เครื่องวัดกำลังงานไฟฟ้าขนาดเล็กโดยใช้หลักการ PM
Wattmeter Based on Pulse Modulation

นายจารุวัฒน์ ธเนศผาติสุข
Mr.Jaruvat Thanesphatisuk
นายชัยมงคล อ่อนอนันต์
Mr.Chaimongkol Onanan

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2560

เครื่องวัดกำลังงานไฟฟ้าขนาดเล็กโดยใช้หลักการ PM

Wattmeter Based on Pulse Modulation

โดย

นายจารุวัฒน์ ธเนศผาติสุข

นายชัยมงคล อ่อนอนันต์

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ.ดร. กิติพล ชิตสกุล

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2560

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ ปีการศึกษา 2560

ภาควิชา วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

คณะ วิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง เครื่องวัดกำลังงานไฟฟ้าขนาดเล็กโดยใช้หลักการ PM

Wattmeter Based on Pulse Modulation

ผู้จัดทำ นายจารุวัฒน์ ธเนศผาติสุข รหัสประจำตัว 56010168

นายชัยมงคล อ่อนอนันต์ รหัสประจำตัว 57010306

ปริญญานิพนธ์นี้ผ่านการตรวจสอบโดยอาจารย์ที่ปรึกษาแล้ว

(ผศ.ดร. กิติพล ชิตสกุล)

อาจารย์ที่ปรึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์ เครื่องวัดกำลังงานไฟฟ้าขนาดเล็กโดยใช้หลักการ PM

นักศึกษา นายจารุวัฒน์ ธเนศผาติสุข รหัสประจำตัว 56010168

นายชัยมงคล อ่อนอนันต์ รหัสประจำตัว 57010306

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชา วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

ปีการศึกษา 2560

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.กิติพล ชิตสกุล

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนออุปกรณ์วัดค่าการกินกำลังไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้านขนาดเล็ก โดยใช้หลักการ Pulse Modulation (PM) เพื่อใช้หาค่ากำลังไฟฟ้าที่ใช้ในขณะนั้นโดยจะแสดงผลผ่านทางหน้าจอ LCD อุปกรณ์นี้มีข้อจำกัดของขนาดกำลังงานที่วัดได้ที่ 500 วัตต์ มีความถูกต้อง 92 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Wattmeter Based on Pulse Modulation		
Student	Mr. Jaruvat	Thanesphatisuk	ID.56010168
	Mr. Chaimongkol	Onanan	ID.57010306
Degree	Bachelor of Engineering		
Program	Electronics Engineering		
Year	2017		
Thesis Advisor	Assoc.Prof.Dr.Kittipol Chitsakul		

Abstract

This thesis present implementation of a smart power wattmeter. The device operates based on pulse modulation instead of four quadrant multiplier. The measured values are displayed on LCD. Maximum voltage can be measured is 500 W at average accuracy of 92 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานนี้สำเร็จลุล่วงสมบูรณ์ได้ เนื่องจากได้รับการสนับสนุนจากหลายฝ่าย ทั้ง อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.กิติพล ชิตสกุลที่ให้คำแนะนำ ให้การสนับสนุนด้านอุปกรณ์และสถานที่ในการทำงาน นอกจากนี้ยังได้รับการสนับสนุนจากอาจารย์ทุกท่านในภาควิชาอิเล็กทรอนิกส์ เพื่อนนักศึกษาชั้นปีสี่และพี่ปริญญาโท รวมไปถึงคุณพ่อ คุณแม่ ที่ให้การสนับสนุนเงินทุนในการทำโครงงานชิ้นนี้ จึงใคร่ขอขอบพระคุณผู้มีอุปการคุณทุกท่านมา ณ ที่นี้

นายจารุวัฒน์ ธเนศผาติสุข

นายชัยมงคล อ่อนอนันต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หัวข้อ **หน้า**

บทคัดย่อภาษาไทย..... A

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....B

กิตติกรรมประกาศ.....C

สารบัญ.....D

สารบัญรูปภาพ.....F

สารบัญตาราง.....I

บทที่ 1 บทนำ.....1

1.1ที่มาและความสำคัญของปัญหา.....1

1.2วัตถุประสงค์และจุดมุ่งหมาย.....1

1.3สมมติฐานของการศึกษา.....1

1.4ขอบเขตของการศึกษา.....2

1.5ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....2

บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี.....3

2.1หลักการPWM.....3

2.2Microcontroller Arduino Uno R3.....5

2.3LCD แบบ I2C 6

2.4กำลังไฟฟ้าในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ.....9

2.5การวัดกำลังไฟฟ้า.....10

2.6 การมอดูเลตทางแอมปลิจูด (AM).....11

บทที่ 3 การออกแบบสร้าง.....13

3.1วงจรคำนวณกำลังไฟฟ้า.....13

3.2Microcontrollerและจอแสดงผล.....16

3.3วงจรไฟเลี้ยง.....17

บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง.....18

4.1ผลการทดลองปรับค่า Input จาก Current Transformer.....18

4.2สัญญาณ PWM ที่ออกกมาจาก IC1-B ที่ Input ค่าต่างๆ.....19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หัวข้อ **หน้า**

4.3สัญญาณที่ออกมาจากก IC2-A ที่ Input ค่าต่างๆ....22
4.4ทดสอบการแสดงผลของจอLCD....25
4.5ทดสอบเครื่องวัดกำลังไฟฟ้าโดยใช้เครื่องใช้ไฟฟ้าจริง....26
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง....30
5.1สรุปผลการทดลอง....30
5.2วิจารณ์ผลการทดลอง....30
บรรณานุกรม....31
ภาคผนวก....32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

หน้า

รูปที่ 2.1 Phase Correct PWM....3
รูปที่ 2.2 Standard PWM กับ Phase Correct PWM....4
รูปที่ 2.3 Arduino UNO R3....5
รูปที่ 2.4 LCD แบบ I2C....7
รูปที่ 2.5 การรับส่งข้อมูล I2C....8
รูปที่ 2.6 วงจรภายในระหว่างจอ LCD กับบอร์ด I2C....9
รูปที่ 2.7 ตัวอย่างการมอดูเลตทางแอมปลิจูด....12
รูปที่ 3.1 วงจรกำลังไฟฟ้า....13
รูปที่ 3.2 วงจรสร้างสัญญาณ PWM....14
รูปที่ 3.3 วงจร four-quadrant multiplier....14
รูปที่ 3.4 PCBวงจรวัดกำลังไฟฟ้า....15
รูปที่ 3.5 บอร์ดวงจรวัดกำลังไฟฟ้า....15
รูปที่ 3.6 โค้ดที่ใช้ในการรับค่าและแสดงผลกำลังไฟฟ้าผ่านจอLCD....16
รูปที่ 3.7 บอร์ดArduino Uno และจอLCD....16
รูปที่ 3.8 วงจรไฟเลี้ยง ±8 V....17
รูปที่ 3.9 PCBวงจรไฟเลี้ยง ±8 V....17
รูปที่ 4.1 สัญญาณ PWM ที่ Input 1.0V....19
รูปที่ 4.2 สัญญาณ PWM ที่ Input 2.0V....19
รูปที่ 4.3 สัญญาณ PWM ที่ Input 3.0V....20
รูปที่ 4.4 สัญญาณ PWM ที่ Input 4.0V....20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.5 สัญญาณ PWM ที่ Input 5.0V....21
รูปที่ 4.6 สัญญาณ PWM ที่ Input 6.0V....21
รูปที่ 4.7 สัญญาณที่ออกมาจาก IC2-A ที่ Input 1.0V....22
รูปที่ 4.8 สัญญาณที่ออกมาจาก IC2-A ที่ Input 2.0V....22
รูปที่ 4.9 สัญญาณที่ออกมาจาก IC2-A ที่ Input 3.0V....23
รูปที่ 4.10 สัญญาณที่ออกมาจาก IC2-A ที่ Input 4.0V....23
รูปที่ 4.11 สัญญาณที่ออกมาจาก IC2-A ที่ Input 5.0V....24
รูปที่ 4.12 สัญญาณที่ออกมาจาก IC2-A ที่ Input 6.0V....24
รูปที่ 4.13 กราฟแสดงความคลาดเคลื่อนของการแสดงผล....25
รูปที่ 4.14 วัดกำลังไฟฟ้าของพัดลม....26
รูปที่ 4.15 จอแสดงผลเมื่อวัดกำลังไฟฟ้าของพัดลม....26
รูปที่ 4.16 วัดแรงดันไฟฟ้าของพัดลม....26
รูปที่ 4.17 วัดกระแสไฟฟ้าของพัดลม....26
รูปที่ 4.18 วัดกำลังไฟฟ้าของหัวแร้ง....27
รูปที่ 4.19 จอแสดงผลเมื่อวัดกำลังไฟฟ้าของหัวแร้ง20วัตต์....27
รูปที่ 4.20 จอแสดงผลเมื่อวัดกำลังไฟฟ้าของหัวแร้ง130วัตต์....27
รูปที่ 4.21 วัดกระแสไฟฟ้า ที่กำลังไฟ20วัตต์....27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.22 วัดกระแสไฟฟ้า ที่กำลังไฟ130วัตต์.....27

รูปที่ 4.23 วัดกำลังไฟฟ้าของหลอดไส้.....28

รูปที่ 4.24 จอแสดงผลเมื่อวัดกำลังไฟฟ้าของหลอดไส้.....28

รูปที่ 4.25 วัดแรงดันไฟฟ้าของหลอดไส้.....28

รูปที่ 4.26 วัดกระแสไฟฟ้าของหลอดไส้.....28

รูปที่ ผ.1 การแสดงการทำงานของเครื่องวัดกำลังไฟฟ้า.....33

รูปที่ ผ.2 เครื่องวัดกำลังไฟฟ้า.....33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1 แสดงข้อมูลของ Arduino UNO R3.....6
ตารางที่ 2 แสดงข้อมูล 4 pin.....7
ตารางที่ 3 ผลการทดลอง.....18
ตารางที่ 4 การแสดงผลของจอLCD.....25
ตารางที่ 5 สรุปผลการทดลองด้วยเครื่องใช้ไฟฟ้าจริง.....29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ในปัจจุบันพลังงานไฟฟ้าถือเป็นพลังงานสำคัญที่ทุกๆคนใช้ในชีวิตประจำวัน ซึ่งในการผลิตพลังงานไฟฟ้าจะต้องใช้ทรัพยากรเป็นจำนวนมาก จึงควรใช้พลังงานไฟฟ้าอย่างคุ้มค่าและไม่ควรเสียไปโดยเปล่าประโยชน์ การตรวจสอบการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้านจึงเป็นสิ่งที่จำเป็น เพื่อทั้งการควบคุมการใช้พลังงานไฟฟ้า และตรวจสอบไฟฟ้าที่รั่วเมื่อเราไม่ได้ใช้เครื่องใช้ไฟฟ้าเพื่อความปลอดภัยของผู้ใช้

ทั้งนี้โครงงานนี้ถูกจัดทำขึ้นเพื่อให้การตรวจสอบการใช้พลังงานไฟฟ้าเป็นเรื่องง่ายที่ทุกคนสามารถทำได้ และมีค่าใช้จ่ายที่ไม่สูง

1.2 วัตถุประสงค์และจุดมุ่งหมาย

1. ศึกษาการเขียนโปรแกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ ให้สามารถทำได้ตามที่ตั้งเป้าหมายไว้
2. สร้างชิ้นงานที่สามารถวัดกำลังไฟฟ้า(Watts) ของอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้งานอยู่ได้
3. สามารถแสดงผลกำลังไฟฟ้าทางจอ LCD ได้

1.3 ขอบเขตการศึกษา

1. เขียนโปรแกรมเพื่อแสดงกำลังงานบนหน้าจอ LCD
2. ใช้หลักการ PWM และ four-quadrant multiplier ในการคำนวณกำลังไฟฟ้า (Watt)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 สมมติฐานของการศึกษา

1. สามารถวัดกำลังไฟฟ้าได้ที่ 0-500 วัตต์

2. สามารถแสดงผลของกำลังไฟฟ้า(Watts)ทางจอLCDได้

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ผู้จัดทำหวังว่าในการทำโครงงานชิ้นนี้ทางคณะผู้จัดทำจะได้ความรู้และประสบการณ์ต่างๆทั้งที่เกี่ยวกับภาควิชาอิเล็กทรอนิกส์ตรงๆและนอกเหนือจากภาควิชา ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานต่างๆได้อีกมากมายและเพื่อให้ผู้ที่สนใจนำไปพัฒนาต่อยอดให้มีประสิทธิภาพสูงยิ่งขึ้นไปได้

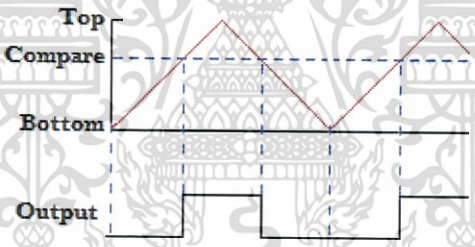
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

หลักการและทฤษฎี

2.1 หลักการPWM

PWM ย่อมจาก Pulse Width Modulation คือการนำสัญญาณสามเหลี่ยม และสัญญาณที่ต้องการปรับความกว้างของพัลซ์มาเปรียบเทียบกัน ตัวย่างเช่น ถ้านำสัญญาณสามเหลี่ยมมาเปรียบเทียบกับสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรง จะได้ความกว่างของพัลซ์คงที่ และความกว้างของพัลซ์นั้นจะขึ้นอยู่กับแอมพลิจูดของสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงดังรูป



รูปที่ 2.1 Phase Correct PWM

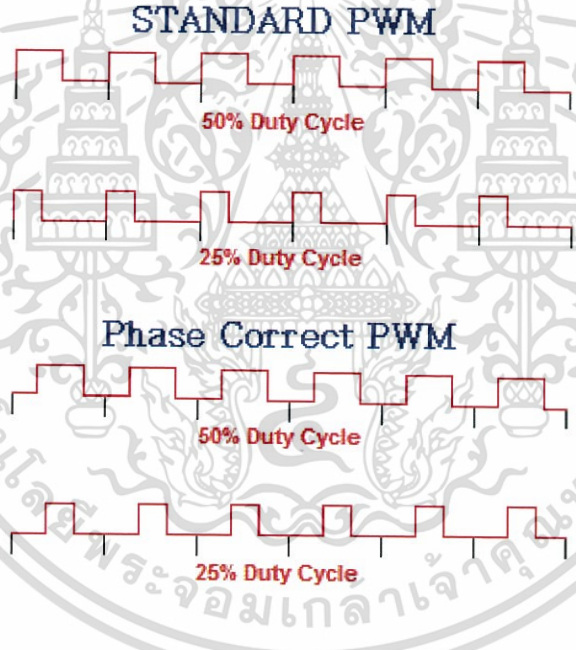
การใช้ประโยชน์จาก PWM

ในระบบ digital นั้นจะมีสัญญาณแค่ High และ Low ถ้าต้องการจะนำระบบ digital ไปควบคุมอุปกรณ์ที่ต้องควบคุมด้วยสัญญาณ analog เช่น การควบคุมความเร็วมอเตอร์, การควบความความสว่างของหลอดไฟ ฯลฯ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในระบบ digital จะไม่สามารถควบคุมอุปกรณ์พวกนี้ได้ตรงๆ เราจะต้องใช้ PWM ในการควบคุม โดยจะปรับคาบเวลาของ High-Low (Duty cycle) ดังตัวอย่างต่อไปนี้

- 50% Duty cycle หมายความว่า คาบเวลาที่เป็น High 50% และ คาบเวลาที่เป็น Low 50%
- 25% Duty cycle หมายความว่า คาบเวลาที่เป็น High 25% และ คาบเวลาที่เป็น Low 75%
- 80% Duty cycle หมายความว่า คาบเวลาที่เป็น High 80% และ คาบเวลาที่เป็น Low 20%

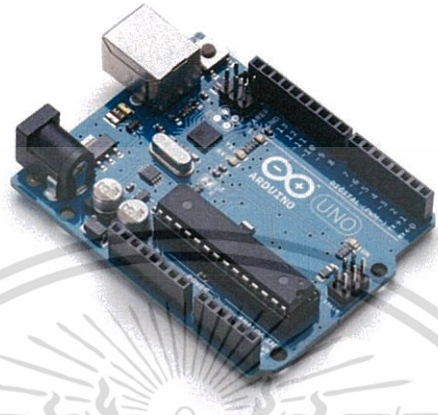


รูปที่ 2.2 Standard PWM กับ Phase Correct PWM

ในการปรับคาบเวลาจะมีผลกับ กระแสไฟฟ้าที่จ่ายออกไปยังอุปกรณ์ที่จะควบคุมดังนี้ ถ้าปรับ 50% Duty cycle จะทำให้มีช่วงที่เป็น High 50% ดังนั้นกระแสไฟฟ้าที่จ่ายออกไปจะเหลือแค่ 50% ของทั้งหมด เมื่อนำไปควบคุมมอเตอร์ จะทำให้มอเตอร์หมุนด้วยความเร็ว 50% ของความเร็วสูงสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 Microcontroller Arduino Uno R3



รูปที่ 2.3 Arduino UNO R3

Arduino อ่านว่า (อา-ดู-อิ-โน่ หรือ อาดุยโน่) เป็นบอร์ดไมโครคอนโทรเลอร์ตระกูล AVR ที่มีการพัฒนาแบบ Open Source คือมีการเปิดเผยข้อมูลทั้งด้าน Hardware และ Software ตัว บอร์ด Arduino ถูกออกแบบมาให้ใช้งานได้ง่าย ดังนั้นจึงเหมาะสำหรับผู้เริ่มต้นศึกษา ทั้งนี้ผู้ใช้งานยังสามารถดัดแปลง เพิ่มเติม พัฒนาต่อยอดทั้งตัวบอร์ด หรือโปรแกรมต่อได้อีกด้วย

ความง่ายของบอร์ด Arduino ในการต่ออุปกรณ์เสริมต่างๆ คือผู้ใช้งานสามารถต่อวงจรอิเล็กทรอนิคส์จากภายนอกแล้วเชื่อมต่อเข้ามาที่ขา I/O ของบอร์ด (ดูตัวอย่างรูปที่ 1) หรือเพื่อความสะดวกสามารถเลือกต่อกับบอร์ดเสริม (Arduino Shield) ประเภทต่างๆ (ดูตัวอย่างรูปที่ 2) เช่น Arduino XBee Shield, Arduino Music Shield, Arduino Relay Shield, Arduino Wireless Shield, Arduino GPRS Shield เป็นต้น มาเสียบกับบอร์ดบนบอร์ด Arduino แล้วเขียนโปรแกรมพัฒนาต่อได้เลย

ในที่นี้ใช้ Arduino UNO R3 ในระบบซึ่งเป็น Microcontroller board ที่ใช้ ATmega328 เป็น MCU หลัก ซึ่งตัวนี้จะมีขา Digital 14 ขา อินพุท/เอ้าพุท และมีขา Analog อินพุทได้อีก 6 ขา,Run ที่ความถี่ 16 MHz มี USB Connector และ Power Jack DC ซึ่ง Concept ของ Arduino Board นี้ทำมาเพื่อความสะดวกง่านในการเชื่อมต่อเข้ากับคอมพิวเตอร์ สามารถต่อ USB เข้ากับช่องคอมมพอร์ตก็สามารถ Run โปรแกรมที่ Board ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

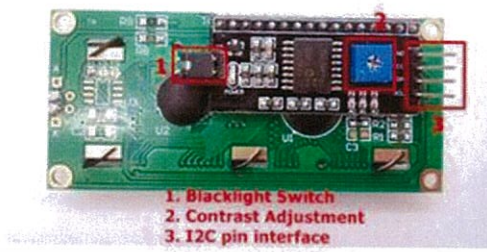
Microcontroller	ATmega328
Operating Voltage	5V
Input Voltage (recommended)	7-12V
Input Voltage (limits)	6-20V
Digital I/O Pins	14 (of which 6 provide PWM output)
Analog Input Pins	6
DC Current per I/O Pin	40 mA
DC Current for 3.3V Pin	50 mA
Flash Memory	32 KB of which 0.5 KB used by bootloader
SRAM	2 KB
EEPROM	1 KB
Clock Speed	16 MHz

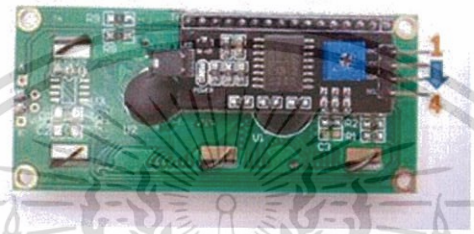
ตารางที่ 1 แสดงข้อมูลของ Arduino UNO R3

2.3 LCD แบบ I2C

เป็นจอ LCD ธรรมดาทั่วไปที่มาพร้อมกับบอร์ด I2C Bus ที่ทำให้การใช้งานได้สะดวกยิ่งขึ้นและยังมาพร้อมกับ VR สำหรับปรับความเข้มของจอ ในรูปแบบ I2C จะใช้ขาในการเชื่อมต่อกับ Microcontroller เพียง 4 ขา (แบบ Parallel ใช้ 16 ขา) ซึ่งทำให้ใช้งานได้ง่ายและสะดวกมากยิ่งขึ้น สามารถดูได้จากตารางด้านล่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





รูปที่ 2.4 LCD แบบ I2C

Pin No	Symbol	Description
1	GND	Ground
2	VCC	+5VDC
3	SDA	Serial Data
4	SCL	Serial Clock

ตารางที่ 2 แสดงข้อมูล 4 pin

การควบคุมการแสดงผลของจอ LCD (I2C)

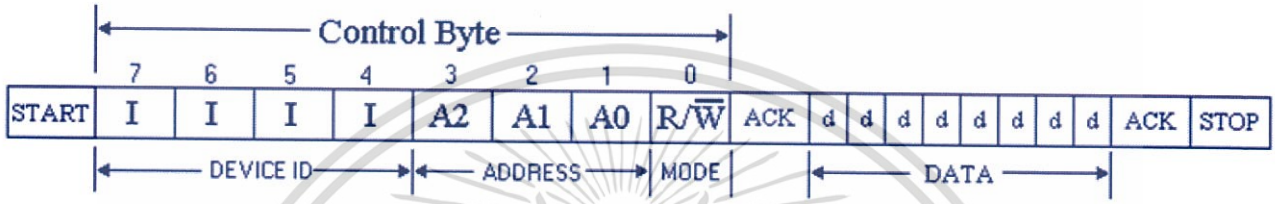
ในการควบคุมหรือสั่งงาน โดยทั่วไปจอ LCD จะมีส่วนควบคุม (Controller) อยู่ในตัวแล้ว ผู้ใช้สามารถส่งรหัสคำสั่งสำหรับควบคุมการทำงานของจอ LCD (I2C) เช่นเดียวกันกับจอ LCD แบบธรรมดา พูดง่ายๆ คือรหัสคำสั่งที่ใช้ในการควบคุมนั้นเหมือนกัน แต่ต่างกันตรงที่รูปแบบในการรับส่งข้อมูล ในบทความนี้เราจะมาพูดถึงจอ LCD 16x2 ที่มีการส่งข้อมูลรูปแบบ I2C ที่ใช้ขาเพียง 4 ขาที่ใช้ในการเชื่อมต่อเท่านั้น

1. GND เป็น Ground ใช้ต่อระหว่าง Ground ของระบบ Microcontroller กับ LCD
2. VCC เป็นไฟเลี้ยงวงจรที่ป้อนให้กับ LCD มีขนาด +5VDC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. SDA (Serial Data) เป็นขาที่ใช้ในการรับส่งข้อมูล
4. SCL (Serial Clock) เป็นขาสัญญาณนาฬิกาในการรับส่งข้อมูล

การรับ-ส่งข้อมูลแบบ I2C BUS



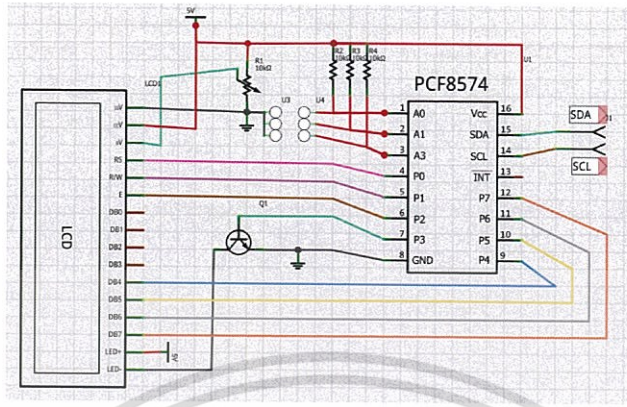
รูปที่ 2.5 การรับส่งข้อมูล I2C

- MCU จะทำการส่งสถานะเริ่มต้น (START Conditions) เพื่อแสดงการขอใช้บัส
- แล้วตามด้วย รหัสควบคุม (Control Byte) ซึ่งประกอบ ด้วยรหัส ประจำตัวอุปกรณ์ Device ID, Device Address และ Mode ในการเขียนหรืออ่านข้อมูล
- เมื่ออุปกรณ์รับทราบว่า MCU ต้องการจะติดต่อด้วย ก็ต้องส่งสถานะรับรู้ (Acknowledge) หรือแจ้งให้ MCU รับรู้ว่าข้อมูลที่ได้ส่งมามีความถูกต้อง
- และเมื่อสิ้นสุดการส่งข้อมูล MCU จะต้องส่งสถานะสิ้นสุด (STOP Conditions) เพื่อบอกกับอุปกรณ์ว่าสิ้นสุดการใช้บัส

การเชื่อมต่อระหว่าง Microcontroller กับ LCD (I2C)

สำหรับการเชื่อมต่อสัญญาณระหว่าง Microcontroller กับ LCD ที่มีบอร์ด I2C อยู่แล้วนั้น การส่งข้อมูลจาก Microcontroller จะถูกส่งออกมาในรูปแบบ I2C ไปยังบอร์ด I2C และบอร์ดจะมีหน้าที่จัดการข้อมูลให้ออกมาในรูปแบบปกติ หรือแบบ Parallel เพื่อใช้ในการติดต่อไปยังจอ LCD โดยที่รหัสคำสั่งที่ใช้ในการสั่งงานจอ LCD ยังคงไม่ต่างกับจอ LCD ที่เป็นแบบ Parallel โดยส่วนใหญ่บอร์ด I2C จะเชื่อมต่อกับตัวควบคุมของจอ LCD เพียง 4 บิตเท่านั้น เดี๋ยวเราจะมาดูกันว่า วงจรภายในระหว่างจอ LCD กับบอร์ด I2C นั้น มีการต่อไว้อย่างไรบ้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 วงจรภายในระหว่างจอ LCD กับบอร์ด I2C

จากรูปวงจรจะเห็นได้ว่าจอ LCD และ บอร์ด I2C ได้มีการเชื่อมต่อขาสำหรับการรับส่งข้อมูลเป็นแบบ 4 บิต ขาที่เชื่อมต่อไว้คือ ขา P4 > DB4, P5 > DB5, P6 > DB6, P7 > DB7 และขา P2 > E (Enable), P1 > R/W, P0 > RS รวมไปถึงตัวต้านทานสำหรับปรับค่าความเข้มของตัวอักษร และ Switch Backlight จากวงจรขาที่จำเป็นในการใช้งานถูกเชื่อมต่อเข้ากับตัวบอร์ด I2C และอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เรียบร้อยแล้ว

2.4 กำลังไฟฟ้าในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ

1. กำลังไฟฟ้าเฉลี่ย (P)

กำลังไฟฟ้าเฉลี่ย (Average Power) หรือกำลังไฟฟ้าจริง คือ กำลังไฟฟ้าที่นำไปใช้งานจริง ๆ กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยที่เกิดขึ้นกับวงจรไฟสลับที่มีตัวต้านทานเพียงอย่างเดียว กระแสและแรงดันไฟฟ้าจะมีเฟสเดียวกัน กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยเกิดจากผลคูณของกระแสกับแรงเคลื่อนไฟฟ้าเกิดเป็นกำลังไฟฟ้าขึ้น ส่วนวงจร ไฟฟ้ากระแสสลับที่มีโหลดเป็นตัวเหนี่ยวนำเพียงอย่างเดียววงจรจะอยู่ในสภาวะล้าหลัง (กระแสล้าหลังแรงดัน 90 องศา) กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของวงจรจะเท่ากับศูนย์ และวงจรไฟสลับที่มีตัวเก็บประจุเป็นโหลดเพียงอย่างเดียว วงจรจะอยู่ในสภาวะนำหน้า (กระแสนำหน้าแรงดัน 90 องศา) กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของวงจรจะเท่ากับศูนย์เหมือนกับวงจรตัวเหนี่ยวนำอย่างเดียว

วงจรไฟสลับที่มีตัวต้านทานอย่างเดียว $P = EI\cos\theta$ Watt

วงจรไฟสลับที่มีตัวตัวเหนี่ยวนำอย่างเดียว $P = EI\cos\theta = 0$ Watt

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรไฟสลับที่มีตัวเก็บประจุอย่างเดียว $P = EI\cos\theta = 0$ Watt

2. กำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ (Q)

กำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ (Reactive Power) หรือกำลังไฟฟ้าแฝงเป็นกำลังที่ เกิดขึ้นกับวงจรไฟสลับที่มีโหลด L หรือ C เช่นวงจร R-L และ R-C เป็นกำลังสูญเสีย แฝงอยู่ในรูปของสนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้า

$Q = ExI \sin\theta$ มีหน่วยเป็น Var

3. กำลังไฟฟ้าที่ปรากฏ (S)

กำลังไฟฟ้าที่ปรากฏ (Apparent Power) คือกำลังไฟฟ้าทั้งหมดที่จ่ายให้กับวงจรที่ปรากฏตามโวลท์มิเตอร์และแอมป์มิเตอร์หาได้จากผลรวมของกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยกับกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟทางเวกเตอร์

$S=ExI$ มีหน่วยเป็น VA

หรือ

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

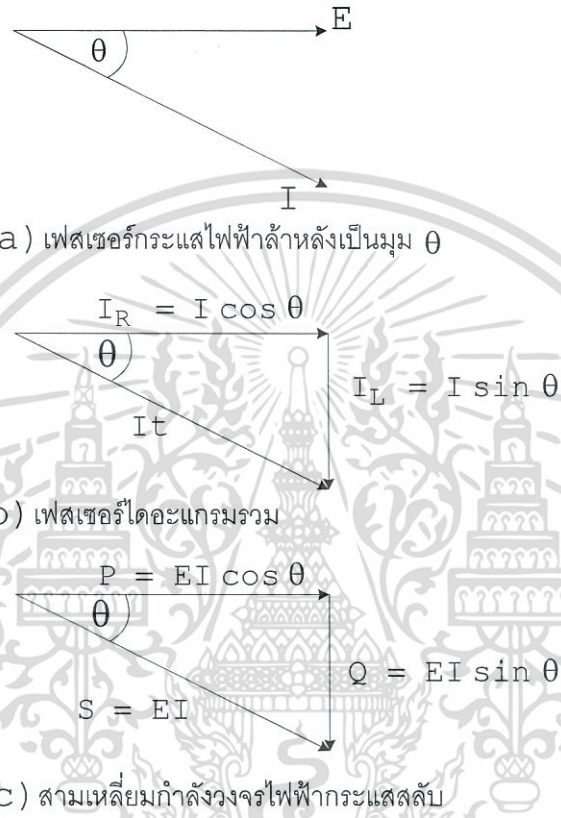
2.5 การวัดกำลังไฟฟ้า

สามเหลี่ยมกำลังไฟฟ้า (Power Triangle)

