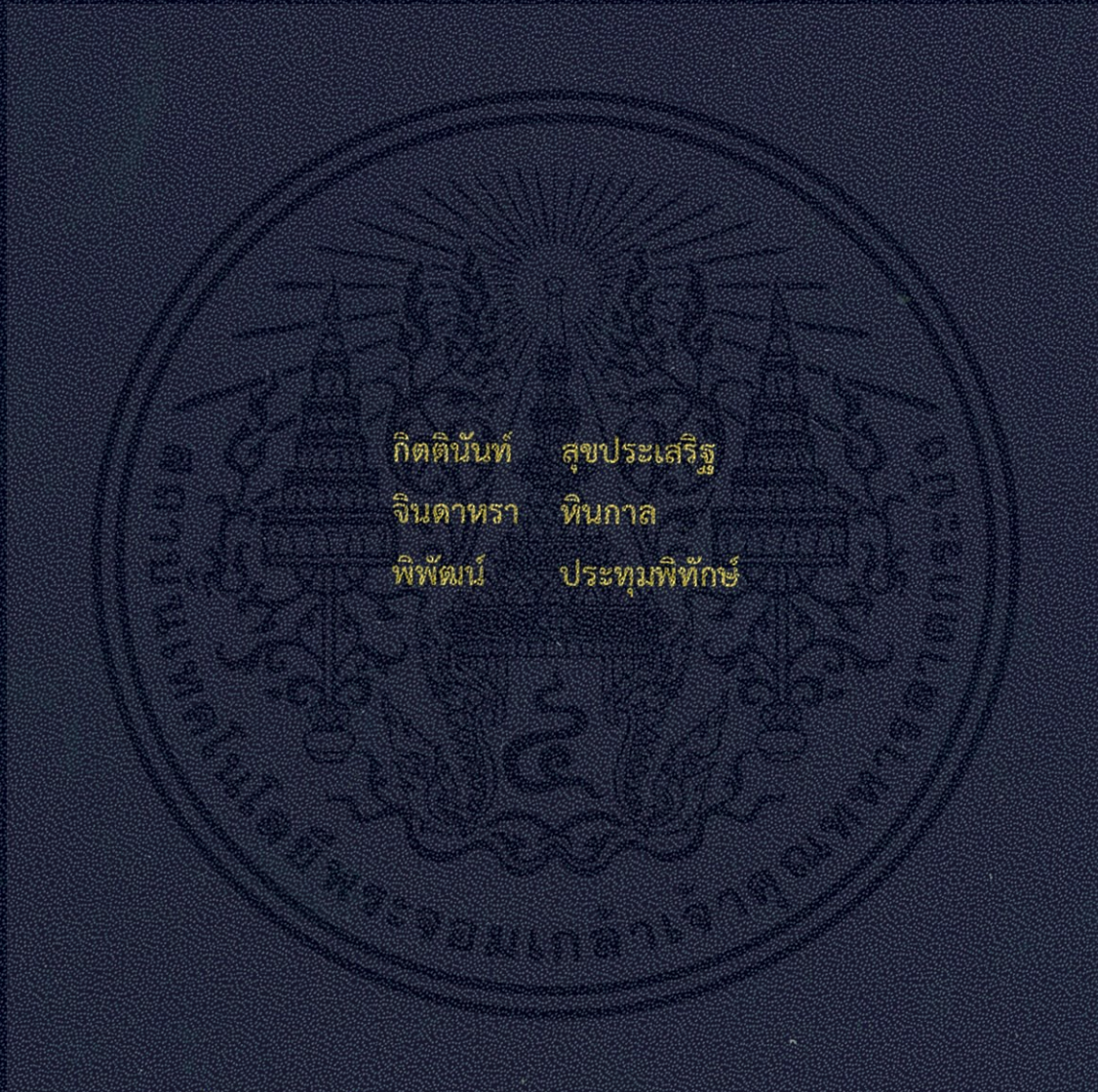


อุปกรณ์ชาร์จไฟติดกระจกจากพลังงานแสงอาทิตย์

Window Charger from Solar cells



กิตตินันท์ สุขประเสริฐ

จินดาทรา ทินกาล

พิพัฒน์ ประทุมพิทักษ์

ปริญญาานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2556

อุปกรณ์ชาร์จไฟติดกระจกจากพลังงานแสงอาทิตย์  
Window Charger from Solar cells



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรณีศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกไปเผยแพร่และต้องนำส่งเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2556

# Window Charger from Solar cells



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT  
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF  
**BACHELOR OF ENGINEERING IN STRUMENTATION ENGINEERING**  
FACULTY OF ENGINEERING  
**KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**


ACADEMIC YEAR 2013

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2556  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ใบรับรองปริญญาานิพนธ์

หัวข้อปริญญาานิพนธ์ อุปกรณ์ชาร์จไฟติดกระจกจากพลังงานแสงอาทิตย์  
Window Charger from Solar cells

นักศึกษาผู้จัดทำ นายกิตตินันท์ สุขประเสริฐ รหัสนักศึกษา 53010111  
นางสาวจินดาทรา หินกาล รหัสนักศึกษา 53010209  
นายพิพัฒน์ ประทุมพิทักษ์ รหัสนักศึกษา 53011133

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชา วิศวกรรมการวัดคุม  
ปีการศึกษา 2556

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญาานิพนธ์	ลายมือชื่อ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์สาธิต คำมูล	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**หัวข้อปริญญาานิพนธ์** อุปกรณ์ชาร์จไฟติดกระจกจากพลังงานแสงอาทิตย์  
 Window Charger from Solar cells

**นักศึกษาผู้จัดทำ** นายกิตตินันท์ สุขประเสริฐ รหัสนักศึกษา 53010111  
 นางสาวจินดาหรา ทินกาล รหัสนักศึกษา 53010209  
 นายพิพัฒน์ ประทุมพิทักษ์ รหัสนักศึกษา 53011133

**อาจารย์ที่ปรึกษา** ผู้ช่วยศาสตราจารย์สาท คำมูล  
**ปีการศึกษา** 2556

**บทคัดย่อ**

ในปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเสนอแนวความคิดที่ใช้พลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ให้เกิดประโยชน์ โดยการประดิษฐ์เครื่องอัดประจุแบตเตอรี่มือถือจากเซลล์แสงอาทิตย์ให้มีขนาดเล็กที่สุดเพื่อเป็น INPUT ให้กับวงจร BOOST CONVERTER ซึ่งทำการเปลี่ยนขนาดของแรงดัน และกระแสให้มีขนาดที่ใกล้เคียงกับแรงดัน และกระแสที่ใช้ในการอัดประจุแบตเตอรี่ของเครื่องชาร์จที่ใช้ไฟฟ้าปกติเพื่อทำให้ได้ประสิทธิภาพที่ดีที่สุดสำหรับการชาร์จประจุแบตเตอรี่มือถือ

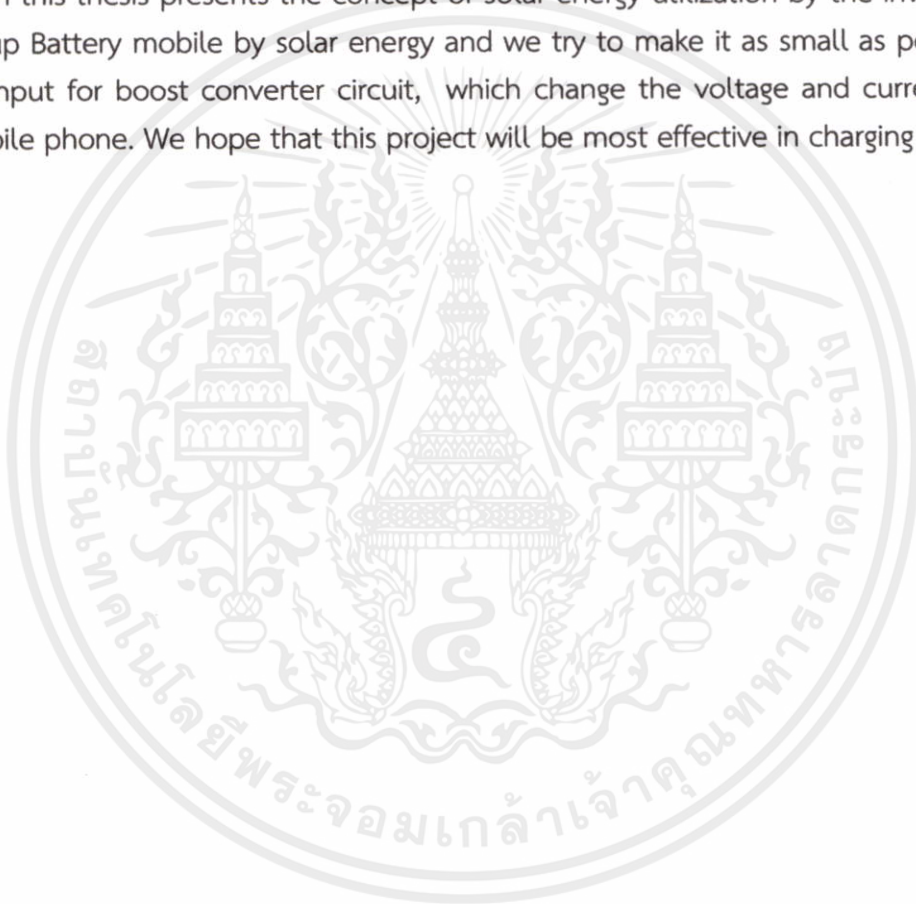


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 "ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้"

<b>Thesis Title</b>	Window Charger from Solar cells	
<b>Authors</b>	Mr. Kittinan	Sookprasert
	Miss. Jindahra	Hinkan
	Mr. Pipat	Prathumpitak
<b>Thesis Advisor</b>	Asst.Prof. Sart	Kummool
<b>Year</b>	2013	

### Abstract

In this thesis presents the concept of solar energy utilization by the invention of Backup Battery mobile by solar energy and we try to make it as small as possible to the input for boost converter circuit, which change the voltage and current for the mobile phone. We hope that this project will be most effective in charging .



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยดี เนื่องจากการสนับสนุนของ ผศ.สาท คำมูล ที่คอยให้คำปรึกษา และคำแนะนำที่ดีในการทำโครงงานนี้มาโดยตลอด ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุมที่เอื้อเพื่อสถานที่ และอุปกรณ์ต่างๆในการทำโครงงานนี้ ขอขอบคุณเพื่อนสนิทมิตรสหายทุกท่านที่ให้การช่วยเหลือในการทำโครงงานนี้ให้สำเร็จไปได้ด้วยดี ขอขอบพระคุณบิดามารดาผู้ให้กำเนิดที่เลี้ยงดูเรามา และคอยให้กำลังใจมาตลอด ความรู้ใดๆที่ผู้รักการศึกษาค้นคว้าได้จากปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ คณะผู้จัดทำหวังว่าจะเป็นประโยชน์ต่องานเชิงวิศวกรรมหรืองานเชิงวิจัยต่อไป

คณะผู้จัดทำ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญภาพ.....	VIII
<b>บทที่ 1 บทนำ.....</b>	<b>1</b>
1.1 ความเป็นมา และความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ความมุ่งหมาย และวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	1
1.3 สมมติฐานของการศึกษา.....	1
1.4 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย.....	1
1.5 ขอบเขตของการวิจัย.....	1
1.6 แผนการดำเนินโครงการ.....	2
1.7 ขั้นตอนในการศึกษา.....	3
<b>บทที่ 2 ทฤษฎี.....</b>	<b>4</b>
2.1 พลังงานธรรมชาติ.....	4
2.1.1 พลังงานน้ำ.....	4
2.1.1.1 หลักการทำงานของไฟฟ้าจากพลังงานน้ำ.....	4
2.1.1.2 รูปแบบของไฟฟ้าพลังงานน้ำ.....	5
2.1.1.3 ประโยชน์ของไฟฟ้าพลังงานน้ำ.....	6
2.1.2 พลังงานลม.....	7
2.1.2.1 ชนิดของกังหันลม.....	7
2.1.2.2 ส่วนประกอบของระบบกังหันลมขนาดใหญ่สำหรับผลิตไฟฟ้า.....	8
2.1.2.3 กังหันลมกับการผลิตไฟฟ้า.....	9
2.1.2.4 กังหันลมกับการใช้งาน.....	9
2.1.3 แสงอาทิตย์.....	9
2.1.3.1 การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานความร้อนของแสงอาทิตย์.....	10
2.1.3.2 การผลิตความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์.....	11
2.1.3.3 การประยุกต์ใช้พลังงานแสงอาทิตย์.....	11
2.2 โซลาร์เซลล์หรือเซลล์แสงอาทิตย์.....	12
2.2.1 ประวัติและความเป็นมา.....	12
2.2.2 ประเภทของเซลล์แสงอาทิตย์.....	13
2.2.3 หลักการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์.....	14

# สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.2.4 ค่าพลังงานจากแสงอาทิตย์ที่แผ่มาของโลก และค่าเฉลี่ยที่ได้รับในประเทศไทย.....	16
2.2.5 คุณสมบัติและตัวแปรที่สำคัญของเซลล์แสงอาทิตย์.....	17
2.2.6 คุณลักษณะทางไฟฟ้าของแผงโซลาร์เซลล์.....	17
2.2.7 ข้อสังเกตเรื่องข้อมูลของแผงโซลาร์เซลล์.....	18
2.2.8 จุดเด่นของไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์.....	18
2.2.9 ข้อจำกัดของไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์.....	19
2.2.10 ประสิทธิภาพของเซลล์ และประสิทธิภาพของแผงโซลาร์เซลล์.....	19
2.3 DC to DC Converter.....	20
2.3.1 Boost Converter.....	20
2.3.1.1 หลักการทำงาน.....	21
2.3.2 Buck Converter.....	24
2.3.2.1 หลักการทำงานของ Buck Converter.....	24
2.4 แบตเตอรี่ (Battery).....	26
2.4.1 แบตเตอรี่ปฐมภูมิ.....	26
2.4.2 แบตเตอรี่ทุติยภูมิ.....	29
2.4.3 ข้อแตกต่างระหว่างแบตเตอรี่ Lithium Polymer กับ Lithium Ion.....	30
2.4.4 การชาร์จแบตเตอรี่.....	32
2.5 SolidWorks.....	33
2.5.1 ประสิทธิภาพการทำงาน.....	34
2.5.2 ลักษณะการทำงาน.....	34
2.5.3 แบบจำลองที่ทาจากโปรแกรม SolidWorks.....	35
2.6 Altium Designer 6.0.....	36
2.6.1 ความสามารถของ Altium Designer.....	37
2.6.2 วงจรที่ทาจากโปรแกรม Altium Designer 6.0.....	37
2.6.3 วงจรที่ทาจากโปรแกรม Altium Designer 6.0.....	40
2.7 MakerBot Replicator 2.....	41
2.7.1 โครงสร้างรังผึ้ง.....	42
2.7.1.1 คุณสมบัติของโครงสร้างรังผึ้ง.....	44
<b>บทที่ 3 การคำนวณ และการสร้าง.....</b>	<b>46</b>
3.1 โครงสร้างของระบบ.....	46
3.1.1 Solar Cells.....	46
3.1.2 DC Boost Converter.....	46
3.1.3 Battery.....	46
3.1.4 Port USB.....	46

# สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.1.5 Battery indicator 3 levels.....	47
3.2 ส่วนของอิเล็กทรอนิกส์.....	47
3.2.1 คุณสมบัติของแผงโซลาร์เซลล์ที่ใช้.....	47
3.2.2 คุณสมบัติของแบตเตอรี่ที่ใช้.....	47
<b>บทที่ 4 การทดลอง และผลการทดลอง.....</b>	<b>48</b>
4.1 การทดลองเพื่อหาค่าแรงดัน และกระแสของโซล่าเซลล์.....	48
4.1.1 ขั้นตอนการเตรียมการ.....	48
4.1.2 ขั้นตอนการทดลอง.....	48
4.1.3 ผลการทดลอง.....	49
4.1.4 สรุปผลจากการเก็บข้อมูล.....	53
4.2 การทดลองเพื่อหาค่าแรงดัน และปัจจัยต่างๆในการใช้งานจริง.....	54
4.2.1 ขั้นตอนการเตรียมการ.....	54
4.2.2 ขั้นตอนการทดลอง.....	54
4.2.3 ผลการทดลอง.....	55
4.2.4 สรุปผลจากการเก็บข้อมูล.....	59
4.2.5 การปรับปรุงแก้ไข.....	59
<b>บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....</b>	<b>60</b>
5.1 วัตถุประสงค์.....	60
5.2 สรุปผลการวิจัย.....	60
5.2.1 การเลือกพลังงานธรรมชาติชนิดต่างๆมาใช้.....	60
5.2.2 การเลือกชนิดและขนาดของเซลล์แสงอาทิตย์.....	61
5.3 ปัญหาและอุปสรรคในการทำงาน.....	62
5.4 ข้อเสนอแนะ.....	62
<b>บรรณานุกรม.....</b>	<b>63</b>
<b>ภาคผนวก ก.....</b>	<b>64</b>
<b>ภาคผนวก ข.....</b>	<b>71</b>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ตารางแสดงอัตราพลังงานแสงอาทิตย์เฉลี่ยรายวัน กิโลวัตต์/ตารางเมตร/วัน.....	16
2.2 ตารางแสดงความสัมพันธ์ของ Duty Ratio (D) และอัตราการขยายแรงดัน.....	23
2.3 ตารางแสดงโครงสร้างรังผึ้งของวัสดุต่างๆ.....	45
4.1 ตารางแสดงข้อมูลของแรงดันและกระแสโซลาร์เซลล์.....	49
ของวันที่ 31 มกราคม พุทธศักราช 2557	
4.2 ตารางแสดงข้อมูลของแรงดันและกระแสโซลาร์เซลล์.....	50
ของวันที่ 9 กุมภาพันธ์ พุทธศักราช 2557	
4.3 ตารางแสดงข้อมูลของแรงดันและกระแสโซลาร์เซลล์.....	51
ของวันที่ 10 มกราคม พุทธศักราช 2557	
4.4 ตารางแสดงข้อมูลของแรงดันและกระแสเฉลี่ย ของโซลาร์เซลล์ทั้ง 3 วัน.....	52
4.5 ตารางแสดงโวลต์ที่ได้จาก Solar cell และBoost Converter.....	55
ในวันที่ 28 กุมภาพันธ์ พุทธศักราช 2557	
4.6 ตารางแสดงโวลต์ที่ได้จาก Solar cell และBoost Converter.....	56
ในวันที่ 4 มีนาคม พ.ศ. 2557	
4.7 ตารางแสดงโวลต์ที่ได้จาก Solar cell และBoost Converter.....	57
ในวันที่ 7 มีนาคม พ.ศ. 2557	
4.8 ตารางแสดงโวลต์ที่ได้จาก Solar cell และBoost Converter.....	58
ในวันที่ 8 มีนาคม พ.ศ. 2557	
5.1 ตารางแสดงคุณสมบัติและข้อดีของพลังงานธรรมชาติชนิดต่างๆ.....	60
5.2 ตารางคุณลักษณะของเซลล์แสงอาทิตย์.....	61
5.3 ตารางแสดงข้อมูลวงจรแบบต่างๆ.....	62

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 แสดงเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากพลังงานน้ำ.....	4
2.2 แสดงกังหันลม.....	6
2.3 แสดงรูปกังหันลมแบบแนวแกนนอน (Horizontal Axis Wind Turbine).....	7
2.4 แสดงรูปกังหันลมแบบแนวแกนตั้ง (Vertical Axis Wind Turbine).....	8
2.5 แสดงการฆ่าเชื้อในน้ำก่อนนำไปบริโภคที่อินโดนีเซีย.....	11
2.6 แสดงรถพลังแสงอาทิตย์เข้าแข่งที่ออสเตรเลีย.....	11
2.7 แสดงการสกัดเชื้อเพลิงจากสาหร่ายในห้องทดลอง.....	12
2.8 แสดง Green house ในเนเธอร์แลนด์ ใช้ปลูกผักผลไม้ และดอกไม้เพื่อการส่งออก.....	12
2.9 แสดงการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์.....	14
2.10 แสดงหลักการทำงานชั้นเซลล์แสงอาทิตย์ที่ 1.....	15
2.11 แสดงหลักการทำงานชั้นเซลล์แสงอาทิตย์ที่ 2.....	15
2.12 แสดงหลักการทำงานชั้นเซลล์แสงอาทิตย์ที่ 3.....	15
2.13 แสดงวงจรเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้า.....	20
2.14 แสดงหลักการทำงานขณะสวิตช์ ON.....	21
2.15 แสดงแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำ และกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ.....	22
2.16 แสดงหลักการทำงานขณะสวิตช์ OFF.....	22
2.17 แสดงความสัมพันธ์ $V_0$ กับ $t$ .....	24
2.18 แสดงวงจร Buck Converter.....	25
2.19 วงจรสมมูลเมื่อสวิตช์นำกระแส.....	25
2.20 รูปวงจรสมมูลเมื่อสวิตช์ไม่นำกระแส.....	25
2.21 แสดงวงจร Boost Converter ที่ใช้.....	26
2.22 แสดงแบตเตอรี่แบบ Zinc Carbon และ Alkaline.....	27
2.23 แสดงแบตเตอรี่แบบ Ni-MH และ Lithium.....	29
2.24 แสดง lithium-ion cells และlithium-polymer cells.....	30
2.25 แสดงหน้าโปรแกรมของ SolidWorks.....	33
2.26 แสดง Front case.....	35
2.27 แสดง Back case.....	36
2.28 แสดง Schematic of a circuit 12V to 5V,1A.....	40
2.29 แสดง PCB of a circuit 12V to 5V,1A.....	41
2.30 แสดง Schematic of integrated battery indicator 3 level LEDs.....	41
2.31 แสดง PCB of integrated battery indicator 3 level LEDs.....	41
2.32 แสดงเครื่อง MakerBot Replicator 2.....	42
2.33 แสดงโครงสร้างรังผึ้งที่คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้.....	43
3.1 แสดง Block Diagram ของระบบชาร์จแบตเตอรี่.....	46
4.1 แสดงการทดลอง และวงจรในการทดลอง.....	49

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.2 แสดงข้อมูลของแรงดันและกระแสโซลาร์เซลล์ของวันที่ 31 มกราคม พุทธศักราช 2557.....	49
4.3 แสดงข้อมูลของแรงดันและกระแสโซลาร์เซลล์ของวันที่ 9 กุมภาพันธ์ พุทธศักราช 2557.....	50
4.4 แสดงข้อมูลของแรงดันและกระแสโซลาร์เซลล์ของวันที่ 10 มกราคม พุทธศักราช 2557.....	51
4.5 แสดงข้อมูลของแรงดันและกระแสเฉลี่ย ของโซลาร์เซลล์ทั้ง 3 วัน.....	52
4.6 แสดงการชาร์จโทรศัพท์.....	53
4.7 แสดงสถานที่ในการทดลอง และทิศทางใน วันที่ 28 กุมภาพันธ์ พุทธศักราช 2557.....	55
4.8 แสดงทิศทางของการทดลองใน วันที่ 4 มีนาคม พุทธศักราช 2557.....	56
4.9 แสดงสถานที่ในการทดลอง และทิศทางใน วันที่ 7 มีนาคม พุทธศักราช 2557.....	57
4.10 แสดงสถานที่ในการทดลอง และทิศทางใน วันที่ 8 มีนาคม พุทธศักราช 2557.....	58
ก.1.1 แสดง DC Power Supply (Instrumentation Model INS2000).....	65
ก.1.2 แสดง Meter UNI – T รุ่น UT33A.....	65
ก.1.3 แสดง Meter YUGO รุ่น MY – 68.....	66
ก.1.4 แสดง จู๊บบางติดกระจก Suction plate.....	66
ก.1.5 แสดงโทรศัพท์ Smart Phone.....	67
ก.1.6 แสดง วงจรเพิ่มแรงดัน (Boost Converter).....	67
ก.1.7 แสดง เซลล์แสงอาทิตย์ Single Crystalline Silicon Solar Cell ขนาด 9 V 100 mA.....	68
ก.1.8 แสดงชุดสำเร็จระบบประจุแบตเตอรี่มือถือจากพลังงานธรรมชาติ.....	68
ก.1.9 แสดงการใช้งานในออฟฟิต.....	69
ก.1.10 แสดงการใช้งานในรถยนต์.....	69
ก.1.11 แสดงการใช้งานในสวนสาธารณะ.....	69

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมา และความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันโทรศัพท์มือถือได้มีอิทธิพลอย่างมากกับมนุษย์ ไม่ว่าจะเป็นการติดต่อสื่อสาร หรือ การเจรจาทางธุรกิจส่วนใหญ่ก็ต้องพึ่งโทรศัพท์มือถือกันทั้งนั้น ดังนั้นที่ชาร์จแบตเตอรี่สำรองจึงเป็นสิ่งจำเป็น กลุ่มผู้จัดทำจึงนำเสนอแนวคิดที่ชาร์จแบตเตอรี่สำรองในรูปแบบที่ต่างออกไป โดยใช้พลังงานจากแสงอาทิตย์ ซึ่งนอกจากจะได้รับประโยชน์ในการชาร์จแบตเตอรี่แล้ว ยังเป็นส่วนช่วยให้อนุรักษ์พลังงานอีกด้วย โดยกลุ่มผู้จัดทำได้ออกแบบให้อุปกรณ์นี้ติดกับกระจก โซลาเซลล์ที่ติดอยู่กับอุปกรณ์นี้ ก็จะสามารถสร้างพลังงานไฟฟ้าให้กับโทรศัพท์มือถือได้ อีกทั้งยังสามารถตรวจสอบสถานะของแบตเตอรี่ได้โดยแสดงจากวงจรแสดงไฟสามระดับได้อีกด้วย

### 1.2 ความมุ่งหมาย และวัตถุประสงค์ของการศึกษา

เพื่อที่จะอำนวยความสะดวกในการใช้ในกรณีที่แบตเตอรี่ของโทรศัพท์มือถือหมด ในสถานที่ที่ไม่มีไฟฟ้า หรือไม่สะดวกที่จะใช้ไฟฟ้า จึงเลือกใช้พลังงานธรรมชาติที่มีอยู่ทั่วไปมาใช้ให้เกิดประโยชน์ โดยนำเป็นแหล่งกำเนิดพลังงานในการอัดประจุแบตเตอรี่ โดยการออกแบบได้เลือกใช้พลังงานแสงอาทิตย์มาเป็นแหล่งพลังงาน เนื่องจากพลังงานแสงอาทิตย์ มีอยู่ทั่วไป และสามารถใช้ได้ทุกสถานที่ โดยจะออกแบบให้มีน้ำหนักเบา มีขนาดเล็กพกพาได้สะดวก และสวยงาม

### 1.3 สมมติฐานของการศึกษา

เนื่องจากการออกแบบเครื่องอัดประจุมือถือจากเซลล์แสงอาทิตย์ให้มีประสิทธิภาพ มีขนาดเล็ก และพกพาได้นั้น จะต้องพิจารณาถึงขนาดของเซลล์แสงอาทิตย์ที่เหมาะสม วงจรที่รักษาระดับแรงดัน เพื่อใช้ในการอัดประจุแบตเตอรี่โทรศัพท์มือถือที่เหมาะสม มีขนาดเล็ก ดังนั้นสมมติฐานของปริญญาณิพนธ์ฉบับนี้ก็คือ การนำเซลล์แสงอาทิตย์มาเป็นแหล่งกำเนิดไฟฟ้า ต่อเข้ากับวงจร และสามารถนำมาอัดประจุแบตเตอรี่มือถือได้

### 1.4 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย

ในการประจุแบตเตอรี่มือถือด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ โดยแผงเซลล์แสงอาทิตย์เป็นแหล่งกำเนิดไฟฟ้าให้กับวงจร BOOST CONVERTER เพื่อทำการเพิ่มแรงดันให้กับวงจรชาร์จแบตเตอรี่

### 1.5 ขอบเขตของการวิจัย

1. ทำการเปลี่ยนแปลงพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้า
2. สามารถใช้ได้กับแบตเตอรี่ชนิด Lithium polymer ขนาด 3000 mAh / 11.1V
3. พิจารณาการออกแบบโครงสร้างเพื่อให้เหมาะสมกับสภาพการใช้งาน และพกพา
4. สร้างต้นแบบของประจุแบตเตอรี่ใช้เวลาที่เหมาะสมในการประจุแบตเตอรี่มือถือ

## 1.6 แผนการดำเนินโครงการงาน

เดือน การทำงาน	มิถุนายน				กรกฎาคม				สิงหาคม				กันยายน			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1.ศึกษาโครงการงาน	←————→															
2.ออกแบบ					←————→											
3.จัดเตรียมวัสดุอุปกรณ์							←————→									
4.เก็บผลการซาร์จ แบตเตอรี่มือถือ									←————→							
5.เก็บผลการทดลองเซลล์ แสงอาทิตย์											←————→					
6.รวบรวมข้อมูลและ สรุปผลการทดลอง													←————→			
7. รายงานผล																←→

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เดือน การทำงาน	พฤศจิกายน				ธันวาคม				มกราคม				กุมภาพันธ์			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1. ออกแบบวงจรและทดลอง	←————→															
2. สร้างชิ้นงานจริง			←————→													
3. ทดสอบและทำการวัดเก็บผล							←————→									
4. หาข้อผิดพลาดพร้อมปรับปรุงแก้ไขชิ้นงาน									←————→							
5. ทดสอบและตรวจวัดหลังการปรับปรุง													←————→			
6. ทำปริญญานิพนธ์													←————→			

### 1.7 ขั้นตอนในการศึกษา

1. ศึกษาเกี่ยวกับแบตเตอรี่ และการอัดประจุแบตเตอรี่
2. ศึกษาเกี่ยวกับคุณสมบัติ และวงจรภายในของเซลล์แสงอาทิตย์
3. ทำการเก็บค่าผลการทดลอง  $V - I$  CURVE ของเซลล์แสงอาทิตย์
4. ทำการวัดและเก็บผล เวลา กระแส และแรงดันที่ใช้ในการอัดประจุแบตเตอรี่โทรศัพท์มือถือ
5. ทำการศึกษาออกแบบวงจรที่ใช้ในการอัดประจุแบตเตอรี่มือถือ
6. ทำการศึกษาเกี่ยวกับวงจร
7. สรุปผลวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 2 ทฤษฎี

## 2.1 พลังงานธรรมชาติ

### วัตถุประสงค์

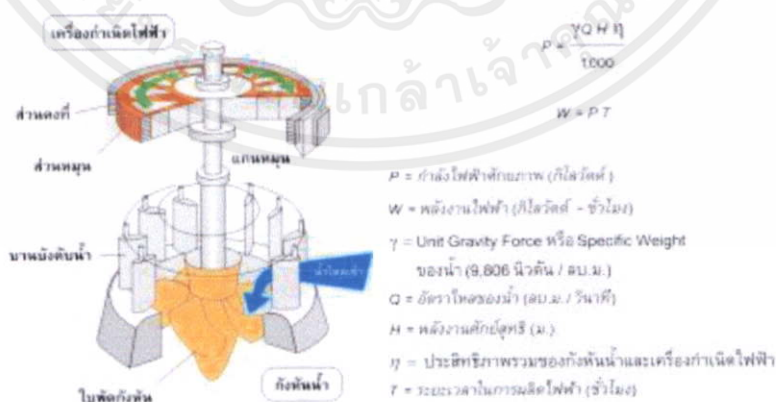
เพื่อศึกษาพลังงานที่เหมาะสมในการนำมาใช้ในการชาร์จประจุแบตเตอรี่มือถือแบบพกพา

### 2.1.1 พลังงานน้ำ

พลังงานน้ำ คือ พลังหรือกำลังที่เกิดจากการไหลของน้ำ ซึ่งเป็นพลังที่มีคุณภาพมาก หากไม่สามารถควบคุมได้ พลังน้ำนั้นก็สามารถทำให้เกิดความเสียหายแก่ชีวิตและทรัพย์สินได้อย่างกว้างขวาง ดังตัวอย่างเช่น การเกิดอุทกภัยในบริเวณที่ลาดเชิงเขา หรือบริเวณที่มีความลาดชันสูง และการเกิดสึนามิ เป็นต้น ในทางตรงกันข้าม หากสามารถควบคุมพลังงานน้ำได้ตามแนวทางที่เหมาะสม พลังน้ำอันมหาศาลนั้น ก็สามารถนำมาใช้เป็นประโยชน์แก่มนุษยชาติได้ พลังน้ำได้ถูกใช้ประโยชน์มาแล้วหลายร้อยปี กังหันน้ำสำหรับยกน้ำขึ้นสู่ที่สูงเพื่อใช้ประโยชน์ในครัวเรือนและการชลประทาน เพื่อหมุนเครื่องจักรในโรงงานสีข้าว โรงงานทอผ้า โรงงานเลื่อยไม้ และโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ ในปัจจุบัน นิยมใช้ในการผลิตไฟฟ้า ซึ่งเรียกว่า ไฟฟ้าพลังน้ำ

#### 2.1.1.1 หลักการทำงานของไฟฟ้าพลังน้ำ

ไฟฟ้าพลังน้ำ คือ ไฟฟ้าที่เกิดจากพลังงานน้ำ โดยใช้พลังงานจลน์ของน้ำซึ่งเกิดจากการปล่อยน้ำจากที่สูงหรือการไหลของน้ำ หรือการขึ้น-ลงของคลื่น ไปหมุนกังหันน้ำ (Turbine) และเครื่องกำเนิดไฟฟ้า โดยพลังงานที่ได้จากไฟฟ้าพลังน้ำนี้ ขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำ ความแตกต่างของระดับน้ำ และประสิทธิภาพของกังหันน้ำและเครื่องกำเนิดไฟฟ้า กำลังไฟฟ้าและพลังงานจากพลังงานน้ำสามารถคำนวณได้จากสมการ ดังนี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้รูปที่ 2.1 แสดงเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากพลังงานน้ำ ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ นอกจากนี้ตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณกำลังไฟฟ้าแล้ว ควรต้องทำความรู้จัก Plant Factor ซึ่งหมายถึง สัดส่วนของพลังงานที่ผลิตได้ในช่วงเวลาหนึ่งต่อพลังงานที่คาดว่าจะผลิตได้เต็มตามศักยภาพใน

ช่วงเวลาทั้งหมด โดยปกติทั่วไป ค่า Plant Factor จะต่ำกว่า 1 หรือ ต่ำกว่า 100% ทั้งนี้เนื่องจากการปิดโรงไฟฟ้าเพื่อซ่อมและบำรุงรักษาประจำปี นอกจากนี้ ยังผันแปรตามปัจจัยอื่นๆ อีก อาทิ ความมากน้อยของปริมาณน้ำ (แหล่งเชื้อเพลิง) และการออกแบบ หากออกแบบโรงไฟฟ้าพลังน้ำให้เดินเครื่องเป็นระยะเวลาที่ยาวขึ้น ค่า Plant Factor ย่อมสูงกว่าโรงไฟฟ้าพลังน้ำที่มีระยะเวลาเดินเครื่องที่สั้นกว่า โดยปกติทั่วไป หากโรงไฟฟ้าพลังน้ำ มีข้อจำกัดด้านปริมาณน้ำ โรงไฟฟ้าพลังน้ำนั้น จะผลิตไฟฟ้าเพื่อตอบสนองเฉพาะในช่วงเวลาที่มีความต้องการไฟฟ้าสูงสุด เพราะเป็นช่วงเวลาที่ให้ค่าตอบแทนสูงสุด ในประเทศไทย ช่วงที่มีการใช้ไฟฟ้ามาก คือ วันทำงานในช่วงเวลา 9:00-12:00 น. 13:00-15:00 น. และ 19:00-21:00 น.

### 2.1.1.2 รูปแบบของไฟฟ้าพลังน้ำ

โดยทั่วไป รูปแบบของไฟฟ้าพลังน้ำที่นิยมใช้กันแพร่หลาย มี 3 ประเภท คือ

1. ไฟฟ้าพลังน้ำจากอ่างเก็บน้ำ อ่างเก็บน้ำจะทำหน้าที่รวบรวมและเก็บกักน้ำ เมื่อปล่อยน้ำจากอ่างเก็บน้ำลงสู่ที่ต่ำโดยแรงดึงดูดของโลก พลังน้ำที่เกิดจากการไหลจะหมุนกังหันน้ำ (Turbine) และเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในกรณีที่เป็นอ่างเก็บน้ำขนาดใหญ่ จะทำให้สามารถบริหารจัดการน้ำได้สะดวก ดังนั้น ในเชิงเศรษฐศาสตร์หรือธุรกิจแล้ว โรงไฟฟ้าพลังน้ำประเภทนี้ มักผลิตไฟฟ้าในช่วงที่มีความต้องการไฟฟ้าสูง ซึ่งเป็นช่วงที่ให้ค่าตอบแทนสูง ปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้จากโรงไฟฟ้าพลังน้ำจากอ่างเก็บน้ำจะผันแปรตามปริมาณน้ำที่ปล่อยจากอ่างเก็บน้ำ และความแตกต่างระหว่างระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำและระดับน้ำที่ปล่อย (ด้านท้ายน้ำ) โดยทั่วไป โครงการไฟฟ้าพลังน้ำส่วนใหญ่จะเป็นในรูปแบบของไฟฟ้าพลังน้ำจากอ่างเก็บน้ำ ในประเทศไทยก็เช่นเดียวกัน เช่น โรงไฟฟ้าพลังน้ำเขื่อนภูมิพล (แม่น้ำปิง จังหวัดตาก) โรงไฟฟ้าพลังน้ำเขื่อนสิริกิติ์ (แม่น้ำน่าน จังหวัดอุตรดิตถ์) และโรงไฟฟ้าพลังน้ำเขื่อนศรีนครินทร์ (แม่น้ำแควใหญ่ จังหวัดกาญจนบุรี) เป็นต้น

2. ไฟฟ้าพลังน้ำแบบ Run-of-the-river โรงไฟฟ้าพลังน้ำประเภทนี้ เป็นรูปแบบที่ไม่มีอ่างเก็บน้ำเป็นองค์ประกอบ จึงไม่มีการบริหารจัดการน้ำ ดังนั้น โรงไฟฟ้าพลังน้ำแบบ Run-of-the-river จะทำงานตลอดเวลาตามปริมาณน้ำที่ไหลในแม่น้ำ เนื่องจากโรงไฟฟ้าพลังน้ำแบบ Run-of-the-river มักสร้างอยู่ในบริเวณพื้นที่ค่อนข้างราบ และมีอาคารสำหรับทดน้ำให้สูงขึ้น ด้วยข้อจำกัดด้านภูมิประเทศ ทำให้ความแตกต่างระหว่างระดับน้ำที่ทดขึ้น กับระดับที่ปล่อยทางด้านท้ายน้ำมีความแตกต่างกันไม่มากนัก ดังนั้น ปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้จากโรงไฟฟ้าพลังน้ำแบบ Run-of-the-river จึงผันแปรตามปริมาณน้ำเป็นสำคัญ

โรงไฟฟ้าพลังน้ำแบบ Run-of-the-river มักก่อสร้างในบริเวณที่มีปริมาณน้ำค่อนข้างมาก และมีน้ำไหลตลอดปี แต่มีภูมิประเทศไม่เหมาะสมที่จะก่อสร้างอ่างเก็บน้ำ โรงไฟฟ้าประเภทนี้ในประเทศไทย ได้แก่ โรงไฟฟ้าเขื่อนปากมูล (แม่น้ำมูล จังหวัดอุบลราชธานี)

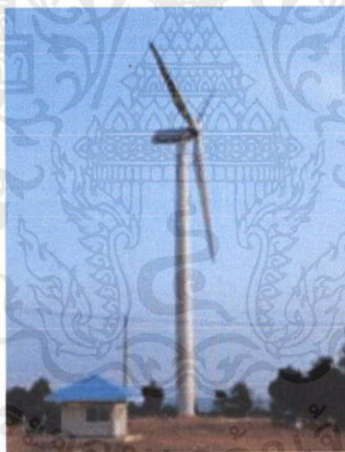
3. ไฟฟ้าพลังน้ำแบบสูบกลับ เป็นรูปแบบการผลิตไฟฟ้าที่ตอบสนองช่วงเวลาที่มีความต้องการไฟฟ้าสูงสุด โดยการถ่ายเทน้ำระหว่างอ่างเก็บน้ำที่มีระดับแตกต่างกัน ในช่วงเวลาที่มีความต้องการไฟฟ้าน้อย ปริมาณไฟฟ้าส่วนเกินในระบบจะถูกนำมาใช้ในการสูบน้ำไปยังอ่างเก็บน้ำที่อยู่สูงกว่า เมื่อถึงช่วงเวลาที่มีความต้องการใช้ไฟฟ้ามาก น้ำจะถูกปล่อยกลับลงมายังอ่างเก็บน้ำที่อยู่ต่ำกว่าและผลิตไฟฟ้า ปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้จึงผันแปรตามปริมาณน้ำ และความแตกต่างของระดับน้ำของอ่างเก็บน้ำทั้งสอง

ตัวอย่างโรงไฟฟ้าพลังน้ำแบบสูบกลับในประเทศไทย คือ โรงไฟฟ้าเขื่อนลำตะคองชลภา-วัฒนา โดยใช้เขื่อนลำตะคอง (แม่น้ำลำตะคอง จังหวัดนครราชสีมา) ซึ่งเป็นอ่างเก็บน้ำที่มีอยู่เดิมและบริหารจัดการน้ำโดยกรมชลประทาน เป็นอ่างเก็บน้ำตัวล่าง และก่อสร้างอ่างเก็บน้ำตัวบนเพิ่มเติมบนเขายายเที่ยง รูปแบบโรงไฟฟ้าเขื่อนลำตะคองชลภาวัฒนา เป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้น้ำให้กับอ่างเก็บน้ำที่มีอยู่แล้ว และยังเพิ่มประสิทธิภาพในระบบการผลิตไฟฟ้าได้อีกด้วย

### 2.1.1.3 ประโยชน์ของโรงไฟฟ้าพลังน้ำ

ทรัพยากรน้ำเป็นแหล่งเชื้อเพลิงธรรมชาติหมุนเวียนของโรงไฟฟ้า พลังงานน้ำ (Renewable Natural Resource) โดยแตกต่างจากแหล่งเชื้อเพลิงธรรมชาติประเภทอื่นๆ ซึ่งมีปริมาณจำกัด เช่น น้ำมัน ก๊าซ และถ่านหิน เป็นต้น จากวัฏจักรอุทกวิทยา เมื่อฝนตกลงมา น้ำฝนส่วนหนึ่งจะถูกเก็บกักตามหลุมต่างๆ ทั้งบนพื้นดินและตามใบไม้ต่างๆ และซึมลงสู่ใต้ดิน โดยน้ำส่วนเกินก็จะไหลลงสู่แม่น้ำ และในที่สุดก็ไหลลงสู่ทะเล สำหรับน้ำที่ไหลลงสู่ใต้ดิน บางส่วนก็ถูกขังอยู่ใต้ชั้นดินเป็นน้ำบาดาล บางส่วนก็ไหลกลับลงสู่แม่น้ำ น้ำที่อยู่บนผิวดินในที่ต่างๆ และในทะเล จะระเหยกลายเป็นไอน้ำ ซึ่งรวมถึงการคายน้ำของพืชด้วย และเมื่อมีสภาวะที่เหมาะสม ไอน้ำเหล่านั้นก็จะรวมตัวเป็นเมฆและกลั่นตัวเป็นหยดน้ำตกลงมาเป็นฝน วนเวียนตามวัฏจักรอย่างไม่มีที่สิ้นสุด

### 2.1.2 พลังงานลม



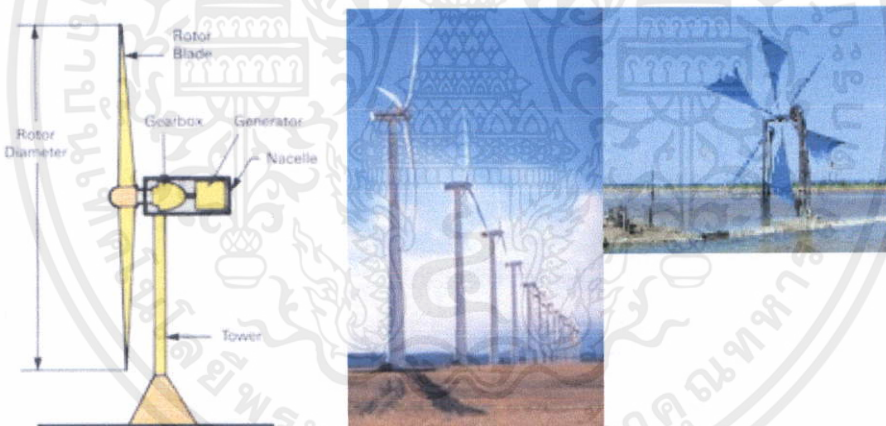
รูปที่ 2.2 กังหันลม

พลังงานลม เป็นพลังงานจากธรรมชาติที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ มนุษย์เราได้ใช้ประโยชน์จากพลังงานลมมานานหลายพันปี ในการอำนวยความสะดวกสบายแก่ชีวิต เช่น การแล่นเรือใบขนส่งสินค้าไปได้ไกลๆ การหมุนกังหันวิดน้ำ การหมุนโม่หินบดเมล็ดพืชให้เป็นแป้ง ในปัจจุบันมนุษย์จึงได้ให้ความสำคัญและนำมาใช้ประโยชน์มากขึ้น โดยการนำมาใช้ผลิตกระแสไฟฟ้า เนื่องจากพลังงานลมมีอยู่โดยทั่วไป ไม่ต้องซื้อ เป็นพลังงานที่สะอาด ไม่ก่อให้เกิดอันตรายต่อสภาพแวดล้อม และสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้อย่างไม่รู้จุกหมดสิ้น กังหันลม เป็นอุปกรณ์ชนิดหนึ่งที่ถูกนำมาใช้สกัดพลังงานจลน์ของกระแสลม และเปลี่ยนให้เป็นให้เป็นพลังงานกล จากนั้นจึงนำพลังงานกลมาใช้ประโยชน์ กล่าวคือ เมื่อกระแสลมพัดผ่านใบกังหัน จะเกิดการถ่ายทอดพลังงานจลน์ไปสู่ใบกังหัน ทำให้กังหันหมุนรอบแกน สามารถนำพลังงานจากการหมุนนี้ไปใช้งานได้กังหันลมที่ใช้กันมากในประเทศ

ไทยตั้งแต่อดีตถึงปัจจุบัน ได้แก่ กังหันลมแบบใบกังหันไม้ ใช้สำหรับดูดระเหยน้ำเข้านาข้าวบริเวณ จังหวัดฉะเชิงเทรา กังหันลมใบเสื่อลำแพน ใช้ดูดระเหยน้ำเค็มเข้านาเกลือบริเวณ จังหวัดสมุทรสงคราม และกังหันลมแบบใบกังหันหลายใบ ทำด้วยแผ่นเหล็กใช้สำหรับสูบน้ำจากบ่อน้ำบาดาลขึ้นไปเก็บในถังกักเก็บ ส่วนการใช้กังหันลมเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้ายังอยู่ในระหว่างการทดสอบและพัฒนาอยู่

### 2.1.2.1 ชนิดของกังหันลม

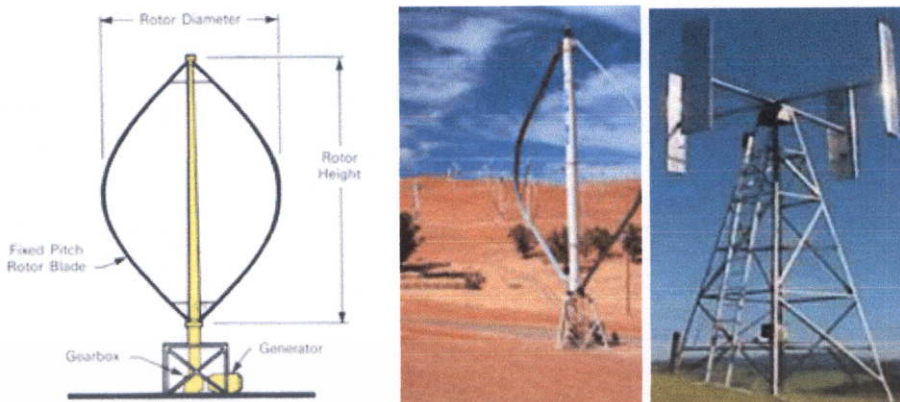
ปัจจุบันการพัฒนาเทคโนโลยีกังหันลมเพื่อใช้สำหรับผลิตไฟฟ้าได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง หลายประเทศทั่วโลกได้ให้ความสนใจ โดยเฉพาะในทวีปยุโรป เช่น ประเทศเดนมาร์ก กังหันลมที่ได้มีการพัฒนากันขึ้นมานั้นจะมีลักษณะและรูปร่างแตกต่างกันออกไป แต่ถ้าจำแนกตามลักษณะแนวแกนหมุนของกังหันจะได้ 2 แบบ คือ 1. กังหันลมแนวแกนนอน (Horizontal Axis Wind Turbine) เป็นกังหันลมที่มีแกนหมุนขนานกับทิศทางของลมโดยมีใบพัดเป็นตัวตั้งฉากรับแรงลม มีอุปกรณ์ควบคุมกังหันให้หันไปตามทิศทางของกระแสลม เรียกว่า หางเสือ และมีอุปกรณ์ป้องกันกังหันชำรุดเสียหายขณะเกิดลมพัดแรง เช่น ลมพายุและตั้งอยู่บนเสาที่แข็งแรง กังหันลมแบบแกนตั้ง (Vertical Axis Wind Turbine) ได้แก่ กังหันลมวินด์มิลล์ ( Windmills) กังหันลมใบเสื่อลำแพน นิยมใช้กับเครื่องสูบน้ำกังหันลมแบบงล้อจักรยาน กังหันลมสำหรับผลิตไฟฟ้าแบบพรอปเพลเลอร์ (Propeller)



