.4 ผลการวัดค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายน้ำสีเขียวระหว่างเครื่อง UV spectrophotometer และ เครื่องที่ทำการสร้างขึ้น	29
4.5 ผลการวัดค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายน้ำเงินระหว่างเครื่อง UV spectrophotometer และ เครื่องที่ทำการสร้างขึ้น	30



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ปัจจุบันนี้การตรวจวัดค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายทำได้โดยใช้เครื่องยูวีสเปกโตรมิเตอร์ (UV spectrophotometer) ซึ่งเป็นเครื่องมือที่อาศัยหลักการดูดกลืนแสงเปลี่ยนเป็นค่าแรงดันทางไฟฟ้า โดยอาศัยกฎของเบียร์ (Beer's law) และเป็นเครื่องมือที่ใช้ในการทำการตรวจวิเคราะห์ทางเคมีในห้องปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ทุกห้อง สำหรับการตรวจวัดนั้นเครื่องมือวิเคราะห์ปัจจุบันมีราคาสูงมาก โดยมีราคาตั้งแต่ 3 แสนบาทไปจนถึงหลักล้านบาทขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของเครื่อง โดยเครื่องที่ได้จัดทำนี้เป็นเครื่องมือวัดการดูดกลืนแสงแบบพกพา ซึ่งประกอบไปด้วยแหล่งกำเนิดแสงโดยใช้หลอด LED และตัวตรวจจับแสงโดยใช้ Photo diode เป็นตัวรับแสง สามารถวัดค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายแบบคงที่ (static) โดยอาศัยกฎของเบียร์เหมือนกับเครื่องมือที่ใช้ในห้องปฏิบัติการทุกประการ ซึ่งการทำเครื่องนี้นั้นจะสามารถช่วยลดค่าใช้จ่ายในการซื้อเครื่องจากต่างประเทศซึ่งมีราคาสูง เมื่อเทียบกับเครื่องมือที่ประดิษฐ์ขึ้นมาจะ สามารถลดค่าใช้จ่ายในการจัดซื้อเครื่องมือในการตรวจวิเคราะห์สารเคมีลงไปได้เป็นอย่างมาก

จากเหตุผลข้างต้นนั้นทำให้ผู้จัดทำมีแนวคิดที่จะประดิษฐ์เครื่องตรวจวัดค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายแบบพกพาขึ้นมา เพื่อที่จะสามารถใช้ทดแทนเครื่องมือการตรวจวิเคราะห์สารเคมีทั้งในและนอกสถานที่ซึ่งมีคุณสมบัติในการวัดค่าการดูดกลืนแสงได้เสมือนการใช้เครื่องมือที่ใช้ในห้องปฏิบัติการเพียงแต่คุณสมบัติการใช้งานอาจจะไม่มากเท่ากับเครื่องใหญ่ที่ใช้ในห้องปฏิบัติการเท่านั้น ซึ่งในบางการทดลองและการตรวจวิเคราะห์ในบางกรณีไม่มีความจำเป็นที่จะต้องใช้อุปกรณ์ยูวีสเปกโตรมิเตอร์ (UV spectrophotometer) ในห้องปฏิบัติการ สามารถใช้เครื่องมือที่ประดิษฐ์นี้ตรวจวิเคราะห์แทนได้

1.2 วัตถุประสงค์

- 1.2.1 เพื่อศึกษาการทำงานของวงจรไฟฟ้าที่ใช้วัดค่าการดูดกลืนแสง
- 1.2.2 เพื่อศึกษาการทำเครื่องวัดการดูดกลืนแสงแบบพกพา
- 1.2.3 เพื่อสร้างอุปกรณ์ทางวิทยาศาสตร์ที่สามารถใช้งานได้จริงในราคาที่ย่อมเยา
- 1.2.4 เพื่อเพิ่มขีดความสามารถในการทำงานวิจัยในห้องทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณี **1.3 ขอบเขตของโครงการ** ปลูกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 1.3.1 ศึกษาการทำงานของวงจรวัดค่าการดูดกลืนแสงโดยใช้โฟโตไดโอด
- 1.3.2 สามารถใช้วัดค่าความเข้มข้นของสารละลายแบบคงที่ (static)

- 1.3.3 ใช้โปรแกรมภาษาซีในการเขียนโปรแกรมใส่ไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อเป็นส่วนประมวลผลในการควบคุมการทำงานของเครื่อง
- 1.3.4 สร้างหน้าจอแสดงการเชื่อมต่อและควบคุมการทำงานของตัวเครื่องอาทิเช่น การทำงานของหลอด LED

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.4.1 มีความรู้ความเข้าใจหลักการการทำงานของวงจรวัดค่าการดูดกลืนแสง เพื่อใช้วัดค่าการดูดกลืนแสงแล้วแปลงเป็นความเข้มข้นโดยใช้กฎของเบียร์ (Beer's law)
- 1.4.2 มีความรู้ความเข้าใจในการเขียนโปรแกรมภาษาซีเพื่อใช้ในการควบคุมการทำงานของตัวเครื่องซึ่งในการทำโครงงานครั้งนี้ใช้ PIC เป็นตัวประเมินผล
- 1.4.3 สามารถลดค่าใช้จ่ายในการจัดซื้ออุปกรณ์ทางวิทยาศาสตร์เพื่อใช้ในการทดลองและใช้ในการวิจัย รวมถึงสามารถนำไปใช้งานนอกสถานที่ได้

1.5 องค์กรประกอบของโครงงาน

- 1.5.1 สร้างเครื่องวัดความเข้มข้นของสารละลายแบบพกพา
- 1.5.2 สร้างวงจรวัดค่าการดูดกลืนแสงโดยใช้แหล่งกำเนิดแสงเป็นหลอดไฟ LED และตัวรับแสงเป็น Photo diode

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

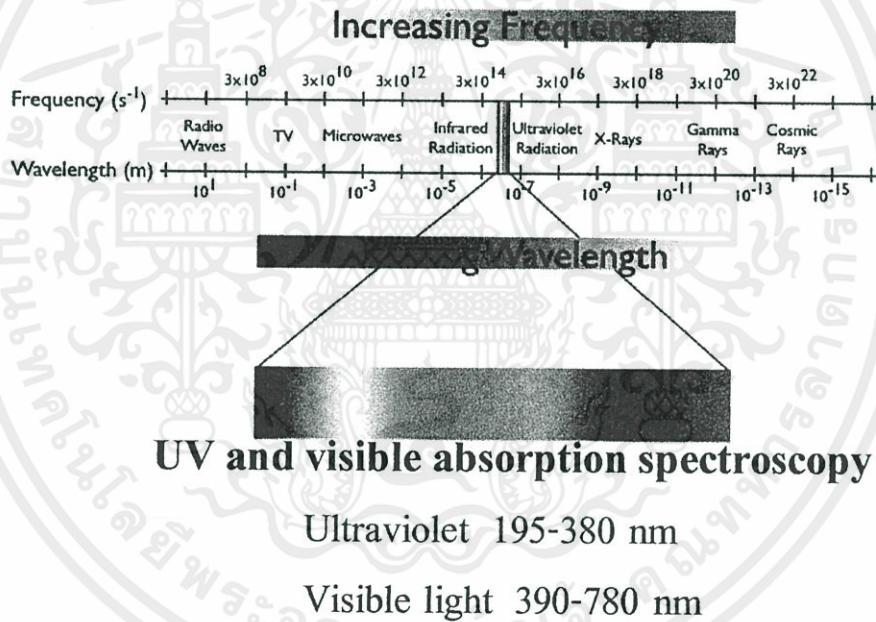
บทที่ 2

หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในส่วนของบทที่ 2 นี้จะนำเสนอทฤษฎีที่เป็นองค์ประกอบในการสร้างเครื่องวัดการดูดกลืนแสงโดยการใช้ไดโอดเปล่งแสง ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.1 สเปกตรัมของรังสีแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Spectrum)

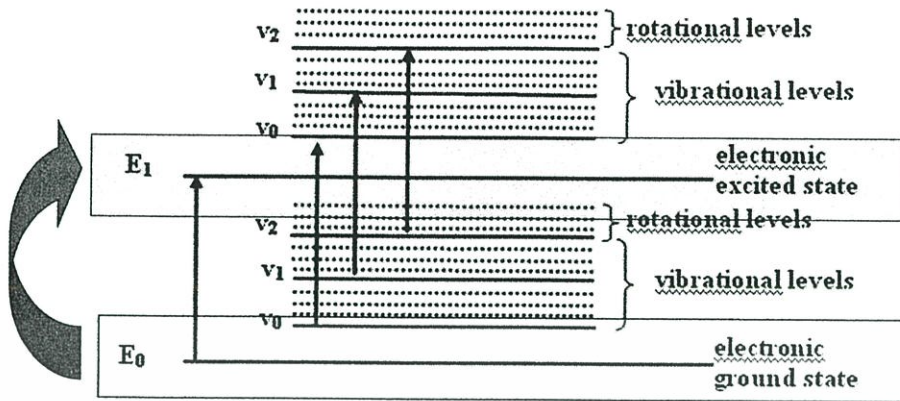
สเปกตรัมแม่เหล็กไฟฟ้า (electromagnetic spectrum) คือ แถบรังสีของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่นต่างกัน สเปกตรัมที่มองเห็นได้คือแสง เมื่อแสงขาวผ่านปริซึมจะเกิดการหักเหเป็นแสงสีต่างๆ ซึ่งเรียกสเปกตรัมตั้งแต่ความยาวคลื่นน้อยไปหามากตามลำดับ ดังนี้ ม่วง คราม น้ำเงิน เขียว เหลือง แสด แดง



รูปที่ 2.1 สเปกตรัมของรังสีแม่เหล็กไฟฟ้า

- Absorption process และ emission process สามารถเกิดขึ้นได้ในทุกช่วงของ electromagnetic spectrum ดังรูปที่ 2.1

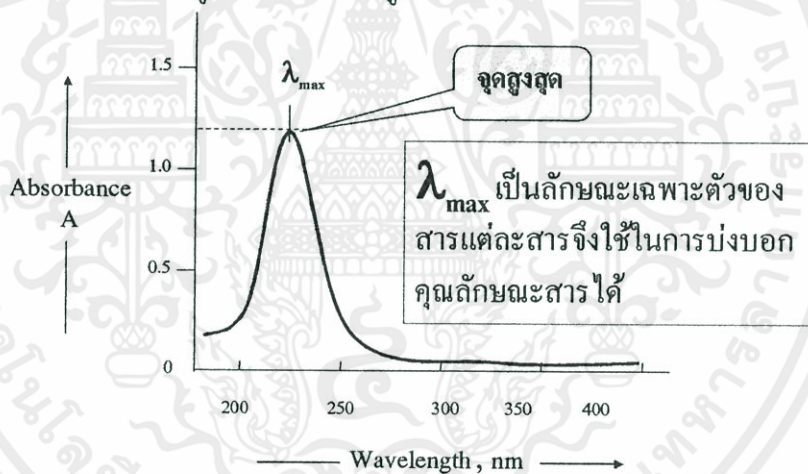
นอกจากนี้จะเป็น ● กลไกที่นี้จะกล่าวถึง Absorption spectroscopy ในช่วง UV/visible เนื่องจากใช้กันมาก ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น ในทางเคมี ชีววิทยา forensic science เคมีคลินิก การเกษตร และอื่นๆ โดยจะเกี่ยวข้องกับ การเปลี่ยนแปลงระดับพลังงานอิเล็กทรอนิกส์ (electronic energy levels) ของโมเลกุลดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 การเปลี่ยนระดับพลังงานของอิเล็กตรอน

2.1.1 สเปกตรัม (Spectrum)

เนื่องจากความสามารถในการดูดกลืนแสงของสารในแต่ละความยาวคลื่นไม่เท่ากัน เมื่อนำมาเขียนกราฟจะได้ สเปกตรัมการดูดกลืนออกมาดังรูปที่ 2.3

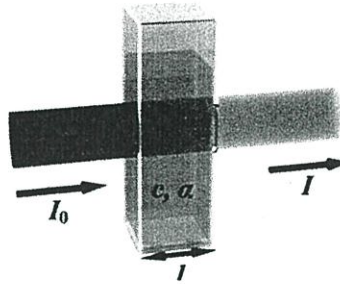


รูปที่ 2.3 กราฟสเปกตรัมการดูดกลืนแสง

2.1.2 Absorption Spectroscopy

เมื่อลำแสงขนานของรังสีความยาวคลื่นเดียว (Monochromatic radiation) ผ่านสารละลายที่มี absorbing species ความหนา l cm และความเข้มข้น c mol/L กำลังของรังสีจะลดลงจาก I_0 เป็น I ดังรูปที่ 2.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 การดูดกลืนแสงของสาร

เมื่อ I_0 และ I = ความเข้มข้นของแสงก่อนและหลังผ่านสารละลายตามลำดับ

2.1.3 Beer's law

กล่าวว่า ปริมาณของรังสีที่ถูกดูดกลืนไว้จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มข้นของ Absorbing species ในสารละลาย โดย absorbance (A) เป็นสัดส่วนโดยตรงกับ ความเข้มข้นของ absorbing species (c) และ path length ของ absorbing medium (l) โดยที่

$$A = -\log \frac{I}{I_0} = ecl \quad (2.1)$$

เมื่อ I_0 และ I = ความเข้มข้นของแสงก่อนและหลังผ่านสารละลายตามลำดับ

ϵ = ค่าคงที่ของการดูดแสง หรือค่า molar absorption coefficient เป็นค่าเฉพาะ สำหรับสารหนึ่งๆ และที่ช่วงคลื่นหนึ่งๆ

c = เป็นความเข้มข้นของสารละลาย

l = ความยาวของระยะทางที่แสงผ่านสารละลายที่จะวัดการดูดแสง แทนความเข้มข้นแสง (I) ด้วยความต่างศักย์ (V_{out}) จากวงจรถ่างต้นจะได้

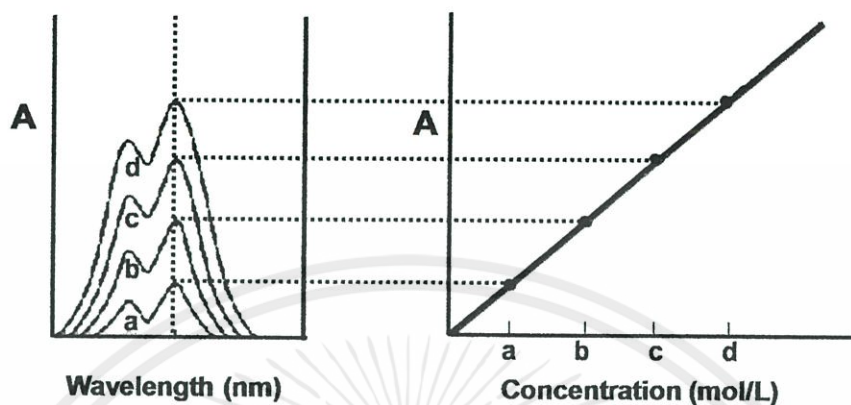
$$A = \frac{V_{sample} - V_{zero}}{V_{solvent} - V_{zero}} \quad (2.2)$$

โดยที่ V_{zero} เป็นความต่างศักย์ (V_{out}) เมื่อยังไม่มีแสงมาตกกระทบบัว LDR ซึ่งมีค่าไม่เท่ากับ 0

V_{sample} เป็นความต่างศักย์ (V_{out}) เมื่อมีการดูดกลืนความเข้มแสงโดยสารตัวอย่างที่ละลายอยู่ในตัวทำละลาย

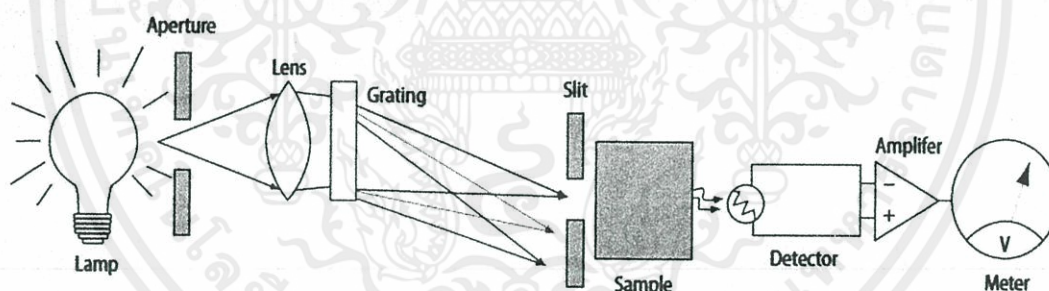
$V_{solvent}$ เป็นความต่างศักย์ (V_{out}) ของตัวทำละลายในขณะที่ไม่มีสารตัวอย่างละลายอยู่ ดังนั้นจากความสัมพันธ์จากสมการข้างต้นเมื่อสารตัวอย่างที่สนใจมีความเข้มข้นเปลี่ยนไปจะส่งผลต่อความเข้มแสงที่ผ่านออกมาตกกระทบบ LDR ซึ่งจะส่งผลให้ค่า V_{out} ให้เปลี่ยนตามไปด้วย ซึ่งสามารถคำนวณออกมาเป็นค่าการดูดกลืนแสงได้ตามสมการข้างต้นนั่นเอง

ถ้าสร้างกราฟระหว่าง Absorbance กับ c จะได้กราฟเส้นตรงดังรูปที่ 2.5 เรียกว่า Calibration curve



รูปที่ 2.5 กราฟระหว่าง Absorbance กับ c จะได้กราฟเส้นตรง

โดยที่ Layout ของเครื่อง 'DIY' spectrophotometer แสดงได้ดังรูปที่ 2.6



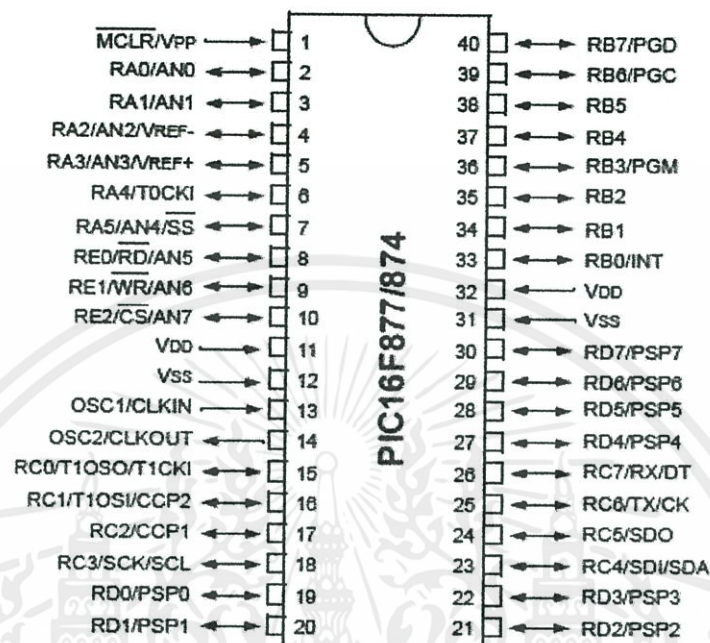
รูปที่ 2.6 การทำงานของเครื่อง 'DIY' spectrophotometer

จากรูปที่ 2.6 Spectrum ถูกสร้างโดย grating ซึ่งจะฉายลงบนกระดาษกราฟ เพื่อเลือกช่วงความยาวคลื่นที่ต้องการผ่าน Slit กระทบกับ Sample และผ่านไปยังส่วนของ Detector ถูกขยายและแปลงสัญญาณเป็นแรงดันไฟฟ้าโดยวงจรขยายสัญญาณ (Amplifier)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 Microcontroller PIC16F877

PDIP



รูปที่ 2.7 Microcontroller PIC16F877/874

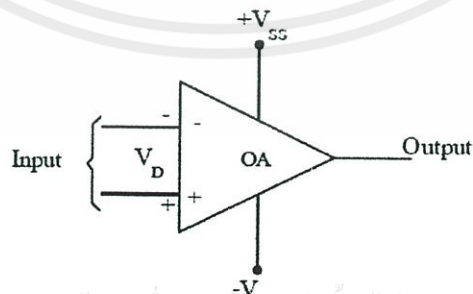
ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC ของบริษัทไมโครชิป (Microchip) โดยเฉพาะเบอร์ PIC16F877 ดังรูปที่ 2.7 เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ที่กำลังได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายเนื่องจากเป็นไมโครคอนโทรลเลอร์แบบแรก ที่มีการประมวลผลแบบ RISC Processor (RISC : Reduced Instruction Set Computer) โดยใช้คำสั่งการประมวลผลเพียง 33 - 35 คำสั่ง และใช้เวลาในการประมวลผลคำสั่งเพียง 1 หรือ 2 machine cycle ต่อคำสั่งเท่านั้น การประมวลผลคำสั่งเป็นลักษณะ Pipe Line คือขณะประมวลผลคำสั่งแรกจะทำการโหลดคำสั่งถัดไปมาเตรียมรอไว้ ทำให้การทำงานที่รวดเร็วมาก นอกจากนั้นในตัวโครงสร้างยังประกอบด้วยฮาร์ดแวร์ฟังก์ชันโมดูลสำหรับใช้งานพิเศษต่าง ๆ มากมาย ได้แก่ โมดูล Analog to Digital Converter , USART , Timer / Counter , SPI , Compare / Capture / PWM , I2C เป็นต้น โมดูลเหล่านี้ล้วนเพิ่มขีดความสามารถให้นำไปใช้งานได้อย่างหลากหลายประกอบกับมีเครื่องมือในการพัฒนาที่เพียงพอ