วงจรไฟฟ้ากระแสสลับในกรณีแรกกระแสไฟฟ้าร่วมเฟสกับแรงดัน จะมีค่ากำลังไฟฟ้าเพียงค่าเดียวคือ กำลังไฟฟ้าเฉลี่ย (P) กรณีที่สอง ในวงจรที่มีกระแสล้าหลังหรือนำหน้า แรงดันเป็นมุม 90 องศา จะมีค่ากำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ (Q) เพียงค่าเดียว กรณีที่สามในวงจรที่กระแสนำหน้าหรือล้าหลังแรงดันไม่ถึง 90 องศา จะเกิดค่ากำลังไฟฟ้าสามค่า คือ กำลังไฟฟ้าเฉลี่ย กำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ กำลังไฟฟ้าที่ปรากฏ จากกำลังไฟฟ้าทั้งสามสามารถนำมาเขียนความสัมพันธ์ในรูปของสามเหลี่ยมกำลังไฟฟ้าได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรไฟสลับที่ประกอบไปด้วย R-L

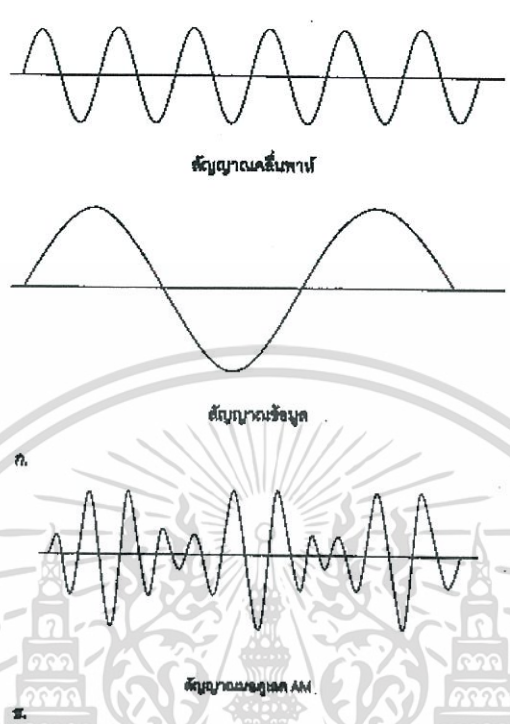


2.6 การมอดูเลตทางแอมปลิจูด (AM)

การมอดูเลตแบบ AM เป็นวิธีการที่ดั้งเดิมที่สุดและสะดวกที่สุด จะเห็นว่าความถี่ของสัญญาณคลื่นพาห์จะคงที่และสูงกว่าความถี่ของสัญญาณข้อมูล เพื่อให้สามารถพาสัญญาณข้อมูลไปได้ระยะทางไกล ๆ จะเห็นว่าสัญญาณ AM ที่มอดูเลตแล้วจะมีความถี่เท่ากับความถี่ของสัญญาณคลื่นพาห์ โดยมีขนาดหรือแอมปลิจูดของสัญญาณเปลี่ยนแปลงไปตามแอมปลิจูดของสัญญาณข้อมูล

ข้อเสียของการมอดูเลตแบบ AM คือ แบนด์วิดท์ของสัญญาณ AM เป็นย่านความถี่ที่ไม่สูงนัก ทำให้สัญญาณรบกวน (Noise) จากภายนอกสามารถเข้ามารบกวนได้ง่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.7 ตัวอย่างการมอดูเลตทางแอมปลิจูด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การออกแบบสร้าง

โครงสร้างของวัตต์มิเตอร์ประกอบด้วยส่วนใหญ่ๆ 3 ส่วนดังนี้

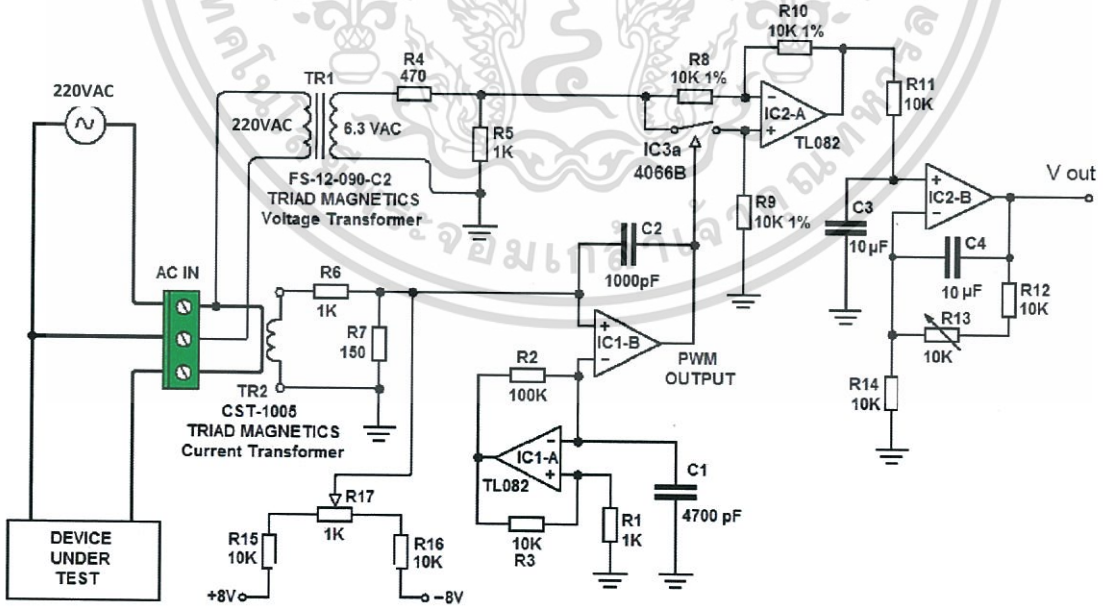
1.วงจรคำนวณกำลังไฟฟ้า(Watt)

2.Microcontrollerและจอแสดงผล

3.วงจรไฟเลี้ยง

3.1วงจรคำนวณกำลังไฟฟ้า

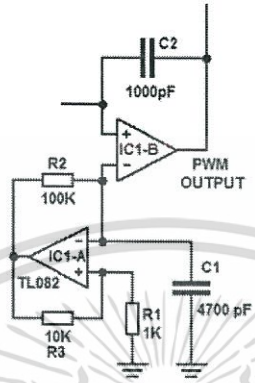
ใช้ Current transformer และ Voltage transformer เพื่อช่วยลดขนาดของกระแสและแรงดัน เพื่อนำมาคำนวณกำลังไฟฟ้า โดยใช้ IC1-B สร้างสัญญาณ PWM เพื่อเปิดปิดสวิตช์ IC3a และใช้ IC2-A ทำการมอดูเลตทางแอมปลิจูด และมี IC2-B ทำหน้าที่เป็น Low pass filter เพื่อให้ได้เอ้าท์พุท 0-5 Vdc



รูปที่ 3.1 วงจรกำลังไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

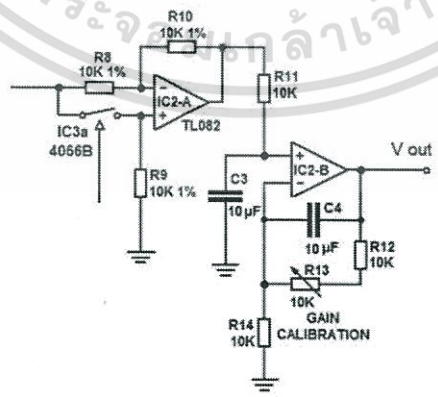
1.ส่วนการสร้างสัญญาณPWM



รูปที่ 3.2 วงจรสร้างสัญญาณ PWM

ออปแอมป์ IC1-A จะสร้างสัญญาณรูปสามเหลี่ยม ที่ความถี่ 5kHz และ IC1-B จะใช้สัญญาณสามเหลี่ยมนี้และสัญญาณจาก Current Transformer เพื่อสร้างสัญญาณรูปสี่เหลี่ยม ถ้าสัญญาณจาก Current Transformer เท่ากับศูนย์ จะให้เอ้าพุท50เปอร์เซ็นต์ ถ้าสัญญาณเพิ่มขึ้นจนถึงสูงสุด ก็จะให้เอ้าพุทเพิ่มขึ้นถึง 100% และจะให้เอ้าพุท0% ถ้าสัญญาณเป็นค่าลบต่ำสุด

2.ส่วนการคูณด้วย four-quadrant multiplier

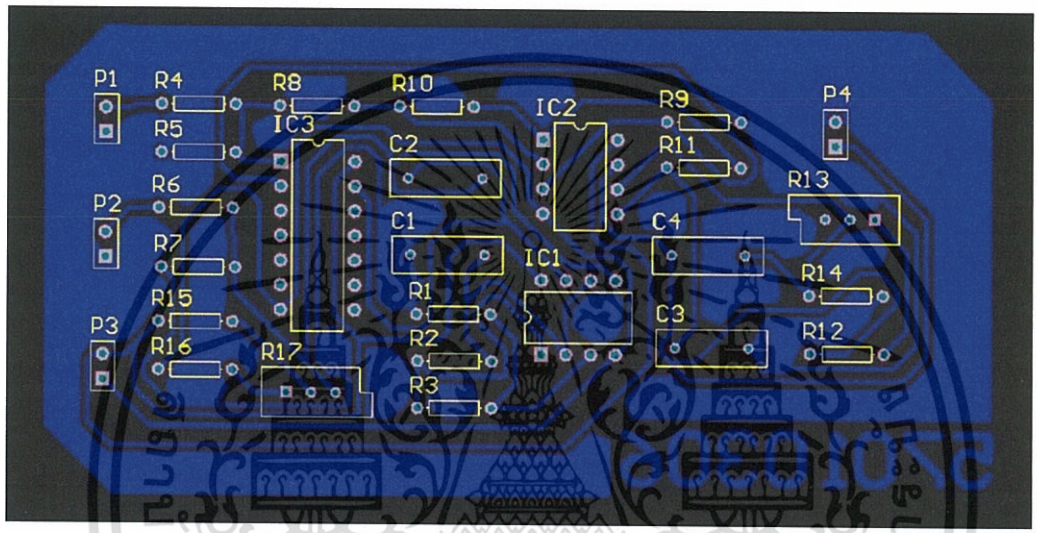


รูปที่ 3.3 วงจร four-quadrant multiplier

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

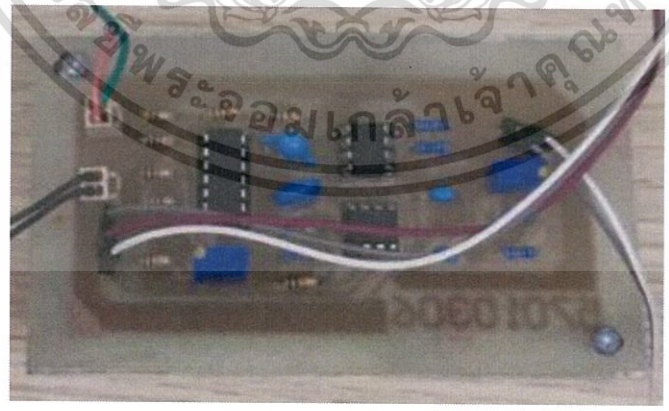
IC3a เป็นสวิตชที่ทำงานตามสัญญาณ PWM จาก IC1-B จะปิด เมื่อสัญญาณเป็นบวก และจะเปิดเมื่อสัญญาณเป็นลบ ทำให้เกิดการคูณของกระแสและแรงดันที่ IC2-A และในส่วนสุดท้าย IC2-B ทำหน้าที่เป็น lowpass filter ให้เอ้าพุท 0-5 VDC ค่า 0 เท่ากับกำลังไฟ0วัตต์ และค่า 5 เท่ากับกำลังไฟ 500 วัตต์

3.PCBของวงจร



รูปที่ 3.4 PCBวงจรวัดกำลังไฟฟ้า

4.บอร์ดวงจรวัดกำลังไฟฟ้า



รูปที่ 3.5 บอร์ดวงจรวัดกำลังไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 Microcontrollerและจอแสดงผล

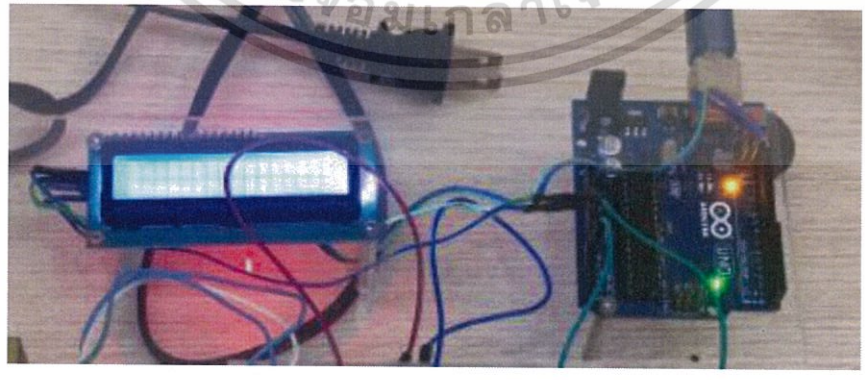
ทำงานโดยแปลงแรงดันค่ากำลังงานเป็นดิจิตอลแบบ 10 บิท และควบคุมการแสดงผล

1.โค้ดที่ใช้ในการรับค่าและแสดงผลกำลังไฟฟ้าผ่านจอLCD

```
sgfdzg
#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 16, 2);
float sensorPin = A0;
void setup()
{
  lcd.begin();
  lcd.setCursor(0, 0);
  lcd.println("Power :          W ");
}
void loop()
{
  float value = (analogRead(sensorPin)/2.046);
  lcd.setCursor(8, 0);
  lcd.print(value);
}
```

รูปที่ 3.6 โค้ดที่ใช้ในการรับค่าและแสดงผลกำลังไฟฟ้าผ่านจอLCD

2.บอร์ดArduino Uno และจอLCD



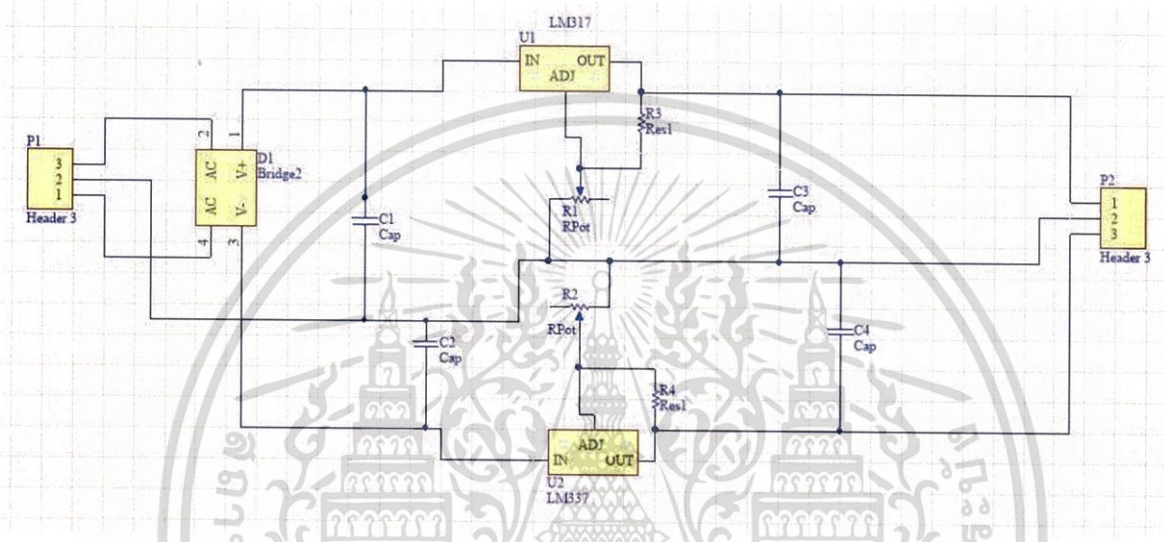
รูปที่ 3.7 บอร์ดArduino Uno และจอLCD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3วงจรไฟเลี้ยง

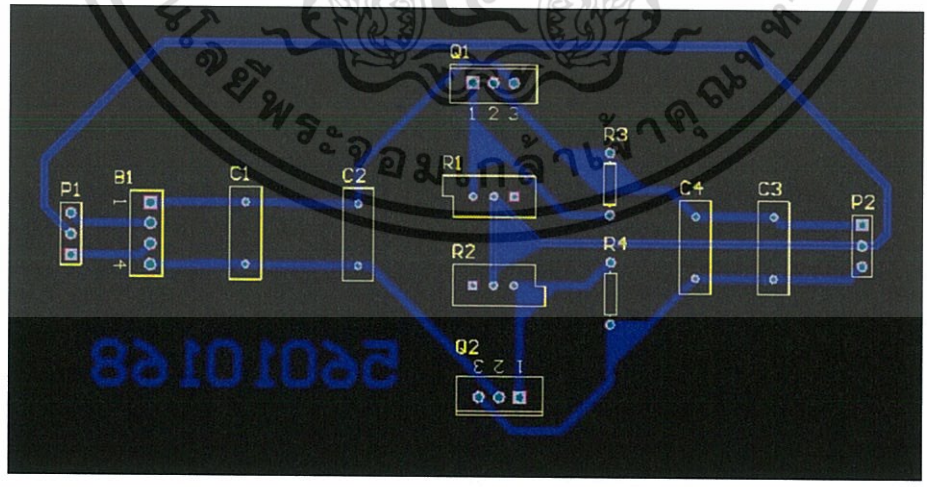
วงจรวัดกำลังไฟฟ้าต้องใช้ไฟเลี้ยงวงจร ±8 V

1.วงจรไฟเลี้ยง ±8 V



รูปที่ 3.8 วงจรไฟเลี้ยง ±8 V

2. PCBวงจรไฟเลี้ยง ±8 V



รูปที่ 3.9 PCBวงจรไฟเลี้ยง ±8 V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

4.1ผลการทดลองปรับค่า Input จาก Current Transformer

ตาราง แสดงผลการทดลอง

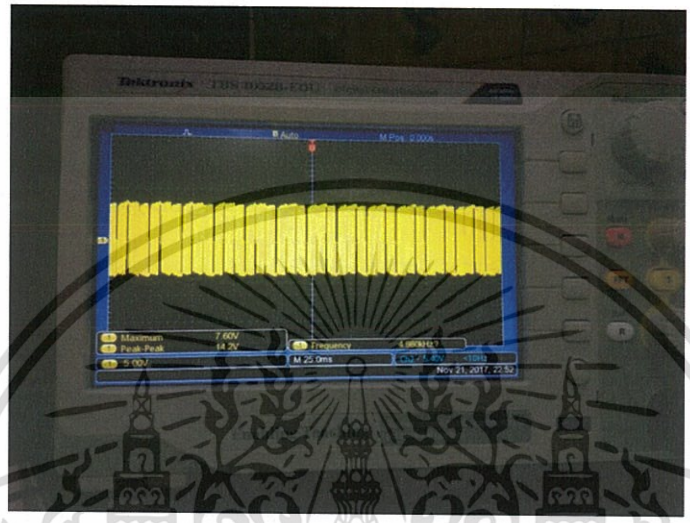
Input จาก Current Transformer(Vac)	Output ของวงจรวัดกำลังไฟฟ้า(Vdc)
0	0.32
0.5	0.80
1.0	1.36
1.5	1.76
2.0	2.32
2.5	2.72
3.0	3.28
3.5	3.84
4.0	4.48
4.5	4.72
5.0	4.96
5.5	5.12
6.0	5.12
6.5	5.12
7.0	5.12

ตารางที่ 3 ผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

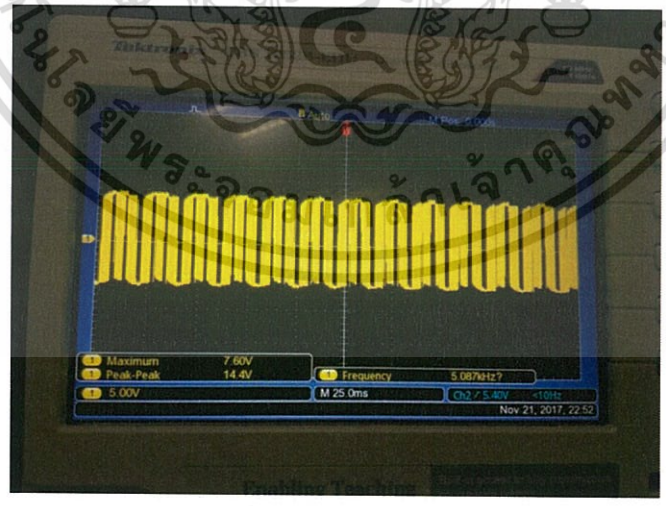
4.2สัญญาณ PWM ที่ออกมาจาก IC1-B ที่ Input ค่าต่างๆ

1. Input 1.0V



รูปที่ 4.1 สัญญาณ PWM ที่ Input 1.0V

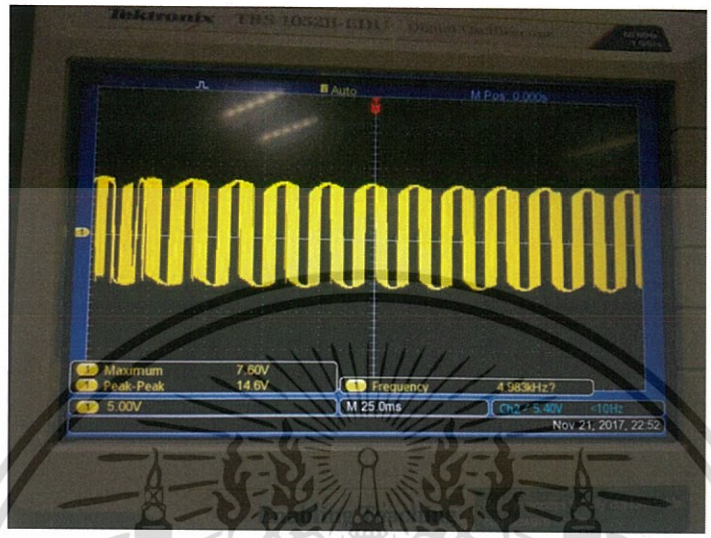
2. Input 2.0V



รูปที่ 4.2 สัญญาณ PWM ที่ Input 2.0V

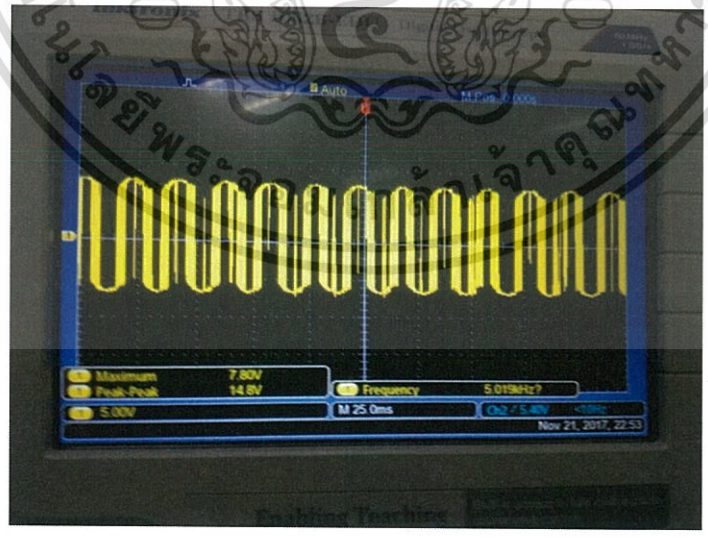
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. Input 3.0V



รูปที่ 4.3 สัญญาณ PWM ที่ Input 3.0V

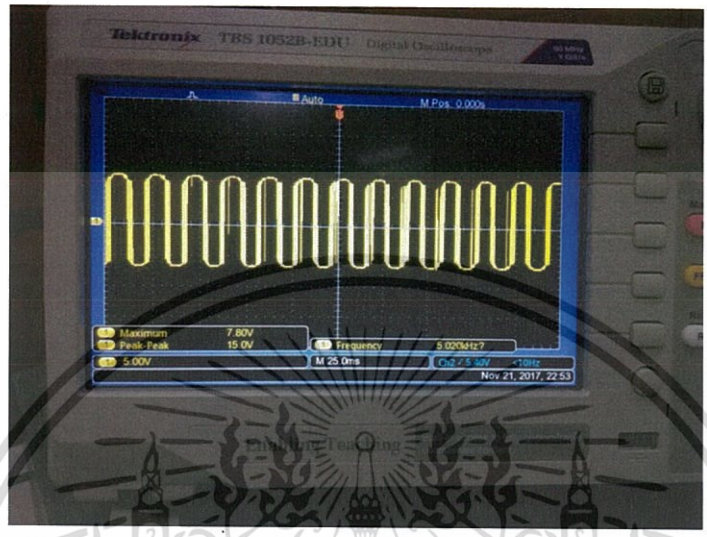
4. Input 4.0V



รูปที่ 4.4 สัญญาณ PWM ที่ Input 4.0V

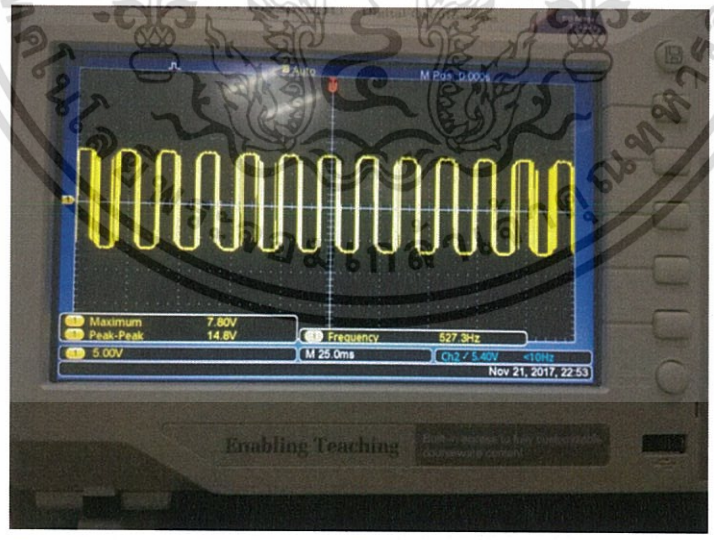
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. Input 5.0V



รูปที่ 4.5 สัญญาณ PWM ที่ Input 5.0V

6. Input 6.0V

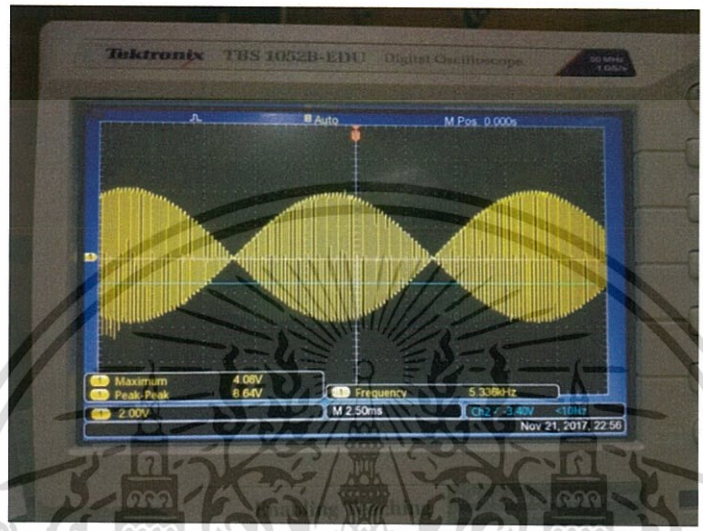


รูปที่ 4.6 สัญญาณ PWM ที่ Input 6.0V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 สัญญาณที่ออกมาจาก IC2-A ที่ Input ค่าต่างๆ

1. Input 1.0V



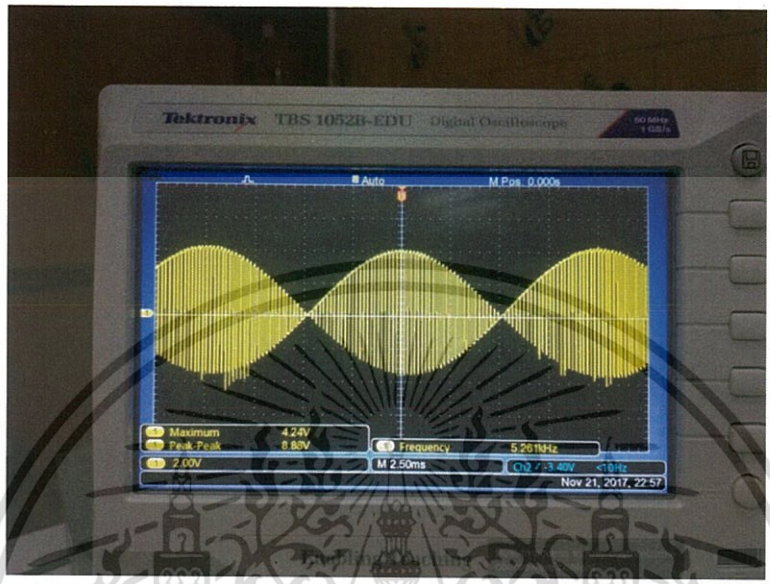
รูปที่ 4.7 สัญญาณที่ออกมาจาก IC2-A ที่ Input 1.0V

2. Input 2.0V

รูปที่ 4.8 สัญญาณที่ออกมาจาก IC2-A ที่ Input 2.0V

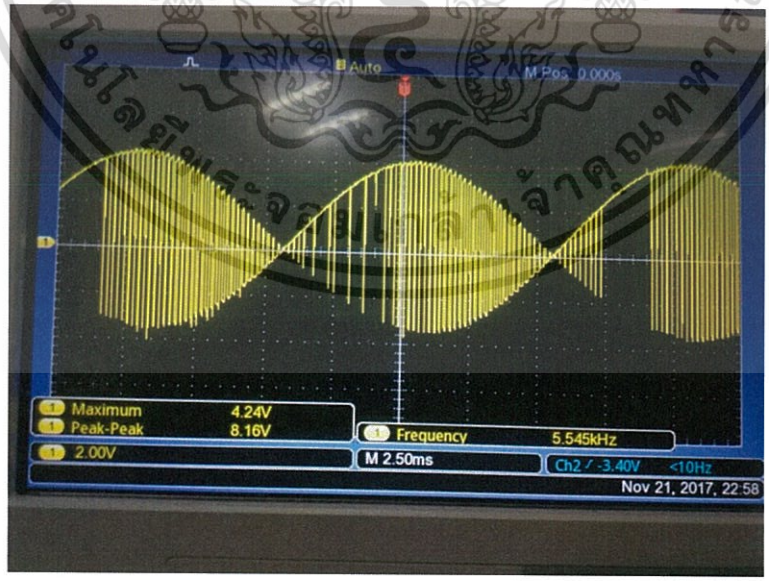
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. Input 3.0V