รูปที่ 2.3 กังหันลมแบบแนวแกนนอน (Horizontal Axis Wind Turbine)

2. กังหันลมแนวแกนตั้ง (Vertical Axis Wind Turbine) เป็นกังหันลมที่มีแกนหมุนและใบพัดตั้งฉากกับการเคลื่อนที่ของลมในแนวราบ ซึ่งทำให้สามารถรับลมในแนวราบได้ทุกทิศทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 กังหันลมแบบแนวแกนตั้ง (Vertical Axis Wind Turbine)

กังหันลมแบบแนวแกนนอนเป็นแบบที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย ส่วนมากออกแบบให้เป็นชนิดที่ขับใบกังหันด้วยแรงยก แต่อย่างไรก็ตาม กังหันลมแบบแนวแกนตั้ง ซึ่งได้รับการพัฒนามากในระยะหลังก็ได้รับความสนใจมากขึ้นเช่นกัน ทั้งนี้เนื่องจากข้อดีกว่าแบบแนวแกนนอนคือ ในแบบแนวแกนตั้งนั้นไม่ว่าลมจะเข้ามาทิศไหนก็ยังหมุนได้ โดยไม่ต้องมีอุปกรณ์ควบคุมให้กังหันหันหน้าเข้าหาลม นอกจากนี้แล้วแบบแนวแกนตั้งนั้น เครื่องกำเนิดไฟฟ้าและระบบการส่งกำลังวางไว้ใกล้พื้นดินมากกว่าแบบแกนนอน เวลาเกิดปัญหาแก้ไขง่ายกว่าแบบแกนนอนที่ติดอยู่บนหอคอยสูง

#### 2.1.2.2 ส่วนประกอบของระบบกังหันลมขนาดใหญ่สำหรับผลิตไฟฟ้า

ส่วนประกอบสำคัญของระบบกังหันลมต่างๆ ไปอาจแบ่งได้ดังนี้

1. ใบพัด เป็นตัวรับพลังลมและเปลี่ยนให้เป็นพลังงานกล ซึ่งยึดติดกับชุดแกนหมุนและส่งแรงจากแกนหมุนไปยังเพลากลานหมุน
2. เพลากลานหมุน ซึ่งรับแรงจากแกนหมุนใบพัด และส่งผ่านระบบกำลังเพื่อหมุนและปั่นเครื่องกำเนิดไฟฟ้า
3. ห้องส่งกำลังซึ่งเป็นระบบปรับเปลี่ยนและควบคุมความเร็วในการหมุนระหว่างเพลากลานหมุนกับเพลากลานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า
4. ห้องเครื่อง ซึ่งมีขนาดใหญ่และมีความสำคัญต่อกังหันลม ใช้บรรจุระบบต่างๆ ของกังหันลม เช่น ระบบเกียร์ เครื่องกำเนิดไฟฟ้า เบรก และระบบควบคุม
5. เครื่องกำเนิดไฟฟ้า ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานกลเป็นพลังงานไฟฟ้า
6. ระบบควบคุมไฟฟ้า ซึ่งใช้ระบบคอมพิวเตอร์เป็นตัวควบคุมการทำงาน และจ่ายกระแสไฟฟ้าเข้าสู่ระบบ
7. ระบบเบรก เป็นระบบกลไกเพื่อใช้ควบคุมการหยุดหมุนของใบพัดและเพลากลานหมุนของกังหัน เมื่อได้รับความเร็วลม เกินความสามารถของกังหัน ที่จะรับได้ และในระหว่างการซ่อมบำรุงรักษา
8. แกนคอกหมุนรับทิศทางลม เป็นตัวควบคุมการหมุนห้องเครื่อง เพื่อให้ใบพัดรับทิศทางลมโดยระบบอิเล็กทรอนิกส์ ที่เชื่อมต่อให้มีความสัมพันธ์ กับทางเสื่อรับทิศทางลมที่อยู่ด้านบนของเครื่อง
9. เครื่องวัดความเร็วลมและทิศทางลม ซึ่งเชื่อมต่อสายสัญญาณเข้าสู่ระบบ

คอมพิวเตอร์ เพื่อเป็นตัวชี้ขนาดของความเร็วและทิศทางของลม เพื่อที่คอมพิวเตอร์จะได้ควบคุมกลไกอื่นๆได้ถูกต้อง

## 10 . เสากังหันลม เป็นตัวแปรรับส่วนที่เป็นตัวเครื่องที่อยู่ข้างบน

### 2.1.2.3 กังหันลมกับการผลิตไฟฟ้า

หลักการการทำงานของกังหันลมผลิตไฟฟ้านั้น เมื่อมีลมพัดผ่านใบกังหัน พลังงานจลน์ที่เกิดจากลมจะ ทำให้ใบพัดของกังหันเกิดการหมุน และได้เป็นพลังงานกลออกมา พลังงานกลจากแกนหมุนของกังหันลมจะถูกเปลี่ยนรูปไปเป็นพลังงานไฟฟ้า โดยเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่เชื่อมต่ออยู่กับแกนหมุนของกังหันลม จ่ายกระแสไฟฟ้าผ่านระบบควบคุมไฟฟ้า และจ่ายกระแสไฟฟ้าเข้าสู่ระบบต่อไป โดยปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้จะขึ้นอยู่กับความเร็วของลม ความยาวของใบพัด และสถานที่ติดตั้งกังหันลม

### 2.1.2.4 กังหันลมกับการใช้งาน

เนื่องจากความไม่สม่ำเสมอของความเร็วลมที่แปรผันตามธรรมชาติ และความต้องการพลังงานที่สม่ำเสมอเพื่อให้เหมาะสมกับการใช้งานแล้ว จะต้องมีการกักเก็บพลังงานและใช้แหล่งพลังงานอื่นที่เชื่อถือได้เป็นแหล่งสำรอง หรือใช้ร่วมกับแหล่งพลังงานอื่น

- ตัวกักเก็บพลังงานมีอยู่หลายชนิด ส่วนมากขึ้นอยู่กับงานที่จะใช้เช่น ถ้าเป็นกังหันเพื่อผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมักนิยมใช้แบตเตอรี่เป็นตัวกักเก็บพลังงาน
  - การใช้แหล่งพลังงานอื่นที่เป็นตัวหมุน ระบบนี้ปกติกังหันลมจะทำหน้าที่จ่ายพลังงานให้ตลอดเวลาที่มีความเร็วลมเพียงพอ หากความเร็วลมต่ำหรือลมสงบ แหล่งพลังงานชนิดอื่นจะทำหน้าที่จ่ายพลังงานทดแทน (ระบบนี้กังหันลมจ่ายพลังงานเป็นตัวหลักและแหล่งพลังงานส่วนอื่นเป็นแหล่งสำรอง )
  - การใช้ร่วมกับแหล่งพลังงานอื่น อาจเป็นเครื่องจักรดีเซล หรือพลังงานน้ำจากเขื่อน ฯลฯ ระบบนี้ปกติจะมีแหล่งพลังงานชนิดอื่นจ่ายพลังงานอยู่ก่อนแล้ว กังหันลมจะช่วยจ่ายพลังงานเมื่อมีความเร็วลมเพียงพอ ซึ่งในขณะเดียวกันก็จะลดการจ่ายพลังงานจากแหล่งพลังงานอื่น เช่น ลดการใช้น้ำมันดีเซลของเครื่องยนต์ดีเซล
- (ระบบนี้ แหล่งพลังงานอื่นจ่ายพลังงานเป็นหลัก ส่วนกังหันลมทำหน้าที่คอยเสริมพลังงานจากต้นพลังงานหลัก)

### 2.1.3 พลังงานแสงอาทิตย์

พลังงานแสงอาทิตย์ เป็นพลังงานของแสงและพลังงานของความร้อนที่แผ่รังสีมาจากดวงอาทิตย์ พลังงานแสงอาทิตย์แบ่งออกเป็น 2 ส่วนใหญ่ๆคือ พลังงานที่เกิดจากแสงและพลังงานที่เกิดจากความร้อน

1. พลังงานที่เกิดจากแสง รูปแบบการนำพลังงานของแสงอาทิตย์มาใช้งาน แบ่งอย่างกว้าง ๆ เป็น 2 รูปแบบ ขึ้นอยู่กับวิธีการในการจับพลังงานแสง การแปรรูปให้เป็นพลังงานอีกรูปหนึ่ง และการแจกจ่ายพลังงานที่ได้ใหม่นั้น รูปแบบแรกเรียกว่า แอคทีฟโซลาร์ เป็นการใช่วิธีการของ โฟโตโวลตาอิกส์ หรือ solar thermal เพื่อจับและเปลี่ยนพลังงานของแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้าหรือพลังงานความร้อนโดยตรงอีกรูปแบบหนึ่งก็คือ พาสซีฟโซลาร์ เป็นวิธีการใช้ประโยชน์ทางอ้อม ได้แก่ การออกแบบอาคารในประเทศหนาวให้รับแสงแดดได้เต็มที่ หรือ การติดตั้งวัสดุที่ไวต่อ

อุณหภูมิ thermal mass เพื่อปรับสมดุลของอากาศในอาคาร หรือติดตั้งวัสดุที่มีคุณสมบัติกระจายแสง หรือการออกแบบพื้นที่ว่างให้ อากาศหมุนเวียนโดยธรรมชาติ

2. พลังงานที่เกิดจากความร้อน เช่นพลังงานลม พลังงานน้ำ พลังงานคลื่น เป็นต้น

การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยวิธี โฟโตโวลตาอิกส์ เป็นการแปลงพลังงานแสงอาทิตย์ ให้เป็นพลังงานไฟฟ้า โดยใช้เซลล์แสงอาทิตย์ (Solar cell หรือ Photovoltaic cell (PV)) ซึ่งถูกผลิตครั้งแรกในปี พ.ศ. 2426 โดย Charles Fritts โดยใช้ธาตุ ซีลีเนียม

ในปี พ.ศ. 2484 เป็นการเริ่มต้นของการผลิตแผงเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยธาตุ ซิลิกอน โมเลกุลเดี่ยว ด้วยต้นทุนการผลิตที่ค่อนข้างสูง การใช้งานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในช่วงแรก เน้นไปที่การใช้งานในอวกาศ เช่น ใช้กับดาวเทียม

หลังจากประสบกับปัญหาน้ำมันแพง ใน พ.ศ. 2516 และ 2522 กลุ่มประเทศพัฒนาแล้วจึงหันมาให้ความสนใจในพลังงานแสงอาทิตย์และเริ่มมีการพัฒนาอย่างจริงจังมากขึ้น หลังจากการตีพิมพ์ข้อมูลโลกร้อนของ กลุ่มผู้เชี่ยวชาญด้านการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ การติดตั้งแผงพลังงานแสงอาทิตย์มีปริมาณเพิ่มขึ้น 10-20% ทุกปี ในประเทศไทยการติดตั้งเพิ่มขึ้นอีกมากเริ่มจากปี 2553 โดยเริ่มมีการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อผลิตไฟฟ้ามาตั้งแต่ปี 2526 จนถึงปี 2553 มียอดติดตั้งรวม 100.39 MW แจกจ่ายไฟฟ้า(เฉพาะเชื่อมกับสายส่งของ กฟผ แล้ว) ทั้งปี 2553 รวม 21.6 GWh หรือ 0.0134% ของปริมาณความต้องการใช้ไฟฟ้าทั้งหมด 161,350 GWh โดยการไฟฟ้าฝ่ายผลิต ผลิตไฟฟ้าได้ 2.2 GWh ผู้ผลิตรายย่อย 19.4 GWh

ตามพระราชบัญญัติการพัฒนาพลังงานหมุนเวียน 15 ปีนับจากปี 2552 กำหนดเป้าหมายการใช้พลังงานหมุนเวียนไว้ที่ 20.3% ของพลังงานทั้งหมด โดยมีสัดส่วนของพลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์อยู่ที่ 6% ดังนั้น ตามแผนงาน ในปี 2565 ประเทศไทยต้องมีโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยเซลล์แสงอาทิตย์มีกำลังการผลิตรวม 500 MW ตัวเลขในปี 2554 อยู่ระหว่างดำเนินการติดตั้ง 265 MW และอยู่ระหว่างการพิจารณาจาก กฟผ อีก 336 MW

โรงไฟฟ้าที่สร้างที่จังหวัดลพบุรีด้วยเทคโนโลยี amorphous thin film ต้องใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ถึง 540,000 ชุด มีกำลังการผลิต 73 MW จะเป็นโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ระบบโฟโตโวลตาอิกส์ที่ใหญ่ที่สุดในโลก

### 2.1.3.1 การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานความร้อนของแสงอาทิตย์

เป็นการใช้พลังงานของแสงอาทิตย์เช่นกัน เพียงแต่ใช้กระจกหรือเลนส์รวมแสงหรือารรูปพลาบาโกลิค เพื่อเพิ่มปริมาณความร้อนแล้วโฟกัสให้แสงไปที่จุดใดจุดหนึ่ง (concentrated solar power or CSP) พลังงานความร้อนนี้จะถูกเปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้าโดยตรงหรือไปเก็บไว้ในสารเคมีบางอย่างที่สามารถเก็บความร้อนได้เช่นสารละลายเกลือ (molten salt) จากนั้นค่อยเปลี่ยนพลังงานความร้อนไปเป็นพลังงานไฟฟ้าอีกที ดังนั้นโรงไฟฟ้าประเภทนี้ จึงสามารถจ่ายพลังงานไฟฟ้าได้ 24 ชม. ตามภาพประกอบด้านบน ปัจจุบัน มีโรงไฟฟ้าประเภทนี้อยู่ใน ประเทศสเปน และสหรัฐ เป็นต้น ขนาดใหญ่ที่สุดอยู่ในทะเลทรายโมฮาวี รัฐแคลิฟอร์เนีย เริ่มผลิตมาตั้งแต่ปี 1985 มีกำลังการผลิต 385 MW ขนาดที่ใหญ่กว่านี้ระดับ GW ก็อยู่ระหว่างการก่อสร้าง แต่เนื่องจากค่าใช้จ่ายในการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ได้ลดลงอย่างมาก ทำให้การก่อสร้างโรงไฟฟ้าประเภทนี้อาจคุ้มทุนช้ากว่าการผลิตด้วยเซลล์แสงอาทิตย์

### 2.1.3.2 การผลิตความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์

ชาม Solar Bowl ใน Auroville, India, สามารถหมุนตามดวงอาทิตย์เพื่อรับแสงและรวมแสงให้มีความเข้มข้นสูง ใช้ในการปรุงอาหาร เป็นการให้ความร้อนของแสงอาทิตย์โดยตรง เช่น เตาแสงอาทิตย์โดยใช้การรวมแสงไปที่จุดโฟกัสของภาชนะรูปพาราโบลาทำให้อุณหภูมิที่จุดนั้นสูงขึ้นจากเดิมมาก เครื่องทำน้ำร้อนแสงอาทิตย์จะใช้วัสดุสีดำหรือสีดําที่ทอ เพราะสีดำมีคุณสมบัติในการดูดซับแสงทำให้น้ำในท่อมีอุณหภูมิสูงขึ้น น้ำร้อนที่ได้ถูกนำไปใช้ปรุงอาหาร ชားล้าง หรือการทำน้ำในสระว่ายน้ำให้อุ่น ตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ก็ใช้วิธีให้แสงแดดส่องเข้าไปในตู้ที่ทาสีดำไว้ดูดซับแสง การตากผ้าก็นับว่าเป็นการใช้ความร้อนจากดวงอาทิตย์เพื่อทำให้ผ้าแห้งและยังใช้แสงแดดฆ่าเชื้อโรคด้วย การทำนาเกลือก็เป็นรูปแบบหนึ่งในการใช้ประโยชน์จากความร้อนจากแสงอาทิตย์ บางประเทศยังใช้แสงอาทิตย์เพื่อกลั่นน้ำทะเลให้เป็นน้ำจืดอีกด้วย

### 2.1.3.3 การประยุกต์ใช้พลังงานแสงอาทิตย์

พลังงานแสงอาทิตย์ สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้หลายหลายรูปแบบ เช่น



รูปที่ 2.5 การฆ่าเชื้อในน้ำก่อนนำไปบริโภคที่อินโดนีเซีย

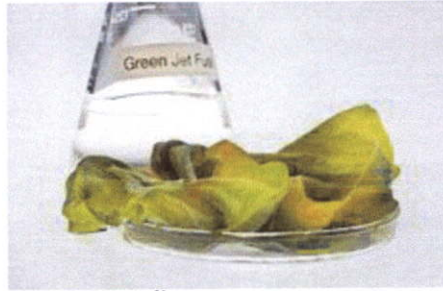
เพื่อเพิ่มสุขอนามัยในพื้นที่ห่างไกล เช่น การฆ่าเชื้อโรคที่มากับน้ำโดยการให้น้ำสัมผัสกับแสงอาทิตย์โดยตรง การเลี้ยงสาหร่ายในการปรับสภาพน้ำโดยการเพิ่มออกซิเจน การติดตั้งเครื่องสูบน้ำพลังแสงอาทิตย์เพื่อแจกจ่ายน้ำสะอาดเพื่อการบริโภค การพัฒนาเชื้อเพลิงทางเลือก เช่น การเลี้ยงสาหร่ายบางชนิดเพื่อนำมาสกัดเป็นเชื้อเพลิงชีวภาพ การติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อสร้างพลังงานให้รถไฟฟ้า



รูปที่ 2.6 รถพลังแสงอาทิตย์เข้าแข่งที่ออสเตรเลีย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้

ญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.7 การสกัดเชื้อเพลิงจากสาหร่ายในห้องทดลอง

การพัฒนาการเกษตร เช่น การปลูกต้นไม้เช่นพืชผักสวนครัวดอกไม้ในเรือนกระจกในประเทศหนาว เป็นต้น เรือนกระจกจะป้องกันอากาศหนาวจากภายนอกและเก็บกักความร้อนจากแสงอาทิตย์เพื่อให้พืชเจริญเติบโตได้ การติดตั้งไฟฟ้าพลังแสงอาทิตย์ในพื้นที่ห่างไกลเพื่อสูบน้ำเข้าไร่นาเพื่อการเกษตร การผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาบ้านทั่วไปแล้วต่อเข้ากับสายส่งของผู้ผลิตไฟฟ้ากลาง เพื่อใช้เองและขายส่วนเกินให้ผู้ผลิตกลาง



รูปที่ 2.8 Green House ในเนเธอร์แลนด์ ใช้ปลูกผักผลไม้และดอกไม้เพื่อการส่งออก

### สรุป

จากที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น พลังงานแสงอาทิตย์นั้นเหมาะสมที่สุดที่จะนำมาใช้ เพราะประเทศไทยเป็นประเทศที่มีอากาศร้อน และการทำเครื่องประจุแบตเตอรี่มือถือพกพา นั้นจะต้องมีขนาดเล็กสามารถพกพาไปไหนได้ และจะต้องมีประสิทธิภาพในการชาร์จที่ดีด้วย ดังนั้นการใช้พลังงานแสงอาทิตย์จึงเหมาะสมมากที่สุดในการนำมาใช้

## 2.2 โซลาร์เซลล์หรือเซลล์แสงอาทิตย์

### วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดต่างๆว่าลักษณะแตกต่างกันอย่างไร เพื่อศึกษาเกี่ยวกับโครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์ และคุณสมบัติ

### 2.2.1 ประวัติและความเป็นมา

เซลล์แสงอาทิตย์ หรือ โซลาร์เซลล์ (อังกฤษ: solar cell) หรือ เซลล์สุริยะ หรือ เซลล์โฟโตโวลตาอิก (Photovoltaic cell) เป็นอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำซึ่งหน้าที่แปลงพลังงานแสงหรือโฟตอนเป็นพลังงานไฟฟ้า โดยใช้ปรากฏการณ์โฟโตโวลเทอิก นั่นก็คือ คุณสมบัติของสารเช่น ค่าความต้านทาน แร่งตัน และกระแส จะเปลี่ยนไปเมื่อมีแสงตกกระทบ ปรากฏการณ์ดังกล่าวถูกสาธิตให้ดูครั้งแรกในปี 1839 โดยนักฟิสิกส์ชาวฝรั่งเศสวัย 19 ปีชื่อ A.E. Becquerel โดยสาธิตว่า เมื่อแสงตกกระทบวัตถุบางอย่าง จะเกิดกระแสไฟฟ้าขึ้น เขาได้ทดลองโดยการใช้โลหะสองขั้วจุ่มลงในสารละลายไอออน แล้วให้แสงตกกระทบได้แค่ขั้วเดียว จะปรากฏกระแสไฟฟ้าไหลจากขั้วทั้งสอง แสดง

ให้เห็นถึงกระแสไฟฟ้าเกิดขึ้นในวัตถุ เมื่อมีแสงกระทบเขายังพบว่าเมื่อเปลี่ยนสี (ความยาวคลื่น พลังงาน) ของแสง ปริมาณของกระแสไฟฟ้าก็เกิดการเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย

ผู้ที่สร้างเซลล์แสงอาทิตย์เป็นคนแรก ในปี 1883 คือ นักวิจัย Charles Fritts เซลล์แสงอาทิตย์ในยุคแรกนี้ทำจากซิลิเนียม โดยมีประสิทธิภาพเพียง 1% เท่านั้น แต่เซลล์แสงอาทิตย์ก็ยังไม่ถูกสร้างขึ้นมา ในเชิงพาณิชย์ จนกระทั่งใน ปี ค.ศ. 1954 และได้ถูกนำไปใช้เป็นแหล่งจ่ายพลังงานให้กับดาวเทียมใน อวกาศ เมื่อ ปี ค.ศ. 1959

Solar Cell มีที่มาจากคำว่า photovoltaic โดยแยกออกเป็น photo หมายถึง แสง และ volt หมายถึง แรงดันไฟฟ้า เมื่อรวมคำแล้วหมายถึง "กระบวนการผลิตไฟฟ้าจากการตกกระทบของแสง บนวัตถุที่มีความสามารถในการเปลี่ยนพลังงานแสงเป็นพลังงานไฟฟ้าได้โดยตรง" ดังนั้น สรุปได้ว่า เซลล์แสงอาทิตย์ คือ สิ่งประดิษฐ์ที่ทำจากสารกึ่งตัวนำ เช่น ซิลิคอน (Silicon), แกลเลียม อาร์ เซไนด์ (Gallium Arsenide), อินเดียม ฟอสไฟด์ (Indium Phosphide), แคดเมียม เทลเลอไรด์ (Cadmium Telluride) และคอปเปอร์ อินเดียม ไดเซเลไนด์ (Copper Indium Diselenide) เป็นต้น ซึ่งเมื่อได้รับแสงอาทิตย์โดยตรงก็จะเปลี่ยนเป็นพาหะนำไฟฟ้า และจะถูกแยกเป็นประจุไฟฟ้าบวก และลบเพื่อให้เกิดแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วทั้งสองของเซลล์แสงอาทิตย์ เมื่อนำขั้วไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ ต่อเข้ากับอุปกรณ์ไฟฟ้ากระแสตรง กระแสไฟฟ้าจะไหลเข้าสู่อุปกรณ์เหล่านั้น ทำให้สามารถทำงานได้ ในปี 1960 ประสิทธิภาพในการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ถูกพัฒนาขึ้นมาได้ถึง 14% ซึ่งในตอนแรก ถูกนำไปใช้เป็นของเล่นหรือของใช้เล็กๆน้อยๆ เพราะค่าใช้จ่ายในการนำไปผลิตไฟฟ้าอยู่ที่ 7500 บาท ต่อวัตต์ ในขณะที่โรงไฟฟ้าถ่านหินมีค่าใช้จ่ายเพียง 90 บาทต่อวัตต์เท่านั้น หลังจากประสบความสำเร็จในการใช้งานในโครงการอวกาศของสหรัฐ ทำให้มีการพัฒนาการผลิต เซลล์แสงอาทิตย์อย่างต่อเนื่องจนในปัจจุบันสามารถผลิตให้ประสิทธิภาพสูงสุดได้ถึง 44% และ ค่าใช้จ่ายเหลือเพียง 18 บาทต่อวัตต์เท่านั้น ผู้ผลิตรายใหญ่คือประเทศจีน ผลิตได้ครึ่งหนึ่งของที่ผลิต ได้ทั้งหมดในโลก หรือที่ 13 GW (ปี 2010)

## 2.2.2 ประเภทของเซลล์แสงอาทิตย์

ประเภทของ โซลาร์เซลล์ เซลล์แสงอาทิตย์ ที่นิยมใช้กันอยู่ในปัจจุบัน จะแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ คือ

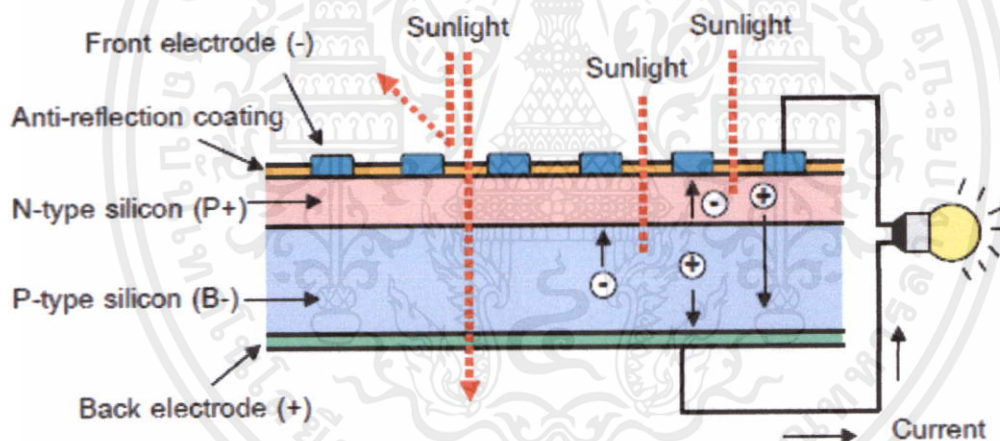
1. กลุ่ม โซลาร์เซลล์ เซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากสารกึ่งตัวนำประเภทซิลิคอน จะแบ่งตามลักษณะ ของผลึกที่เกิดขึ้น คือ แบบที่เป็น รูปผลึก ( Crystal ) และแบบที่ไม่เป็นรูปผลึก (Amorphous) แบบ ที่เป็นรูปผลึก จะแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ ชนิดผลึกเดี่ยวซิลิคอน ( Single Crystalline Silicon Solar Cell) และ ชนิดผลึกรวมซิลิคอน ( Poly Crystalline Silicon Solar Cell) แบบที่ไม่เป็นรูปผลึก คือ ชนิดฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซิลิคอน ( Amorphous Silicon Solar Cell)

2. กลุ่ม โซลาร์เซลล์ เซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากสารประกอบที่ไม่ใช่ซิลิคอน ซึ่งประเภทนี้ จะเป็น เซลล์แสงอาทิตย์ที่มีประสิทธิภาพสูงถึง 25% ขึ้นไป แต่มีราคาสูงมาก ไม่นิยมนำมาใช้บนพื้นโลก จึง ใช้งานสำหรับดาวเทียมและระบบรวมแสงเป็นส่วนใหญ่ แต่การพัฒนาขบวนการผลิตสมัยใหม่จะทำให้ มีราคาถูกลง และนำมาใช้มากขึ้นในอนาคต( ปัจจุบันนำมาใช้เพียง 7 % ของปริมาณที่มีใช้ทั้งหมด) ด้านการค้า  
แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ผลิตขึ้นจาก โซลาร์เซลล์เซลล์แสงอาทิตย์เพียงเซลล์เดียวจะมีค่าต่ำมาก การนำมาใช้ งานจะต้องนำเซลล์หลาย ๆ เซลล์ มาต่อกันแบบอนุกรมเพื่อเพิ่มค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าให้สูงขึ้น เซลล์ที่ นำมาต่อกันในจำนวนและขนาดที่เหมาะสมเรียกว่า แผงเซลล์แสง อาทิตย์ (Solar Module หรือ

Solar Panel) การทำ โซล่าเซลล์ เซลล์แสงอาทิตย์ให้เป็นแผงก็เพื่อความสะดวกในการนำไปใช้งาน ด้านหน้าของแผงเซลล์ ประกอบด้วย แผ่นกระจกที่ มีส่วนผสมของเหล็กดำ ซึ่งมีคุณสมบัติในการยอม ให้แสงผ่านได้ดี และยังเป็นเกราะป้องกันแผ่นเซลล์อีกด้วย แผงเซลล์จะต้องมีการ ป้องกันความชื้นที่ดี มาก เพราะจะต้องอยู่กลางแจ้งกลางฝนเป็นเวลายาวนาน ในการประกอบจะต้องใช้วัสดุที่มีความ คงทนและป้อง กันความชื้นที่ดี เช่น ซิลิโคนและ อีวีเอ (Ethelele Vinyl Acetate) เป็นต้น เพื่อเป็น การป้องกันแผ่นกระจกด้านบนของแผงเซลล์ จึง ต้องมีการทำกรอบด้วยวัสดุที่มีความแข็งแรง แต่ บางครั้งก็ไม่มีควมจำเป็น ถ้ามีการเสริมความแข็งแรงของแผ่นกระจกให้เพียงพอ ซึ่งก็สามารถ ทดแทนการทำกรอบได้เช่นกัน ดังนั้นแผงเซลล์จึงมีลักษณะเป็นแผ่นเรียบ (laminare) ซึ่งสะดวกใน การติดตั้ง

### 2.2.3 หลักการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์

การทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์เป็นขบวนการเปลี่ยนพลังงานแสงเป็นกระแสไฟฟ้าได้ โดยตรง โดยเมื่อแสงซึ่งเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าและมีพลังงานกระทบกับสารกึ่งตัวนำจะเกิดการ ถ่ายทอดพลังงานระหว่างกัน พลังงานจากแสงจะทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของกระแสไฟฟ้า (อิเล็กตรอน) ขึ้นในสารกึ่งตัวนำ จึงสามารถต่อกระแสไฟฟ้าง่ายไปใช้งานได้ ตามรูปที่ 1



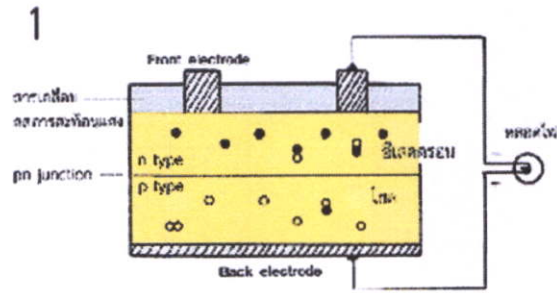
รูปที่ 2.9 แสดงการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์

n-type ซิลิคอน คือสารกึ่งตัวนำที่ได้รับการโด๊ปด้วยสารฟอสฟอรัส มีคุณสมบัติเป็นตัวให้อิเล็กตรอน เมื่อรับพลังงานจากแสงอาทิตย์

p-type ซิลิคอน คือสารกึ่งตัวนำที่ได้รับการโด๊ปด้วยสารโบรอน ทำให้โครงสร้างของอะตอมสูญเสีย อิเล็กตรอน (โฮล) เมื่อรับพลังงานจากแสงอาทิตย์จะทำหน้าที่เป็นตัวรับอิเล็กตรอน

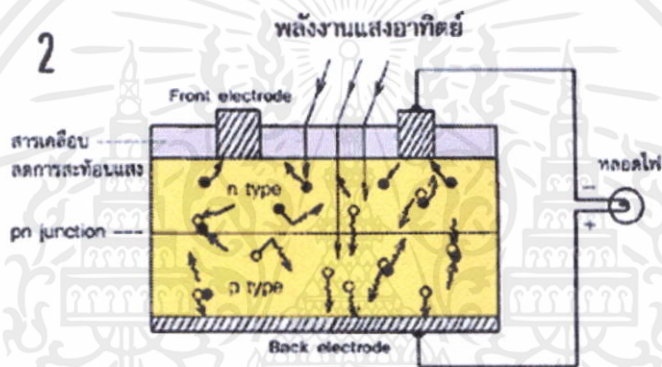
1. เมื่อนำซิลิคอนทั้ง 2 ชนิด มาประกบต่อกันด้วย p-n junction จึงทำให้เกิดเป็น "เซลล์แสงอาทิตย์" โดยในสภาวะที่ยังไม่มีแสงแดด n-type ซิลิคอนซึ่งอยู่ด้านหน้าของเซลล์ ส่วนประกอบส่วนใหญ่พร้อม

จะให้อิเล็กตรอน แต่ก็ยังมีโฮลปะปนอยู่บ้างเล็กน้อย ด้านหน้าของ n-type จะมีแถบโลหะเรียกว่า Front Electrode ทำหน้าที่เป็นตัวรับอิเล็กตรอน ส่วน p-type ซิลิคอนซึ่งอยู่ด้านหลังของเซลล์ โครงสร้างส่วนใหญ่เป็นโฮล แต่ยังคงมีอิเล็กตรอนปะปนบ้างเล็กน้อย ด้านหลังของ p-type ซิลิคอนจะมีแถบโลหะเรียกว่า Back Electrode ทำหน้าที่เป็นตัวรวบรวมโฮล



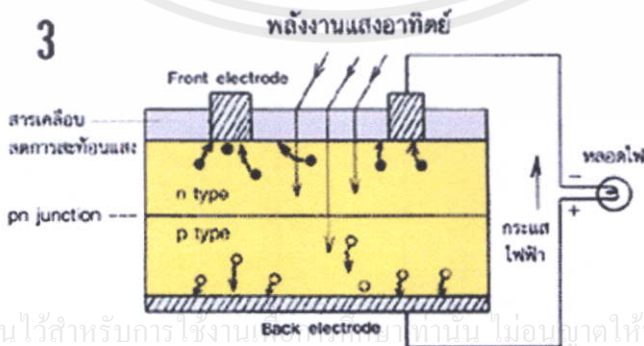
รูปที่ 2.10 แสดงหลักการทำงานชั้นเซลล์แสงอาทิตย์ที่ 1

2. เมื่อมีแสงอาทิตย์ตกกระทบ แสงอาทิตย์จะถ่ายเทพลังงานให้กับอิเล็กตรอนและโฮล ทำให้เกิดการเคลื่อนไหว และเมื่อพลังงานสูงพอทั้งอิเล็กตรอนและโฮลจะวิ่งเข้าหาเพื่อจับคู่กัน อิเล็กตรอนจะวิ่งไปยังชั้น n-type และโฮลจะวิ่งไปยังชั้น p-type



รูปที่ 2.11 แสดงหลักการทำงานชั้นเซลล์แสงอาทิตย์ที่ 2

3. อิเล็กตรอนวิ่งไปรวมกันที่ Front Electrode และโฮลวิ่งไปรวมกันที่ Back Electrode เมื่อมีการต่อวงจรไฟฟ้าจาก Front Electrode และ Back Electrode ให้ครบวงจรก็จะเกิดกระแสไฟฟ้าขึ้น เนื่องจากทั้งอิเล็กตรอนและโฮลจะวิ่งเพื่อจับคู่กัน ทำให้เซลล์แสงอาทิตย์สามารถเป็นแหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้าได้



รูปที่ 2.12 แสดงหลักการทำงานชั้นเซลล์แสงอาทิตย์ที่ 3 ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งรูปที่ 2.12 แสดงหลักการทำงานชั้นเซลล์แสงอาทิตย์ที่ 3 ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.2.4 ค่าของพลังงานจากแสงอาทิตย์ที่แผ่รังสีมายังโลก และพลังงานแสงอาทิตย์เฉลี่ยที่ได้รับในประเทศไทย

โลกโคจรรอบดวงอาทิตย์เป็นวงรี ระยะห่างระหว่างโลกและดวงอาทิตย์ จะแปรเปลี่ยนอยู่ระหว่าง 150 ล้านกิโลเมตร บวกลบ 17% พลังงานแสงอาทิตย์ที่ได้รับนอกบรรยากาศที่ระยะห่างดังกล่าว มีค่าเท่ากับ 1400 วัตต์ต่อตารางเมตร ในช่วงเดือนธันวาคม และเดือนมกราคม และมีค่าต่ำสุด เท่ากับ 1305 วัตต์ต่อตารางเมตร ในช่วงเดือนมิถุนายนและเดือนกรกฎาคม เพราะฉะนั้นโดยเฉลี่ยแล้วพลังงานแสงอาทิตย์ที่ได้รับต่อปีเท่ากับ 1353 วัตต์ต่อตารางเมตร สำหรับในประเทศไทย อัตราพลังงานแสงอาทิตย์เฉลี่ยต่อวันซึ่งรับได้ตามภาคต่างๆ ในประเทศ มีค่าคิดเป็น กิโลวัตต์ต่อวัน ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 2.1 แสดงอัตราพลังงานแสงอาทิตย์เฉลี่ยรายวัน กิโลวัตต์/ตารางเมตร/วัน

สถานที่	14 ม.ค. -26 ก.พ.	27 ก.พ. -12 เม.ย.	13 เม.ย.- 28 พ.ค.	29 พ.ค. -15 ก.ค.	16 ก.ค. -31 ส.ค.	1 ก.ย. -15 ต.ค.	16 ต.ค. -29 พ.ย.	30 พ.ย. -13 ม.ค.	เฉลี่ย ทั้งปี
ภาคกลาง (กรุงเทพฯ)	4.66	5.41	4.94	4.62	4.30	4.49	4.55	4.63	4.70
ภาคเหนือ (เชียงใหม่)	4.65	5.35	5.59	4.79	4.40	4.67	4.72	4.33	4.81
ภาคอีสาน (ขอนแก่น)	4.69	5.01	5.37	4.86	4.57	4.55	4.86	4.58	4.81
ภาคใต้ (สงขลา)	4.97	5.37	4.85	4.64	4.72	4.54	4.19	4.12	4.68
เฉลี่ยทั้งประเทศ									4.75

ข้อมูลดังกล่าวข้างต้นถ้าหากเซลล์แสงอาทิตย์มีประสิทธิภาพของเซลล์ร้อยละ 15 ก็เท่ากับว่าพื้นที่ประเทศไทยต่อ 1 ตารางเมตร จะสามารถผลิตพลังงานได้ถึง 711 วัตต์ต่อวัน และในปัจจุบันนี้มีการพัฒนาเซลล์แสงอาทิตย์ให้มีประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ถึงเกือบร้อยละ 18 ซึ่งถ้าใช้เซลล์แสงอาทิตย์ประสิทธิภาพสูงชนิดนี้ในการทำแผงโซลาร์เซลล์ จะทำให้มีประสิทธิภาพของแผงประมาณร้อยละ 14 หรือถ้านำมาใช้ในประเทศไทยคิดที่อัตราพลังงานแสงแดดที่ได้รับต่อปีเท่ากับ 4.75 กิโลวัตต์ต่อตารางเมตรต่อวัน ก็จะได้พลังงานประมาณ 665 วัตต์ต่อตารางเมตรต่อวัน เพราะฉะนั้นบ้านและหลังคาหรือพื้นที่ในบริเวณบ้านเพียง 25 ตารางเมตร ก็จะทำให้สามารถผลิตพลังงานได้เฉลี่ยถึงกว่า 16.6 กิโลวัตต์ต่อวัน หรือประมาณ 500 กิโลวัตต์ (500 หน่วย) ต่อเดือน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่ควรนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.2.5 คุณสมบัติและตัวแปรที่สำคัญของเซลล์แสงอาทิตย์

ตัวแปรที่สำคัญที่มีส่วนทำให้เซลล์แสงอาทิตย์มีประสิทธิภาพการทำงานในแต่ละพื้นที่ต่างกัน และมีความสำคัญในการพิจารณานำไปใช้ในแต่ละพื้นที่ ตลอดจนการนำไปคำนวณระบบหรือคำนวณจำนวนแผงแสงอาทิตย์ที่ต้องใช้ในแต่ละพื้นที่ มีดังนี้

ความเข้มของแสง : กระแสไฟ (Current) จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มของแสง หมายความว่าเมื่อความเข้มของแสงสูง กระแสที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ก็จะสูงขึ้น ในขณะที่แรงดันไฟฟ้าหรือโวลต์แทบจะไม่แปรไปตามความเข้มของแสงมากนัก ความเข้มของแสงที่ใช้วัดเป็นมาตรฐานคือ ความเข้มของแสงที่วัดบนพื้นโลกในสภาพอากาศปลอดโปร่ง ปราศจากเมฆหมอกและวัดที่ระดับน้ำทะเลในสภาพที่แสงอาทิตย์ตั้งฉากกับพื้นโลก ซึ่งความเข้มของแสงจะมีค่าเท่ากับ 100 mW ต่อ ตร.ซม. หรือ 1,000 W ต่อ ตร.เมตร ซึ่งมีค่าเท่ากับ AM 1.5 (Air Mass 1.5) และถ้าแสงอาทิตย์ทำมุม 60 องศากับพื้นโลกความเข้มของแสง จะมีค่าเท่ากับประมาณ 75 mW ต่อ ตร.ซม. หรือ 750 W ต่อ ตร.เมตร ซึ่งมีค่าเท่ากับ AM2 กรณีของแผงเซลล์แสงอาทิตย์นั้นจะใช้ค่า AM 1.5 เป็นมาตรฐานในการวัดประสิทธิภาพของแผง

อุณหภูมิ : กระแสไฟ (Current) จะไม่แปรตามอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไป ในขณะที่แรงดันไฟฟ้า (โวลต์) จะลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ซึ่งโดยเฉลี่ยแล้วทุกๆ 1 องศาที่เพิ่มขึ้น จะทำให้แรงดันไฟฟ้าลดลง 0.5% และในกรณีของแผงเซลล์แสงอาทิตย์มาตรฐานที่ใช้กำหนดประสิทธิภาพของแผงแสงอาทิตย์คือ ณ อุณหภูมิ 25 องศา C เช่น กำหนดไว้ว่าแผงแสงอาทิตย์มีแรงดันไฟฟ้าที่วงจรเปิด (Open Circuit Voltage หรือ  $V_{oc}$ ) ที่ 21 V ณ อุณหภูมิ 25 องศา C ก็จะหมายความว่า แรงดันไฟฟ้าที่จะได้จากแผงแสงอาทิตย์ เมื่อยังไม่ได้ต่อกับอุปกรณ์ไฟฟ้า ณ อุณหภูมิ 25 องศา C จะเท่ากับ 21 V ถ้าอุณหภูมิสูงกว่า 25 องศา C เช่น อุณหภูมิ 30 องศา C จะทำให้แรงดันไฟฟ้าของแผงแสงอาทิตย์ลดลง 2.5% ( $0.5\% \times 5$  องศา C) นั่นคือ แรงดันของแผงแสงอาทิตย์ที่  $V_{oc}$  จะลดลง 0.525 V ( $21\text{ V} \times 2.5\%$ ) เหลือเพียง 20.475 V ( $21\text{V} - 0.525\text{V}$ ) สรุปได้ว่า เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น แรงดันไฟฟ้าก็จะลดลง ซึ่งมีผลทำให้กำลังไฟฟ้าสูงสุดของแผงแสงอาทิตย์ลดลงด้วย

จากข้อกำหนดดังกล่าวข้างต้น ก่อนที่ผู้ใช้จะเลือกใช้แผงแสงอาทิตย์ จะต้องคำนึงถึงคุณสมบัติของแผงที่ระบุไว้ในแผงแต่ละชนิดด้วยว่า ใช้มาตรฐานอะไร หรือมาตรฐานที่ใช้วัดแตกต่างกันหรือไม่ เช่น แผงชนิดหนึ่งระบุว่า ให้กำลังไฟฟ้าสูงสุดได้ 80 วัตต์ ที่ความเข้มแสง 1,200 W ต่อ ตร.เมตร ณ อุณหภูมิ 20 องศา C ขณะที่อีกชนิดหนึ่งระบุว่า ให้กำลังไฟฟ้าสูงสุดได้ 75 วัตต์ ที่ความเข้มแสง 1,000 W ต่อ ตร.เมตร และอุณหภูมิมาตรฐาน 25 องศา C แล้ว จะพบว่าแผงที่ระบุว่าให้กำลังไฟฟ้า 80 W จะให้กำลังไฟฟ้าต่ำกว่า จากสาเหตุดังกล่าว ผู้ที่จะใช้แผงจึงต้องคำนึงถึงข้อกำหนดเหล่านี้ในการเลือกใช้แผงแต่ละชนิดด้วย

### 2.2.6 คุณสมบัติทางไฟฟ้าของแผงโซลาร์เซลล์

จากที่กล่าวมาแล้วว่าแผงโซลาร์เซลล์มีหลายประเภท ในการพิจารณาเลือกใช้ประเภทใดประเภทหนึ่งจะขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของสถานที่ติดตั้ง และความต้องการของผู้ใช้ เช่น ผู้ที่มีปัญหาเรื่องของขนาดของพื้นที่ในการติดตั้งหรือไม่ ถ้าไม่มีปัญหาก็คงจะเลือกใช้ชนิดที่ฟิล์มบาง ซึ่งมีประสิทธิภาพต่ำกว่าชนิดที่เป็นผลึกเดี่ยวซิลิกอน หรือผลึกโพลีซิลิกอน ซึ่งราคาอาจจะถูกกว่า อย่างไรก็ตาม ไม่ว่าจะเลือกใช้แผงโซลาร์เซลล์ชนิดใดข้อมูลก็ควรพิจารณาซึ่งเป็นข้อมูลมาตรฐานสากลที่ใช้กันอยู่ สำหรับแผงโซลาร์เซลล์จะมีข้อมูลต่างๆเพื่อพิจารณาเปรียบเทียบดังต่อไปนี้

Peak Power (Pmax) คือ กำลังสูงสุดของแผงชนิดนั้นๆ ซึ่งจะบอกตัวเลขเป็น วัตต์ (W)

Operating Voltage (Vpm) คือ แรงดันไฟฟ้าสูงสุดเมื่อต่อกับอุปกรณ์ไฟฟ้า บอกตัวเลขเป็นโวลต์

Operating Current (Ipm) คือ กระแสไฟฟ้าที่วัดได้ที่กำลังสูงสุดเมื่อใช้งานปกติ บอกตัวเลขเป็นแอมป์

Open Circuit Voltage (Voc) คือ แรงดันไฟฟ้าเมื่อเปิดวงจรซึ่งเป็นแรงดันที่วัดได้เมื่อไม่ได้ต่อกับอุปกรณ์ไฟฟ้า

Open Circuit Current (Isc) คือ ค่ากระแสไฟฟ้าที่วัดได้เมื่อลัดวงจร (แอมป์)

Dimensions คือ ขนาดของแผง ซึ่งมี

Length ความยาวแผง

Width ความกว้างแผง

Depth ความหนาแผง

Weight คือ น้ำหนักแผงเพื่อประโยชน์ในการคำนวณโครงสร้างรองรับแผง

Standard Test Condition คือ เงื่อนไขของการทดสอบแผง เช่น

Air Mass 1.5 ระดับความเข้มแสงที่ใช้ในการทดสอบที่ 1000 วัตต์ต่อตารางเมตร

Operating Temperature ระดับอุณหภูมิที่ใช้ในการทดสอบ และใช้งาน

Cell Specifications ข้อมูลจำนวนชิ้น และชนิดของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้

### 2.2.7 ข้อสังเกตเรื่องข้อมูลของแผงโซลาร์เซลล์

ข้อมูลสังเกตในการพิจารณาข้อมูลด้วยว่า กำลังไฟฟ้าจริงที่จะได้จากแผงโซลาร์เซลล์เป็นเท่าไรภายใต้เงื่อนไขอะไร ซึ่งบ่อยครั้งจะพบว่าแผงบางชนิดระบุตัวเลขของกระแสไฟเมื่อลัดวงจร (ISC) ซึ่งไม่ใช่กระแสไฟที่จะได้ในการใช้งานปกติไว้สูงซึ่งอาจทำให้ผู้ใช้งานเข้าใจผิดได้ เพราะถ้าเอาตัวเลขทั้งสองตัวนี้มาคูณกัน กำลังไฟฟ้าที่ได้จะสูงมาก แต่นั่นไม่ใช่กำลังไฟฟ้าจริงจากแผงโซลาร์เซลล์ เพราะฉะนั้นผู้ใช้ควรจะใช้ตัวเลขของแรงดันไฟฟ้าเมื่อใช้งาน (Vpm) หรือเมื่อต่ออุปกรณ์ไฟฟ้าหรือตัวเลขของกระแสไฟที่วัดได้ที่กำลังสูงสุด (Ipm) ซึ่งทั้งสองตัวจะเป็นตัวเลขบ่งชี้ถึงกำลังไฟฟ้าที่จะได้จริงจากแผงโซลาร์เซลล์ และที่สำคัญซึ่งได้กล่าวมาแล้วคือตัวเลขที่ใช้เป็นตัวเลขในมาตรฐานของแผงโซลาร์เซลล์อาจจะไม่ใช่แผงที่ใช้กับอุปกรณ์ระบบ 12 โวลต์ หรือ 24 โวลต์ ตามที่ผู้ซื้อต้องการก็ได้ โดยทั่วไปแล้ว แผงโซลาร์เซลล์ที่จะใช้กับอุปกรณ์ระบบ 12 โวลต์ จะระบุแรงดันเมื่อใช้งาน (Vpm) ที่ประมาณ 15-18 โวลต์ ขึ้นอยู่กับแผงชนิดไหน ส่วนแผงที่ใช้กับอุปกรณ์ระบบ 24 โวลต์ จะระบุแรงดันเมื่อใช้งาน (Vpm) ที่ประมาณ 7.5-9 โวลต์ อย่างไรก็ตามในปัจจุบันท่าที่พบแผงโซลาร์เซลล์ส่วนใหญ่ที่มีการใช้งานโดยทั่วไปจะเป็นชนิดที่ใช้กับอุปกรณ์ระบบ 12 โวลต์เป็นส่วนใหญ่ ประเภทที่ใช้งานกับระบบ 6 โวลต์ก็มีบ้าง ส่วนประเภทที่ใช้กับระบบ 24 โวลต์ หรือสูงกว่าก็มีผู้ผลิตบางรายทำขึ้นเหมือนกันแต่ไม่มากเหมือนระบบ 12 โวลต์ เนื่องจากผู้ใช้สามารถนำแผงชนิดแรงดัน 12 โวลต์ ไปต่ออนุกรมให้ได้โวลต์สูงขึ้นตามที่ต้องการอยู่แล้ว