2.2.1 คุณสมบัติของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877

- มีคำสั่งในภาษาแอสเซมบลี 35 คำสั่ง
- ใช้ความถี่ออสซิลเลเตอร์ได้สูงสุด 20 MHz
- มีหน่วยความจำโปรแกรม Flash Memory ขนาด 8 K word (14 – bit words)
- มีหน่วยความจำข้อมูลแบบ RAM 368 Bytes

- มีหน่วยความจำข้อมูลแบบ EEPROM 256 Byte
- มีการตอบสนองอินเตอร์รัพท์ทั้งหมด 14 แหล่ง
- สามารถเลือกระดับการป้องกันข้อมูล (Code Protection) ได้
- มีโหมดประหยัดพลังงาน (Sleep Mode)
- สามารถเลือกแหล่งสัญญาณนาฬิกาได้หลายโหมด XT RC และออสซิลเลเตอร์พลังงานต่ำ
- มีฟังก์ชันการรักษาเสถียรภาพการทำงาน ได้แก่ POR , PWRT, OST, BOR และ WDT
- การโปรแกรมตัวชิปแบบ ICSP (ICSP : In-Circuit Serial Programming)
- สามารถทำงานที่ไฟเลี้ยงวงจรตั้งแต่ 2.0 V ถึง 5.5 V
- ขาพอร์ท I/O แต่ละขา สามารถรับและปล่อยกระแสได้สูงสุด 25 mA
- มีโมดูล Timer / Counter ใช้งานทั้งหมด 3 ตัว Timer 0 , Timer 1, และ Timer 2
- มีโมดูล CCP (CCP : Compare / Capture / PWM) จำนวน 2 ชุด
- มีโมดูล Analog to Digital Converter ความละเอียด ขนาด 8 บิต และ 10 บิต จำนวน 8 ช่อง ภายในตัวชิป
- มีโมดูลสื่อสารอนุกรมแบบ USART (USART : Universal Synchronous Asynchronous Receiver / Transmitter)
- มีพอร์ท I/O จำนวน 5 พอร์ท ได้แก่ พอร์ท A , B , C , D , และ E มีขา I/O รวมกัน 33 ขาดังนี้คือ
 - PORTA มี 5 ขา RA0 ถึง RA5
 - PORTB มี 8 ขา RB0 ถึง RB7
 - PORTC มี 8 ขา RC0 ถึง RC7
 - PORTD มี 8 ขา RD0 ถึง RD7
 - PORTE มี 3 ขา RE0 ถึง RE2

2.3 ออปแอมป์ (Op-Amp)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.8 โครงสร้างออปแอมป์

ออปแอมป์ (Op-Amp) เป็นชื่อย่อสำหรับเรียกววงจรขยายที่มาจาก Operating Amplifier เป็นวงจรขยายแบบต่อตรง (Direct coupled amplifier) ที่มีอัตราขยายสูงมากใช้การป้อนกลับแบบลบไปควบคุมลักษณะการทำงาน ทำให้ผลการทำงานของวงจรไม่ขึ้นกับพารามิเตอร์ภายในของออปแอมป์ โครงสร้างภายในดังรูปที่ 2.8 ประกอบด้วยวงจรขยายที่ต่ออนุกรมกัน ภาควงจรขยายดิฟเฟอเรนเชียลด้านทางเข้า วงจรขยายดิฟเฟอเรนเชียลภาคที่สอง วงจรเลื่อนระดับและวงจรขยายกำลังด้านทางออก สัญลักษณ์ที่ใช้แทนออปแอมป์จะเป็นรูปสามเหลี่ยม ไอซีออปแอมป์เป็นไอซีที่แตกต่างไปจากลิเนียร์ไอซีต่างๆ ไปคือไอซีออปแอมป์มีขาอินพุต 2 ขา เรียกว่าขาเข้าไม่กลับเฟส (Non-Inverting Input) หรือ ขา + และขาเข้ากลับเฟส (Inverting Input) หรือขา - ส่วนทางด้านออกมีเพียงขาเดียว เมื่อสัญญาณป้อนเข้าขาไม่กลับเฟสสัญญาณทางด้านออกจะมีเฟสตรงกับทางด้านเข้า แต่ถ้าป้อนสัญญาณเข้าที่ขาเข้ากลับเฟส สัญญาณทางออกจะมีเฟสต่างไป 180 องศา จากสัญญาณทางด้านเข้า

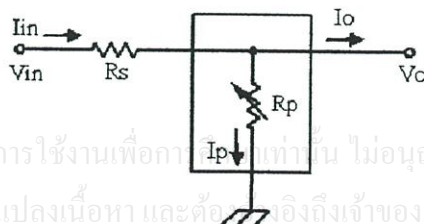
2.4 ไอซีเร็กกูเลเตอร์

ไอซีเร็กกูเลเตอร์ คือไอซีที่หน้าที่รักษาแรงดันที่เอาต์พุตของแหล่งจ่ายไฟให้คงที่ไม่ว่าโหลดจะเปลี่ยนแปลงไป วงจรเร็กกูเลเตอร์แบ่งออกเป็น 3 อย่างคือ เร็กกูเลเตอร์แบบอนุกรม (Series Regulator) เร็กกูเลเตอร์แบบขนาน (Shunt Regulator) และเร็กกูเลเตอร์แบบสวิตชิง (Switching Regulator) ไอซีเร็กกูเลเตอร์ มีหลายอย่างเช่นเร็กกูเลเตอร์แรงดันค่าคงที่ เร็กกูเลเตอร์เปลี่ยนค่าได้ เร็กกูเลเตอร์ไฟบวกและไฟลบ

2.4.1 เร็กกูเลเตอร์แบบขนาน (Shunt Regulator)

การทำงานของวงจรเร็กกูเลเตอร์แบบขนานดังรูปที่ 2.9 มีแรงดันอินพุต V_{IN} จ่ายให้กับวงจร มีตัวต้านทาน R_S ทำหน้าที่ในการจำกัดกระแสที่จะไหลผ่านวงจรทั้งหมด ตัวต้านทานที่ปรับค่าได้ R_p จะทำการปรับค่าเองโดยอัตโนมัติเพื่อให้แรงดันที่เอาต์พุตคงที่ตลอด สมการของแรงดันเอาต์พุตดังสมการที่ (2.3)

$$V_o = V_{IN} - R_S (I_o + I_p) \quad (2.3)$$

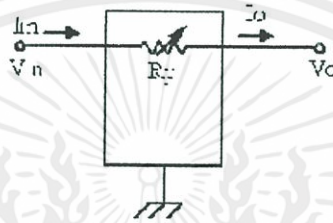


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

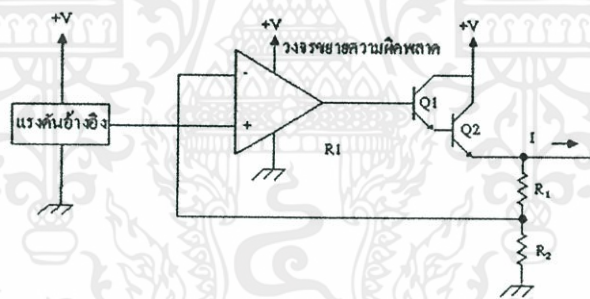
รูปที่ 2.9 แผนผังการทำงานของเร็กกูเลเตอร์แบบขนาน

2.4.2 เร็กกูเลเตอร์แบบอนุกรม(Series Regulator)

หลักการทำงานของเร็กกูเลเตอร์แบบอนุกรมนี้ แสดงในรูปที่ 2.10 โดยมีการจ่ายแรงดันที่ยังไม่ได้มีการเร็กกูเลทไปยัง R_p โดย R_p จะปรับค่าความต้านทานของตัวเองได้อัตโนมัติ ทำให้เกิดแรงดันตกคร่อมที่ R_p ค่าหนึ่ง จะได้แรงดันเอาต์พุตเท่ากับ แรงดันอินพุตลบด้วยแรงดันตกคร่อมในตัวเร็กกูเลเตอร์ดังรูปที่ 2.11 ซึ่งผลของการปรับค่า R_p ที่ถูกต้อง ก็จะทำให้ได้แรงดันเอาต์พุตตามที่ต้องการ และจากหลักการทำงานของเร็กกูเลเตอร์ชนิดนี้เองที่ได้นำมาประยุกต์ทำเป็นไอซีเร็กกูเลเตอร์เบอร์ต่างๆ ทั้งเบอร์ 78XX เบอร์ 79XX และอื่นๆ อีก



รูปที่ 2.10 แผนผังการทำงานของเร็กกูเลเตอร์แบบอนุกรม



รูปที่ 2.11 แผนผังวงจรพื้นฐานของเร็กกูเลเตอร์แบบอนุกรม

2.4.3 แผนผังวงจรพื้นฐานของเร็กกูเลเตอร์แบบอนุกรม

แผนผังวงจรพื้นฐานของเร็กกูเลเตอร์ชนิดนี้ สามารถแบ่งออกได้ 3 ภาค ดังแสดงในรูปที่

2.11 ประกอบไปด้วย

2.4.3.1 วงจรแรงดันอ้างอิง (Voltage Referent) ซึ่งเป็นส่วนที่เป็นอิสระต่อทั้งอุณหภูมิและแรงดันที่จ่ายให้กับเร็กกูเลเตอร์

2.4.3.2 วงจรขยายความผิดพลาด (Error Amplifier) ทำหน้าที่คอยเปรียบเทียบแรงดัน ระหว่างแรงดันอ้างอิงและสัดส่วนของแรงดันเอาต์พุต ที่ป้อนกลับมาที่ขาอินเวอร์ติงของออปแอมป์

2.4.3.3 ซีรีส์พาสซีฟทรานซิสเตอร์ (Series passive Transistor) ทำหน้าที่จ่ายกระแสเอาต์พุตให้เพียงพอกับความต้องการของโหลด

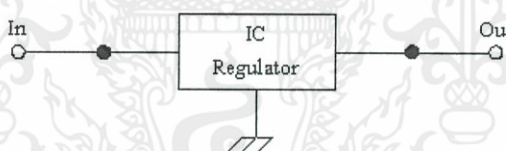
เมื่อป้อนแรงดันอินพุตให้กับไอซีเร็กกูเลเตอร์ แรงดันเอาต์พุตจะถูกป้อนมายังอินพุตโดย R_1 และ R_2 ทำหน้าที่เป็นวงจรแบ่งแรงดัน ซึ่งแรงดันที่ตกคร่อม R_2 จะเป็นสัดส่วนกับแรงดันที่เอาต์พุต วงจรขยายความผิดพลาดจะทำหน้าที่รักษาสัดส่วนของแรงดันอ้างอิงกับแรงดันที่ตกคร่อม R_2 ให้เท่ากันดังรูปที่ 2.11

ถ้าแรงดัน V_{R2} มากกว่า V_{REF} วงจรขยายความผิดพลาดจะลดระดับการขยายสัญญาณเอาต์พุต ทำให้ทรานซิสเตอร์จ่ายกระแสลดลงเป็นผลให้แรงดันเอาต์พุตที่จ่ายให้โหลดลดลงด้วย

ถ้าแรงดัน V_{R2} น้อยกว่า V_{REF} วงจรขยายความผิดพลาดจะเพิ่มระดับการขยายสัญญาณเอาต์พุต ทำให้ทรานซิสเตอร์จ่ายกระแสเพิ่มขึ้น เป็นผลให้แรงดันเอาต์พุตที่จ่ายให้โหลดเพิ่มขึ้นด้วย

2.4.4 ไอซีเร็กกูเลเตอร์สามขาชนิดจ่ายแรงดันคงที่

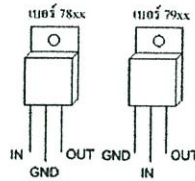
ไอซีเร็กกูเลเตอร์ภายในประกอบด้วยวงจรเร็กกูเลเตอร์แบบอนุกรม มีขาต่อใช้งาน 3 ขา ประกอบด้วยขา อินพุต เอาต์พุต และกราวด์ ซึ่งจะจ่ายแรงดันค่าใดค่าหนึ่งโดยเฉพาะ โดยรวมเอาส่วนของวงจรป้อนกลับที่ประกอบด้วย R_1 และ R_2 ดังรูปที่ 2.11 เข้าไว้เป็นส่วนหนึ่งของไอซี ซึ่งจุดนี้เองที่แตกต่างไปจากไอซีเร็กกูเลเตอร์ที่ปรับค่าได้



รูปที่ 2.12 การต่อไอซีเร็กกูเลเตอร์ใช้งานแบบง่าย

จุดเด่นของไอซีเร็กกูเลเตอร์ค่าคงที่นี้คือ สามารถต่อวงจรได้ง่ายไม่ต้องต่ออุปกรณ์ภายนอกเพิ่มเติมมากนัก ตัวอย่างวงจรการใช้งาน ดังแสดงในรูปที่ 2.12 ในการต่อวงจรบางครั้งจำเป็นต้องต่อไอซีเร็กกูเลเตอร์ห่างจากแหล่งจ่ายไฟอินพุตเกิน 5 เซนติเมตร จึงควรใส่ตัวเก็บประจุอิเล็กโทรไลต์ขนาดประมาณ 10 ไมโครฟารัด สักตัวไว้ด้านอินพุต เพื่อป้องกันการเกิดออสซิลเลชันที่ความถี่สูง ซึ่งจะทำให้วงจรขาดเสถียรภาพ เอาต์พุตที่ออกจากไอซีเร็กกูเลเตอร์ จะได้แรงดันเอาต์พุตที่เรียบพอสมควรอยู่แล้ว แต่อาจจะใส่ตัวเก็บประจุที่มีค่าประมาณ 100 ไมโครฟารัด เพื่อช่วยปรับปรุงแรงดันให้เรียบขึ้น ถึงแม้ว่าแรงดันไอซีเร็กกูเลเตอร์ชนิดนี้จะให้แรงดันเอาต์พุตคงที่ มีขนาดให้เลือกแรงดันเอาต์พุตได้คงที่หลายขนาดเช่น 5 V, 5.2 V, 6V, 8V, 10V, 12V, 15V, 18V และ 24V โดยมีกระแสเอาต์พุตตั้งแต่ 10 มิลลิแอมป์ถึง 3 แอมป์ และมีให้เลือกทั้งชนิดเร็กกูเลเตอร์ไฟบวกและเร็ก

กุเลเตอร์โฟลป ซึ่งในการสร้างเครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสงแบบพกพาได้ใช้ไอซีเร็กกูเลเตอร์เบอร์ 7805 โดยมีตำแหน่งขาในการต่อดังรูปที่ 2.13

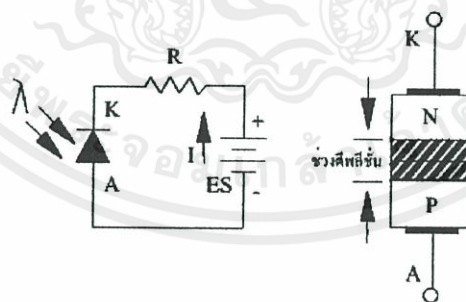


รูปที่ 2.13 ตำแหน่งขาของ IC Regulator เบอร์ 78xx และ 79xx

2.5 โฟโตไดโอด (Photo Diode)

โฟโตไดโอด (Photo Diode) เป็นอุปกรณ์เชิงแสงชนิดหนึ่ง ที่ประกอบด้วยสารกึ่งตัวนำชนิด P และสารกึ่งตัวนำชนิด N ดังรูปที่ 2.14 รอยต่อจะถูกห่อหุ้มด้วยวัสดุที่แสงผ่านได้ เช่น กระจกใส โฟโตไดโอดจะมีอยู่ 2 แบบ คือแบบที่ตอบสนองต่อแสงที่มองเห็น และแบบที่ตอบสนองต่อแสงในย่านอินฟราเรด ในการรับใช้งานจะต้องต่อโฟโตไดโอดในลักษณะไบอัสกลับ

โฟโตไดโอด (Photo Diode) จะยอมให้กระแสไหลผ่านได้มากหรือน้อยนั้นขึ้นอยู่กับปริมาณความเข้มของแสง เมื่อโฟโตไดโอดได้รับไบอัสกลับ (Reverse Bias) ด้วยแรงดันค่าหนึ่งและมีแสงมาตกกระทบบที่บริเวณรอยต่อ ถ้าแสงที่มากตกกระทบบมีความยาวคลื่นที่เหมาะสมจะมีกระแสไหลในวงจร โดยกระแสที่ไหลในวงจร จะแปรผกผันกับความเข้มของแสงที่มากตกกระทบบ ลักษณะทั่วไปขณะไบอัสตรง (Forward Bias) จะยังคงเหมือนกับไดโอดธรรมดา คือยอมให้กระแสไหลผ่านได้ สำหรับตัวอย่างโฟโตไดโอดที่ใช้ในการสร้างเครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสงแบบพกพาจะมีลักษณะดังรูปที่ 2.15

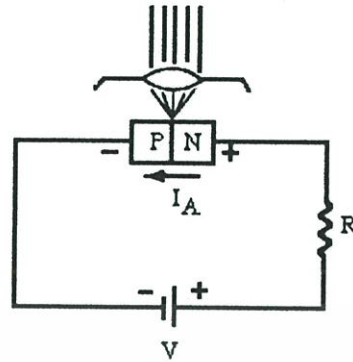


รูปที่ 2.14 สัญลักษณ์ และการไบอัสใช้งาน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเป็นเอกสารและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.15 ตัวอย่างโฟโตไดโอด



รูปที่ 2.16 การจ่ายไบอัสกลับให้โฟโตไดโอด

เป็นการจ่ายไบอัสกลับให้โฟโตไดโอด ดังรูปที่ 2.16 ถ้าในขณะที่ไม่มีแสงมาตกกระทบตรงรอยต่อของโฟโตไดโอด โฟโตไดโอดจะไม่นำกระแส อาจมีเพียงกระแสรั่วซึมไหลผ่านเล็กน้อย ไม่ถือว่าเป็นกระแสที่โฟโตไดโอดทำงาน เมื่อมีแสงส่องมากระทบรอยต่อ PN แสงดังกล่าวจะเปลี่ยนเป็นพลังงานโฟตอน ไปทำให้ค่าแบริสมมาตรรอยต่อ หรือ Depletion region ตรงรอยต่อลดค่าลงอย่างมากเกิดกระแสไบอัสกลับไหลผ่านรอยต่อของโฟโตไดโอดมากขึ้น กระแสไบอัสกลับดังกล่าวจะไหลผ่านตัวโฟโตไดโอดได้มากน้อยจะถูกจำกัดค่าโดยโหลด R ที่ต่อในวงจร และขึ้นอยู่กับความเข้มของแสงที่มาตกกระทบโฟโตไดโอด

2.6 Basic 16x2 Character LCD 1602 Black on Green

สำหรับในส่วนของการแสดงผลจะใช้หน้าจอ LCD 1602 Black on Green หรือ 1602a ดังรูปที่ 2.17 ซึ่งเป็นหน้าจอแสดงผลที่สามารถแสดงผลได้ 2 บรรทัด จำนวน 32 ตัวอักษร ในการนำมาแสดงค่าวัดการดูดกลืนแสงที่ได้จากการทดลองจากเครื่องที่สร้างขึ้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ... ไม่ขอให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเผยแพร่ และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของลิขสิทธิ์ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.17 จอ LCD 1602a

2.6.1 คุณสมบัติ Basic 16x2 Character LCD 1602 Black on Green

- แสดงผลที่ 8 บิต และ 4บิต MPU
- บันทึกข้อมูลตัวอักษรและสัญลักษณ์แสดงผลได้ 192 รูปแบบ
- ข้อมูลตัวอักษรอื่นๆ สามารถแสดงผลได้โดยเครื่องกำเนิดตัวอักษร(RAM)
- กะทัดรัดสามารถใช้ร่วมกับอุปกรณ์อื่นได้โดยง่าย
- หน้าจอเรียบง่าย มีเคอเซอร์ปกติและเคอเซอร์ เปิด/ปิดให้
- มีการแสดงผลการอ่านและเขียนขึ้นใหม่ได้
- ต้องการแหล่งจ่ายไฟ +5โวลต์(ยกเว้นรูปแบบการวัดอุณหภูมิ)
- บริโภคพลังงานเพียงเล็กน้อย

2.7 ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2)

R^2 คือสัมประสิทธิ์การทำนายหรือสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ(Determination Coefficient) คำนวณจากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์(Correlation Coefficient) ดังสมการที่ (2.4) ยกกำลังสอง

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (2.4)$$

เมื่อ n = จำนวนตัวอย่าง
 \bar{x} = ค่าเฉลี่ยตัวแปร x
 \bar{y} = ค่าเฉลี่ยตัวแปร y