รูปที่ 4.9 สัญญาณที่ออกมาจาก IC2-A ที่ Input 3.0V

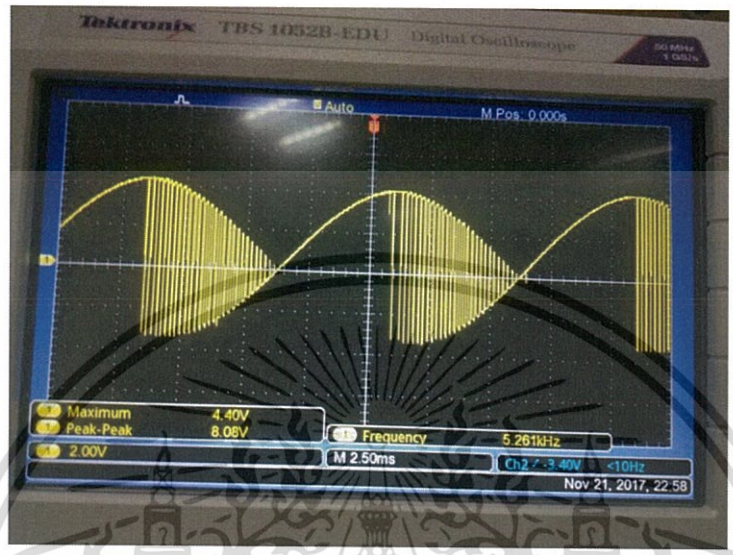
4. Input 4.0V



รูปที่ 4.10 สัญญาณที่ออกมาจาก IC2-A ที่ Input 4.0V

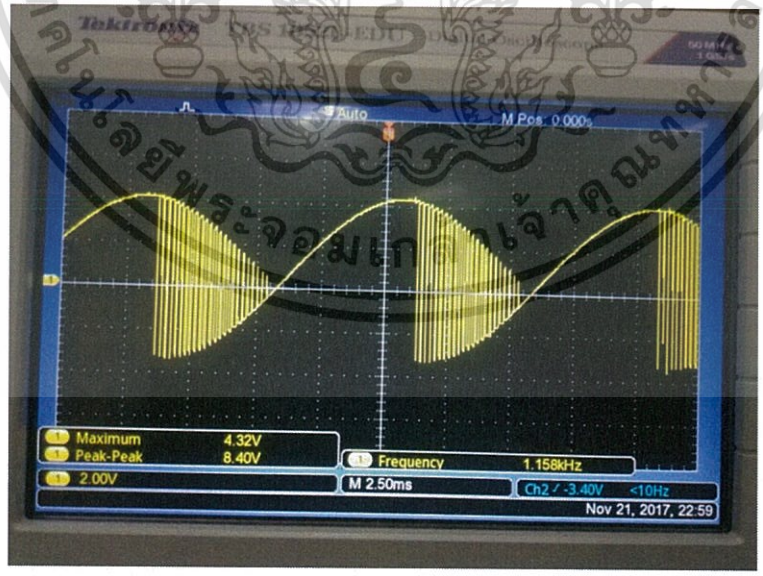
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. Input 5.0V



รูปที่ 4.11 สัญญาณที่ออกมาจาก IC2-A ที่ Input 5.0V

6. Input 6.0V



รูปที่ 4.12 สัญญาณที่ออกมาจาก IC2-A ที่ Input 6.0V

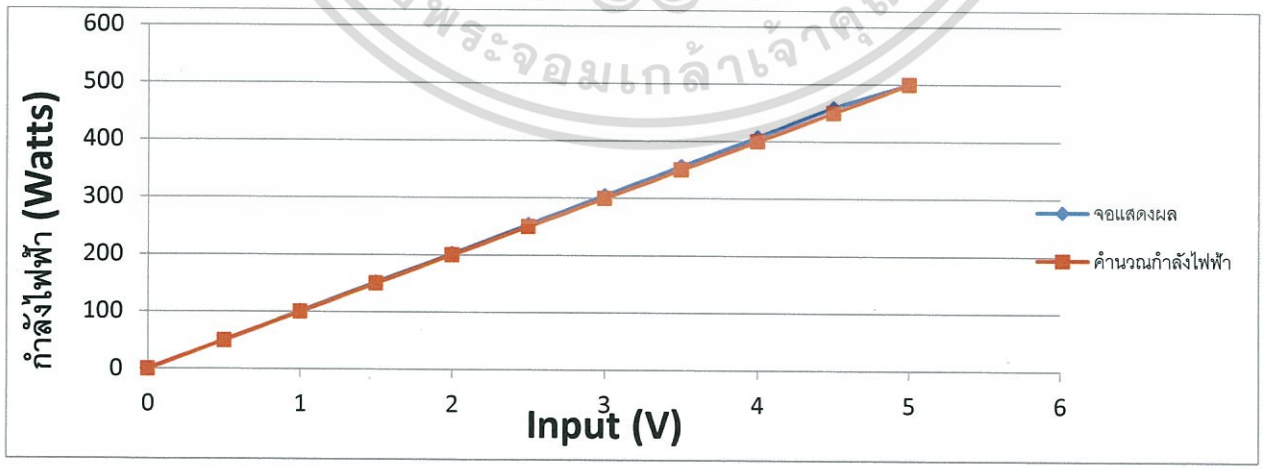
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4ทดสอบการแสดงผลของจอLCD

โดยการจำลองไฟกระแสตรง 0-5V ให้กับArduinoรับค่า แล้วนำมาแปลงและส่งต่อไปที่จอLCDเพื่อแสดงค่ากำลังไฟฟ้า

Input(V)	ค่าที่แสดง	ค่าที่ควรแสดงตามทฤษฎี
0	0	0
0.5	49.86	50
1	101.17	100
1.5	152.00	150
2	202.35	200
2.5	253.67	250
3	304.99	300
3.5	356.30	350
4	407.62	400
4.5	458.94	450
5	500.00	500

ตารางที่4 การแสดงผลของจอLCD



รูปที่ 4.13 กราฟแสดงความคลาดเคลื่อนของการแสดงผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

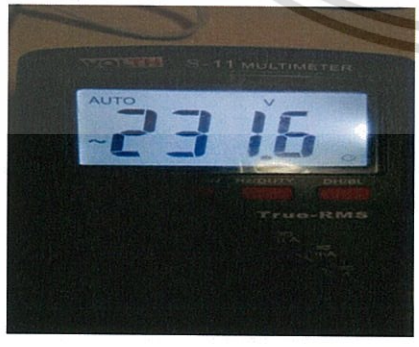
4.5ทดสอบเครื่องวัดกำลังไฟฟ้าโดยใช้เครื่องใช้ไฟฟ้าจริง

1.ทดสอบกับพัดลมกำลังไฟฟ้า 50 วัตต์

รูปที่ 4.14 วัดกำลังไฟฟ้าของพัดลม

ผลการทดสอบ วัดกำลังไฟฟ้าได้ 49.01 วัตต์ แล้ว ใช้มิเตอร์วัดแรงดันไฟฟ้าได้ 231.6V และวัดกระแสไฟฟ้าได้ 214mA

รูปที่ 4.15 จอแสดงผลเมื่อวัดกำลังไฟฟ้าของพัดลม



รูปที่ 4.16 วัดแรงดันไฟฟ้าของพัดลม

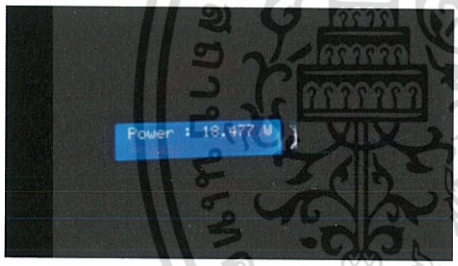
รูปที่ 4.17 วัดกระแสไฟฟ้าของพัดลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.ทดสอบกับหัวแร้งกำลังไฟฟ้า 20-130 วัตต์

รูปที่ 4.18 วัดกำลังไฟฟ้าของหัวแร้ง

ผลการทดสอบ วัดกำลังไฟฟ้าได้ 18.477 – 124.29 วัตต์ แล้ว ใช้มิเตอร์วัดแรงดันไฟฟ้าได้ 231.4V และวัดกระแสไฟฟ้าได้ 100 – 561 mA ตามลำดับ



รูปที่ 4.19 จอแสดงผลเมื่อวัดกำลังไฟฟ้าของหัวแร้ง20วัตต์

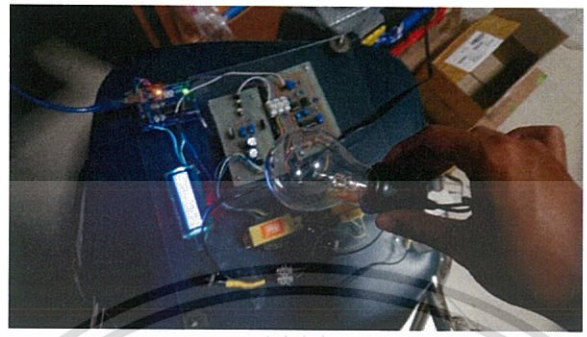
รูปที่ 4.20 จอแสดงผลเมื่อวัดกำลังไฟฟ้าของหัวแร้ง130วัตต์

รูปที่ 4.21 วัดกระแสไฟฟ้า ที่กำลังไฟ20วัตต์

รูปที่ 4.22 วัดกระแสไฟฟ้า ที่กำลังไฟ130วัตต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

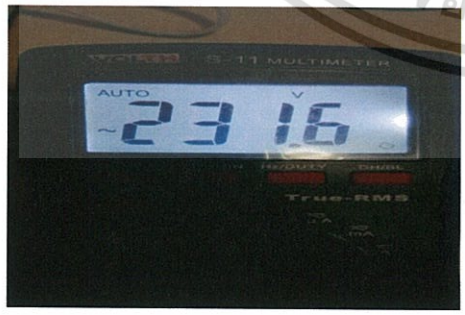
3.ทดสอบกับหลอดไส้กำลังไฟฟ้า 100 วัตต์



รูปที่ 4.23 วัดกำลังไฟฟ้าของหลอดไส้

ผลการทดสอบ วัดกำลังไฟฟ้าได้ 105.82 วัตต์ แล้ว ใช้มิเตอร์วัดแรงดันไฟฟ้าได้ 231.6V และวัดกระแสไฟฟ้าได้ 446mA

รูปที่ 4.24 จอแสดงผลเมื่อวัดกำลังไฟฟ้าของหลอดไส้



รูปที่ 4.25 วัดแรงดันไฟฟ้าของหลอดไส้

รูปที่ 4.26 วัดกระแสไฟฟ้าของหลอดไส้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง สรุปผลการทดลองด้วยเครื่องใช้ไฟฟ้าจริง

เครื่องใช้ไฟฟ้า	กำลังไฟฟ้าตามที่มีระบุ (วัตต์)	กำลังไฟฟ้าที่เครื่องสามารถวัดได้ (วัตต์)	แรงดันที่วัดได้ (V)	กระแสที่วัดได้ (mA)	ความคลาดเคลื่อนของกำลังไฟฟ้าที่วัดได้ (%)
หัวแร้ง	20	18.477	231.4	100	7.62
พัดลม	50	49.01	231.6	214	1.98
หลอดไส้	100	105.82	231.6	446	5.82
หัวแร้ง	130	124.29	231.4	561	4.39

ตารางที่5 สรุปผลการทดลองด้วยเครื่องใช้ไฟฟ้าจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองวงจรวัดกำลังไฟฟ้าจะเห็นได้ว่า เมื่อเพิ่มขนาด Input จาก Current Transformer จะทำให้สัญญาณ PWM จาก IC1-B มีการเปลี่ยนแปลง และส่งผลให้สวิตช์ IC3-A มีการเปิดปิดเปลี่ยนแปลงไป ทำให้ Output ของวงจรเปลี่ยนแปลงไปด้วย โดยวงจรจะให้ Output 0-5V ตามกำลังไฟฟ้า 0-500W

จากผลการทดลองการแสดงผลของจอ LCD โดยใช้ Arduino UNO R3 จะเห็นได้ว่า เมื่อได้รับ input ที่สูงขึ้น จะเกิดความคลาดเคลื่อนมากขึ้น ความคลาดเคลื่อนสูงสุดอยู่ที่ไม่เกิน 3%

จากผลการทดลองวัดกำลังไฟฟ้า โดยใช้เครื่องใช้ไฟฟ้าจริง จะเห็นได้ว่า เมื่อกำลังไฟฟ้าต่ำเครื่องจะมีเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนในการวัดสูงกว่าช่วงที่มีกำลังไฟฟ้าสูง โดยเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนจะมีค่าไม่เกิน ± 8 %

5.2 วิจารณ์ผลการทดลอง

จากผลการทดลองอาจมีการคลาดเคลื่อนเล็กน้อย เนื่องจากความคลาดเคลื่อนของตัวอุปกรณ์ต่างๆ รวมถึงบอร์ด Arduino เองก็มีความคลาดเคลื่อนด้วยเช่นเดียวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

[1] https://www.thitiblog.com/blog/6142

[2] https://www.edn.com/design/power-management/4439725/AC-power-measurement-uses-PWM---PAM

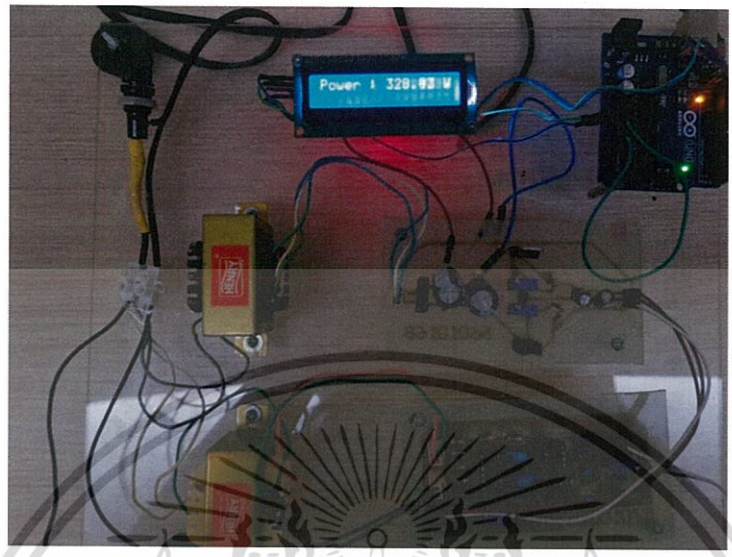
[3] https://sites.google.com/site/fifakrasaeslabnaka/kalang-khxng-fifakrasae-slab

[4] https://www.google.co.th/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web& cd=6&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwipo6LgyYHYAhUN2o8KHQBCACsQFghAMAU&url=http%3A%2F%2Fwww.pattayatech.ac.th%2Ffiles%2F150511088452532_15061515154349.doc&usg=AOvVaw2mMLsurhkXzO1t2OOBK-zf

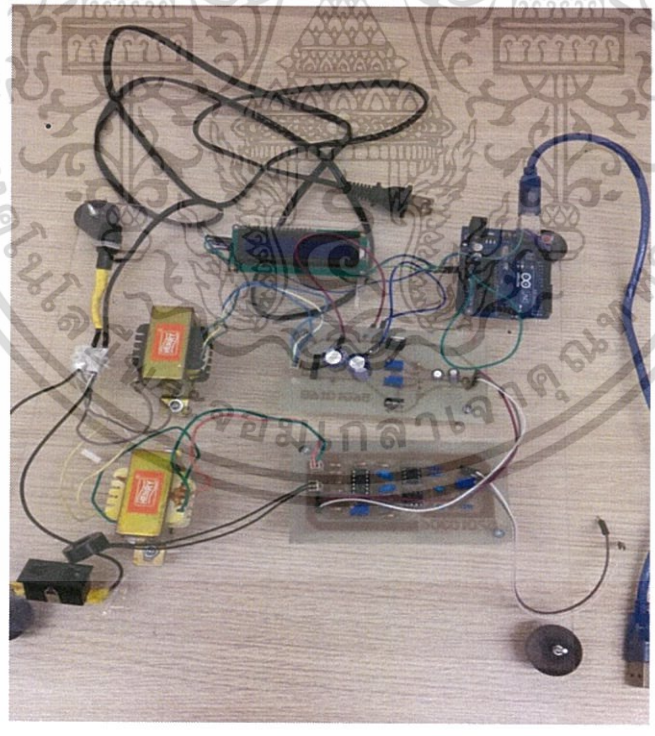
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ผ.1 การแสดงการทำงานของเครื่องวัดกำลังไฟฟ้า



รูปที่ ผ.2 เครื่องวัดกำลังไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

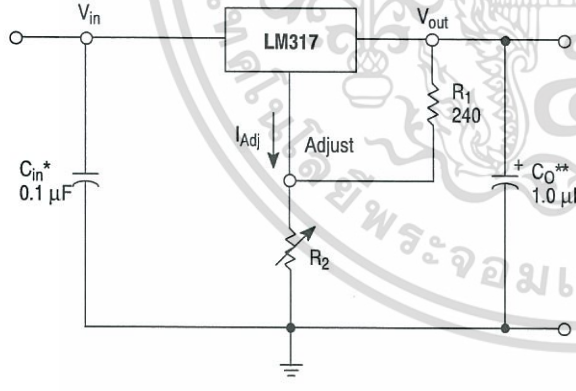
1.5 A Adjustable Output, Positive Voltage Regulator

The LM317 is an adjustable 3–terminal positive voltage regulator capable of supplying in excess of 1.5 A over an output voltage range of 1.2 V to 37 V. This voltage regulator is exceptionally easy to use and requires only two external resistors to set the output voltage. Further, it employs internal current limiting, thermal shutdown and safe area compensation, making it essentially blow–out proof.

The LM317 serves a wide variety of applications including local, on card regulation. This device can also be used to make a programmable output regulator, or by connecting a fixed resistor between the adjustment and output, the LM317 can be used as a precision current regulator.

- Output Current in Excess of 1.5 A
- Output Adjustable between 1.2 V and 37 V
- Internal Thermal Overload Protection
- Internal Short Circuit Current Limiting Constant with Temperature
- Output Transistor Safe–Area Compensation
- Floating Operation for High Voltage Applications
- Available in Surface Mount D^2PAK, and Standard 3–Lead Transistor Package
- Eliminates Stocking many Fixed Voltages

Standard Application



* C_{in} is required if regulator is located an appreciable distance from power supply filter.
** C_O is not needed for stability, however, it does improve transient response.

$$V_{out} = 1.25\,V\left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) + I_{Adj}R_2$$

Since I_{Adj} is controlled to less than 100 µA, the error associated with this term is negligible in most applications.

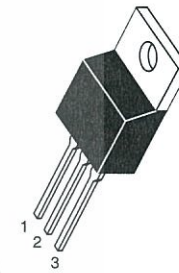
LM317

THREE–TERMINAL ADJUSTABLE POSITIVE VOLTAGE REGULATOR

SEMICONDUCTOR TECHNICAL DATA

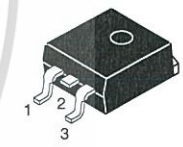
T SUFFIX
PLASTIC PACKAGE
CASE 221A

Heatsink surface connected to Pin 2.



Pin 1. Adjust
2. V_{out}
3. V_{in}

D2T SUFFIX
PLASTIC PACKAGE
CASE 936
(D^2PAK)



Heatsink surface (shown as terminal 4 in case outline drawing) is connected to Pin 2.

ORDERING INFORMATION

Device	Operating Temperature Range	Package
LM317BD2T	T_J = –40° to +125°C	Surface Mount
LM317BT		Insertion Mount
LM317D2T	T_J = 0° to +125°C	Surface Mount
LM317T		Insertion Mount

© Semiconductor Components Industries, LLC, 2002

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MAXIMUM RATINGS

Rating	Symbol	Value	Unit
Input–Output Voltage Differential	$V_I–V_O$	40	Vdc
Power Dissipation			
Case 221A			
T_A = +25°C	P_D	Internally Limited	W
Thermal Resistance, Junction–to–Ambient	θ_{JA}	65	°C/W
Thermal Resistance, Junction–to–Case	θ_{JC}	5.0	°C/W
Case 936 (D^2PAK)			
T_A = +25°C	P_D	Internally Limited	W
Thermal Resistance, Junction–to–Ambient	θ_{JA}	70	°C/W
Thermal Resistance, Junction–to–Case	θ_{JC}	5.0	°C/W
Operating Junction Temperature Range	T_J	–40 to +125	°C
Storage Temperature Range	T_{stg}	–65 to +150	°C

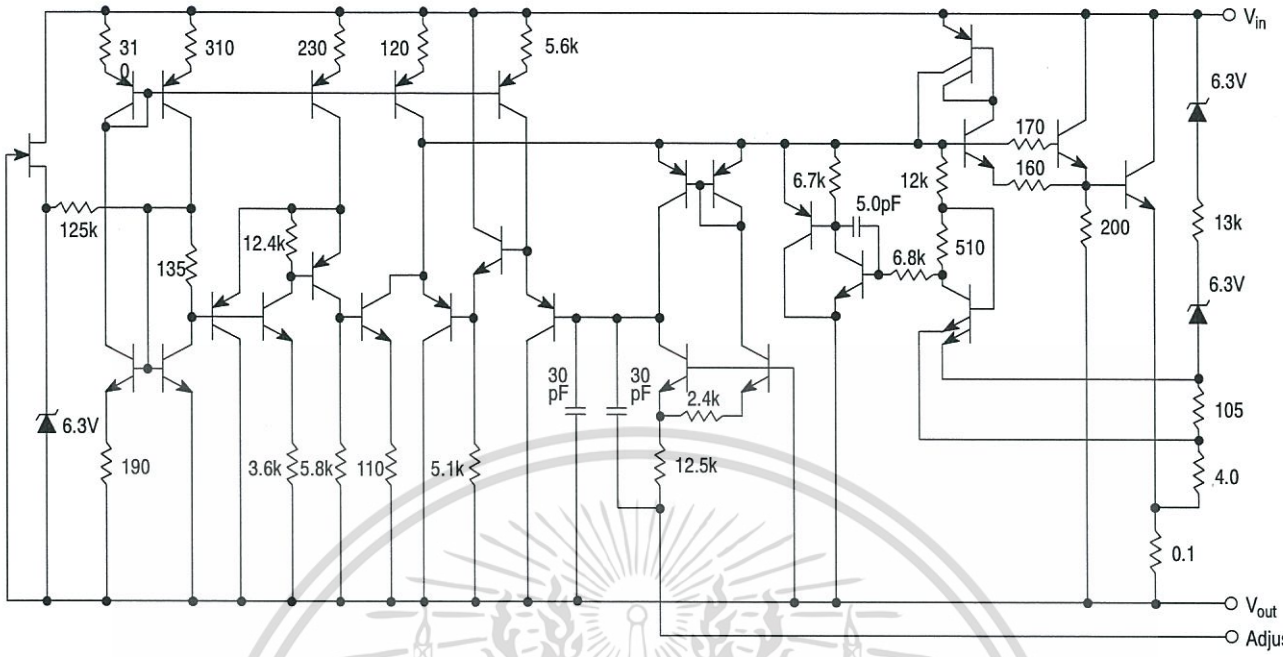
ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($V_I–V_O$ = 5.0 V; I_O = 0.5 A for D2T and T packages; $T_J = T_{low}$ to T_{high} [Note 1]; I_{max} and P_{max} [Note 2]; unless otherwise noted.)

Characteristics	Figure	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
Line Regulation (Note 3), T_A = +25°C, 3.0 V ≤ $V_I–V_O$ ≤ 40 V	1	Reg_{line}	–	0.01	0.04	%/V
Load Regulation (Note 3), T_A = +25°C, 10 mA ≤ I_O ≤ I_{max}	2	Reg_{load}				
V_O ≤ 5.0 V			–	5.0	25	mV
V_O ≥ 5.0 V			–	0.1	0.5	% V_O
Thermal Regulation, T_A = +25°C (Note 6), 20 ms Pulse		Reg_{therm}	–	0.03	0.07	% V_O/W
Adjustment Pin Current	3	I_{Adj}	–	50	100	μA
Adjustment Pin Current Change, 2.5 V ≤ $V_I–V_O$ ≤ 40 V, 10 mA ≤ I_L ≤ I_{max}, P_D ≤ P_{max}	1, 2	ΔI_{Adj}	–	0.2	5.0	μA
Reference Voltage, 3.0 V ≤ $V_I–V_O$ ≤ 40 V, 10 mA ≤ I_O ≤ I_{max}, P_D ≤ P_{max}	3	V_{ref}	1.2	1.25	1.3	V
Line Regulation (Note 3), 3.0 V ≤ $V_I–V_O$ ≤ 40 V	1	Reg_{line}	–	0.02	0.07	% V
Load Regulation (Note 3), 10 mA ≤ I_O ≤ I_{max}	2	Reg_{load}				
V_O ≤ 5.0 V			–	20	70	mV
V_O ≥ 5.0 V			–	0.3	1.5	% V_O
Temperature Stability (T_{low} ≤ T_J ≤ T_{high})	3	T_S	–	0.7	–	% V_O
Minimum Load Current to Maintain Regulation ($V_I–V_O$ = 40 V)	3	I_{Lmin}	–	3.5	10	mA
Maximum Output Current	3	I_{max}				A
$V_I–V_O$ ≤ 15 V, P_D ≤ P_{max}, T Package			1.5	2.2	–	
$V_I–V_O$ = 40 V, P_D ≤ P_{max}, T_A = +25°C, T Package			0.15	0.4	–	
RMS Noise, % of V_O, T_A = +25°C, 10 Hz ≤ f ≤ 10 kHz		N	–	0.003	–	% V_O
Ripple Rejection, V_O = 10 V, f = 120 Hz (Note 4)	4	RR				dB
Without C_{Adj}			–	65	–	
C_{Adj} = 10 μF			66	80	–	
Long–Term Stability, $T_J = T_{high}$ (Note 5), T_A = +25°C for Endpoint Measurements	3	S	–	0.3	1.0	%/1.0 k Hrs.
Thermal Resistance Junction to Case, T Package		$R_{\theta JC}$	–	5.0	–	°C/W

NOTES: 1. T_{low} to T_{high} = 0° to +125°C, for LM317T, D2T. T_{low} to T_{high} = –40° to +125°C, for LM317BT, BD2T.
2. I_{max} = 1.5 A, P_{max} = 20 W
3. Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in V_O due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty cycle is used.
4. C_{Adj}, when used, is connected between the adjustment pin and ground.
5. Since Long–Term Stability cannot be measured on each device before shipment, this specification is an engineering estimate of average stability from lot to lot.
6. Power dissipation within an IC voltage regulator produces a temperature gradient on the die, affecting individual IC components on the die. These effects can be minimized by proper integrated circuit design and layout techniques. Thermal Regulation is the effect of these temperature gradients on the output voltage and is expressed in percentage of output change per watt of power change in a specified time.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Representative Schematic Diagram



This device contains 29 active transistors.