เอกสารนี้เป็น 2.2.8 จุดเด่นของไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ ภาษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น 15 ไม่มีวันหมด แหล่งพลังงานอื่นๆ ที่เราใช้งานอยู่ ทั้ง น้ำมัน ถ่านหิน ก๊าซธรรมชาติ  
เป็นต้น ล้วนแต่เป็นทรัพยากรที่มีจำกัด ต่างจากดวงอาทิตย์ที่จะยังคงอยู่ในจักรวาล

2. เป็นแหล่งพลังงานสะอาดไฟฟ้าที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ เกิดจากการเปลี่ยนพลังงานแสงเป็นกระแสไฟฟ้าโดยตรง ต่างจากการผลิตไฟฟ้าอื่นๆ ที่ต้องเผาไหม้เชื้อเพลิงแล้วปั่นเทอร์ไบน์ด้วยไอน้ำซึ่งก่อให้เกิดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ รวมทั้งมลภาวะทางเสียง เซลล์แสงอาทิตย์ช่วยลดสาเหตุภาวะโลกร้อนได้หรือไม่

3. สร้างไฟฟ้าได้ทุกขนาดตั้งแต่เล็กๆ เพื่อใช้กับเครื่องคิดเลข จนถึงโรงงานไฟฟ้าขนาดใหญ่ระดับ 100 KW ขึ้นไป ซึ่งไม่ว่าจะเล็กหรือใหญ่ ก็ใช้เซลล์แสงอาทิตย์ลักษณะพื้นฐานได้เหมือนกัน ประสิทธิภาพเท่ากัน ต่างจากโรงงานผลิตไฟฟ้าทั้งพลังน้ำ การเผาเชื้อเพลิง พลังงานปรมาณู ประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานจะขึ้นกับขนาดของระบบ

4. ผลผลิตที่เห็นใช้ที่นั่นระบบไฟฟ้าปกติที่นั่นแหล่งผลิตไฟฟ้ากับจุดใช้งานมักอยู่คนละที่ด้วยกัน และจะต้องมีระบบทำการส่ง แต่เซลล์แสงอาทิตย์จะต่างจากระบบไฟฟ้าปกติ คือ สามารถผลิตไฟฟ้าในบริเวณที่จะใช้งานได้ หรือจะติดตั้งหลังคาบ้าน เพื่อสร้างไฟฟ้าใช้เองในบ้านเลย

### 2.2.9 ข้อจำกัดของไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์

1. ความเข้มของพลังงานขาเข้าต่ำ แม้ว่าพลังงานของดวงอาทิตย์ไม่มีวันหมด แต่ความเข้มของพลังงานนั้นไม่สูง ทำให้กรณีที่ต้อง output สูงจำเป็นต้องใช้จำนวนเซลล์แสงอาทิตย์มาก และพื้นที่มากตามไปด้วย

2. ปริมาณไฟฟ้าที่ได้จะแปรผันตามสภาพอากาศเนื่องจากพลังงานแสงอาทิตย์ input ขึ้นอยู่กับสภาพอากาศ (ความเข้มแสงอาทิตย์) ดังนั้น output จึงแปรผันตามไปด้วย

3. เก็บไฟฟ้าไว้ไม่ได้ (ไม่ใช่แบตเตอรี่)

ไฟฟ้าจะเกิดขึ้นก็ต่อเมื่อมีแสง และตัวมันเองไม่สามารถเก็บไฟได้ ดังนั้น การออกแบบระบบหากจำเป็น จะต้องมีการผสมกับไฟฟ้าปกติหรือแบตเตอรี่เพื่อใช้ในเวลาที่ระบบเซลล์แสงอาทิตย์ไม่จ่ายกระแสไฟ

### 2.2.10 ประสิทธิภาพของเซลล์และประสิทธิภาพของแผงโซลาร์เซลล์

ประสิทธิภาพของเซลล์และประสิทธิภาพของแผงโซลาร์เซลล์จะมีความแตกต่างกัน

เนื่องจากการคำนวณประสิทธิภาพจะคำนวณจากขนาดของชิ้นเซลล์ หรือขนาดของแผงเปรียบเทียบกับกำลังไฟที่ได้จากชิ้นเซลล์ หรือแผงโซลาร์เซลล์นั้นๆ ซึ่งจะมีความแตกต่างกันเพราะการนำชิ้นเซลล์ไปประกอบเป็นแผงโซลาร์เซลล์นั้นจะมีช่องรอยต่อระหว่างชิ้นเซลล์ ทำให้ขนาดของแผงใหญ่ขึ้นยกตัวอย่างเช่น ชิ้นเซลล์ขนาด  $125 \times 125 = 15625$  ตารางมิลลิเมตรต่อชิ้น จำนวน 36 ชิ้น จะมีพื้นที่รวม  $562500$  ตารางมิลลิเมตร หรือเท่ากับ  $0.562$  ตารางเมตรและเซลล์ทั้ง 36 ชิ้น ที่ว่านี้สามารถให้กำลังได้รวมกันเท่ากับ  $75$  วัตต์ ที่ความเข้มแสงมาตรฐาน  $1000$  วัตต์ต่อตารางเมตร แล้วประสิทธิภาพของชิ้นเซลล์ขนาดนี้จะเท่ากับ  $75 \times 100$  หารด้วย  $0.562 \times 1000 = 13.34\%$  ถ้าหากชิ้นเซลล์ดังกล่าวมีลักษณะเป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัส ในกรณีชิ้นเซลล์มีการตัดมุมไปทั้ง 4 มุม ทำให้พื้นที่จริงของชิ้นเซลล์ลดลง ประสิทธิภาพของชิ้นเซลล์ก็จะเพิ่มขึ้นอีกเล็กน้อยแตเมื่อนำชิ้นเซลล์ทั้ง 36 ชิ้น นี้ไปประกอบเป็นแผงโซลาร์เซลล์ซึ่งต้องมีช่องว่างรอยต่อระหว่างรอยต่อของเซลล์แต่ละชิ้น ซึ่งจะมีผลทำให้ขนาดของแผงใหญ่ขึ้นกว่าพื้นที่ของชิ้นเซลล์ทั้ง 36 ชิ้นรวมกัน เช่น เมื่อประกอบเป็นแผงขนาดของแผงโซลาร์เซลล์นั้นมีความกว้างเท่ากับ  $530$  มิลลิเมตรและความยาวแผงเท่ากับ  $1188$  มิลลิเมตร ซึ่งเมื่อคิดเป็นพื้นที่แล้วจะได้พื้นที่เท่ากับ  $530 \times 1188$  และมีความยาวแผงเท่ากับ  $1188$  มิลลิเมตร ซึ่งเมื่อ

คิดเป็นพื้นที่แล้วจะได้พื้นที่เท่ากับ  $530 \times 1188$  หรือ  $629640$  ตารางมิลลิเมตร หรือ  $0.630$  ตารางเมตร ในขณะที่แผงดังกล่าวให้กำลังเท่าเดิม คือ  $75$  วัตต์ ที่ความเข้มแสงมาตรฐาน  $1000$  วัตต์ต่อตารางเมตร แล้วประสิทธิภาพของแผงแสงอาทิตย์นั้นจะเท่ากับ  $75 \times 100$ หารด้วย  $0.63 \times 100 = 11.90\%$

ซึ่งในปัจจุบันนี้องค์กรต่างๆ ได้มีความพยายามพัฒนาประสิทธิภาพของซิลิคอนเซลล์ให้สูงขึ้น ในขณะที่ขนาดของซิลิคอนเซลล์นั้นเท่าเดิม ทั้งนี้เพื่อให้แผงขนาดเท่าเดิมแต่สามารถให้กำลังได้เพิ่มขึ้น เพื่อประโยชน์ต่อการติดตั้งแผงที่มีพื้นที่ติดตั้งจำกัด เช่นตามหลังคาบ้านต่างๆ ซึ่งไม่สามารถเปลี่ยนขนาดของหลังคาบ้านได้ หรือมีพื้นที่สามารถรับแสงได้ในบริเวณจำกัดถ้าได้ใช้แผงโซลาร์เซลล์ที่มีประสิทธิภาพสูงในการติดตั้ง แม้พื้นที่จะเท่าเดิม แต่กำลังที่จะได้จากแผงโซลาร์เซลล์ก็เพิ่มขึ้น อีกทั้งผู้ขายยังสามารถประหยัดค่าใช้จ่ายด้านโครงสร้างรองรับแผงไม่ต้องใช้โครงสร้างใหญ่เพื่อรองรับจำนวนแผงหลายๆเหมือนสมัยแรกๆ

### สรุป

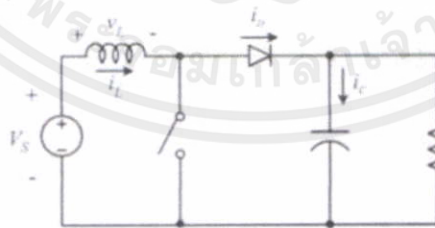
จากทฤษฎีของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ได้กล่าวมาแล้ว นั้นสามารถนำเอาคุณสมบัติ และข้อดีข้อเสียต่างๆของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ มาใช้ในการเลือกขนาดและชนิดของแผงโซลาร์เซลล์ว่าควรใช้เซลล์แสงอาทิตย์ชนิด Single Crystalline Silicon Solar Cell เนื่องจากผลงานในการผลิต ราคา วัสดุดี ความน่าเชื่อถือ เป็นที่น่าพอใจ

## 2.3 DC to DC Converter

### วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาหลักการเปลี่ยนแรงดันจาก DC to DC Converter เพื่อจะได้เลือกวงจรที่จะนำมาใช้ได้ถูกต้อง

### 2.3.1 วงจรเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้า (Boost Converter)



รูปที่ 2.13 แสดงวงจรเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้า

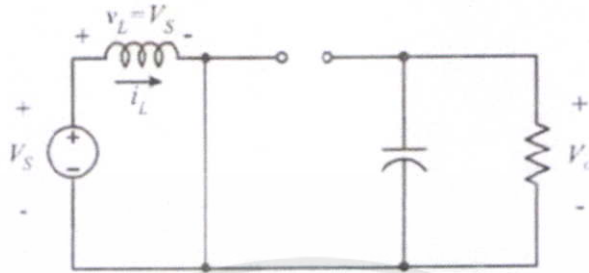
การวิเคราะห์การทำงานของวงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์ในช่วงสภาวะอยู่ตัว จะมีการกำหนดเงื่อนไขในการทำงานของวงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์ เพื่อให้ง่ายต่อการวิเคราะห์ที่ดังนี้

1.  $I$  ที่ไหลผ่านตัว  $L$  ณ ตำแหน่งเดียวกันในแต่ละคาบ จะมีค่าเท่ากัน และมีค่าเป็นบวกเสมอ
2. แรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำในแต่ละคาบจะเท่ากับศูนย์
3.  $C$  ต้องมีขนาดใหญ่เพื่อทำให้แรงดันเอาท์พุทมีค่าคงที่

4. กำลังไฟฟ้าอินพุต เท่ากับกำลังไฟฟ้านเอาต์พุต  $P_{in}=P_{out}$ 

## 2.3.1.1 หลักการทำงาน

ขณะสวิตช์ ON



รูปที่ 2.14 แสดงหลักการทำงานขณะสวิตช์ ON

กระแสจากแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงจะไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำผ่านสวิตช์ ซึ่งทำให้เกิดพลังงานสนามแม่เหล็กขณะเดียวกันไดโอดจะถูกไบอัสย้อนกลับทำให้ไม่สามารถนำกระแสได้ จากกฎของเคอร์ชอฟฟ์ จะได้สมการของแรงดันไฟฟ้าดังนี้

$$-V_s + v_L = 0$$

$$v_L = V_s = L \frac{di_L}{dt}$$

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{V_s}{L}$$

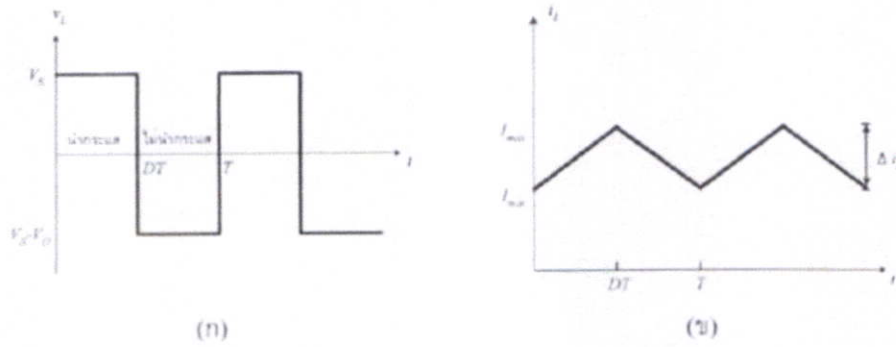
เมื่อสวิตช์ On  $dt = DT$

$$\frac{\Delta i_L}{\Delta t} = \frac{\Delta i_L}{DT} = \frac{V_s}{L}$$

$$\Delta i_{L,on} = \frac{V_s DT}{L}$$

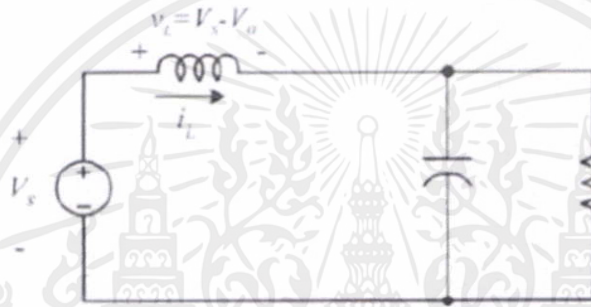
$\Delta i_{L,on}$  คือ อัตราการเปลี่ยนแปลงของ  $i_L$  เมื่อ สวิตช์นำกระแส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.15 (ก) แรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำ (ข) กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ

ขณะสวิตช์ Off



รูปที่ 2.16 แสดงหลักการทำงานขณะสวิตช์ OFF

ตัวเหนี่ยวนำจะคืนพลังงาน ผ่านทางไดโอดและโหลด ทำให้ กระแสไฟฟ้าไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำอย่างต่อเนื่อง สมมติแรงดันไฟฟ้านำเข้าที่พุดมีค่าคงที่ จากกฎของเคอร์ชอฟฟ์จะได้สมการของแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำดังนี้

$$-V_s + v_L + V_o = 0$$

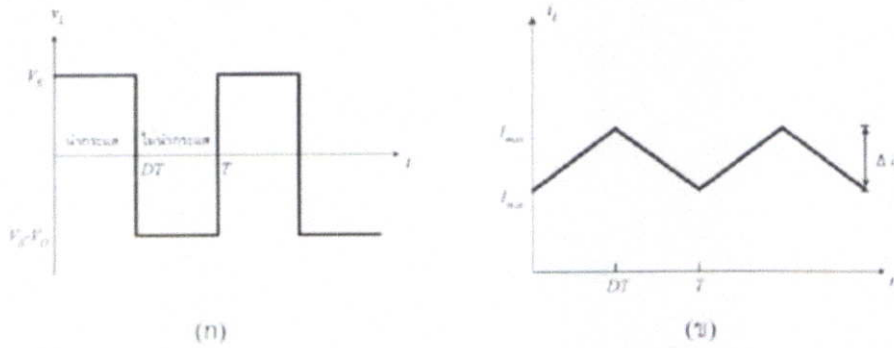
$$v_L = V_s - V_o$$

$$v_L = L \frac{di_L}{dt}$$

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{V_s - V_o}{L}$$

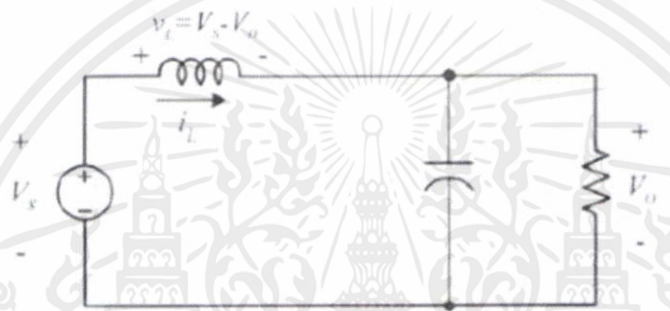
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ การนำเอกสารไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตถือว่าผิดกฎหมาย  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\Delta i_{L,off} = \left( \frac{V_s - V_o}{L} \right) (1 - D)T$$



รูปที่ 2.15 (ก) แรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำ (ข) กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ

ขณะสวิตช์ Off



รูปที่ 2.16 แสดงหลักการทำงานขณะสวิตช์ OFF

ตัวเหนี่ยวนำจะคืนพลังงาน ผ่านทางไดโอดและโหลด ทำให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำอย่างต่อเนื่อง สมมติแรงดันไฟฟ้าด้านเอาต์พุตมีค่าคงที่ จากกฎของเคอร์ซอพฟ์จะได้สมการของแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำดังนี้

$$-V_s + v_L + V_0 = 0$$

$$v_L = V_s - V_0$$

$$v_L = L \frac{di_L}{dt}$$

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{V_s - V_0}{L}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ควานำไปใช้ อัตรการเปลี่ยนแปลงกระแสผ่านตัวเหนี่ยวนำลดลงเป็นเชิงเส้น  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\Delta i_{L,\text{off}} = \left( \frac{V_s - V_0}{L} \right) (1 - D)T$$

ที่สภาวะอยู่ตัว การเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ มีค่าเท่ากับศูนย์

$$\Delta i_{L,on} + \Delta i_{L,off} = 0$$

$$\left(\frac{V_s}{L}\right)DT + \frac{(V_s - V_0)(1 - D)T}{L} = 0$$

$$V_s D + (V_s - V_0)(1 - D) = 0$$

$$V_s D + V_s - V_s D - V_0 + V_0 D = 0$$

$$V_s - V_0(1 - D) = 0$$

$$\frac{V_0}{V_s} = \frac{1}{1 - D}$$

สามารถนำไปหาอัตราขยายแรงดันระหว่างแรงดันอินพุตกับแรงดันด้านเอาต์พุต ซึ่งจะเห็นได้ว่าการปรับแรงดันด้านเอาต์พุตขึ้นอยู่กับค่า D (Duty Cycle) โดยหากปรับค่า D เป็นค่าต่างจะได้อัตราการขยายแรงดันเอาต์พุตได้ดังแสดงในตาราง

ตารางที่ 2.2 แสดงความสัมพันธ์ของ Duty Ratio (D) และ อัตราการขยายแรงดัน

Duty Ratio (D)	อัตราการขยายแรงดัน ( $V_o/V_i$ )
0.0	1.00
0.1	1.10
0.2	1.25
0.3	1.43
0.4	1.67
0.5	2.00
0.6	2.50
0.7	3.33
0.8	5
0.9	10
1.0	Infinity

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและข้ออ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

D คือดีวตีไซเคิล

$$D = \frac{t_{on}}{t_{on} + t_{off}} = \frac{t_{on}}{T}$$

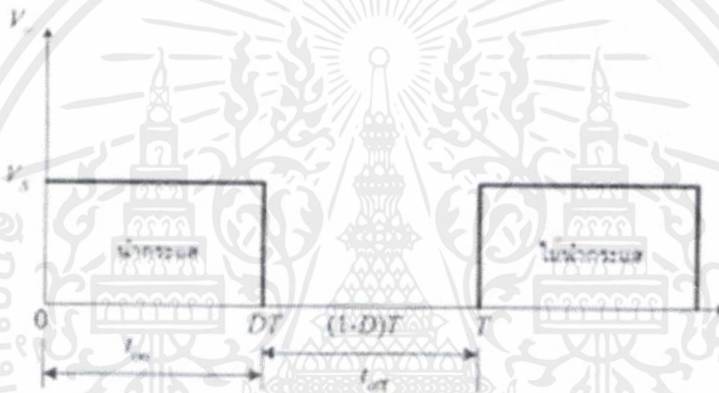
$$t_{on} = DT$$

$$t_{off} = (1 - D)T$$

เมื่อ  $t_{on}$  คือช่วงเวลานำกระแส

$t_{off}$  คือช่วงเวลาหยุดนำกระแส

T คือเวลาหนึ่งคาบ



รูปที่ 2.17 แสดงความสัมพันธ์  $V_o$  กับ t

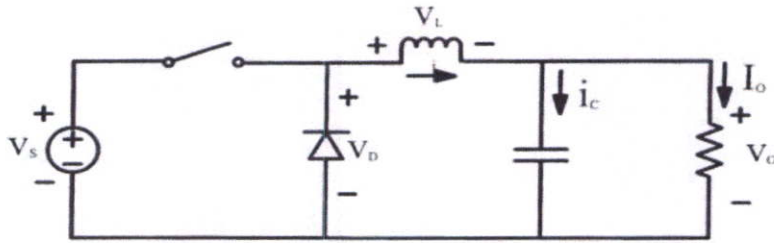
### 2.3.2 Buck converter

Buck converter เป็นวงจรที่มี  $v_{out}$  น้อยกว่า  $v_{in}$  หรือเรียกอีกอย่างว่า เป็นวงจรลดทอนแรงดันนั่นเอง

#### 2.3.2.1 หลักการทำงานของวงจร Buck Converter

เพื่อที่จะออกแบบให้ได้แรงดันไฟฟ้าด้านออกตามที่ต้องการ คือ ต้องเริ่มจากที่ว่าแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยตกคร่อมตัวเหนี่ยวนาในแต่ละคาบเวลามีค่าเท่ากับศูนย์ จากนั้นจะสามารถหาค่ากระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนาได้ การวิเคราะห์การทำงานของสวิตช์ในแต่ละโหมดจะต้องวิเคราะห์ในสภาวะอยู่ตัวดังนี้

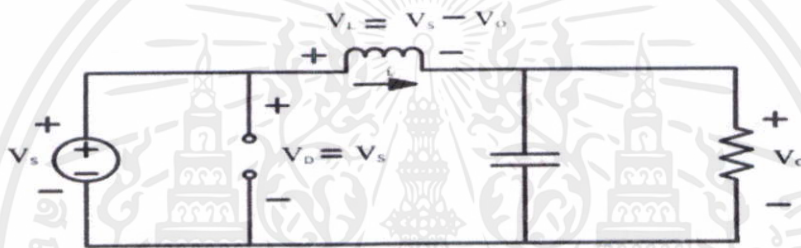
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.18 วงจร Buck Converter

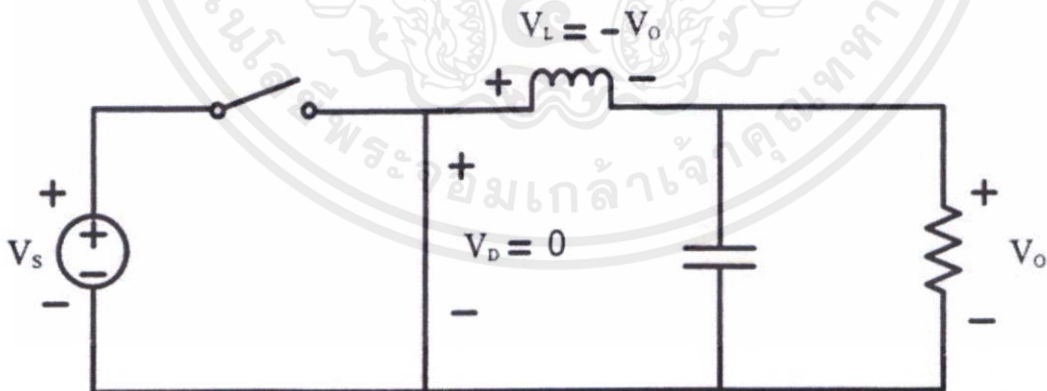
ขณะสวิตช์นำกระแส

กระแสไฟฟ้าที่ไหลจากแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงจะไหลผ่านสวิตช์ ผ่านตัวเหนี่ยวนำไปยังโหลด โดยที่กระแสไฟฟ้าส่วนหนึ่งจะไปเก็บที่ตัวเก็บประจุ



รูปที่ 2.19 วงจรสมมูลเมื่อสวิตช์นำกระแส

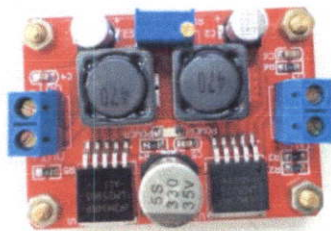
เมื่อสวิตช์ไม่นำกระแส ไดโอดจะถูกไปอัสไปหน้า (Forward Bias) ให้นำกระแส ทำให้กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำเกิดการไหลอย่างต่อเนื่อง



รูปที่ 2.20 วงจรสมมูลเมื่อสวิตช์ไม่นำกระแส

การออกแบบวงจร Buck Converter นั้นเราจะออกแบบให้ทำงานอยู่ในขอบเขตของโหมดกระแสไม่ต่อเนื่องเพื่อที่จะสามารถควบคุมกระแสได้โดยง่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ในทางการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.21 แสดงวงจร Boost Converter ที่ใช้

### สรุป

จากการศึกษาข้อมูลจึงสรุปได้ว่า อุปกรณ์ต้องการวงจรที่ต้องเพิ่มแรงดัน เพื่อให้เหมาะสมกับระบบ จึงได้เลือกใช้วงจร Boost Converter

## 2.4 แบตเตอรี่ (Battery)

### วัตถุประสงค์

ศึกษาชนิดของแบตเตอรี่มือถือ

ศึกษาความสัมพันธ์ของแบตเตอรี่มือถือ

ศึกษาหลักการทำงาน และชาร์จประจุแบตเตอรี่มือถือ

แบตเตอรี่ เป็นอุปกรณ์ที่สามารถเปลี่ยน พลังงานเคมีที่เก็บไว้เป็นพลังงานไฟฟ้า ได้มีการค้นพบว่า มีการใช้แบตเตอรี่ตั้งแต่สมัย บาบิโลเนียน เมื่อประมาณ 500 ปีก่อนคริสตศักราช แต่แบตเตอรี่ที่มีใช้ในปัจจุบัน เป็นการค้นคว้าทดลองของนักวิทยาศาสตร์เมื่อ 200 ปีที่แล้ว ซึ่งแบ่งตามลักษณะของการใช้งานได้เป็น 4 ชนิดดังนี้

แบตเตอรี่ปฐมภูมิ เป็นแบตเตอรี่ที่เมื่อผ่านการใช้แล้วไม่สามารถนำกลับมาชาร์จประจุเพื่อกลับมาใช้ใหม่ได้ หรือที่มักเรียกกันว่า “ถ่าน” มีอยู่หลายชนิด เช่น ถ่านอัลคาไลน์ ถ่านลิเทียม เป็นต้น แบตเตอรี่แบบนี้มีหลายขนาด ใช้ในวิทยุ นาฬิกา เก็บพลังงานได้สูง อายุการใช้งานสูง แต่เมื่อถูกใช้หมดจะกลายเป็นขยะมลพิษ

แบตเตอรี่ทุติยภูมิ เป็นแบตเตอรี่ที่เมื่อผ่านการใช้แล้วสามารถนำกลับมาชาร์จประจุเพื่อกลับมาใช้ใหม่ได้ เช่น แบตเตอรี่รถยนต์ แบตเตอรี่มือถือ และถ่านรุ่นใหม่ๆ เป็นต้น

แบตเตอรี่เชิงกล เป็นแบตเตอรี่ที่เมื่อผ่านการใช้แล้วนำกลับมาชาร์จประจุใหม่ได้ โดยการเปลี่ยนขั้วอิเล็กโทรดขั้วลบของแบตเตอรี่ที่ใช้งานแล้ว ซึ่งทำให้มีการชาร์จประจุอย่างรวดเร็ว เช่น แบตเตอรี่ชนิดลูมิเนียม-อากาศ

แบตเตอรี่ผสม เป็นแบตเตอรี่ที่มีเซลล์ของเชื้อเพลิงผสมอยู่ โดยขั้วอิเล็กโทรดข้างหนึ่งเป็นก๊าซและอีกข้างหนึ่งเป็นขั้วของตัวเอง เช่น แบตเตอรี่ชนิดซิงค์-โบรมีน

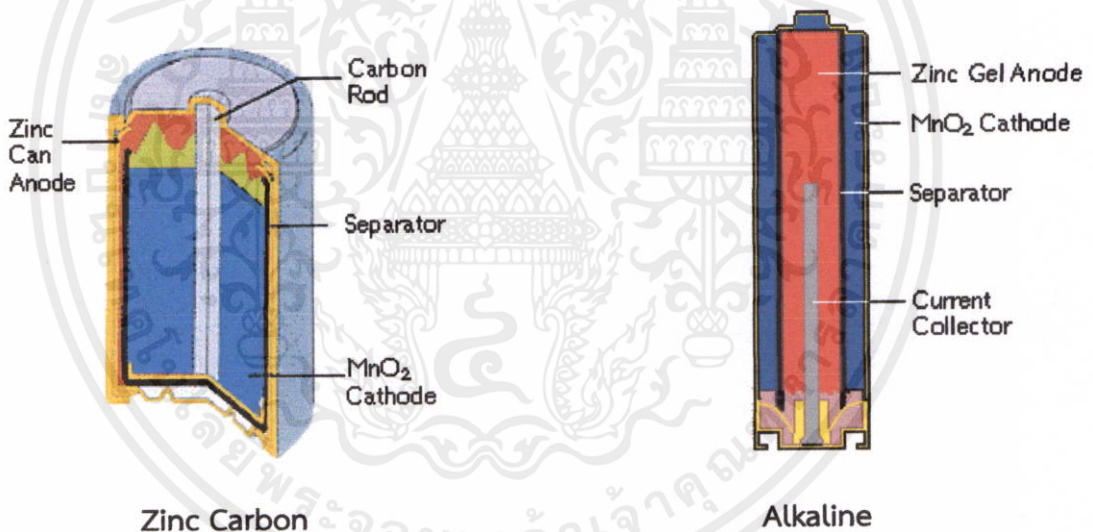
### 2.4.1 แบตเตอรี่ปฐมภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่... แบตเตอรี่ปฐมภูมิ เป็นแบตเตอรี่ที่เมื่อผ่านการใช้แล้วไม่สามารถนำกลับมาชาร์จประจุเพื่อกลับมาใช้ใหม่ได้ หรือที่มักเรียกกันว่า “ถ่าน” มีอยู่หลายชนิด เช่น ถ่านอัลคาไลน์ ถ่านลิเทียม เป็นต้น แบตเตอรี่แบบนี้มีหลายขนาด ใช้ในวิทยุ นาฬิกา เก็บพลังงานได้สูง อายุการใช้งานสูง แต่เมื่อถูกใช้หมดจะกลายเป็นขยะมลพิษ

ในช่วงเวลาที่ผ่านมา ถ่านไฟฉายแบบอัลคาไลน์ที่ใช้แล้วทิ้งนั้นเป็นที่นิยมกันมากในหมู่นักเดินป่าทั้งหลาย แต่ในระยะหลังนี้ถ่านไฟฉายอีกประเภทหนึ่งที่มีความนิยมเพิ่มมากขึ้นคือถ่านลิเธียม ซึ่งมีน้ำหนักเบา ให้พลังงานสูง ใช้ได้ดีในที่อากาศเย็นและสามารถเก็บไว้ได้นาน นอกจากนี้ ในปัจจุบันผู้ผลิตยังได้ผลิตถ่านลิเธียมในขนาด AA ออกมาอีกด้วย แต่อย่างไรก็ดี ตลาดถ่านไฟฉายในปัจจุบันไม่ได้แข่งที่ประเภทถ่านอัลคาไลน์หรือลิเธียมเพียงอย่างเดียว แต่จะเป็นการแข่งขันกันระหว่างถ่านไฟฉายแบบที่ใช้แล้วทิ้ง (Throwaways) กับแบบที่สามารถประจุไฟเข้าไปใหม่ได้ (Rechargeables) หรือที่เรียกกันว่าถ่านแบบรีชาร์จ ถ่านไฟฉายในตลาดปัจจุบันที่ใช้กันในการเดินป่า สามารถแบ่งออกได้เป็นประเภทต่างๆ ดังนี้

ถ่านคาร์บอนเคลือบสังกะสี (Carbon-zinc cells)

ถ่านไฟฉายต่างๆ ไปจะมีหลักการการทำงานคร่าวๆ คือ ใช้คาร์บอนเป็นขั้วบวก หุ้มด้วยแอมโมเนียมคลอไรด์ และเคลือบด้านนอกด้วยสังกะสีซึ่งเป็นขั้วลบ เมื่อมีปฏิกิริยาทางเคมีเกิดขึ้นจะให้อิเล็กตรอนออกมา และเปลี่ยนพลังงานเคมีเป็นพลังงานไฟฟ้าได้โดยตรง แต่ถ้าปฏิกิริยาเคมีดังกล่าวเกิดการย้อนกลับก็จะทำให้เราสามารถประจุไฟเข้าไปในแบตเตอรี่ใหม่ได้หรือที่เรียกว่าการรีชาร์จนั่นเอง แต่ถ่านคาร์บอนเคลือบสังกะสีในประเภทนี้เป็นถ่านไฟฉายรุ่นแรกๆ ที่ไม่สามารถจะรีชาร์จได้ และในปัจจุบันก็ได้มีถ่านประเภทอื่นๆ ออกมาแทนที่จำนวนมาก



รูปที่ 2.22 แสดงแบตเตอรี่แบบ Zinc Carbon และ Alkaline

ถ่านอัลคาไลน์แบบใช้แล้วทิ้ง (Disposable alkaline cells)

ถ่านอัลคาไลน์ที่ใช้แล้วทิ้งได้เริ่มมีใช้ครั้งแรกในปี ค.ศ. 1958 (พ.ศ. 2501) ซึ่งเมื่อแรกเริ่มนั้นเป็นที่นิยมกันมากเพราะสามารถให้พลังงานได้มากกว่าถ่านไฟฉายแบบเก่า แต่ในระยะหลังเริ่มมีคนตระหนักถึงปัญหาทางด้านสิ่งแวดล้อมที่เนื่องมาจากการใช้ถ่านอัลคาไลน์แบบใช้แล้วทิ้งกันมากขึ้น เนื่องจากไฟฉายประเภทนี้มีสารปรอทเป็นส่วนประกอบและเนื่องจากปริมาณการใช้งานที่นิยมกันมากขึ้นทำให้เกิดปัญหาขยะมีพิษเพิ่มมากขึ้นทั่วโลก ดังนั้นผู้ผลิตจึงได้พยายามมากขึ้นที่จะพัฒนาถ่านอัลคาไลน์ให้ไม่เป็นอันตรายต่อสภาพแวดล้อม ในช่วงปลายทศวรรษที่ 1980 ได้มีผู้ผลิตถ่านอัลคาไลน์แบบที่มีสารปรอทต่ำลงออกมา และในปี 1990 ก็ได้มีถ่านอัลคาไลน์แบบปลอดสารปรอทเกิดขึ้น (เช่น ถ่านดูราเซลล์ และอีเนอร์เจเซอร์) ที่นิยมกันในปัจจุบันนั่นเอง แต่ถึงอย่างไรก็ตาม การที่มีปริมาณการ

ใช้งานถ่านอัลคาไลน์จำนวนมากในปัจจุบันก็ยังก่อให้เกิดปัญหาเรื่องขยะพิษไปทั่วโลกอยู่ดี ยกตัวอย่างเช่น เฉพาะในประเทศอเมริกามีการทิ้งถ่านอัลคาไลน์จำนวนถึง 2 พันล้านก้อนต่อปี ข้อเสียที่สำคัญของถ่านอัลคาไลน์แบบใช้แล้วทิ้งนี้ก็คือจะมีประสิทธิภาพลดลงอย่างมากในสภาพอากาศที่หนาวเย็น

ถ่านอัลคาไลน์รีชาร์จ (Rechargeable alkaline)

ถ่านอัลคาไลน์รีชาร์จเริ่มมีใช้เมื่อ ค.ศ. 1993 ให้พลังงาน 1.5 โวลต์เท่ากับถ่านอัลคาไลน์แบบใช้แล้วทิ้ง แต่เมื่อมีการชาร์จใหม่เรื่อยๆ ประสิทธิภาพของถ่านจะลดลงตามจำนวนการชาร์จในแต่ละครั้ง ถึงแม้จะมีการดูแลรักษาและชาร์จอย่างดีก็ตาม เมื่อชาร์จไปประมาณสิบครั้งประสิทธิภาพจะลดลงเหลือประมาณ 60% และเมื่อชาร์จไปสามสิบครั้งประสิทธิภาพจะลดลงเหลือเพียง 40% และลดลงไปเรื่อยๆ ดังนั้น เมื่อเปรียบเทียบระหว่างถ่านอัลคาไลน์รีชาร์จกับถ่านนิแคดจึงเห็นได้ชัดว่าถ่านนิแคดมีอายุการใช้งานนานกว่ากันมาก นอกจากนี้ เพื่อให้ถ่านอัลคาไลน์รีชาร์จมีอายุการใช้งานยาวนานที่สุด เราควรจะต้องรีชาร์จถ่านอย่างสม่ำเสมอและอย่าปล่อยให้แบตเตอรี่หมดเกลี้ยง และจำเป็นจะต้องใช้เครื่องชาร์จเฉพาะด้วย

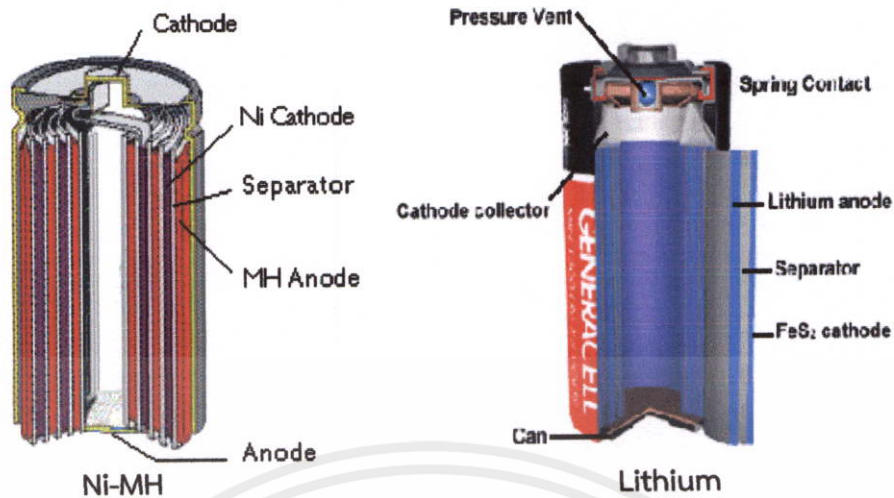
บริษัทเยอรมนีบริษัทหนึ่งได้ผลิตถ่านอัลคาไลน์รีชาร์จยี่ห้อ Accucell ขึ้น โดยความสามารถมากขึ้น ซึ่งมีข้อดีที่สำคัญกว่าถ่านอัลคาไลน์รีชาร์จสมัยก่อนคือสามารถรีชาร์จได้นับร้อยครั้งโดยที่ประสิทธิภาพไม่ตกลงไปมากนัก ทำให้มีคนหันมาให้ความสนใจและเป็นที่ยอมรับมากขึ้น

ถ่านลิเทียม (Lithium cells)

ได้มีการเริ่มใช้ถ่านลิเทียมครั้งแรกกับไฟฉายติดศีรษะที่ใช้ในวงการอุตสาหกรรม ซึ่งในขณะนั้นมีราคาแพงมากถึง 20 เหรียญสหรัฐ แต่มีอายุการใช้งานยาวนานมากและยังสามารถใช้งานในสภาพอากาศที่หนาวเย็นมากๆ ได้อีกด้วย แต่เนื่องจากมันมีสารซัลเฟอร์ไดออกไซด์เป็นส่วนประกอบ จึงถูกห้ามนำขึ้นเครื่องบินไม่ว่าจะติดตัวขึ้นไปหรือใส่ในกระเป๋าเดินทางที่โหลดไว้ใต้เครื่อง ดังนั้น บริษัทผู้ผลิตจึงได้พัฒนาถ่านลิเทียมประเภทนี้ออกมากลายเป็นลิเทียมธโอนีลคลอไรด์ซึ่งใช้ได้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้พลังงานต่ำ เช่น หลอด LED (Light-emitting diode) สามารถนำขึ้นเครื่องบินได้ มีการผลิตออกมาในขนาด AA และยังมีราคาที่ถูกลงอีกด้วย (ประมาณ 9 – 11 เหรียญสหรัฐ) เมื่อเทียบกับว่าถ่านก้อนหนึ่งสามารถใช้ได้นานหลายเดือน

เมื่อเร็วๆ นี้ บริษัทเอเวอร์เรดี อีเนอร์จีเซอร์ ได้ผลิตถ่านไฟฉายแบบลิเทียมไอร์ออนไดซัลไฟด์ (Lithium-iron disulfide) ในขนาด 1.5 โวลต์ AA ออกมาสำหรับใช้กับกล้องถ่ายรูปแบบอัตโนมัติ ข้อดีของถ่านชนิดนี้คือมีน้ำหนักเบากว่าถ่านอัลคาไลน์ถึง 60% และสามารถเก็บเอาไว้ได้นานถึงสิบปี แต่อย่างไรก็ดี ผู้เชี่ยวชาญได้กล่าวไว้ว่าถ่านลิเทียมแบบนี้เมื่อเกิดปฏิกิริยาทางเคมีภายในแล้วจะทำให้ประสิทธิภาพของตัวถ่านลดลงเมื่อใช้กับอุปกรณ์ที่ใช้พลังงานต่ำ เช่น ไฟฉาย นอกจากนี้ ข้อเสียอีกประการหนึ่งคือ ในการผลิตถ่านลิเทียมแบบนี้จำเป็นต้องใช้พลังงานในการผลิตถ่านหนึ่งก้อนมากกว่าที่ตัวถ่านไฟฉายเองสามารถจะให้พลังงานได้ โดยใช้พลังงานในการผลิตมากกว่าถึง 50 เท่า ซึ่งความจริงที่น่าเศร้าอีกอย่างก็คือถ่านแบบนี้ไม่สามารถจะรีชาร์จใหม่ได้ด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.23 แสดงแบตเตอรี่แบบ Ni-MH และ Lithium

ถ่านนิกเกิลแคดเมียมหรือนิกแคด (Nickel-cadmium cells, Nicads)

ถ่านนิกแคดเป็นถ่านที่สามารถรีชาร์จได้ เริ่มมีใช้ครั้งแรกในช่วงทศวรรษ 1950 และสามารถจะรีชาร์จใหม่ได้นับร้อยครั้ง แต่ในสมัยนั้น นักเดินป่าส่วนใหญ่จะไม่นิยมใช้ถ่านนิกแคดเนื่องจากปัญหาสำคัญเกี่ยวกับการชาร์จแบตเตอรี่ นั่นคือเราจำเป็นต้องใช้แบตเตอรี่ให้หมดเกลี้ยงก่อนถึงจะชาร์จใหม่ได้ มิฉะนั้นจะทำให้เกิดเมโมรี่เอฟเฟกต์ (Memory Effect) ซึ่งหมายถึงการชาร์จแบตเตอรี่ได้เพียงบางส่วน ไม่สามารถชาร์จได้เต็มที่ ซึ่งเกิดจากการชาร์จแบตเตอรี่ในขณะที่แบตเตอรี่เดิมยังไม่หมดดี ทำให้การชาร์จครั้งต่อไปจะใช้เวลาสั้นลงเนื่องจากแบตเตอรี่จะเก็บความจำในการชาร์จที่สั้นที่สุดเอาไว้ และทำให้ประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ลดน้อยลง หรือหากเราชาร์จทิ้งเอาไว้เวลานานเกินไปก็จะทำให้แบตเตอรี่ร้อนมากและเสียหายได้อีกเช่นกัน ถ่านนิกแคดยังให้พลังงานเพียง 1.2 โวลต์ซึ่งน้อยกว่าถ่านอัลคาไลน์ที่ให้พลังงาน 1.5 โวลต์อีกด้วย และนอกจากนี้สารแคดเมียมยังเป็นสารพิษที่อันตรายมากอีกด้วย

อย่างไรก็ดี ในปัจจุบันได้มีการพัฒนาถ่านนิกแคดให้มีคุณภาพดีขึ้นมาก สามารถรีชาร์จได้ง่ายขึ้น และยังมีองค์กรหรือสมาคม (ในต่างประเทศ) ที่คอยรับเก็บถ่านนิกแคดที่ใช้แล้วเพื่อเอาไปรีไซเคิลและนำกลับมาใช้ใหม่ได้ ซึ่งไม่ทำให้เกิดปัญหาเกี่ยวกับสภาพแวดล้อมอีกด้วย

ถ่านนิกเกิลเมทัลไฮไดรด์ (Nickel-metal hydride, NiMH)

ถ่าน NiMH นี้มีประสิทธิภาพอยู่ตรงกลางระหว่างถ่านนิกแคดและถ่านอัลคาไลน์รีชาร์จ ถ่าน NiMH ให้พลังงาน 1.2 โวลต์เหมือนถ่านนิกแคดและสามารถชาร์จใหม่ได้หลายร้อยครั้งเช่นกัน แต่การชาร์จถ่าน NiMH จะไม่เกิดเมโมรี่เอฟเฟกต์เหมือนถ่านนิกแคด ตัวถ่าน NiMH จะสามารถรีชาร์จด้วยตัวเองประมาณ 1-4 % ของพลังงานที่เหลืออยู่ทุกวัน แต่เราไม่สามารถเก็บถ่าน NiMH เอาไว้ได้นานเท่ากับถ่านอื่นๆ

เอกสารนี้เป็น 2.4.2 แบตเตอรี่ทุติยภูมิ การใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น เป็นแบตเตอรี่ที่เมื่อผ่านการใช้แล้วสามารถนำกลับมาชาร์จประจุเพื่อกลับมาใช้ใหม่ได้ เช่น แบตเตอรี่รถยนต์ แบตเตอรี่มือถือ และถ่านรุ่นใหม่ๆ เป็นต้น แบตเตอรี่ชนิดอัดกระแสไฟใหม่ได้ หรือ เซลล์ทุติยภูมิ สามารถอัดกระแสไฟใหม่ได้หลังจากไฟหมดเนื่องจากสารเคมีที่ใช้ทำแบตเตอรี่

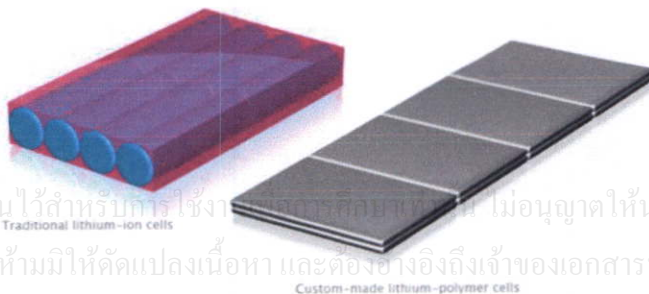
ชนิดนี้สามารถทำให้กลับไปอยู่ในสภาพเดิมได้โดยการอัดกระแสไฟเข้าไปใหม่ซึ่งอุปกรณ์ที่ใช้ไฟนี้เรียกว่า ชาร์จเจอร์ หรือ รีชาร์จเจอร์ แบตเตอรี่ชนิดอัดกระแสไฟใหม่ได้ที่เก่าแก่ที่สุดซึ่งใช้อยู่จนกระทั่งปัจจุบันคือ "เซลล์เปียก" แบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด (lead-acid battery) แบตเตอรี่ชนิดนี้จะบรรจุในภาชนะที่ไม่ได้ปิดผนึก (unsealed container) ซึ่งแบตเตอรี่จะต้องอยู่ในตำแหน่งตั้งตลอดเวลาและต้องเป็นพื้นที่ที่ระบายอากาศได้เป็นอย่างดี เพื่อระบายก๊าซไฮโดรเจนที่เกิดจากปฏิกิริยาและแบตเตอรี่ชนิดจะมีน้ำหนักมากรูปแบบสามัญของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด คือ แบตเตอรี่รถยนต์ ซึ่งสามารถจะให้กระแสไฟได้ถึงประมาณ 10,000 วัตต์ในช่วงเวลาสั้นๆ และมีกระแสตั้งแต่ 450 ถึง 1100 แอมแปร์ สารละลายอิเล็กโทรไลต์ของแบตเตอรี่คือ กรดซัลฟิวริกซึ่งสามารถเป็นอันตรายต่อผิวหนังและตาได้ แบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดที่มีราคาแพงมากเรียกว่า แบตเตอรี่เจล (หรือ "เจลเซลล์") ภายในจะบรรจุอิเล็กโทรไลต์ประเภทเซมิ-โซลิด (semi-solid electrolyte) ที่ป้องกันการหกได้ดี และแบตเตอรี่ชนิดอัดไฟใหม่ได้ที่เคลื่อนย้ายได้สะดวกกว่าคือประเภท "เซลล์แห้ง" ที่นิยมใช้กันใน โทรศัพท์มือถือ และแล็ปท็อป (Notebook) ปัจจุบันนิยมใช้งาน ทั้งแบตเตอรี่แบบปฐมภูมิและทุติยภูมิ ซึ่งส่วนใหญ่มีตะกั่วเป็นส่วนประกอบ ที่มีคราบเป็นพิษ และผลเสียต่อสภาพแวดล้อม