สาเหตุที่ต้องใช้ค่า R^2 เนื่องจากในการทดลองนั้นตามกฎของเบียร์กล่าวว่า ค่าการดูดกลืนแสงแปรผันตรงกับความเข้มข้น ดังนั้น เมื่อทราบค่าการดูดกลืนแสงจากการทดลองแล้วนำมาเขียนกราฟ แนวโน้มของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงและความเข้มข้นจะต้องแปรผันในลักษณะเป็นเส้นตรง โดยในที่นี้จะใช้ค่า R^2 มาใช้ในการเป็นมาตรฐานในการพิจารณาว่าค่าที่วัดได้นั้นมีความถูกต้องหรือไม่ตามกฎของเบียร์ และค่า R^2 จะต้องมีค่าเท่ากับ 0.99xx

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

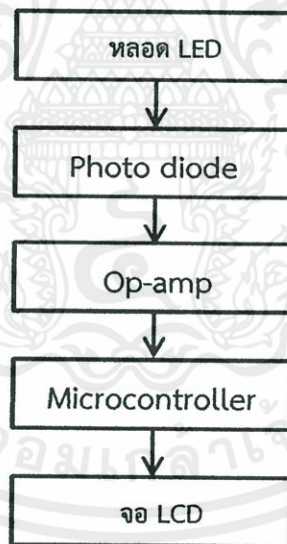
บทที่ 3

การคำนวณและการออกแบบ

สำหรับบทนี้จะอธิบายเกี่ยวกับหลักการทำงานของเครื่องโดยรวม และการออกแบบโปรแกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ของตัวเครื่องที่ทำการประดิษฐ์ขึ้น

3.1 ขอบเขตการทำงานของเครื่อง

จากรูปที่ 3.1 แสดงถึงระบบโดยรวมของเครื่องนั้น แสดงให้เห็นถึงหลักการทำงานของเครื่องแบบคร่าวๆแล้ว โดยการที่แสงจากหลอด LED นั้นวิ่งผ่านสารละลาย จากนั้นสารละลายจะทำการดูดกลืนแสงที่ถูกส่งออกมาไว้ แสงที่ผ่านสารละลายนั้นก็จะตกกระทบไปยังโฟโตไดโอด เมื่อโฟโตไดโอดนั้นได้รับแสงความต้านทานก็จะลดลง และทำให้อัตราการขยายของออปแอมป์ นั้นเปลี่ยนไปเมื่ออัตราการขยายของออปแอมป์ นั้นเปลี่ยนไปแล้วนั้นค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าก็จะเปลี่ยนไปด้วยเช่นเดียวกัน และส่งข้อมูลไปยัง ไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อทำการคำนวณหาค่าการดูดกลืนแสงตามกฎของเบียร์ และแสดงออกทางจอ LCD 16 ตัวอักษร 2 แถว

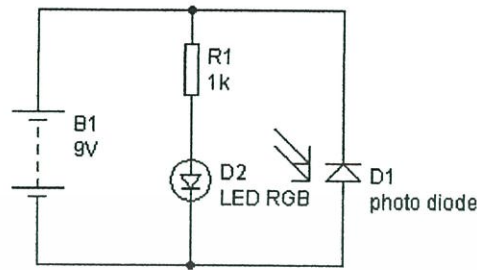


รูปที่ 3.1 ระบบโดยรวมของเครื่อง

3.2 การออกแบบวงจรรับค่าแสง

จากวงจรทดสอบของเครื่องดังรูปที่ 3.2 ตัวรับค่าแสงของคือโฟโตไดโอดที่มีความสามารถในการรับค่าแสงและจะทำให้ค่าความต้านทานของตนเองนั้นเปลี่ยนไปโดยจะทำการต่อโฟโตไดโอดเป็นไบอัสกลับเพื่อให้กระแสที่ไหลผ่านได้มากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความต้านทานของตัวโฟโตไดโอด เมื่อโฟโตไดโอดนั้นได้รับแสงจะมีความต้านทานน้อยลงตั้งแต่ ยอมให้กระแสที่ผ่านหมดจนกระทั่งไม่

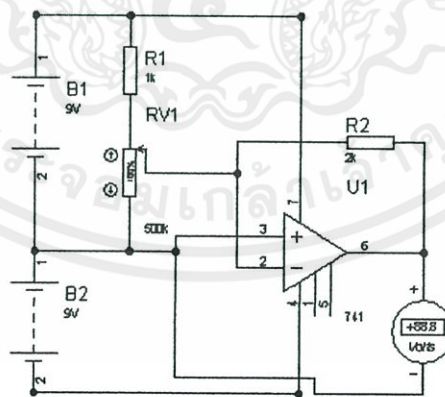
ยอมให้กระแสผ่านเลย ตามปริมาณแสงที่ได้รับ โดย LED นั้นจะมีทั้งหมดสามสีด้วยกันและสามารถผสมสีกันได้ และแต่ละสีนั้นจะทำให้ค่าความต้านทานแกโฟโตไดโอดไม่เท่ากัน



รูปที่ 3.2 วงจรทดสอบโฟโตไดโอด

3.3 วงจรขยายสัญญาณโฟโตไดโอด

จากรูปที่ 3.3 รูปวงจขยายสัญญาณโฟโตไดโอด ในวงจรนี้ได้ทำการทดสอบการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานของตัวต้านทานปรับค่าได้ (RV1) เมื่อต่อไปยังตัวขยายสัญญาณออปแอมป์โดยที่เมื่อความต้านทานของตัวความต้านทานปรับค่าได้นั้นมีค่าน้อยลงนั้นอัตราการขยายก็จะต่ำลงด้วย แต่อัตราการขยายนั้นออกมาเป็นลบ แต่ถ้าทำการต่อออปแอมป์แบบไม่กลับเฟสนั้นอัตราการขยายจะเป็น $1 + \frac{R_2}{R_1}$ ซึ่งจะทำให้ผลออกมาคลาดเคลื่อนเพราะเมื่ออัตราการขยายนั้นลดลงแล้วยังแสดงค่าที่มีค่ามากอยู่

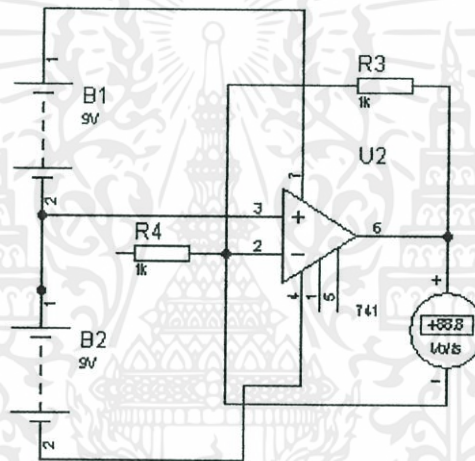


รูปที่ 3.3 รูปวงจขยายสัญญาณโฟโตไดโอด

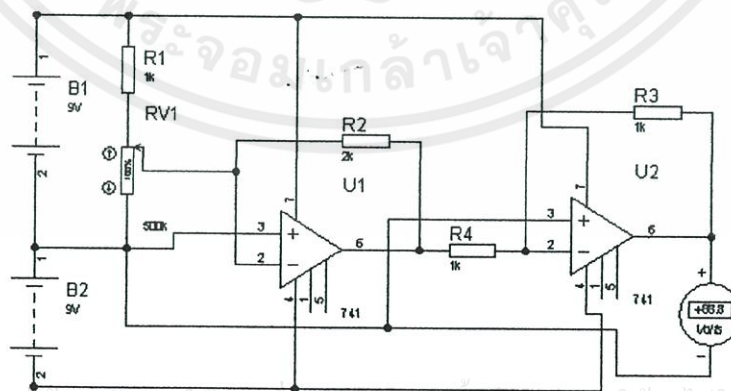
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 วงจรออปแอมป์แบบกลับเฟส

จากรูปที่ 3.4 วงจรนี้เป็นวงจรที่ทำการต่อมาจากวงจรรูปที่ 3.3 ซึ่งมีค่า Output ที่ได้นั้นออกมาเป็นค่าติดลบ จึงทำการต่อออปแอมป์แบบกลับเฟสอีกรอบหนึ่งเพื่อที่จะทำให้ค่าลบของค่าความต่างศักย์ไฟฟ้านั้นกลับเป็นบวกโดยการให้ $R3=R4$ เพื่อที่อัตราขยายนั้นจะเป็น 1 แต่วงจรนี้นั้นมีข้อเสียที่ว่าเมื่อค่าความต่างศักย์ที่เข้ามานั้นน้อยจนถึงระดับหนึ่งนั้นค่าความต่างศักย์ก็จะคงที่ไม่มี การลดอีกแต่ว่าวงจรที่สร้างขึ้นนั้นได้ทำการทดสอบแล้วว่าผลตรงนี้ไม่ส่งผลกระทบต่อการทำงานทดลองแต่อย่างใดเพราะค่าความต้านทานของตัวโพโตไดโอดนั้นน้อยมากเมื่อถูกแสงของหลอด LED ค่าความต่างศักย์จึงลดลงมาไม่ถึงได้ในระดับที่น้อยจนลดไม่ได้ และเมื่อนำทั้งสองวงจรมาเชื่อมต่อกันจะได้วงจรตามรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.4 รูปวงจรออปแอมป์แบบกลับเฟส



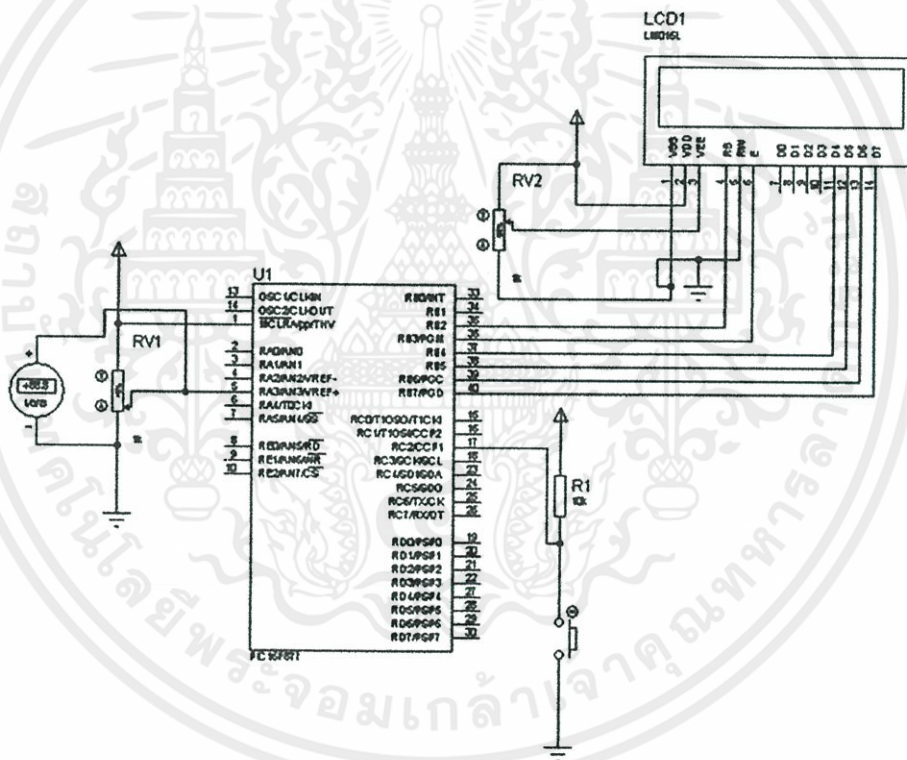
รูปที่ 3.5 วงจรขยายสัญญาณโฟโตไดโอด และ วงจรกลับสัญญาณเข้าด้วยกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น กรุณาแจ้งให้ด้วยก่อนเผยแพร่ และอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

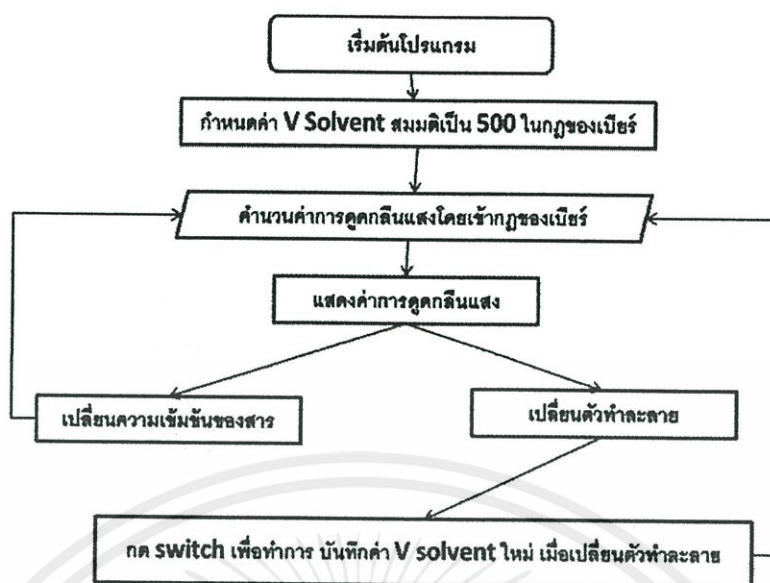
3.5 ไมโครคอนโทรลเลอร์คำนวณค่าการดูดกลืนแสง

วงจรนี้เป็นวงจรที่ทดสอบโปรแกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ในเครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสงแบบพกพาซึ่งมีวงจรดังรูปที่ 3.6 ที่ได้ทำการใส่กฎของเบียร์เข้าไปและทำการคำนวณโดยการรับค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าและแสงค่าการดูดกลืนแสงของสารนั้นๆ และแสดงผลผ่านทางจอ LCD 16 ตัวอักษร 2 แถว เมื่อทำการใส่ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์นั้นตัวไมโครคอนโทรลเลอร์นั้นก็จะทำการนำเอาค่าความต่างศักย์ที่ได้ให้ไปนั้นไปประมวลผลผ่านกฎของเบียร์และทำการคำนวณค่าการดูดกลืนแสงและส่งไปให้จอ LCD เพื่อที่จะแสดงออกมาให้ทราบค่าการดูดกลืนแสงของสารนั้นๆ และสามารถทำการบันทึกค่า V_{solvent} เข้าไปในกฎของเบียร์ได้อีกด้วยโดยการกดปุ่ม สวิตช์กดติดปล่อยดับค้างจนค่าการดูดกลืนนั้นเปลี่ยนเป็น 0.000 โดยแผนภาพการทำงานของโปรแกรมในไมโครคอนโทรลเลอร์แสดงดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.6 รูปวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ในเครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสงแบบพกพา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

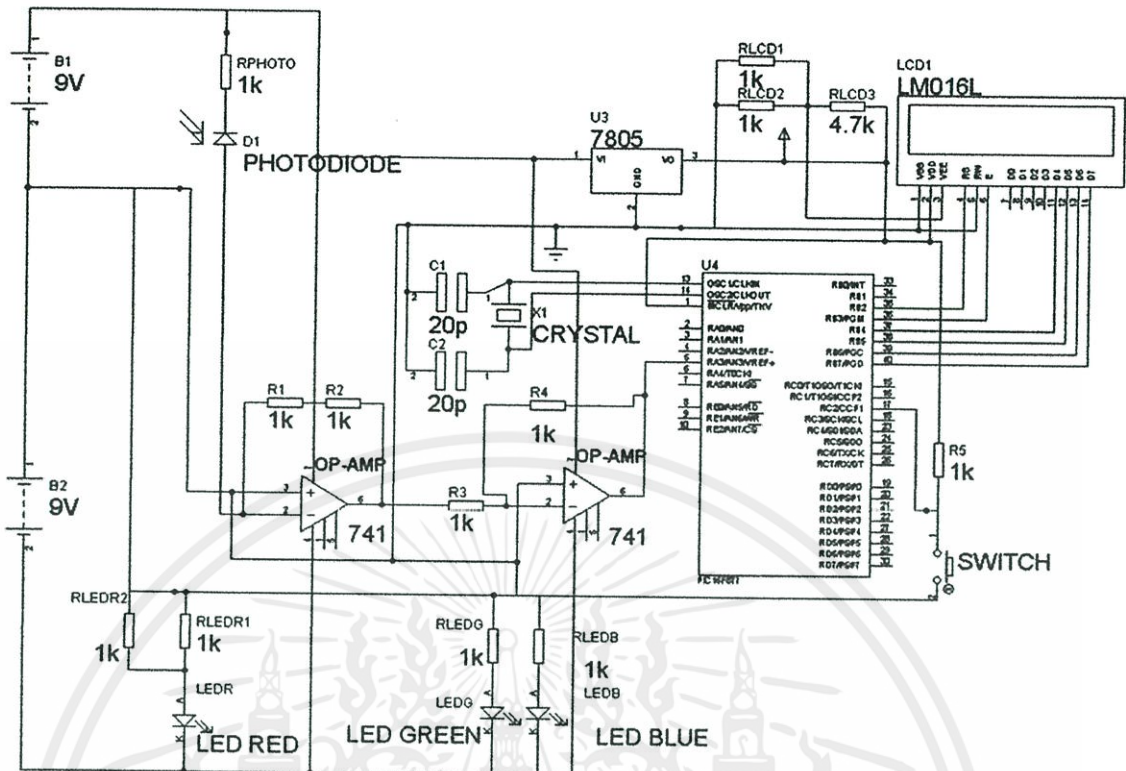


รูปที่ 3.7 การทำงานของโปรแกรมของตัวเครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสงแบบพกพา

3.6 วงจรทั้งหมดของเครื่อง

จากรูปที่ 3.8 วงจรทั้งหมดของเครื่องประกอบด้วยแหล่งจ่ายไฟซึ่งในที่นี้คือถ่านขนาด 9 V จำนวน 2 ก้อน ซึ่งก้อนที่หนึ่งจะจ่ายไฟ 9 V และอีกก้อนจะจ่ายไฟ -9 V ซึ่งจ่ายให้กับออปแอมป์ ซึ่งไฟ 9 V จากถ่านก้อนแรกนั้นเป็นแหล่งจ่ายให้กับ IC 7805 เพื่อเปลี่ยนไฟจาก 9 V. เป็น 5 V ซึ่งส่งต่อให้กับตัวไมโครคอนโทรเลอร์และจอ LCD และไฟ -9 V เป็นแหล่งจ่ายไฟให้กับหลอด LED 3 สี ส่วนต่อมาคือ โฟโตไดโอดซึ่งเป็นตัวรับแสงจาก LED ที่ส่องผ่านสารละลายและเปลี่ยนค่าความต้านทานตามแสงที่ผ่านสารละลายออกมา และเมื่อค่าความต้านทานของโฟโตไดโอดนั้นเปลี่ยนไปค่าการขยายของออปแอมป์แบบกลับเฟสก็จะเปลี่ยนไปด้วยเช่นเดียวกัน และสัญญาณที่ออกมาจากออปแอมป์ตัวแรกนั้นยังมีค่าเป็นลบอยู่จึงต้องทำการเข้าไปที่ออปแอมป์ แบบกลับเฟสอีกตัวหนึ่งเพื่อที่จะทำให้ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ได้นั้นกลับมาเป็นบวกและสัญญาณที่ออกมานั้นก็จะยังไปเข้าที่ตัวไมโครคอนโทรเลอร์และตัวไมโครคอนโทรเลอร์นั้นก็เลยนำค่าความต่างศักย์ที่ได้ไปคำนวณในกฎของเบียร์และแสดงผลออกมาที่จอ LCD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



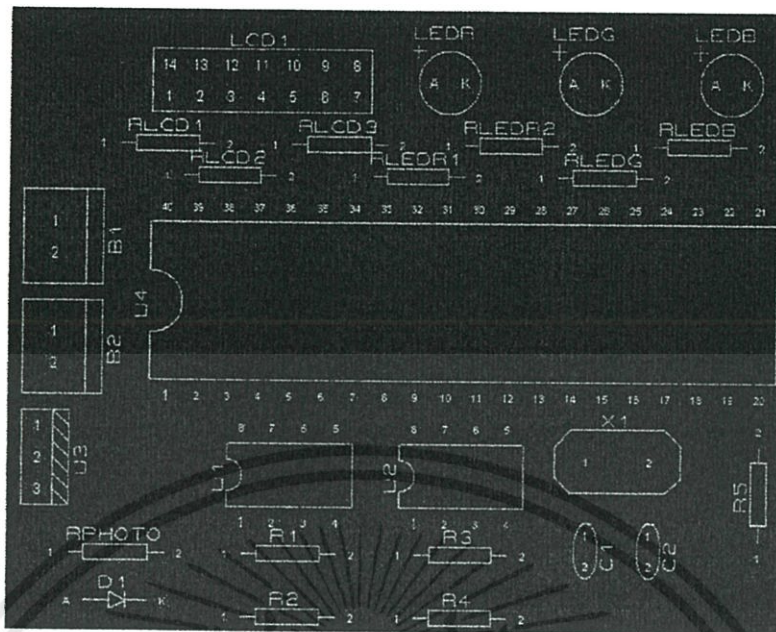
รูปที่ 3.8 รูปวงจรตัวเครื่องวัดค่าการดูกลืนแสงแบบพกพา