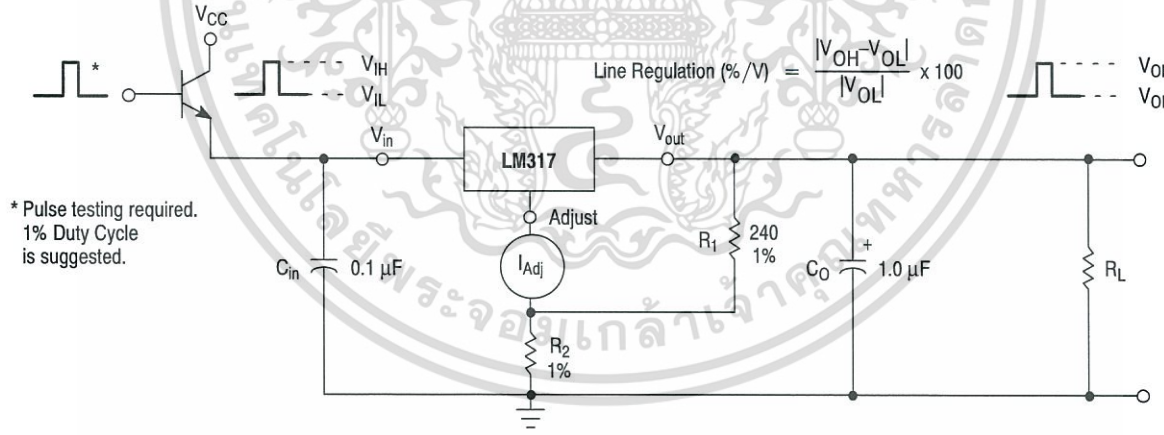
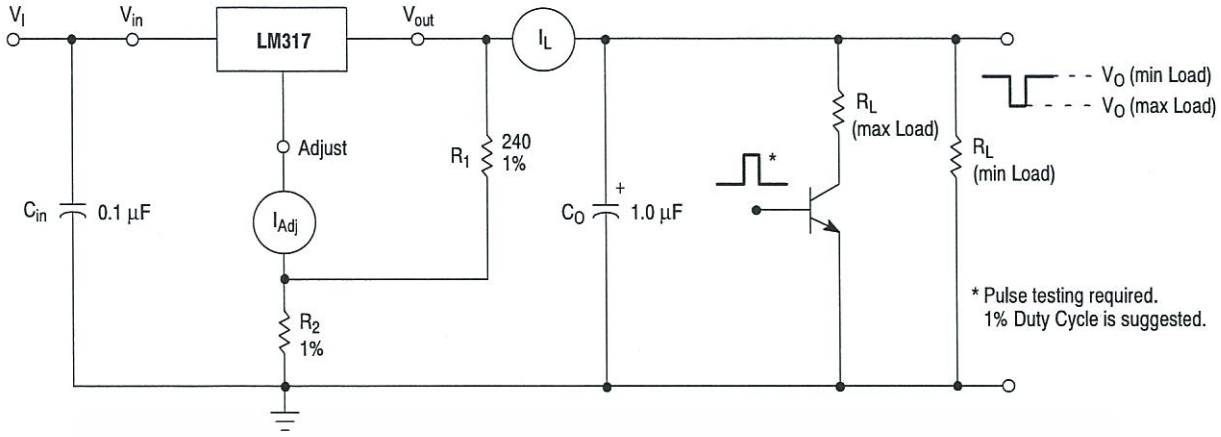


Figure 1. Line Regulation and ΔI_{Adj}/Line Test Circuit

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Load Regulation (mV) = V_O (min Load) – V_O (max Load)

Load Regulation (% V_O) = $\frac{V_O \text{ (min Load)} - V_O \text{ (max Load)}}{V_O \text{ (min Load)}}$ x 100

Figure 2. Load Regulation and ΔI_{Adj}/Load Test Circuit

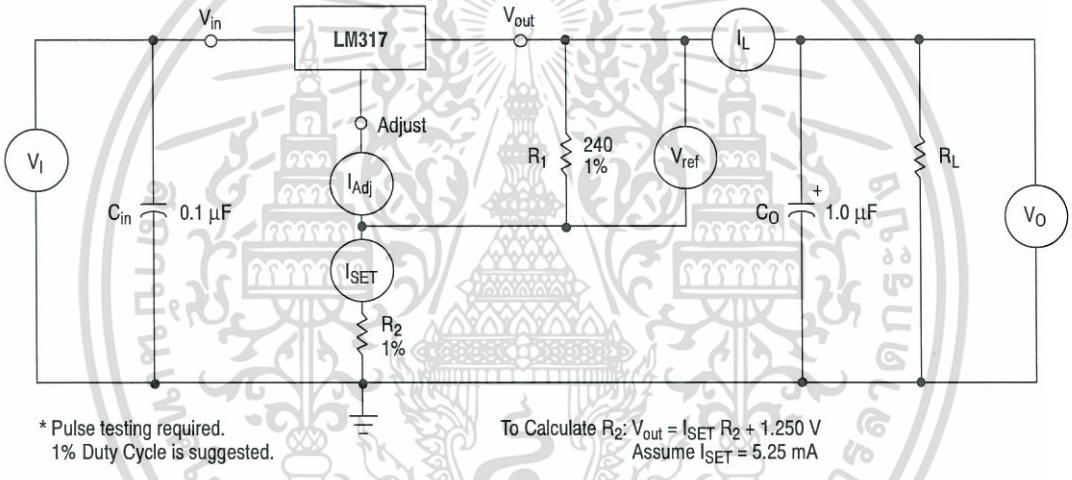


Figure 3. Standard Test Circuit

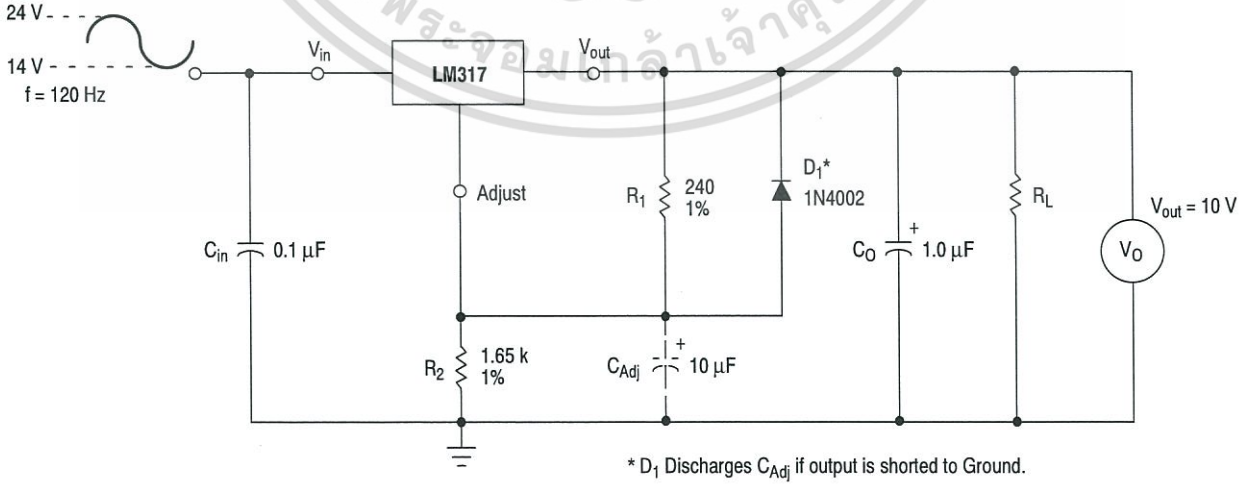


Figure 4. Ripple Rejection Test Circuit

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

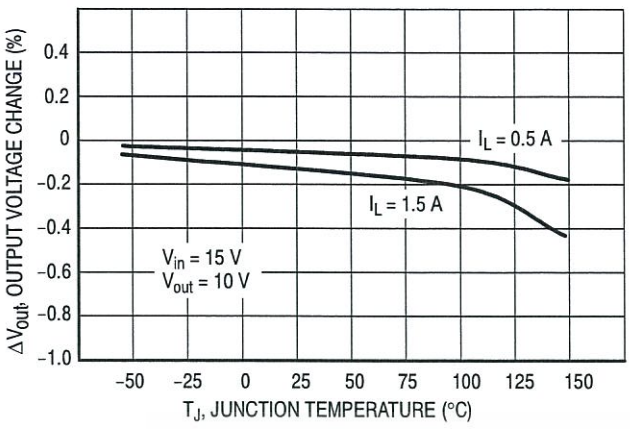


Figure 5. Load Regulation

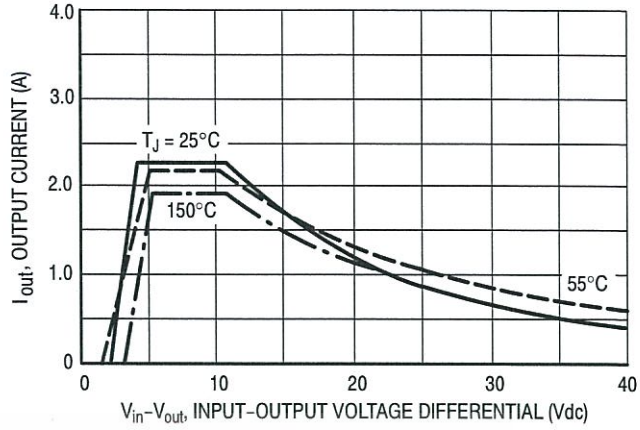


Figure 6. Current Limit

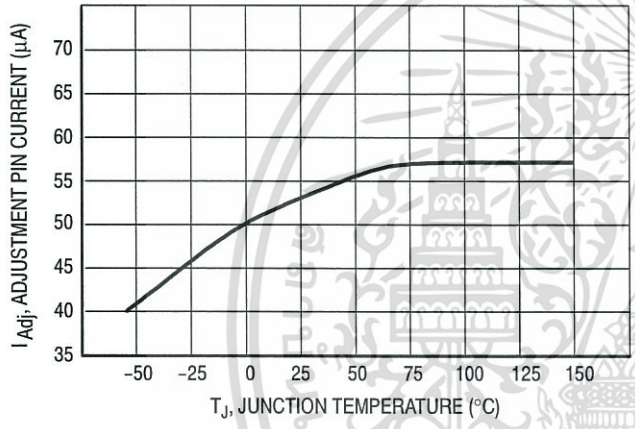


Figure 7. Adjustment Pin Current

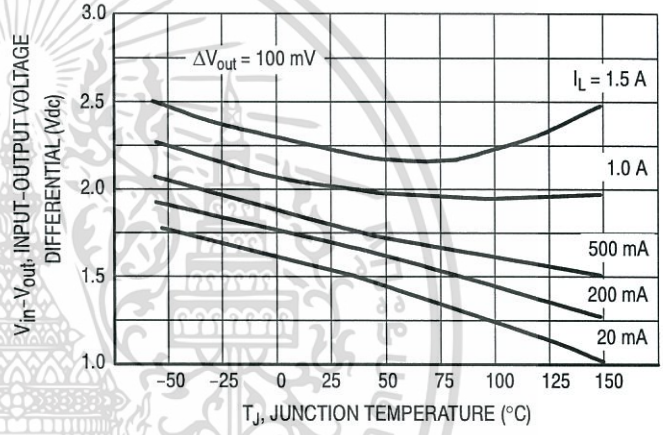


Figure 8. Dropout Voltage

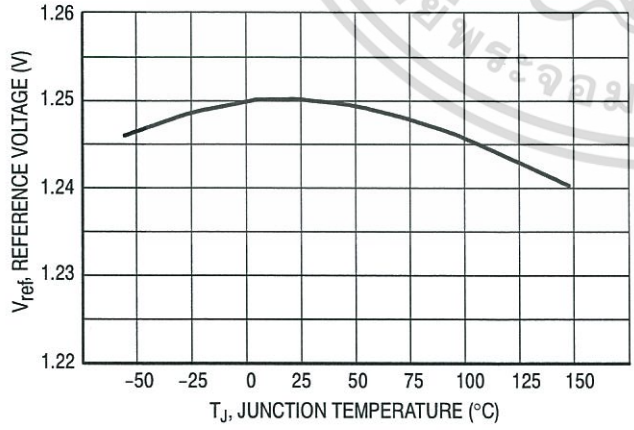


Figure 9. Temperature Stability

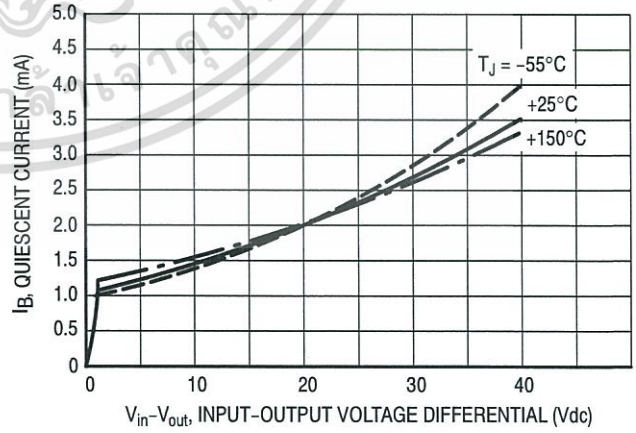


Figure 10. Minimum Operating Current

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

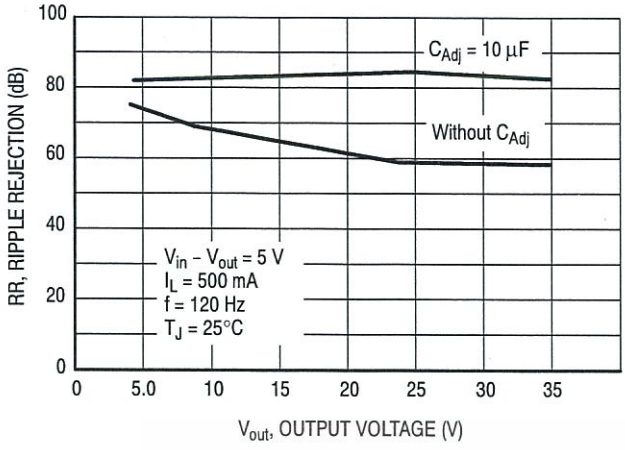


Figure 11. Ripple Rejection versus Output Voltage

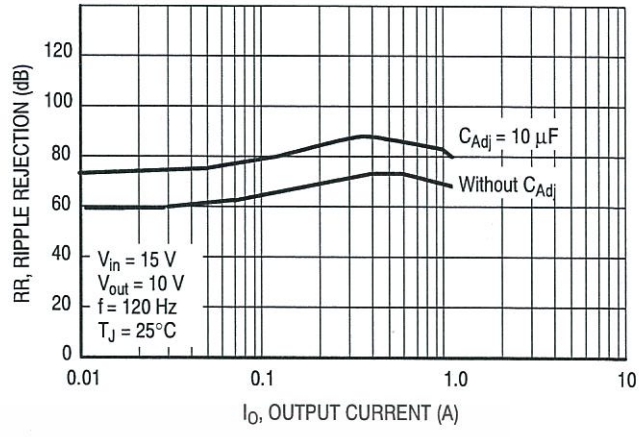


Figure 12. Ripple Rejection versus Output Current

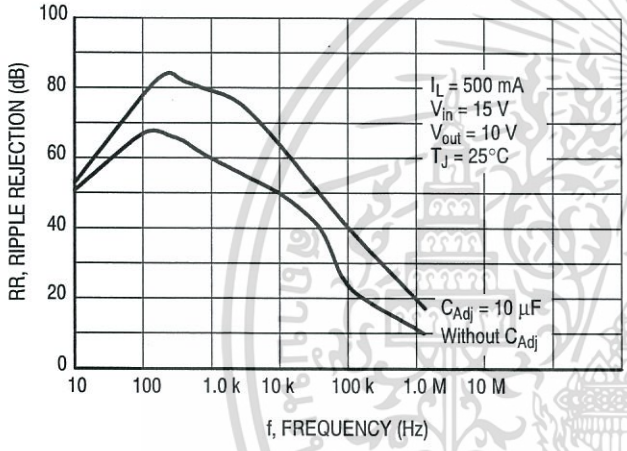


Figure 13. Ripple Rejection versus Frequency

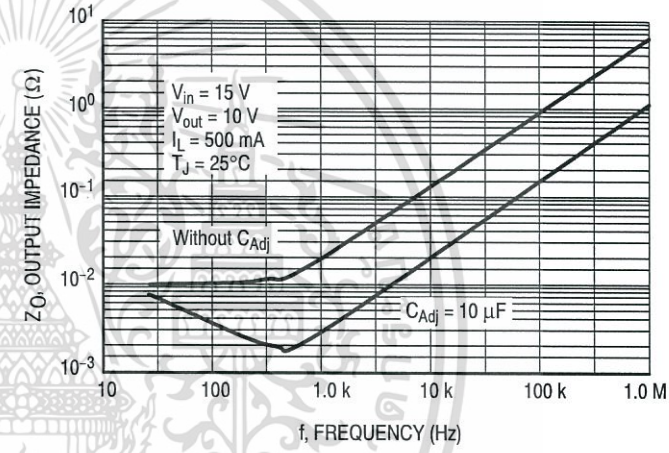


Figure 14. Output Impedance

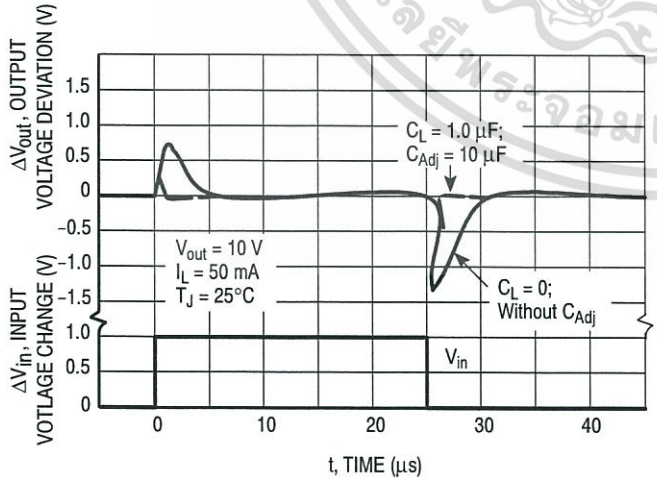


Figure 15. Line Transient Response

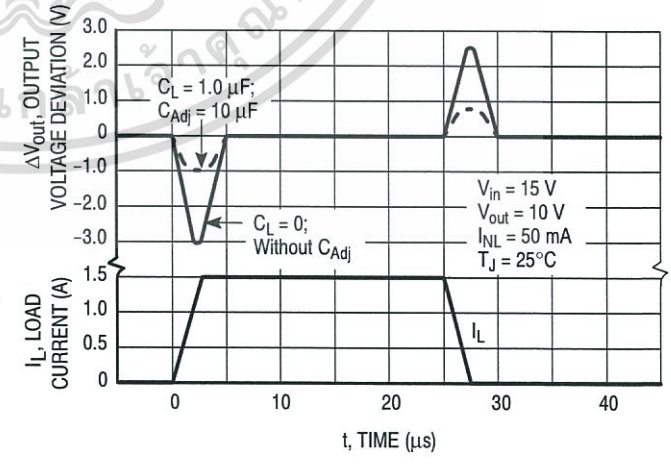


Figure 16. Load Transient Response

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

APPLICATIONS INFORMATION

Basic Circuit Operation

The LM317 is a 3–terminal floating regulator. In operation, the LM317 develops and maintains a nominal 1.25 V reference (V_{ref}) between its output and adjustment terminals. This reference voltage is converted to a programming current (I_{PROG}) by R_1 (see Figure 17), and this constant current flows through R_2 to ground.

The regulated output voltage is given by:

$$V_{out} = V_{ref}\left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) + I_{Adj}R_2$$

Since the current from the adjustment terminal (I_{Adj}) represents an error term in the equation, the LM317 was designed to control I_{Adj} to less than 100 μA and keep it constant. To do this, all quiescent operating current is returned to the output terminal. This imposes the requirement for a minimum load current. If the load current is less than this minimum, the output voltage will rise.

Since the LM317 is a floating regulator, it is only the voltage differential across the circuit which is important to performance, and operation at high voltages with respect to ground is possible.

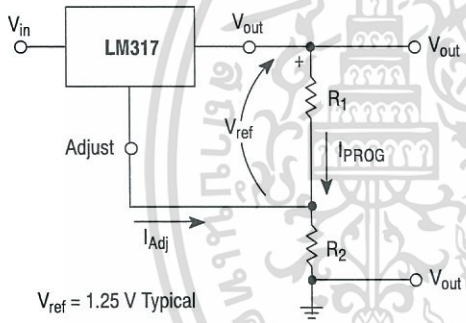


Figure 17. Basic Circuit Configuration

Load Regulation

The LM317 is capable of providing extremely good load regulation, but a few precautions are needed to obtain maximum performance. For best performance, the programming resistor (R_1) should be connected as close to the regulator as possible to minimize line drops which effectively appear in series with the reference, thereby degrading regulation. The ground end of R_2 can be returned near the load ground to provide remote ground sensing and improve load regulation.

External Capacitors

A 0.1 μF disc or 1.0 μF tantalum input bypass capacitor (C_{in}) is recommended to reduce the sensitivity to input line impedance.

The adjustment terminal may be bypassed to ground to improve ripple rejection. This capacitor (C_{Adj}) prevents ripple from being amplified as the output voltage is increased. A 10 μF capacitor should improve ripple rejection about 15 dB at 120 Hz in a 10 V application.

Although the LM317 is stable with no output capacitance, like any feedback circuit, certain values of external capacitance can cause excessive ringing. An output capacitance (C_O) in the form of a 1.0 μF tantalum or 25 μF aluminum electrolytic capacitor on the output swamps this effect and insures stability.

Protection Diodes

When external capacitors are used with any IC regulator it is sometimes necessary to add protection diodes to prevent the capacitors from discharging through low current points into the regulator.

Figure 18 shows the LM317 with the recommended protection diodes for output voltages in excess of 25 V or high capacitance values (C_O > 25 μF, C_{Adj} > 10 μF). Diode D_1 prevents C_O from discharging thru the IC during an input short circuit. Diode D_2 protects against capacitor C_{Adj} discharging through the IC during an output short circuit. The combination of diodes D_1 and D_2 prevents C_{Adj} from discharging through the IC during an input short circuit.

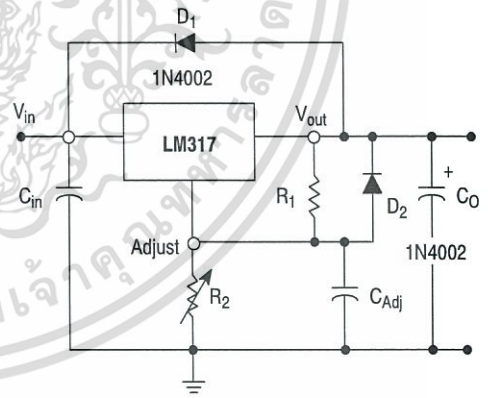


Figure 18. Voltage Regulator with Protection Diodes

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า การแสวงหากำไร
http://onsemi.com

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

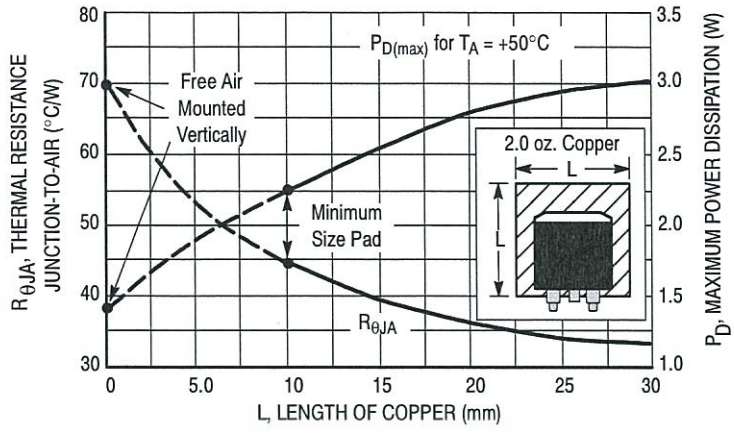


Figure 19. D²PAK Thermal Resistance and Maximum Power Dissipation versus P.C.B. Copper Length

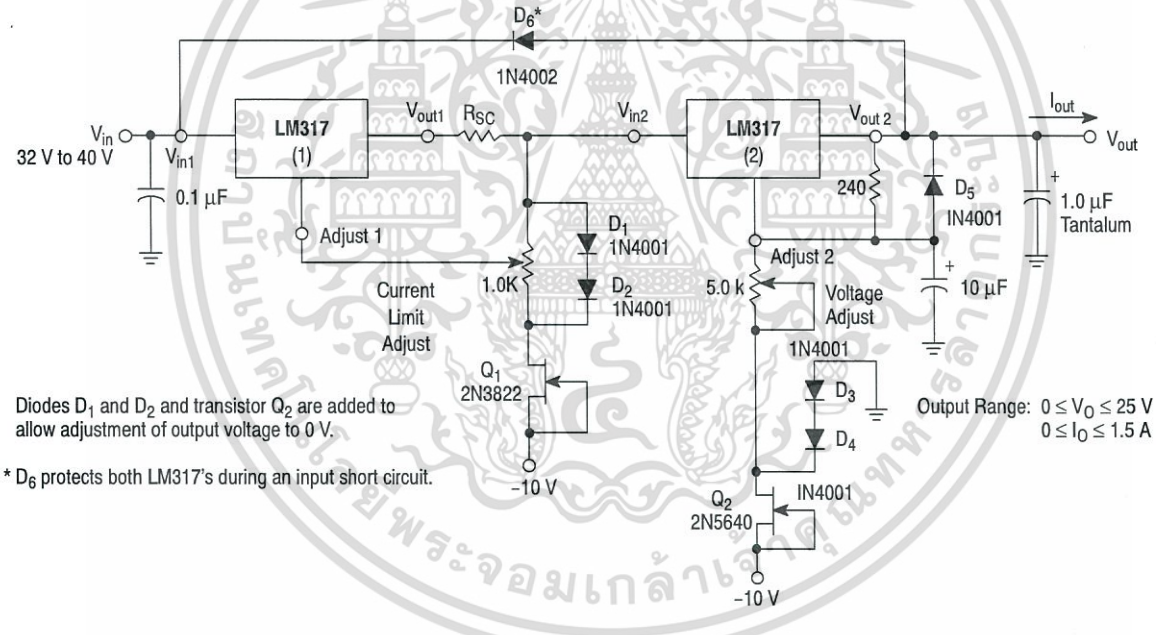
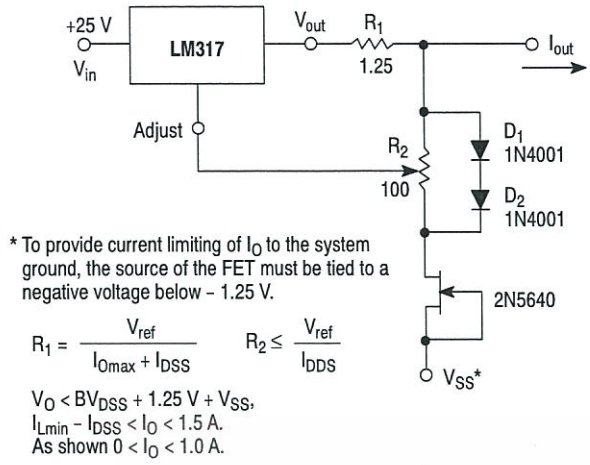


Figure 20. "Laboratory" Power Supply with Adjustable Current Limit and Output Voltage

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

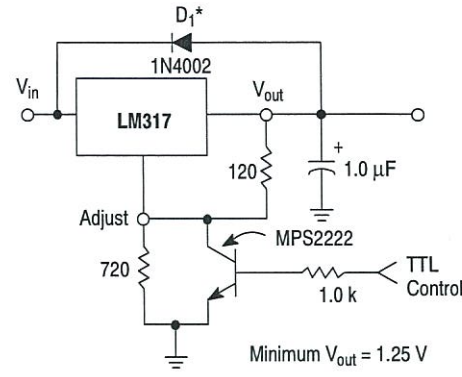


* To provide current limiting of I_O to the system ground, the source of the FET must be tied to a negative voltage below − 1.25 V.

$$R_1 = \frac{V_{ref}}{I_{Omax} + I_{DSS}} \qquad R_2 \leq \frac{V_{ref}}{I_{DDS}}$$

$V_O < BV_{DSS} + 1.25\ V + V_{SS}$,
$I_{Lmin} - I_{DSS} < I_O < 1.5\ A$.
As shown $0 < I_O < 1.0\ A$.

Figure 21. Adjustable Current Limiter



* D_1 protects the device during an input short circuit.

Figure 22. 5.0 V Electronic Shutdown Regulator

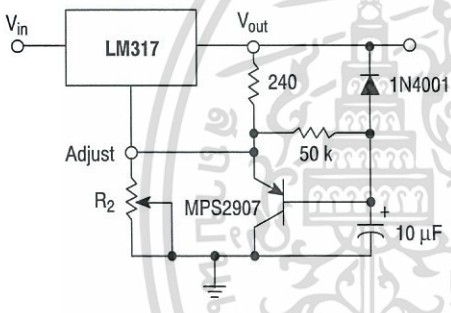


Figure 23. Slow Turn−On Regulator

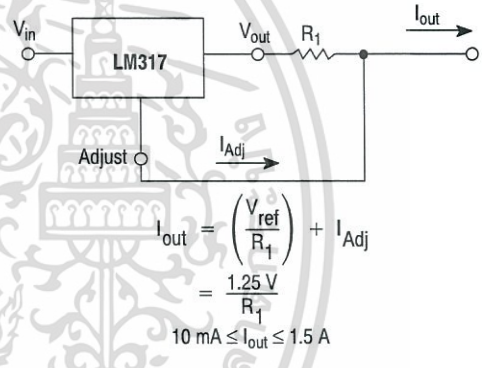


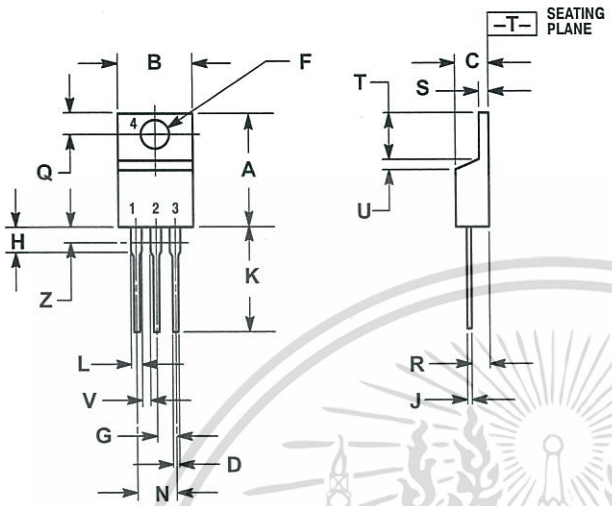
Figure 24. Current Regulator

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PACKAGE DIMENSIONS

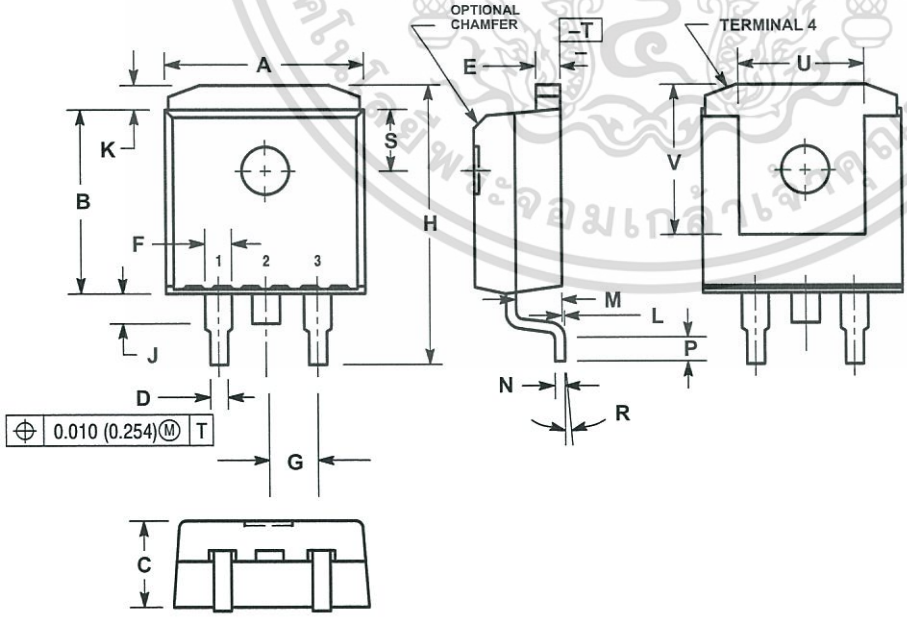
T SUFFIX
PLASTIC PACKAGE
CASE 221A–09
ISSUE AA



NOTES:
1. DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ANSI Y14.5M, 1982.
2. CONTROLLING DIMENSION: INCH.
3. DIMENSION Z DEFINES A ZONE WHERE ALL BODY AND LEAD IRREGULARITIES ARE ALLOWED.

	INCHES		MILLIMETERS	
DIM	MIN	MAX	MIN	MAX
A	0.570	0.620	14.48	15.75
B	0.380	0.405	9.66	10.28
C	0.160	0.190	4.07	4.82
D	0.025	0.035	0.64	0.88
F	0.142	0.147	3.61	3.73
G	0.095	0.105	2.42	2.66
H	0.110	0.155	2.80	3.93
J	0.018	0.025	0.46	0.64
K	0.500	0.562	12.70	14.27
L	0.045	0.060	1.15	1.52
N	0.190	0.210	4.83	5.33
Q	0.100	0.120	2.54	3.04
R	0.080	0.110	2.04	2.79
S	0.045	0.055	1.15	1.39
T	0.235	0.255	5.97	6.47
U	0.000	0.050	0.00	1.27
V	0.045	---	1.15	---
Z	---	0.080	---	2.04

D2T SUFFIX
PLASTIC PACKAGE
CASE 936–03
(D^2PAK)
ISSUE B



NOTES:
1. DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ANSI Y14.5M, 1982.
2. CONTROLLING DIMENSION: INCH.
3. TAB CONTOUR OPTIONAL WITHIN DIMENSIONS A AND K.
4. DIMENSIONS U AND V ESTABLISH A MINIMUM MOUNTING SURFACE FOR TERMINAL 4.
5. DIMENSIONS A AND B DO NOT INCLUDE MOLD FLASH OR GATE PROTRUSIONS. MOLD FLASH AND GATE PROTRUSIONS NOT TO EXCEED 0.025 (0.635) MAXIMUM.