แบตเตอรี่ที่เข้ามาทดแทนแบตเตอรี่ตะกั่ว ในอนาคตสามารถแบ่งออกเป็น 4 ประเภท ได้แก่

1. แบตเตอรี่ชนิดนิกเกิล-แคดเมียม (NiCd) แบตเตอรี่ชนิดนี้มีราคาแพงกว่าแบตเตอรี่ตะกั่ว แต่สามารถชาร์จประจุได้มากกว่า และอายุการใช้งานยาวนาน
2. แบตเตอรี่ชนิดโซเดียม-ซัลเฟอร์ (NaS) เป็นแบตเตอรี่ที่มีความหนาแน่นของพลังงานต่ำ ราคาแพง สามารถใช้งานได้ที่อุณหภูมิสูงถึง 350°C
3. แบตเตอรี่ชนิดซิงค์-โบรมีน (ZnBr) เป็นแบตเตอรี่ที่ให้แรงดันไฟฟ้าสูง ราคาถูก อายุการใช้งานที่ยาวนาน เหมาะสำหรับใช้กับรถไฟฟ้า แต่มักมีปัญหาจากการรั่วของประจุที่เก็บ และก๊าซโบรมีนเป็นก๊าซที่อันตราย
4. แบตเตอรี่ชนิดวานาเดียม-รีดอกซ์ (Vanadium-Redox) แบตเตอรี่แบบนี้สามารถชาร์จประจุได้ทันทีเพียงแค่เปลี่ยนอิเล็กโทรไลต์ มีอายุการใช้งานที่ยาวนาน อัตราการรั่วของประจุต่ำ มีความหนาแน่นของพลังงานสูง ใช้งานง่าย ราคาถูก ถึงแม้ว่าวานาเดียมจะมีพิษต่อสิ่งมีชีวิต แต่จะปลอดภัยเมื่ออยู่ในภาชนะบรรจุที่ได้มาตรฐาน

#### 2.4.3 ข้อแตกต่างระหว่างแบตเตอรี่ Lithium Polymer กับ Lithium Ion

ปัจจุบัน มือถือพกติดและสมาร์ตโฟนส่วนใหญ่ใช้แบตเตอรี่อยู่ 2 ประเภทหลักๆ คือ Lithium Ion และ Lithium Polymer ซึ่ง ทั้ง 2 อย่างจะให้ผลที่แตกต่างกันค่อนข้างชัดเจน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเอกสารลับเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.24 แสดง lithium-ion cells และlithium-polymer cells

## Lithium Ion

เป็นแบตเตอรี่ที่ถูกพัฒนาขึ้นในปี 1912 แต่ไม่ถูกใช้อย่างแพร่หลายนัก จนกระทั่ง Sony เลือกใช้แบตเตอรี่ชนิดนี้ในปี 1991 (นานมาก กว่าจะเริ่มนิยม) แบตเตอรี่ประเภท Lithium Ion มีความหนาแน่นของพลังงานสูง และที่สำคัญราคาถูกกว่า Lithium Polymer ในการใช้ครั้งแรกไม่ต้องชาร์จก่อน และการปลดปล่อยพลังงานต่ำมาก อย่างไรก็ตาม Lithium Ion จะมีการเสื่อมสภาพตามวัยแม้ไม่ได้ถูกใช้ก็ตาม

ประเภท	: กลุ่มที่ 2 (กลุ่มแรก Ni-Cad)
ปฏิกิริยาทางเคมี	: แตกต่างกันไป ขึ้นอยู่กับอิเล็กโทรไลต์
อุณหภูมิในการปฏิบัติการ	: 4° F ถึง 140° F ( -20° C ถึง 60° C)
เหมาะแก่การใช้งานกับ	: มือถือ อุปกรณ์คอมพิวเตอร์มือถือ (สมาร์ตโฟนนั่นเอง)
แรงดันเริ่มต้น	: 3.6 & 7.2
ความจุ	: แตกต่างกันไป แต่ปกติเป็น 2 เท่าของ Ni-Cad
อัตราการคายประจุ	: น้อย
อายุการใช้งาน	: 300 – 400 cycles ทุก 100%
อุณหภูมิในการชาร์จ	: 32° F ถึง 140° F (0° C ถึง 60° C)
อายุการเก็บรักษา	: สูญเสียประจุน้อยกว่า 0.1% ต่อเดือน
อุณหภูมิในการเก็บ	: -4° F ถึง 140° F ( -20° C ถึง 60° C)
การกำจัด	: สามารถนำไปรีไซเคิลได้
หมายเหตุอื่นๆ	: เหมาะแก่การชาร์จภายในอุปกรณ์มากกว่าการชาร์จภายนอก การผลิตขึ้นมา ถูกจำกัดในรูป สีเหลี่ยมผืนผ้า เบากว่าแบตเตอรี่จำพวกนิกเกิล (Ni-Cad และ NiHM)

## Lithium Polymer

ย้อนกลับไปเมื่อปี 1970 ตอนนั้น Lithium Polymer ได้ถูกพัฒนาขึ้น การออกแบบครั้งแรกได้รวมอิเล็กโทรไลต์-โพลีเมอร์ ในรูปแบบ แท็ง และ แท็ง คล้ายกับฟิล์มพลาสติก ทำให้ผลออกมาคือ รูปร่างจะคล้ายๆกับ บัตรเครดิต (มีลักษณะบาง) ในขณะที่ยังคงมีความสามารถในการคงอายุการใช้งานที่ดี นอกจากนี้ แบตเตอรี่ประเภทนี้ ยังมีความเบา และถูกปรับปรุงให้มีความปลอดภัยสูงยิ่งขึ้น อย่างไรก็ตาม แบตประเภทนี้มีราคาที่สูงกว่า Lithium Ion และมีความหนาแน่นของแบตเตอรี่น้อยกว่า Lithium Ion

ประเภท	: กลุ่มที่ 2
ปฏิกิริยาทางเคมี	: แตกต่างกันไป ขึ้นอยู่กับอิเล็กโทรไลต์
อุณหภูมิในการปฏิบัติการ	: ประสิทธิภาพขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ
เหมาะแก่การใช้งานกับ	: มือถือ อุปกรณ์คอมพิวเตอร์มือถือ (สมาร์ตโฟนนั่นเอง)
แรงดันเริ่มต้น	: 3.6 & 7.2
ความจุ	: แตกต่างกันไป ขึ้นอยู่กับแบตเตอรี่นั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
อัตราการคายประจุ	: น้อย
อายุการใช้งาน	: 300 – 400 cycles

เอกสารที่สงวนไว้: ไม่ว่ากรณีนี้อาจมีข้อผิดพลาดหรือเปลี่ยนแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุณหภูมิในการชาร์จ	: 32° F ถึง 140° F (0° C ถึง 60° C)
อายุการเก็บรักษา	: สูญเสียประจุน้อยกว่า 0.1% ต่อเดือน
อุณหภูมิในการเก็บ	: -4° F ถึง 140° F ( -20° C ถึง 60° C)
การจัดการ	: รีไซเคิลได้
อื่นๆ	: เหมาะแก่การชาร์จภายในอุปกรณ์มากกว่าการชาร์จภายนอกมากกว่า แบตเตอรี่จำพวกนิกเกิล (Ni-Cad และ NiHM) การผลิต ไม่จำกัดในด้าน รูปทรง

ดังนั้น ความแตกต่างของทั้ง 2 อย่างนี้ค่อนข้างน้อย (กินกันไม่ค่อยลง) ถึงแม้ว่า แบตเตอรี่ประเภท Lithium Polymer จะมีความเบา บางกว่า แต่ในทางกลับกันที่ Lithium Ion นั้นหนักกว่า แต่การก็มี ความหนาแน่นของพลังงานสูงกว่า แต่ในเรื่องของมือถือ อย่างไรก็ตาม Lithium Ion เป็นตัวเลือกที่ ไม่ค่อยถูกใช้มากนัก เพราะ เรื่องของความบางเป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่ทำให้คุณเลือกซื้อมือถือ แบรนต์นั้นๆ

#### 2.4.4 การชาร์ตแบตเตอรี่

แบตเตอรี่แบบชาร์ตไฟใหม่ได้ ที่มีใช้กับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์มีอยู่ 4 ประเภท ซึ่งแต่ละประเภทก็มีวิธีดูแลรักษาและการชาร์ตที่ต่างกัน ดังนั้นควรดูให้แน่ใจว่าแบตเตอรี่เป็นประเภทไหน โดยดูจากข้อความที่ติดอยู่บนตัวแบตเตอรี่ หรือถ้าไม่สามารถถอดออกมาดูได้ก็ให้สอบถามไปยังผู้ผลิต อุปกรณ์ว่าแบตเตอรี่ ที่แถมมานั้นเป็นแบบใด

แบตเตอรี่แบบ Nickel-cadmium (Ni-Cd หรือ Ni-Cad)

- ใช้ไฟให้หมดเกลี้ยงก่อนแล้วจึงค่อยทำการชาร์ตไฟใหม่

- ไม่ควรชาร์ตแบบเร็ว (Quick Charge)

- นำแบตเตอรี่ออกจากที่ชาร์ตทันทีหลังจากชาร์ตเต็มแล้ว

แบตเตอรี่แบบ Nickel metal hydride (NiMH)

- การชาร์ตเหมือนกับ Ni-Cd ทุกประการ แต่สามารถใช้งานกับเครื่องชาร์ตแบบเร็ว (Quick Charge) ได้

- ไม่ควรใช้กับเครื่องชาร์ตที่ไม่ตัดไฟเมื่อแบตเตอรี่เต็มหรือเครื่องชาร์ตที่จ่ายกำลังไฟน้อยกว่า

มาตรฐาน

- ในอุปกรณ์ที่ใช้แบตเตอรี่ NiMH หลายก้อนพร้อมกัน เมื่อแบตเตอรี่หมด ต้องนำแบตเตอรี่มาชาร์ตไฟใหม่ทันที

- ใน การใช้งานครั้งแรก หรือการใช้งานแบตเตอรี่เก่าเก็บไว้ไม่ได้ใช้งาน ต้องชาร์ตแบตเตอรี่ให้เต็ม และใช้งานให้หมดไฟ 3-4 ครั้ง เพื่อกระตุ้นเซลล์แบตเตอรี่จึงจะได้ความจุแบตเตอรี่เต็มเหมือนปกติ แบตเตอรี่แบบ Lithium ion (Li-Ion)

- เป็นแบตเตอรี่ที่ไม่เกิด Memory Effect และไม่ต้องดูแลรักษาระหว่างใช้งานมากเหมือนแบตเตอรี่

ชนิดอื่นๆ สารที่ส่งวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ กรุณาแจ้งผู้ขายทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- สามารถชาร์ตได้บ่อยครั้งตามต้องการโดยไม่มีผลทำให้แบตเตอรี่เสื่อม

- สามารถชาร์ตแบตเตอรี่ค้างเอาไว้ตามต้องการโดยไม่ทำให้แบตเตอรี่เสื่อม

- อายุการใช้งานของแบตเตอรี่แบบ Li-Ion ไม่ขึ้นกับวิธีการชาร์จ และจำนวนครั้งที่ชาร์จ เพราะแบตเตอรี่แบบนี้จะเสื่อมลงเองตามระยะเวลา โดยเริ่มเสื่อมตั้งแต่วันที่ผลิตออกจากโรงงาน
  - แบตเตอรี่แบบ Li-Ion ไม่ควรใช้งานจนกระทั่งแบตเตอรี่หมดไฟ
- แบตเตอรี่แบบ Lithium ion polymer (Li-Poly หรือ LiPo)
- การดูแลรักษาและอายุการใช้งานเหมือนกับ Lithium ion (Li-Ion) (สามารถชาร์จไฟได้บ่อยตามที่ต้องการ และมีอายุการนับตั้งแต่วันที่ผลิตโดยที่รูปแบบการใช้งานและการชาร์จจะไม่ส่งผลให้อายุการใช้งานสั้นลง)

### สรุป

เมื่อทราบความสัมพันธ์ต่างๆของแบตเตอรี่มีถือที่กล่าวมาแล้ว สามารถนำความสัมพันธ์ และหลักการทำงานต่างๆเหล่านี้มาใช้ในการออกแบบวงจรที่เหมาะสมสำหรับการอัดประจุแบตเตอรี่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยเลือกแบตเตอรี่เป็นแบบ Lithium Polymer

## 2.5 SolidWorks



รูปที่ 2.25 แสดงหน้าโปรแกรมของ SolidWorks

### วัตถุประสงค์

- เพื่อออกแบบรูปร่างจำลองเป็นสามมิติของอุปกรณ์
- เป็นต้นแบบในการคำนวณแรง และขนาด
- เป็นแบบจำลองในการใช้งานจริง

SolidWorks พัฒนาขึ้นในปี 1995 โดยบริษัทDassault System ในฝรั่งเศส เป็นซอฟต์แวร์เพื่อให้นักออกแบบใช้ เป็นเครื่องมือในการออกแบบทางวิศวกรรม เพื่อสร้างตัวอย่างผลิตภัณฑ์จำลองใน Computer ก่อนที่จะสร้างผลิตภัณฑ์ต้นแบบจริง โดยตัวซอฟต์แวร์จะจัดอยู่ในตระกูล CAD (Computer Aided Design) ซึ่งสามารถสร้างชิ้นงานจำลองในรูปแบบ 3D Solid Models เป็นแบบ

งานแยกชิ้น (Part) และแบบงานประกอบ (Assembly) เพื่อนำไปสร้างเป็น 2D Standard Engineering (CADD = Computer Aided Design and Drafting)

โปรแกรม SolidWorks เป็นโปรแกรมที่มีความยืดหยุ่นในการทำงานสูงมาก คือ สามารถที่จะทำงานมากมายหลายรูปแบบ ไม่ว่าจะเป็นชิ้นงานที่ต้องขึ้นเป็น solid หรือ surface ก็มีเครื่องที่รองรับเป็นอย่างดี เมื่อสร้างชิ้นงานเสร็จเรียบร้อยแล้วสามารถที่จะประกอบชิ้นงานได้ใน Mode ของชุดคำสั่ง Assembly รวมทั้งผู้ต้องการ Drawing ของชิ้นงาน ก็เพียงลากชิ้นงานมาวางในใบงานแล้วขนาด จะมองเห็นได้ว่าผู้ใช้งานสามารถที่จะประหยัดเวลาในการทำงานและสนุกกับการทำงานอีกด้วย

### 2.5.1 ประสิทธิภาพการทำงาน

ประสิทธิภาพของ SolidWorks เป็นการเจาะลึกให้นักออกแบบสามารถสร้างชิ้นงานจำลองทางด้าน Mechanical Engineering Design ได้อย่างสมบูรณ์แบบ นอกจากนี้ยังสามารถนำไปใช้ในการคำนวณทางวิศวกรรม และการตรวจสอบความผิดพลาดของ 3D Solid Models เพื่อลดต้นทุนในการผลิต และลดระยะเวลาการทำงานในการออกแบบ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานในบริษัทและองค์กร

### 2.5.2 ลักษณะการทำงาน

SolidWorks แบ่งหมวดการทำงานหลักออกเป็น 3 หมวดคือ Part, Assembly และ Drawing โดยรูปแบบการทำงานทั้ง 3 หมวดมีลักษณะการใช้งานดังนี้

\* Part Mode เป็นหมวดการทำงานเริ่มต้นก่อนที่จะก้าวสู่การทำงานในหมวด Assembly และ Drawing ในขั้นนี้จะมีการแบ่งการทำงานออกเป็น 2 ส่วน คือ การใช้ 2D Sketch เพื่อนำไปสู่การสร้างเป็น 3D Feature และมีเงื่อนไขเป็น Feature-Based Modeling และ Parametric โดยมีการอ้างอิงจาก Solid Mode

1. Feature-Based Modeling คือ การออกแบบซอฟต์แวร์ให้สามารถทราบถึงคุณสมบัติต่างๆของ Solid Model ที่สร้างขึ้นมาเพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถเปลี่ยนแปลงและแก้ไข Model ในลำดับการทำงานแต่ละขั้นได้ง่ายและรวดเร็ว
2. Parametric Model คือ การออกแบบซอฟต์แวร์ซึ่งใช้เงื่อนไขทางคณิตศาสตร์ในการแก้ไขขนาดรูปร่าง ทางเรขาคณิตของ Model ที่สร้างขึ้นมา
3. Solid Model คือแบบจำลองบนคอมพิวเตอร์ที่สามารถแสดงค่าต่างๆ เช่น Density, Material, Mass, Weight เป็นต้น และยังสามารถมองเห็น 3D Model ได้ทุกมุมมอง

\* Assembly Mode เป็นหมวดการทำงานเพื่อนำ Part Model เข้าไปประกอบเป็นเครื่องจักรกลหรือกลไกต่างๆ และมีเงื่อนไขเป็น Feature Base และ Parametric เช่นเดียวกับ Part Model โดย Part Model และ Assembly จะมีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน เมื่อทำการแก้ไขในหมวดใด อีก หรือมีการประกอบที่ซ้อนหรือทับกันหมวดจะมีการเปลี่ยนแปลงตามการแก้ไขไปด้วย การทำงานใน

Assembly สามารถช่วยให้นักออกแบบหรือวิศวกรสามารถตรวจสอบความผิดพลาดในการสร้าง Part ได้โดยการใช้คำสั่งต่างๆ เช่น คำสั่ง Interference Detection เพื่อตรวจสอบการขัดกันเมื่อมีการเคลื่อนที่ โดยใช้คำสั่ง Move Component เพื่อตรวจสอบการเคลื่อนที่ของกลไก คำสั่ง Simulation เพื่อจำลองต้นกำลังในการทำงานจริงของเครื่องจักร หรือหากชิ้นงานจำลองที่ออกแบบมีข้อผิดพลาด

ก็สามารถแก้ไข Part ใน Assembly ได้เลย ทำให้การออกแบบเป็นเรื่องง่าย และผู้ออกแบบจะสนุกกับการทำงาน Design

การทำงานใน Assembly Mode มีลักษณะการทำงาน 2 กรณีได้แก่

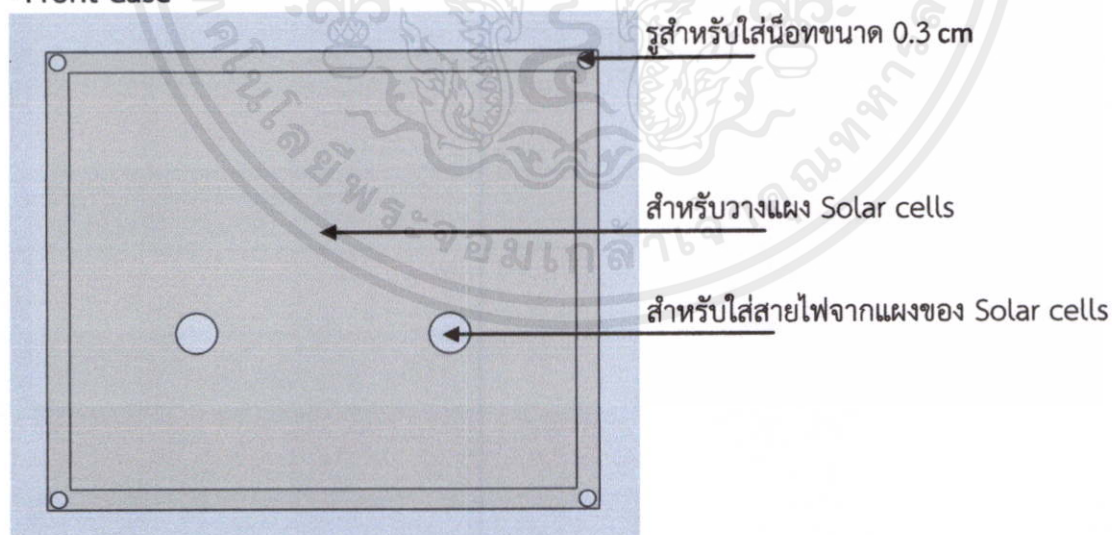
1. Bottom-Up Assembly คือ การนำ 3D Models ต่างๆที่สร้างเสร็จแล้วใน Part Mode ไปวางในหน้าต่าง Assembly เพื่อทำการประกอบ โดยการใช้คำสั่ง Mate หรือ Smart Mate ซึ่งวิธีนี้จะเหมาะสำหรับผู้ใช้ในระดับเริ่มต้นหรือขั้น Basic
2. Top-Down Assembly คือการสร้าง 2D Sketch เป็นโครงร่างระหว่างชิ้นส่วนต่าง ๆ ระหว่าง Part หรือการสร้าง Part ใน Assembly โดยให้มีขนาดและรูปร่างที่มีการอ้างอิงกับ Part อื่น ๆ ทั้งในส่วน Sketch และ Feature วิธีนี้เหมาะกับผู้ใช้ในระดับ Advance

\* Drawing Mode เป็นหมวดการทำงานเพื่อสร้าง 2D Standard Engineering โดยในหมวดนี้เป็นการสร้างมุมมองและกำหนดรายละเอียดตามระบบมาตรฐานต่าง ๆ โดยจะแบ่งการทำงานออกเป็น 2 ส่วนคือ

1. Generative Drafting ซึ่งเป็นการสร้าง 2D Sketch และ Interaction Drafting ซึ่งเป็นการนำ 3D Model จาก Part และ Assembly มาวางใน Drawing เพื่อสร้างเป็น 2D Drafting จะมีลักษณะเป็น Parametric และ Relation เช่นกัน แต่จะไม่สามารถใช้คำสั่งใน Drawing Commands ได้ เพราะคำสั่งต่าง ๆ จะต้องอ้างอิงกับ 3D Model
2. Interaction Drafting คือการนำ 3D Model จาก Part และ Assembly มาวาง Drawing เพื่อสร้างเป็น 2D Drafting การทำงานในหมวดนี้สามารถใช้คำสั่งจาก Annotation Command และ Drawing Command เพื่อสร้างมุมมองและกำหนดรายละเอียดได้โดยอัตโนมัติ

### 2.5.3 แบบจำลองที่ทำจากโปรแกรม SolidWorks

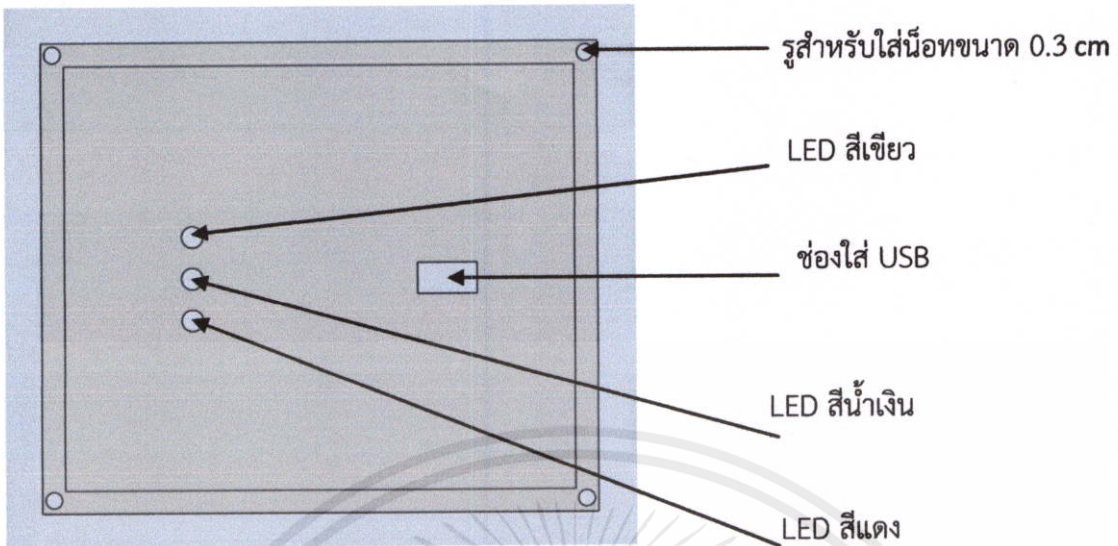
#### - Front Case



รูปที่ 2.26 แสดง Front Case

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## - Back Case



รูปที่ 2.27 แสดง Back Case

### สรุป

เมื่อเราทราบถึงแบบจำลอง และสามารถสร้างแบบจำลองได้ เราจะสามารถทำให้ดำเนินงานได้อย่างแม่นยำ และมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น รวมทั้งสามารถนำโปรแกรมนี้ไปออกแบบอุปกรณ์จริงได้อีกด้วย โปรแกรม Solidworks จึงจัดเป็นส่วนสำคัญอย่างมากในการออกแบบอุปกรณ์

## 2.6 Altium Designer 6.0

### จุดประสงค์

เพื่อใช้ในการออกแบบวงจรต่างๆที่ใช้ในตัวอุปกรณ์ เพื่อให้คำนวณรูปแบบวงจรได้ง่ายขึ้น เพื่อนำไปทำวงจรจริง

การพัฒนาผลิตภัณฑ์ที่มีความฉลาดในปัจจุบันต้องการขั้นตอนการออกแบบที่แตกต่าง ต้องการเครื่องมือจากหลายผู้ผลิต เนื่องจากในปัจจุบันการออกแบบด้วย IC สำเร็จรูปต่อวงจรเข้าหากัน จะถูกทดแทนด้วยการต่อวงจรในคอมพิวเตอร์และทดสอบผ่านอุปกรณ์ประเภทโปรแกรมได้ จะเห็นว่าความเกี่ยวโยงและความใกล้ชิดที่มากขึ้นระหว่างการพัฒนาฮาร์ดแวร์และพัฒนาซอฟต์แวร์ ทำให้เครื่องมือสำหรับพัฒนามีความจำเป็นจะต้องอยู่ด้วยกัน ในสภาพแวดล้อมเดียวกัน Altium Designer มองเห็นความสำคัญและทำให้กระบวนการเหล่านี้เป็นหนึ่งเดียว ท่านสามารถใช้ Altium Designer ออกแบบทุกชิ้นส่วนเพื่อประกอบเป็นผลิตภัณฑ์ที่สมบูรณ์ ภายในซอฟต์แวร์เดียว ท่านสามารถออกแบบ PCB โดยเชื่อมโยงเข้ากับวงจรจาก Schematic และทำให้การเชื่อมโยง I/O ของ FPGA สัมพันธ์กับการเดินสายเส้นบน PCB และมั่นใจในความถูกต้อง สามารถแก้ไขที่จุดใดๆได้ตลอดเวลา โดยไม่ต้องกังวลเรื่องความสอดคล้อง เพราะ Altium Designer จะจัดการความสัมพันธ์ให้ได้อย่างถูกต้อง Altium Designer ทำให้การพัฒนา FPGA มีความสะดวกมากขึ้น FPGA สามารถบรรจุ “ความฉลาด” ของผลิตภัณฑ์เพราะไม่สามารถเลียนแบบโดยใช้ IC ประเภทเดียวกันมาทำงานได้ จะต้องใช้ Soft-wire หรือโปรแกรมภายใน IC ร่วมด้วย การใช้ FPGA ทำให้ปรับสมดุลระหว่างฮาร์ดแวร์กับ

ซอฟต์แวร์ได้สะดวก เพราะสามารถย้ายฟังก์ชันการทำงานไปมาระหว่างกัน โดยยึดถือต้นทุนการพัฒนาผลิตภัณฑ์หรือค่าวัสดุเป็นหลัก เนื่องจากหากสามารถสร้างความซับซ้อนในราคาฮาร์ดแวร์ที่ถูกลง จะประหยัดต้นทุนในการผลิต เพิ่มโอกาสในการแข่งขันมากขึ้น การใช้ FPGA ทำให้ผลิตภัณฑ์มีความยืดหยุ่นสูง เพราะสามารถพัฒนาไปได้พร้อมกับเตรียมการผลิต ความซับซ้อนของ FPGA ในปัจจุบันสามารถโปรแกรมให้ทำหน้าที่เป็น CPU ได้ทั้งตัวตั้งแต่ระดับ 8 บิตไปจนถึง 32 บิต Altium Designer ได้เตรียมเครื่องมือเหล่านี้ไว้ให้พร้อมแล้ว

### 2.6.1 ความสามารถของ Altium Designer

ความสามารถหลักๆครอบคลุมฟังก์ชันการออกแบบทางด้านอิเล็กทรอนิกส์ 6 ด้านดังนี้

- Board level design – การออกแบบ PCB
- Programmable device – การจัดการอุปกรณ์โปรแกรมได้ ทั้ง embedded และ FPGA
- FPGA/PCB integration – การประสานระหว่างการใช้งาน FPGA และการออกแบบ PCB
- Design to manufacture – การออกแบบให้สามารถนำไปเข้าสู่กระบวนการผลิตได้
- Library management – การจัดการไลบรารี
- Document management – การจัดการเอกสารทั้งหมดของชิ้นงาน

### 2.6.2 การออกแบบ PCB

การออกแบบแผ่นวงจรพิมพ์ สำหรับเชื่อมต่ออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ย่อยๆเข้าด้วยกัน ปัจจุบันวงจรมีความซับซ้อนสูงขึ้น อุปกรณ์มีขนาดเล็กลง ขนาดบอร์ดเล็กลง ความหนาแน่นการออกแบบสูงขึ้น รวมทั้งความต้องการเช่น การออกแบบดิจิทัลความเร็วสูง เป็นโจทย์ที่ท้าทายซอฟต์แวร์ Altium Designer 6 สามารถรองรับความต้องการเหล่านี้ได้เป็นอย่างดี ความสามารถปลีกย่อยแบ่งได้ดังนี้

สภาพแวดล้อมการใช้งานแบบรวมศูนย์กลาง

Altium Designer ได้ถูกออกแบบให้เป็นศูนย์รวมการออกแบบ การใส่วงจร (Design Entry) การตรวจสอบวงจร (Design Verification) การจำลองวงจร (Circuit Simulation) การออกแบบ PCB ได้รวมอยู่ภายใต้ศูนย์กลางเดียวกัน ภายใต้โปรเจ็คเดียวกัน ทำให้ข้อมูลไหลลื่น และเป็นไปอย่างอัตโนมัติ ไม่จำเป็นต้องส่งผ่านด้วยตนเองไปยังโปรแกรมเฉพาะที่เกี่ยวข้อง โดยเฉพาะอย่างยิ่งการรวม FPGA เข้ามาในระบบทำให้การประสานงานระหว่างการออกแบบ PCB และการจัดการ I/O ของ FPGA กับ VHDL เป็นไปได้อย่างรวดเร็ว

ออกแบบชิ้นงานให้มีความถูกต้องตั้งแต่เริ่มต้น

ปัจจุบันงานต้องแข่งกับเวลา การออกแบบผลิตภัณฑ์จำเป็นต้องแม่นยำเพื่อลดโอกาสผิดพลาดให้มากที่สุด Altium Designer สนับสนุนการออกแบบ PCB โดยใช้ “กฎการออกแบบ” สำหรับควบคุมกระบวนการโดยกฎเหล่านี้มีความหลากหลาย ครอบคลุมตั้งแต่การเดินเส้น, การจัดเรียงอุปกรณ์ ไปถึงการควบคุมการผลิตและความสมบูรณ์ของสัญญาณ (Signal Integrity)

กฎการออกแบบที่แม่นยำสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากฎการออกแบบจะถูกใช้กับผลิตภัณฑ์ใหม่หรือผลิตภัณฑ์เดิมที่มีอยู่แล้ว ทุกครั้งที่มีการนำกฎ

เนื่องจากปัจจุบันชิ้นงานมีความหลากหลายมากขึ้น ทำให้การเลือกใช้กฎกับวัตถุ จำเป็นต้องคล่องตัวกว่าเดิม Altium Designer ใช้วิธี Query Language ซึ่งเป็นภาษาสำหรับคัดเลือกวัตถุตามเกณฑ์

เพื่อให้กฎการออกแบบบังคับ กรณีตัวอย่างที่เห็นได้ชัดเช่น การใช้เส้นทองแดงขนาดใหญ่กับกระแสสูง หรือการใช้เวียหลายขนาด สำหรับเส้นทองแดงต่างขนาด หรือการควบคุม สัญญาณนาฬิกา ซึ่งต้องเดินเส้นให้สั้นที่สุดและห้ามเดินเส้นข้ามเลย์เออร์เป็นต้น กฎที่แม่นยำและคล่องตัวเช่นนี้ทำให้ผู้ออกแบบสร้างสกริปวิธีควบคุมชิ้นงาน ให้มีความถูกต้องในขั้นตอนการออกแบบ ลดความผิดพลาดที่อาจจะเกิดขึ้นได้ ผู้ออกแบบสามารถตรวจสอบผ่านทางพาแนล ถึงวัตถุในพื้นที่ออกแบบถูกกฎข้อใดบังคับได้ตลอดเวลาหรือตรวจสอบจากวัตถุในพื้นที่โดยคลิกเมาส์ขวาและเลือกดูกฎที่บังคับอยู่ การรักษาความแม่นยำของวงจร

Altium Designer ควบคุมความถูกต้องของการใส่วงจร (Schematic Capture) โดยใช้แนวคิดเรื่องการคอมไพล์โปรเจ็ค ในระหว่างการคอมไพล์นี้หากซอฟต์แวร์ตรวจสอบพบความผิดพลาดเช่น การต่อวงจรผิด, เชื่อมเอาต์พุตเข้ากับเอาต์พุต, ปลั๊กขาอุปกรณ์ลอยโดยไม่ตั้งใจ รวมทั้งการกำหนดฟุทพรีนที่ให้กับ IC ต่างๆ เหล่านี้จะแจ้งเตือนให้ทราบ ผู้ออกแบบสามารถแก้ไขให้ถูกต้อง ก่อนนำข้อมูลไปใช้สำหรับออกแบบ PCB ในขั้นต่อไป การคอมไพล์สามารถทำได้ตลอดเวลาระหว่างใส่วงจร การรักษาความสอดคล้องระหว่างชิ้นงาน

ความสอดคล้องของข้อมูลระหว่างวงจร (Schematic) และลายวงจรพิมพ์ (PCB) มีความสำคัญเป็นอย่างยิ่ง เนื่องจากโดยปกติแล้วข้อมูลวงจร และลายวงจรพิมพ์จะเก็บภายใต้ไฟล์ต่างกัน การแก้ไขข้อมูลที่วงจรจะต้องแก้ไขที่ลายวงจรพิมพ์ให้สอดคล้องกันด้วย Altium Designer มีกระบวนการตรวจสอบ และปรับแก้ข้อมูลทั้งสองด้านให้มีความสอดคล้อง ถูกต้องตลอดเวลา ผ่านทาง Design Synchronization การตรวจสอบและการส่งผ่านทำได้ทั้งสองทิศทาง คือจากวงจรไปลายวงจร หรือจากลายวงจรไปวงจร รายงานความแตกต่างและรายการปรับปรุง (Engineering change order) จะถูกรวบรวมและรายงานออกมาอย่างเป็นระบบ

การเคลื่อนไปมาในข้อมูลการออกแบบ

การแสดงผลชิ้นงานบนพื้นที่ออกแบบมักแสดงในรูปกราฟฟิก เช่น รูปร่าง IC, ลายเส้นทองแดง ฯลฯ เป็นต้น แต่เนื่องจากข้อมูลของชิ้นงานไม่ได้มีแต่ในรูปกราฟฟิกเท่านั้น ยังมีข้อมูลเชิงข้อความประกอบอีกมากมาย เช่น เบอร์ IC, หมายเลขอ้างอิง เรียกกรวมๆเป็นแอททริบิว ทำให้การเรียกดูข้อมูลผ่านทางกราฟฟิกเป็นไปได้ยาก Altium Designer ได้เตรียมพร้อมโดยทำได้หลายทางเช่นผ่านทาง พาแนลบราวซ์ซึ่งแสดงผลเป็นรายวัตถุ เมื่อคลิกที่ชื่อวัตถุในพาแนล วัตถุที่สอดคล้องกันบนกราฟฟิกพื้นที่ออกแบบจะไฮไลท์ตาม หรือเรียกดูข้อมูลอย่างง่ายโดยวางเมาส์เหนือวัตถุในพื้นที่กราฟฟิก Altium Designer จะแสดงข้อมูลที่สอดคล้องบนแถบด้านล่าง เช่น ชื่อเน็ต, ความยาวเส้น เป็นต้น

การออกแบบชนิดเป็นโครงสร้าง

การจัดการวงจรที่ซับซ้อน สามารถแบ่งระดับเป็นโครงสร้าง(Hierarchy) โดย Altium Designer สนับสนุนการออกแบบชนิดลำดับชั้น โดยไม่จำกัดจำนวนหน้ากระดาษของวงจรและไม่จำกัดระดับของโครงสร้าง การออกแบบทำได้ทั้งจากบนลงล่าง และจากล่างขึ้นบน ผู้ออกแบบสามารถใช้เครื่องมือเคลื่อนไปมาแต่ละหน้ากระดาษ แต่ละกล่องโครงสร้าง ลีกลงไปในวงจรภายในได้อย่างสะดวก ในลักษณะเดียวกับโครงสร้าง การออกแบบวงจรที่มีลักษณะเหมือนกัน ซ้ำๆกันหลายๆครั้ง สามารถทำได้ง่าย ผู้ออกแบบเพียงใส่วงจรครั้งเดียว และนำมาใช้หลายครั้งโดยไม่จำเป็นต้องวาดใหม่ การทำงานในลักษณะนี้จะประสานกับ PCB โดย Altium Designer จะรวมกลุ่มอุปกรณ์ในกลุ่มเดียวกันภายใน“ห้อง” (Placement Room) เพื่อจะได้จัดเรียงอุปกรณ์ในตำแหน่งใกล้เคียงกัน

## การจัดเรียงและเดินสายเส้น PCB

Altium Designer ทำงานประสานอย่างใกล้ชิดระหว่างส่วนในเชิงจร (Schematic) และส่วนออกแบบลายวงจรพิมพ์ (PCB) โครงสร้างลำดับชั้น (Hierarchy) และการใช้ซ้ำชุดวงจร จะส่งต่อมายัง PCB ในรูปแบบของคลาส (Class) โดยอัตโนมัติ ทั้งคลาสของอุปกรณ์และคลาสของเน็ตต่างๆ เนื่องจากอุปกรณ์เหล่านี้อยู่ในหน้ากระดาษเดียวกัน ดังนั้นเมื่อนำมาออกแบบ PCB จึงควรจัดเรียงในบริเวณใกล้เคียงกัน รวมทั้งแนวคิดเรื่องห้องของอุปกรณ์ ทำให้ระหว่างออกแบบ PCB ผู้ออกแบบจะจัดเรียงอุปกรณ์ได้อย่างถูกต้อง สะดวกทั้งในด้านการเดินสายเส้นทองแดง และมั่นใจในขั้นตอนการทำงานของวงจร

### การเดินสายเส้นด้วยตนเอง

การออกแบบบอร์ดในปัจจุบันมีความหนาแน่นสูงขึ้น พื้นที่ชิ้นงานจำเป็นต้องนำมาใช้ให้มากที่สุด เพื่อให้สามารถเชื่อมต่อสายทองแดงได้อย่างสมบูรณ์ ซอฟต์แวร์ Altium Designer มีเครื่องมือสำหรับจัดการเดินหลายรูปแบบ รวมทั้งการบังคับกฎการออกแบบที่เข้มงวด ทำให้การเดินเส้นเป็นไปตามที่ต้องการอย่างสมบูรณ์

### รูปแบบการเดินเส้นที่หลากหลาย

ความสามารถเด่นที่ช่วยการเดินสายเส้นทองแดงเช่น การคาดเดาล่วงหน้า(Predictive) โดยซอฟต์แวร์จะแนะนำการวางเส้นตามการเคลื่อนของเมาส์และให้ผู้ออกแบบตัดสินใจเลือกตามที่ซอฟต์แวร์แนะนำ หรือผู้ออกแบบสามารถเปลี่ยนแนวทางตามต้องการได้เช่นกัน แต่ทั้งนี้จะต้องเป็นตามกฎการออกแบบ ทั้งขนาดเส้น (Track Width) และระยะห่างระหว่างเส้น (Clearance Constraint) ความสามารถในการหาช่องว่าง (Push aside) โดยเลื่อนสายเส้นก่อนหน้าทีวางก่อนวางเส้นใหม่ การจัดเส้นที่เดินเสร็จทำได้ง่ายเช่นกันโดย เดินเส้นใหม่ ทับเส้นเดิม Altium Designer จะยกเลิกเส้นที่ซ้ำซ้อนให้อัตโนมัติ

สำหรับการออกแบบ IC แบบใหม่ๆเช่น BGA (Ball Grid Array) จะมีความสามารถในการเดินสายสั้นๆ (Stub) ออกจากแพ็คของขา IC มาสู่ภายนอกโดยอัตโนมัติ เพื่อเดินเส้นเชื่อมกับสายเส้นทองแดงภายนอกได้ง่ายขึ้น

### การเดินสายเส้นทองแดงอัตโนมัติ

Altium แนะนำเทคโนโลยีใหม่สำหรับการเดินสายเส้นอัตโนมัติ Situs Auto Router สามารถค้นหาช่องทางการเดินเส้น โดยรูปแบบไม่จำเป็นต้องเป็นแนวตั้งฉากเสมอไป สามารถเดินเส้นในแนวทแยงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและเดินสายได้สำเร็จมากขึ้น นอกจากนี้ Altium Designer ยังสนับสนุนการส่งไฟล์ไปเข้า Spectra® Auto Router โดยสามารถเปลี่ยนรูปแบบไฟล์ที่เข้ากันได้ทั้งไปและกลับ และสนับสนุนกฎการออกแบบจากภายใน ให้เข้ากันได้กับ pad stack ของ spectra อีกด้วยการออกแบบวงจรความเร็วสูง

วงจรดิจิทัลล็กทรอนิกส์ในปัจจุบันทำงานที่ความเร็วสูงขึ้น ทำให้การเดินสายเส้นทองแดงจำเป็นรัดกุม เพราะมีผลกระทบต่อความสมบูรณ์ของสัญญาณ และผลต่อการทำงานของวงจร Altium Designer สนับสนุนการออกแบบความเร็วสูง ทั้งในลักษณะดิฟเฟอเรนเชียล (differential signal) และความสมบูรณ์สัญญาณ (Signal Integrity) การควบคุมเหล่านี้ผ่านทางกฎการออกแบบ (Design Rules) ทำให้ควบคุมได้สะดวกเช่นเดียวกับการควบคุมกฎข้ออื่นๆ ผ่านทางเมนูลักษณะเดียวกัน

การจัดการสัญญาณชนิดดิฟเฟอเรนเชียล

สัญญาณชนิดดิฟเฟอเรนเชียลเริ่มใช้มากขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่ง IC พวก FPGA ที่มี LVDS I/O ทั้งนี้ข้อดีคือช่วยลด การรบกวนที่เกิดจากสะท้อนกลับ (Reflection noise) ลดปัญหาทางด้านคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (EMI) และลดการใช้พลังงาน การใช้งานเพียงกำหนดคู่ของสัญญาณความแตกต่างในระดับวงจร(Schematic) Altium Designer จะส่งผ่านข้อมูลคู่สัญญาณมายัง PCB เพื่อควบคุมการเดินสายเส้นให้เป็นไปตามความต้องการ

การจัดการความสมบูรณ์ของสัญญาณ (Signal integrity)

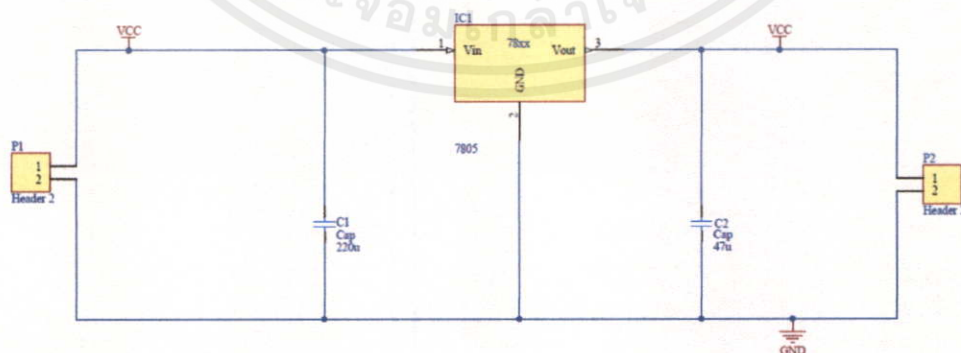
ความสมบูรณ์ของสัญญาณ (Signal Integrity) เกิดจากการเปลี่ยนระดับอย่างรวดเร็วของวงจรดิจิทัล โดยเฉพาะอย่างยิ่ง FPGA ที่จำนวน I/O มาก และทำงานในลักษณะ Synchronous (ทำงานสอดคล้องกับสัญญาณนาฬิกา) ทำให้เกิดปัญหาสัญญาณไม่สมบูรณ์ที่จุดปลายเส้นสัญญาณ การแก้ปัญหาเหล่านี้ ทำได้โดยใส่เทอร์มินเนเตอร์ที่ปลายทางที่เหมาะสมกับอิมพีแดนซ์ในเส้นสัญญาณ Altium Designer สามารถช่วยแก้ปัญหาเหล่านี้ทั้งในระดับก่อนและหลังออกแบบลายเส้นทองแดง และมี Terminator Wizard สำหรับแนะนำให้อัตโนมัติ ภายในซอฟต์แวร์จะจำลองสัญญาณบนบอร์ดทั้งด้าน Impedance, Crosstalk, Reflection เป็นต้น

การจำลองการทำงานวงจรชนิดผสม (Mixed-signal circuit simulation)

การจำลองวงจรชนิดผสมทั้งอนาล็อกและดิจิทัลเป็นขั้นตอนที่สำคัญในการออกแบบอย่างยิ่ง Altium Designer สนับสนุนการจำลองในระดับวงจร(Schematic) โดยสนับสนุนทั้งมาตรฐาน SPICE 3f5/XSpice และ PSpice โดยรวมขั้นตอนเข้าไว้ในขณะเริ่มใส่วงจร โมเดลของอุปกรณ์พื้นฐานจะมีให้พร้อมในไลบรารีของระบบ สามารถจำลองการทำงานได้ทั้งหมดของ PSpice เช่น Time response, Frequency response, Bias point รวมทั้งส่วนเพิ่มเติมเช่น Temperature Sweep, Monte Carlo เป็นต้น

ผลการจำลองจะแสดงผลเป็นกราฟ ในลักษณะรูปคลื่น Altium Designer สนับสนุนฟังก์ชันทางด้านคณิตศาสตร์กับรูปคลื่นต่างๆได้อย่างครบถ้วน

### 2.6.3 วงจรที่ทำจากโปรแกรม Altium Designer 6.0



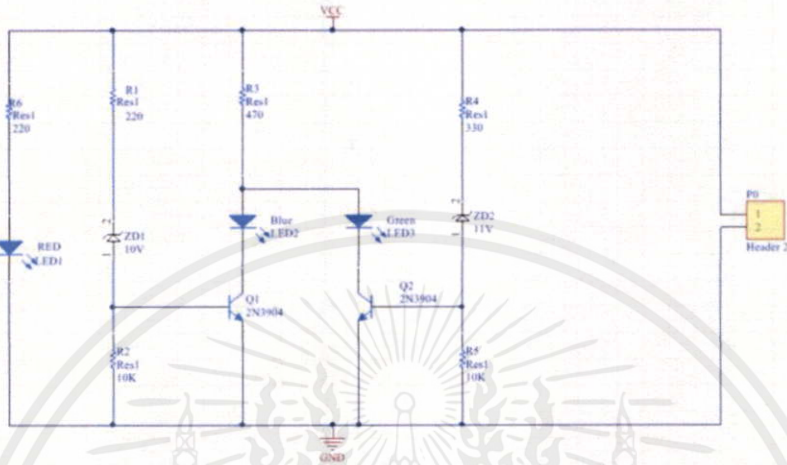
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

รูปที่ 2.28 Schematic of a circuit 12V to 5V,1A

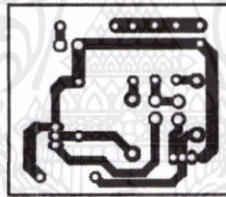
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.29 PCB of a circuit 12V to 5V,1A



รูปที่ 2.30 Schematic of integrated battery indicator 3 level LEDs



รูปที่ 2.31 PCB of integrated battery indicator 3 level LEDs

### สรุป

เมื่อเราทราบความสามารถต่างๆของ Altium Designer 6.0 เราจึงสามารถนำมาใช้ประโยชน์ในการ Design ได้ ทำให้งานที่ออกมามีประสิทธิภาพดี และแม่นยำ รวมถึงเหมาะสมสำหรับอุปกรณ์

## 2.7 MakerBot Replicator 2

### จุดประสงค์

เพื่อศึกษาเกี่ยวกับข้อมูลของเครื่อง MakerBot Replicator 2  
เพื่อใช้ในการสร้าง Case ของอุปกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.32 แสดงเครื่อง MakerBot Replicator 2