จากรูปที่ 3.8 เมื่อดูจากออปแอมป์ตัวแรกอัตราขยายเป็น -2 และมีโพโตไดโอดเป็นตัวปล่อยค่า Input ที่เปลี่ยนแปลงไปตามค่าแสงนั้นค่า Output ที่ออกมานั้นจะไม่ต่ำกว่า -5 และจะไม่มากกว่า 0 ซึ่งเมื่อผ่านออปแอมป์ อีกตัวที่ทำการกลับเฟสอีกหนึ่งรอบแล้วก็จะทำให้ค่าความต่างศักย์นั้นอยู่ระหว่าง 0-5 V ไม่เกินเพื่อที่จะสามารถเข้าไปคำนวณในไมโครคอนโทรลเลอร์ได้

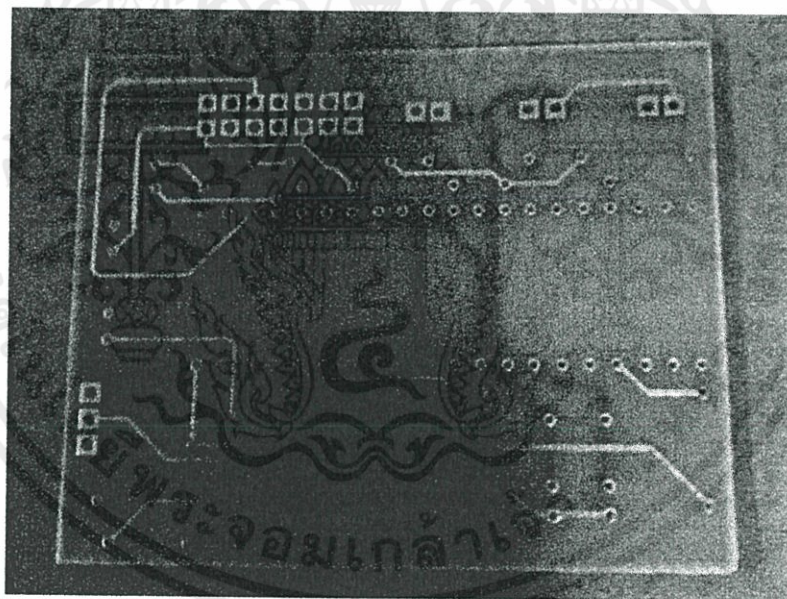
3.7 ลายวงจรของเครื่องวัดค่าการดูกลืนแสงแบบพกพา

เนื่องจากเครื่องที่สร้างขึ้นนั้นจะต้องสามารถพกพาไปทำการทดลองยังสถานที่ต่างๆได้ ดังนั้นต้องออกแบบแผ่น PCB ให้มีขนาดเล็ก และเนื่องจากวงจรนั้นมีการเชื่อมต่อกันมากมายหลายจุดจึงทำให้วงจรแผ่น PCB มีทั้งด้านหน้าและด้านหลังด้วยกัน โดยรูปที่ 3.9 นั้นลายสีแดงเป็นลายแผ่น PCB ด้านบน และ สีน้ำเงินนั้นเป็นลายแผ่น PCB ด้านล่าง รูปที่ 3.10 เป็นรูปที่แสดงถึงแผ่น PCB ของจริงที่ทำการกัดมา และเมื่อบรรจุอุปกรณ์ทั้งหมดลงไปก็แผ่น PCB จะได้ดังรูปที่ 3.11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

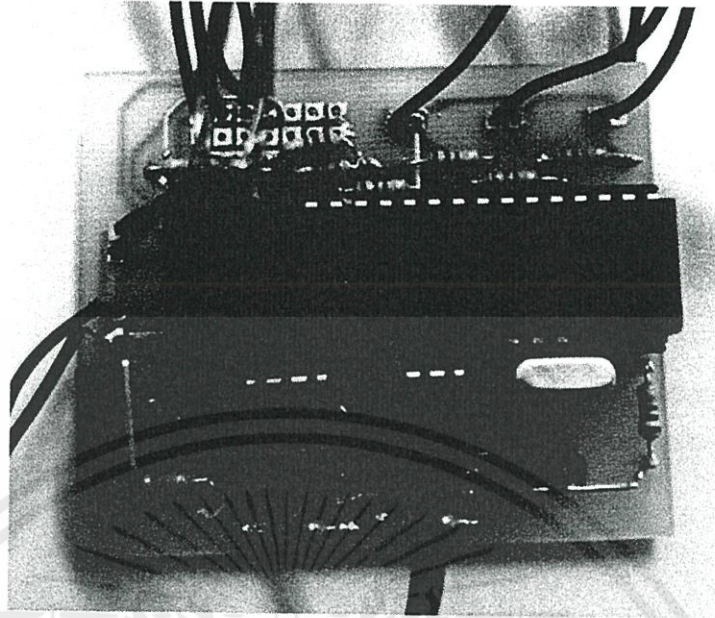


รูปที่ 3.9 รูปลายวงจรแผ่น PCB



รูปที่ 3.10 รูปแผ่น PCB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.11 แผ่น PCB ที่ทำการติดตั้งอุปกรณ์แล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

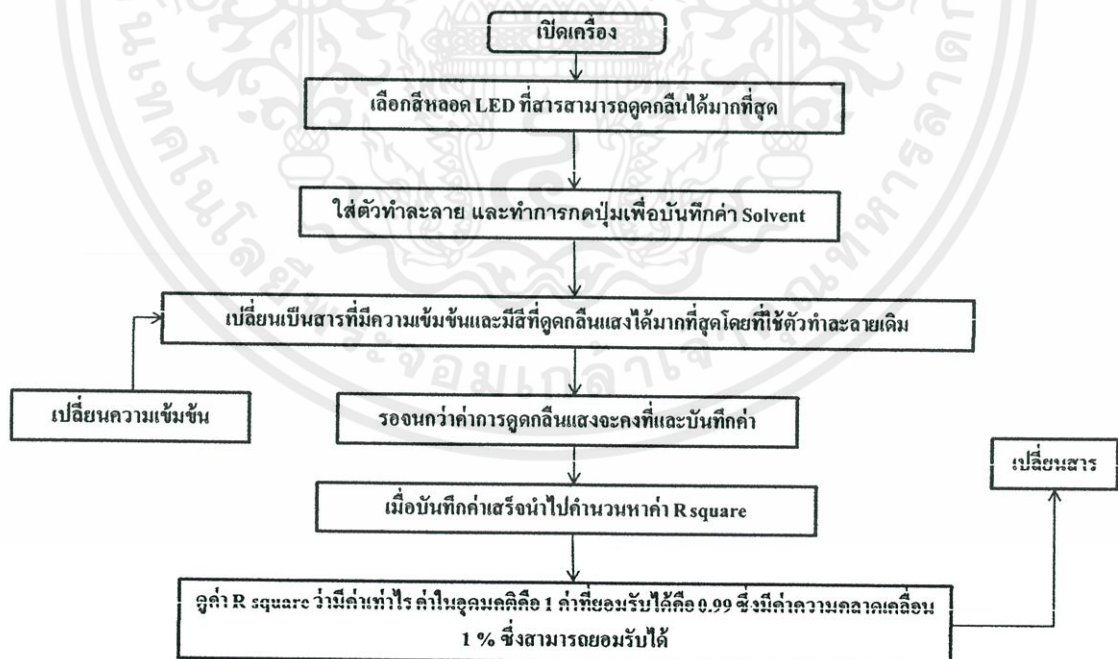
บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

4.1 อุปกรณ์ที่ใช้วัดค่าการดูดกลืนแสง

1. ตัวต้านทานขนาด $1\text{ k}\Omega$, $4.7\text{ k}\Omega$
2. ออปแอมป์ เบอร์ 741 CN
3. Photo diode
4. หลอดไฟ LED
5. สายไฟ
6. PIC เบอร์ 16F877
7. ฟิลึก crystal ความถี่ 2 Mhz
8. IC7805 (Voltage Regulator IC)
9. ตัวเก็บประจุขนาด 20 pF .

4.2 การทดลอง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอก รูปที่ 4.1 แผนภาพการทำงานของเครื่อง กสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.1 แสดงให้เห็นถึงการทำงานของเครื่องวัดการดูดกลืนแสง โดยเริ่มจากการวัดค่าการดูดกลืนแสงโดยใช้แหล่งกำเนิดเป็นหลอด LED แบบมี 3 สีในหลอดเดียวกัน ซึ่งมีขั้นตอนการทดลองดังต่อไปนี้

1. เปิดเครื่องเพื่อให้เครื่องเริ่มทำงานโดยเมื่อไม่มีสารละลายวัตถุใด หน้าจอจะแสดง 2.000
2. วัดค่าการดูดกลืนแสงของตัวทำละลาย ทั้งนี้ต้องพิจารณาสารละลายด้วยว่าเป็นสารสีอะไร โดยดูตามตารางที่ 4.1 เพื่อเปิดสีของหลอดไฟให้ถูกต้อง เช่นสารละลายสีแดง ควรเปิดหลอดไฟให้ได้สีเขียวหน้าเงินเป็นต้น จากนั้นกดปุ่มบันทึกค่า เพื่อบันทึกค่าการดูดกลืนแสงของตัวทำละลาย หน้าจอจะแสดงผลเป็น 0.000
3. วัดค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายแล้วจดบันทึกค่าการดูดกลืนแสงที่ได้จากตัวเครื่อง ซึ่งในที่นี้ทำการวัดสารละลายสีผสมอาหารสีเดียวกันที่มีความเข้มข้นแตกต่างกัน 5 ความเข้มข้น ดังตารางที่ 4.2 จากนั้นเมื่อจดบันทึกค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายแล้ว นำค่าที่ได้ไปหาค่า (R^2) จากโปรแกรม Microsoft Excel
4. สร้างกราฟการกระจายของข้อมูลในโปรแกรม Microsoft Excel แล้วหาสมการเส้นตรงของข้อมูล แล้วนำสมการที่ได้ไปใช้หาค่าความเข้มข้นของสารละลายสีเดียวกันที่ไม่ทราบความเข้มข้น

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าการดูดกลืนแสงของสารละลาย

ความยาวคลื่นที่ดูดกลืนแสง (นาโนเมตร)	สีของตัวกรองแสง (สีของหลอดไฟ LED)	สีของสารละลาย
380-435	ม่วง	เขียวเหลือง
435-480	น้ำเงิน	เหลือง
480-490	น้ำเงินเขียว	ส้ม
490-500	เขียวน้ำเงิน	แดง
500-560	เขียว	ม่วง
560-580	เขียวเหลือง	ม่วงเข้ม
580-595	เหลือง	น้ำเงิน
595-650	ส้ม	น้ำเงินเขียว

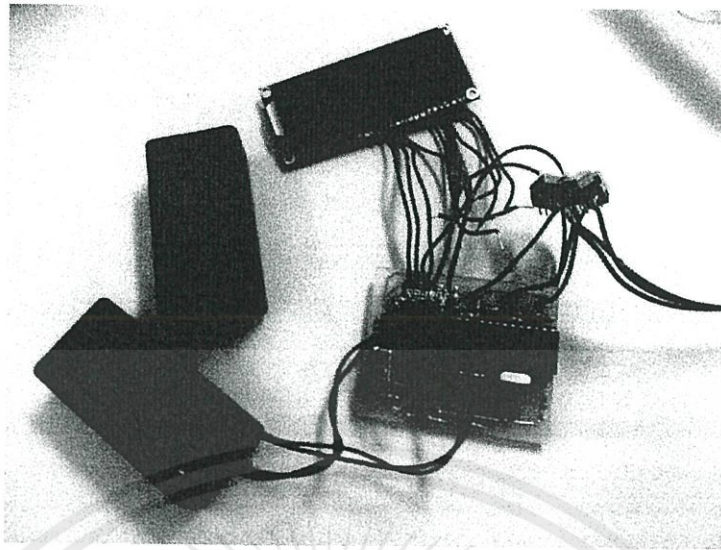
ในการทดลองในครั้งนี้ได้ใช้โฟโตไดโอด ซึ่งเป็นตัวรับแสงที่ผ่านการดูดกลืนจากสารละลาย และใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F877 เป็นตัวคำนวณเพื่อหาค่าความเข้มข้นของสารและแสดงค่าความเข้มข้นบนจอ LCD โดยการใส่แรงดันที่ออกมาจากออปแอมป์และคำนวณหาค่าการดูดกลืนแสงและนำไปคำนวณความเข้มข้น แต่เนื่องจากไมโครคอนโทรลเลอร์นั้นมีพื้นที่จำกัดและคำสั่งสมการการดูดกลืนแสงนั้นใช้คำสั่ง log ซึ่งใช้พื้นที่หน่วยความจำเป็นจำนวนมาก จึงแสดงค่าได้แค่ค่าการดูดกลืน

แสงเท่านั้น และหลอดไฟเนื่องจากสารแต่ละสารนั้นมีการการดูดกลืนแสงแต่ละสีที่ไม่เท่ากัน เพราะฉะนั้น จึงต้องใช้สีที่แสงนั้นดูดกลืนได้มากที่สุดเป็นตัวส่งเข้าไปในเครื่องใหญ่นั้นใช้ปริซึมและใช้มอเตอร์หมุนให้มุมของปริซึมเปลี่ยนไปและสีที่ออกมาจากปริซึมก็จะเปลี่ยนไปตามองศาที่หมุนซึ่งต้องใช้ต้นทุนมากและเนื่องจากวัตถุประสงค์ในการสร้างคือ ต้องการสร้างเครื่องที่สามารถพกพาได้ ดังนั้นจึงใช้หลอด LED RGB ซึ่งสามารถส่องแสงออกมาได้ 3 สี ได้แก่ แดง เขียว และฟ้า และยังสามารถผสมสีได้ด้วยรวมแล้วทั้งหมด 7 สี เมื่อทำการต่อส่วนต่างๆเข้าด้วยกันดังรูปที่ 4.2 เพื่อทดสอบการทำงานของวงจรและนำไปทดลองซึ่งวัดค่าการกระจายตัวของการดูดกลืนแสงของสารสีต่างๆและความเข้มต่างๆผลออกมาค่าการกระจายตัวมีค่าใกล้เคียง 1 คือ $0.99xx$ ซึ่งสามารถนำไปทดลองจริง จึงทำการออกแบบแผ่น PCB และทำการบัดกรีวงจร ดังรูปที่ 4.3 และนำมาใส่กล่องเป็นตัวเครื่องได้ดังรูปที่ 4.4

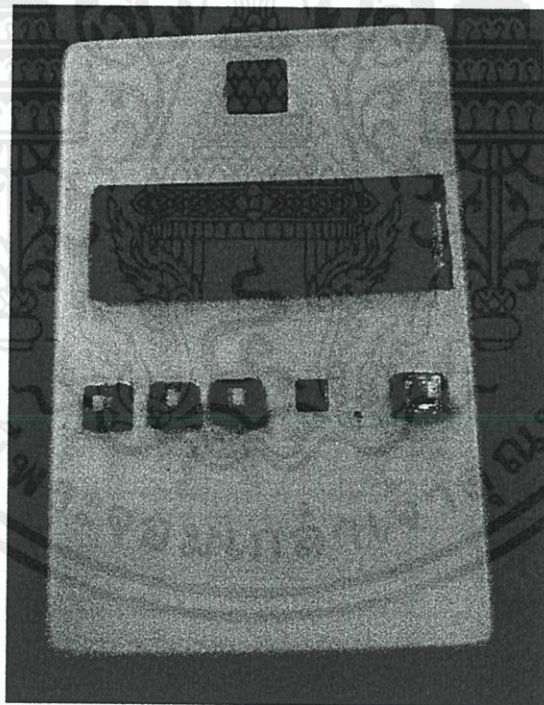


รูปที่ 4.2 การทดลองขณะยังไม่ได้บรรจุวงจรลงบนแผ่น PCB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 วงจรที่ถูกรวบรวมลงในแผ่น PCB แล้ว



รูปที่ 4.4 ตัวเครื่องที่ทำการสร้างขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 สารที่ใช้ในการทดลอง

สารที่ใช้ในการทำการทดลองครั้งนี้เป็นการใช้น้ำสีผสมอาหาร จำนวน 3 สี ซึ่งแต่ละสีมีความเข้มข้นของน้ำสีที่แตกต่างกัน 5 ความเข้มข้น ดังตารางที่ 4.2 และดังรูปที่ 4.5

ตารางที่ 4.2 ความเข้มข้นของน้ำสีผสมอาหารที่ใช้ในการทดลอง

ความเข้มข้น สารละลาย	ขวดที่ 1	ขวดที่ 2	ขวดที่ 3	ขวดที่ 4	ขวดที่ 5
สีแดง	5% โดยปริมาตร	10% โดยปริมาตร	15% โดยปริมาตร	20% โดยปริมาตร	25% โดยปริมาตร
สีเขียว	5% โดยปริมาตร	10% โดยปริมาตร	15% โดยปริมาตร	20% โดยปริมาตร	25% โดยปริมาตร
น้ำเงิน	5% โดยปริมาตร	10% โดยปริมาตร	15% โดยปริมาตร	20% โดยปริมาตร	25% โดยปริมาตร



เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์การเผยแพร่เพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น มิใช่เพื่อการค้าหรือเผยแพร่สู่สาธารณะ
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

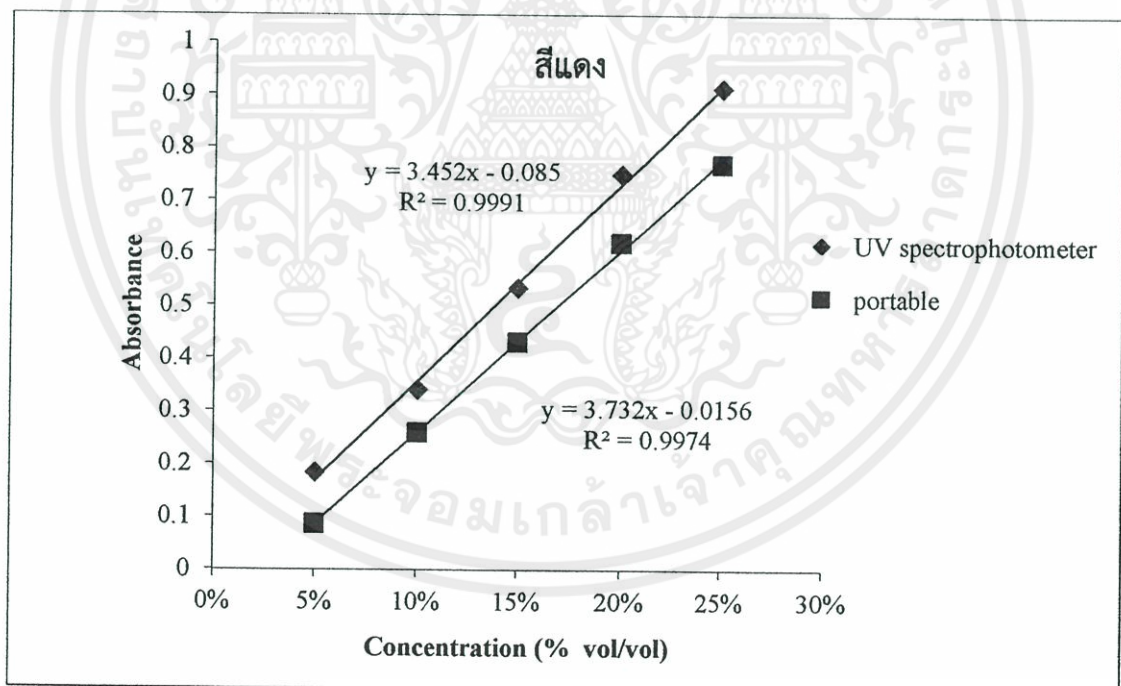
รูปที่ 4.5 สารละลายสีผสมอาหารที่ใช้ในการทดสอบ

4.4 ผลการทดลอง

จากการทดลองสามารถสรุปผลได้ดังกราฟและตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 4.3 ผลการวัดค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายน้ำสีแดงระหว่างเครื่อง UV spectrophotometer และ เครื่องที่ทำการสร้างขึ้น

ความเข้มข้น	5 %	10 %	15 %	20 %	25 %
การทดลอง	โดยปริมาตร	โดยปริมาตร	โดยปริมาตร	โดยปริมาตร	โดยปริมาตร
สีแดง จากเครื่อง UV Spectrophotometer	0.184	0.341	0.534	0.749	0.913
สีแดง จากเครื่องที่ สร้างขึ้น	0.086	0.259	0.431	0.619	0.769