	INCHES		MILLIMETERS	
DIM	MIN	MAX	MIN	MAX
A	0.386	0.403	9.804	10.236
B	0.356	0.368	9.042	9.347
C	0.170	0.180	4.318	4.572
D	0.026	0.036	0.660	0.914
E	0.045	0.055	1.143	1.397
F	0.051 REF		1.295 REF	
G	0.100 BSC		2.540 BSC	
H	0.539	0.579	13.691	14.707
J	0.125 MAX		3.175 MAX	
K	0.050 REF		1.270 REF	
L	0.000	0.010	0.000	0.254
M	0.088	0.102	2.235	2.591
N	0.018	0.026	0.457	0.660
P	0.058	0.078	1.473	1.981
R	5° REF		5° REF	
S	0.116 REF		2.946 REF	
U	0.200 MIN		5.080 MIN	
V	0.250 MIN		6.350 MIN	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Notes

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ON Semiconductor and are trademarks of Semiconductor Components Industries, LLC (SCILLC). SCILLC reserves the right to make changes without further notice to any products herein. SCILLC makes no warranty, representation or guarantee regarding the suitability of its products for any particular purpose, nor does SCILLC assume any liability arising out of the application or use of any product or circuit, and specifically disclaims any and all liability, including without limitation special, consequential or incidental damages. "Typical" parameters which may be provided in SCILLC data sheets and/or specifications can and do vary in different applications and actual performance may vary over time. All operating parameters, including "Typicals" must be validated for each customer application by customer's technical experts. SCILLC does not convey any license under its patent rights nor the rights of others. SCILLC products are not designed, intended, or authorized for use as components in systems intended for surgical implant into the body, or other applications intended to support or sustain life, or for any other application in which the failure of the SCILLC product could create a situation where personal injury or death may occur. Should Buyer purchase or use SCILLC products for any such unintended or unauthorized application, Buyer shall indemnify and hold SCILLC and its officers, employees, subsidiaries, affiliates, and distributors harmless against all claims, costs, damages, and expenses, and reasonable attorney fees arising out of, directly or indirectly, any claim of personal injury or death associated with such unintended or unauthorized use, even if such claim alleges that SCILLC was negligent regarding the design or manufacture of the part. SCILLC is an Equal Opportunity/Affirmative Action Employer.

PUBLICATION ORDERING INFORMATION

Literature Fulfillment:
Literature Distribution Center for ON Semiconductor
P.O. Box 5163, Denver, Colorado 80217 USA
Phone: 303–675–2175 or 800–344–3860 Toll Free USA/Canada
Fax: 303–675–2176 or 800–344–3867 Toll Free USA/Canada
Email: ONlit@hibbertco.com

N. American Technical Support: 800–282–9855 Toll Free USA/Canada

JAPAN: ON Semiconductor, Japan Customer Focus Center
4–32–1 Nishi–Gotanda, Shinagawa–ku, Tokyo, Japan 141–0031
Phone: 81–3–5740–2700
Email: r14525@onsemi.com

ON Semiconductor Website: http://onsemi.com

For additional information, please contact your local
Sales Representative.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Order this document by LM337/D

MOTOROLA

LM337

Three-Terminal Adjustable Output Negative Voltage Regulator

The LM337 is an adjustable 3–terminal negative voltage regulator capable of supplying in excess of 1.5 A over an output voltage range of –1.2 V to –37 V. This voltage regulator is exceptionally easy to use and requires only two external resistors to set the output voltage. Further, it employs internal current limiting, thermal shutdown and safe area compensation, making it essentially blow–out proof.

The LM337 serves a wide variety of applications including local, on card regulation. This device can also be used to make a programmable output regulator, or by connecting a fixed resistor between the adjustment and output, the LM337 can be used as a precision current regulator.

- Output Current in Excess of 1.5 A
- Output Adjustable between –1.2 V and –37 V
- Internal Thermal Overload Protection
- Internal Short Circuit Current Limiting Constant with Temperature
- Output Transistor Safe–Area Compensation
- Floating Operation for High Voltage Applications
- Eliminates Stocking many Fixed Voltages
- Available in Surface Mount D^2PAK and Standard 3–Lead Transistor Package

THREE–TERMINAL ADJUSTABLE NEGATIVE VOLTAGE REGULATOR

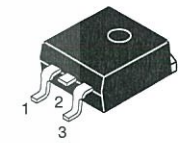
SEMICONDUCTOR TECHNICAL DATA

T SUFFIX
PLASTIC PACKAGE
CASE 221A

Heatsink surface connected to Pin 2.

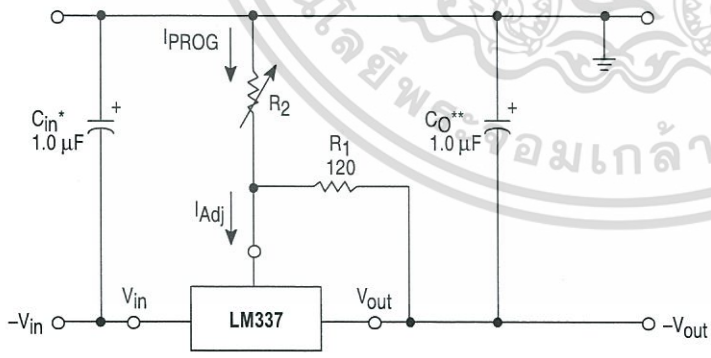
Pin 1. Adjust
2. V_{in}
3. V_{out}

D2T SUFFIX
PLASTIC PACKAGE
CASE 936
(D^2PAK)



Heatsink surface (shown as terminal 4 in case outline drawing) is connected to Pin 2.

Standard Application



* C_{in} is required if regulator is located more than 4 inches from power supply filter. A 1.0 µF solid tantalum or 10 µF aluminum electrolytic is recommended.

** C_O is necessary for stability. A 1.0 µF solid tantalum or 10 µF aluminum electrolytic is recommeded.

$$V_{out} = -1.25\ V\left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)$$

ORDERING INFORMATION

Device	Operating Temperature Range	Package
LM337BD2T	T_J = –40° to +125°C	Surface Mount
LM337BT		Insertion Mount
LM337D2T	T_J = 0° to +125°C	Surface Mount
LM337T		Insertion Mount

© Motorola, Inc. 1996

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MAXIMUM RATINGS

Rating	Symbol	Value	Unit
Input–Output Voltage Differential	$V_I–V_O$	40	Vdc
Power Dissipation			
Case 221A			
T_A = +25°C	P_D	Internally Limited	W
Thermal Resistance, Junction–to–Ambient	θ_{JA}	65	°C/W
Thermal Resistance, Junction–to–Case	θ_{JC}	5.0	°C/W
Case 936 (D^2PAK)			
T_A = +25°C	P_D	Internally Limited	W
Thermal Resistance, Junction–to–Ambient	θ_{JA}	70	°C/W
Thermal Resistance, Junction–to–Case	θ_{JC}	5.0	°C/W
Operating Junction Temperature Range	T_J	–40 to +125	°C
Storage Temperature Range	T_{stg}	–65 to +150	°C

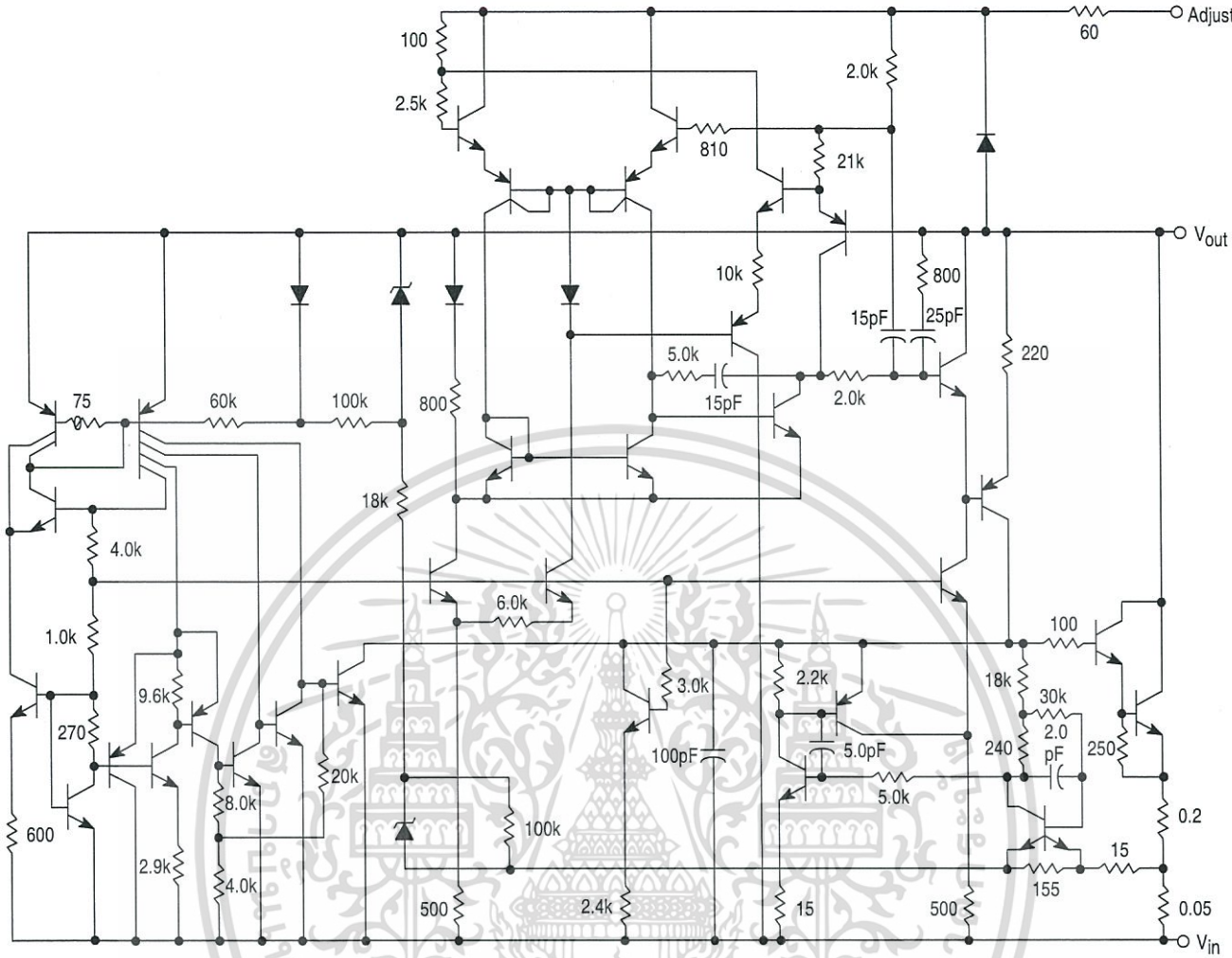
ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($|V_I–V_O|$ = 5.0 V; I_O = 0.5 A for T package; $T_J = T_{low}$ to T_{high} [Note 1]; I_{max} and P_{max} [Note 2].)

Characteristics	Figure	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
Line Regulation (Note 3), T_A = +25°C, 3.0 V ≤ $\|V_I–V_O\|$ ≤ 40 V	1	Reg_{line}	–	0.01	0.04	%/V
Load Regulation (Note 3), T_A = +25°C, 10 mA ≤ I_O ≤ I_{max}	2	Reg_{load}				
$\|V_O\|$ ≤ 5.0 V			–	15	50	mV
$\|V_O\|$ ≥ 5.0 V			–	0.3	1.0	% V_O
Thermal Regulation, T_A = +25°C (Note 6), 10 ms Pulse		Reg_{therm}	–	0.003	0.04	% V_O/W
Adjustment Pin Current	3	I_{Adj}	–	65	100	µA
Adjustment Pin Current Change, 2.5 V ≤ $\|V_I–V_O\|$ ≤ 40 V, 10 mA ≤ I_L ≤ I_{max}, P_D ≤ P_{max}, T_A = +25°C	1, 2	ΔI_{Adj}	–	2.0	5.0	µA
Reference Voltage, T_A = +25°C, 3.0 V ≤ $\|V_I–V_O\|$ ≤ 40 V, 10 mA ≤ I_O ≤ I_{max}, P_D ≤ P_{max}, $T_J = T_{low}$ to T_{high}	3	V_{ref}	–1.213 –1.20	–1.250 –1.25	–1.287 –1.30	V
Line Regulation (Note 3), 3.0 V ≤ $\|V_I–V_O\|$ ≤ 40 V	1	Reg_{line}	–	0.02	0.07	%/V
Load Regulation (Note 3), 10 mA ≤ I_O ≤ I_{max}	2	Reg_{load}				
$\|V_O\|$ ≤ 5.0 V			–	20	70	mV
$\|V_O\|$ ≥ 5.0 V			–	0.3	1.5	% V_O
Temperature Stability (T_{low} ≤ T_J ≤ T_{high})	3	T_S	–	0.6	–	% V_O
Minimum Load Current to Maintain Regulation	3	I_{Lmin}				mA
($\|V_I–V_O\|$ ≤ 10 V)			–	1.5	6.0	
($\|V_I–V_O\|$ ≤ 40 V)			–	2.5	10	
Maximum Output Current	3	I_{max}				A
$\|V_I–V_O\|$ ≤ 15 V, P_D ≤ P_{max}, T Package			–	1.5	2.2	
$\|V_I–V_O\|$ ≤ 40 V, P_D ≤ P_{max}, T_J = +25°C, T Package			–	0.15	0.4	
RMS Noise, % of V_O, T_A = +25°C, 10 Hz ≤ f ≤ 10 kHz		N	–	0.003	–	% V_O
Ripple Rejection, V_O = –10 V, f = 120 Hz (Note 4)	4	RR				dB
Without C_{Adj}			–	60	–	
C_{Adj} = 10 µF			66	77	–	
Long–Term Stability, $T_J = T_{high}$ (Note 5), T_A = +25°C for Endpoint Measurements	3	S	–	0.3	1.0	%/1.0 k Hrs.
Thermal Resistance Junction–to–Case, T Package		$R_{\theta JC}$	–	4.0	–	°C/W

NOTES: 1. T_{low} to T_{high} = 0° to +125°C, for LM337T, D2T. T_{low} to T_{high} = –40° to +125°C, for LM337BT, BD2T.
2. I_{max} = 1.5 A, P_{max} = 20 W
3. Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Change in V_O because of heating effects is covered under the Thermal Regulation specification. Pulse testing with a low duty cycle is used.
4. C_{Adj}, when used, is connected between the adjustment pin and ground.
5. Since Long Term Stability cannot be measured on each device before shipment, this specification is an engineering estimate of average stability from lot to lot.
6. Power dissipation within an IC voltage regulator produces a temperature gradient on the die, affecting individual IC components on the die. These effects can be minimized by proper integrated circuit design and layout techniques. Thermal Regulation is the effect of these temperature gradients on the output voltage and is expressed in percentage of output change per watt of power change in a specified time.

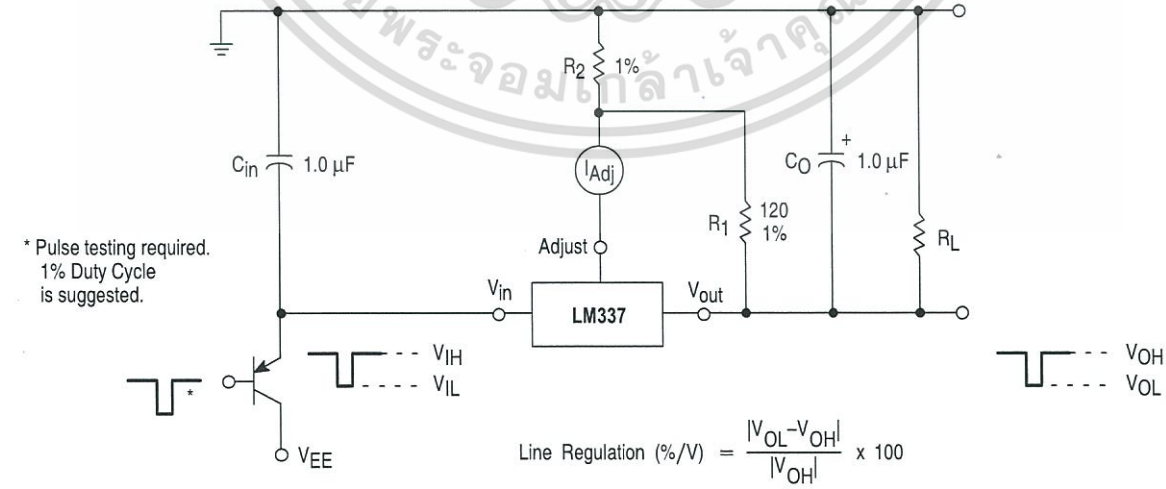
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Representative Schematic Diagram



This device contains 39 active transistors.

Figure 1. Line Regulation and ΔI_{Adj}/Line Test Circuit

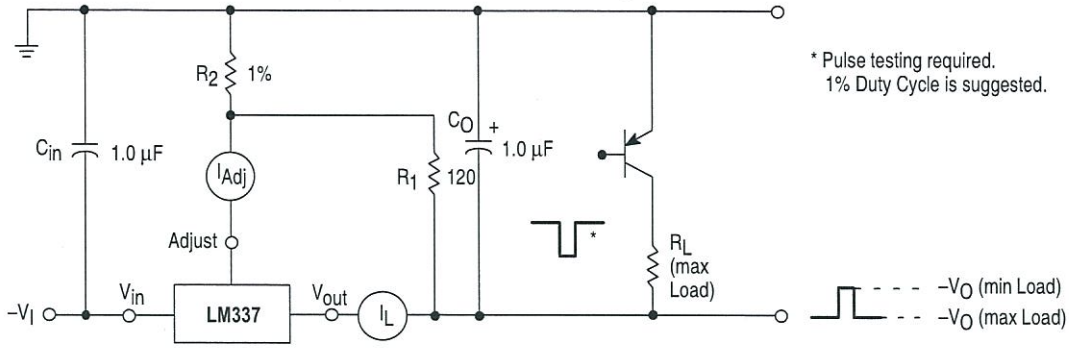


* Pulse testing required. 1% Duty Cycle is suggested.

$$\text{Line Regulation } (\%/V) = \frac{|V_{OL}-V_{OH}|}{|V_{OH}|} \times 100$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

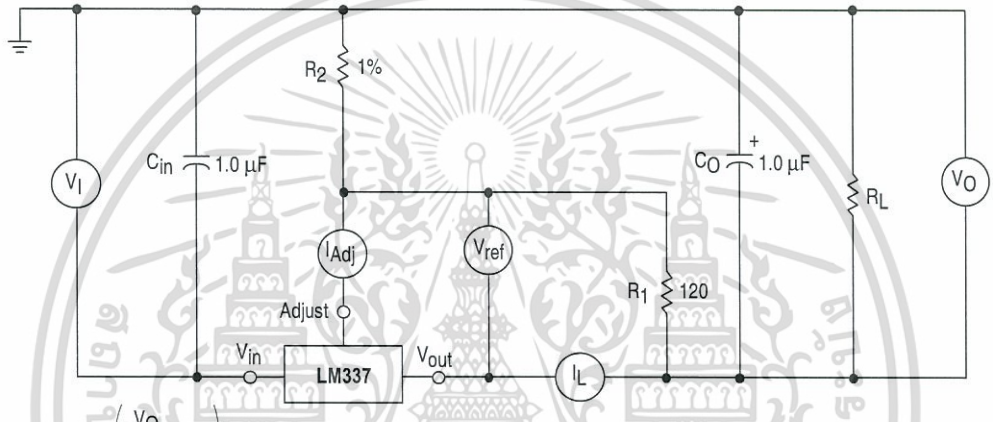
Figure 2. Load Regulation and ΔI_{Adj}/Load Test Circuit



Load Regulation (mV) = V_O (min Load) – V_O (max Load)

Load Regulation (% V_O) = $\frac{V_O \text{ (min Load)} - V_O \text{ (max Load)}}{V_O \text{ (min Load)}}$ x 100

Figure 3. Standard Test Circuit

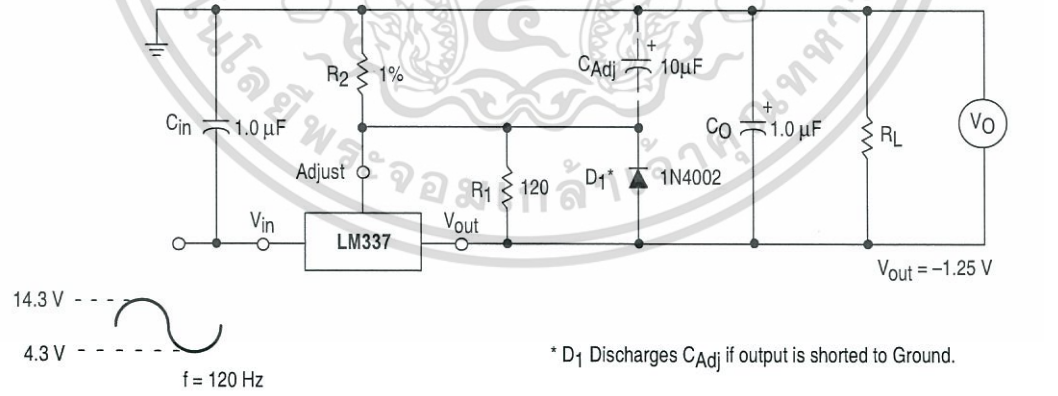


To Calculate R_2: $R_2 = \left(\frac{V_O}{V_{ref}} - 1\right) R_1$

This assumes I_{Adj} is negligible.

* Pulse testing required.
1% Duty Cycle is suggested.

Figure 4. Ripple Rejection Test Circuit



* D_1 Discharges C_{Adj} if output is shorted to Ground.

Motorola reserves the right to make changes without further notice to any products herein. Motorola makes no warranty, representation or guarantee regarding the suitability of its products for any particular purpose, nor does Motorola assume any liability arising out of the application or use of any product or circuit, and specifically disclaims any and all liability, including without limitation consequential or incidental damages. "Typical" parameters which may be provided in Motorola data sheets and/or specifications can and do vary in different applications and actual performance may vary over time. All operating parameters, including "Typicals" must be validated for each customer application by customer's technical experts. Motorola does not convey any license under its patent rights nor the rights of others. Motorola products are not designed, intended, or authorized for use as components in systems intended for surgical implant into the body, or other applications intended to support or sustain life, or for any other application in which the failure of the Motorola product could create a situation where personal injury or death may occur. Should Buyer purchase or use Motorola products for any such unintended or unauthorized application, Buyer shall indemnify and hold Motorola and its officers, employees, subsidiaries, affiliates, and distributors harmless against all claims, costs, damages, and expenses, and reasonable attorney fees arising out of, directly or indirectly, any claim of personal injury or death associated with such unintended or unauthorized use, even if such claim alleges that Motorola was negligent regarding the design or manufacture of the part. Motorola and Ⓜ are registered trademarks of Motorola, Inc. Motorola, Inc. is an Equal Opportunity/Affirmative Action Employer.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Figure 5. Load Regulation

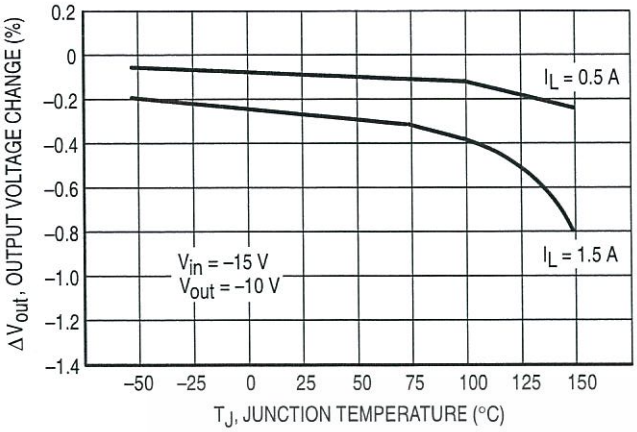


Figure 6. Current Limit

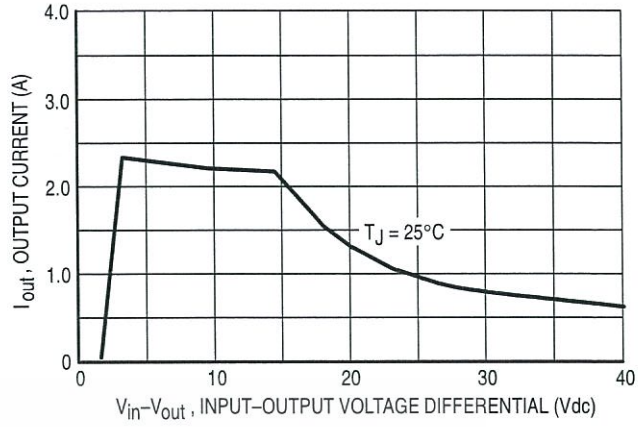


Figure 7. Adjustment Pin Current

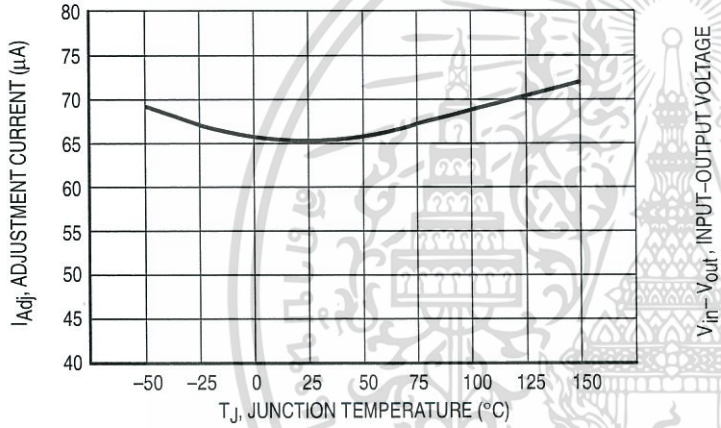


Figure 8. Dropout Voltage

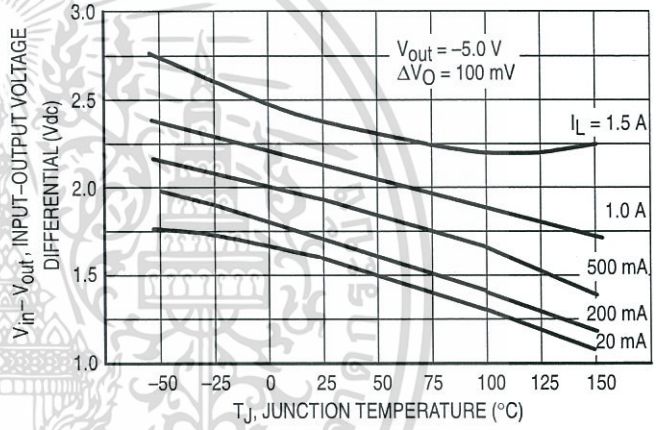


Figure 9. Temperature Stability

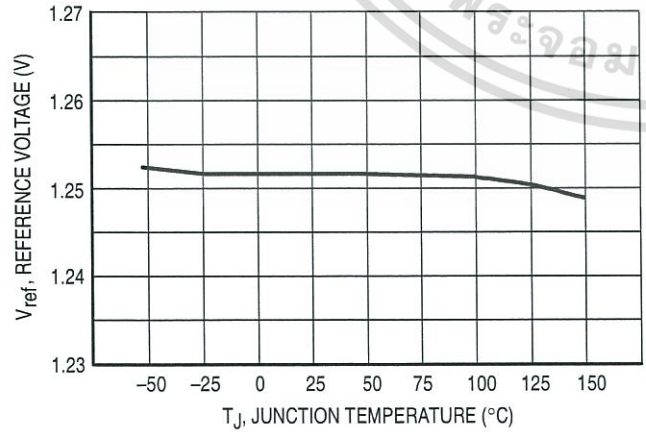
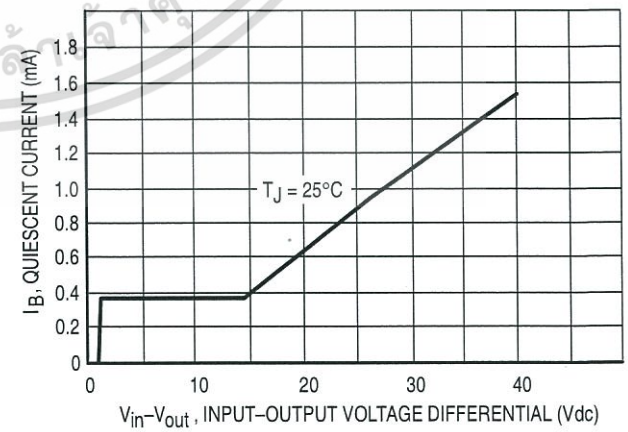


Figure 10. Minimum Operating Current



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Figure 11. Ripple Rejection versus Output Voltage

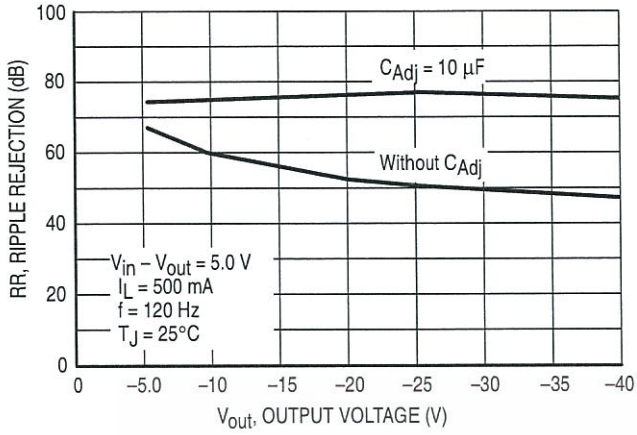


Figure 12. Ripple Rejection versus Output Current

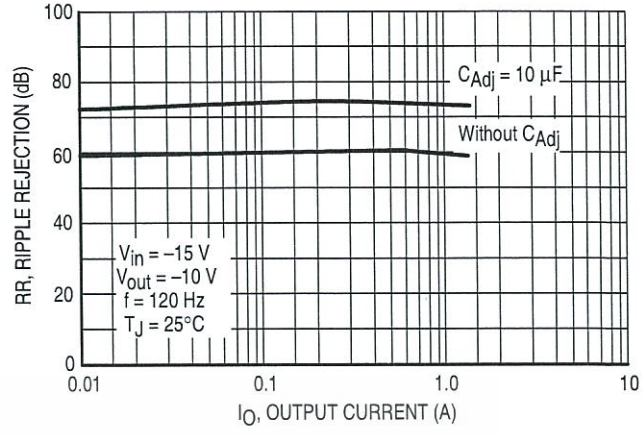


Figure 13. Ripple Rejection versus Frequency

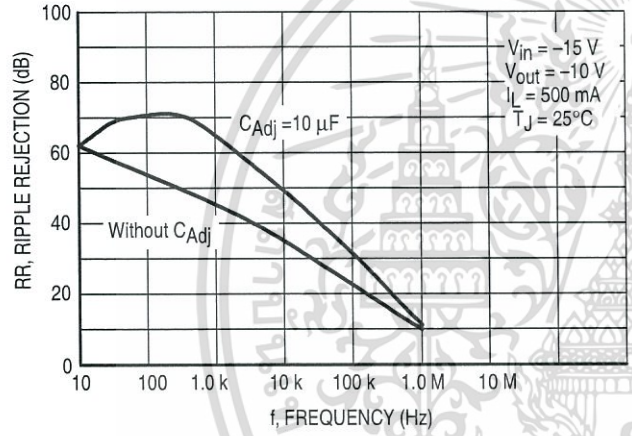


Figure 14. Output Impedance

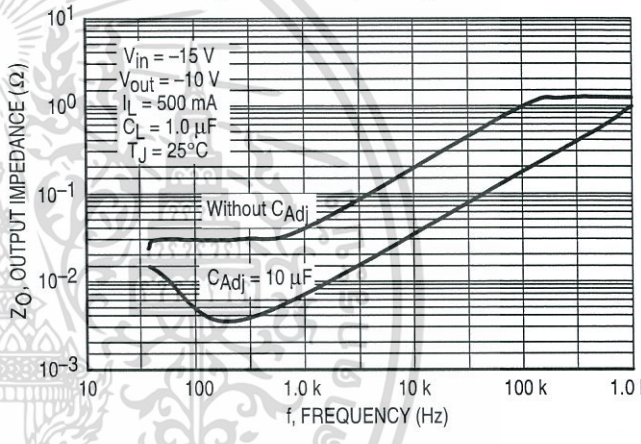


Figure 15. Line Transient Response

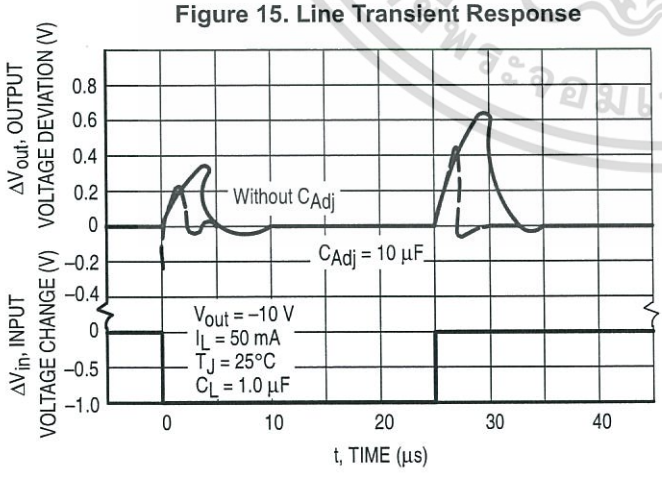
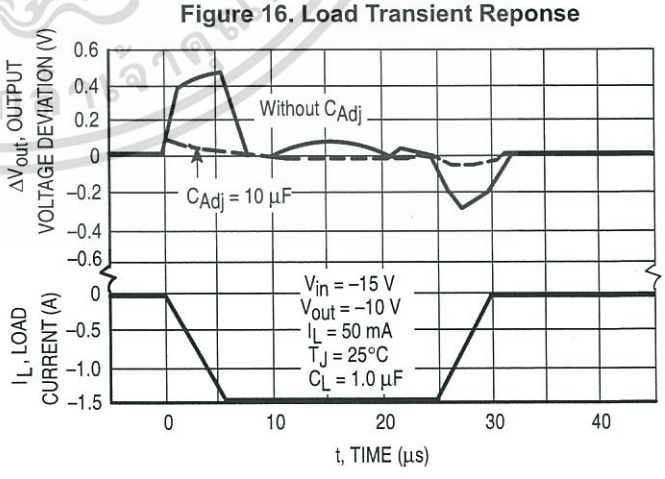


Figure 16. Load Transient Reponse



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

APPLICATIONS INFORMATION

Basic Circuit Operation

The LM337 is a 3–terminal floating regulator. In operation, the LM337 develops and maintains a nominal –1.25 V reference (V_{ref}) between its output and adjustment terminals. This reference voltage is converted to a programming current (I_{PROG}) by R_1 (see Figure 17), and this constant current flows through R_2 from ground.