MakerBot Replicator 2 เครื่องปริ้นเตอร์ 3D ขนาดตั้งโต๊ะ Design ทันสมัยด้วย Replicator 2 ที่มาพร้อมกับความละเอียดในการผลิตชิ้นงานสูงถึง 100 microns และปริมาณชิ้นงานสูงถึง 410 ลูกบาศก์นิ้ว มีความสามารถผลิตชิ้นงานได้รวดเร็วโดยอาศัยหัวฉีดพลาสติก 2 หัวในการสร้างชิ้นงานต้นแบบ และใช้เทอร์โมพลาสติก ABS หรือพลาสติก PLA เป็นวัตถุดิบหลักในการสร้างชิ้นงานต้นแบบ ทั้งยังสามารถสร้างต้นแบบด้วยพลาสติก 2 ชนิดในชั้นเดียวกัน รวมถึงสามารถต่อสี 2 สีเข้าด้วยกัน

ในระยะเวลา 4 ปีที่ผ่านมา พัฒนาการของการสร้างต้นแบบเป็นไปอย่างรวดเร็วมาก ไม่ว่าจะเป็นทางด้านการใช้งานที่ง่ายขึ้น ขนาดของเครื่องเล็กลงหรือแม้แต่ว่าราคาที่ถูกลงเป็นอย่างมาก จนสามารถจัดหามาใช้ในครัวเรือนได้อย่างไม่ยากเย็นนัก ซึ่งทำให้เครื่องดังกล่าวถูกเรียกใหม่ว่า 3D printer ด้วยขนาดเพียง 320\*466\*382 มม. หรือเทียบเท่ากับลังน้ำอัดลมเพียงหนึ่งลัง และใช้ไฟ 220 โวลต์ จึงทำให้สามารถติดตั้งได้ภายในบ้านและพร้อมใช้งานได้ในเวลาเพียงครึ่งชั่วโมง ซึ่งด้วยขนาดที่เล็กกะทัดรัดเช่นนี้ จึงทำให้สามารถเคลื่อนย้ายเครื่องไปใช้ในที่ต่างๆ ได้ทุกที่ตลอดเวลาตามความต้องการ

ส่วนวัสดุที่ใช้ผลิตในงานต้นแบบนั้นเป็นพลาสติกชนิด PLA ซึ่งเป็นออลแกนิกพลาสติกที่สามารถใช้ทำภาชนะบรรจุอาหารจึงทำให้มีความปลอดภัยพอที่จะทำสิ่งของเครื่องใช้ต่างๆ ในครัวเรือนได้ ในกรณีที่ชิ้นส่วนบางชนิดเกิดแตกหักเสียหายและไม่สามารถหาชิ้นส่วนทดแทนในประเทศได้ ต้องรอการนำเข้าจากประเทศผู้ผลิตเท่านั้น ทำให้เครื่องจักรนั้นๆ หยุดทำงานโดยปริยาย แต่ถ้าผู้ประกอบการมีเครื่อง 3D Printer ก็สามารถสร้างชิ้นส่วนทดแทนได้ทันทีทันใด จึงทำให้ไม่ต้องหยุดการทำงานเป็นเวลานาน

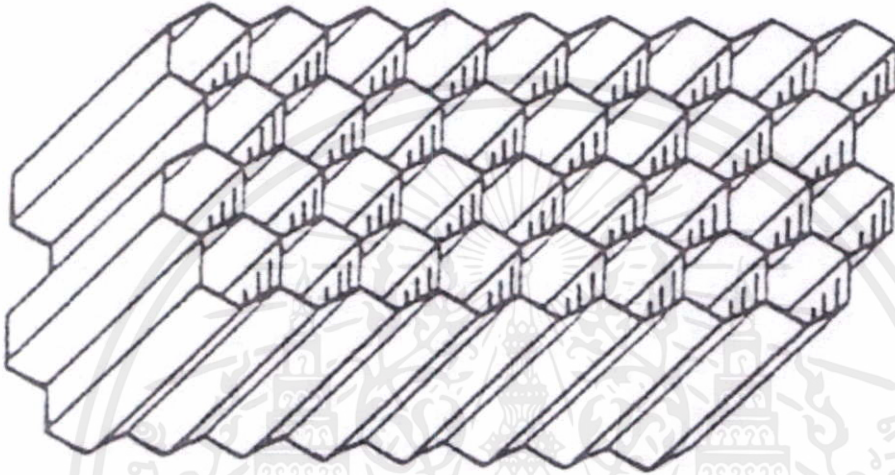
ตัวอย่างที่น่าสนใจคือ กรณีเครื่องมือทางการแพทย์ซึ่งส่วนใหญ่แล้วต้องนำเข้าจากต่างประเทศ หากเครื่องมือนี้ไม่สามารถใช้งานได้เมื่อเกิดเหตุการณ์ฉุกเฉินนั้นอาจหมายถึงการสูญเสียชีวิตได้ ดังนั้นจึงอาจพูดได้ว่าเครื่อง 3D Printer สามารถลดความเสี่ยงของการเสียชีวิตของคนไข้ได้เป็นอย่างดี

จากที่กล่าวมาข้างต้นจะเห็นได้ว่า ต่อไปนี้ไม่ว่าจะเป็นการออกแบบผลิตภัณฑ์ใหม่ๆ การผลิตและการซ่อมบำรุง จะทำได้ง่ายตายมากขึ้น ส่งผลให้อาาคตอันใกล้นี้ชีวิตประจำวันของมนุษย์จะเปลี่ยนแปลงไปอย่างมากมายด้วย 3D Printer เครื่องนี้

### 2.7.1 โครงสร้างรังผึ้ง

จากเครื่อง MakerBot Replicator 2 ทางกลุ่มผู้จัดทำเห็นว่า เครื่องนี้มีการทำเป็นแบบโครงสร้างรังผึ้ง ซึ่งข้อมูลของโครงสร้างรังผึ้งจะเป็นดังนี้ ความเป็นมาของแผ่นรังผึ้ง (honey comb) ที่ใช้ในงานไฟเบอร์กลาส article ในที่นี้เราหมายถึงแผ่นรังผึ้งที่เราใช้ในการขึ้นรูปชิ้นงานไฟเบอร์กลาส เป็นแผ่นขึ้นรูปจากวัสดุแผ่นบางมาติดเข้าด้วยกันในแนวตั้งให้เหมือนกับเซลล์หกเหลี่ยมในรังผึ้งตามธรรมชาติ แต่ลักษณะอาจเปลี่ยนไปได้เป็นเซลล์ทรงกลม, ทรงสี่เหลี่ยมหรือรูปทรงอื่นๆ ก็ได้ จะ

ใช้ในงานที่ต้องการลดน้ำหนักแต่คงความหนาที่ต้องการไว้เป็นหลัก เช่นผนังเรือ หลังคารถ ปีกเครื่องบิน ท่อ ถัง ใบพัดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า โดมเรดาร์ อันที่จริงก็มีวัสดุหลายอย่างที่เราใช้เสริมเข้าไปในการขึ้นรูปชิ้นงานไฟเบอร์ได้ นอกเหนือจากการใช้เรซิน และ ใยแก้ว ล้วนๆ ไม่ว่าจะเป็ไม้อัดไม้บัลซ่า แผ่นโพลีเอสเตอร์อัดเสริมความหนา แผ่นรังผึ้งเองก็ใช้ในลักษณะเดียวกัน แต่สิ่งที่ได้จากแผ่นรังผึ้งคือทั้งความเบาและความแข็งแรงในขณะเดียวกันเมื่อเทียบกับวัสดุอย่างอื่นที่ใช้กันอยู่ แผ่นรังผึ้งในปัจจุบันมีมากมาย ทำขึ้นจากวัสดุที่แตกต่างกันไป เช่นกระดาษ อลูมิเนียม โพลีเอทิลีน โพลีโพรไพลีน ฯลฯ



รูปที่ 2.33 แสดงโครงสร้างรังผึ้ง

ก่อนที่จะมาเป็นแผ่นรังผึ้งรับแรงในปัจจุบันนั้นแรกเริ่มเดิมทีนับย้อนไปประมาณเมื่อ 2000 ปีก่อน ชนชาติจีนได้นำกระดาษมาทำเป็นรังผึ้งขึ้นรูปเป็นเครื่องประดับตกแต่งบ้าน แม้ในทุกวันนี้เราก็กียเห็นรังผึ้งกระดาษที่ประดับตกแต่งตามเพดานหรือตามต้นคริสต์มาสอยู่ งานรังผึ้งที่ใช้ในงานโครงสร้างแรกๆ นั้นเห็นจะเป็นงานสร้างสะพานรถไฟข้ามแม่น้ำไนแคว้นเวลส์เมื่อปี 1845 โดยใช้ไม้ประเภทลังไซ้ทำเป็นตะแกรงเซลล์สี่เหลี่ยมแล้วปิดด้วยฝากระดานข้างบนและข้างล่าง (การใช้วัสดุแกนน้ำหนักเบาประกบกับวัสดุทับหน้า-หลังที่เป็นแผ่นที่บิดันนี้มีศัพท์เรียกในวงการว่าโครงสร้างแบบแซนวิช) ถัดมาในปี 1919ได้มีการนำผิวมะฮอกกานีมาประกบกับไม้บัลซ่า(แทนรังผึ้งได้) ถือเป็นโครงสร้างแบบแซนวิชเช่นกันในการทำซาสกีและท้องสกีของเครื่องบินน้ำที่ใช้ในสมัยนั้น โครงสร้างแซนวิชแบบนี้เป็นที่แพร่หลายมากขึ้นระหว่างสงครามโลกครั้งที่ 1 และ 2 เครื่องบินน้ำของอิตาลีทั้งฝูงบินก็ใช้ไม้อัดประกบกับไม้บัลซ่าบินไปได้ถึงบราซิลในช่วงทศวรรษ 1920 และบินไปร่วมงานการบินโลกที่ชิคาโกในปี 1930 นั้นเป็นการแสดงให้เห็นถึงพิสัยการบินที่ระยะไกลมากๆ ได้โดยใช้โครงสร้างแซนวิช

การผลิตในเชิงอุตสาหกรรมของแผ่นรังผึ้งเริ่มต้นในทศวรรษที่ 30 เมื่อ นาย J.D. Lincoln นำกระดาษมาทำเป็นรูปร่างแล้วปิดด้านบนและด้านล่าง(แซนวิช) ด้วยแผ่นไม้บาง ใช้ในการทำชุดเฟอร์นิเจอร์ ต่อมาได้มีการนำแผ่นรังผึ้งกระดาษมาพัฒนาทำเป็นโดมเรดาร์ในเครื่องบินสื่อสาร หรือเครื่องบินสอดแนมของทางทหาร แต่ข้อเสียของแผ่นรังผึ้งกระดาษก็คือการดูดความชื้น พอในช่วงปลายทศวรรษจึงได้มีการพัฒนาจากการใช้กระดาษมาเป็นวัสดุชนิดอื่นๆ มาขึ้นรูปเป็นแผ่นรังผึ้งแทน เช่นวัสดุจำพวกผ้าฝ้าย , ใยแก้ว รวมไปถึงแผ่นอลูมิเนียม

ในช่วงเดียวกันนั้นเองบริษัท Havilland Airplane ก็ได้ทำการออกแบบและพัฒนาเครื่องบินทิ้งระเบิดที่ใช้โครงสร้างแบบแกนวิชมาทำเป็นโครงของเครื่องบิน ผลที่ได้จากการพัฒนาได้นำไปสู่การยอมรับและนำโครงสร้างแบบแกนวิชไปใช้ในวงการอากาศยานอย่างกว้างขวาง โดยเฉพาะในเกาะอังกฤษที่นักออกแบบอากาศยานได้ทำการค้นคว้าจนนำไปสู่การพัฒนาโครงสร้างแบบแกนวิชที่ดียิ่งขึ้นและมีวัสดุที่ใช้ทำแผ่นรังผึ้งและแผ่นปิดที่แข็งแรงและเบายิ่งขึ้น

มาจนถึงปี 1945 ที่ได้มีการผลิตแผ่นรังผึ้งเป็นอลูมิเนียม 100% ขึ้นมา และยังได้มีการพัฒนาตัวประสาน (กาว) ระหว่างแกนกลางคือแผ่นรังผึ้งและแผ่นปิดโดยได้แก้ไขปัญหาในเรื่องกาวที่มักจะไหลเยิ้มเข้าไปสู่เซลล์รังผึ้งแทนที่จะอยู่แต่บนขอบเซลล์ที่เป็นจุดรอยต่อกับแผ่นปิด อย่างไรก็ตามในช่วงนั้นก็ยังมีปัญหาสารระเหยจากกาวอยู่ค่อนข้างมาก ผนังเซลล์รังผึ้งจะต้องทำเป็นรูพรุนเล็กๆ เพื่อให้สารระเหยนี้ระบายออกไปทางด้านข้างตามความหนาของแผ่น ไม่อย่างนั้นสารระเหยเหล่านี้จะดันออกทางด้านข้างและด้านล่างทำให้แผ่นปิดติดกับแผ่นรังผึ้งได้ไม่ดี แม้ในปัจจุบันแผ่นรังผึ้งแบบพิเศษก็ยังทำให้ผนังเซลล์มีรูพรุนอยู่เพื่อใช้ในทางอากาศที่ไม่ต้องการให้มีการกักของอากาศอยู่ในเซลล์รังผึ้ง นอกจากงานรับแรงแล้วแผ่นรังผึ้งยังถูกใช้ในวงการอื่นๆได้ด้วย เช่น เป็นตัวซึบซับแรงกระแทก (หลักการเดียวกับ crumple zone ในรถยนต์) เป็นตัวปรับทิศทางกระแสน้ำของอากาศ เป็นตัวควบคุมการถ่ายเทอุณหภูมิ เป็นตัวกันเสียงและลดเสียงสะท้อน เป็นตัวกระจายแสง รวมถึงการใช้เป็นตัวกันความถี่วิทยุ ซึ่งเราจะยังไม่กล่าวถึงในที่นี้

### 2.7.1.1 คุณสมบัติของโครงสร้างรังผึ้ง

หลักการเบื้องต้นของการใช้แผ่นรังผึ้งคือต้องการลดน้ำหนักของชิ้นงานโดยคำนึงถึงความแข็งแรงด้วย นอกจากสองข้อหลักนี้ข้อที่สามก็คือหลักการกระจายการรับแรงไปทั่วๆ พื้นผิวเพื่อให้พื้นผิวดังกล่าวมีความเรียบเสมอกันไว้โดยไม่เสียรูปทรง เช่นการยุบตัวเป็นช่วงๆของแผ่นพื้นที่ปูบนคาน ยกตัวอย่างในการออกแบบปีกเครื่องบินที่ต้องคงความเรียบสม่ำเสมอของพื้นที่ปีกเพื่อให้อากาศไหลผ่านได้อย่างราบรื่น โดยปกติแผ่นวัสดุที่ทำปีกเครื่องบินจะเป็นแผ่นอลูมิเนียมที่จะไปยึดอยู่กับโครงปีก (rib) เพื่อขึ้นรูปเป็นปีก ซึ่งมีโอกาสที่จะเกิดรอยยุบตัวตรงช่วงกลางระหว่าง rib ที่ไม่มีอะไรรองรับ โดยเฉพาะเมื่อมีแรงกดหรือแรงดันของอากาศขณะทำการบิน ความไม่เรียบของพื้นที่ปีกนี้เองที่จะทำให้เกิดแรงดูดขึ้นเมื่อเครื่องบินเริ่มมีความเร็ว ซึ่งปัญหานี้สามารถแก้ไขโดยใช้แผ่นรังผึ้งที่วางเต็มพื้นที่ปีกและวางตั้งแต่ส่วนโค้งด้านบนของปีกจรดด้านล่างจะรองรับแรงที่เข้ามากระทำต่อปีกในทุกๆ ตารางนิ้วโดยกระจายแรงกระทำนั้นไปทั่วๆไม่ให้ตกไปอยู่ในจุดใดจุดหนึ่งมากเกินไปและคงความเรียบสม่ำเสมอของพื้นที่ปีกไว้ได้

ข้อดีของการใช้โครงสร้างแบบรังผึ้งอีกอย่างคือการทนต่อการล่าของโครงสร้าง ข้อมูลจากการทดลองการทนความล่าของโครงสร้างแบบรังผึ้งที่เสียงระดับต่างๆกัน เปรียบเทียบกับโครงสร้างแบบใช้ rib โดยทั่วไป แสดงให้เห็นว่าโครงสร้างแบบแกนวิชรังผึ้งสามารถทนระดับเสียง 167 เดซิเบลได้ 460 ชั่วโมงในขณะที่โครงสร้างทั่วไปทนได้เพียง 3 นาที นั่นก็เป็นผลมาจากการที่โครงสร้างทั่วไปใช้รีเวท (ตะปูอลูมิเนียม) ยึดยึดแผ่นพื้นผิวเข้ากับ rib ซึ่งก่อให้เกิดแรงเค้นรวมจุดไปที่รีเวท ในขณะที่โครงสร้างแบบแกนวิชรังผึ้งจะใช้ตัวประสานระหว่างแผ่นผิวกับรังผึ้งทำให้ไม่มีแรงเค้นรวมไปที่จุดใดจุดหนึ่ง

ทั้งนี้ทั้งนั้นการออกแบบใช้งานแผ่นรังผึ้งหลักๆก็ยังเป็นเรื่องของลดน้ำหนักอยู่ที่ ให้อุณหภูมิข้างล่างแสดงให้เห็นการนำเอาแผ่นอลูมิเนียมความหนา .8 มม มาประกบกัน แบบที่ 1 ทางซ้ายมือเอาแผ่นอลูมิเนียมมาประกบกันเฉยๆ แบบที่ 2 เอามาประกบกันโดยมีแผ่นรังผึ้งหนา 1.6 มม แทรกกลาง และแบบที่ 3 เอามาประกบกันโดยใช้แผ่นรังผึ้งความหนา 3.2 มม แทรกกลาง ตารางที่ 1 แสดงให้เห็นว่าโครงสร้างแบบที่ 3 มีความแข็งแรงสูงกว่าแบบที่ 1 ถึง 37 เท่า และทนแรงบิดสูงกว่า 7 เท่า แต่ในขณะที่มีน้ำหนักมากกว่าเพียง 9% เท่านั้นเอง

ในท้องตลาดนั้นการใช้ PU โฟมเป็นวัสดุเสริมความหนาในโครงสร้างแบบแซนวิชเป็นอีกทางเลือกหนึ่ง อย่างไรก็ตามถ้าชิ้นงานต้องการความแข็งแรงไม่ว่าในเรื่องของแรงกด แรงเฉือน หรือทนการบิดงอแล้วแผ่นรังผึ้งก็ยังเป็นทางเลือกที่ดีที่สุดขณะนี้ (ตามข้อมูลในตารางที่ 2) นอกจากว่าจะใช้ PU โฟมเพื่องานฉนวนกันความร้อน หรือเก็บความเย็นก็ไปอีกเรื่อง แต่ก็อีกนั่นแหละว่าเราสามารถแผ่นรังผึ้งแล้วฉีดโฟมเข้าไปให้ทั่วๆเซลล์ให้ผลทางด้านการเป็นฉนวนความร้อน/ ความเย็นได้เหมือนกันโดยที่ให้ความแข็งแรงไปในตัว

ตารางที่ 2.3 แสดงโครงสร้างรังผึ้งของวัสดุต่างๆ

	Density	Strength	Modulus	Strength	Modulus
	(pcf)	(psi)	(ksi)	(psi)	(ksi)
รังผึ้งอลูมิเนียม	3.1	300	75	210	40
รังผึ้งกระดาษเคลือบ	3	225	20	175	6
รังผึ้งโพลีเมอร์	3	410	23	195	19
PU โฟม	3	80	2.5	70	2.5

กล่าวโดยสรุปได้ว่าถ้าต้องการออกแบบชิ้นงาน FRP ที่ต้องรับน้ำหนักและต้องการการคงความเรียบสม่ำเสมอของพื้นผิว หรือการออกแบบชิ้นงานให้มีความหนาในขณะที่ต้องการให้น้ำหนักเบาและคงความแข็งแรงไว้คงไม่มีทางเลือกที่ดีไปกว่าการใช้แผ่นรังผึ้ง ตารางที่ 3 แสดงถึงการใช้วัสดุชนิดต่างๆ และโครงสร้างแบบต่างๆ มาทำแผ่นสำหรับงานโครงสร้างที่ขนาดกว้าง 1 ฟุต ยาว 8 ฟุต โดยกำหนดให้น้ำหนักที่เท่าๆ กันจากการทดสอบหาความแข็งแรงในเชิงเปรียบเทียบเป็นร้อยละเมื่อเทียบกับโครงสร้างแซนวิชรังผึ้ง ผลที่ได้ชัดเจนมาก

### สรุป

เมื่อเราทราบถึงข้อมูลของเครื่อง MarkerBot Replicator 2 ทำให้เราทราบถึงความหนาแน่น ความแข็งแรงในการขึ้นรูป น้ำหนักเบา และพลาสติกที่ใช้ขึ้นรูปนั้นก็ทนความร้อน จึงเป็นสิ่งที่ทางกลุ่มผู้จัดทำต้องการ กลุ่มผู้จัดทำจึงใช้เครื่อง MarkerBot Replicator 2 ในการสร้าง Case ขึ้นมา

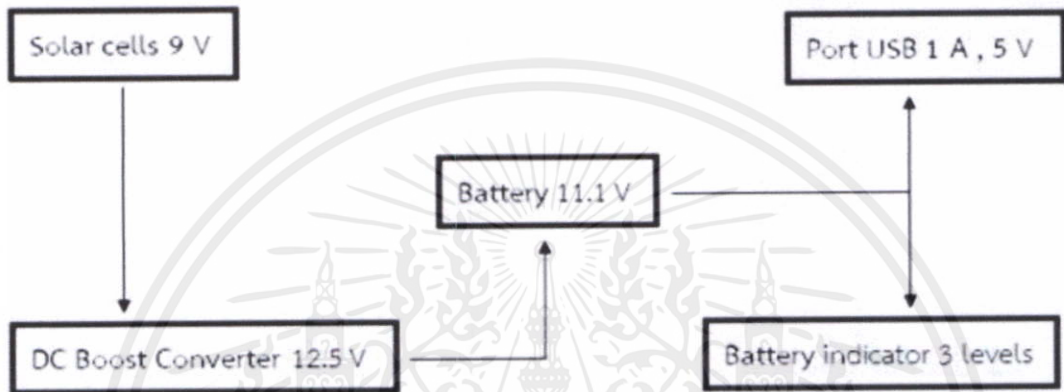
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3

# การคำนวณ และการสร้าง

### 3.1 โครงสร้างของระบบ

โครงสร้าง หรือ Block Diagram ของระบบการชาร์จแบตเตอรี่ด้วยพลังงานด้วยพลังงานแสงอาทิตย์นั้นจะประกอบด้วยส่วนต่างๆ ซึ่งแสดงดังภาพได้ดังนี้



รูปที่ 3.1 แสดง Block Diagram ของระบบชาร์จแบตเตอรี่

#### 3.1.1 Solar Cells

ทำหน้าที่เป็นตัวรับพลังงานแสงอาทิตย์ และเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ให้ออกมาเป็นพลังงานในรูปกระแสไฟฟ้า ซึ่งจากโครงสร้างเป็น Input ของระบบ

#### 3.1.2 DC Boost Converter

ทำหน้าที่เป็นวงจรแปลงแรงดันที่ได้จากแผงโซลาร์เซลล์ เพื่อให้ได้แรงดันที่ต้องการ หรือแรงดันที่เหมาะสมในการชาร์จแบตเตอรี่ ซึ่งในโครงงานนี้ได้ใช้ DC – DC แบบ Boost คือ จะเป็นวงจรแบบเพิ่มแรงดัน เนื่องจากแรงดันที่เหมาะสมในการชาร์จแบตเตอรี่จะอยู่ในช่วง 12.5 V แต่แรงดัน Input ที่ได้รับจากโซลาร์เซลล์น้อยกว่าแรงดันในช่วงนี้

#### 3.1.3 Battery

Battery เป็นอุปกรณ์เก็บพลังงานชนิดหนึ่ง ซึ่งจากโครงสร้างของระบบ ทำหน้าที่เป็นตัวรับแรงดัน Output จาก DC Boost Converter เมื่อรับแรงดัน Output ที่เหมาะสมในการชาร์จแบตเตอรี่ก็จะถูกชาร์จอย่างอัตโนมัติ

#### 3.1.4 Port USB 1 A , 5 V

เป็น Output สุดท้ายของระบบ เพื่อชาร์จโทรศัพท์ โดยผ่าน IC เบอร์ 7805 เพื่อแปลงกระแส และแรงดันให้เป็น 1 A และ 5 V

### 3.1.5 Battery indicator 3 levels

เป็นสิ่งที่แสดงระดับของแบตเตอรี่ผ่าน LED เป็นสีแดง คือระดับต่ำ สีน้ำเงิน คือระดับกลาง สีเขียว คือเต็มแบตเตอรี่

## 3.2 ส่วนของอิเล็กทรอนิกส์

### 3.2.1 คุณสมบัติของแผงโซลาร์เซลล์ที่ใช้

แผงโซลาร์เซลล์ที่ใช้ในโครงการนี้เป็นแบบ Single Crystalline Silicon Solar Cell มีคุณสมบัติดังต่อไปนี้

$$V_{\max} = 9 \text{ V}$$

$$I_{\max} = 100 \text{ mA}$$

$$P_{\max} = 900 \text{ mW}$$

กว้าง 110 มิลลิเมตร

ยาว 95 มิลลิเมตร

หนา 3 มิลลิเมตร

### 3.2.2 คุณสมบัติของแบตเตอรี่ที่ใช้

แบตเตอรี่ที่ใช้เป็นแบบ Lithium polymer

Minimum Capacity: 3000 mAh

Configuration: 11.1V / 5cell

Constant Discharge: 30C

Pack Size: 3.2x12x2.5 cm

Pack Weight: 199 g

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### การทดลอง และผลการทดลอง

#### 4.1 การทดลองเพื่อหาค่าแรงดัน และกระแสของโซลาร์เซลล์

##### 4.1.1 ขั้นตอนการเตรียมการ

1. ออกแบบอุปกรณ์ และวิเคราะห์อุปกรณ์ว่ามีอะไรบ้าง
2. ศึกษาวงจรต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง เช่น
  - วงจรการจ่ายไฟจากโซลาร์เซลล์เข้า Battery
  - วงจรแสดงผลระดับพลังงาน Battery
  - วงจรการจ่ายไฟจาก Battery เข้า port USB
  - ศึกษากระบวนการแปลงค่า Voltage ทางไฟฟ้าให้เสถียร
3. ศึกษาและสำรวจอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ว่ามีขนาดเท่าใดบ้าง โดยได้บทสรุปคือ ส่วนใหญ่มีขนาด 1A / 5V
4. ออกแบบอุปกรณ์โดยใช้โปรแกรม SolidWorks
5. นำอุปกรณ์ที่ออกแบบไปขึ้นรูปโดยใช้เครื่อง MAKERBOT REPLICATOR 2
6. ประกอบวงจรต่างๆ ที่ได้ศึกษามาเข้าไปใน Case ของอุปกรณ์
7. ศึกษาระยะเวลาการเก็บประจุ
8. พยายามปรับปรุงรูปแบบการเก็บประจุให้มีประสิทธิภาพมากที่สุด
9. ศึกษาว่าจะทำอย่างไร ให้มีขนาดเล็ก กะทัดรัด และสวยงามมากที่สุด

##### 4.1.2 ขั้นตอนการทดลอง

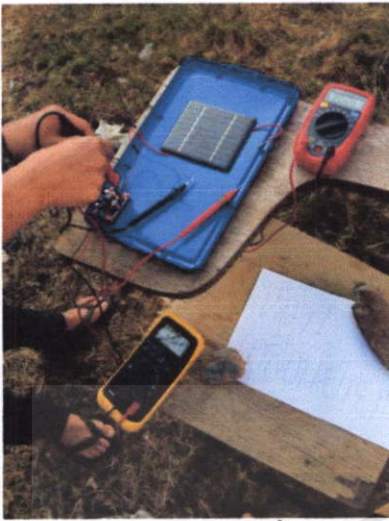
อุปกรณ์

1. มัลติมิเตอร์ ยี่ห้อ Yugo รุ่น My- 68
2. มัลติมิเตอร์ ยี่ห้อ UNI-T รุ่น UT33A
3. แผงโซลาร์เซลล์ขนาด 9V 100 mA
4. วงจร Boost converter

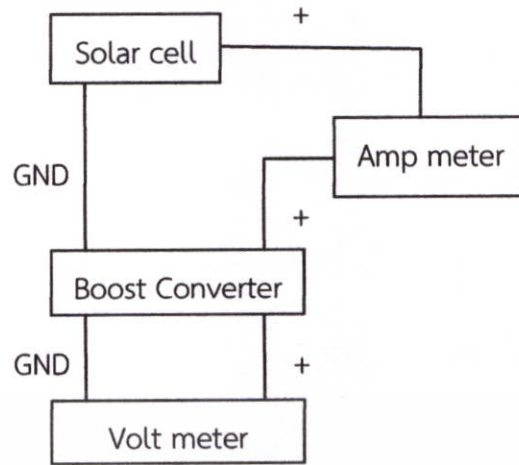
1. ต่อโซลาร์เซลล์ กับมัลติมิเตอร์ UNI-T แบบอนุกรม เพื่อวัดกระแส โดยใช้โหลดเป็นตัววงจร Boost converter

2. วัดค่าของแรงดัน โดยใช้ มัลติมิเตอร์ ยี่ห้อ Yugo วัดที่ขั้วทาง Input ของวงจร Boost converter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



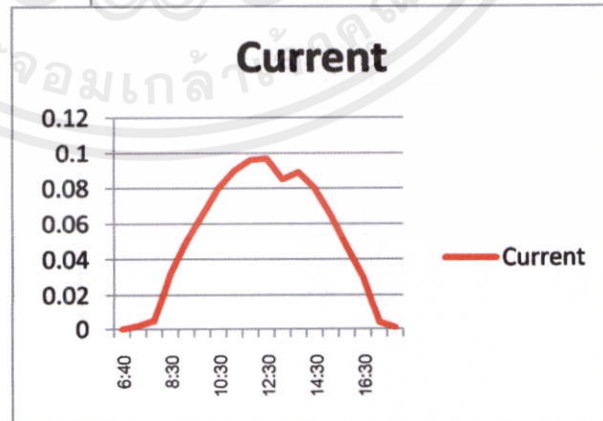
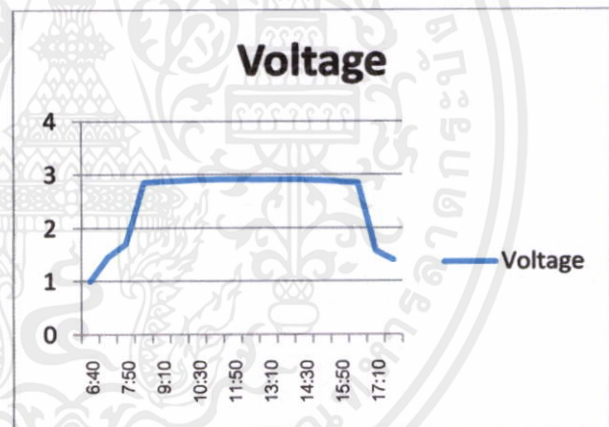
รูปที่ 4.1 แสดงการทดลอง และวงจรในการต่อการทดลอง



#### 4.1.3 ผลการทดลอง

ตารางที่ 4.1 แสดงข้อมูลของแรงดันและกระแสโซลาร์เซลล์ของวันที่ 31 มกราคม พ. ศ. 2557

Time	Voltage	Current
6:40	0.995	0
7:10	1.464	0.002
7:50	1.702	0.005
8:30	2.852	0.032
9:10	2.875	0.05
9:50	2.888	0.065
10:30	2.903	0.08
11:10	2.907	0.09
11:50	2.915	0.096
12:30	2.911	0.097
13:10	2.902	0.085
13:50	2.907	0.089
14:30	2.903	0.08
15:10	2.889	0.065
15:50	2.868	0.047
16:30	2.85	0.03
17:10	1.575	0.004
17:50	1.404	0.001

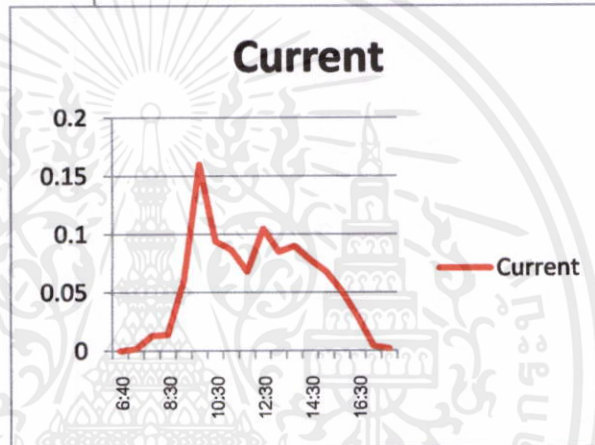
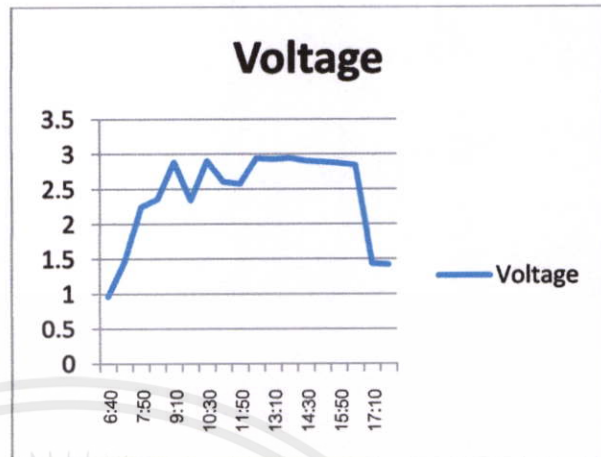


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่าในรูปแบบใดก็ตาม หากมีข้อสงสัยหรือต้องการข้อมูลเพิ่มเติม กรุณาติดต่อเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.2 แสดงข้อมูลของแรงดันและกระแสโซลาร์เซลล์ของวันที่ 31 มกราคม พ.ศ. 2557

ตารางที่ 4.2 แสดงข้อมูลของแรงดันและกระแสโซลาร์เซลล์ของวันที่ 9 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2557

Time	Voltage	Current
6:40	0.964	0
7:10	1.462	0.002
7:50	2.243	0.013
8:30	2.361	0.014
9:10	2.889	0.06
9:50	2.339	0.16
10:30	2.906	0.094
11:10	2.606	0.087
11:50	2.58	0.068
12:30	2.944	0.105
13:10	2.929	0.085
13:50	2.949	0.09
14:30	2.907	0.078
15:10	2.891	0.068
15:50	2.874	0.051
16:30	2.844	0.029
17:10	1.434	0.004
17:50	1.423	0.002

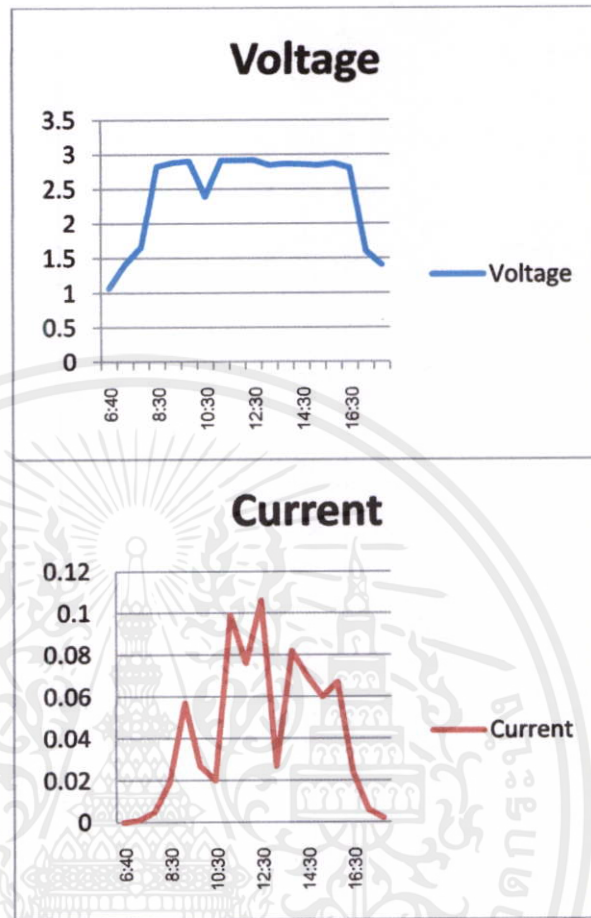


รูปที่ 4.3 แสดงข้อมูลของแรงดันและกระแสโซลาร์เซลล์ของวันที่ 9 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2557

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 แสดงข้อมูลของแรงดันและกระแสไฮลาร์เซลล์ของวันที่ 10 มกราคม พ.ศ. 2557

Time	Voltage	Current
6:40	1.069	0
7:10	1.409	0.001
7:50	1.657	0.005
8:30	2.822	0.019
9:10	2.879	0.057
9:50	2.903	0.027
10:30	2.391	0.02
11:10	2.917	0.099
11:50	2.912	0.076
12:30	2.922	0.106
13:10	2.84	0.027
13:50	2.863	0.082
14:30	2.856	0.07
15:10	2.841	0.06
15:50	2.868	0.067
16:30	2.802	0.024
17:10	1.601	0.006
17:50	1.403	0.002



รูปที่ 4.4 แสดงข้อมูลของแรงดันและกระแสไฮลาร์เซลล์ของวันที่ 10 มกราคม 2557

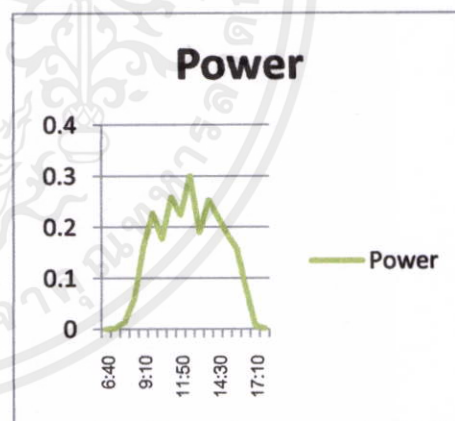
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 ข้อมูลของแรงดันและกระแสเฉลี่ย ของโซลาร์เซลล์ทั้ง 3 วัน

Time	Voltage	Current	Power(watt)
6:40	1.009333	0	0
7:10	1.445	0.001667	0.0024
7:50	1.867333	0.007667	0.0143
8:30	2.678333	0.021667	0.0580
9:10	2.881	0.055667	0.1603
9:50	2.71	0.084	0.2276
10:30	2.733333	0.064667	0.1767
11:10	2.81	0.092	0.2585
11:50	2.802333	0.08	0.2241
12:30	2.925667	0.102667	0.3003
13:10	2.890333	0.065667	0.1897
13:50	2.906333	0.087	0.2528
14:30	2.888667	0.076	0.2195
15:10	2.873667	0.064333	0.1848
15:50	2.87	0.055	0.1578
16:30	2.832	0.027667	0.0783
17:10	1.536667	0.004667	0.0071
17:50	1.41	0.001667	0.0023

สรุปเฉลี่ยค่าทั้งหมด 3 วัน

Average Voltage (V)	2.448333
Average current (I)	0.049556
Average power (W)	0.139694



รูปที่ 4.5 แสดงข้อมูลของแรงดันและกระแสเฉลี่ย ของโซลาร์เซลล์ทั้ง 3 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

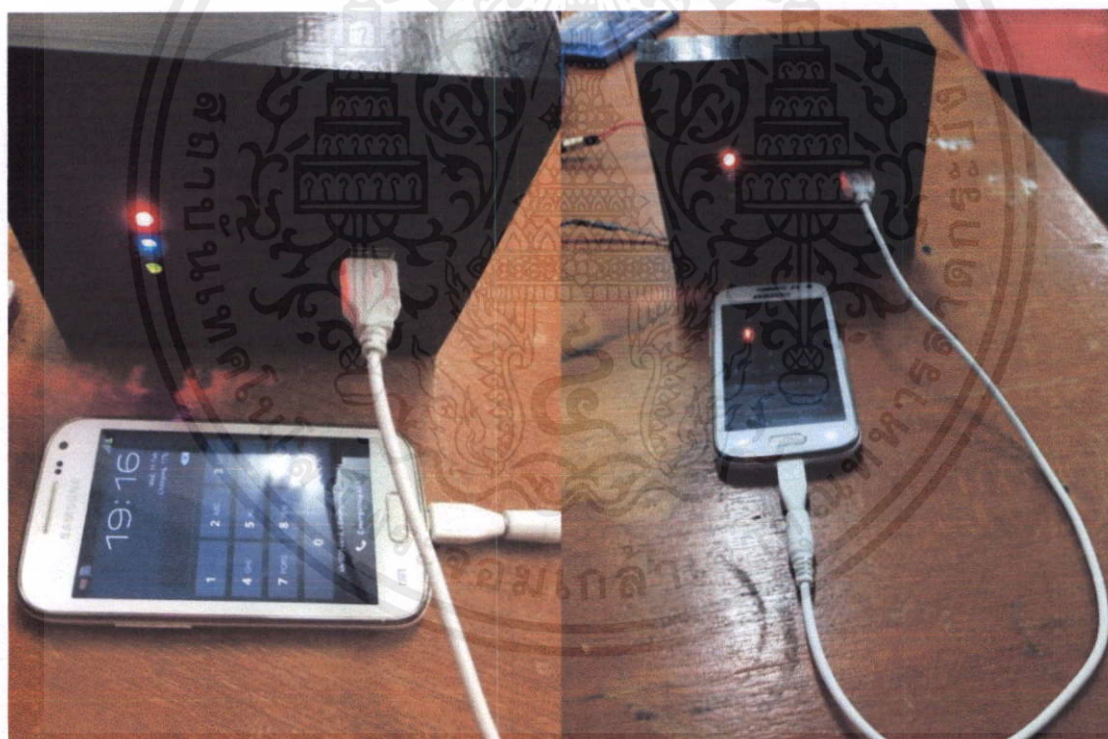
#### 4.1.4 สรุปผลจากการเก็บข้อมูล

จากการเก็บข้อมูลของแรงดันและกระแสโซลาร์เซลล์ทั้ง 3 วัน พบว่า ช่วงที่มีกำลัง (Power) มากที่สุดคือช่วง 12:30 น. ช่วงที่โซลาร์เซลล์มีประสิทธิภาพใช้ได้ดีคือช่วงตั้งแต่ 9:00 – 15:00 น. และหลังจาก 15:00 น. เป็นต้นไปโซลาร์เซลล์จะใช้ได้ไม่เต็มประสิทธิภาพ เนื่องจากเป็นช่วงที่ดวงอาทิตย์กำลังตก แสงแดดเริ่มหมด

จากการที่เก็บข้อมูล แรงดัน กระแส และกำลังงาน พบว่า กำลังเฉลี่ยของโซลาร์เซลล์ทั้ง 3 วัน เท่ากับ 0.139694 วัตต์ ค่า Discharge ของโทรศัพท์ เท่ากับ 5 วัตต์ จึงมากกว่าอัตราการชาร์จประมาณ  $5/0.139 = 35.97$  เท่า

ส่วนค่ากระแสเฉลี่ยทั้ง 3 วัน เท่ากับ 0.049 แอมป์ หรือประมาณ 49 มิลลิแอมป์ แบตเตอรี่ของโทรศัพท์อยู่ที่ประมาณ 1420 mah (สำหรับ Iphone) เพราะฉะนั้น เวลาในการชาร์จ ที่จะชาร์จให้แบตเตอรี่ของโทรศัพท์เต็มอยู่ที่ประมาณ  $1420/49 = 28.97$  ชั่วโมง ( เป็นเวลาทางทฤษฎี ถ้านำโซลาร์เซลล์ต่อตรงกับโทรศัพท์ )

และยังได้มีการจับเวลาเมื่อชาร์จจากแบตเตอรี่ ซึ่งจะได้แบตเตอรี่เต็มเมื่อผ่านไป 2 ชั่วโมง 30 นาที จากแบตเตอรี่ 17%



เมื่อแบตเตอรี่ 17%

เมื่อแบตเตอรี่ 100%

รูปที่ 4.6 แสดงการชาร์จโทรศัพท์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4.2 การทดลองเพื่อหาค่าแรงดัน และปัจจัยต่างๆในการใช้งานจริง

### 4.2.1 ขั้นตอนการเตรียมการ

1. คิดปัจจัยต่างๆที่อาจมีผลกับอุปกรณ์
2. หาสถานที่ในรูปแบบที่หลากหลาย
3. ศึกษาระยะเวลาการเก็บประจุ
4. พยายามปรับปรุงรูปแบบการเก็บประจุให้มีประสิทธิภาพมากที่สุด

### 4.2.2 ขั้นตอนการทดลอง

อุปกรณ์

1. มัลติมิเตอร์ ยี่ห้อ UNI-T รุ่น UT33A
2. อุปกรณ์ Window Charger from Solar Cell

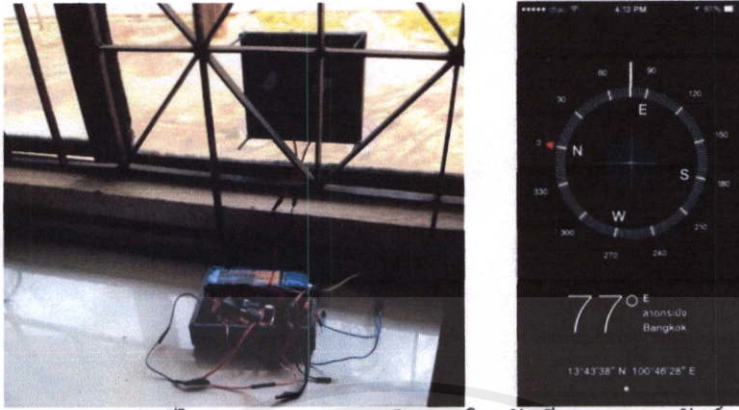
ขั้นตอนการทดลอง

1. ติดอุปกรณ์กับกระจกในสถานที่ต่างๆ
2. วัดค่าของแรงดัน โดยใช้ มัลติมิเตอร์ ยี่ห้อ UNI-T วัดที่ขั้วทาง Input , Output ของ

วงจร Boost converter และ แรงดันของ Solar Cell

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.2.3 ผลการทดลอง

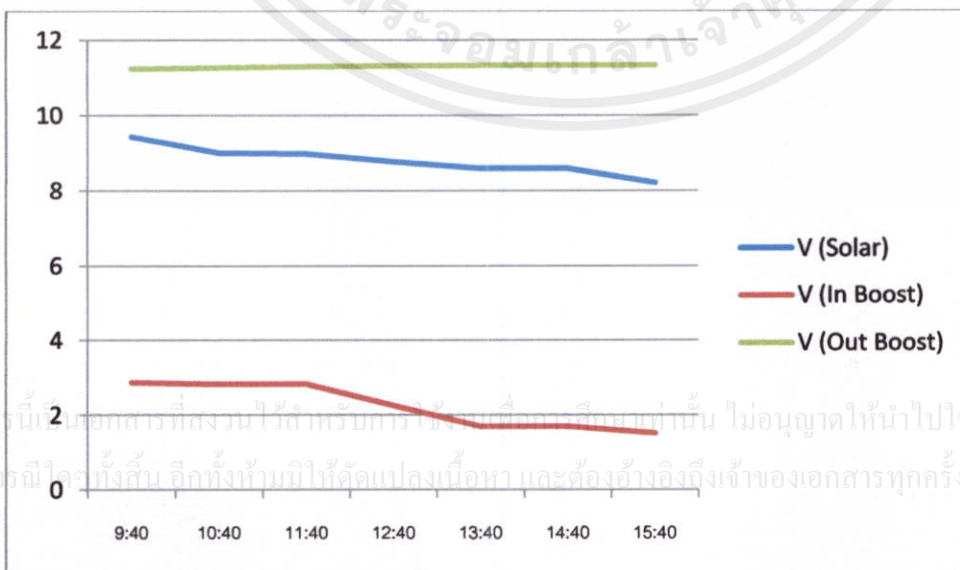


รูปที่ 4.7 แสดงสถานที่ในการทดลอง และทิศทางใน วันที่ 28 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2557

วัดแบตเตอรี่ก่อนเริ่ม 11.24 V

ตารางที่ 4.5 แสดงโวลต์ที่ได้จากSolar cell และBoost converterในวันที่28กุมภาพันธ์ พ.ศ.2557

Time	V (Solar)	V (In Boost)	V (Out Boost)
9:40	9.43	2.868	11.24
10:40	9	2.833	11.27
11:40	8.98	2.831	11.3
12:40	8.77	2.256	11.32
13:40	8.59	1.7	11.33
14:40	8.59	1.7	11.33
15:40	8.22	1.51	11.33