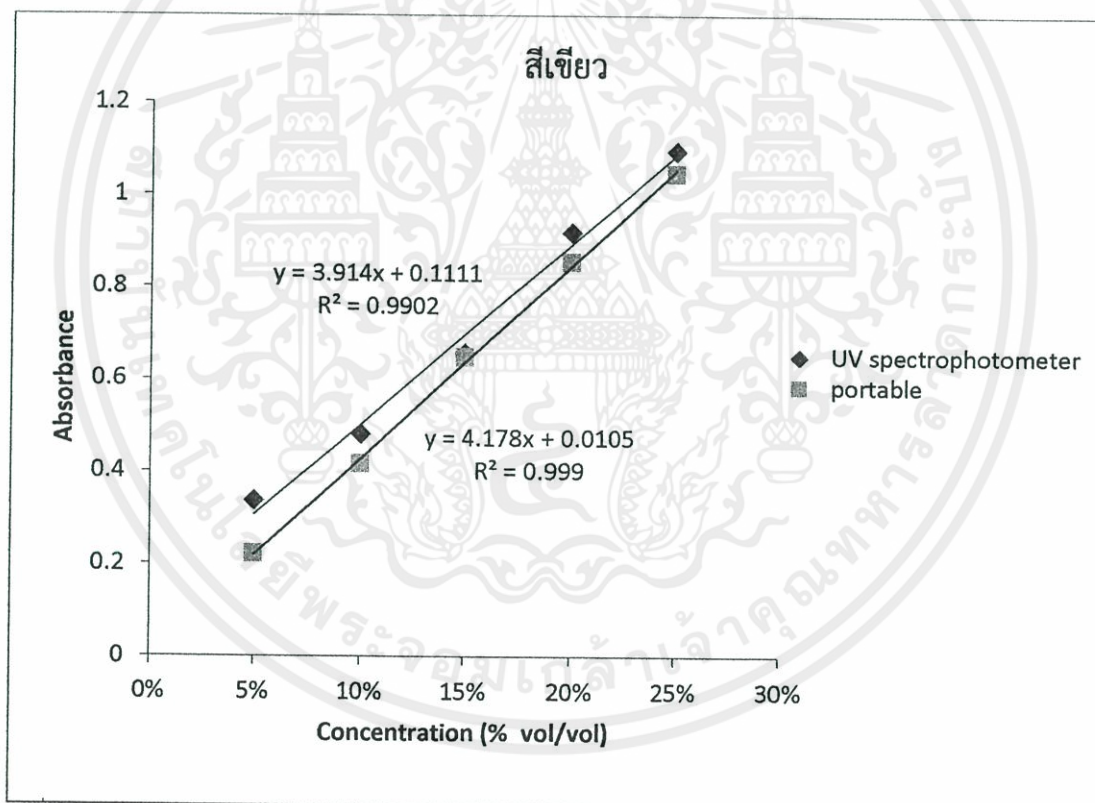


รูปที่ 4.6 กราฟการวัดการกระจายของการวัดสารละลายน้ำสีแดง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 ผลการวัดการค่าดูดกลืนแสงของสารละลายน้ำสีเขียวระหว่างเครื่อง UV spectrophotometer และ เครื่องที่ทำการสร้างขึ้น

ความเข้มข้น	5 %	10 %	15 %	20 %	25 %
การทดลอง	โดยปริมาตร	โดยปริมาตร	โดยปริมาตร	โดยปริมาตร	โดยปริมาตร
สีเขียว จากเครื่อง UV Spectrophotometer	0.337	0.481	0.657	0.92	1.096
สีเขียว จากเครื่องที่ สร้างขึ้น	0.221	0.416	0.648	0.855	1.046

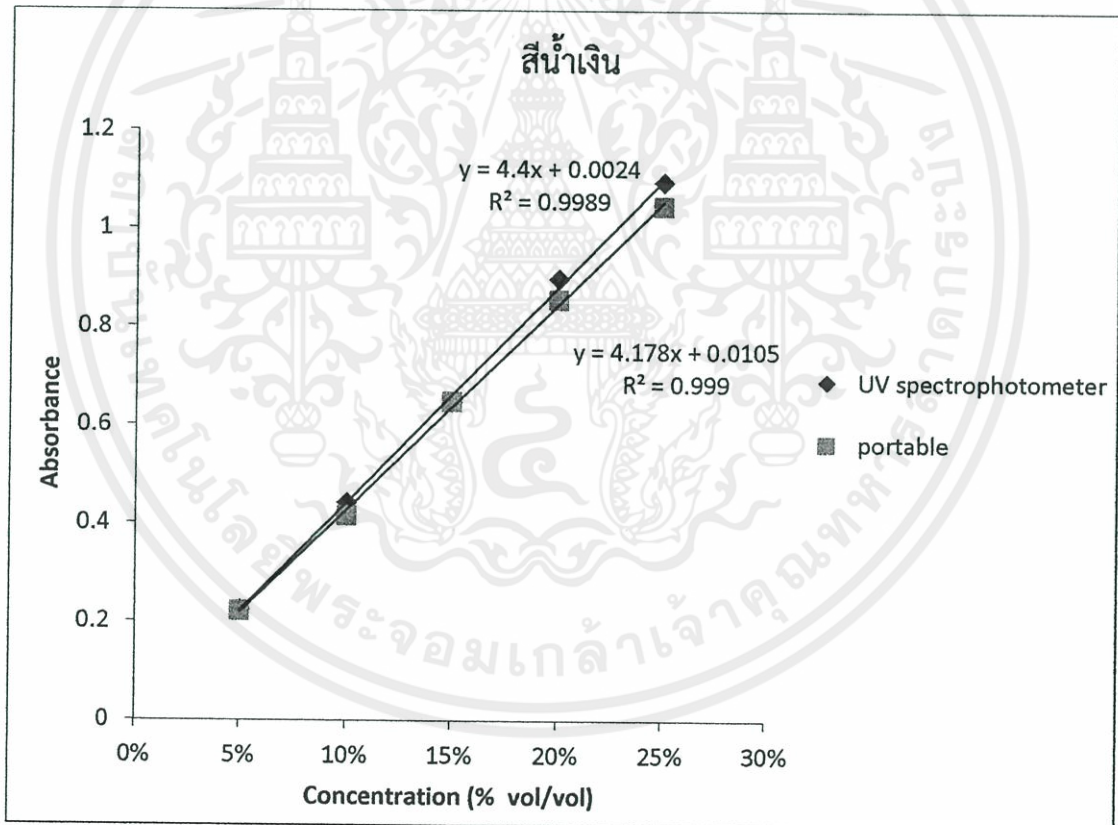


รูปที่ 4.7 กราฟการวัดการกระจายของการวัดสารละลายน้ำสีเขียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 ผลการวัดการดูดกลืนแสงของสารละลายน้ำสีน้ำเงินระหว่างเครื่อง UV spectrophotometer และ เครื่องที่ทำการสร้างขึ้น

ความเข้มข้น	5 %	10 %	15 %	20 %	25 %
การทดลอง	โดยปริมาตร	โดยปริมาตร	โดยปริมาตร	โดยปริมาตร	โดยปริมาตร
สีน้ำเงิน จากเครื่อง UV Spectrophotometer	0.225	0.443	0.648	0.899	1.097
สีน้ำเงิน จากเครื่องที่ สร้างขึ้น	0.221	0.416	0.648	0.855	1.046



รูปที่ 4.8 กราฟการวัดการกระจายของการวัดสารละลายน้ำสีน้ำเงิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

บทวิจารณ์และสรุป

5.1 สรุปผลการปฏิบัติงาน

จากการทดลองสามารถสรุปได้ว่า เครื่องวัดการดูดกลืนแสงสามารถวัดค่าออกมาได้ตามมาตรฐานของเครื่อง UV SPECTROMETER โดยสามารถวัดค่าการกระจายเฉลี่ยออกมาได้ 0.995 ขึ้นไปโดยค่าเฉลี่ยตามมาตรฐานของทางเคมีวิเคราะห์จะอยู่ที่ 0.999 ดังนั้นสามารถใช้งานทดแทนเครื่อง UV SPECTROMETER ในห้องทดลองเคมีวิเคราะห์ได้

5.2 ปัญหาและอุปสรรค

- 5.2.1 ค่าการดูดกลืนแสงนั้นมีค่ายังไม่คงที่มากนักเนื่องจากตัว Microcontroller นั้นไม่สามารถวัดได้ละเอียดมากนัก
- 5.2.2 การทดสอบความแม่นยำของเครื่องโดยค่าสัมประสิทธิ์การจัดสินใจ (R^2) ซึ่งสารบางสียังวัดค่าได้ไม่แม่นยำเท่าไรนัก
- 5.2.3 ในช่วงแรกแผ่น PCB ที่ออกแบบไม่สามารถใช้งานได้ จึงต้องทำการออกแบบใหม่ถึง 6 ครั้ง จำนวน 6 แผ่น จึงสามารถใช้งานได้

5.3 แนวทางการแก้ไข

- 5.3.1 หาอุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพในการเป็นเซนเซอร์ตรวจวัดแสงที่มีความแม่นยำสูงมากขึ้น เพื่อประสิทธิภาพในการรับค่าที่ดี
- 5.3.2 เตรียมสารละลายตัวอย่างที่มีความเข้มข้นแม่นยำมากขึ้น โดยการตรวจวัดการทวงสารอย่างละเอียด เพื่อลดความผิดพลาดในการวัดค่า
- 5.3.3 ออกแบบแผ่น PCB ใหม่และตรวจสอบความถูกต้องมากขึ้น โดยการเรียนรู้การเขียนโปรแกรมแผ่น PCB เพิ่มเติม เพราะเหตุว่าในช่วงแรกนั้นผู้จัดทำไม่มีประสบการณ์ในการทำแผ่น PCB โดยใช้โปรแกรม Proteus จึงทำให้ออกแบบแผ่นผิดพลาด

5.4 ข้อเสนอแนะในการค้นคว้าและพัฒนา

- 5.4.1 ควรออกแบบให้สามารถเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์ได้ โดยใช้ Port USB เพื่อสามารถบันทึกเอกสารนี้เป็นเอกสารที่ข้อมูลลงในคอมพิวเตอร์ได้ เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ
- 5.4.2 ควรออกแบบให้สามารถเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์ได้ โดยใช้ Port USB เพื่อสามารถบันทึกข้อมูลลงในคอมพิวเตอร์ได้

เอกสารอ้างอิง

- [1] ดอนสัน ปงผาบ. 2552. ไมโครคอนโทรลเลอร์และการประยุกต์ใช้งาน. กรุงเทพฯ : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น)
- [2] อีรวัฒน์ ประกอบผล. การประยุกต์ใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์. กรุงเทพฯ : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น)
- [3] Tai-Sheng Yeh. A Low Cost LED Based Spectrometer. (Online). แหล่งที่มา : <http://diyhpl.us/~bryan/papers2/A%20low-.pdf>



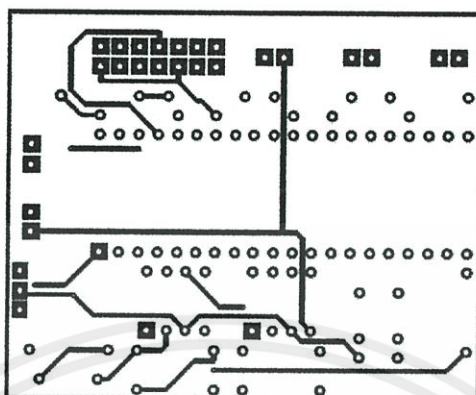
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



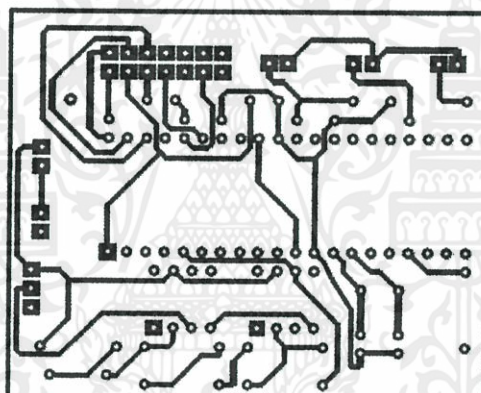
ภาคผนวก ก
ลายวงจรของแผ่น PCB ที่ใช้ในเครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสงแบบพกพา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลายวงจรของแผ่น PCB ที่ใช้ในตู้เครื่องค่าการดูดกลืนแสงแบบพกพา



ลายวงจรของแผ่น PCB ด้านบน



ลายวงจรของแผ่น PCB ด้านล่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

#define SW1 PORTC.F2 //กำหนดให้ SW1 แทนบิต RC2
void main() //เริ่มต้นโปรแกรมหลัก
{
unsigned int absorb,solvent,voltage; //สร้างตัวแปรเก็บผลลัพธ์ที่แปลงจากA/D และจาก
สมการ
unsigned char v1,v2,v3,v4; //สร้างตัวแปรเก็บค่าการแสดงผลแต่ละหลัก
TRISA=0xFF; //กำหนดให้พอร์ต A เป็นอินพุต
TRISB=0; //กำหนดให้พอร์ต B เป็นเอาต์พุต
TRISC=0xFF; //กำหนดให้พอร์ต C เป็นอินพุต
Lcd_Init(&PORTB); //กำหนดให้ LCD เชื่อมต่อกับพอร์ต C
Lcd_Cmd(LCD_CURSOR_OFF); //ปิดการแสดงผลเคอร์เซอร์
Lcd_Cmd(LCD_CLEAR); //เคลียร์หน้าจอ LCD
solvent=500; //กำหนดค่า solvent
while(1) //ให้มีการวนอยู่ในลูปนี้แบบไม่รู้จบ
{
Lcd_Cmd(LCD_CLEAR); //เคลียร์หน้าจอ LCD
voltage=Adc_read(3); //อ่านค่า A/D Converter มาเก็บไว้ที่ตัวแปร voltage
voltage=voltage*0.489; //นำผลลัพธ์ที่ได้จากการแปลง A/D x 489 mV
absorb=-1000*(log10(100*voltage/solvent)-2); //นำผลลัพธ์มาคำนวณหาค่าการดูดกลืนแสง
v1=absorb%10; //ดึงค่าทศนิยมตำแหน่งที่ 3 ออกจากสมการการดูดกลืนแสง
v2=(absorb%100)/10; //ดึงค่าทศนิยมตำแหน่งที่ 2 ออกจากสมการการดูดกลืนแสง
v3=(absorb%1000)/100; //ดึงค่าทศนิยมตำแหน่งที่ 1 ออกจากสมการการดูดกลืนแสง
v4=(absorb%10000)/1000; //ดึงค่าหลักหน่วยออกจากสมการการดูดกลืนแสง
Lcd_chr(2,16,v1+48); //แสดงค่าการดูดกลืนแสงทศนิยมตำแหน่งที่ 3 ที่วัดได้บนจอ LCD
Lcd_chr(2,15,v2+48); //แสดงค่าการดูดกลืนแสงทศนิยมตำแหน่งที่ 2 ที่วัดได้บนจอ LCD
Lcd_chr(2,14,v3+48); //แสดงค่าการดูดกลืนแสงทศนิยมตำแหน่งที่ 1 ที่วัดได้บนจอ LCD
Lcd_chr(2,13,'. '); //แสดงจุดทศนิยมบนจอ LCD
Lcd_chr(2,12,v4+48); //แสดงค่าการดูดกลืนแสงหลักหน่วย ที่วัดได้บนจอ LCD
delay_ms(100); //หน่วงเวลา 100 mS
if(SW1==0) //ถ้ามีการกดปุ่ม
solvent=voltage; //ทำการบันทึกค่าSolvent
}
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษายเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PIC16F87X

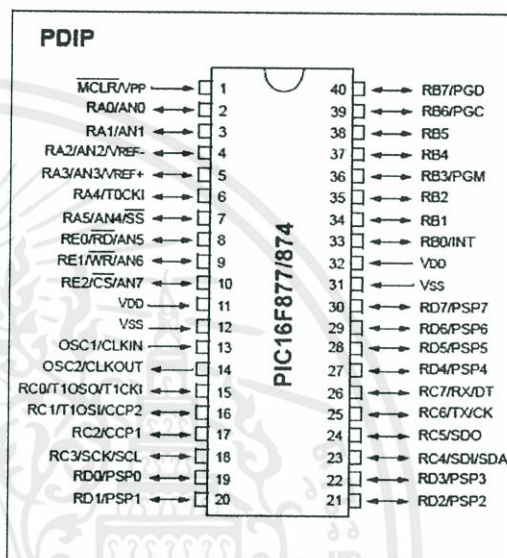
Data Sheet

28/40-Pin 8-Bit CMOS FLASH Microcontrollers

Devices Included in this Data Sheet:

Microcontroller Core Features:

- High performance RISC CPU
- Only 35 single word instructions to learn
- All single cycle instructions except for program branches which are two cycle
- Operating speed: DC - 20 MHz clock input DC - 200 ns instruction cycle
- Up to 8K x 14 words of FLASH Program Memory,
Up to 368 x 8 bytes of Data Memory (RAM)
Up to 256 x 8 bytes of EEPROM Data Memory
- Pinout compatible to the PIC16C73B/74B/76/77
- Interrupt capability (up to 14 sources)
- Eight level deep hardware stack
- Direct, indirect and relative addressing modes
- Power-on Reset (POR)
- Power-up Timer (PWRT) and Oscillator Start-up Timer (OST)
- Watchdog Timer (WDT) with its own on-chip RC oscillator for reliable operation
- Programmable code protection
- Power saving SLEEP mode
- Selectable oscillator options
- Low power, high speed CMOS FLASH/EEPROM technology
- Fully static design
- In-Circuit Serial Programming (ICSP) via two pins
- Single 5V In-Circuit Serial Programming capability
- In-Circuit Debugging via two pins
- Processor read/write access to program memory
- Wide operating voltage range: 2.0V to 5.5V
- High Sink/Source Current: 25 mA
- Commercial, Industrial and Extended temperature ranges
- Low-power consumption:
 - < 0.6 mA typical @ 3V, 4 MHz
 - 20 μ A typical @ 3V, 32 kHz
 - < 1 μ A typical standby current



Peripheral Features:

- Timer0: 8-bit timer/counter with 8-bit prescaler
- Timer1: 16-bit timer/counter with prescaler, can be incremented during SLEEP via external crystal/clock
- Timer2: 8-bit timer/counter with 8-bit period register, prescaler and postscaler
- Two Capture, Compare, PWM modules
 - Capture is 16-bit, max. resolution is 12.5 ns
 - Compare is 16-bit, max. resolution is 200 ns
 - PWM max. resolution is 10-bit
- 10-bit multi-channel Analog-to-Digital converter
- Synchronous Serial Port (SSP) with SPI (Master mode) and I2C (Master/Slave)
- Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter (USART/SCI) with 9-bit address detection
- Parallel Slave Port (PSP) 8-bits wide, with external RD, WR and CS controls (40/44-pin only)
- Brown-out detection circuitry for Brown-out Reset (BOR)

เอกสารนี้เป็นเอกสารเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PIC16F87X

DS30292C-page 8 | 2001 Microchip Technology Inc.

TABLE 1-2: PIC16F874 AND PIC16F877 PINOUT DESCRIPTION

Pin Name	DIP Pin#	PLCC Pin#	QFP Pin#	I/O/P Type	Buffer Type	Description
OSC1/CLKIN	13	14	30	I	ST/CMOS ⁽⁴⁾	Oscillator crystal input/external clock source input.
OSC2/CLKOUT	14	15	31	O	—	Oscillator crystal output. Connects to crystal or resonator in crystal oscillator mode. In RC mode, OSC2 pin outputs CLKOUT which has 1/4 the frequency of OSC1, and denotes the instruction cycle rate.
MCLR/VPP	1	2	18	I/P	ST	Master Clear (Reset) input or programming voltage input. This pin is an active low RESET to the device.
RA0/AN0	2	3	19	I/O	TTL	PORTA is a bi-directional I/O port. RA0 can also be analog input0. RA1 can also be analog input1. RA2 can also be analog input2 or negative analog reference voltage. RA3 can also be analog input3 or positive analog reference voltage. RA4 can also be the clock input to the Timer0 timer/counter. Output is open drain type. RA5 can also be analog input4 or the slave select for the synchronous serial port.
RA1/AN1	3	4	20	I/O	TTL	
RA2/AN2/VREF-	4	5	21	I/O	TTL	
RA3/AN3/VREF+	5	6	22	I/O	TTL	
RA4/T0CKI	6	7	23	I/O	ST	
RA5/SS/AN4	7	8	24	I/O	TTL	
RB0/INT	33	36	8	I/O	TTL/ST ⁽¹⁾	PORTB is a bi-directional I/O port. PORTB can be software programmed for internal weak pull-up on all inputs. RB0 can also be the external interrupt pin. RB3 can also be the low voltage programming input. Interrupt-on-change pin. Interrupt-on-change pin. Interrupt-on-change pin or In-Circuit Debugger pin. Serial programming clock. Interrupt-on-change pin or In-Circuit Debugger pin. Serial programming data.
RB1	34	37	9	I/O	TTL	
RB2	35	38	10	I/O	TTL	
RB3/PGM	36	39	11	I/O	TTL	
RB4	37	41	14	I/O	TTL	
RB5	38	42	15	I/O	TTL	
RB6/PGC	39	43	16	I/O	TTL/ST ⁽²⁾	
RB7/PGD	40	44	17	I/O	TTL/ST ⁽²⁾	

Legend: I = input O = output I/O = input/output P = power

— = Not used TTL = TTL input ST = Schmitt Trigger input

Note 1: This buffer is a Schmitt Trigger input when configured as an external interrupt.**2:** This buffer is a Schmitt Trigger input when used in Serial Programming mode.**3:** This buffer is a Schmitt Trigger input when configured as general purpose I/O and a TTL input when used in the Parallel

Slave Port mode (for interfacing to a microprocessor bus).