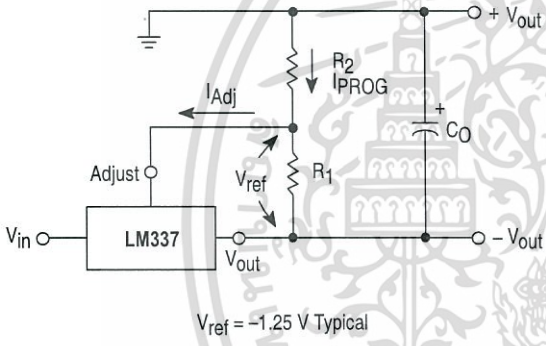
The regulated output voltage is given by:

$$V_{out} = V_{ref}\left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) + I_{Adj}\,R_2$$

Since the current into the adjustment terminal (I_{Adj}) represents an error term in the equation, the LM337 was designed to control I_{Adj} to less than 100 μA and keep it constant. To do this, all quiescent operating current is returned to the output terminal. This imposes the requirement for a minimum load current. If the load current is less than this minimum, the output voltage will rise.

Since the LM337 is a floating regulator, it is only the voltage differential across the circuit which is important to performance, and operation at high voltages with respect to ground is possible.

Figure 17. Basic Circuit Configuration



Load Regulation

The LM337 is capable of providing extremely good load regulation, but a few precautions are needed to obtain maximum performance. For best performance, the programming resistor (R_1) should be connected as close to the regulator as possible to minimize line drops which effectively appear in series with the reference, thereby degrading regulation. The ground end of R_2 can be returned near the load ground to provide remote ground sensing and improve load regulation.

External Capacitors

A 1.0 μF tantalum input bypass capacitor (C_{in}) is recommended to reduce the sensitivity to input line impedance.

The adjustment terminal may be bypassed to ground to improve ripple rejection. This capacitor (C_{Adj}) prevents ripple from being amplified as the output voltage is increased. A 10 μF capacitor should improve ripple rejection about 15 dB at 120 Hz in a 10 V application.

An output capacitance (C_O) in the form of a 1.0 μF tantalum or 10 μF aluminum electrolytic capacitor is required for stability.

Protection Diodes

When external capacitors are used with any IC regulator it is sometimes necessary to add protection diodes to prevent the capacitors from discharging through low current points into the regulator.

Figure 18 shows the LM337 with the recommended protection diodes for output voltages in excess of –25 V or high capacitance values (C_O > 25 μF, C_{Adj} > 10 μF). Diode D_1 prevents C_O from discharging thru the IC during an input short circuit. Diode D_2 protects against capacitor C_{Adj} discharging through the IC during an output short circuit. The combination of diodes D_1 and D_2 prevents C_{Adj} from the discharging through the IC during an input short circuit.

Figure 18. Voltage Regulator with Protection Diodes

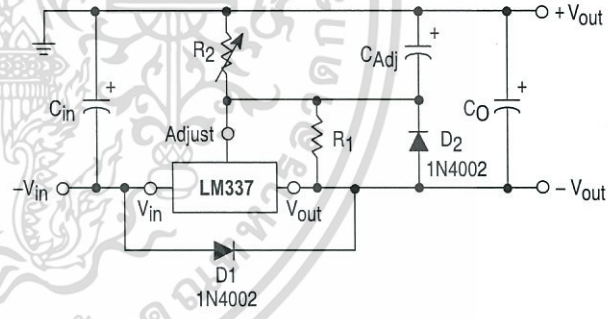
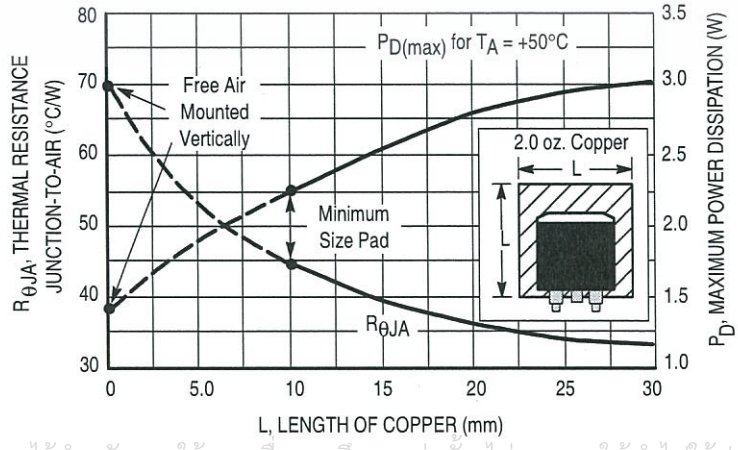


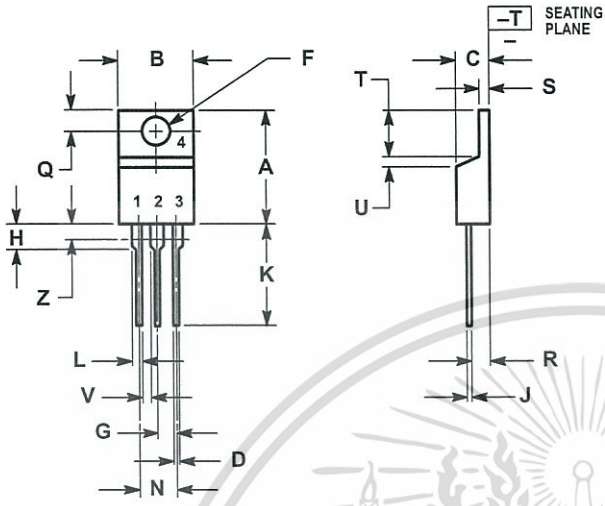
Figure 19. D²PAK Thermal Resistance and Maximum Power Dissipation versus P.C.B. Copper Length



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

OUTLINE DIMENSIONS

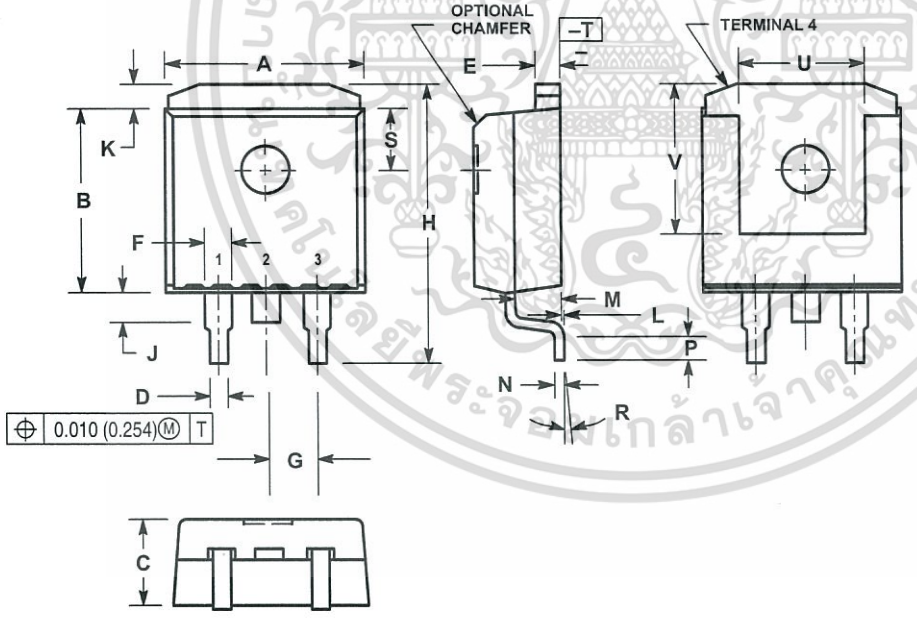
T SUFFIX
PLASTIC PACKAGE
CASE 221A–06
ISSUE Y



NOTES:
1. DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ANSI Y14.5M, 1982.
2. CONTROLLING DIMENSION: INCH.
3. DIM Z DEFINES A ZONE WHERE ALL BODY AND LEAD IRREGULARITIES ARE ALLOWED.

	INCHES		MILLIMETERS	
DIM	MIN	MAX	MIN	MAX
A	0.570	0.620	14.48	15.75
B	0.380	0.405	9.66	10.28
C	0.160	0.190	4.07	4.82
D	0.025	0.035	0.64	0.88
F	0.142	0.147	3.61	3.73
G	0.095	0.105	2.42	2.66
H	0.110	0.155	2.80	3.93
J	0.018	0.025	0.46	0.64
K	0.500	0.562	12.70	14.27
L	0.045	0.060	1.15	1.52
N	0.190	0.210	4.83	5.33
Q	0.100	0.120	2.54	3.04
R	0.080	0.110	2.04	2.79
S	0.045	0.055	1.15	1.39
T	0.235	0.255	5.97	6.47
U	0.000	0.050	0.00	1.27
V	0.045	–	1.15	–
Z	–	0.080	–	2.04

D2T SUFFIX
PLASTIC PACKAGE
CASE 936–03
(D^2PAK)
ISSUE B



NOTES:
1 DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ANSI Y14.5M, 1982.
2 CONTROLLING DIMENSION: INCH.
3 TAB CONTOUR OPTIONAL WITHIN DIMENSIONS A AND K.
4 DIMENSIONS U AND V ESTABLISH A MINIMUM MOUNTING SURFACE FOR TERMINAL 4.
5 DIMENSIONS A AND B DO NOT INCLUDE MOLD FLASH OR GATE PROTRUSIONS. MOLD FLASH AND GATE PROTRUSIONS NOT TO EXCEED 0.025 (0.635) MAXIMUM.

	INCHES		MILLIMETERS	
DIM	MIN	MAX	MIN	MAX
A	0.386	0.403	9.804	10.236
B	0.356	0.368	9.042	9.347
C	0.170	0.180	4.318	4.572
D	0.026	0.036	0.660	0.914
E	0.045	0.055	1.143	1.397
F	0.051 REF		1.295 REF	
G	0.100 BSC		2.540 BSC	
H	0.539	0.579	13.691	14.707
J	0.125 MAX		3.175 MAX	
K	0.050 REF		1.270 REF	
L	0.000	0.010	0.000	0.254
M	0.088	0.102	2.235	2.591
N	0.018	0.026	0.457	0.660
P	0.058	0.078	1.473	1.981
R	5° REF		5° REF	
S	0.116 REF		2.946 REF	
U	0.200 MIN		5.080 MIN	
V	0.250 MIN		6.350 MIN	

How to reach us:
USA/EUROPE/Locations Not Listed: Motorola Literature Distribution; P.O. Box 20912; Phoenix, Arizona 85036. 1–800–441–2447 or 602–303–5454

MFAX: RMFAX0@email.sps.mot.com – TOUCHTONE 602–244–6609
INTERNET: http://Design–NET.com

JAPAN: Nippon Motorola Ltd.; Tatsumi–SPD–JLDC, 6F Seibu–Butsuryu–Center, 3–14–2 Tatsumi Koto–Ku, Tokyo 135, Japan. 03–81–3521–8315

ASIA/PACIFIC: Motorola Semiconductors H.K. Ltd.; 8B Tai Ping Industrial Park, 51 Ting Kok Road, Tai Po, N.T., Hong Kong. 852–26629298

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TL082
TL082A - TL082B

GENERAL PURPOSE J-FET DUAL OPERATIONAL AMPLIFIERS

- WIDE COMMON-MODE (UP TO V_{CC}^+) AND DIFFERENTIAL VOLTAGE RANGE
- LOW INPUT BIAS AND OFFSET CURRENT
- OUTPUT SHORT-CIRCUIT PROTECTION
- HIGH INPUT IMPEDANCE J–FET INPUT STAGE
- INTERNAL FREQUENCY COMPENSATION
- LATCH UP FREE OPERATION
- HIGH SLEW RATE : 16V/µs (typ)

N
DIP8
(Plastic Package)

D
SO8
(Plastic Micropackage)

P
TSSOP8
(Thin Shrink Small Outline Package)

ORDER CODE

Part Number	Temperature Range	Package		
		N	D	P
TL082M/AM/BM	-55°C, +125°C	•	•	•
TL082I/AI/BI	-40°C, +105°C	•	•	•
TL082C/AC/BC	0°C, +70°C	•	•	•
Example : TL082CD, TL082IN				

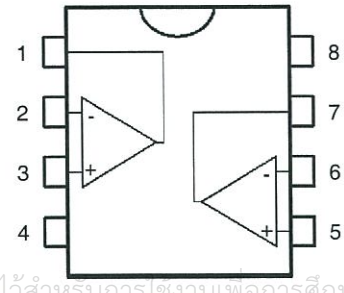
N = Dual in Line Package (DIP)
D = Small Outline Package (SO) - also available in Tape & Reel (DT)
P = Thin Shrink Small Outline Package (TSSOP) - only available in Tape & Reel (PT)

DESCRIPTION

The TL082, TL082A and TL082B are high speed J–FET input dual operational amplifiers incorporating well matched, high voltage J–FET and bipolar transistors in a monolithic integrated circuit.

The devices feature high slew rates, low input bias and offset current, and low offset voltage temperature coefficient.

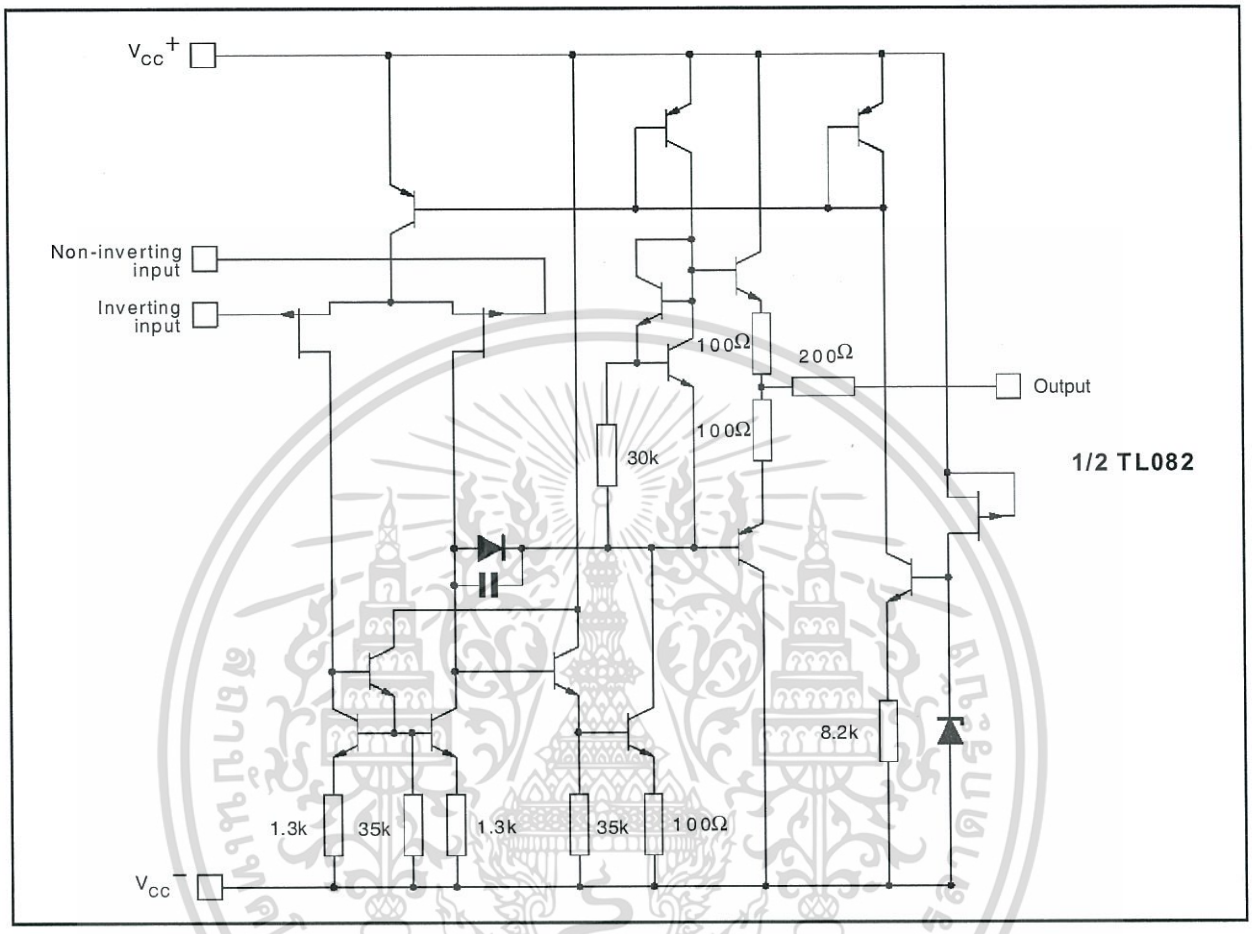
PIN CONNECTIONS (top view)



1 - Offset null 1
2 - Inverting input 1
3 - Non-inverting input 1
4 - V_{CC}^-
5 - Non-inverting input 2
6 - Inverting input 2
7 - Output 2
8 - V_{CC}^+

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SCHEMATIC DIAGRAM



ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Symbol	Parameter	TL082M, AM, BM	TL082I, AI, BI	TL082C, AC, BC	Unit
V_{CC}	Supply voltage - note [1]	±18			V
V_i	Input Voltage - note [2]	±15			V
V_{id}	Differential Input Voltage - note [3]	±30			V
P_{tot}	Power Dissipation	680			mW
	Output Short-circuit Duration - note [4]	Infinite			
T_{oper}	Operating Free-air Temperature Range	-55 to +125	-40 to +105	0 to +70	°C
T_{stg}	Storage Temperature Range	-65 to +150			°C

1. All voltage values, except differential voltage, are with respect to the zero reference level (ground) of the supply voltages where the zero reference level is the midpoint between V_{CC}^+ and V_{CC}^-.
2. The magnitude of the input voltage must never exceed the magnitude of the supply voltage or 15 volts, whichever is less.
3. Differential voltages are the non-inverting input terminal with respect to the inverting input terminal.
4. The output may be shorted to ground or to either supply. Temperature and/or supply voltages must be limited to ensure that the dissipation rating is not exceeded

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

V_{CC} = ±15V, T_{amb} = +25°C (unless otherwise specified)

Symbol	Parameter		TL082I,M,AC,AI,AM, BC,BI,BM			TL082C			Unit
			Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.	
V_{io}	Input Offset Voltage (R_s = 50Ω)								mV
	T_{amb} = +25°C	TL082		3	10		3	10	
		TL082A		3	6				
		TL082B		1	3				
	$T_{min} \le T_{amb} \le T_{max}$	TL082			13			13	
		TL082A			7				
		TL082B			5				
DV_{io}	Input Offset Voltage Drift			10			10		µV/°C
I_{io}	Input Offset Current - note 1)								
	T_{amb} = +25°C			5	100		5	100	pA
	$T_{min} \le T_{amb} \le T_{max}$				4			10	nA
I_{ib}	Input Bias Current -note 1								
	T_{amb} = +25°C			20	200		20	400	pA
	$T_{min} \le T_{amb} \le T_{max}$				20			20	nA
A_{vd}	Large Signal Voltage Gain (R_L = 2kΩ, V_o = ±10V)								V/mV
	T_{amb} = +25°C		50	200		25	200		
	$T_{min} \le T_{amb} \le T_{max}$		25			15			
SVR	Supply Voltage Rejection Ratio (R_S = 50Ω)								dB
	T_{amb} = +25°C		80	86		70	86		
	$T_{min} \le T_{amb} \le T_{max}$		80			70			
I_{CC}	Supply Current, no load								mA
	T_{amb} = +25°C			1.4	2.5		1.4	2.5	
	$T_{min} \le T_{amb} \le T_{max}$				2.5			2.5	
V_{icm}	Input Common Mode Voltage Range		±11	+15 -12		±11	+15 -12		V
CMR	Common Mode Rejection Ratio (R_S = 50Ω)								dB
	T_{amb} = +25°C		80	86		70	86		
	$T_{min} \le T_{amb} \le T_{max}$		80			70			
I_{os}	Output Short-circuit Current								mA
	T_{amb} = +25°C		10	40	60	10	40	60	
	$T_{min} \le T_{amb} \le T_{max}$		10		60	10		60	
$\pm V_{opp}$	Output Voltage Swing								V
	T_{amb} = +25°C	RL = 2kΩ	10	12		10	12		
		RL = 10kΩ	12	13.5		12	13.5		
	$T_{min} \le T_{amb} \le T_{max}$	RL = 2kΩ	10			10			
		RL = 10kΩ	12			12			
SR	Slew Rate (T_{amb} = +25°C) V_{in} = 10V, R_L = 2kΩ, C_L = 100pF, unity gain		8	16		8	16		V/µs
t_r	Rise Time (T_{amb} = +25°C) V_{in} = 20mV, R_L = 2kΩ, C_L = 100pF, unity gain			0.1			0.1		µs
K_{ov}	Overshoot (T_{amb} = +25°C) V_{in} = 20mV, R_L = 2kΩ, C_L = 100pF, unity gain			10			10		%
GBP	Gain Bandwidth Product (T_{amb} = +25°C) V_{in} = 10mV, R_L = 2kΩ, C_L = 100pF, f= 100kHz		2.5	4		2.5	4		MHz
R_i	Input Resistance			10^{12}			10^{12}		Ω

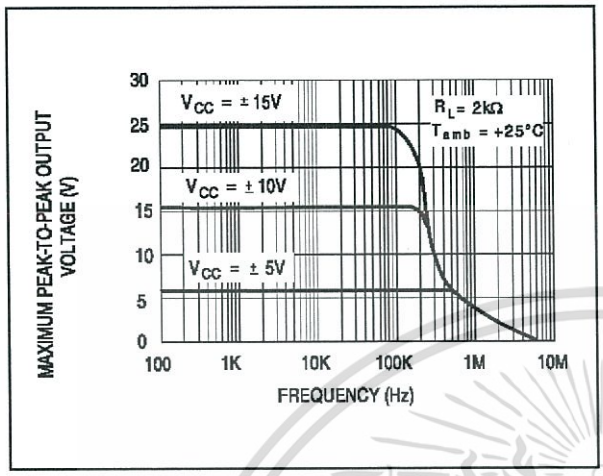
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Symbol	Parameter	TL082I,M,AC,AI,AM, BC,BI,BM			TL082C			Unit
		Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.	
THD	Total Harmonic Distortion (T_{amb} = +25°C), f= 1kHz, R_L = 2kΩ,C_L = 100pF, A_v = 20dB, V_o = $2V_{pp}$		0.01			0.01		%
e_n	Equivalent Input Noise Voltage R_S = 100Ω, f = 1KHz		15			15		$\frac{nV}{\sqrt{Hz}}$
Øm	Phase Margin		45			45		degrees
V_{o1}/V_{o2}	Channel Separation A_v = 100		120			120		dB

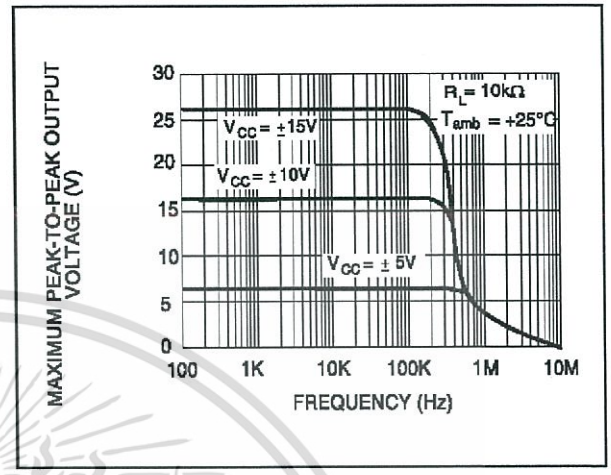
1. The input bias currents are junction leakage currents which approximately double for every 10°C increase in the junction temperature.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

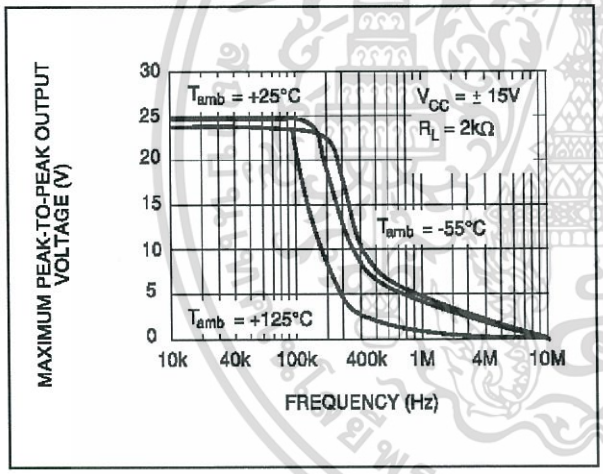
MAXIMUM PEAK-TO-PEAK OUTPUT VOLTAGE versus FREQUENCY



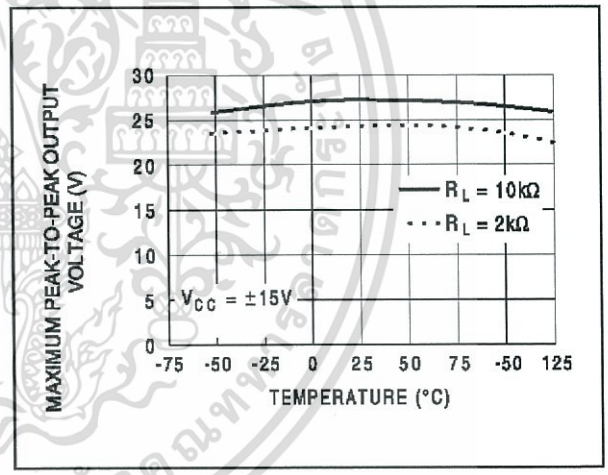
MAXIMUM PEAK-TO-PEAK OUTPUT VOLTAGE versus FREQUENCY



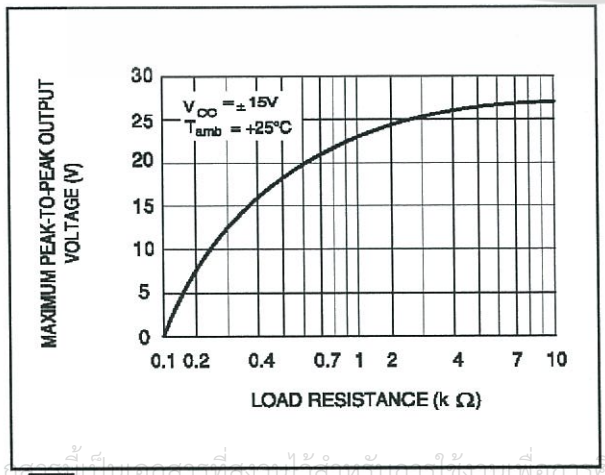
MAXIMUM PEAK-TO-PEAK OUTPUT VOLTAGE versus FREQUENCY



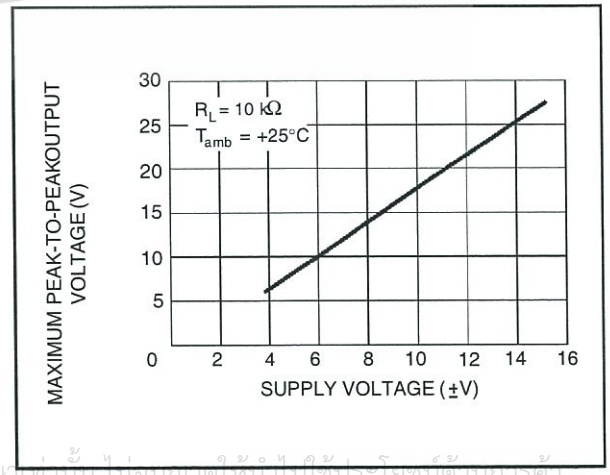
MAXIMUM PEAK-TO-PEAK OUTPUT VOLTAGE versus FREE AIR TEMP.