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

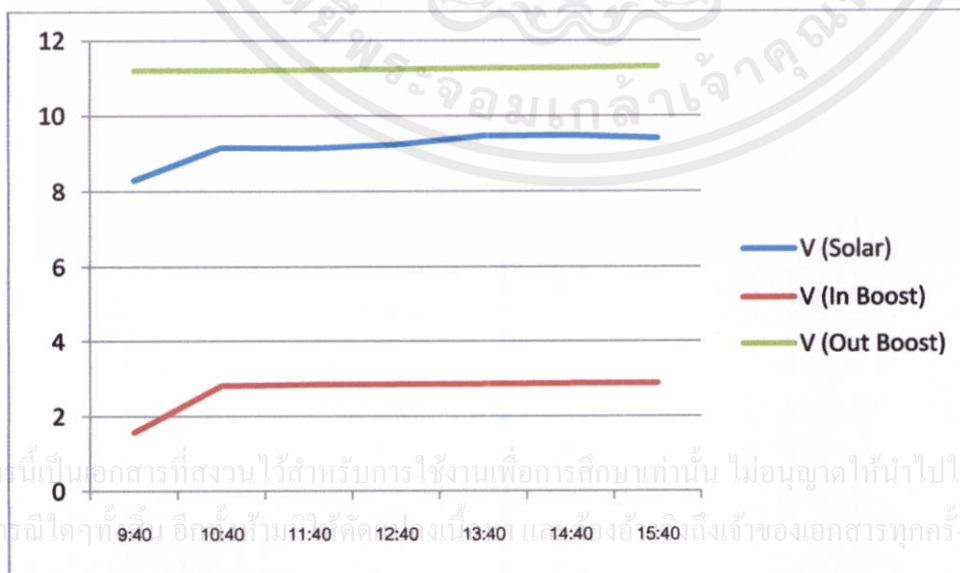


รูปที่ 4.8 แสดงทิศทางในการทดลอง วันที่ 4 มีนาคม พ.ศ. 2557

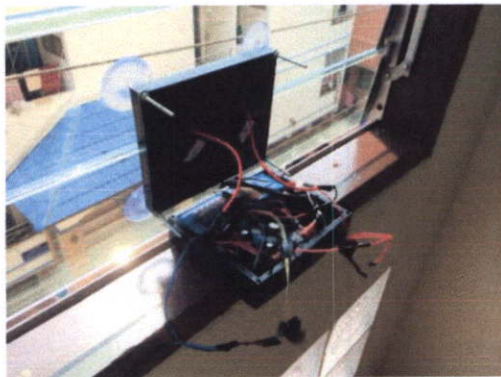
วัดแบตเตอรี่ก่อนเริ่ม 11.2 V

ตารางที่ 4.6 แสดงโวลต์ที่ได้จากSolar cell และBoost converter ในวันที่ 4 มีนาคม พ.ศ. 2557

Time	V (Solar)	V (In Boost)	V (Out Boost)
9:40	8.29	1.573	11.2
10:40	9.16	2.815	11.2
11:40	9.14	2.848	11.22
12:40	9.24	2.855	11.24
13:40	9.47	2.867	11.26
14:40	9.48	2.882	11.28
15:40	9.41	2.892	11.31



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีเมล: info@itd.ac.th โทร: 02-511-1111 ถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

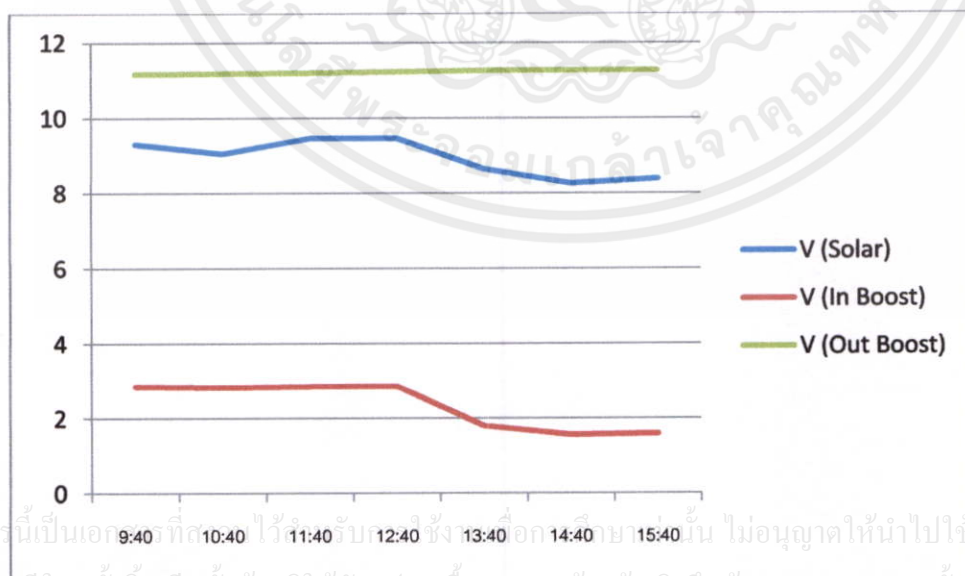


รูปที่ 4.9 ภาพแสดงสถานที่ในการทดลอง และทิศทางใน วันที่ 7 มีนาคม พ.ศ. 2557

วัดแบตเตอรี่ก่อนเริ่ม 11.17 V

ตารางที่ 4.7 แสดงโวลต์ที่ได้จากSolar cell และBoost converter ในวันที่ 7 มีนาคม พ.ศ. 2557

Time	V (Solar)	V (In Boost)	V (Out Boost)
9:40	9.31	2.862	11.17
10:40	9.05	2.841	11.19
11:40	9.47	2.867	11.2
12:40	9.47	2.866	11.23
13:40	8.65	1.798	11.26
14:40	8.26	1.553	11.26
15:40	8.39	1.589	11.26



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

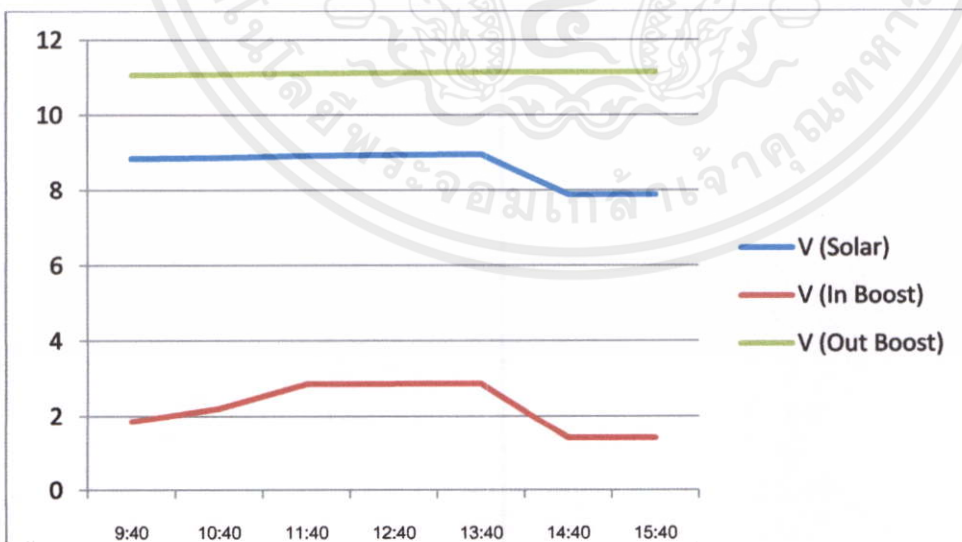


รูปที่ 4.10 ภาพแสดงสถานที่ในการทดลอง และทิศทางใน วันที่ 8 มีนาคม พ.ศ. 2557

วัดแบตเตอรี่ก่อนเริ่ม 11.06 V

ตารางที่ 4.8 แสดงโวลต์ที่ได้จากSolar cell และBoost converter ในวันที่ 8 มีนาคม พ.ศ. 2557

Time	V (Solar)	V (In Boost)	V (Out Boost)
9:40	8.84	1.86	11.06
10:40	8.87	2.204	11.08
11:40	8.92	2.853	11.1
12:40	8.94	2.864	11.12
13:40	8.96	2.867	11.14
14:40	7.89	1.403	11.14
15:40	7.88	1.402	11.14



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.2.4 สรุปผลจากการเก็บข้อมูล

จากการทดลองจึงสรุปได้ว่า ในการชาร์จนั้นมีปัจจัยขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย ไม่ว่าจะเป็นทางด้านสิ่งแวดล้อมหรือปัจจัยอื่นๆ ในการทดลองครั้งแรกวันที่ 28 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2557 ติดทางทิศตะวันออกนั้น จะเห็นได้ว่า V ของแบตเตอรี่ แทบไม่มีการเปลี่ยนแปลง เมื่อวิเคราะห์แล้ว จึงได้ข้อสรุปว่า ในการทดลองครั้งแรก สถานที่ที่ทำการทดลองมีต้นไม้มาบังแสง และยังมีกั้นสาดคอยบังแสงอีกที รวมทั้งกระจกที่นำอุปกรณ์ไปติดก็มีฝุ่นที่คอยมาบังแสงไว้ จึงอาจทำให้แสงมากระทบกับโซลาร์เซลล์ได้ไม่เต็มที่ ในการทดลองครั้งที่สอง วันที่ 4 มีนาคม พ.ศ. 2557 ติดทางทิศตะวันตก จะเห็นได้ว่าในช่วงเช้า V จะไม่ค่อยเปลี่ยนแปลง แต่ในช่วงเที่ยงถึงบ่าย V จะมีค่าเพิ่มมากขึ้น ในการทดลองครั้งที่สาม วันที่ 7 มีนาคม พ.ศ. 2557 ติดทางทิศตะวันออก จะเห็นได้ว่า ในช่วงสายๆ V จะมีค่าเพิ่มมากขึ้น และจะค่อยๆคงที่ในช่วงบ่าย ส่วนในวันที่ 8 มีนาคม พ.ศ. 2557 ติดในระจกรถยนต์ที่จอดกลางแจ้งด้านหน้า จะสังเกตได้ว่า V จะมีการเพิ่มตั้งแต่ช่วงสายๆ ถึงบ่ายๆ

#### 4.2.5 การปรับปรุงแก้ไข

ดังนั้น ในการแก้ปัญหาข้างต้นจึงสรุปได้ว่า ควรจะติดกับกระจกที่โดนแสงได้ตลอดทั้งวัน หากกระจกที่ติดไม่สามารถโดนแสงได้ตลอดทั้งวัน ก็ควรติดอุปกรณ์กับกระจกทางทิศตะวันออกในช่วงสายๆ และติดอุปกรณ์กับกระจกทางทิศตะวันตกในช่วงบ่าย และกระจกที่ใช้ติดก็ควรจะสะอาด ไม่มีฝุ่น หรือมีสิ่งกีดขวางมาบังแสงไว้ จึงจะสามารถทำให้อุปกรณ์ใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

ข้อมูลที่ได้จากการศึกษา ทดลองและเก็บผล จะใช้เป็นแนวทางในการศึกษาและปรับปรุงแก้ไขเพื่อทำการพัฒนา ในการทำให้มีประสิทธิภาพดีขึ้น

#### 5.1 วัตถุประสงค์

เพื่อเป็นแนวทางในการศึกษาและปรับปรุง

#### 5.2 สรุปผลการวิจัย

ในปริญญานิพนธ์นี้ได้ออกแบบและสร้างระบบประจุแบตเตอรี่มือถือจากพลังงานธรรมชาติแบบพกพา เพื่อที่สามารถใช้ประจุแบตเตอรี่มือถือในสถานที่ที่ไม่มีไฟฟ้าได้ จากการทดลองการประจุแบตเตอรี่มือถือ Smart Phone ทำให้ทราบถึงแรงดัน,กระแส ที่ใช้ในการอัดประจุ และความจุของแบตเตอรี่ ซึ่งนำไปใช้เป็นข้อมูลในเบื้องต้นในการสร้างระบบประจุแบตเตอรี่มือถือจากพลังงานธรรมชาติแบบพกพา

##### 5.2.1 การเลือกพลังงานธรรมชาติชนิดต่างๆมาใช้

การที่จะเลือกนำพลังงานธรรมชาติที่เหมาะสมนั้นมาต้องพิจารณาคุณสมบัติต่างๆของพลังงานธรรมชาติแต่ละชนิดว่าชนิดใดที่สมควรนำมาใช้ทำเครื่องชาร์จแบตเตอรี่มือถือแบบพกพาตามที่แสดงไว้ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 5.1 คุณสมบัติและข้อดีของพลังงานธรรมชาติชนิดต่างๆ

คุณสมบัติและข้อดีของพลังงาน	ลักษณะของพลังงาน		
	แสงอาทิตย์	น้ำ	ลม
1)ขนาดของพลังงาน (kcal/วินาที)	****	*	**
2)การใช้พลังงานในสถานที่ต่างๆ	****	*	***
3)อายุการใช้งาน	****	**	***
4)การบำรุงรักษา	****	*	***
5)ประสิทธิภาพ	****	***	***

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ \*\*\*\* คือ มาก

\*\*\* คือ ปานกลาง

\*\* คือ น้อย

\* คือ น้อยมาก

จากตารางนั้นสามารถสรุปได้ว่าพลังงานแสงอาทิตย์นั้นเป็นพลังงานที่เหมาะสมที่สุดที่จะนำมาใช้ทำเครื่องชาร์จประจุแบตเตอรี่มือถือแบบพกพา

### 5.2.2 การเลือกชนิดและขนาดของเซลล์แสงอาทิตย์

การเลือกชนิดของเซลล์แสงอาทิตย์ที่จะนำมาใช้ในการทำเครื่องชาร์จประจุแบตเตอรี่มือถือแบบพกพานั้นได้พิจารณาจากคุณลักษณะของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดต่างๆ ว่าชนิดใดที่เหมาะสมที่สุดโดยเลือกได้จากค่าต่างๆดังนี้

ตารางที่ 5.2 คุณลักษณะของเซลล์แสงอาทิตย์

ตระกูล	ประสิทธิภาพ(%)	พลังงานในการผลิต	ราคา	ความเชื่อถือ
ซิลิคอนผลึกเดี่ยว	15-24	ไม่ดี	ไม่ดี	ดีมาก
โพลีซิลิคอน	10-17	ดี	ดี	ดี
อะมอร์ฟัสซิลิคอน	8-13	ดีมาก	ดีมาก	ดี
GaAs	8-13	ไม่ดี	ไม่ดี	ดีมาก
CdS/CdTe	10-15	ดี	ดี	ดี
CdS/CuInSe <sub>2</sub>	10-15	ไม่มีข้อมูล	ไม่มีข้อมูล	ดี

จากตารางที่ 5.1 และ 5.2 สามารถสรุปได้ว่า ควรเลือกเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด Single Crystalline Silicon Solar Cell 9 V 100 mA ขนาด กว้าง 110 มิลลิเมตร ยาว 95 มิลลิเมตร หนา 3 มิลลิเมตร มาเป็นแหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าในการประจุแบตเตอรี่มือถือแบบพกพา เนื่องจากมีคุณสมบัติที่ดีกว่าหลายด้าน เช่น ทางด้านของกำลังไฟฟ้าที่ได้ ทางด้านราคาเมื่อเปรียบเทียบกับประสิทธิภาพที่ได้ของพื้นที่ของเซลล์แสงอาทิตย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.3 ข้อมูลวงจรแบบต่างๆ

เบอร์ ของ IC	$V_{in}$ (V)	$I_{in}$ (mA)	$P_{in}$ (W)	$V_{out}$ (V)	$I_{out}$ (mA)	$P_{out}$ (W)	%Voltage Regulation	%Eff
MC 34063	11.83	252	2.98	4.60	470	2.16	37.40	72.5
LM 2575	11.70	580	6.78	5.00	498	2.49	1.10	36.7
LM 7805	7.90	999	7.89	5.65	995	5.62	19.05	44.0

จากค่าต่างๆที่ได้ตั้งตารางที่ 5.3 นั้น สามารถสรุปได้ว่าควรทำการเลือกใช้ IC เบอร์ LM 7805มาใช้ในการควบคุมการรักษาระดับแรงดันของการอัดประจุแบตเตอรี่โทรศัพท์มือถือเนื่องจากมีความเหมาะสมกับอุปกรณ์มากที่สุด

### 5.3 ปัญหาและอุปสรรคในการทำงาน

1. ในการทดลองสามารถทดลองได้เฉพาะช่วงเวลาที่มีแสงแดด จะไม่สามารถทดลองในวันที่ฝนตก มีเมฆมาก หรือในเวลากลางคืนได้
2. แผงโซลาร์เซลล์ที่ใช้ทดลองมีการเสื่อมสภาพคือ ได้กระแสที่ออกมาไม่ตรงตาม spec ที่คำนวณไว้
3. ในการติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์ ติดตั้งอยู่บนชั้น 2 ของระเบียงซึ่งมีพื้นที่น้อย ทำให้การติดตั้งเป็นไปด้วยความลำบากและมีความเสี่ยง

### 5.4 ข้อเสนอแนะ

ระบบประจุแบตเตอรี่โทรศัพท์มือถือ โดยการนำเซลล์แสงอาทิตย์มาใช้งานนั้น ยังคงมีข้อจำกัดของการใช้ดังนี้ คือ

1. ข้อจำกัดของพลังงานที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์นั้นต้องขึ้นอยู่กับสภาพของภูมิอากาศของแต่ละเวลาและสถานที่ของการทำงาน
2. ข้อจำกัดของเงินทุนเนื่องจาก เซลล์แสงอาทิตย์มีราคาค่อนข้างสูงในระยะแรกของการติดตั้งเมื่อเทียบกับการนำแหล่งจ่ายพลังงานชนิดอื่นมาใช้งาน
3. หากต้องการกำลังไฟฟ้าที่สูง จำเป็นที่จะต้องใช้เซลล์แสงอาทิตย์จำนวนมาก ทำให้ต้องใช้พื้นที่มากตามไปด้วย

จากข้อจำกัดความอาจจะทำให้การประจุแบตเตอรี่โทรศัพท์มือถืออาจมีประสิทธิภาพที่ต่ำกว่าการใช้ที่ประจุแบตเตอรี่แบบมาตรฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับบริการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บรรณานุกรม

รศ.ร.อ.ดร. วีระเชษฐ์ ชันเงิน. 2546. เอกสารประกอบการสอนวิชา Power Electronics. กรุงเทพฯ : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

ชวยง ศรีบุญเรือง และต่อพงษ์ สาหร่ายวัง. 2540. ปรินญาณินพนธ์ เรื่อง การศึกษาทางด้าน อิเล็กทรอนิกส์กำลัง. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

รศ. ไสว พงศ์สวัสดิ์. 2535. อิเล็กทรอนิกส์กำลัง Power Electronic. กรุงเทพฯ : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

ทวิศักดิ์ ศรีช่วย. 2549. SolidWorks Handbook คู่มือสำหรับผู้ใช้ SolidWorks ฉบับสมบูรณ์. กรุงเทพฯ : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย – ญี่ปุ่น).

ศุภี บรรจงจิต. 2538. วิศวกรรมเครื่องกลสว่าง. กรุงเทพฯ : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ก. (ภาพถ่ายอุปกรณ์)

### ก.1 ภาพถ่ายอุปกรณ์ และชิ้นงาน

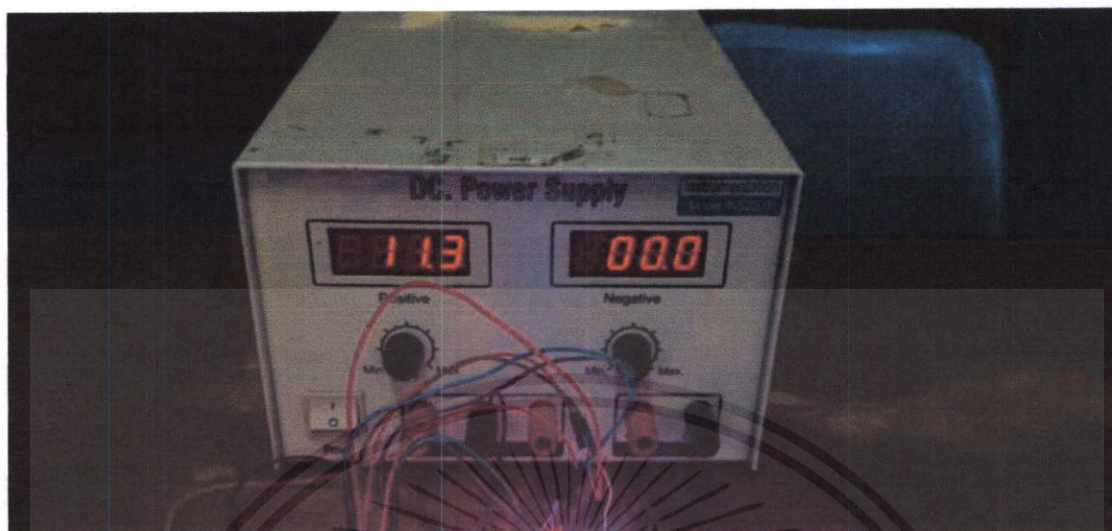
- DC Power Supply (Instrumentation Model INS2000)
- Meter UNI – T รุ่น UT33A
- Meter YUGO รุ่น MY – 68
- จู๊บบยางติดกระจก Suction plate
- โทรศัพท์ Smart Phone
- วงจรเพิ่มแรงดัน (Boost Converter)
- เซลล์แสงอาทิตย์ Single Crystalline Silicon Solar Cell ขนาด 9 V 100 mA
- ชุด สำเร็จระบบประจุแบตเตอรี่มือถือจากพลังงานธรรมชาติ

### ก.2 พิกัดชุดประจุแบตเตอรี่มือถือจากพลังงานแสงอาทิตย์แบบพกพา

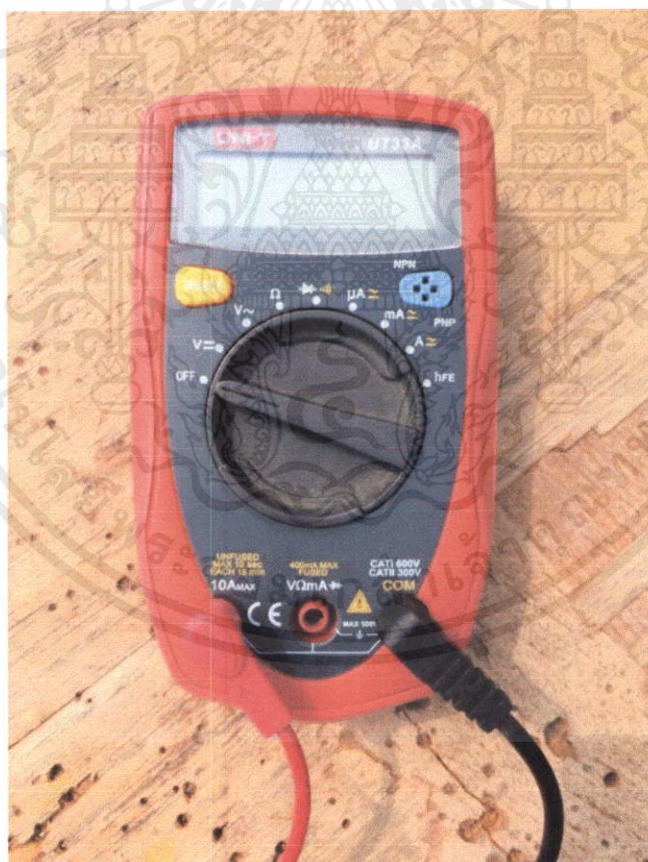
- ขนาดของเซลล์แสงอาทิตย์
- ขนาดของวงจร Boost Converter
- พิกัดเซลล์แสงอาทิตย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ก.1 ภาพถ่ายอุปกรณ์ และชิ้นงาน

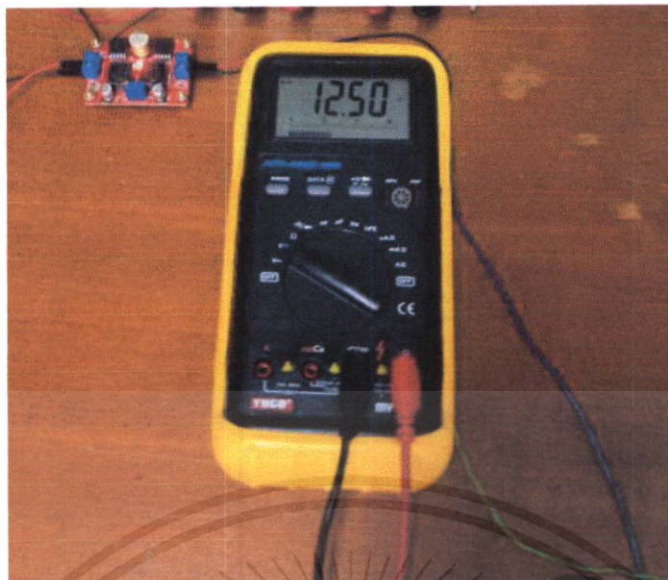


รูปที่ ก.1.1 DC Power Supply (Instrumentation Model INS2000)

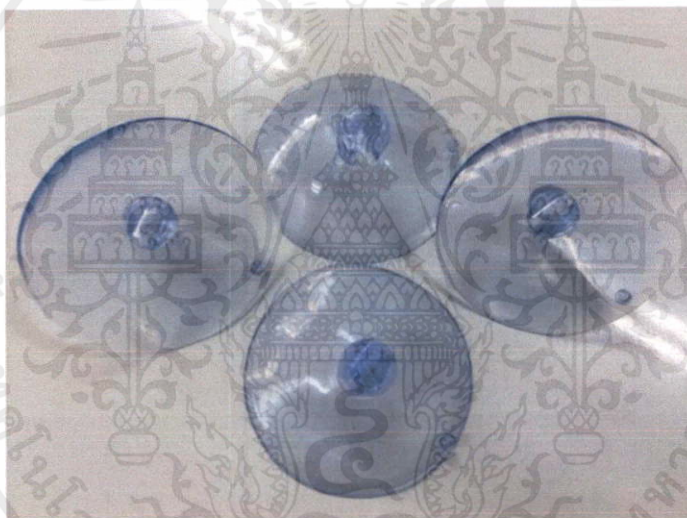


รูปที่ ก.1.2 Meter UNI – T รุ่น UT33A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.1.3 Meter YUGO รุ่น MY – 68

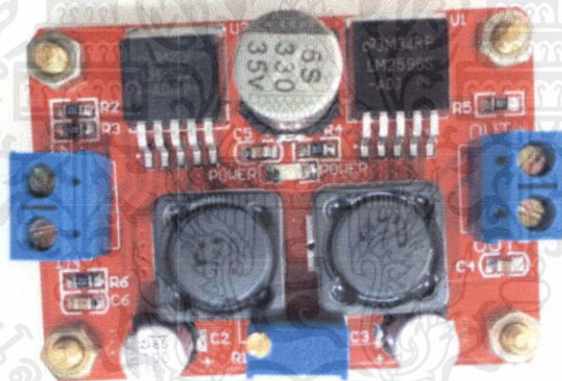


รูปที่ ก.1.4 จีบยางติดกระจก Suction plate

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

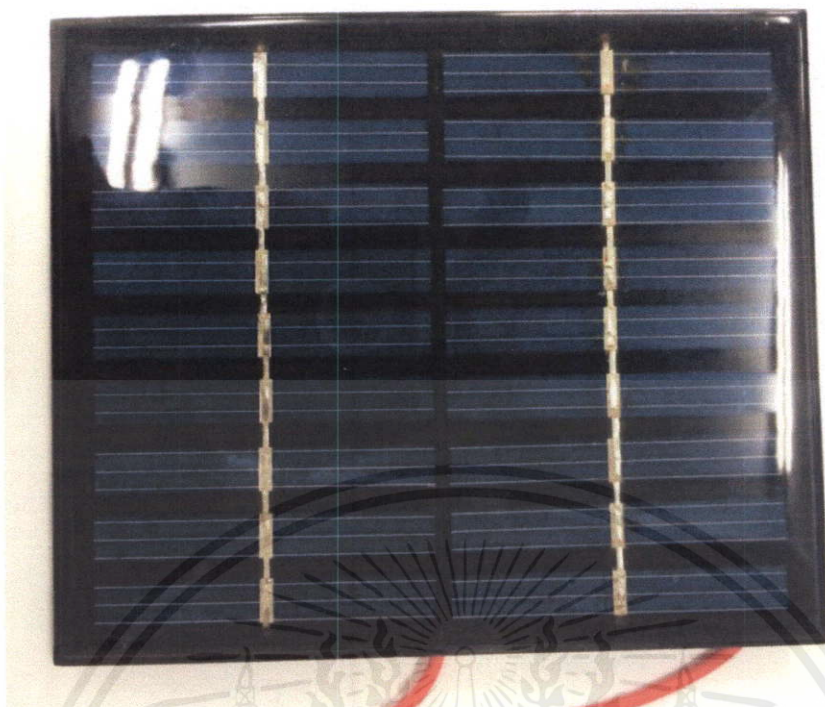


รูปที่ ก.1.5 โทรศัพท์ Smart Phone

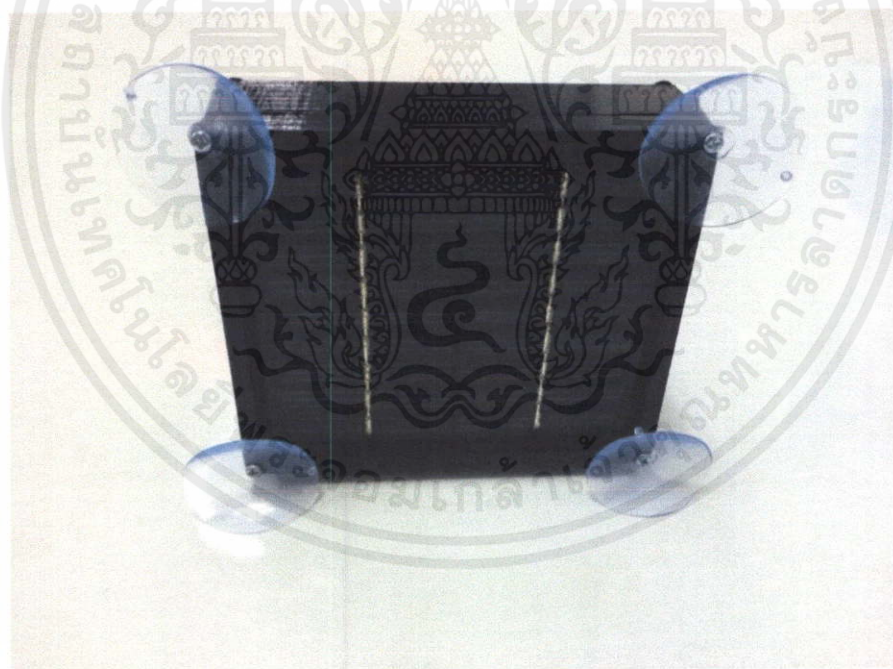


รูปที่ ก.1.6 วงจรเพิ่มแรงดัน (Boost Converter)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

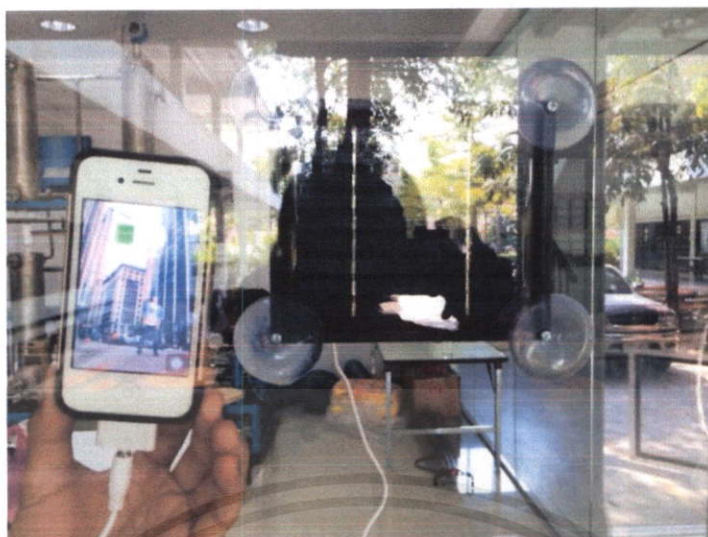


รูปที่ ก.1.7 เซลล์แสงอาทิตย์ Single Crystalline Silicon Solar Cell ขนาด 9 V 100 mA



รูปที่ ก.1.8 ชุดสำเร็จระบบประจุแบตเตอรี่มือถือจากพลังงานธรรมชาติ

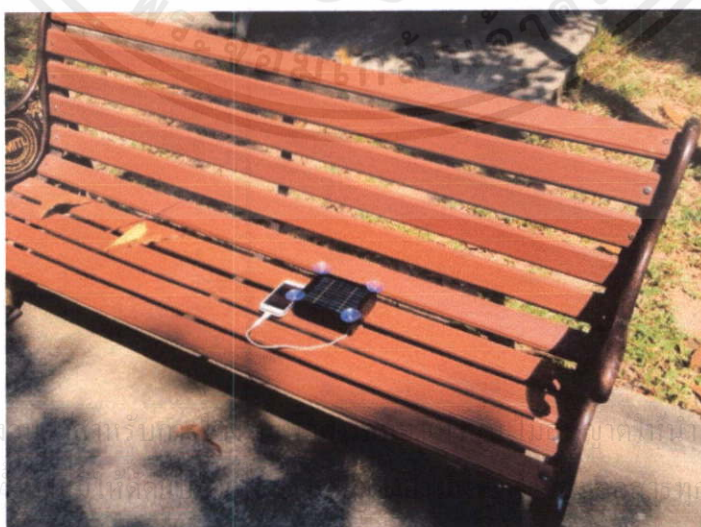
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.1.9 แสดงการใช้งานในออฟฟิต



รูปที่ ก.1.10 แสดงการใช้งานในรถยนต์



รูปที่ ก.1.11 แสดงการใช้งานในสวนสาธารณะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาวิจัยเท่านั้น ไม่สามารถนำข้อมูลไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังขอสงวนสิทธิ์ในกรณีที่มีการนำไปใช้

## ก.2 พิกัดชุดประจุแบตเตอรี่มือถือจากพลังงานแสงอาทิตย์แบบพกพา

### ก.2.1 ขนาดของเซลล์แสงอาทิตย์

กว้าง 110 มิลลิเมตร

ยาว 95 มิลลิเมตร

หนา 3 มิลลิเมตร

### ก.2.2 ขนาดของวงจร Boost Converter

กว้าง 53 มิลลิเมตร

ยาว 38 มิลลิเมตร

หนา 21 มิลลิเมตร

### ก.2.3 พิกัดเซลล์แสงอาทิตย์

$$V_{max} = 9 V$$

$$I_{max} = 100 mA$$

$$P_{max} = 900 mW$$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.  
(ข้อมูลอุปกรณ์)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# 1N4728A - 1N4758A

## Zener Diodes

Tolerance = 5%



DO-41 Glass case  
COLOR BAND DENOTES CATHODE

### Absolute Maximum Ratings \* $T_a = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Value	Units
$P_D$	Power Dissipation @ $T_L \leq 50^\circ\text{C}$ , Lead Length = 3/8"	1.0	W
	Derate above $50^\circ\text{C}$	6.67	mW/ $^\circ\text{C}$
$T_J, T_{STG}$	Operating and Storage Temperature Range	-65 to +200	$^\circ\text{C}$

\* These ratings are limiting values above which the serviceability of the diode may be impaired.

### Electrical Characteristics $T_a = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted

Device	$V_Z$ (V) @ $I_Z$ (Note 1)			Test Current $I_Z$ (mA)	Max. Zener Impedance			Leakage Current		Non-Repetitive Peak Reverse Current $I_{ZSM}$ (mA) (Note 2)
	Min.	Typ.	Max.		$Z_Z @ I_Z$ ( $\Omega$ )	$Z_{ZK} @ I_{ZK}$ ( $\Omega$ )	$I_{ZK}$ (mA)	$I_R$ ( $\mu\text{A}$ )	$V_R$ (V)	
1N4728A	3.135	3.3	3.465	76	10	400	1	100	1	1380
1N4729A	3.42	3.6	3.78	69	10	400	1	100	1	1260
1N4730A	3.705	3.9	4.095	64	9	400	1	50	1	1190
1N4731A	4.085	4.3	4.515	58	9	400	1	10	1	1070
1N4732A	4.465	4.7	4.935	53	8	500	1	10	1	970
1N4733A	4.845	5.1	5.355	49	7	550	1	10	1	890
1N4734A	5.32	5.6	5.88	45	5	600	1	10	2	810
1N4735A	5.89	6.2	6.51	41	2	700	1	10	3	730
1N4736A	6.46	6.8	7.14	37	3.5	700	1	10	4	660
1N4737A	7.125	7.5	7.875	34	4	700	0.5	10	5	605
1N4738A	7.79	8.2	8.61	31	4.5	700	0.5	10	6	550
1N4739A	8.645	9.1	9.555	28	5	700	0.5	10	7	500
1N4740A	9.5	10	10.5	25	7	700	0.25	10	7.6	454
1N4741A	10.45	11	11.55	23	8	700	0.25	5	8.4	414
1N4742A	11.4	12	12.6	21	9	700	0.25	5	9.1	380

Device	V <sub>Z</sub> (V) @ I <sub>Z</sub> (Note 1)			Test Current I <sub>Z</sub> (mA)	Max. Zener Impedance			Leakage Current		Non-Repetitive Peak Reverse Current I <sub>ZSM</sub> (mA) (Note 2)
	Min.	Typ.	Max.		Z <sub>Z</sub> @I <sub>Z</sub> (Ω)	Z <sub>ZK</sub> @ I <sub>ZK</sub> (Ω)	I <sub>ZK</sub> (mA)	I <sub>R</sub> (μA)	V <sub>R</sub> (V)	
1N4743A	12.35	13	13.65	19	10	700	0.25	5	9.9	344
1N4744A	14.25	15	15.75	17	14	700	0.25	5	11.4	304
1N4745A	15.2	16	16.8	15.5	16	700	0.25	5	12.2	285
1N4746A	17.1	18	18.9	14	20	750	0.25	5	13.7	250
1N4747A	19	20	21	12.5	22	750	0.25	5	15.2	225
1N4748A	20.9	22	23.1	11.5	23	750	0.25	5	16.7	205
1N4749A	22.8	24	25.2	10.5	25	750	0.25	5	18.2	190
1N4750A	25.65	27	28.35	9.5	35	750	0.25	5	20.6	170
1N4751A	28.5	30	31.5	8.5	40	1000	0.25	5	22.8	150
1N4752A	31.35	33	34.65	7.5	45	1000	0.25	5	25.1	135
1N4753A	34.2	36	37.8	7	50	1000	0.25	5	27.4	125
1N4754A	37.05	39	40.95	6.5	60	1000	0.25	5	29.7	115
1N4755A	40.85	43	45.15	6	70	1500	0.25	5	32.7	110
1N4756A	44.65	47	49.35	5.5	80	1500	0.25	5	35.8	95
1N4757A	48.45	51	53.55	5	95	1500	0.25	5	38.8	90
1N4758A	53.2	56	58.8	4.5	110	2000	0.25	5	42.6	80

**Notes:**

1. Zener Voltage (V<sub>Z</sub>)

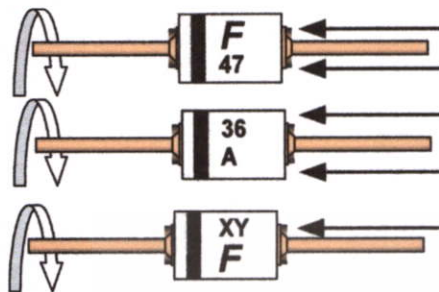
The zener voltage is measured with the device junction in the thermal equilibrium at the lead temperature (T<sub>L</sub>) at 30°C ± 1°C and 3/8" lead length.

2. 2 Square wave Reverse Surge at 8.3 msec soak time.

**Top Mark Information**

Device	Line 1	Line 2	Line 3	Line 4	Line 5
1N4728A	LOGO	47	28	A	XY
1N4729A	LOGO	47	29	A	XY
1N4730A	LOGO	47	30	A	XY
1N4731A	LOGO	47	31	A	XY
1N4732A	LOGO	47	32	A	XY
1N4733A	LOGO	47	33	A	XY
1N4734A	LOGO	47	34	A	XY
1N4735A	LOGO	47	35	A	XY
1N4736A	LOGO	47	36	A	XY
1N4737A	LOGO	47	37	A	XY
1N4738A	LOGO	47	38	A	XY
1N4739A	LOGO	47	39	A	XY
1N4740A	LOGO	47	40	A	XY
1N4741A	LOGO	47	41	A	XY
1N4742A	LOGO	47	42	A	XY
1N4743A	LOGO	47	43	A	XY
1N4744A	LOGO	47	44	A	XY
1N4745A	LOGO	47	45	A	XY
1N4746A	LOGO	47	46	A	XY
1N4747A	LOGO	47	47	A	XY
1N4748A	LOGO	47	48	A	XY
1N4749A	LOGO	47	49	A	XY
1N4750A	LOGO	47	50	A	XY
1N4751A	LOGO	47	51	A	XY
1N4752A	LOGO	47	52	A	XY
1N4753A	LOGO	47	53	A	XY
1N4754A	LOGO	47	54	A	XY
1N4755A	LOGO	47	55	A	XY
1N4756A	LOGO	47	56	A	XY
1N4757A	LOGO	47	57	A	XY
1N4758A	LOGO	47	58	A	XY

## Top Mark Information (Continued)



1<sup>st</sup> line: F - Fairchild Logo

2<sup>nd</sup> line: Device Name - 3<sup>rd</sup> to 4<sup>th</sup> characters of device name for 1Nxx series  
or 4<sup>th</sup> to 6<sup>th</sup> characters for BZXyy series

3<sup>rd</sup> line: Device Name - 5<sup>th</sup> to 6<sup>th</sup> characters of device name for 1Nxx series  
or Voltage rating for BZXyy series

4<sup>th</sup> line: Device Name - 7<sup>th</sup> to 8<sup>th</sup> characters of device name for 1Nxx series  
or Large Die identification only for BZXyy series

5<sup>th</sup> line: Date Code - Two Digit - Six Weeks Date Code

### General Requirements:





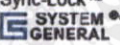
- 1.0 Cathode Band
- 2.0 First Line: F - Fairchild Logo
- 3.0 Second Line: Device name - For 1Nxx series: 3<sup>rd</sup> to 4<sup>th</sup> characters of the device name.  
For BZXxx series: 4<sup>th</sup> to 6<sup>th</sup> characters of the device name.
- 4.0 Third Line: Device name - For 1Nxx series: 5<sup>th</sup> to 6<sup>th</sup> characters of the device name.  
For BZXyy series: Voltage rating
- 5.0 Third Line: Device name - For 1Nxx series: 7<sup>th</sup> to 8<sup>th</sup> characters of the device name.  
(the 8<sup>th</sup> character is the large die identification)  
For BZXyy series: Large Die Identification character
- 6.0 Fourth Line: Date Code - Two Digit - Six Weeks Date Code  
Where: X represents the last digit of the calendar year  
Y represents the Six weeks numeric code
- 7.0 Devices shall be marked as required in the device specification (PID or FSC Test Spec).
- 8.0 Maximum no. of marking lines: 5
- 9.0 Maximum no. of digits per line: 3
- 10.0 FSC logo must be 20 % taller than the alphanumeric marking and should occupy the 2 characters of the specified line.
- 11.0 Marking Font: Arial (Except FSC Logo)
- 12.0 First character of each marking line must be aligned vertically.
- 13.0 All device markings must be based on Fairchild device specification.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**TRADEMARKS**

The following includes registered and unregistered trademarks and service marks, owned by Fairchild Semiconductor and/or its global subsidiaries, and is not intended to be an exhaustive list of all such trademarks.

- |   |                        |   |   |
|---|------------------------|---|---|
| Auto-SPM™   | F-PFS™                 | PowerTrench®  | The Power Franchise®  |
| Build It Now™   | FRFET®                 | PowerXS™  | <b>the power franchise</b>  |
| CorePLUS™   | Global Power Resource™ | Programmable Active Droop™  | TinyBoost™  |
| CorePOWER™  | Green FPS™             | QFET®   | TinyBuck™   |
| CROSSVOLT™  | Green FPS™ e-Series™   | QS™   | TinyLogic®  |
| CTL™  | Gmax™                  | Quiet Series™   | TINYOPTO™   |
| Current Transfer Logic™   | GTO™                   | RapidConfigure™   | TinyPower™  |
| EcoSPARK®   | IntelliMAX™            |  ™ | TinyPWM™  |
| EfficientMax™   | ISOPLANAR™             | Saving our world, 1mW/W at a time™  | TinyWire™   |
| EZSWITCH™*  | MegaBuck™              | SmartMax™   | TriFault Detect™  |
|  ™* | MICROCOUPLER™          | SMART START™  | TRUECURRENT™*   |
|  ™* | MicroFET™              | SPM®  | μSerDes™  |
| Fairchild®  | MillerDrive™           | STEALTH™  |  ™ |
| Fairchild Semiconductor®  | MotionMax™             | SuperFET™   | UHC®  |
| FACT Quiet Series™  | Motion-SPM™            | SuperSOT™-3   | Ultra FRFET™  |
| FACT®   | OPTOLOGIC®             | SuperSOT™-6   | UNIFET™   |
| FAST®   | OPTOPLANAR®            | SuperSOT™-8   | VCX™  |
| FastvCore™  |                        | SupreMOS™   | VisualMax™  |
| FETBench™   |                        | SyncFET™  | XS™   |
| FlashWriter®  | PDP SPM™               | Sync-Lock™  |   |
| FPS™  | Power-SPM™             |    |   |

\* Trademarks of System General Corporation, used under license by Fairchild Semiconductor.

**DISCLAIMER**

FAIRCHILD SEMICONDUCTOR RESERVES THE RIGHT TO MAKE CHANGES WITHOUT FURTHER NOTICE TO ANY PRODUCTS HEREIN TO IMPROVE RELIABILITY, FUNCTION, OR DESIGN. FAIRCHILD DOES NOT ASSUME ANY LIABILITY ARISING OUT OF THE APPLICATION OR USE OF ANY PRODUCT OR CIRCUIT DESCRIBED HEREIN; NEITHER DOES IT CONVEY ANY LICENSE UNDER ITS PATENT RIGHTS, NOR THE RIGHTS OF OTHERS. THESE SPECIFICATIONS DO NOT EXPAND THE TERMS OF FAIRCHILD'S WORLDWIDE TERMS AND CONDITIONS, SPECIFICALLY THE WARRANTY THEREIN, WHICH COVERS THESE PRODUCTS.

**LIFE SUPPORT POLICY**

FAIRCHILD'S PRODUCTS ARE NOT AUTHORIZED FOR USE AS CRITICAL COMPONENTS IN LIFE SUPPORT DEVICES OR SYSTEMS WITHOUT THE EXPRESS WRITTEN APPROVAL OF FAIRCHILD SEMICONDUCTOR CORPORATION.

As used herein:

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

**ANTI-COUNTERFEITING POLICY**

Fairchild Semiconductor Corporation's Anti-Counterfeiting Policy. Fairchild's Anti-Counterfeiting Policy is also stated on our external website, [www.fairchildsemi.com](http://www.fairchildsemi.com), under Sales Support.

Counterfeiting of semiconductor parts is a growing problem in the industry. All manufacturers of semiconductor products are experiencing counterfeiting of their parts. Customers who inadvertently purchase counterfeit parts experience many problems such as loss of brand reputation, substandard performance, failed applications, and increased cost of production and manufacturing delays. Fairchild is taking strong measures to protect ourselves and our customers from the proliferation of counterfeit parts. Fairchild strongly encourages customers to purchase Fairchild parts either directly from Fairchild or from Authorized Fairchild Distributors who are listed by country on our web page cited above. Products customers buy either from Fairchild directly or from Authorized Fairchild Distributors are genuine parts, have full traceability, meet Fairchild's quality standards for handling and storage and provide access to Fairchild's full range of up-to-date technical and product information. Fairchild and our Authorized Distributors will stand behind all warranties and will appropriately address any warranty issues that may arise. Fairchild will not provide any warranty coverage or other assistance for parts bought from Unauthorized Sources. Fairchild is committed to combat this global problem and encourage our customers to do their part in stopping this practice by buying direct or from authorized distributors.

**PRODUCT STATUS DEFINITIONS**

**Definition of Terms**

Datasheet Identification	Product Status	Definition
Advance Information	Formative / In Design	Datasheet contains the design specifications for product development. Specifications may change in any manner without notice.
Preliminary	First Production	Datasheet contains preliminary data; supplementary data will be published at a later date. Fairchild Semiconductor reserves the right to make changes at any time without notice to improve design.
No Identification Needed	Full Production	Datasheet contains final specifications. Fairchild Semiconductor reserves the right to make changes at any time without notice to improve the design.
Obsolete	Not In Production	Datasheet contains specifications on a product that is discontinued by Fairchild Semiconductor. The datasheet is for reference information only.

Rev. 140

# LM2596 SIMPLE SWITCHER® Power Converter 150 kHz 3A Step-Down Voltage Regulator

Check for Samples: [LM2596](#)

## FEATURES

- 3.3V, 5V, 12V, and Adjustable Output Versions
- Adjustable Version Output Voltage Range, 1.2V to 37V  $\pm 4\%$  Max Over Line and Load Conditions
- Available in TO-220 and TO-263 Packages
- Ensured 3A Output Load Current
- Input Voltage Range Up to 40V
- Requires Only 4 External Components
- Excellent Line and Load Regulation Specifications
- 150 kHz Fixed Frequency Internal Oscillator
- TTL Shutdown Capability
- Low Power Standby Mode,  $I_Q$  Typically 80  $\mu\text{A}$
- High Efficiency
- Uses Readily Available Standard Inductors
- Thermal Shutdown and Current Limit Protection

## APPLICATIONS

- Simple High-Efficiency Step-Down (Buck) Regulator
- On-Card Switching Regulators
- Positive to Negative Converter

## DESCRIPTION

The LM2596 series of regulators are monolithic integrated circuits that provide all the active functions for a step-down (buck) switching regulator, capable of driving a 3A load with excellent line and load regulation. These devices are available in fixed output voltages of 3.3V, 5V, 12V, and an adjustable output version.

Requiring a minimum number of external components, these regulators are simple to use and include internal frequency compensation, and a fixed-frequency oscillator.