4: This buffer is a Schmitt Trigger input when configured in RC oscillator mode and a CMOS input otherwise.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TABLE 1-2: PIC16F874 AND PIC16F877 PINOUT DESCRIPTION (CONTINUED)

Pin Name	DIP Pin#	PLCC Pin#	QFP Pin#	I/O/P Type	Buffer Type	Description	
RC0/T1OSO/T1CKI	15	16	32	I/O	ST	PORTC is a bi-directional I/O port. RC0 can also be the Timer1 oscillator output or a Timer1 clock input.	
RC1/T1OSI/CCP2	16	18	35	I/O	ST	RC1 can also be the Timer1 oscillator input or Capture2 input/Compare2 output/PWM2 output.	
RC2/CCP1	17	19	38	I/O	ST	RC2 can also be the Capture1 input/Compare1 output/PWM1 output.	
RC3/SCK/SCL	18	20	37	I/O	ST	RC3 can also be the synchronous serial clock input/output for both SPI and I ² C modes.	
RC4/SDI/SDA	23	25	42	I/O	ST	RC4 can also be the SPI Data In (SPI mode) or data I/O (I ² C mode).	
RC5/SDO	24	26	43	I/O	ST	RC5 can also be the SPI Data Out (SPI mode).	
RC6/TX/CK	25	27	44	I/O	ST	RC6 can also be the USART Asynchronous Transmit or Synchronous Clock.	
RC7/RX/DT	26	29	1	I/O	ST	RC7 can also be the USART Asynchronous Receive or Synchronous Data.	
RD0/PSP0	19	21	38	I/O	ST/TTL ⁽³⁾	PORTD is a bi-directional I/O port or parallel slave port when interfacing to a microprocessor bus.	
RD1/PSP1	20	22	39	I/O	ST/TTL ⁽³⁾		
RD2/PSP2	21	23	40	I/O	ST/TTL ⁽³⁾		
RD3/PSP3	22	24	41	I/O	ST/TTL ⁽³⁾		
RD4/PSP4	27	30	2	I/O	ST/TTL ⁽³⁾		
RD5/PSP5	28	31	3	I/O	ST/TTL ⁽³⁾		
RD6/PSP6	29	32	4	I/O	ST/TTL ⁽³⁾		
RD7/PSP7	30	33	5	I/O	ST/TTL ⁽³⁾		
RE0/RD/AN5	8	9	25	I/O	ST/TTL ⁽³⁾	PORTE is a bi-directional I/O port. RE0 can also be read control for the parallel slave port, or analog input5.	
RE1/WR/AN6	9	10	26	I/O	ST/TTL ⁽³⁾		RE1 can also be write control for the parallel slave port, or analog input6.
RE2/CS/AN7	10	11	27	I/O	ST/TTL ⁽³⁾		RE2 can also be select control for the parallel slave port, or analog input7.
VSS	12,31	13,34	6,29	P	—	Ground reference for logic and I/O pins.	
VDD	11,32	12,35	7,28	P	—	Positive supply for logic and I/O pins.	
NC	—	1,17,28,40	12,13,33,34		—	These pins are not internally connected. These pins should be left unconnected.	

Legend: I = input O = output I/O = input/output P = power

— = Not used TTL = TTL input ST = Schmitt Trigger input

Note 1: This buffer is a Schmitt Trigger input when configured as an external interrupt.

2: This buffer is a Schmitt Trigger input when used in Serial Programming mode.

3: This buffer is a Schmitt Trigger input when configured as general purpose I/O and a TTL input when used in the Parallel

Slave Port mode (for interfacing to a microprocessor bus).

4: This buffer is a Schmitt Trigger input when configured in RC oscillator mode and a CMOS input otherwise.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LM741 Operational Amplifier

Check for Samples: LM741

FEATURES

- Overload protection on the input and output
- No latch-up when the common mode range is exceeded

DESCRIPTION

The LM741 series are general purpose operational amplifiers which feature improved performance over industry standards like the LM709. They are direct, plug-in replacements for the 709C, LM201, MC1439 and 748 in most applications.

The amplifiers offer many features which make their application nearly foolproof: overload protection on the input and output, no latch-up when the common mode range is exceeded, as well as freedom from oscillations. The LM741C is identical to the LM741/LM741A except that the LM741C has their performance guaranteed over a 0°C to +70°C temperature range, instead of -55°C to +125°C

CONNECTION DIAGRAM

LM741H is available per JM38510/10101

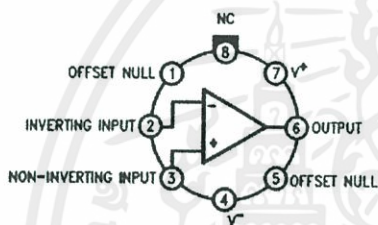


Figure 1. Metal Can Package

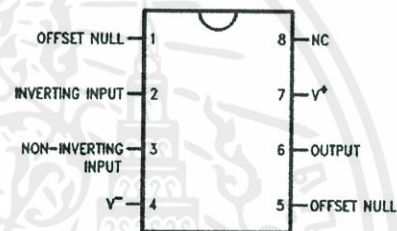


Figure 2. Dual-In-Line or S.O. Package



Figure 3. Ceramic Flatpak

TYPICAL APPLICATION

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Absolute Maximum Ratings^{(1) (2)}

	LM741A	LM741	LM741C
Supply Voltage	±22V	±22V	±18V
Power Dissipation ⁽³⁾	500 mW	500 mW	500 mW
Differential Input Voltage	±30V	±30V	±30V
Input Voltage ⁽⁴⁾	±15V	±15V	±15V
Output Short Circuit Duration	Continuous	Continuous	Continuous
Operating Temperature Range	-55°C to +125°C	-55°C to +125°C	0°C to +70°C
Storage Temperature Range	-65°C to +150°C	-65°C to +150°C	-65°C to +150°C
Junction Temperature	150°C	150°C	100°C
Soldering Information			
N-Package (10 seconds)	260°C	260°C	260°C
J- or H-Package (10 seconds)	300°C	300°C	300°C
M-Package			
Vapor Phase (60 seconds)	215°C	215°C	215°C
Infrared (15 seconds)	215°C	215°C	215°C
See AN-450 "Surface Mounting Methods and Their Effect on Product Reliability" for other methods of soldering surface mount devices.			
ESD Tolerance ⁽⁵⁾	400V	400V	400V

- (1) "Absolute Maximum Ratings" indicate limits beyond which damage to the device may occur. Operating Ratings indicate conditions for which the device is functional, but do not guarantee specific performance limits.
- (2) For military specifications see RETS741X for LM741 and RETS741AX for LM741A.
- (3) For operation at elevated temperatures, these devices must be derated based on thermal resistance, and T_j max. (listed under "Absolute Maximum Ratings"). $T_j = T_A + (\theta_{JA} P_D)$.
- (4) For supply voltages less than ±15V, the absolute maximum input voltage is equal to the supply voltage.
- (5) Human body model, 1.5 kΩ in series with 100 pF.

Electrical Characteristics⁽¹⁾

Parameter	Conditions	LM741A			LM741			LM741C			Units
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Input Offset Voltage	$T_A = 25^\circ\text{C}$ $R_S \leq 10\text{ k}\Omega$ $R_S \leq 50\Omega$		0.8	3.0		1.0	5.0		2.0	6.0	mV
	$T_{AMIN} \leq T_A \leq T_{AMAX}$ $R_S \leq 50\Omega$ $R_S \leq 10\text{ k}\Omega$			4.0			6.0			7.5	mV
				15							$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
Average Input Offset Voltage Drift				15							$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
Input Offset Voltage Adjustment Range	$T_A = 25^\circ\text{C}$, $V_S = \pm 20\text{V}$	±10				±15			±15		mV
Input Offset Current	$T_A = 25^\circ\text{C}$		3.0	30		20	200		20	200	nA
	$T_{AMIN} \leq T_A \leq T_{AMAX}$			70		85	500			300	nA
Average Input Offset Current Drift				0.5							$\text{nA}/^\circ\text{C}$
Input Bias Current	$T_A = 25^\circ\text{C}$		30	80		80	500		80	500	nA
	$T_{AMIN} \leq T_A \leq T_{AMAX}$			0.210			1.5			0.8	μA
Input Resistance	$T_A = 25^\circ\text{C}$, $V_S = \pm 20\text{V}$	1.0	6.0		0.3	2.0		0.3	2.0		MΩ
	$T_{AMIN} \leq T_A \leq T_{AMAX}$, $V_S = \pm 20\text{V}$	0.5									MΩ

- (1) Unless otherwise specified, these specifications apply for $V_S = \pm 15\text{V}$, $-55^\circ\text{C} \leq T_A \leq +125^\circ\text{C}$ (LM741/LM741A). For the LM741C/LM741E, these specifications are limited to $0^\circ\text{C} \leq T_A \leq +70^\circ\text{C}$.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

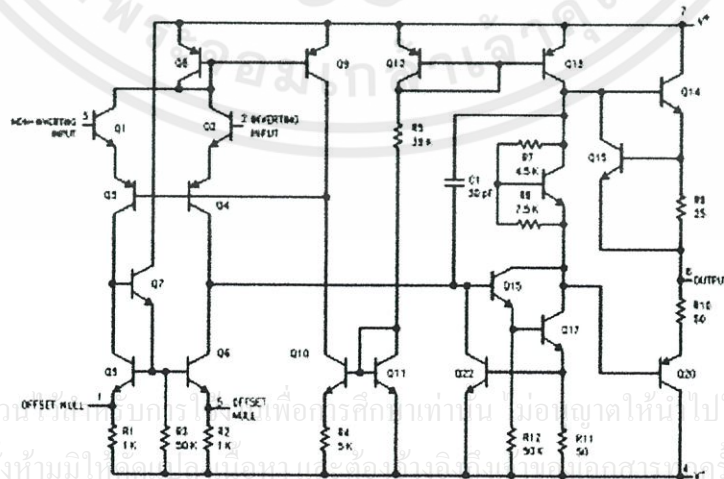
Electrical Characteristics⁽¹⁾ (continued)

Parameter	Conditions	LM741A			LM741			LM741C			Units	
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max		
Input Voltage Range	$T_A = 25^\circ\text{C}$							± 12	± 13		V	
	$T_{AMIN} \leq T_A \leq T_{AMAX}$							± 12	± 13		V	
Large Signal Voltage Gain	$T_A = 25^\circ\text{C}$, $R_L \geq 2\text{ k}\Omega$ $V_S = \pm 20\text{V}$, $V_O = \pm 15\text{V}$ $V_S = \pm 15\text{V}$, $V_O = \pm 10\text{V}$	50			50	200		20	200		V/mV V/mV	
	$T_{AMIN} \leq T_A \leq T_{AMAX}$, $R_L \geq 2\text{ k}\Omega$, $V_S = \pm 20\text{V}$, $V_O = \pm 15\text{V}$ $V_S = \pm 15\text{V}$, $V_O = \pm 10\text{V}$ $V_S = \pm 5\text{V}$, $V_O = \pm 2\text{V}$	32			25			15			V/mV V/mV V/mV	
	$V_S = \pm 20\text{V}$ $R_L \geq 10\text{ k}\Omega$	± 16									V	
	$V_S = \pm 15\text{V}$ $R_L \geq 10\text{ k}\Omega$ $R_L \geq 2\text{ k}\Omega$	± 15			± 12 ± 10	± 14 ± 13		± 12 ± 10	± 14 ± 13		V V	
Output Short Circuit Current	$T_A = 25^\circ\text{C}$ $T_{AMIN} \leq T_A \leq T_{AMAX}$	10 10	25 25	35 40	25			25			mA mA	
Common-Mode Rejection Ratio	$T_{AMIN} \leq T_A \leq T_{AMAX}$ $R_S \leq 10\text{ k}\Omega$, $V_{CM} = \pm 12\text{V}$ $R_S \leq 500\Omega$, $V_{CM} = \pm 12\text{V}$	80	95		70	90		70	90		dB dB	
Supply Voltage Rejection Ratio	$T_{AMIN} \leq T_A \leq T_{AMAX}$ $V_S = \pm 20\text{V}$ to $V_S = \pm 5\text{V}$ $R_S \leq 500\Omega$ $R_S \leq 10\text{ k}\Omega$	86	96		77	96		77	96		dB dB	
Transient Response	$T_A = 25^\circ\text{C}$, Unity Gain	Rise Time		0.25	0.8		0.3		0.3		μs	
		Overshoot		6.0	20		5		5		%	
Bandwidth ⁽²⁾	$T_A = 25^\circ\text{C}$	0.437	1.5								MHz	
Slew Rate	$T_A = 25^\circ\text{C}$, Unity Gain	0.3	0.7			0.5		0.5			V/ μs	
Supply Current	$T_A = 25^\circ\text{C}$					1.7	2.8		1.7	2.8	mA	
Power Consumption	$T_A = 25^\circ\text{C}$ $V_S = \pm 20\text{V}$ $V_S = \pm 15\text{V}$	LM741A		80	150						mW mW	
		LM741					50	85		50	85	mW mW
	$V_S = \pm 20\text{V}$ $T_A = T_{AMIN}$ $T_A = T_{AMAX}$	LM741A										mW mW
		LM741										mW mW
$V_S = \pm 15\text{V}$ $T_A = T_{AMIN}$ $T_A = T_{AMAX}$	LM741										mW mW	

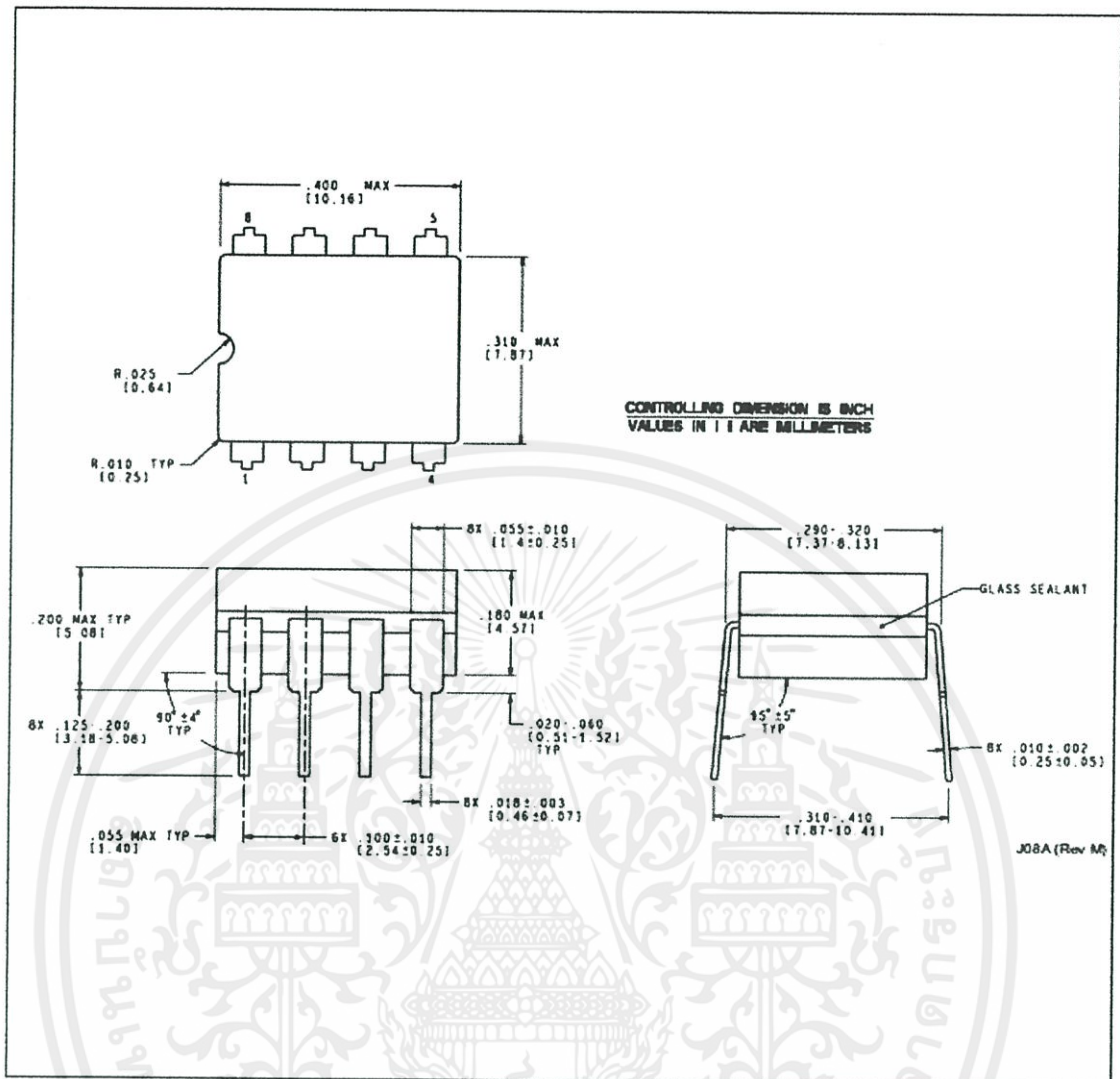
(2) Calculated value from: BW (MHz) = 0.35/Rise Time (μs).

Thermal Resistance	Cerdip (J)	DIP (N)	HOB (H)	SO-8 (M)
θ_{JA} (Junction to Ambient)	100°C/W	100°C/W	170°C/W	195°C/W
θ_{JC} (Junction to Case)	N/A	N/A	25°C/W	N/A

SCHEMATIC DIAGRAM



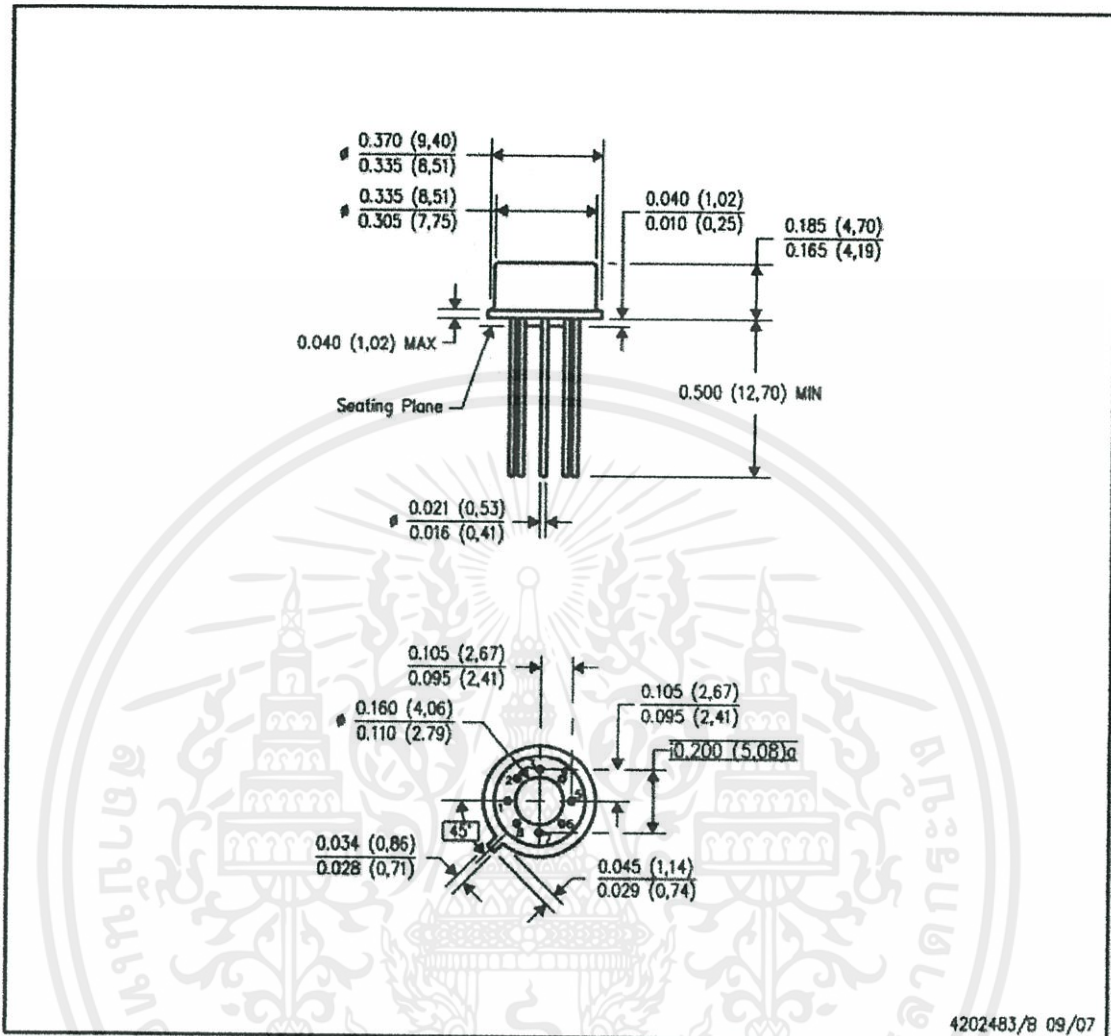
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้เผยแพร่เอกสารฉบับนี้โดยไม่ได้รับอนุญาตจากทางเรา



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LMC (O-MBCY-W8)