MAXIMUM PEAK-TO-PEAK OUTPUT VOLTAGE versus LOAD RESISTANCE

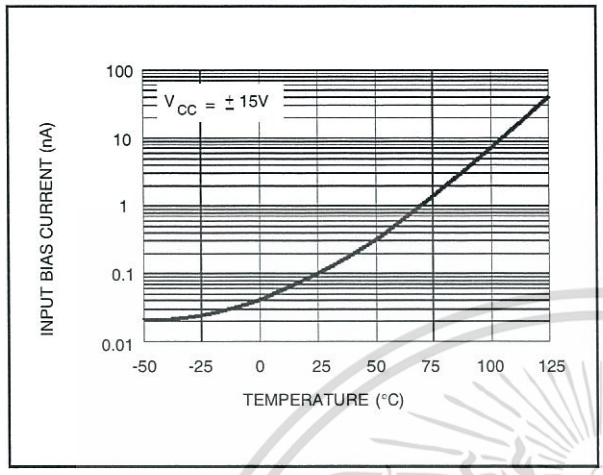


MAXIMUM PEAK-TO-PEAK OUTPUT VOLTAGE versus SUPPLY VOLTAGE

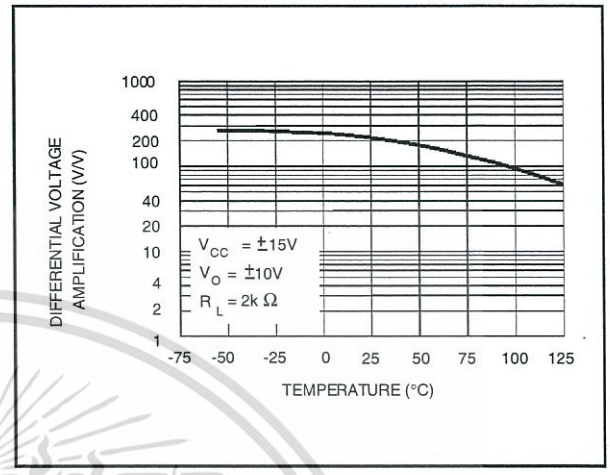


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

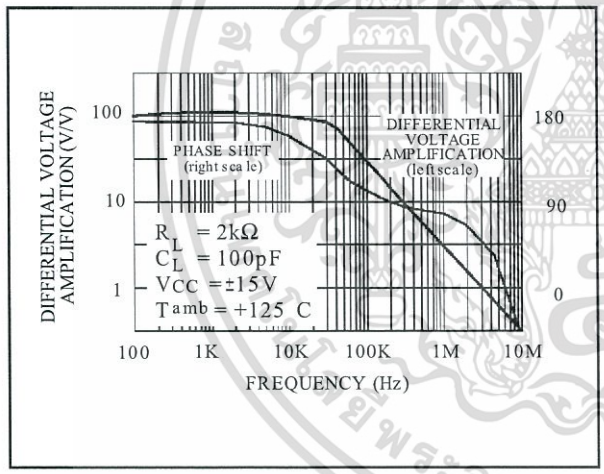
INPUT BIAS CURRENT versus FREE AIR TEMPERATURE



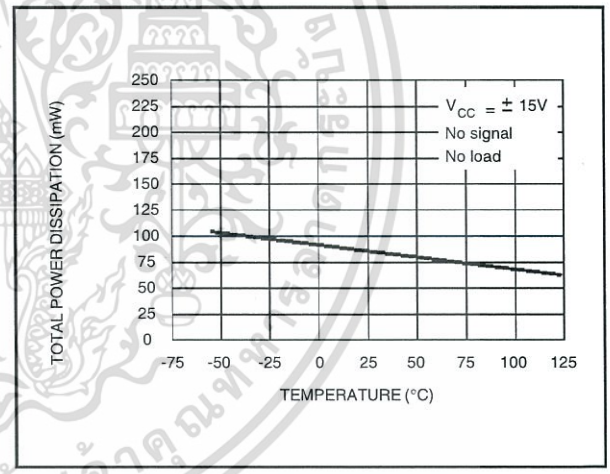
LARGE SIGNAL DIFFERENTIAL VOLTAGE AMPLIFICATION versus FREE AIR TEMP.



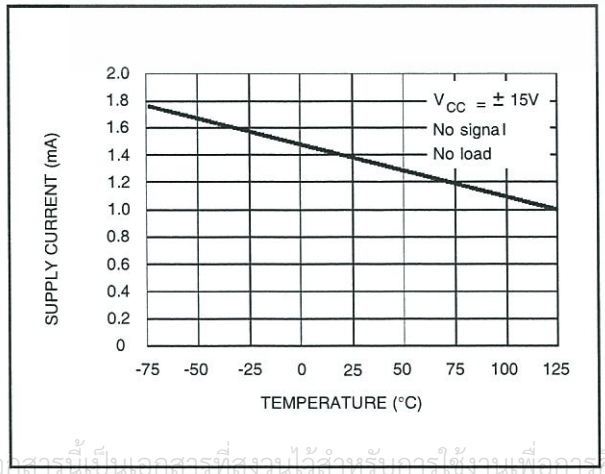
LARGE SIGNAL DIFFERENTIAL VOLTAGE AMPLIFICATION AND PHASE SHIFT versus FREQUENCY



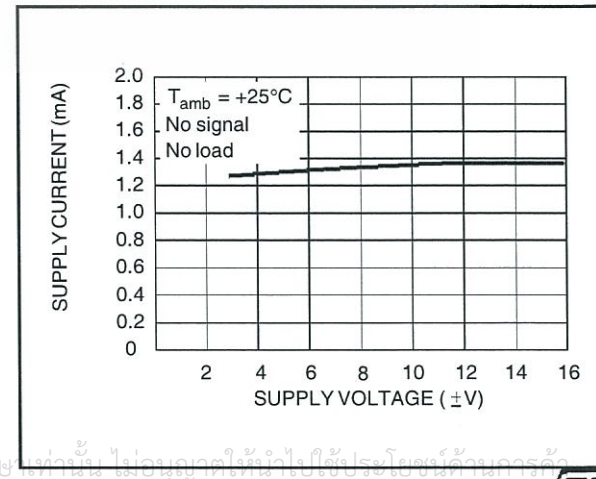
TOTAL POWER DISSIPATION versus FREE AIR TEMPERATURE



SUPPLY CURRENT PER AMPLIFIER versus FREE AIR TEMPERATURE

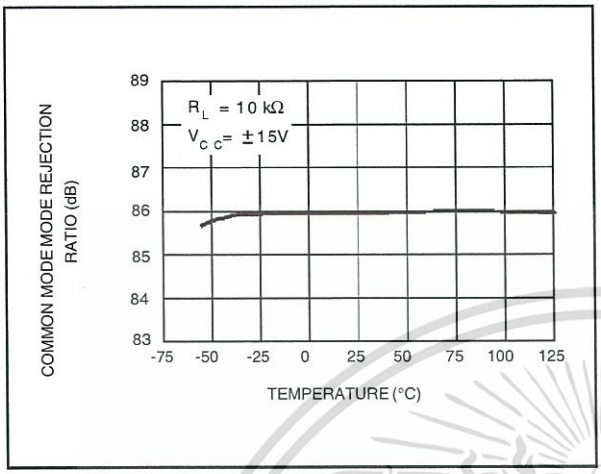


SUPPLY CURRENT PER AMPLIFIER versus SUPPLY VOLTAGE

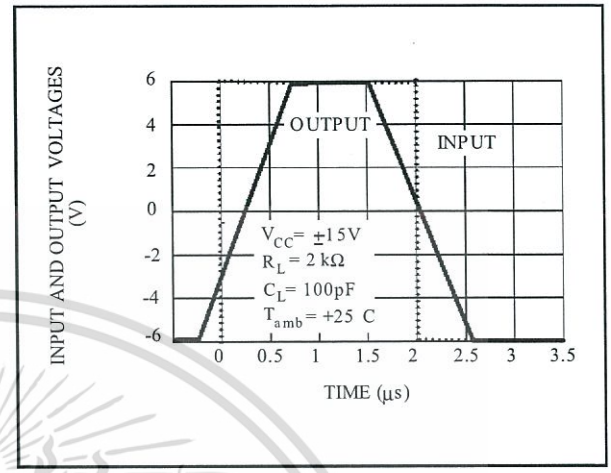


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

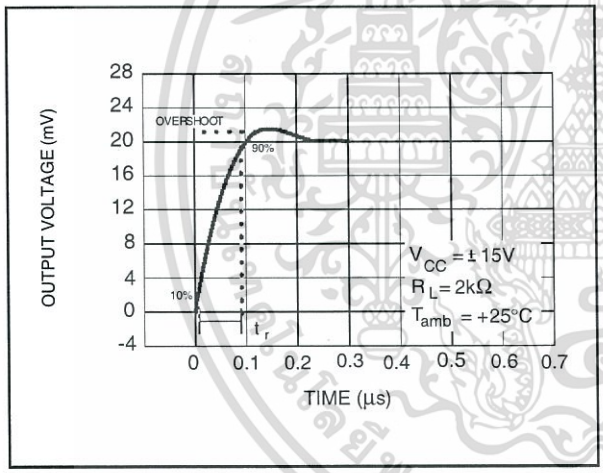
COMMON MODE REJECTION RATIO versus FREE AIR TEMPERATURE



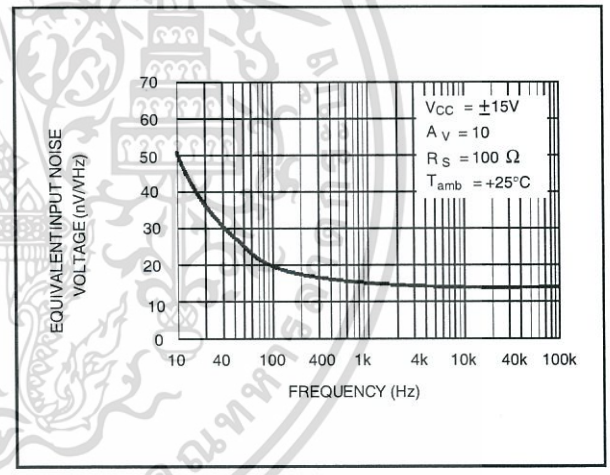
VOLTAGE FOLLOWER LARGE SIGNAL PULSE RESPONSE



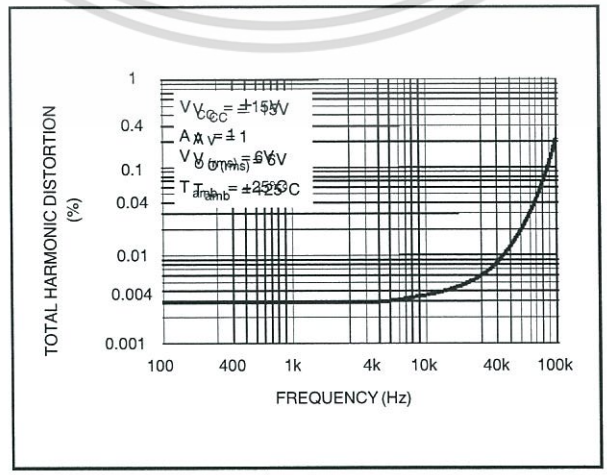
OUTPUT VOLTAGE versus ELAPSED TIME



EQUIVALENT INPUT NOISE VOLTAGE versus FREQUENCY



TOTAL HARMONIC DISTORTION versus FREQUENCY



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PARAMETER MEASUREMENT INFORMATION

Figure 1 : Voltage Follower

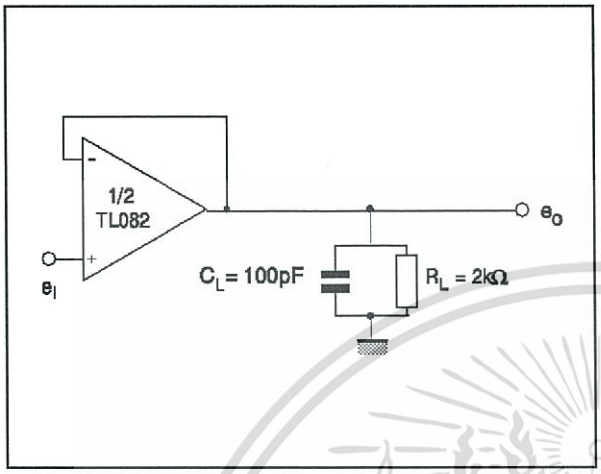
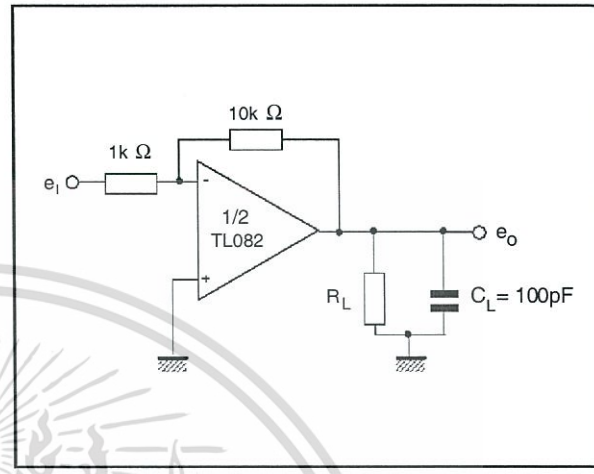
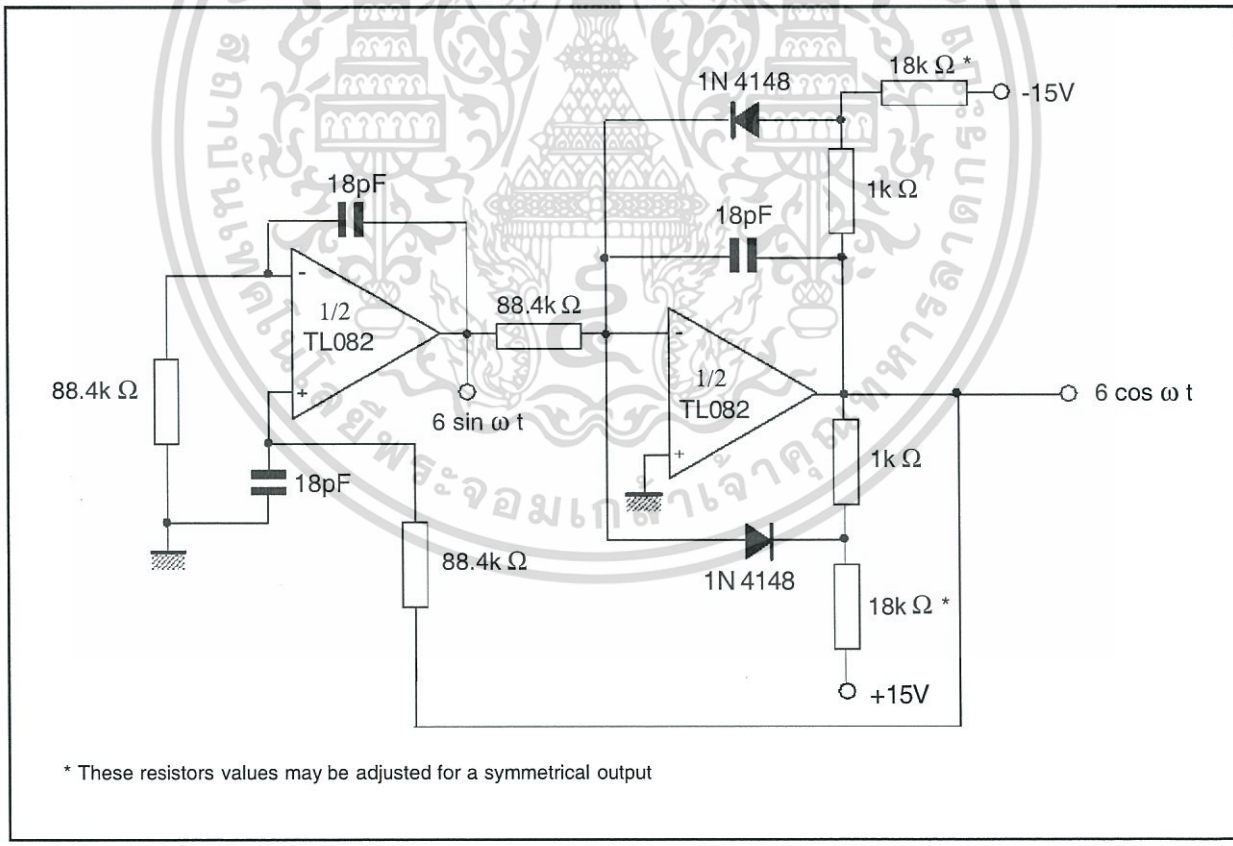


Figure 2 : Gain-of-10 Inverting Amplifier



TYPICAL APPLICATIONS

100KHz QUADRUPLE OSCILLATOR

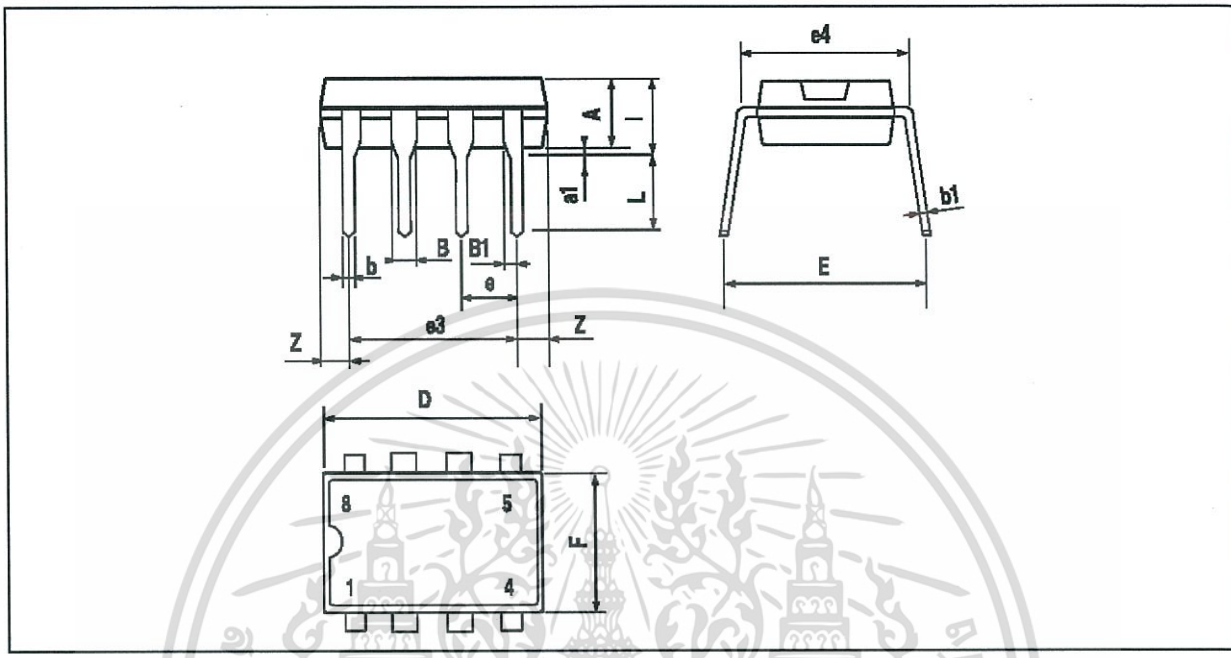


* These resistors values may be adjusted for a symmetrical output

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PACKAGE MECHANICAL DATA

8 PINS - PLASTIC DIP

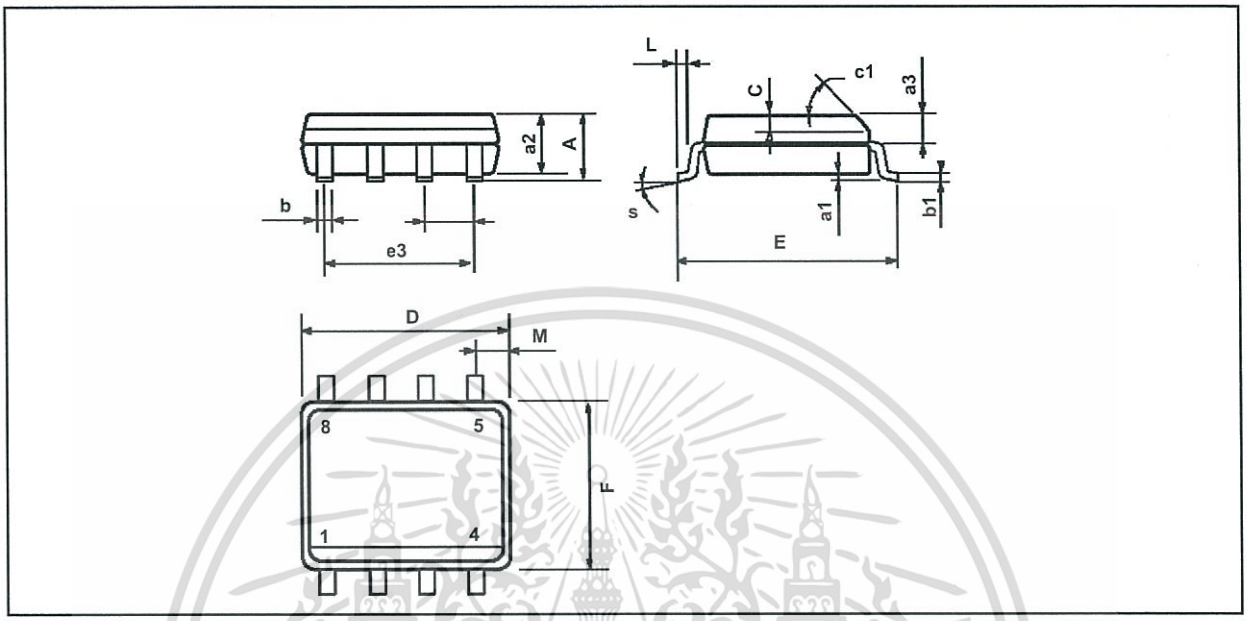


Dim.	Millimeters			Inches		
	Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.
A		3.32			0.131	
a1	0.51			0.020		
B	1.15		1.65	0.045		0.065
b	0.356		0.55	0.014		0.022
b1	0.204		0.304	0.008		0.012
D			10.92			0.430
E	7.95		9.75	0.313		0.384
e		2.54			0.100	
e3		7.62			0.300	
e4		7.62			0.300	
F			6.6			0260
i			5.08			0.200
L	3.18		3.81	0.125		0.150
Z			1.52			0.060

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PACKAGE MECHANICAL DATA

8 PINS - PLASTIC MICROPACKAGE (SO)

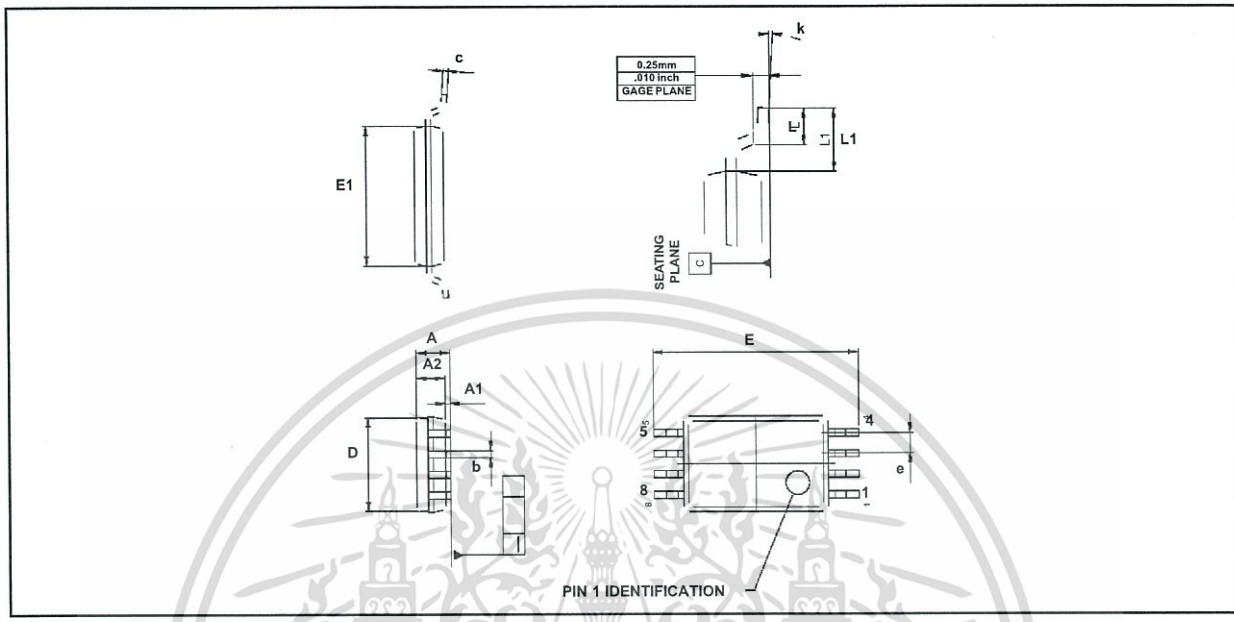


Dim.	Millimeters			Inches		
	Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.
A			1.75			0.069
a1	0.1		0.25	0.004		0.010
a2			1.65			0.065
a3	0.65		0.85	0.026		0.033
b	0.35		0.48	0.014		0.019
b1	0.19		0.25	0.007		0.010
C	0.25		0.5	0.010		0.020
c1	45° (typ.)					
D	4.8		5.0	0.189		0.197
E	5.8		6.2	0.228		0.244
e		1.27			0.050	
e3		3.81			0.150	
F	3.8		4.0	0.150		0.157
L	0.4		1.27	0.016		0.050
M			0.6			0.024
S	8° (max.)					

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PACKAGE MECHANICAL DATA

8 PINS - THIN SHRINK SMALL OUTLINE PACKAGE



Dim.	Millimeters			Inches		
	Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.
A			1.20			0.05
A1	0.05		0.15	0.01		0.006
A2	0.80	1.00	1.05	0.031	0.039	0.041
b	0.19		0.30	0.007		0.15
c	0.09		0.20	0.003		0.012
D	2.90	3.00	3.10	0.114	0.118	0.122
E		6.40			0.252	
E1	4.30	4.40	4.50	0.169	0.173	0.177
e		0.65			0.025	
k	0°		8°	0°		8°
l	0.50	0.60	0.75	0.09	0.0236	0.030
L	0.45	0.600	0.75	0.018	0.024	0.030
L1		1.000			0.039	

Information furnished is believed to be accurate and reliable. However, STMicroelectronics assumes no responsibility for the consequences of use of such information nor for any infringement of patents or other rights of third parties which may result from its use. No license is granted by implication or otherwise under any patent or patent rights of STMicroelectronics. Specifications mentioned in this publication are subject to change without notice. This publication supersedes and replaces all information previously supplied. STMicroelectronics products are not authorized for use as critical components in life support devices or systems without express written approval of STMicroelectronics.

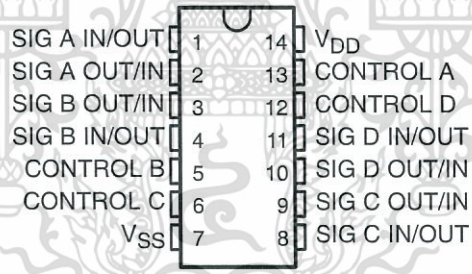
© The ST logo is a registered trademark of STMicroelectronics

© 2001 STMicroelectronics - Printed in Italy - All Rights Reserved
STMicroelectronics GROUP OF COMPANIES
Australia - Brazil - Canada - China - Finland - France - Germany - Hong Kong - India - Israel - Italy - Japan - Malaysia
Malta - Morocco - Singapore - Spain - Sweden - Switzerland - United Kingdom - United States
© http://www.st.com

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 15-V Digital or ±7.5-V Peak-to-Peak Switching
- 125-Ω Typical On-State Resistance for 15-V Operation
- Switch On-State Resistance Matched to Within 5 Ω Over 15-V Signal-Input Range
- On-State Resistance Flat Over Full Peak-to-Peak Signal Range
- High On/Off Output-Voltage Ratio: 80 dB Typical at f_{is} = 10 kHz, R_L = 1 kΩ
- High Degree of Linearity: <0.5% Distortion Typical at f_{is} = 1 kHz, V_{is} = 5 V p-p, $V_{DD} - V_{SS} \geq 10$ V, R_L = 10 kΩ
- Extremely Low Off-State Switch Leakage, Resulting in Very Low Offset Current and High Effective Off-State Resistance: 10 pA Typical at $V_{DD} - V_{SS}$ = 10 V, T_A = 25°C
- Extremely High Control Input Impedance (Control Circuit Isolated From Signal Circuit): 10^{12} Ω Typical
- Low Crosstalk Between Switches: –50 dB Typical at f_{is} = 8 MHz, R_L = 1 kΩ
- Matched Control-Input to Signal-Output Capacitance: Reduces Output Signal Transients
- Frequency Response, Switch on = 40 MHz (Typical)
- 100% Tested for Quiescent Current at 20 V
- 5-V, 10-V, and 15-V Parametric Ratings
- Meets All Requirements of JEDEC Tentative Standard No. 13B, Standard Specifications for Description of B-Series CMOS Devices
- Applications:
  - Analog Signal Switching/Multiplexing: Signal Gating, Modulator, Squelch Control, Demodulator, Chopper, Commutating Switch
  - Digital Signal Switching/Multiplexing
  - Transmission-Gate Logic Implementation
  - Analog-to-Digital and Digital-to-Analog Conversion
  - Digital Control of Frequency, Impedance, Phase, and Analog-Signal Gain

E, F, M, NS, OR PW PACKAGE
(TOP VIEW)



description/ordering information

ORDERING INFORMATION

T_A	PACKAGE†		ORDERABLE PART NUMBER	TOP-SIDE MARKING
–55°C to 125°C	CDIP – F	Tube	CD4066BF	CD4066BF
	PDIP – E	Tube	CD4066BE	CD4066BE
	SOIC – M	Tube	CD4066BM	CD4066BM
		Tape and reel	CD4066BM96	
	SOP – NS	Tape and reel	CD4066BNSR	CD4066B
	TSSOP – PW	Tape and reel	CD4066BPWR	CM066B

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

Please be aware that an important notice concerning availability, standard warranty, and use in critical applications of Texas Instruments semiconductor products and disclaimers thereto appears at the end of this data sheet.