The LM2596 series operates at a switching frequency of 150 kHz thus allowing smaller sized filter components than what would be needed with lower frequency switching regulators. Available in a standard 5-lead TO-220 package with several different lead bend options, and a 5-lead TO-263 surface mount package.

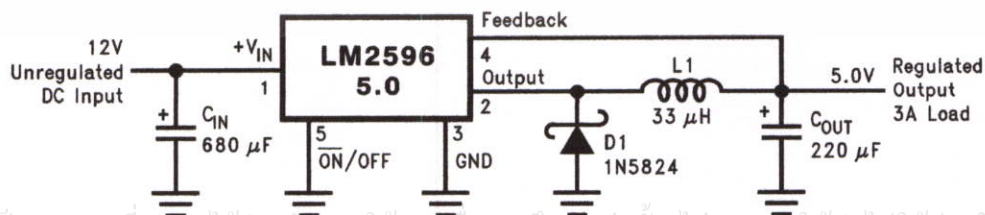
A standard series of inductors are available from several different manufacturers optimized for use with the LM2596 series. This feature greatly simplifies the design of switch-mode power supplies.

Other features include an ensured  $\pm 4\%$  tolerance on output voltage under specified input voltage and output load conditions, and  $\pm 15\%$  on the oscillator frequency. External shutdown is included, featuring typically 80  $\mu\text{A}$  standby current. Self protection features include a two stage frequency reducing current limit for the output switch and an over temperature shutdown for complete protection under fault conditions. <sup>(1)</sup>

(1) † Patent Number 5,382,918.

## Typical Application

(Fixed Output Voltage Versions)



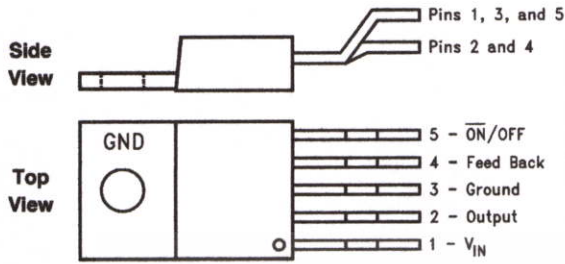
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า



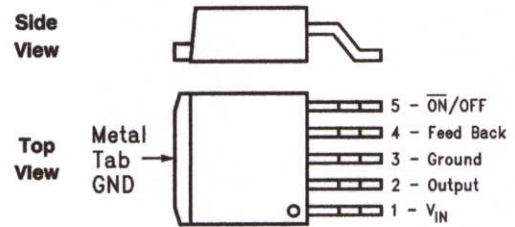
Please be aware that an important notice concerning availability, standard warranty, and use in critical applications of Texas Instruments semiconductor products and disclaimers thereto appears at the end of this data sheet.

SIMPLE SWITCHER is a registered trademark of Texas Instruments.  
All other trademarks are the property of their respective owners.

## Connection Diagrams



**Figure 1. 5-Lead Bent and Staggered Leads, Through Hole TO-220 (T) Package**  
See Package Number NDH0005D



**Figure 2. 5-Lead DPAK/TO-263 (S) Package**  
See Package Number KTT0005B



These devices have limited built-in ESD protection. The leads should be shorted together or the device placed in conductive foam during storage or handling to prevent electrostatic damage to the MOS gates.

## Absolute Maximum Ratings <sup>(1)(2)</sup>

Maximum Supply Voltage	45V
ON/OFF Pin Input Voltage	$-0.3 \leq V \leq +25V$
Feedback Pin Voltage	$-0.3 \leq V \leq +25V$
Output Voltage to Ground (Steady State)	-1V
Power Dissipation	Internally limited
Storage Temperature Range	$-65^{\circ}\text{C}$ to $+150^{\circ}\text{C}$
ESD Susceptibility	
Human Body Model <sup>(3)</sup>	2 kV
Lead Temperature	
DDPAK/TO-263 Package	
Vapor Phase (60 sec.)	$+215^{\circ}\text{C}$
Infrared (10 sec.)	$+245^{\circ}\text{C}$
TO-220 Package (Soldering, 10 sec.)	$+260^{\circ}\text{C}$
Maximum Junction Temperature	$+150^{\circ}\text{C}$

- (1) Absolute Maximum Ratings indicate limits beyond which damage to the device may occur. Operating Ratings indicate conditions for which the device is intended to be functional, but do not ensure specific performance limits. For ensured specifications and test conditions, see the Electrical Characteristics.
- (2) If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the Texas Instruments Sales Office/ Distributors for availability and specifications.
- (3) The human body model is a 100 pF capacitor discharged through a 1.5k resistor into each pin.

## Operating Conditions

Temperature Range	$-40^{\circ}\text{C} \leq T_J \leq +125^{\circ}\text{C}$
Supply Voltage	4.5V to 40V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### LM2596-3.3 Electrical Characteristics

Specifications with standard type face are for  $T_J = 25^\circ\text{C}$ , and those with **boldface type** apply over full Operating Temperature Range

Symbol	Parameter	Conditions	LM2596-3.3		Units (Limits)
			Typ (1)	Limit (2)	
<b>SYSTEM PARAMETERS</b> (3) Test Circuit <a href="#">Figure 20</a>					
$V_{OUT}$	Output Voltage	$4.75\text{V} \leq V_{IN} \leq 40\text{V}$ , $0.2\text{A} \leq I_{LOAD} \leq 3\text{A}$	3.3	<b>3.168/3.135</b> <b>3.432/3.465</b>	V V(min) V(max)
$\eta$	Efficiency	$V_{IN} = 12\text{V}$ , $I_{LOAD} = 3\text{A}$	73		%

- (1) Typical numbers are at  $25^\circ\text{C}$  and represent the most likely norm.
- (2) All limits specified at room temperature (standard type face) and at temperature extremes (bold type face). All room temperature limits are 100% production tested. All limits at temperature extremes are ensured via correlation using standard Statistical Quality Control (SQC) methods. All limits are used to calculate Average Outgoing Quality Level (AOQL).
- (3) External components such as the catch diode, inductor, input and output capacitors, and voltage programming resistors can affect switching regulator system performance. When the LM2596 is used as shown in the [Figure 20](#) test circuit, system performance will be as shown in system parameters of Electrical Characteristics section.

### LM2596-5.0 Electrical Characteristics

Specifications with standard type face are for  $T_J = 25^\circ\text{C}$ , and those with **boldface type** apply over full Operating Temperature Range

Symbol	Parameter	Conditions	LM2596-5.0		Units (Limits)
			Typ (1)	Limit (2)	
<b>SYSTEM PARAMETERS</b> (3) Test Circuit <a href="#">Figure 20</a>					
$V_{OUT}$	Output Voltage	$7\text{V} \leq V_{IN} \leq 40\text{V}$ , $0.2\text{A} \leq I_{LOAD} \leq 3\text{A}$	5.0	<b>4.800/4.750</b> <b>5.200/5.250</b>	V V(min) V(max)
$\eta$	Efficiency	$V_{IN} = 12\text{V}$ , $I_{LOAD} = 3\text{A}$	80		%

- (1) Typical numbers are at  $25^\circ\text{C}$  and represent the most likely norm.
- (2) All limits specified at room temperature (standard type face) and at temperature extremes (bold type face). All room temperature limits are 100% production tested. All limits at temperature extremes are ensured via correlation using standard Statistical Quality Control (SQC) methods. All limits are used to calculate Average Outgoing Quality Level (AOQL).
- (3) External components such as the catch diode, inductor, input and output capacitors, and voltage programming resistors can affect switching regulator system performance. When the LM2596 is used as shown in the [Figure 20](#) test circuit, system performance will be as shown in system parameters of Electrical Characteristics section.

### LM2596-12 Electrical Characteristics

Specifications with standard type face are for  $T_J = 25^\circ\text{C}$ , and those with **boldface type** apply over full Operating Temperature Range

Symbol	Parameter	Conditions	LM2596-12		Units (Limits)
			Typ (1)	Limit (2)	
<b>SYSTEM PARAMETERS</b> (3) Test Circuit <a href="#">Figure 20</a>					
$V_{OUT}$	Output Voltage	$15\text{V} \leq V_{IN} \leq 40\text{V}$ , $0.2\text{A} \leq I_{LOAD} \leq 3\text{A}$	12.0	<b>11.52/11.40</b> <b>12.48/12.60</b>	V V(min) V(max)
$\eta$	Efficiency	$V_{IN} = 25\text{V}$ , $I_{LOAD} = 3\text{A}$	90		%

- (1) Typical numbers are at  $25^\circ\text{C}$  and represent the most likely norm.
- (2) All limits specified at room temperature (standard type face) and at temperature extremes (bold type face). All room temperature limits are 100% production tested. All limits at temperature extremes are ensured via correlation using standard Statistical Quality Control (SQC) methods. All limits are used to calculate Average Outgoing Quality Level (AOQL).
- (3) External components such as the catch diode, inductor, input and output capacitors, and voltage programming resistors can affect switching regulator system performance. When the LM2596 is used as shown in the [Figure 20](#) test circuit, system performance will be as shown in system parameters of Electrical Characteristics section.

## LM2596-ADJ Electrical Characteristics

Specifications with standard type face are for  $T_J = 25^\circ\text{C}$ , and those with **boldface type** apply over **full Operating Temperature Range**

Symbol	Parameter	Conditions	LM2596-ADJ		Units (Limits)
			Typ (1)	Limit (2)	
<b>SYSTEM PARAMETERS</b> <sup>(3)</sup> Test Circuit <a href="#">Figure 20</a>					
$V_{FB}$	Feedback Voltage	$4.5\text{V} \leq V_{IN} \leq 40\text{V}$ , $0.2\text{A} \leq I_{LOAD} \leq 3\text{A}$ $V_{OUT}$ programmed for 3V. Circuit of <a href="#">Figure 20</a>	1.230	<b>1.193/1.180</b> <b>1.267/1.280</b>	V V(min) V(max)
$\eta$	Efficiency	$V_{IN} = 12\text{V}$ , $V_{OUT} = 3\text{V}$ , $I_{LOAD} = 3\text{A}$	73		%

(1) Typical numbers are at  $25^\circ\text{C}$  and represent the most likely norm.

(2) All limits specified at room temperature (standard type face) and at temperature extremes (bold type face). All room temperature limits are 100% production tested. All limits at temperature extremes are ensured via correlation using standard Statistical Quality Control (SQC) methods. All limits are used to calculate Average Outgoing Quality Level (AOQL).

(3) External components such as the catch diode, inductor, input and output capacitors, and voltage programming resistors can affect switching regulator system performance. When the LM2596 is used as shown in the [Figure 20](#) test circuit, system performance will be as shown in system parameters of Electrical Characteristics section.

## All Output Voltage Versions Electrical Characteristics

Specifications with standard type face are for  $T_J = 25^\circ\text{C}$ , and those with **boldface type** apply over **full Operating Temperature Range**. Unless otherwise specified,  $V_{IN} = 12\text{V}$  for the 3.3V, 5V, and Adjustable version and  $V_{IN} = 24\text{V}$  for the 12V version.  $I_{LOAD} = 500\text{mA}$

Symbol	Parameter	Conditions	LM2596-XX		Units (Limits)
			Typ (1)	Limit (2)	
<b>DEVICE PARAMETERS</b>					
$I_b$	Feedback Bias Current	Adjustable Version Only, $V_{FB} = 1.3\text{V}$	10	<b>50/100</b>	nA nA (max)
$f_o$	Oscillator Frequency	See <sup>(3)</sup>	150	<b>127/110</b> <b>173/173</b>	kHz kHz(min) kHz(max)
$V_{SAT}$	Saturation Voltage	$I_{OUT} = 3\text{A}$ <sup>(4)</sup> <sup>(5)</sup>	1.16	<b>1.4/1.5</b>	V V(max)
DC	Max Duty Cycle (ON)	See <sup>(5)</sup>	100		%
	Min Duty Cycle (OFF)	See <sup>(6)</sup>	0		
$I_{CL}$	Current Limit	Peak Current <sup>(4)</sup> <sup>(5)</sup>	4.5	<b>3.6/3.4</b> <b>6.9/7.5</b>	A A(min) A(max)
$I_L$	Output Leakage Current	Output = 0V <sup>(4)</sup> <sup>(6)</sup>		50	$\mu\text{A}$ (max)
		Output = -1V <sup>(7)</sup>	2	<b>30</b>	mA mA(max)
$I_Q$	Quiescent Current	See <sup>(6)</sup>	5	<b>10</b>	mA mA(max)

(1) Typical numbers are at  $25^\circ\text{C}$  and represent the most likely norm.

(2) All limits specified at room temperature (standard type face) and at temperature extremes (bold type face). All room temperature limits are 100% production tested. All limits at temperature extremes are ensured via correlation using standard Statistical Quality Control (SQC) methods. All limits are used to calculate Average Outgoing Quality Level (AOQL).

(3) The switching frequency is reduced when the second stage current limit is activated.

(4) No diode, inductor or capacitor connected to output pin.

(5) Feedback pin removed from output and connected to 0V to force the output transistor switch ON.

(6) Feedback pin removed from output and connected to 12V for the 3.3V, 5V, and the ADJ. version, and 15V for the 12V version, to force the output transistor switch OFF.

(7)  $V_{IN} = 40\text{V}$ .

**All Output Voltage Versions Electrical Characteristics (continued)**

Specifications with standard type face are for  $T_J = 25^\circ\text{C}$ , and those with **boldface type** apply over **full Operating Temperature Range**. Unless otherwise specified,  $V_{IN} = 12\text{V}$  for the 3.3V, 5V, and Adjustable version and  $V_{IN} = 24\text{V}$  for the 12V version.  $I_{LOAD} = 500\text{ mA}$

Symbol	Parameter	Conditions	LM2596-XX		Units (Limits)
			Typ (1)	Limit (2)	
$I_{STBY}$	Standby Quiescent Current	ON/OFF pin = 5V (OFF) (7)	80	<b>200/250</b>	$\mu\text{A}$ $\mu\text{A}(\text{max})$
$\theta_{JC}$	Thermal Resistance	TO-220 or TO-263 Package, Junction to Case	2		$^\circ\text{C/W}$
$\theta_{JA}$		TO-220 Package, Junction to Ambient (8)	50		$^\circ\text{C/W}$
$\theta_{JA}$		TO-263 Package, Junction to Ambient (9)	50		$^\circ\text{C/W}$
$\theta_{JA}$		TO-263 Package, Junction to Ambient (10)	30		$^\circ\text{C/W}$
$\theta_{JA}$		TO-263 Package, Junction to Ambient (11)	20		$^\circ\text{C/W}$
<b>ON/OFF CONTROL</b> Test Circuit <a href="#">Figure 20</a>					
$V_{IH}$ $V_{IL}$	$\overline{\text{ON}}$ /OFF Pin Logic Input Threshold Voltage	Low (Regulator ON) High (Regulator OFF)	1.3	<b>0.6</b> <b>2.0</b>	V V(max) V(min)
$I_H$	$\overline{\text{ON}}$ /OFF Pin Input Current	$V_{LOGIC} = 2.5\text{V}$ (Regulator OFF)	5	15	$\mu\text{A}$ $\mu\text{A}(\text{max})$
$I_L$		$V_{LOGIC} = 0.5\text{V}$ (Regulator ON)	0.02	<b>5</b>	$\mu\text{A}$ $\mu\text{A}(\text{max})$

- (8) Junction to ambient thermal resistance (no external heat sink) for the TO-220 package mounted vertically, with the leads soldered to a printed circuit board with (1 oz.) copper area of approximately  $1\text{ in}^2$ .
- (9) Junction to ambient thermal resistance with the TO-263 package tab soldered to a single printed circuit board with  $0.5\text{ in}^2$  of (1 oz.) copper area.
- (10) Junction to ambient thermal resistance with the TO-263 package tab soldered to a single sided printed circuit board with  $2.5\text{ in}^2$  of (1 oz.) copper area.
- (11) Junction to ambient thermal resistance with the TO-263 package tab soldered to a double sided printed circuit board with  $3\text{ in}^2$  of (1 oz.) copper area on the LM2596S side of the board, and approximately  $16\text{ in}^2$  of copper on the other side of the p-c board. See [Application Information](#) in this data sheet and the thermal model in Switchers Made Simple™ version 4.3 software.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Performance Characteristics

(Circuit of Figure 20)

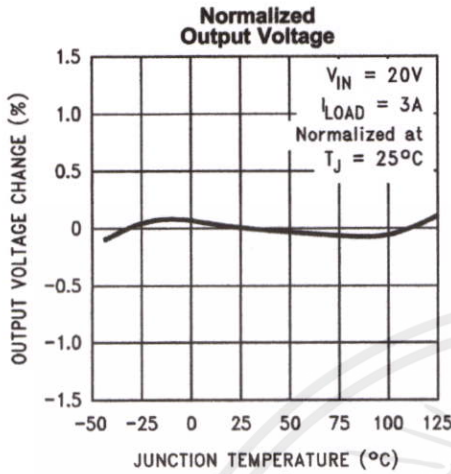


Figure 3.

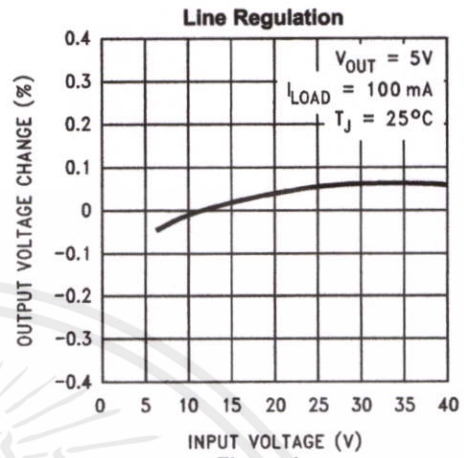


Figure 4.

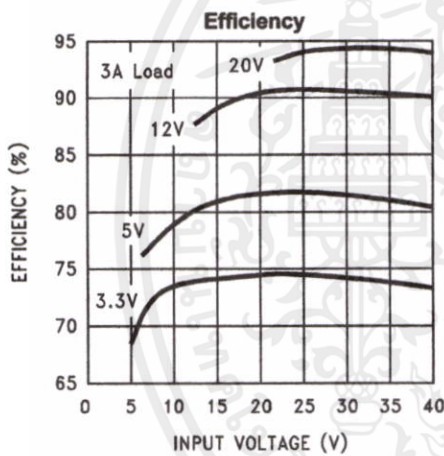


Figure 5.

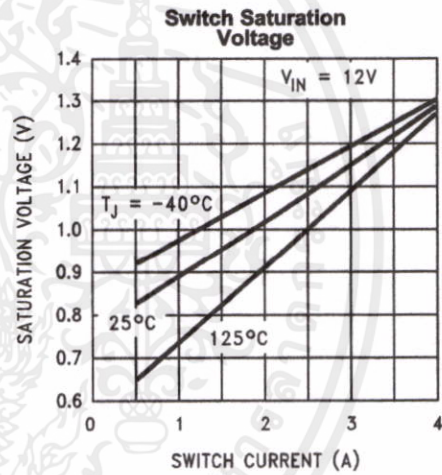


Figure 6.

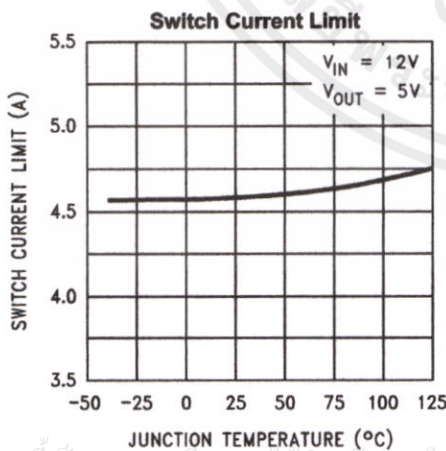


Figure 7.

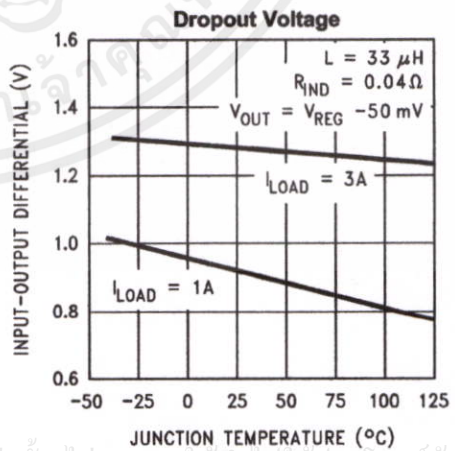


Figure 8.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ **Figure 7.** สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ **Figure 8.** ฝ่าฝืนข้อกำหนดด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Performance Characteristics (continued)

(Circuit of Figure 20)

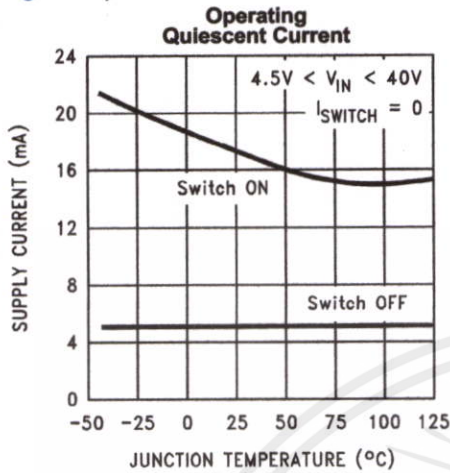


Figure 9.

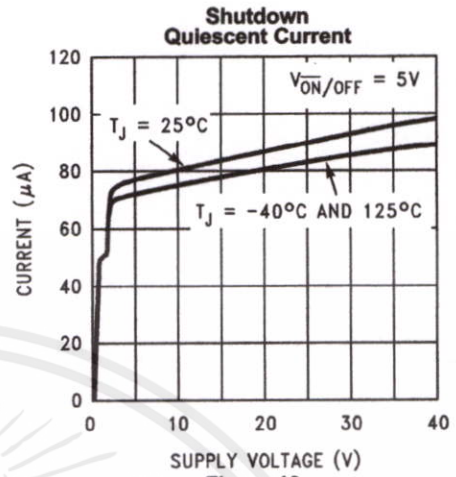


Figure 10.

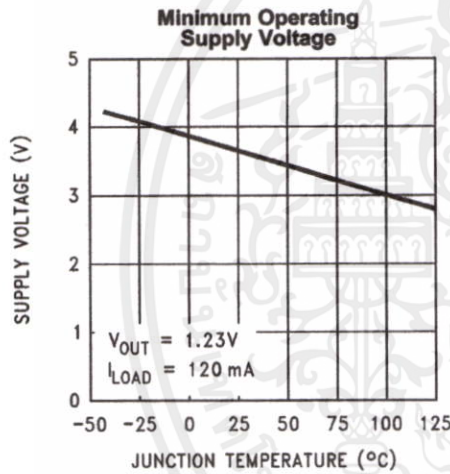


Figure 11.

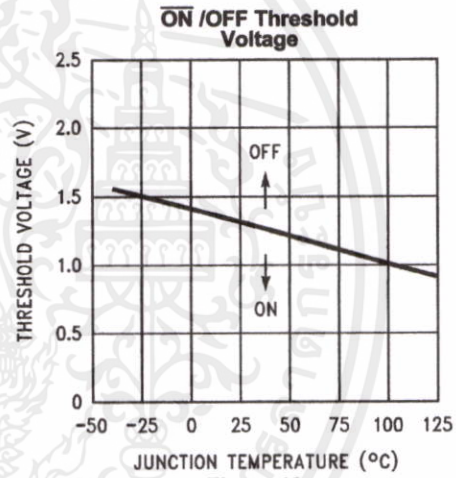


Figure 12.

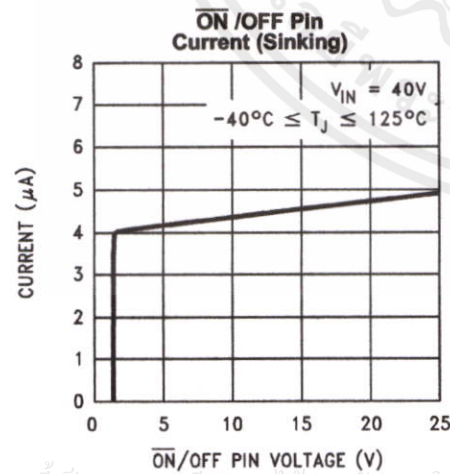


Figure 13.

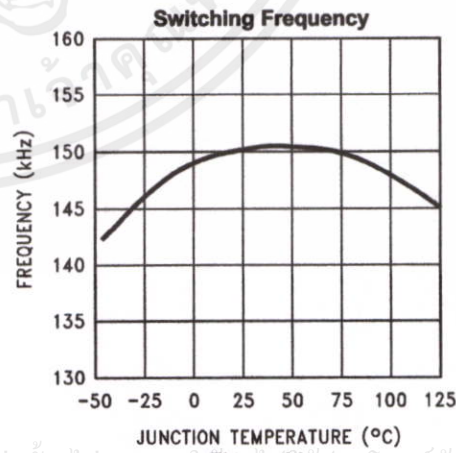


Figure 14.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่เผยแพร่ฟรีสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ใช้เพื่อประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Performance Characteristics (continued)

(Circuit of Figure 20)

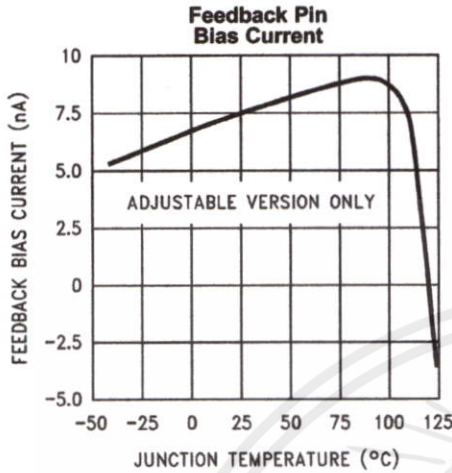
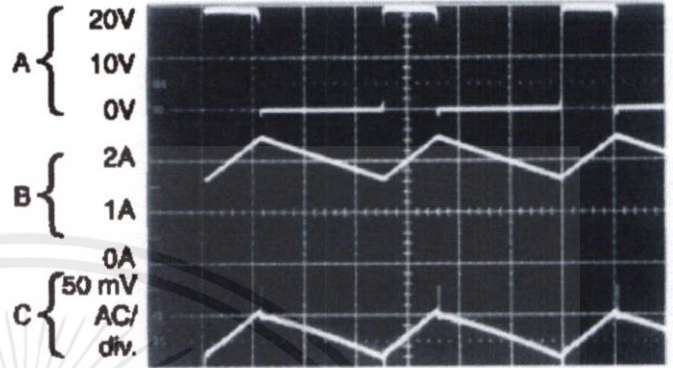


Figure 15.

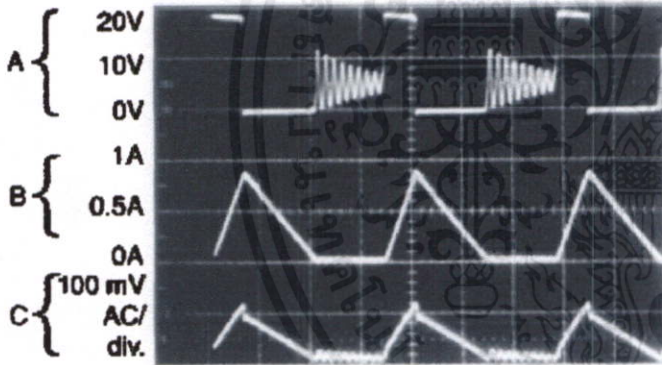
Continuous Mode Switching Waveforms  
 $V_{IN} = 20V, V_{OUT} = 5V, I_{LOAD} = 2A$   
 $L = 32 \mu H, C_{OUT} = 220 \mu F, C_{OUT} ESR = 50 m\Omega$



A: Output Pin Voltage, 10V/div.  
 B: Inductor Current 1A/div.  
 C: Output Ripple Voltage, 50 mV/div.

Figure 16. Horizontal Time Base: 2  $\mu s$ /div.

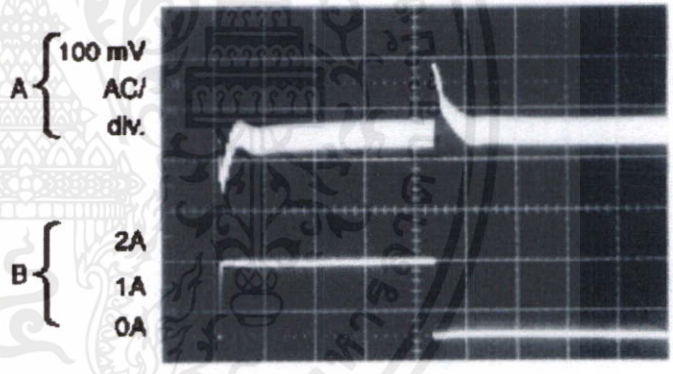
Discontinuous Mode Switching Waveforms  
 $V_{IN} = 20V, V_{OUT} = 5V, I_{LOAD} = 500 mA$   
 $L = 10 \mu H, C_{OUT} = 330 \mu F, C_{OUT} ESR = 45 m\Omega$



A: Output Pin Voltage, 10V/div.  
 B: Inductor Current 0.5A/div.  
 C: Output Ripple Voltage, 100 mV/div.

Figure 17. Horizontal Time Base: 2  $\mu s$ /div.

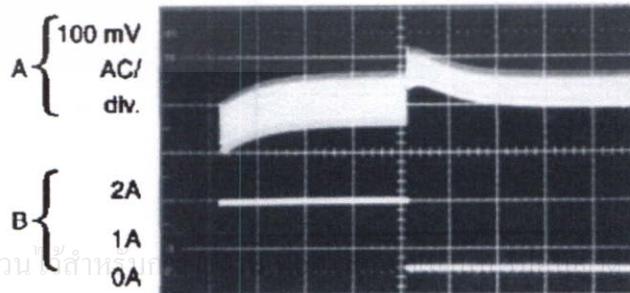
Load Transient Response for Continuous Mode  
 $V_{IN} = 20V, V_{OUT} = 5V, I_{LOAD} = 500 mA \text{ to } 2A$   
 $L = 32 \mu H, C_{OUT} = 220 \mu F, C_{OUT} ESR = 50 m\Omega$



A: Output Voltage, 100 mV/div. (AC)  
 B: 500 mA to 2A Load Pulse

Figure 18. Horizontal Time Base: 100  $\mu s$ /div.

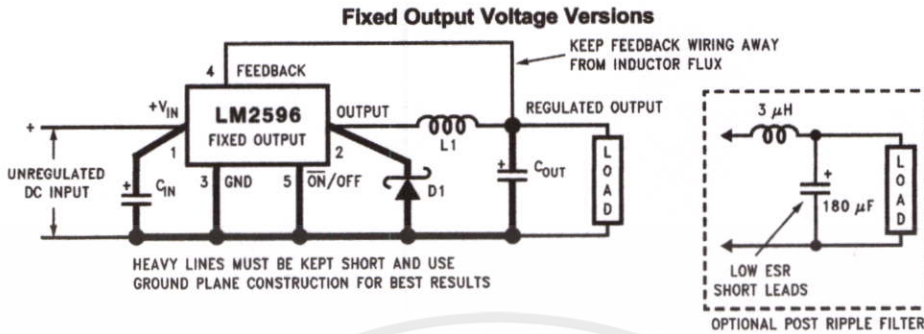
Load Transient Response for Discontinuous Mode  
 $V_{IN} = 20V, V_{OUT} = 5V, I_{LOAD} = 500 mA \text{ to } 2A$   
 $L = 10 \mu H, C_{OUT} = 330 \mu F, C_{OUT} ESR = 45 m\Omega$



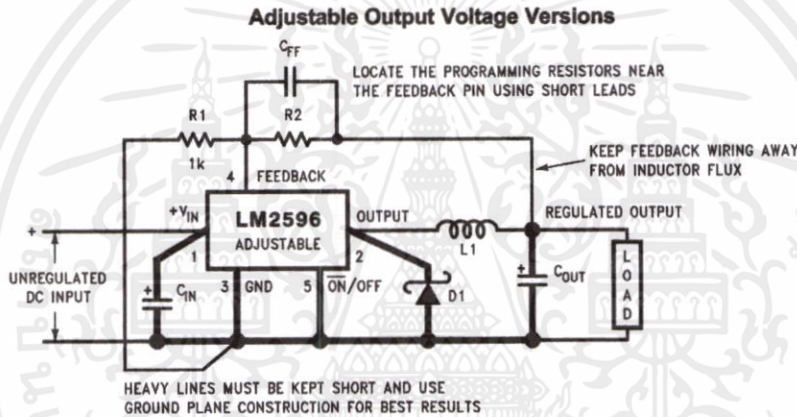
A: Output Voltage, 100 mV/div. (AC)  
 B: 500 mA to 2A Load Pulse

Figure 19. Horizontal Time Base: 200  $\mu s$ /div.

### Test Circuit and Layout Guidelines



- C<sub>IN</sub> —470 µF, 50V, Aluminum Electrolytic Nichicon "PL Series"
- C<sub>OUT</sub> —220 µF, 25V Aluminum Electrolytic, Nichicon "PL Series"
- D1 —5A, 40V Schottky Rectifier, 1N5825
- L1 —68 µH, L38



$$V_{OUT} = V_{REF} \left( 1 + \frac{R_2}{R_1} \right)$$

where  $V_{REF} = 1.23V$

$$R_2 = R_1 \left( \frac{V_{OUT}}{V_{REF}} - 1 \right)$$

Select R<sub>1</sub> to be approximately 1 kΩ, use a 1% resistor for best stability.

- C<sub>IN</sub> —470 µF, 50V, Aluminum Electrolytic Nichicon "PL Series"
- C<sub>OUT</sub> —220 µF, 35V Aluminum Electrolytic, Nichicon "PL Series"
- D1 —5A, 40V Schottky Rectifier, 1N5825
- L1 —68 µH, L38
- R1 —1 kΩ, 1%
- C<sub>FF</sub> —See Application Information Section

Figure 20. Standard Test Circuits and Layout Guides

As in any switching regulator, layout is very important. Rapidly switching currents associated with wiring inductance can generate voltage transients which can cause problems. For minimal inductance and ground loops, the wires indicated by **heavy lines should be wide printed circuit traces and should be kept as short as possible**. For best results, external components should be located as close to the switcher IC as possible using ground plane construction or single point grounding.

If **open core inductors are used**, special care must be taken as to the location and positioning of this type of inductor. Allowing the inductor flux to intersect sensitive feedback, IC groundpath and C<sub>OUT</sub> wiring can cause problems.

When using the adjustable version, special care must be taken as to the location of the feedback resistors and the associated wiring. Physically locate both resistors near the IC, and route the wiring away from the inductor, especially an open core type of inductor. (See Application Information section for more information.)

## LM2596 Series Buck Regulator Design Procedure (Fixed Output)

PROCEDURE (Fixed Output Voltage Version)	EXAMPLE (Fixed Output Voltage Version)
<p><b>Given:</b>  <math>V_{OUT}</math> = Regulated Output Voltage (3.3V, 5V or 12V)  <math>V_{IN(max)}</math> = Maximum DC Input Voltage  <math>I_{LOAD(max)}</math> = Maximum Load Current</p>	<p><b>Given:</b>  <math>V_{OUT}</math> = 5V  <math>V_{IN(max)}</math> = 12V  <math>I_{LOAD(max)}</math> = 3A</p>
<p><b>1. Inductor Selection (L1)</b></p> <p><b>A.</b> Select the correct inductor value selection guide from Figures <a href="#">Figure 21</a>, <a href="#">Figure 22</a>, or <a href="#">Figure 23</a>. (Output voltages of 3.3V, 5V, or 12V respectively.) For all other voltages, see the <a href="#">Design Procedure</a> for the adjustable version.</p> <p><b>B.</b> From the inductor value selection guide, identify the inductance region intersected by the Maximum Input Voltage line and the Maximum Load Current line. Each region is identified by an inductance value and an inductor code (LXX).</p> <p><b>C.</b> Select an appropriate inductor from the four manufacturer's part numbers listed in <a href="#">Table 3</a>.</p>	<p><b>1. Inductor Selection (L1)</b></p> <p><b>A.</b> Use the inductor selection guide for the 5V version shown in <a href="#">Figure 22</a>.</p> <p><b>B.</b> From the inductor value selection guide shown in <a href="#">Figure 22</a>, the inductance region intersected by the 12V horizontal line and the 3A vertical line is 33 <math>\mu</math>H, and the inductor code is L40.</p> <p><b>C.</b> The inductance value required is 33 <math>\mu</math>H. From the table in <a href="#">Table 3</a>, go to the L40 line and choose an inductor part number from any of the four manufacturers shown. (In most instance, both through hole and surface mount inductors are available.)</p>
<p><b>2. Output Capacitor Selection (C<sub>OUT</sub>)</b></p> <p><b>A.</b> In the majority of applications, low ESR (Equivalent Series Resistance) electrolytic capacitors between 82 <math>\mu</math>F and 820 <math>\mu</math>F and low ESR solid tantalum capacitors between 10 <math>\mu</math>F and 470 <math>\mu</math>F provide the best results. This capacitor should be located close to the IC using short capacitor leads and short copper traces. Do not use capacitors larger than 820 <math>\mu</math>F.</p> <p><b>For additional information, see section on output capacitors in <a href="#">Application Information</a> section.</b></p> <p><b>B.</b> To simplify the capacitor selection procedure, refer to the quick design component selection table shown in <a href="#">Table 1</a>. This table contains different input voltages, output voltages, and load currents, and lists various inductors and output capacitors that will provide the best design solutions.</p> <p><b>C.</b> The capacitor voltage rating for electrolytic capacitors should be at least 1.5 times greater than the output voltage, and often much higher voltage ratings are needed to satisfy the low ESR requirements for low output ripple voltage.</p> <p><b>D.</b> For computer aided design software, see Switchers Made Simple™ version 4.3 or later.</p>	<p><b>2. Output Capacitor Selection (C<sub>OUT</sub>)</b></p> <p><b>A. See section on output capacitors in <a href="#">Application Information</a> section.</b></p> <p><b>B.</b> From the quick design component selection table shown in <a href="#">Table 1</a>, locate the 5V output voltage section. In the load current column, choose the load current line that is closest to the current needed in your application, for this example, use the 3A line. In the maximum input voltage column, select the line that covers the input voltage needed in your application, in this example, use the 15V line. Continuing on this line are recommended inductors and capacitors that will provide the best overall performance.</p> <p>The capacitor list contains both through hole electrolytic and surface mount tantalum capacitors from four different capacitor manufacturers. It is recommended that both the manufacturers and the manufacturer's series that are listed in the table be used.</p> <p>In this example aluminum electrolytic capacitors from several different manufacturers are available with the range of ESR numbers needed.</p> <p>330 <math>\mu</math>F 35V Panasonic HFQ Series  330 <math>\mu</math>F 35V Nichicon PL Series</p> <p><b>C.</b> For a 5V output, a capacitor voltage rating at least 7.5V or more is needed. But even a low ESR, switching grade, 220 <math>\mu</math>F 10V aluminum electrolytic capacitor would exhibit approximately 225 m<math>\Omega</math> of ESR (see the curve in <a href="#">Figure 26</a> for the ESR vs voltage rating). This amount of ESR would result in relatively high output ripple voltage. To reduce the ripple to 1% of the output voltage, or less, a capacitor with a higher value or with a higher voltage rating (lower ESR) should be selected. A 16V or 25V capacitor will reduce the ripple voltage by approximately half.</p>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PROCEDURE (Fixed Output Voltage Version)	EXAMPLE (Fixed Output Voltage Version)
<p><b>3. Catch Diode Selection (D1)</b></p> <p><b>A.</b> The catch diode current rating must be at least 1.3 times greater than the maximum load current. Also, if the power supply design must withstand a continuous output short, the diode should have a current rating equal to the maximum current limit of the LM2596. The most stressful condition for this diode is an overload or shorted output condition.</p> <p><b>B.</b> The reverse voltage rating of the diode should be at least 1.25 times the maximum input voltage.</p> <p><b>C.</b> This diode must be fast (short reverse recovery time) and must be located close to the LM2596 using short leads and short printed circuit traces. Because of their fast switching speed and low forward voltage drop, Schottky diodes provide the best performance and efficiency, and should be the first choice, especially in low output voltage applications. Ultra-fast recovery, or High-Efficiency rectifiers also provide good results. Ultra-fast recovery diodes typically have reverse recovery times of 50 ns or less. Rectifiers such as the 1N5400 series are much too slow and should not be used.</p>	<p><b>3. Catch Diode Selection (D1)</b></p> <p><b>A.</b> Refer to the table shown in Table 6. In this example, a 5A, 20V, 1N5823 Schottky diode will provide the best performance, and will not be overstressed even for a shorted output.</p>
<p><b>4. Input Capacitor (C<sub>IN</sub>)</b></p> <p>A low ESR aluminum or tantalum bypass capacitor is needed between the input pin and ground pin to prevent large voltage transients from appearing at the input. This capacitor should be located close to the IC using short leads. In addition, the RMS current rating of the input capacitor should be selected to be at least ½ the DC load current. The capacitor manufacturers data sheet must be checked to assure that this current rating is not exceeded. The curve shown in Figure 25 shows typical RMS current ratings for several different aluminum electrolytic capacitor values.</p> <p>For an aluminum electrolytic, the capacitor voltage rating should be approximately 1.5 times the maximum input voltage. Caution must be exercised if solid tantalum capacitors are used (see Application Information on input capacitor). The tantalum capacitor voltage rating should be 2 times the maximum input voltage and it is recommended that they be surge current tested by the manufacturer.</p> <p>Use caution when using ceramic capacitors for input bypassing, because it may cause severe ringing at the V<sub>IN</sub> pin.</p> <p><b>For additional information, see section on input capacitors in Application Information section.</b></p>	<p><b>4. Input Capacitor (C<sub>IN</sub>)</b></p> <p>The important parameters for the Input capacitor are the input voltage rating and the RMS current rating. With a nominal input voltage of 12V, an aluminum electrolytic capacitor with a voltage rating greater than 18V (1.5 × V<sub>IN</sub>) would be needed. The next higher capacitor voltage rating is 25V.</p> <p>The RMS current rating requirement for the input capacitor in a buck regulator is approximately ½ the DC load current. In this example, with a 3A load, a capacitor with a RMS current rating of at least 1.5A is needed. The curves shown in Figure 25 can be used to select an appropriate input capacitor. From the curves, locate the 35V line and note which capacitor values have RMS current ratings greater than 1.5A. A 680 μF/35V capacitor could be used.</p> <p>For a through hole design, a 680 μF/35V electrolytic capacitor (Panasonic HFQ series or Nichicon PL series or equivalent) would be adequate. Other types or other manufacturers capacitors can be used provided the RMS ripple current ratings are adequate.</p> <p>For surface mount designs, solid tantalum capacitors can be used, but caution must be exercised with regard to the capacitor surge current rating (see Application Information on input capacitors in this data sheet). The TPS series available from AVX, and the 593D series from Sprague are both surge current tested.</p>

Table 1. LM2596 Fixed Voltage Quick Design Component Selection Table

Conditions			Inductor		Output Capacitor			
Output Voltage (V)	Load Current (A)	Max Input Voltage (V)	Inductance (μH)	Inductor (#)	Through Hole Electrolytic		Surface Mount Tantalum	
					Panasonic HFQ Series (μF/V)	Nichicon PL Series (μF/V)	AVX TPS Series (μF/V)	Sprague 595D Series (μF/V)
3.3	3	5	22	L41	470/25	560/16	330/6.3	390/6.3
		7	22	L41	560/35	560/35	330/6.3	390/6.3
		10	22	L41	680/35	680/35	330/6.3	390/6.3
		40	33	L40	560/35	470/35	330/6.3	390/6.3
	2	6	22	L33	470/25	470/35	330/6.3	390/6.3
		10	33	L32	330/35	330/35	330/6.3	390/6.3
		40	47	L39	330/35	270/50	220/10	330/10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Table 1. LM2596 Fixed Voltage Quick Design Component Selection Table (continued)**

Conditions			Inductor		Output Capacitor			
Output Voltage (V)	Load Current (A)	Max Input Voltage (V)	Inductance (μH)	Inductor (#)	Through Hole Electrolytic		Surface Mount Tantalum	
					Panasonic HFQ Series (μF/V)	Nichicon PL Series (μF/V)	AVX TPS Series (μF/V)	Sprague 595D Series (μF/V)
5	3	8	22	L41	470/25	560/16	220/10	330/10
		10	22	L41	560/25	560/25	220/10	330/10
		15	33	L40	330/35	330/35	220/10	330/10
		40	47	L39	330/35	270/35	220/10	330/10
	2	9	22	L33	470/25	560/16	220/10	330/10
		20	68	L38	180/35	180/35	100/10	270/10
		40	68	L38	180/35	180/35	100/10	270/10
12	3	15	22	L41	470/25	470/25	100/16	180/16
		18	33	L40	330/25	330/25	100/16	180/16
		30	68	L44	180/25	180/25	100/16	120/20
		40	68	L44	180/35	180/35	100/16	120/20
	2	15	33	L32	330/25	330/25	100/16	180/16
		20	68	L38	180/25	180/25	100/16	120/20
		40	150	L42	82/25	82/25	68/20	68/25

**LM2596 Series Buck Regulator Design Procedure (Adjustable Output)**

PROCEDURE (Adjustable Output Voltage Version)	EXAMPLE (Adjustable Output Voltage Version)
<p><b>Given:</b>  <math>V_{OUT}</math> = Regulated Output Voltage  <math>V_{IN(max)}</math> = Maximum Input Voltage  <math>I_{LOAD(max)}</math> = Maximum Load Current  <math>F</math> = Switching Frequency (Fixed at a nominal 150 kHz).</p>	<p><b>Given:</b>  <math>V_{OUT} = 20V</math>  <math>V_{IN(max)} = 28V</math>  <math>I_{LOAD(max)} = 3A</math>  <math>F</math> = Switching Frequency (Fixed at a nominal 150 kHz).</p>
<p><b>1. Programming Output Voltage</b> (Selecting <math>R_1</math> and <math>R_2</math>, as shown in Figure 20 )            Use the following formula to select the appropriate resistor values.</p> $V_{OUT} = V_{REF} \left( 1 + \frac{R_2}{R_1} \right) \quad \text{where } V_{REF} = 1.23V \quad (1)$ <p>Select a value for <math>R_1</math> between 240Ω and 1.5 kΩ. The lower resistor values minimize noise pickup in the sensitive feedback pin. (For the lowest temperature coefficient and the best stability with time, use 1% metal film resistors.)</p> $R_2 = R_1 \left( \frac{V_{OUT}}{V_{REF}} - 1 \right) \quad (2)$	<p><b>1. Programming Output Voltage</b> (Selecting <math>R_1</math> and <math>R_2</math>, as shown in Figure 20 )            Select <math>R_1</math> to be 1 kΩ, 1%. Solve for <math>R_2</math>.</p> $R_2 = R_1 \left( \frac{V_{OUT}}{V_{REF}} - 1 \right) = 1k \left( \frac{20V}{1.23V} - 1 \right) \quad (3)$ <p><math>R_2 = 1k (16.26 - 1) = 15.26k</math>, closest 1% value is 15.4 kΩ.  <math>R_2 = 15.4 kΩ</math>.</p>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PROCEDURE (Adjustable Output Voltage Version)	EXAMPLE (Adjustable Output Voltage Version)
<p><b>2. Inductor Selection (L1)</b></p> <p>A. Calculate the inductor Volt • microsecond constant E • T (V • μs), from the following formula:</p> $E \cdot T = (V_{IN} - V_{OUT} - V_{SAT}) \cdot \frac{V_{OUT} + V_D}{V_{IN} - V_{SAT} + V_D} \cdot \frac{1000}{150 \text{ kHz}} (V \cdot \mu s)$ <p>where</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• V<sub>SAT</sub> = internal switch saturation voltage = 1.16V</li> <li>• V<sub>D</sub> = diode forward voltage drop = 0.5V</li> </ul> <p>(4)</p> <p>B. Use the E • T value from the previous formula and match it with the E • T number on the vertical axis of the Inductor Value Selection Guide shown in Figure 24.</p> <p>C. on the horizontal axis, select the maximum load current.</p> <p>D. Identify the inductance region intersected by the E • T value and the Maximum Load Current value. Each region is identified by an inductance value and an inductor code (LXX).</p> <p>E. Select an appropriate inductor from the four manufacturer's part numbers listed in Table 3.</p>	<p><b>2. Inductor Selection (L1)</b></p> <p>A. Calculate the inductor Volt • microsecond constant (E • T),</p> $E \cdot T = (28 - 20 - 1.16) \cdot \frac{20 + 0.5}{28 - 1.16 + 0.5} \cdot \frac{1000}{150} (V \cdot \mu s)$ $E \cdot T = (6.84) \cdot \frac{20.5}{27.34} \cdot 6.67 (V \cdot \mu s) = 34.2 (V \cdot \mu s)$ <p>(5)</p> <p>B. E • T = 34.2 (V • μs)</p> <p>C. I<sub>LOAD(max)</sub> = 3A</p> <p>D. From the inductor value selection guide shown in Figure 24, the inductance region intersected by the 34 (V • μs) horizontal line and the 3A vertical line is 47 μH, and the inductor code is L39.</p> <p>E. From the table in Table 3, locate line L39, and select an inductor part number from the list of manufacturers part numbers.</p>
<p><b>3. Output Capacitor Selection (C<sub>OUT</sub>)</b></p> <p>A. In the majority of applications, low ESR electrolytic or solid tantalum capacitors between 82 μF and 820 μF provide the best results. This capacitor should be located close to the IC using short capacitor leads and short copper traces. Do not use capacitors larger than 820 μF. For additional information, see section on output capacitors in Application Information section.</p> <p>B. To simplify the capacitor selection procedure, refer to the quick design table shown in Table 2. This table contains different output voltages, and lists various output capacitors that will provide the best design solutions.</p> <p>C. The capacitor voltage rating should be at least 1.5 times greater than the output voltage, and often much higher voltage ratings are needed to satisfy the low ESR requirements needed for low output ripple voltage.</p>	<p><b>3. Output Capacitor Selection (C<sub>OUT</sub>)</b></p> <p>A. See section on C<sub>OUT</sub> in Application Information section.</p> <p>B. From the quick design table shown in Table 2, locate the output voltage column. From that column, locate the output voltage closest to the output voltage in your application. In this example, select the 24V line. Under the OUTPUT CAPACITOR section, select a capacitor from the list of through hole electrolytic or surface mount tantalum types from four different capacitor manufacturers. It is recommended that both the manufacturers and the manufacturers series that are listed in the table be used.</p> <p>In this example, through hole aluminum electrolytic capacitors from several different manufacturers are available.</p> <p>220 μF/35V Panasonic HFQ Series</p> <p>150 μF/35V Nichicon PL Series</p> <p>C. For a 20V output, a capacitor rating of at least 30V or more is needed. In this example, either a 35V or 50V capacitor would work. A 35V rating was chosen, although a 50V rating could also be used if a lower output ripple voltage is needed.</p> <p>Other manufacturers or other types of capacitors may also be used, provided the capacitor specifications (especially the 100 kHz ESR) closely match the types listed in the table. Refer to the capacitor manufacturers data sheet for this information.</p>
<p><b>4. Feedforward Capacitor (C<sub>FF</sub>)</b> (See Figure 20)</p> <p>For output voltages greater than approximately 10V, an additional capacitor is required. The compensation capacitor is typically between 100 pF and 33 nF, and is wired in parallel with the output voltage setting resistor, R<sub>2</sub>. It provides additional stability for high output voltages, low input-output voltages, and/or very low ESR output capacitors, such as solid tantalum capacitors.</p> $C_{FF} = \frac{1}{31 \times 10^3 \times R_2}$ <p>(6)</p> <p>This capacitor type can be ceramic, plastic, silver mica, etc. (Because of the unstable characteristics of ceramic capacitors made with Z5U material, they are not recommended.)</p>	<p><b>4. Feedforward Capacitor (C<sub>FF</sub>)</b></p> <p>The table shown in Table 2 contains feed forward capacitor values for various output voltages. In this example, a 560 pF capacitor is needed.</p>