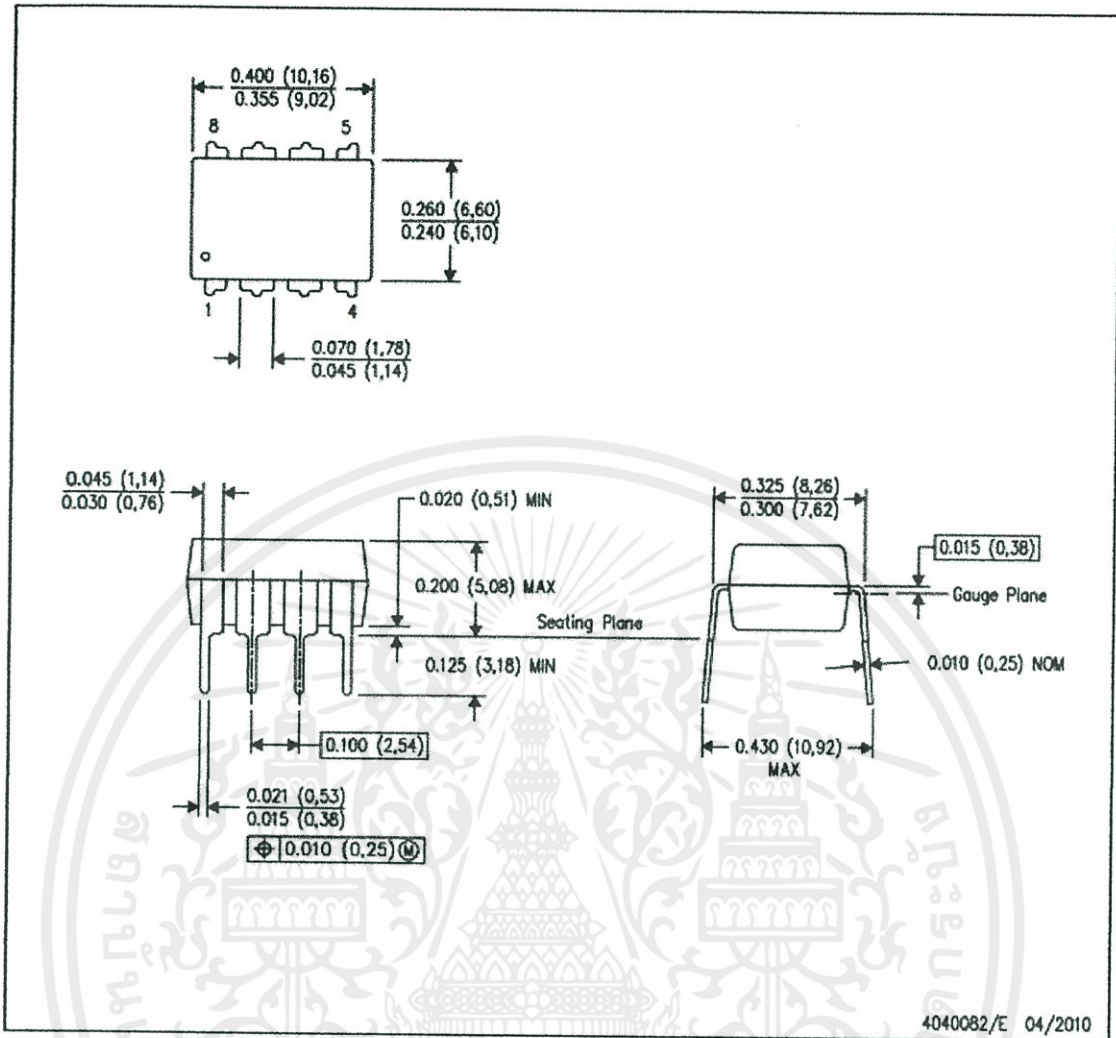
METAL CYLINDRICAL PACKAGE



4202483/B 09/07

- NOTES:
- All linear dimensions are in inches (millimeters).
 - This drawing is subject to change without notice.
 - Leads in true position within 0.010 (0,25) R @ MMC at seating plane.
 - Pin numbers shown for reference only. Numbers may not be marked on package.
 - Falls within JEDEC MO-002/TO-99.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



- NOTES:
- All linear dimensions are in inches (millimeters).
 - This drawing is subject to change without notice.
 - Falls within JEDEC MS-001 variation BA.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IMPORTANT NOTICE

Texas Instruments Incorporated and its subsidiaries (TI) reserve the right to make corrections, enhancements, improvements and other changes to its semiconductor products and services per JESD46, latest issue, and to discontinue any product or service per JESD48, latest issue. Buyers should obtain the latest relevant information before placing orders and should verify that such information is current and complete. All semiconductor products (also referred to herein as “components”) are sold subject to TI’s terms and conditions of sale supplied at the time of order acknowledgment. TI warrants performance of its components to the specifications applicable at the time of sale, in accordance with the warranty in TI’s terms and conditions of sale of semiconductor products. Testing and other quality control techniques are used to the extent TI deems necessary to support this warranty. Except where mandated by applicable law, testing of all parameters of each component is not necessarily performed.

TI assumes no liability for applications assistance or the design of Buyers’ products. Buyers are responsible for their products and applications using TI components. To minimize the risks associated with Buyers’ products and applications, Buyers should provide adequate design and operating safeguards. TI does not warrant or represent that any license, either express or implied, is granted under any patent right, copyright, mask work right, or other intellectual property right relating to any combination, machine, or process in which TI components or services are used. Information published by TI regarding third-party products or services does not constitute a license to use such products or services or a warranty or endorsement thereof. Use of such information may require a license from a third party under the patents or other intellectual property of the third party, or a license from TI under the patents or other intellectual property of TI. Reproduction of significant portions of TI information in TI data books or data sheets is permissible only if reproduction is without alteration and is accompanied by all associated warranties, conditions, limitations, and notices. TI is not responsible or liable for such altered documentation. Information of third parties may be subject to additional restrictions. Resale of TI components or services with statements different from or beyond the parameters stated by TI for that component or service voids all express and any implied warranties for the associated TI component or service and is an unfair and deceptive business practice. TI is not responsible or liable for any such statements. Buyer acknowledges and agrees that it is solely responsible for compliance with all legal, regulatory and safety-related requirements concerning its products, and any use of TI components in its applications, notwithstanding any applications-related information or support that may be provided by TI. Buyer represents and agrees that it has all the necessary expertise to create and implement safeguards which anticipate dangerous consequences of failures, monitor failures and their consequences, lessen the likelihood of failures that might cause harm and take appropriate remedial actions. Buyer will fully indemnify TI and its representatives against any damages arising out of the use of any TI components in safety-critical applications. In some cases, TI components may be promoted specifically to facilitate safety-related applications. With such components, TI’s goal is to help enable customers to design and create their own end-product solutions that meet applicable functional safety standards and requirements. Nonetheless, such components are subject to these terms. No TI components are authorized for use in FDA Class III (or similar life-critical medical equipment) unless authorized officers of the parties have executed a special agreement specifically governing such use. Only those TI components which TI has specifically designated as military grade or “enhanced plastic” are designed and intended for use in military/aerospace applications or environments. Buyer acknowledges and agrees that any military or aerospace use of TI components which have **not** been so designated is solely at the Buyer’s risk, and that Buyer is solely responsible for compliance with all legal and regulatory requirements in connection with such use. TI has specifically designated certain components as meeting ISO/TS16949 requirements, mainly for automotive use. In any case of use of non-designated products, TI will not be responsible for any failure to meet ISO/TS16949.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Products Applications

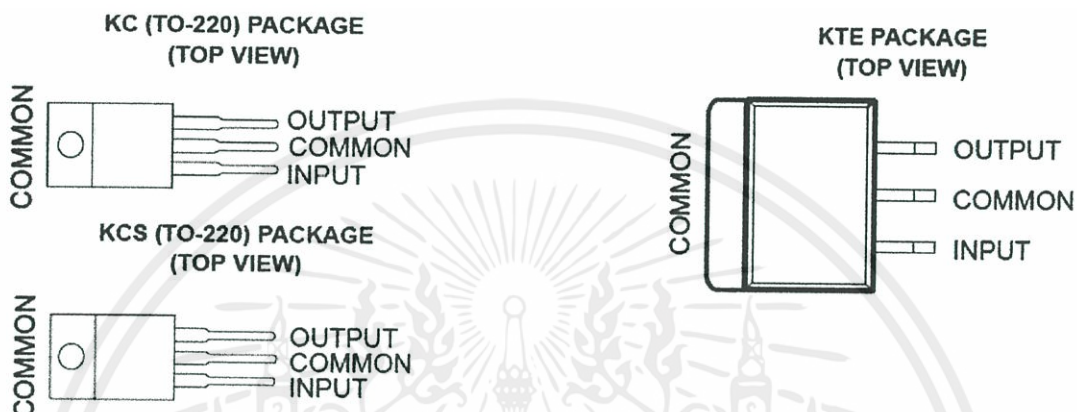
Audio www.ti.com/audio Automotive and Transportation www.ti.com/automotive
 Amplifiers amplifier.ti.com Communications and Telecom www.ti.com/communications
 Data Converters dataconverter.ti.com Computers and Peripherals www.ti.com/computers
 DLP® Products www.dlp.com Consumer Electronics www.ti.com/consumer-apps
 DSP dsp.ti.com Energy and Lighting www.ti.com/energy
 Clocks and Timers www.ti.com/clocks Industrial www.ti.com/industrial
 Interface interface.ti.com Medical www.ti.com/medical
 Logic logic.ti.com Security www.ti.com/security
 Power Mgmt power.ti.com Space, Avionics and Defense www.ti.com/space-avionics-defense
 Microcontrollers microcontroller.ti.com Video and Imaging www.ti.com/video
 RFID www.ti-rfid.com
 OMAP Applications Processors www.ti.com/omap **TI E2E Community** e2e.ti.com
 Wireless Connectivity www.ti.com/wirelessconnectivity
 Mailing Address: Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265
 Copyright © 2013, Texas Instruments Incorporated



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LA7800 SERIES POSITIVE-VOLTAGE REGULATORS

- 3-Terminal Regulators
- Output Current up to 1.5 A
- Internal Thermal-Overload Protection
- High Power-Dissipation Capability
- Internal Short-Circuit Current Limiting
- Output Transistor Safe-Area Compensati



description/ordering information

This series of fixed-voltage integrated-circuit voltage regulators is designed for a wide range of applications. These applications include on-card regulation for elimination of noise and distribution problems associated with single-point regulation. Each of these regulators can deliver up to 1.5 A of output current. The internal current-limiting and thermal-shutdown features of these regulators essentially make them immune to overload. In addition to use as fixed-voltage regulators, these devices can be used with external components to obtain adjustable output voltages and currents, and also can be used as the power-pass element in precision regulators.

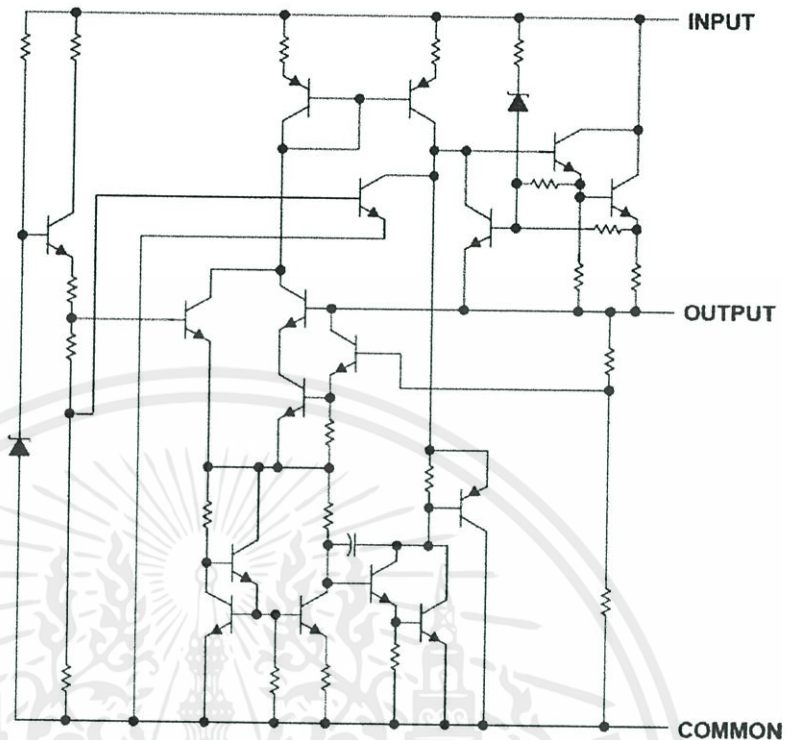
ORDERING INFORMATION

T_J	$V_{O(NOM)}$ (V)	PACKAGE†		ORDERABLE PART NUMBER	TOP-SIDE MARKING
0°C to 125°C	5	POWER-FLEX (KTE)	Reel of 2000	μ A7805CKTER	μ A7805C
		TO-220 (KC)	Tube of 50	μ A7805CKC	μ A7805C
		TO-220, short shoulder (KCS)	Tube of 20	μ A7805CKCS	
	8	POWER-FLEX (KTE)	Reel of 2000	μ A7808CKTER	μ A7808C
		TO-220 (KC)	Tube of 50	μ A7808CKC	μ A7808C
		TO-220, short shoulder (KCS)	Tube of 20	μ A7808CKCS	
	10	POWER-FLEX (KTE)	Reel of 2000	μ A7810CKTER	μ A7810C
		TO-220 (KC)	Tube of 50	μ A7810CKC	μ A7810C
	12	POWER-FLEX (KTE)	Reel of 2000	μ A7812CKTER	μ A7812C
		TO-220 (KC)	Tube of 50	μ A7812CKC	μ A7812C
		TO-220, short shoulder (KCS)	Tube of 20	μ A7812CKCS	
	15	POWER-FLEX (KTE)	Reel of 2000	μ A7815CKTER	μ A7815C
TO-220 (KC)		Tube of 50	μ A7815CKC	μ A7815C	
TO-220, short shoulder (KCS)		Tube of 20	μ A7815CKCS		
24	POWER-FLEX (KTE)	Reel of 2000	μ A7824CKTER	μ A7824C	
	TO-220 (KC)	Tube of 50	μ A7824CKC	μ A7824C	

Package drawings, standard packing quantities, thermal data, symbolization, and PCB design guidelines are available at www.ti.com/sc/package.

เอกสารนี้ Package drawings, standard packing quantities, thermal data, symbolization, and PCB design guidelines are available at www.ti.com/sc/package.
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

schematic



absolute maximum ratings over virtual junction temperature range (unless otherwise noted)†

Input voltage, V_I : $\mu A7824C$	40 V
All others	35 V
Operating virtual junction temperature, T_J	150°C
Lead temperature 1,6 mm (1/16 inch) from case for 10 seconds	260°C
Storage temperature range, T_{stg}	-65°C to 150°C

† Stresses beyond those listed under "absolute maximum ratings" may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only, and functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated under "recommended operating conditions" is not implied. Exposure to absolute-maximum-rated conditions for extended periods may affect device reliability

package thermal data (see Note 1)

PACKAGE	BOARD	θ_{JC}	θ_{JA}
POWER-FLEX (KTE)	High K, JESD 51-5	3°C/W	23°C/W
TO-220 (KC/KCS)	High K, JESD 51-5	3°C/W	19°C/W

NOTE 1: Maximum power dissipation is a function of $T_J(\max)$, θ_{JA} , and T_A . The maximum allowable power dissipation at any allowable ambient temperature is $P_D = (T_J(\max) - T_A)/\theta_{JA}$. Operating at the absolute maximum T_J of 150°C can affect reliability.

recommended operating conditions

		MIN	MAX	UNIT
V_I Input voltage	$\mu A7805C$	7	25	V
	$\mu A7808C$	10.5	25	
	$\mu A7810C$	12.5	28	
	$\mu A7812C$	14.5	30	
	$\mu A7815C$	17.5	30	
	$\mu A7824C$	27	38	
I_O Output current			1.5	A
T_J Operating virtual junction temperature	$\mu A7800C$ series	0	125	°C

เอกสารนี้... ใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่... 0 ระบุ 125... °C... การค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

electrical characteristics at specified virtual junction temperature, $V_I = 10\text{ V}$, $I_O = 500\text{ mA}$ (unless otherwise noted)

PARAMETER	TEST CONDITIONS	T_J †	μA7806C			UNIT
			MIN	TYP	MAX	
Output voltage	$I_O = 5\text{ mA to }1\text{ A}$, $P_D \leq 15\text{ W}$, $V_I = 7\text{ V to }20\text{ V}$,	25°C	4.8	5	5.2	V
		0°C to 125°C	4.75		5.25	
Input voltage regulation	$V_I = 7\text{ V to }25\text{ V}$	25°C		3	100	mV
	$V_I = 8\text{ V to }12\text{ V}$			1	50	
Ripple rejection	$V_I = 8\text{ V to }18\text{ V}$, $f = 120\text{ Hz}$	0°C to 125°C	62	78		dB
Output voltage regulation	$I_O = 5\text{ mA to }1.5\text{ A}$	25°C		15	100	mV
	$I_O = 250\text{ mA to }750\text{ mA}$			5	50	
Output resistance	$f = 1\text{ kHz}$	0°C to 125°C	0.017			Ω
Temperature coefficient of output voltage	$I_O = 5\text{ mA}$	0°C to 125°C	-1.1			mV/°C
Output noise voltage	$f = 10\text{ Hz to }100\text{ kHz}$	25°C		40		μV
Dropout voltage	$I_O = 1\text{ A}$	25°C		2		V
Bias current		25°C		4.2	8	mA
Bias current change	$V_I = 7\text{ V to }25\text{ V}$	0°C to 125°C			1.3	mA
	$I_O = 5\text{ mA to }1\text{ A}$				0.5	
Short-circuit output current		25°C		750		mA
Peak output current		25°C		2.2		A

† Pulse-testing techniques maintain the junction temperature as close to the ambient temperature as possible. Thermal effects must be taken into

account separately. All characteristics are measured with a 0.33- μF capacitor across the input and a 0.1- μF capacitor across the output.

electrical characteristics at specified virtual junction temperature, $V_I = 14\text{ V}$, $I_O = 500\text{ mA}$ (unless otherwise noted)

PARAMETER	TEST CONDITIONS	T_J †	μA7808C			UNIT
			MIN	TYP	MAX	
Output voltage	$I_O = 5\text{ mA to }1\text{ A}$, $P_D \leq 15\text{ W}$, $V_I = 10.5\text{ V to }23\text{ V}$,	25°C	7.7	8	8.3	V
		0°C to 125°C	7.6		8.4	
Input voltage regulation	$V_I = 10.5\text{ V to }25\text{ V}$	25°C		6	160	mV
	$V_I = 11\text{ V to }17\text{ V}$			2	80	
Ripple rejection	$V_I = 11.5\text{ V to }21.5\text{ V}$, $f = 120\text{ Hz}$	0°C to 125°C	55	72		dB
Output voltage regulation	$I_O = 5\text{ mA to }1.5\text{ A}$	25°C		12	160	mV
	$I_O = 250\text{ mA to }750\text{ mA}$			4	80	
Output resistance	$f = 1\text{ kHz}$	0°C to 125°C	0.016			Ω
Temperature coefficient of output voltage	$I_O = 5\text{ mA}$	0°C to 125°C	-0.8			mV/°C
Output noise voltage	$f = 10\text{ Hz to }100\text{ kHz}$	25°C		52		μV
Dropout voltage	$I_O = 1\text{ A}$	25°C		2		V
Bias current		25°C		4.3	8	mA
Bias current change	$V_I = 10.5\text{ V to }25\text{ V}$	0°C to 125°C			1	mA
	$I_O = 5\text{ mA to }1\text{ A}$				0.5	
Short-circuit output current		25°C		450		mA
Peak output current		25°C		2.2		A

† Pulse-testing techniques maintain the junction temperature as close to the ambient temperature as possible. Thermal effects must be taken into

account separately. All characteristics are measured with a 0.33- μF capacitor across the input and a 0.1 μF capacitor across the output.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

electrical characteristics at specified virtual junction temperature, $V_I = 17\text{ V}$, $I_O = 500\text{ mA}$ (unless otherwise noted)

PARAMETER	TEST CONDITIONS	T_J †	μA7810C			UNIT
			MIN	TYP	MAX	
Output voltage	$I_O = 5\text{ mA to }1\text{ A}$, $P_D \leq 15\text{ W}$, $V_I = 12.5\text{ V to }25\text{ V}$	25°C	9.6	10	10.4	V
		0°C to 125°C	9.5	10	10.5	
Input voltage regulation	$V_I = 12.5\text{ V to }28\text{ V}$	25°C	7		200	mV
	$V_I = 14\text{ V to }20\text{ V}$		2		100	
Ripple rejection	$V_I = 13\text{ V to }23\text{ V}$, $f = 120\text{ Hz}$	0°C to 125°C	55	71		dB
Output voltage regulation	$I_O = 5\text{ mA to }1.5\text{ A}$	25°C	12		200	mV
	$I_O = 250\text{ mA to }750\text{ mA}$		4		100	
Output resistance	$f = 1\text{ kHz}$	0°C to 125°C	0.018			Ω
Temperature coefficient of output voltage	$I_O = 5\text{ mA}$	0°C to 125°C	-1			mV/°C
Output noise voltage	$f = 10\text{ Hz to }100\text{ kHz}$	25°C	70			μV
Dropout voltage	$I_O = 1\text{ A}$	25°C	2			V
Bias current		25°C	4.3	8		mA
Bias current change	$V_I = 12.5\text{ V to }28\text{ V}$	0°C to 125°C	1			mA
	$I_O = 5\text{ mA to }1\text{ A}$		0.5			
Short-circuit output current		25°C	400			mA
Peak output current		25°C	2.2			A