PRODUCTION DATA information is current as of publication date. Products conform to specifications per the terms of Texas Instruments standard warranty. Production processing does not necessarily include testing of all parameters.

Copyright © 2002, Texas Instruments Incorporated

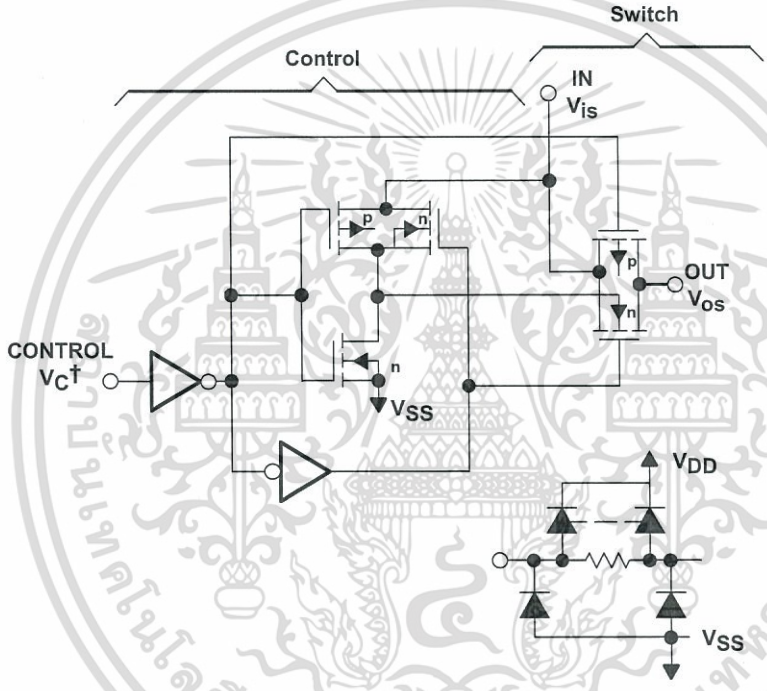
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

description/ordering information (continued)

CD4066B is a quad bilateral switch intended for the transmission or multiplexing of analog or digital signals. It is pin-for-pin compatible with the CD4016B, but exhibits a much lower on-state resistance. In addition, the on-state resistance is relatively constant over the full input-signal range.

The CD4066B consists of four bilateral switches, each with independent controls. Both the p and the n device in a given switch are biased on or off simultaneously by the control signal. As shown in Figure 1, the well of the n-channel device on each switch is tied to either the input when the switch is on or to V_{SS} when the switch is off. This configuration eliminates the variation of the switch-transistor threshold voltage with input signal and, thus, keeps the on-state resistance low over the full operating-signal range.

The advantages over single-channel switches include peak input-signal voltage swings equal to the full supply voltage and more constant on-state impedance over the input-signal range. However, for sample-and-hold applications, the CD4016B is recommended.



† All control inputs are protected by CMOS protection network.

NOTES: A. All p substrates are connected to V_{DD}.
B. Normal operation control-line biasing: Switch on (logic 1), $V_C = V_{DD}$; Switch off (logic 0), $V_C = V_{SS}$
C. Signal-level range: $VSS \le V_{is} \le V_{DD}$

92CS - 29113

Figure 1. Schematic Diagram of One of Four Identical Switches and Associated Control Circuitry

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

absolute maximum ratings over operating free-air temperature (unless otherwise noted)†

DC supply-voltage range, (V_{DD}) (Voltages referenced to V_{SS} terminal) ..... –0.5 V to 20 V
Input voltage range, V_{is}, all inputs ..... –0.5 V to V_{DD} + 0.5 V
DC input current, I_{IN}, any one input ..... ±10 mA
Package thermal impedance, θ_{JA} (see Note 1): E package ..... 80°C/W
M package ..... 86°C/W
NS package ..... 76°C/W
PW package ..... 113°C/W
Lead temperature (during soldering):
At distance 1/16 ± 1/32 inch (1,59 ± 0,79 mm) from case for 10 s max ..... 265°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.

NOTE 1: The package thermal impedance is calculated in accordance with JESD 51-7.

recommended operating conditions

		MIN	MAX	UNIT
V_{DD}	Supply voltage	3	18	V
T_A	Operating free-air temperature	–55	125	°C

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงลิขสิทธิ์ของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

electrical characteristics

PARAMETER		TEST CONDITIONS	V_{IN} (V)	V_{DD} (V)	LIMITS AT INDICATED TEMPERATURES						UNIT
					–55°C	–40°C	85°C	125°C	25°C TYP	25°C MAX	
I_{DD}	Quiescent device current		0, 5	5	0.25	0.25	7.5	7.5	0.01	0.25	µA
			0, 10	10	0.5	0.5	15	15	0.01	0.5	
			0, 15	15	1	1	30	30	0.01	1	
			0, 20	20	5	5	150	150	0.02	5	
Signal Inputs (V_{is}) and Output (V_{os})											
r_{on}	On-state resistance (max)	$V_C = V_{DD}$, R_L = 10 kΩ returned to $\frac{V_{DD} - V_{SS}}{2}$, $V_{is} = V_{SS}$ to V_{DD}		5	800	850	1200	1300	470	1050	Ω
				10	310	330	500	550	180	400	
				15	200	210	300	320	125	240	
Δr_{on}	On-state resistance difference between any two switches	R_L = 10 kΩ, $V_C = V_{DD}$		5					15		Ω
				10					10		
				15					5		
THD	Total harmonic distortion	$V_C = V_{DD}$ = 5 V, V_{SS} = –5 V, $V_{is(p-p)}$ = 5 V (sine wave centered on 0 V), R_L = 10 kΩ, f_{is} = 1 kHz sine wave							0.4		%
	–3-dB cutoff frequency (switch on)	$V_C = V_{DD}$ = 5 V, V_{SS} = –5 V, $V_{is(p-p)}$ = 5 V (sine wave centered on 0 V), R_L = 1 kΩ							40		MHz
	–50-dB feed-through frequency (switch off)	$V_C = V_{SS}$ = –5 V, $V_{is(p-p)}$ = 5 V (sine wave centered on 0 V), R_L = 1 kΩ							1		MHz
I_{is}	Input/output leakage current (switch off) (max)	V_C = 0 V, V_{is} = 18 V, V_{os} = 0 V; and V_C = 0 V, V_{is} = 0 V, V_{os} = 18 V		18	±0.1	±0.1	±1	±1	$\pm 10^{-5}$	±0.1	µA
	–50-dB crosstalk frequency	$V_C(A) = V_{DD}$ = 5 V, $V_C(B) = V_{SS}$ = –5 V, $V_{is}(A)$ = 5 V_{p-p}, 50-Ω source, R_L = 1 kΩ							8		MHz
t_{pd}	Propagation delay (signal input to signal output)	R_L = 200 kΩ, $V_C = V_{DD}$, V_{SS} = GND, C_L = 50 pF, V_{is} = 10 V (square wave centered on 5 V), t_r, t_f = 20 ns		5					20	40	ns
				10					10	20	
				15					7	15	
C_{is}	Input capacitance	V_{DD} = 5 V, $V_C = V_{SS}$ = –5 V							8		pF
C_{os}	Output								8		
C_{ios}	Feedthrough								0.5		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

electrical characteristics (continued)

CHARACTERISTIC		TEST CONDITIONS	V_{DD} (V)	LIMITS AT INDICATED TEMPERATURES						UNIT
				–55°C	–40°C	85°C	125°C	25°C TYP	25°C MAX	
Control (V_C)										
V_{ILC}	Control input, low voltage (max)	$\|I_{is}\| < 10\ \mu A$, $V_{is} = V_{SS}$, $V_{OS} = V_{DD}$, and $V_{is} = V_{DD}$, $V_{OS} = V_{SS}$	5	1	1	1	1		1	V
			10	2	2	2	2		2	
			15	2	2	2	2		2	
V_{IHC}	Control input, high voltage	See Figure 6	5	3.5 (MIN)						V
			10	7 (MIN)						
			15	11 (MIN)						
I_{IN}	Input current (MAX)	$V_{is} \le V_{DD}$, $V_{DD} - V_{SS} = 18$ V, $V_{CC} \le V_{DD} - V_{SS}$	18	±0.1	±0.1	±1	±1	$\pm 10^{-5}$	±0.1	µA
	Crosstalk (control input to signal output)	$V_C = 10$ V (square wave), t_r, $t_f = 20$ ns, $R_L = 10\ k\Omega$	10					50		mV
	Turn-on and turn-off propagation delay	$V_{IN} = V_{DD}$, t_r, $t_f = 20$ ns, $C_L = 50$ pF, $R_L = 1\ k\Omega$	5					35	70	ns
			10					20	40	
			15					15	30	
	Maximum control input repetition rate	$V_{is} = V_{DD}$, V_{SS} = GND, $R_L = 1\ k\Omega$ to GND, $C_L = 50$ pF, $V_C = 10$ V (square wave centered on 5 V), t_r, $t_f = 20$ ns, $V_{OS} = 1/2\ V_{OS}$ at 1 kHz	5					6		MHz
			10					9		
			15					9.5		
C_I	Input capacitance							5	7.5	pF

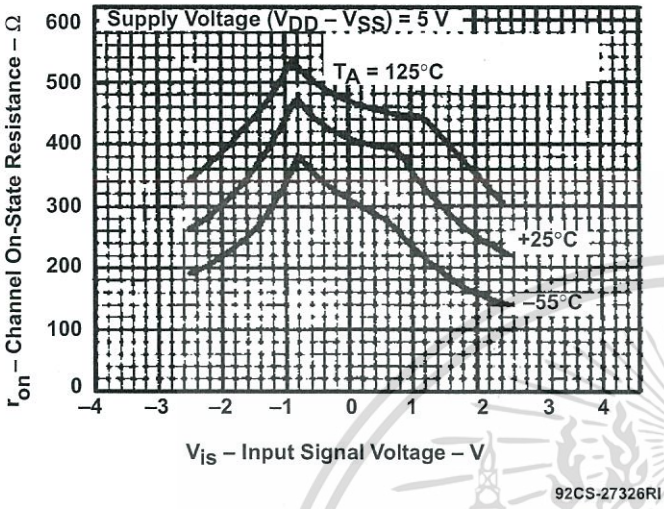
switching characteristics

V_{DD} (V)	SWITCH INPUT						SWITCH OUTPUT, V_{OS} (V)	
	V_{is} (V)	I_{is} (mA)						
		–55°C	–40°C	25°C	85°C	125°C	MIN	MAX
5	0	0.64	0.61	0.51	0.42	0.36		0.4
5	5	–0.64	–0.61	–0.51	–0.42	–0.36	4.6	
10	0	1.6	1.5	1.3	1.1	0.9		0.5
10	10	–1.6	–1.5	–1.3	–1.1	–0.9	9.5	
15	0	4.2	4	3.4	2.8	2.4		1.5
15	15	–4.2	–4	–3.4	–2.8	–2.4	13.5	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TYPICAL CHARACTERISTICS

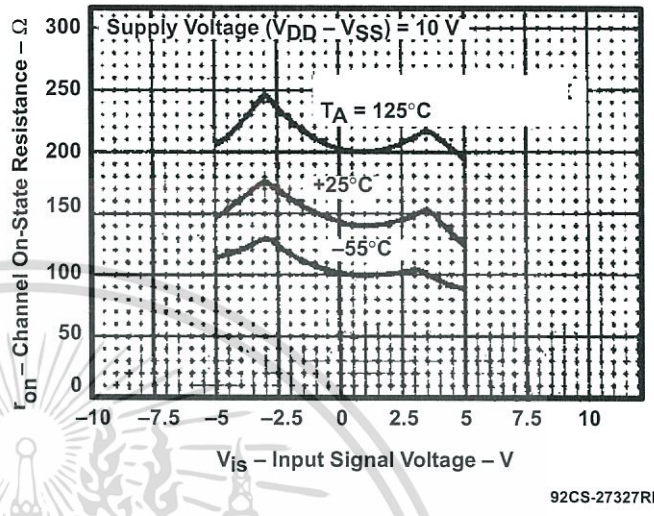
TYPICAL ON-STATE RESISTANCE
VS
INPUT SIGNAL VOLTAGE (ALL TYPES)



92CS-27326RI

Figure 2

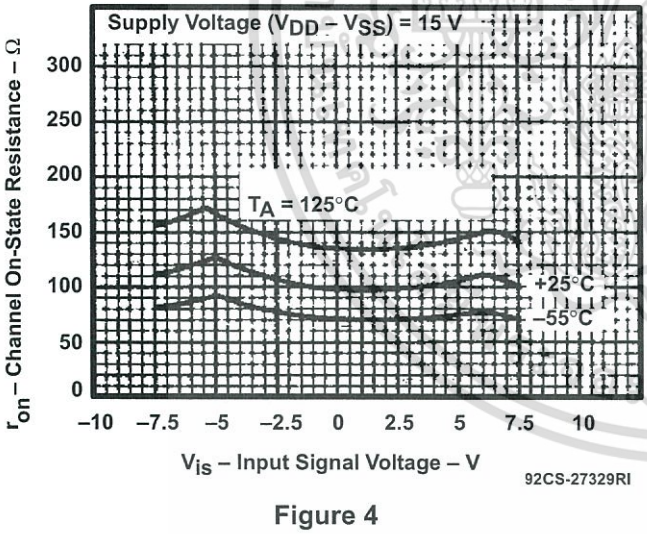
TYPICAL ON-STATE
VS
INPUT SIGNAL VOLTAGE (ALL TYPES)



92CS-27327RI

Figure 3

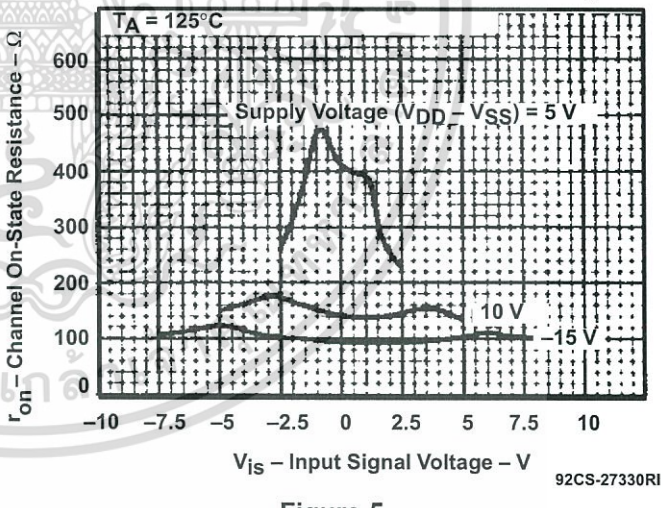
TYPICAL ON-STATE RESISTANCE
VS
INPUT SIGNAL VOLTAGE (ALL TYPES)



92CS-27329RI

Figure 4

ON-STATE RESISTANCE
VS
INPUT SIGNAL VOLTAGE (ALL TYPES)



92CS-27330RI

Figure 5

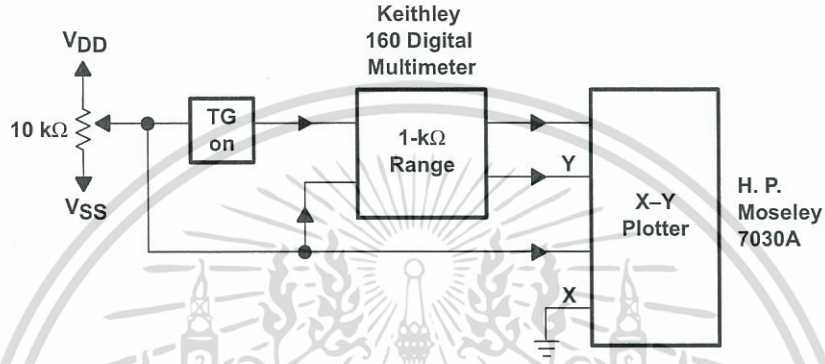
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TYPICAL CHARACTERISTICS

$$r_{on} = \frac{|V_{is} - V_{os}|}{|I_{is}|}$$

92CS - 30966

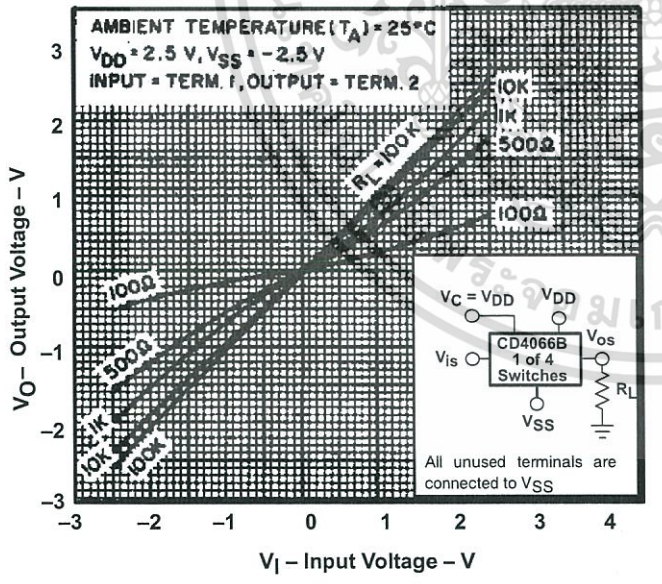
Figure 6. Determination of r_{on} as a Test Condition for Control-Input High-Voltage (V_{IHC}) Specification



92CS - 22716

Figure 7. Channel On-State Resistance Measurement Circuit

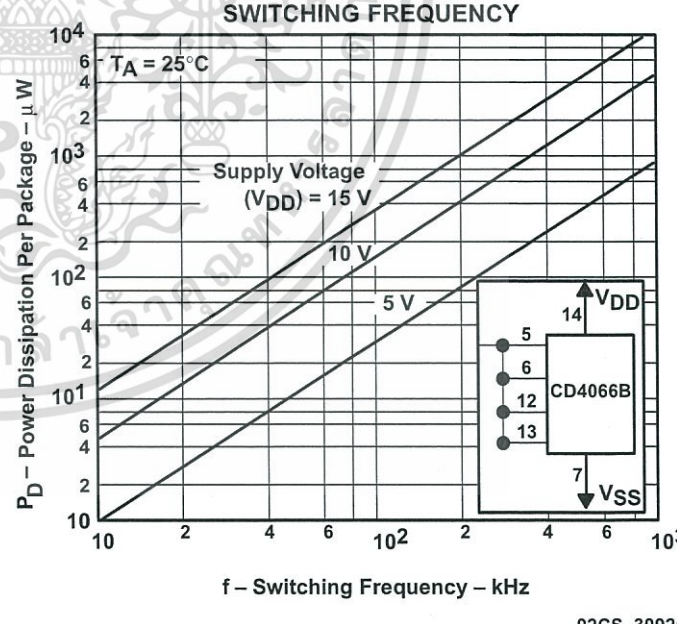
TYPICAL ON CHARACTERISTICS
FOR 1 OF 4 CHANNELS



92CS - 30919

Figure 8

POWER DISSIPATION PER PACKAGE
VS
SWITCHING FREQUENCY

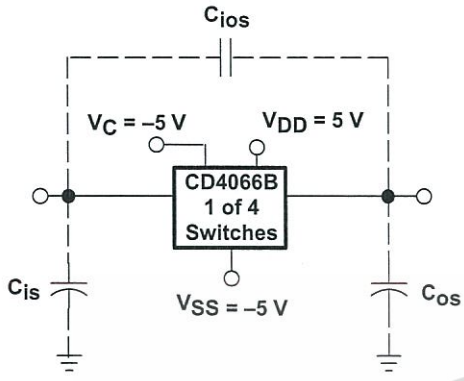


92CS -30920

Figure 9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

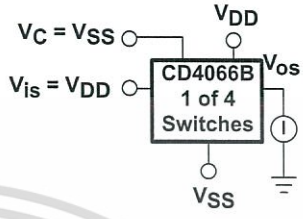
TYPICAL CHARACTERISTICS



92CS-30921

Measured on Boonton capacitance bridge, model 75a (1 MHz)
test-fixture capacitance nulled out

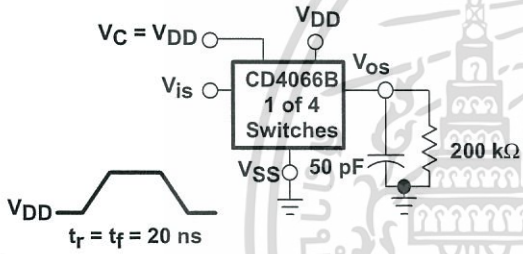
Figure 10. Typical on Characteristics for One of Four Channels



92CS-30922

All unused terminals are connected to V_{SS}.

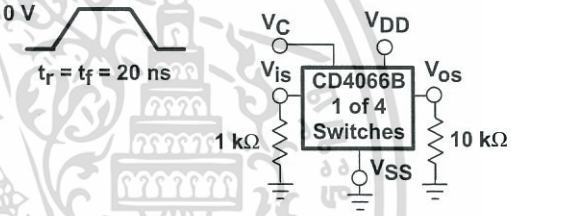
Figure 11. Off-Switch Input or Output Leakage



92CS-30923

All unused terminals are connected to V_{SS}.

Figure 12. Propagation Delay Time Signal Input (V_{is}) to Signal Output (V_{os})



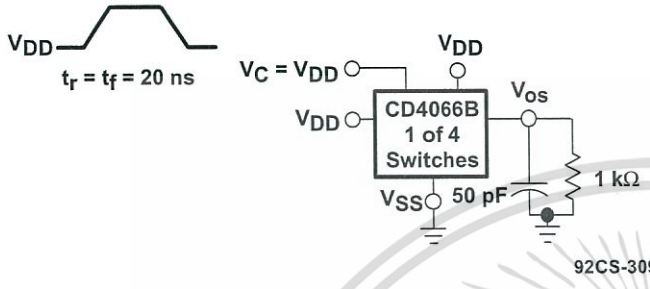
92CS-30924

All unused terminals are connected to V_{SS}.

Figure 13. Crosstalk-Control Input to Signal Output

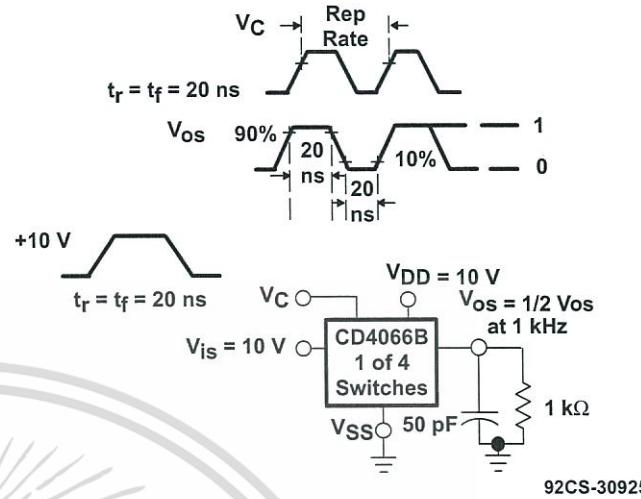
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TYPICAL CHARACTERISTICS



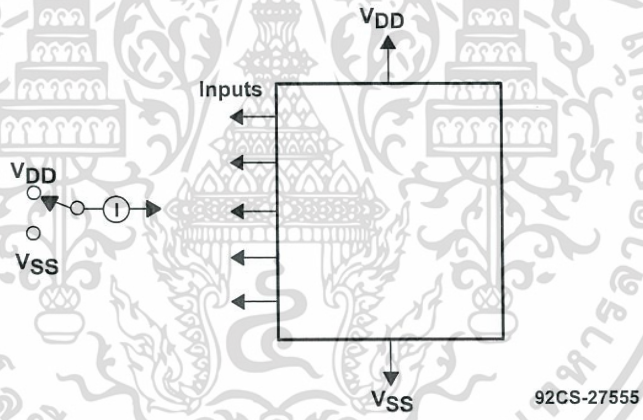
NOTES: A. All unused terminals are connected to V_{SS}.
B. Delay is measured at V_{OS} level of +10% from ground (turn-on) or on-state output level (turn-off).

Figure 14. Propagation Delay t_{PLH}, t_{PHL} Control-Signal Output



All unused terminals are connected to V_{SS}

Figure 15. Maximum Allowable Control-Input Repetition Rate



Measure inputs sequentially, to both V_{DD} and V_{SS}. Connect all unused inputs to either V_{DD} or V_{SS}. Measure control inputs only.

Figure 16. Input Leakage-Current Test Circuit

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TYPICAL CHARACTERISTICS

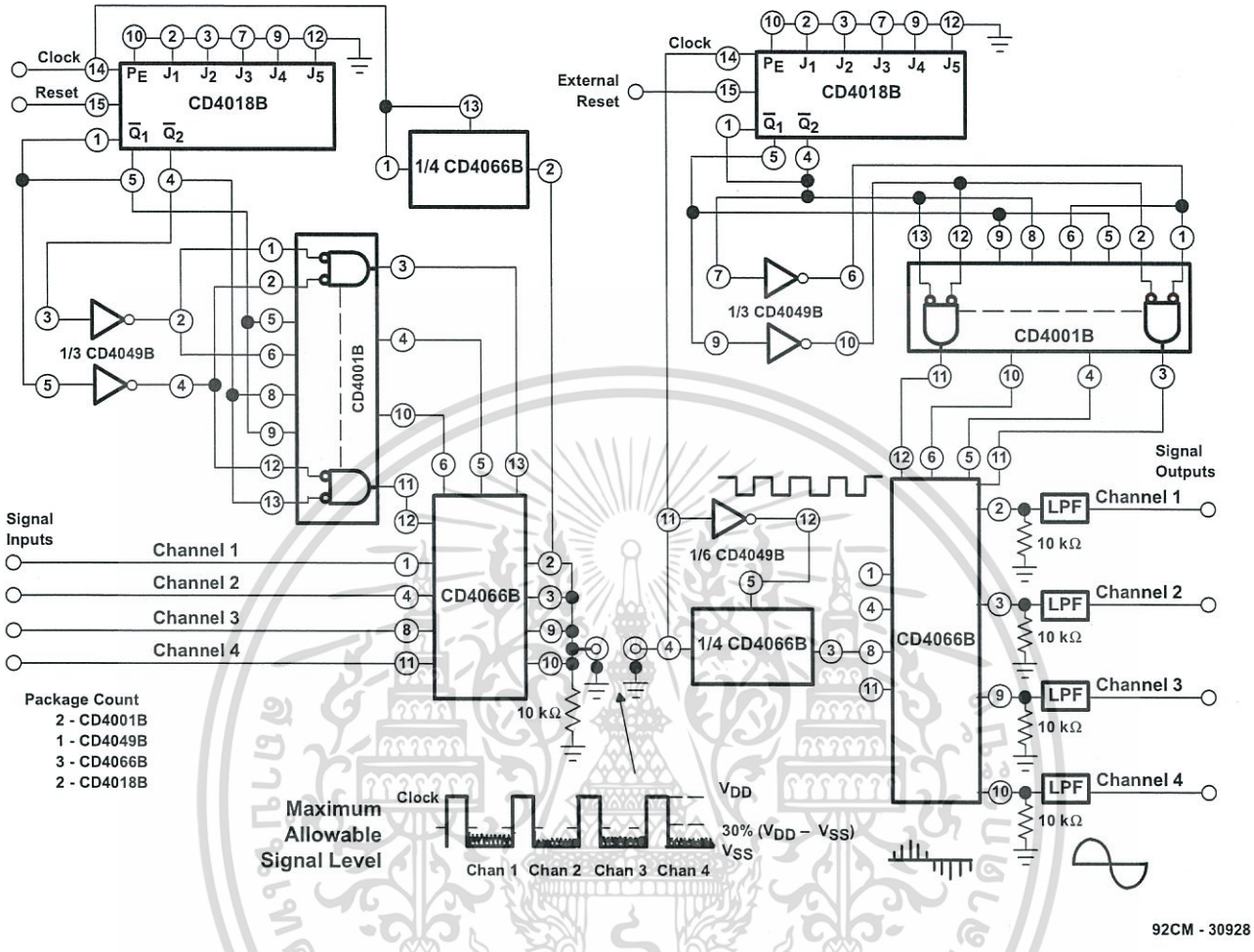
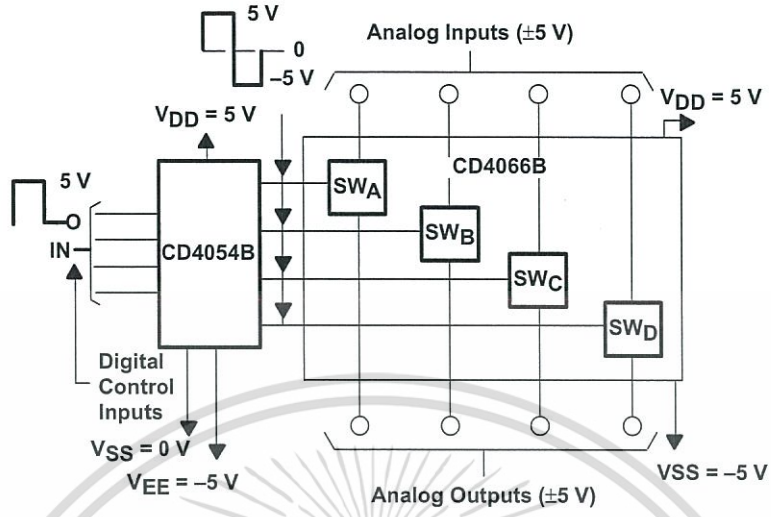


Figure 17. Four-Channel PAM Multiplex System Diagram

TEXAS INSTRUMENTS
POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TYPICAL CHARACTERISTICS



92CS - 30927

Figure 18. Bidirectional Signal Transmission Via Digital Control Logic

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

APPLICATION INFORMATION

In applications that employ separate power sources to drive V_{DD} and the signal inputs, the V_{DD} current capability should exceed V_{DD}/R_L (R_L = effective external load of the four CD4066B bilateral switches). This provision avoids any permanent current flow or clamp action on the V_{DD} supply when power is applied or removed from the CD4066B.

In certain applications, the external load-resistor current can include both V_{DD} and signal-line components. To avoid drawing V_{DD} current when switch current flows into terminals 1, 4, 8, or 11, the voltage drop across the bidirectional switch must not exceed 0.8 V (calculated from r_{on} values shown).

No V_{DD} current will flow through R_L if the switch current flows into terminals 2, 3, 9, or 10.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น 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.

Mailing Address:

Texas Instruments
Post Office Box 655303
Dallas, Texas 75265

Copyright © 2002, Texas Instruments Incorporated

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้