† Pulse-testing techniques maintain the junction temperature as close to the ambient temperature as possible. Thermal effects must be taken into account separately. All characteristics are measured with a 0.33- μF capacitor across the input and a 0.1- μF capacitor across the output.

electrical characteristics at specified virtual junction temperature, $V_I = 19\text{ V}$, $I_O = 500\text{ mA}$ (unless otherwise noted)

PARAMETER	TEST CONDITIONS	T_J †	μA7812C			UNIT
			MIN	TYP	MAX	
Output voltage	$I_O = 5\text{ mA to }1\text{ A}$, $P_D \leq 15\text{ W}$, $V_I = 14.5\text{ V to }27\text{ V}$	25°C	11.5	12	12.5	V
		0°C to 125°C	11.4		12.6	
Input voltage regulation	$V_I = 14.5\text{ V to }30\text{ V}$	25°C	10		240	mV
	$V_I = 16\text{ V to }22\text{ V}$		3		120	
Ripple rejection	$V_I = 15\text{ V to }25\text{ V}$, $f = 120\text{ Hz}$	0°C to 125°C	55	71		dB
Output voltage regulation	$I_O = 5\text{ mA to }1.5\text{ A}$	25°C	12		240	mV
	$I_O = 250\text{ mA to }750\text{ mA}$		4		120	
Output resistance	$f = 1\text{ kHz}$	0°C to 125°C	0.018			Ω
Temperature coefficient of output voltage	$I_O = 5\text{ mA}$	0°C to 125°C	-1			mV/°C
Output noise voltage	$f = 10\text{ Hz to }100\text{ kHz}$	25°C	75			μV
Dropout voltage	$I_O = 1\text{ A}$	25°C	2			V
Bias current		25°C	4.3	8		mA
Bias current change	$V_I = 14.5\text{ V to }30\text{ V}$	0°C to 125°C	1			mA
	$I_O = 5\text{ mA to }1\text{ A}$		0.5			
Short-circuit output current		25°C	350			mA
Peak output current		25°C	2.2			A

† Pulse-testing techniques maintain the junction temperature as close to the ambient temperature as possible. Thermal effects must be taken into account separately. All characteristics are measured with a 0.33- μF capacitor across the input and a 0.1- μF capacitor across the output.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

electrical characteristics at specified virtual junction temperature, $V_I = 23\text{ V}$, $I_O = 500\text{ mA}$ (unless otherwise noted)

PARAMETER	TEST CONDITIONS	T_J †	μA7815C			UNIT
			MIN	TYP	MAX	
Output voltage	$I_O = 5\text{ mA to }1\text{ A}$, $P_D \leq 15\text{ W}$	25°C	14.4	15	15.6	V
		0°C to 125°C	14.25		15.75	
Input voltage regulation	$V_I = 17.5\text{ V to }30\text{ V}$	25°C		11	300	mV
	$V_I = 20\text{ V to }26\text{ V}$			3	150	
Ripple rejection	$V_I = 18.5\text{ V to }28.5\text{ V}$, $f = 120\text{ Hz}$	0°C to 125°C	54	70		dB
Output voltage regulation	$I_O = 5\text{ mA to }1.5\text{ A}$	25°C		12	300	mV
	$I_O = 250\text{ mA to }750\text{ mA}$			4	150	
Output resistance	$f = 1\text{ kHz}$	0°C to 125°C	0.019			Ω
Temperature coefficient of output voltage	$I_O = 5\text{ mA}$	0°C to 125°C	-1			mV/°C
Output noise voltage	$f = 10\text{ Hz to }100\text{ kHz}$	25°C	90			μV
Dropout voltage	$I_O = 1\text{ A}$	25°C	2			V
Bias current		25°C	4.4	8		mA
Bias current change	$V_I = 17.5\text{ V to }30\text{ V}$	0°C to 125°C			1	mA
	$I_O = 5\text{ mA to }1\text{ A}$				0.5	
Short-circuit output current		25°C	230			mA
Peak output current		25°C	2.1			A

† Pulse-testing techniques maintain the junction temperature as close to the ambient temperature as possible. Thermal effects must be taken into account separately. All characteristics are measured with a 0.33- μF capacitor across the input and a 0.1- μF capacitor across the output.

electrical characteristics at specified virtual junction temperature, $V_I = 33\text{ V}$, $I_O = 500\text{ mA}$ (unless otherwise noted)

PARAMETER	TEST CONDITIONS	T_J †	μA7824C			UNIT
			MIN	TYP	MAX	
Output voltage	$I_O = 5\text{ mA to }1\text{ A}$, $P_D \leq 15\text{ W}$	25°C	23	24	25	V
		0°C to 125°C	22.8		25.2	
Input voltage regulation	$V_I = 27\text{ V to }38\text{ V}$	25°C		18	480	mV
	$V_I = 30\text{ V to }36\text{ V}$			6	240	
Ripple rejection	$V_I = 28\text{ V to }38\text{ V}$, $f = 120\text{ Hz}$	0°C to 125°C	50	66		dB
Output voltage regulation	$I_O = 5\text{ mA to }1.5\text{ A}$	25°C		12	480	mV
	$I_O = 250\text{ mA to }750\text{ mA}$			4	240	
Output resistance	$f = 1\text{ kHz}$	0°C to 125°C	0.028			Ω
Temperature coefficient of output voltage	$I_O = 5\text{ mA}$	0°C to 125°C	-1.5			mV/°C
Output noise voltage	$f = 10\text{ Hz to }100\text{ kHz}$	25°C	170			μV
Dropout voltage	$I_O = 1\text{ A}$	25°C	2			V
Bias current		25°C	4.6	8		mA
Bias current change	$V_I = 27\text{ V to }38\text{ V}$	0°C to 125°C			1	mA
	$I_O = 5\text{ mA to }1\text{ A}$				0.5	
Short-circuit output current		25°C	150			mA
Peak output current		25°C	2.1			A

† Pulse-testing techniques maintain the junction temperature as close to the ambient temperature as possible. Thermal effects must be taken into account separately. All characteristics are measured with a 0.33- μF capacitor across the input and a 0.1- μF capacitor across the output.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

APPLICATION INFORMATION

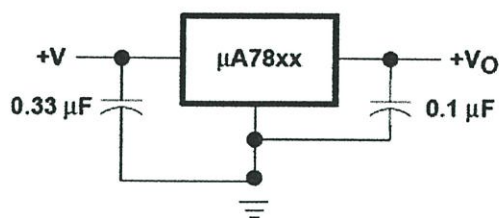


Figure 1. Fixed-Output Regulator

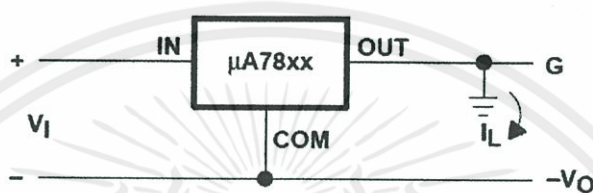
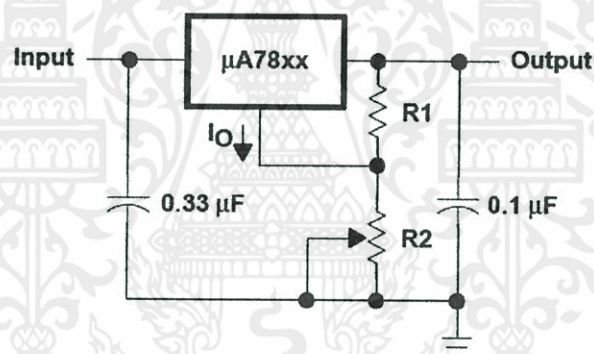


Figure 2. Positive Regulator in Negative Configuration (V_I Must Float)



NOTE A: The following formula is used when V_{xx} is the nominal output voltage (output to common) of the fixed regulator:

$$V_O = V_{xx} + \left(\frac{V_{xx}}{R1} + I_Q \right) R2$$

Figure 3. Adjustable-Output Regulator

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

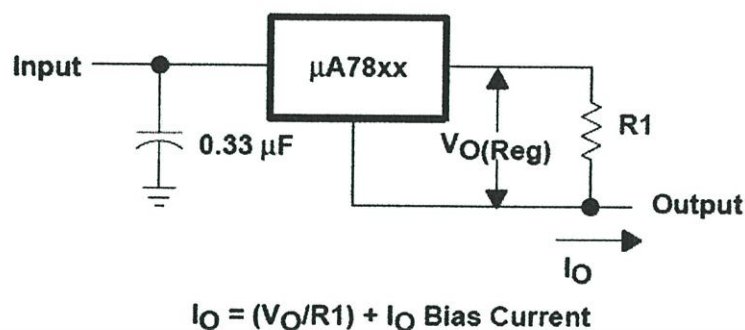


Figure 4. Current Regulator

APPLICATION INFORMATION

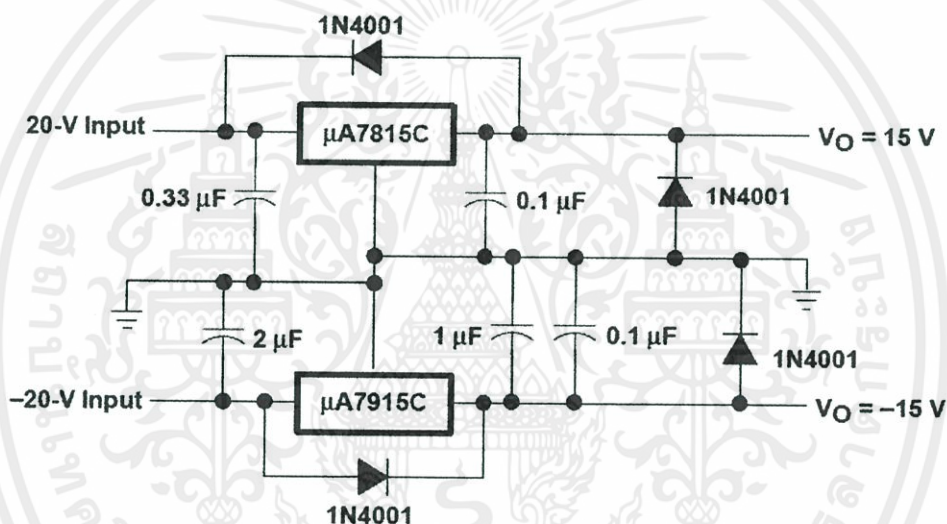


Figure 5. Regulated Dual Supply

operation with a load common to a voltage of opposite polarity

In many cases, a regulator powers a load that is not connected to ground but, instead, is connected to a voltage source of opposite polarity (e.g., operational amplifiers, level-shifting circuits, etc.). In these cases, a clamp diode should be connected to the regulator output as shown in Figure 6. This protects the regulator from output polarity reversals during startup and short-circuit operation.

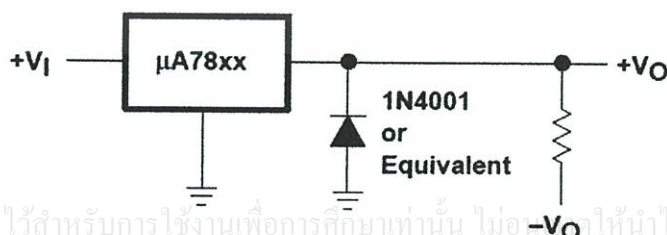


Figure 6. Output Polarity-Reversal-Protection Circuit

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น **Figure 6. Output Polarity-Reversal-Protection Circuit** การนำไปใช้

reverse-bias protection

Occasionally, the input voltage to the regulator can collapse faster than the output voltage. This can occur, for example, when the input supply is crowbarred during an output overvoltage condition. If the output voltage is greater than approximately 7 V, the emitter-base junction of the series-pass element (internal or external) could break down and be damaged. To prevent this, a diode shunt can be used as shown in Figure 7.

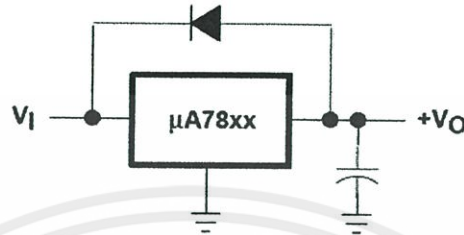
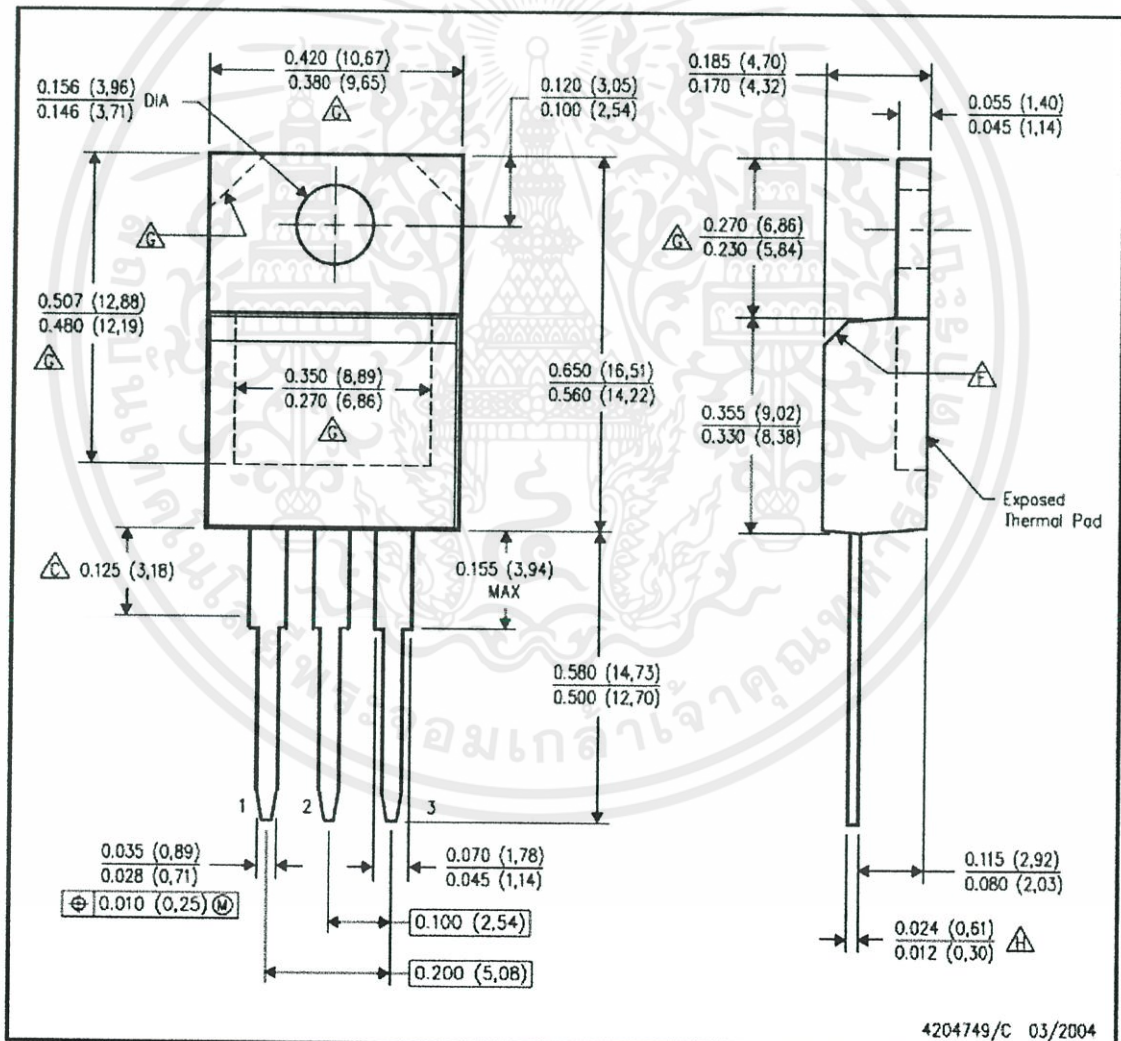


Figure 7. Reverse-Bias-Protection Circuit



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IMPORTANT NOTICE

Texas Instruments Incorporated and its subsidiaries (TI) reserve the right to make corrections, modifications, enhancements, improvements, and other changes to its products and services at any time and to discontinue any product or service without notice. Customers should obtain the latest relevant information before placing orders and should verify that such information is current and complete. All products are sold subject to TI's terms and conditions of sale supplied at the time of order acknowledgment. TI warrants performance of its hardware products to the specifications applicable at the time of sale in accordance with TI's standard warranty. Testing and other quality control techniques are used to the extent TI deems necessary to support this warranty. Except where mandated by government requirements, testing of all parameters of each product is not necessarily performed.

TI assumes no liability for applications assistance or customer product design. Customers are responsible for their products and applications using TI components. To minimize the risks associated with customer products and applications, customers should provide adequate design and operating safeguards. TI does not warrant or represent that any license, either express or implied, is granted under any TI patent right, copyright, mask work right, or other TI intellectual property right relating to any combination, machine, or process in which TI products or services are used. Information published by TI regarding third-party products or services does not constitute a license from TI to use such products or services or a warranty or endorsement thereof. Use of such information may require a license from a third party under the patents or other intellectual property of the third party, or a license from TI under the patents or other intellectual property of TI. Reproduction of information in TI data books or data sheets is permissible only if reproduction is without alteration and is accompanied by all associated warranties, conditions, limitations, and notices. Reproduction of this information with alteration is an unfair and deceptive business practice. TI is not responsible or liable for such altered documentation. Resale of TI products or services with statements different from or beyond the parameters stated by TI for that product or service voids all express and any implied warranties for the associated TI product or service and is an unfair and deceptive business practice. TI is not responsible or liable for any such statements.

Following are URLs where you can obtain information on other Texas Instruments products and application

solutions:

Products Applications

Amplifiers amplifier.ti.com Audio www.ti.com/audio

Data Converters dataconverter.ti.com Automotive www.ti.com/automotive

DSP dsp.ti.com Broadband www.ti.com/broadband

Interface interface.ti.com Digital Control www.ti.com/digitalcontrol

Logic logic.ti.com Military www.ti.com/military

Power Mgmt power.ti.com Optical Networking www.ti.com/opticalnetwork

Microcontrollers microcontroller.ti.com Security www.ti.com/security

Telephony www.ti.com/telephony

Video & Imaging www.ti.com/video

Wireless www.ti.com/wireless

Mailing Address: Texas Instruments

Post Office Box 655303 Dallas, Texas 75265

Copyright © 2004, Texas Instruments Incorporated

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน



นายกนกพล เชาวนิทธิ ชื่อเล่น จ๊อบ

เกิดวันที่ 4 พฤศจิกายน 2533

ที่อยู่ : 134/27 ซอยรามคำแหง 24 ถนนรามคำแหง แขวงหัวหมาก เขตบางกะปิ กรุงเทพฯ
10240

โทรศัพท์ : 083-916-4800

E mail : nokhuk@hotmail.com

ประวัติการศึกษา

2006-2009 โรงเรียนอัสสัมชัญแผนกมัธยม แผนการเรียน วิทยาศาสตร์-คณิต

2009-2012 สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดและควบคุม หลักสูตรวิศวกรรมระบบควบคุม
คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน



นายณัฐวุฒิ ประสิทธิ์รัตนพร ชื่อเล่น แชมป์
 เกิดวันที่ 1 ตุลาคม 2532
 ที่อยู่ : 35/50 หมู่ 12 ซอยมณียา 1 ถนนประดิษฐ์มนูธรรม แขวงนวลจันทร์ เขตบึงกุ่ม กรุงเทพฯ
 10230
 โทรศัพท์ : 087-597-6669
 E mail : champdemo11@gmail.com

ประวัติการศึกษา

2006-2009 โรงเรียนนวมินทราชูทิศ กรุงเทพมหานคร แผนการเรียน วิทย์-คณิต
 2009-2012 สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดและควบคุม หลักสูตรวิศวกรรมระบบควบคุม
 คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน



นาย สรณัฐ กิตติปัญญางาม ชื่อเล่น ปุ่น
 เกิดวันที่ 1 พฤศจิกายน 2533
 ที่อยู่ : 589 ซอยพัฒนาการ 29 ถนน พัฒนาการ แขวงสวนหลวง เขตสวนหลวง กรุงเทพมหานคร
 10250
 โทรศัพท์ : 0840955071
 E-mail : pokemon_ac123@hotmail.com

ประวัติทางการศึกษา

1996-2001 โรงเรียนอัสสัมชัญ แผนกประถม
 2002-2008 โรงเรียนอัสสัมชัญ
 2009-2012 สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดและควบคุม หลักสูตรวิศวกรรมระบบควบคุม
 คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้