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์ของบริษัท เซกซันเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PROCEDURE (Adjustable Output Voltage Version)	EXAMPLE (Adjustable Output Voltage Version)
<p><b>5. Catch Diode Selection (D1)</b></p> <p><b>A.</b> The catch diode current rating must be at least 1.3 times greater than the maximum load current. Also, if the power supply design must withstand a continuous output short, the diode should have a current rating equal to the maximum current limit of the LM2596. The most stressful condition for this diode is an overload or shorted output condition.</p> <p><b>B.</b> The reverse voltage rating of the diode should be at least 1.25 times the maximum input voltage.</p> <p><b>C.</b> This diode must be fast (short reverse recovery time) and must be located close to the LM2596 using short leads and short printed circuit traces. Because of their fast switching speed and low forward voltage drop, Schottky diodes provide the best performance and efficiency, and should be the first choice, especially in low output voltage applications. Ultra-fast recovery, or High-Efficiency rectifiers are also a good choice, but some types with an abrupt turn-off characteristic may cause instability or EMI problems. Ultra-fast recovery diodes typically have reverse recovery times of 50 ns or less. Rectifiers such as the 1N4001 series are much too slow and should not be used.</p>	<p><b>5. Catch Diode Selection (D1)</b></p> <p><b>A.</b> Refer to the table shown in <a href="#">Table 6</a>. Schottky diodes provide the best performance, and in this example a 5A, 40V, 1N5825 Schottky diode would be a good choice. The 5A diode rating is more than adequate and will not be overstressed even for a shorted output.</p>
<p><b>6. Input Capacitor (C<sub>IN</sub>)</b></p> <p>A low ESR aluminum or tantalum bypass capacitor is needed between the input pin and ground to prevent large voltage transients from appearing at the input. In addition, the RMS current rating of the input capacitor should be selected to be at least ½ the DC load current. The capacitor manufacturers data sheet must be checked to assure that this current rating is not exceeded. The curve shown in <a href="#">Figure 25</a> shows typical RMS current ratings for several different aluminum electrolytic capacitor values.</p> <p>This capacitor should be located close to the IC using short leads and the voltage rating should be approximately 1.5 times the maximum input voltage.</p> <p>If solid tantalum input capacitors are used, it is recommended that they be surge current tested by the manufacturer.</p> <p>Use caution when using a high dielectric constant ceramic capacitor for input bypassing, because it may cause severe ringing at the V<sub>IN</sub> pin.</p> <p><b>For additional information, see section on input capacitors in <a href="#">Application Information section</a>.</b></p>	<p><b>6. Input Capacitor (C<sub>IN</sub>)</b></p> <p>The important parameters for the input capacitor are the input voltage rating and the RMS current rating. With a nominal input voltage of 28V, an aluminum electrolytic aluminum electrolytic capacitor with a voltage rating greater than 42V (1.5 × V<sub>IN</sub>) would be needed. Since the the next higher capacitor voltage rating is 50V, a 50V capacitor should be used. The capacitor voltage rating of (1.5 × V<sub>IN</sub>) is a conservative guideline, and can be modified somewhat if desired.</p> <p>The RMS current rating requirement for the input capacitor of a buck regulator is approximately ½ the DC load current. In this example, with a 3A load, a capacitor with a RMS current rating of at least 1.5A is needed.</p> <p>The curves shown in <a href="#">Figure 25</a> can be used to select an appropriate input capacitor. From the curves, locate the 50V line and note which capacitor values have RMS current ratings greater than 1.5A. Either a 470 μF or 680 μF, 50V capacitor could be used.</p> <p>For a through hole design, a 680 μF/50V electrolytic capacitor (Panasonic HFQ series or Nichicon PL series or equivalent) would be adequate. Other types or other manufacturers capacitors can be used provided the RMS ripple current ratings are adequate.</p> <p>For surface mount designs, solid tantalum capacitors can be used, but caution must be exercised with regard to the capacitor surge current ring (see <a href="#">Application Information</a> or input capacitors in this data sheet). The TPS series available from AVX, and the 593D series from Sprague are both surge current tested.</p>
	<p><i>To further simplify the buck regulator design procedure, Texas Instruments is making available computer design software to be used with the Simple Switcher line of switching regulators. <b>Switchers Made Simple</b> (version 4.3 or later) is available on a 3½" diskette for IBM compatible computers.</i></p>

## LM2596 Series Buck Regulator Design Procedure (Adjustable Output)

**Table 2. Output Capacitor and Feedforward Capacitor Selection Table**

Output Voltage (V)	Through Hole Output Capacitor			Surface Mount Output Capacitor		
	Panasonic HFQ Series (μF/V)	Nichicon PL Series (μF/V)	Feedforward Capacitor	AVX TPS Series (μF/V)	Sprague 595D Series (μF/V)	Feedforward Capacitor
2	820/35	820/35	33 nF	330/6.3	470/4	33 nF
4	560/35	470/35	10 nF	330/6.3	390/6.3	10 nF
6	470/25	470/25	3.3 nF	220/10	330/10	3.3 nF

Table 2. Output Capacitor and Feedforward Capacitor Selection Table (continued)

Output Voltage (V)	Through Hole Output Capacitor			Surface Mount Output Capacitor		
	Panasonic HFQ Series (μF/V)	Nichicon PL Series (μF/V)	Feedforward Capacitor	AVX TPS Series (μF/V)	Sprague 595D Series (μF/V)	Feedforward Capacitor
9	330/25	330/25	1.5 nF	100/16	180/16	1.5 nF
12	330/25	330/25	1 nF	100/16	180/16	1 nF
15	220/35	220/35	680 pF	68/20	120/20	680 pF
24	220/35	150/35	560 pF	33/25	33/25	220 pF
28	100/50	100/50	390 pF	10/35	15/50	220 pF

LM2596 Series Buck Regulator Design Procedure

INDUCTOR VALUE SELECTION GUIDES

(For Continuous Mode Operation)

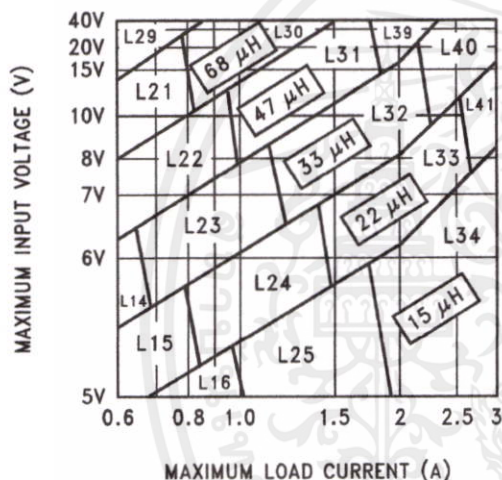


Figure 21. LM2596-3.3

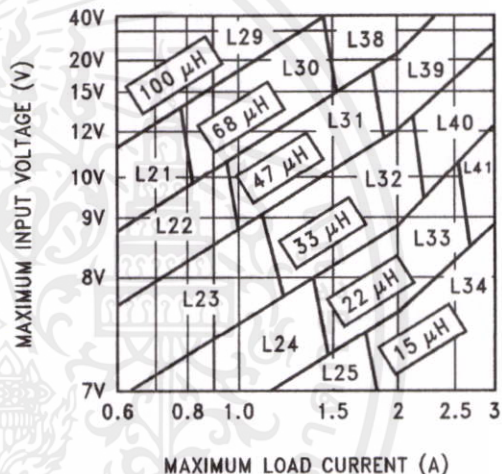


Figure 22. LM2596-5.0

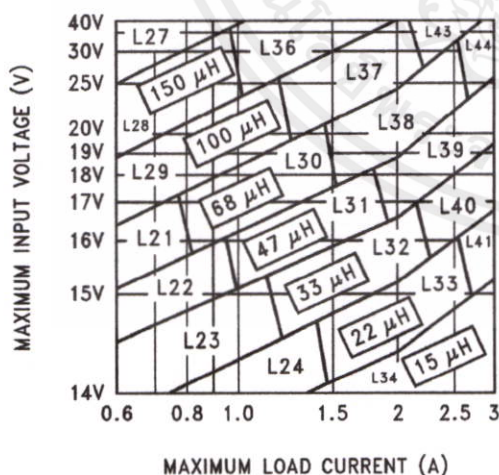


Figure 23. LM2596-12

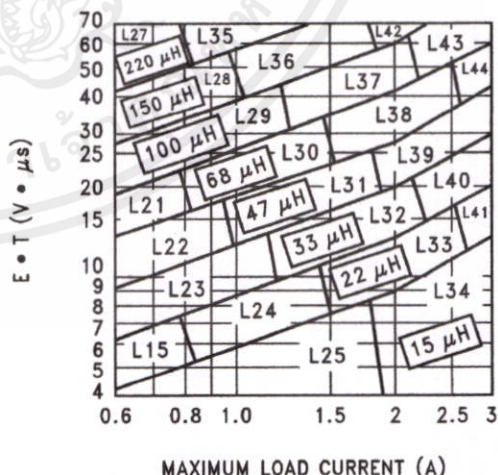


Figure 24. LM2596-ADJ

เอกสารนี้เป็นเอกสารของบริษัทฯ ที่มีการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำมาใช้เพื่อวัตถุประสงค์ทางการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Table 3. Inductor Manufacturers Part Numbers**

	Inductance ( $\mu$ H)	Current (A)	Schott		Renco		Pulse Engineering		Coilcraft
			Through Hole	Surface Mount	Through Hole	Surface Mount	Through Hole	Surface Mount	Surface Mount
L15	22	0.99	67148350	67148460	RL-1284-22-43	RL1500-22	PE-53815	PE-53815-S	DO3308-223
L21	68	0.99	67144070	67144450	RL-5471-5	RL1500-68	PE-53821	PE-53821-S	DO3316-683
L22	47	1.17	67144080	67144460	RL-5471-6	—	PE-53822	PE-53822-S	DO3316-473
L23	33	1.40	67144090	67144470	RL-5471-7	—	PE-53823	PE-53823-S	DO3316-333
L24	22	1.70	67148370	67148480	RL-1283-22-43	—	PE-53824	PE-53825-S	DO3316-223
L25	15	2.10	67148380	67148490	RL-1283-15-43	—	PE-53825	PE-53824-S	DO3316-153
L26	330	0.80	67144100	67144480	RL-5471-1	—	PE-53826	PE-53826-S	DO5022P-334
L27	220	1.00	67144110	67144490	RL-5471-2	—	PE-53827	PE-53827-S	DO5022P-224
L28	150	1.20	67144120	67144500	RL-5471-3	—	PE-53828	PE-53828-S	DO5022P-154
L29	100	1.47	67144130	67144510	RL-5471-4	—	PE-53829	PE-53829-S	DO5022P-104
L30	68	1.78	67144140	67144520	RL-5471-5	—	PE-53830	PE-53830-S	DO5022P-683
L31	47	2.20	67144150	67144530	RL-5471-6	—	PE-53831	PE-53831-S	DO5022P-473
L32	33	2.50	67144160	67144540	RL-5471-7	—	PE-53932	PE-53932-S	DO5022P-333
L33	22	3.10	67148390	67148500	RL-1283-22-43	—	PE-53933	PE-53933-S	DO5022P-223
L34	15	3.40	67148400	67148790	RL-1283-15-43	—	PE-53934	PE-53934-S	DO5022P-153
L35	220	1.70	67144170	—	RL-5473-1	—	PE-53935	PE-53935-S	—
L36	150	2.10	67144180	—	RL-5473-4	—	PE-54036	PE-54036-S	—
L37	100	2.50	67144190	—	RL-5472-1	—	PE-54037	PE-54037-S	—
L38	68	3.10	67144200	—	RL-5472-2	—	PE-54038	PE-54038-S	—
L39	47	3.50	67144210	—	RL-5472-3	—	PE-54039	PE-54039-S	—
L40	33	3.50	67144220	67148290	RL-5472-4	—	PE-54040	PE-54040-S	—
L41	22	3.50	67144230	67148300	RL-5472-5	—	PE-54041	PE-54041-S	—
L42	150	2.70	67148410	—	RL-5473-4	—	PE-54042	PE-54042-S	—
L43	100	3.40	67144240	—	RL-5473-2	—	PE-54043	—	—
L44	68	3.40	67144250	—	RL-5473-3	—	PE-54044	—	—

**Table 4. Inductor Manufacturers Phone Numbers**

<b>Coilcraft Inc.</b>	Phone	(800) 322-2645
	FAX	(708) 639-1469
<b>Coilcraft Inc., Europe</b>	Phone	+11 1236 730 595
	FAX	+44 1236 730 627
<b>Pulse Engineering Inc.</b>	Phone	(619) 674-8100
	FAX	(619) 674-8262
<b>Pulse Engineering Inc., Europe</b>	Phone	+353 93 24 107
	FAX	+353 93 24 459
<b>Renco Electronics Inc.</b>	Phone	(800) 645-5828
	FAX	(516) 586-5562
<b>Schott Corp.</b>	Phone	(612) 475-1173
	FAX	(612) 475-1786

**Table 5. Capacitor Manufacturers Phone Numbers**

<b>Nichicon Corp.</b>	Phone	(708) 843-7500
	FAX	(708) 843-2798
<b>Panasonic</b>	Phone	(714) 373-7857
	FAX	(714) 373-7102

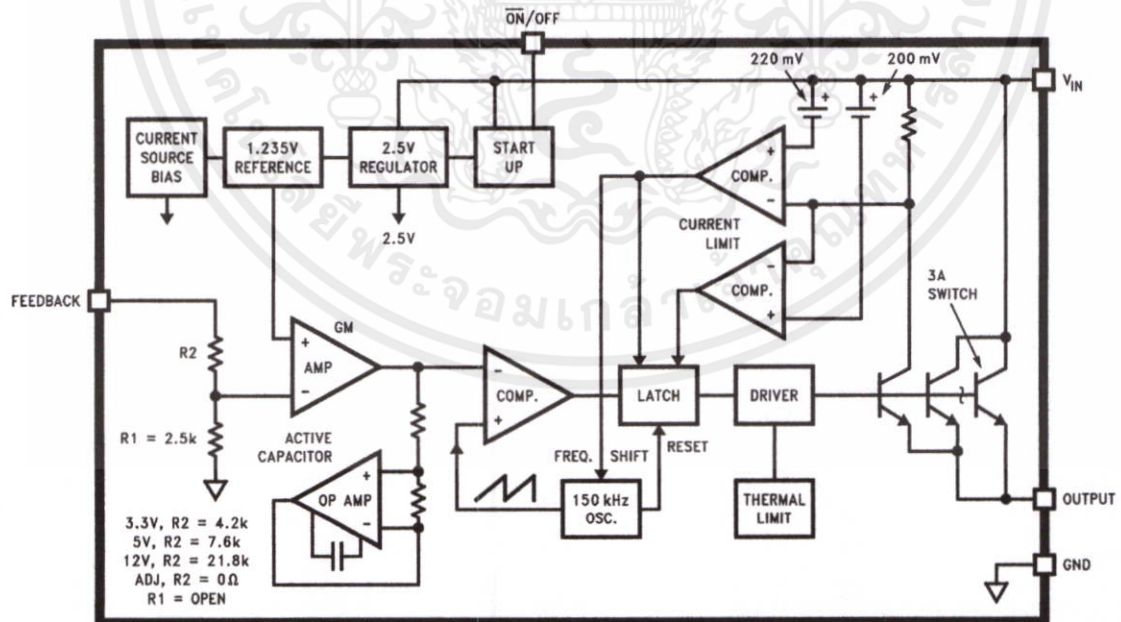
Table 5. Capacitor Manufacturers Phone Numbers (continued)

AVX Corp.	Phone	(803) 448-9411
	FAX	(803) 448-1943
Sprague/Vishay	Phone	(207) 324-4140
	FAX	(207) 324-7223

Table 6. Diode Selection Table

VR	3A Diodes				4A–6A Diodes			
	Surface Mount		Through Hole		Surface Mount		Through Hole	
	Schottky	Ultra Fast	Schottky	Ultra Fast	Schottky	Ultra Fast	Schottky	Ultra Fast
		Recovery		Recovery		Recovery		Recovery
20V		All of these diodes are rated to at least 50V.	1N5820	All of these diodes are rated to at least 50V.		All of these diodes are rated to at least 50V.	SR502	All of these diodes are rated to at least 50V.
	SK32		SR302				1N5823	
			MBR320				SB520	
30V	30WQ03	All of these diodes are rated to at least 50V.	1N5821	All of these diodes are rated to at least 50V.		All of these diodes are rated to at least 50V.	SR503	All of these diodes are rated to at least 50V.
	SK33		MBR330		50WQ03		1N5824	
			31DQ03				SB530	
			1N5822				SR504	
40V	SK34		SR304		50WQ04			
	MBRS340		MBR340				1N5825	
	30WQ04	MURS320	31DQ04	MUR320		MURS620	SB540	MUR620
50V	SK35	30WF10	SR305			50WF10		HER601
	or MBRS360		MBR350		50WQ05		SB550	
More	30WQ05		31DQ05				50SQ080	

Block Diagram



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## APPLICATION INFORMATION

**Table 7. PIN DESCRIPTIONS**

Name	Description
+V <sub>IN</sub>	This is the positive input supply for the IC switching regulator. A suitable input bypass capacitor must be present at this pin to minimize voltage transients and to supply the switching currents needed by the regulator.
Ground	Circuit ground.
Output	Internal switch. The voltage at this pin switches between (+V <sub>IN</sub> – V <sub>SAT</sub> ) and approximately –0.5V, with a duty cycle of approximately V <sub>OUT</sub> /V <sub>IN</sub> . To minimize coupling to sensitive circuitry, the PC board copper area connected to this pin should be kept to a minimum.
Feedback	Senses the regulated output voltage to complete the feedback loop.
$\overline{\text{ON}}$ /OFF	Allows the switching regulator circuit to be shut down using logic level signals thus dropping the total input supply current to approximately 80 $\mu\text{A}$ . Pulling this pin below a threshold voltage of approximately 1.3V turns the regulator on, and pulling this pin above 1.3V (up to a maximum of 25V) shuts the regulator down. If this shutdown feature is not needed, the ON /OFF pin can be wired to the ground pin or it can be left open, in either case the regulator will be in the ON condition.

## EXTERNAL COMPONENTS

### INPUT CAPACITOR

**C<sub>IN</sub>** — A low ESR aluminum or tantalum bypass capacitor is needed between the input pin and ground pin. It must be located near the regulator using short leads. This capacitor prevents large voltage transients from appearing at the input, and provides the instantaneous current needed each time the switch turns on.

The important parameters for the Input capacitor are the voltage rating and the RMS current rating. Because of the relatively high RMS currents flowing in a buck regulator's input capacitor, this capacitor should be chosen for its RMS current rating rather than its capacitance or voltage ratings, although the capacitance value and voltage rating are directly related to the RMS current rating.

The RMS current rating of a capacitor could be viewed as a capacitor's power rating. The RMS current flowing through the capacitor's internal ESR produces power which causes the internal temperature of the capacitor to rise. The RMS current rating of a capacitor is determined by the amount of current required to raise the internal temperature approximately 10°C above an ambient temperature of 105°C. The ability of the capacitor to dissipate this heat to the surrounding air will determine the amount of current the capacitor can safely sustain. Capacitors that are physically large and have a large surface area will typically have higher RMS current ratings. For a given capacitor value, a higher voltage electrolytic capacitor will be physically larger than a lower voltage capacitor, and thus be able to dissipate more heat to the surrounding air, and therefore will have a higher RMS current rating.

The consequences of operating an electrolytic capacitor above the RMS current rating is a shortened operating life. The higher temperature speeds up the evaporation of the capacitor's electrolyte, resulting in eventual failure.

Selecting an input capacitor requires consulting the manufacturer's data sheet for maximum allowable RMS ripple current. For a maximum ambient temperature of 40°C, a general guideline would be to select a capacitor with a ripple current rating of approximately 50% of the DC load current. For ambient temperatures up to 70°C, a current rating of 75% of the DC load current would be a good choice for a conservative design. The capacitor voltage rating must be at least 1.25 times greater than the maximum input voltage, and often a much higher voltage capacitor is needed to satisfy the RMS current requirements.

A graph shown in [Figure 25](#) shows the relationship between an electrolytic capacitor value, its voltage rating, and the RMS current it is rated for. These curves were obtained from the Nichicon "PL" series of low ESR, high reliability electrolytic capacitors designed for switching regulator applications. Other capacitor manufacturers offer similar types of capacitors, but always check the capacitor data sheet.

"Standard" electrolytic capacitors typically have much higher ESR numbers, lower RMS current ratings and typically have a shorter operating lifetime.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Because of their small size and excellent performance, surface mount solid tantalum capacitors are often used for input bypassing, but several precautions must be observed. A small percentage of solid tantalum capacitors can short if the inrush current rating is exceeded. This can happen at turn on when the input voltage is suddenly applied, and of course, higher input voltages produce higher inrush currents. Several capacitor manufacturers do a 100% surge current testing on their products to minimize this potential problem. If high turn on currents are expected, it may be necessary to limit this current by adding either some resistance or inductance before the tantalum capacitor, or select a higher voltage capacitor. As with aluminum electrolytic capacitors, the RMS ripple current rating must be sized to the load current.

### FEEDFORWARD CAPACITOR (Adjustable Output Voltage Version)

$C_{FF}$  — A Feedforward Capacitor  $C_{FF}$ , shown across R2 in Figure 20 is used when the output voltage is greater than 10V or when  $C_{OUT}$  has a very low ESR. This capacitor adds lead compensation to the feedback loop and increases the phase margin for better loop stability. For  $C_{FF}$  selection, see the [Design Procedure](#) section.

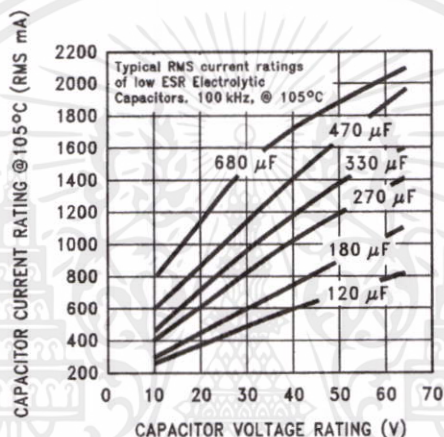


Figure 25. RMS Current Ratings for Low ESR Electrolytic Capacitors (Typical)

### OUTPUT CAPACITOR

$C_{OUT}$  — An output capacitor is required to filter the output and provide regulator loop stability. Low impedance or low ESR Electrolytic or solid tantalum capacitors designed for switching regulator applications must be used. When selecting an output capacitor, the important capacitor parameters are; the 100 kHz Equivalent Series Resistance (ESR), the RMS ripple current rating, voltage rating, and capacitance value. For the output capacitor, the ESR value is the most important parameter.

The output capacitor requires an ESR value that has an upper and lower limit. For low output ripple voltage, a low ESR value is needed. This value is determined by the maximum allowable output ripple voltage, typically 1% to 2% of the output voltage. But if the selected capacitor's ESR is extremely low, there is a possibility of an unstable feedback loop, resulting in an oscillation at the output. Using the capacitors listed in the tables, or similar types, will provide design solutions under all conditions.

If very low output ripple voltage (less than 15 mV) is required, refer to the section on [OUTPUT VOLTAGE RIPPLE AND TRANSIENTS](#) for a post ripple filter.

An aluminum electrolytic capacitor's ESR value is related to the capacitance value and its voltage rating. In most cases, higher voltage electrolytic capacitors have lower ESR values (see Figure 26 ). Often, capacitors with much higher voltage ratings may be needed to provide the low ESR values required for low output ripple voltage.

The output capacitor for many different switcher designs often can be satisfied with only three or four different capacitor values and several different voltage ratings. See the quick design component selection tables in [Table 1](#) and [4](#) for typical capacitor values, voltage ratings, and manufacturers capacitor types.

Electrolytic capacitors are not recommended for temperatures below  $-25^{\circ}\text{C}$ . The ESR rises dramatically at cold temperatures and typically rises 3X @  $-25^{\circ}\text{C}$  and as much as 10X at  $-40^{\circ}\text{C}$ . See curve shown in [Figure 27](#).

Solid tantalum capacitors have a much better ESR spec for cold temperatures and are recommended for temperatures below  $-25^{\circ}\text{C}$ .

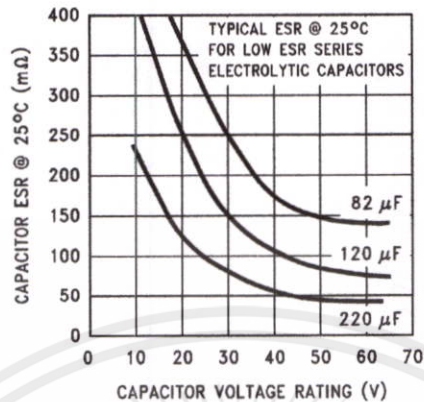


Figure 26. Capacitor ESR vs Capacitor Voltage Rating (Typical Low ESR Electrolytic Capacitor)

## CATCH DIODE

Buck regulators require a diode to provide a return path for the inductor current when the switch turns off. This must be a fast diode and must be located close to the LM2596 using short leads and short printed circuit traces.

Because of their very fast switching speed and low forward voltage drop, Schottky diodes provide the best performance, especially in low output voltage applications (5V and lower). Ultra-fast recovery, or High-Efficiency rectifiers are also a good choice, but some types with an abrupt turnoff characteristic may cause instability or EMI problems. Ultra-fast recovery diodes typically have reverse recovery times of 50 ns or less. Rectifiers such as the 1N5400 series are much too slow and should not be used.

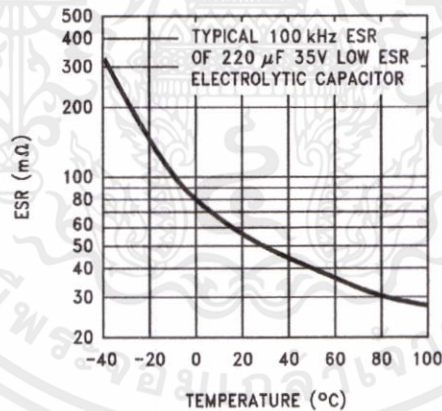


Figure 27. Capacitor ESR Change vs Temperature

## INDUCTOR SELECTION

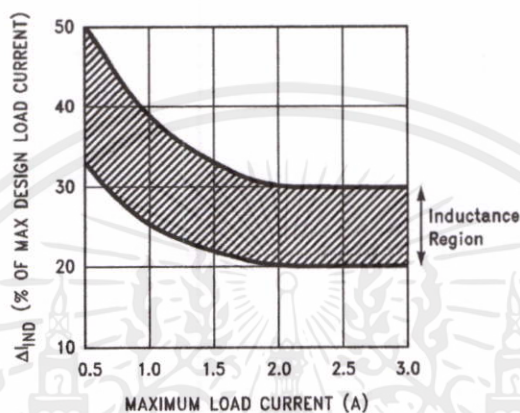
All switching regulators have two basic modes of operation; continuous and discontinuous. The difference between the two types relates to the inductor current, whether it is flowing continuously, or if it drops to zero for a period of time in the normal switching cycle. Each mode has distinctively different operating characteristics, which can affect the regulators performance and requirements. Most switcher designs will operate in the discontinuous mode when the load current is low.

The LM2596 (or any of the Simple Switcher family) can be used for both continuous or discontinuous modes of operation.

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

In many cases the preferred mode of operation is the continuous mode. It offers greater output power, lower peak switch, inductor and diode currents, and can have lower output ripple voltage. But it does require larger inductor values to keep the inductor current flowing continuously, especially at low output load currents and/or high input voltages.

To simplify the inductor selection process, an inductor selection guide (nomograph) was designed (see Figure 21 through 8). This guide assumes that the regulator is operating in the continuous mode, and selects an inductor that will allow a peak-to-peak inductor ripple current to be a certain percentage of the maximum design load current. This peak-to-peak inductor ripple current percentage is not fixed, but is allowed to change as different design load currents are selected. (See Figure 28.)



**Figure 28. ( $\Delta I_{IND}$ ) Peak-to-Peak Inductor Ripple Current (as a Percentage of the Load Current) vs Load Current**

By allowing the percentage of inductor ripple current to increase for low load currents, the inductor value and size can be kept relatively low.

When operating in the continuous mode, the inductor current waveform ranges from a triangular to a sawtooth type of waveform (depending on the input voltage), with the average value of this current waveform equal to the DC output load current.

Inductors are available in different styles such as pot core, toroid, E-core, bobbin core, etc., as well as different core materials, such as ferrites and powdered iron. The least expensive, the bobbin, rod or stick core, consists of wire wound on a ferrite bobbin. This type of construction makes for an inexpensive inductor, but since the magnetic flux is not completely contained within the core, it generates more Electro-Magnetic Interference (EMI). This magnetic flux can induce voltages into nearby printed circuit traces, thus causing problems with both the switching regulator operation and nearby sensitive circuitry, and can give incorrect scope readings because of induced voltages in the scope probe. Also see section on [OPEN CORE INDUCTORS](#).

When multiple switching regulators are located on the same PC board, open core magnetics can cause interference between two or more of the regulator circuits, especially at high currents. A toroid or E-core inductor (closed magnetic structure) should be used in these situations.

The inductors listed in the selection chart include ferrite E-core construction for Schott, ferrite bobbin core for Renco and Coilcraft, and powdered iron toroid for Pulse Engineering.

Exceeding an inductor's maximum current rating may cause the inductor to overheat because of the copper wire losses, or the core may saturate. If the inductor begins to saturate, the inductance decreases rapidly and the inductor begins to look mainly resistive (the DC resistance of the winding). This can cause the switch current to rise very rapidly and force the switch into a cycle-by-cycle current limit, thus reducing the DC output load current. This can also result in overheating of the inductor and/or the LM2596. Different inductor types have different saturation characteristics, and this should be kept in mind when selecting an inductor.

The inductor manufacturer's data sheets include current and energy limits to avoid inductor saturation.

## DISCONTINUOUS MODE OPERATION

The selection guide chooses inductor values suitable for continuous mode operation, but for low current applications and/or high input voltages, a discontinuous mode design may be a better choice. It would use an inductor that would be physically smaller, and would need only one half to one third the inductance value needed for a continuous mode design. The peak switch and inductor currents will be higher in a discontinuous design, but at these low load currents (1A and below), the maximum switch current will still be less than the switch current limit.

Discontinuous operation can have voltage waveforms that are considerable different than a continuous design. The output pin (switch) waveform can have some damped sinusoidal ringing present. (See [Typical Performance Characteristics](#) photo titled Discontinuous Mode Switching Waveforms) This ringing is normal for discontinuous operation, and is not caused by feedback loop instabilities. In discontinuous operation, there is a period of time where neither the switch or the diode are conducting, and the inductor current has dropped to zero. During this time, a small amount of energy can circulate between the inductor and the switch/diode parasitic capacitance causing this characteristic ringing. Normally this ringing is not a problem, unless the amplitude becomes great enough to exceed the input voltage, and even then, there is very little energy present to cause damage.

Different inductor types and/or core materials produce different amounts of this characteristic ringing. Ferrite core inductors have very little core loss and therefore produce the most ringing. The higher core loss of powdered iron inductors produce less ringing. If desired, a series RC could be placed in parallel with the inductor to dampen the ringing. The computer aided design software *Switchers Made Simple* (version 4.3) will provide all component values for continuous and discontinuous modes of operation.

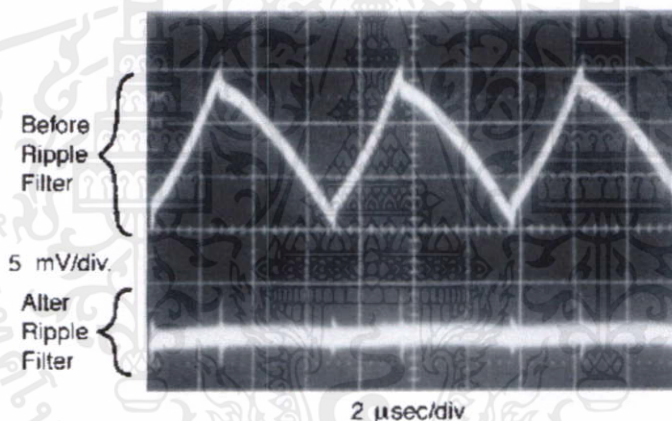


Figure 29. Post Ripple Filter Waveform

## OUTPUT VOLTAGE RIPPLE AND TRANSIENTS

The output voltage of a switching power supply operating in the continuous mode will contain a sawtooth ripple voltage at the switcher frequency, and may also contain short voltage spikes at the peaks of the sawtooth waveform.

The output ripple voltage is a function of the inductor sawtooth ripple current and the ESR of the output capacitor. A typical output ripple voltage can range from approximately 0.5% to 3% of the output voltage. To obtain low ripple voltage, the ESR of the output capacitor must be low, however, caution must be exercised when using extremely low ESR capacitors because they can affect the loop stability, resulting in oscillation problems. If very low output ripple voltage is needed (less than 20 mV), a post ripple filter is recommended. (See [Figure 20](#).) The inductance required is typically between 1  $\mu\text{H}$  and 5  $\mu\text{H}$ , with low DC resistance, to maintain good load regulation. A low ESR output filter capacitor is also required to assure good dynamic load response and ripple reduction. The ESR of this capacitor may be as low as desired, because it is out of the regulator feedback loop. The photo shown in [Figure 29](#) shows a typical output ripple voltage, with and without a post ripple filter.

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

When observing output ripple with a scope, it is essential that a short, low inductance scope probe ground connection be used. Most scope probe manufacturers provide a special probe terminator which is soldered onto the regulator board, preferable at the output capacitor. This provides a very short scope ground thus eliminating the problems associated with the 3 inch ground lead normally provided with the probe, and provides a much cleaner and more accurate picture of the ripple voltage waveform.

The voltage spikes are caused by the fast switching action of the output switch and the diode, and the parasitic inductance of the output filter capacitor, and its associated wiring. To minimize these voltage spikes, the output capacitor should be designed for switching regulator applications, and the lead lengths must be kept very short. Wiring inductance, stray capacitance, as well as the scope probe used to evaluate these transients, all contribute to the amplitude of these spikes.

When a switching regulator is operating in the continuous mode, the inductor current waveform ranges from a triangular to a sawtooth type of waveform (depending on the input voltage). For a given input and output voltage, the peak-to-peak amplitude of this inductor current waveform remains constant. As the load current increases or decreases, the entire sawtooth current waveform also rises and falls. The average value (or the center) of this current waveform is equal to the DC load current.

If the load current drops to a low enough level, the bottom of the sawtooth current waveform will reach zero, and the switcher will smoothly change from a continuous to a discontinuous mode of operation. Most switcher designs (irregardless how large the inductor value is) will be forced to run discontinuous if the output is lightly loaded. This is a perfectly acceptable mode of operation.

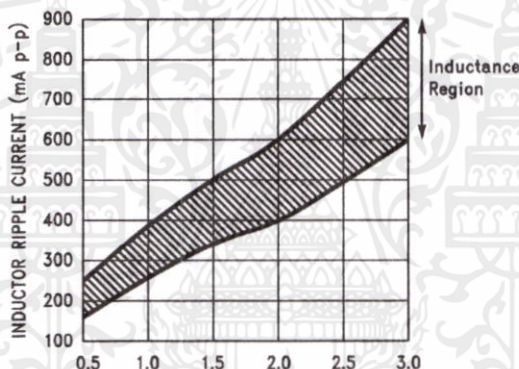


Figure 30. Peak-to-Peak Inductor Ripple Current vs Load Current

In a switching regulator design, knowing the value of the peak-to-peak inductor ripple current ( $\Delta I_{IND}$ ) can be useful for determining a number of other circuit parameters. Parameters such as, peak inductor or peak switch current, minimum load current before the circuit becomes discontinuous, output ripple voltage and output capacitor ESR can all be calculated from the peak-to-peak  $\Delta I_{IND}$ . When the inductor nomographs shown in Figure 21 through 8 are used to select an inductor value, the peak-to-peak inductor ripple current can immediately be determined. The curve shown in Figure 30 shows the range of ( $\Delta I_{IND}$ ) that can be expected for different load currents. The curve also shows how the peak-to-peak inductor ripple current ( $\Delta I_{IND}$ ) changes as you go from the lower border to the upper border (for a given load current) within an inductance region. The upper border represents a higher input voltage, while the lower border represents a lower input voltage (see Inductor Selection Guides section).

These curves are only correct for continuous mode operation, and only if the inductor selection guides are used to select the inductor value

Consider the following example:

$V_{OUT} = 5V$ , maximum load current of 2.5A

$V_{IN} = 12V$ , nominal, varying between 10V and 16V.

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

The selection guide in Figure 22 shows that the vertical line for a 2.5A load current, and the horizontal line for the 12V input voltage intersect approximately midway between the upper and lower borders of the 33  $\mu\text{H}$  inductance region. A 33  $\mu\text{H}$  inductor will allow a peak-to-peak inductor current ( $\Delta I_{\text{IND}}$ ) to flow that will be a percentage of the maximum load current. Referring to Figure 30, follow the 2.5A line approximately midway into the inductance region, and read the peak-to-peak inductor ripple current ( $\Delta I_{\text{IND}}$ ) on the left hand axis (approximately 620 mA p-p).

As the input voltage increases to 16V, it approaches the upper border of the inductance region, and the inductor ripple current increases. Referring to the curve in Figure 30, it can be seen that for a load current of 2.5A, the peak-to-peak inductor ripple current ( $\Delta I_{\text{IND}}$ ) is 620 mA with 12V in, and can range from 740 mA at the upper border (16V in) to 500 mA at the lower border (10V in).

Once the  $\Delta I_{\text{IND}}$  value is known, the following formulas can be used to calculate additional information about the switching regulator circuit.

1. Peak Inductor or peak switch current =  $\left( I_{\text{LOAD}} + \frac{\Delta I_{\text{IND}}}{2} \right) = \left( 2.5\text{A} + \frac{0.62}{2} \right) = 2.81\text{A}$
2. Minimum load current before the circuit becomes discontinuous =  $\frac{\Delta I_{\text{IND}}}{2} = \frac{0.62}{2} = 0.31\text{A}$
3. Output Ripple Voltage =  $(\Delta I_{\text{IND}}) \times (\text{ESR of } C_{\text{OUT}}) = 0.62\text{A} \times 0.1\Omega = 62 \text{ mV p-p}$
- 4.

$$\begin{aligned} \text{ESR of } C_{\text{OUT}} &= \frac{\text{Output Ripple Voltage } (\Delta V_{\text{OUT}})}{\Delta I_{\text{IND}}} \\ &= \frac{0.062\text{V}}{0.62\text{A}} = 0.1\Omega \end{aligned}$$

## OPEN CORE INDUCTORS

Another possible source of increased output ripple voltage or unstable operation is from an open core inductor. Ferrite bobbin or stick inductors have magnetic lines of flux flowing through the air from one end of the bobbin to the other end. These magnetic lines of flux will induce a voltage into any wire or PC board copper trace that comes within the inductor's magnetic field. The strength of the magnetic field, the orientation and location of the PC copper trace to the magnetic field, and the distance between the copper trace and the inductor, determine the amount of voltage generated in the copper trace. Another way of looking at this inductive coupling is to consider the PC board copper trace as one turn of a transformer (secondary) with the inductor winding as the primary. Many millivolts can be generated in a copper trace located near an open core inductor which can cause stability problems or high output ripple voltage problems.

If unstable operation is seen, and an open core inductor is used, it's possible that the location of the inductor with respect to other PC traces may be the problem. To determine if this is the problem, temporarily raise the inductor away from the board by several inches and then check circuit operation. If the circuit now operates correctly, then the magnetic flux from the open core inductor is causing the problem. Substituting a closed core inductor such as a toroid or E-core will correct the problem, or re-arranging the PC layout may be necessary. Magnetic flux cutting the IC device ground trace, feedback trace, or the positive or negative traces of the output capacitor should be minimized.

Sometimes, locating a trace directly beneath a bobbin inductor will provide good results, provided it is exactly in the center of the inductor (because the induced voltages cancel themselves out), but if it is off center one direction or the other, then problems could arise. If flux problems are present, even the direction of the inductor winding can make a difference in some circuits.

This discussion on open core inductors is not to frighten the user, but to alert the user on what kind of problems to watch out for when using them. Open core bobbin or "stick" inductors are an inexpensive, simple way of making a compact efficient inductor, and they are used by the millions in many different applications.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## THERMAL CONSIDERATIONS

The LM2596 is available in two packages, a 5-pin TO-220 (T) and a 5-pin surface mount TO-263 (S).

The TO-220 package needs a heat sink under most conditions. The size of the heatsink depends on the input voltage, the output voltage, the load current and the ambient temperature. The curves in [Figure 31](#) show the LM2596T junction temperature rises above ambient temperature for a 3A load and different input and output voltages. The data for these curves was taken with the LM2596T (TO-220 package) operating as a buck switching regulator in an ambient temperature of 25°C (still air). These temperature rise numbers are all approximate and there are many factors that can affect these temperatures. Higher ambient temperatures require more heat sinking.

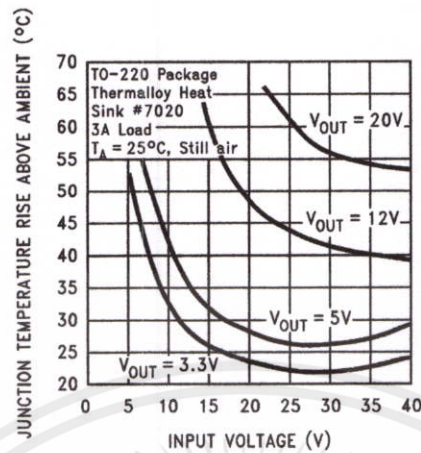
The TO-263 surface mount package tab is designed to be soldered to the copper on a printed circuit board. The copper and the board are the heat sink for this package and the other heat producing components, such as the catch diode and inductor. The PC board copper area that the package is soldered to should be at least 0.4 in<sup>2</sup>, and ideally should have 2 or more square inches of 2 oz. (0.0028 in.) copper. Additional copper area improves the thermal characteristics, but with copper areas greater than approximately 6 in<sup>2</sup>, only small improvements in heat dissipation are realized. If further thermal improvements are needed, double sided, multilayer PC board with large copper areas and/or airflow are recommended.

The curves shown in [Figure 32](#) show the LM2596S (TO-263 package) junction temperature rise above ambient temperature with a 2A load for various input and output voltages. This data was taken with the circuit operating as a buck switching regulator with all components mounted on a PC board to simulate the junction temperature under actual operating conditions. This curve can be used for a quick check for the approximate junction temperature for various conditions, but be aware that there are many factors that can affect the junction temperature. When load currents higher than 2A are used, double sided or multilayer PC boards with large copper areas and/or airflow might be needed, especially for high ambient temperatures and high output voltages.

For the best thermal performance, wide copper traces and generous amounts of printed circuit board copper should be used in the board layout. (One exception to this is the output (switch) pin, which should **not** have large areas of copper.) Large areas of copper provide the best transfer of heat (lower thermal resistance) to the surrounding air, and moving air lowers the thermal resistance even further.

Package thermal resistance and junction temperature rise numbers are all approximate, and there are many factors that will affect these numbers. Some of these factors include board size, shape, thickness, position, location, and even board temperature. Other factors are, trace width, total printed circuit copper area, copper thickness, single- or double-sided, multilayer board and the amount of solder on the board. The effectiveness of the PC board to dissipate heat also depends on the size, quantity and spacing of other components on the board, as well as whether the surrounding air is still or moving. Furthermore, some of these components such as the catch diode will add heat to the PC board and the heat can vary as the input voltage changes. For the inductor, depending on the physical size, type of core material and the DC resistance, it could either act as a heat sink taking heat away from the board, or it could add heat to the board.

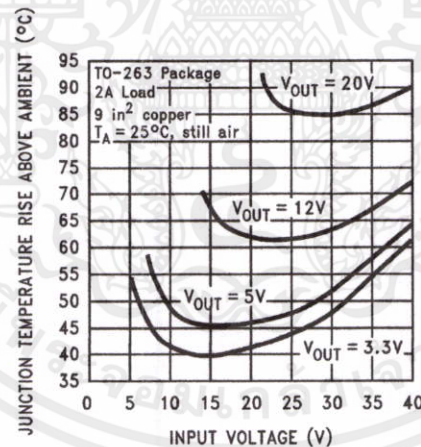
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Circuit Data for Temperature Rise Curve  
TO-220 Package (T)

Capacitors	Through hole electrolytic
Inductor	Through hole, Renco
Diode	Through hole, 5A 40V, Schottky
PC board	3 square inches single sided 2 oz. copper (0.0028")

Figure 31. Junction Temperature Rise, TO-220



Circuit Data for Temperature Rise Curve  
TO-263 Package (S)

Capacitors	Surface mount tantalum, molded "D" size
Inductor	Surface mount, Pulse Engineering, 68 $\mu$ H
Diode	Surface mount, 5A 40V, Schottky
PC board	9 square inches single sided 2 oz. copper (0.0028")

Figure 32. Junction Temperature Rise, TO-263

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

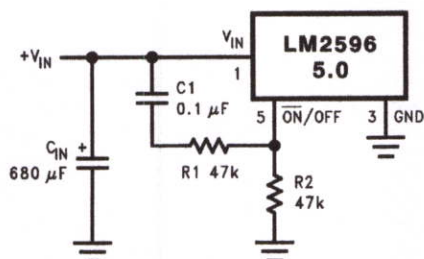


Figure 33. Delayed Startup

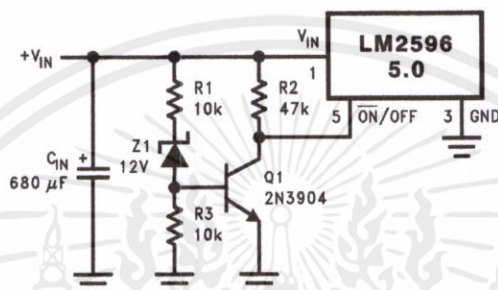


Figure 34. Undervoltage Lockout for Buck Regulator

## DELAYED STARTUP

The circuit in Figure 33 uses the the  $\overline{\text{ON}}/\text{OFF}$  pin to provide a time delay between the time the input voltage is applied and the time the output voltage comes up (only the circuitry pertaining to the delayed start up is shown). As the input voltage rises, the charging of capacitor C1 pulls the  $\overline{\text{ON}}/\text{OFF}$  pin high, keeping the regulator off. Once the input voltage reaches its final value and the capacitor stops charging, and resistor R<sub>2</sub> pulls the  $\overline{\text{ON}}/\text{OFF}$  pin low, thus allowing the circuit to start switching. Resistor R<sub>1</sub> is included to limit the maximum voltage applied to the  $\overline{\text{ON}}/\text{OFF}$  pin (maximum of 25V), reduces power supply noise sensitivity, and also limits the capacitor, C1, discharge current. When high input ripple voltage exists, avoid long delay time, because this ripple can be coupled into the  $\overline{\text{ON}}/\text{OFF}$  pin and cause problems.

This delayed startup feature is useful in situations where the input power source is limited in the amount of current it can deliver. It allows the input voltage to rise to a higher voltage before the regulator starts operating. Buck regulators require less input current at higher input voltages.

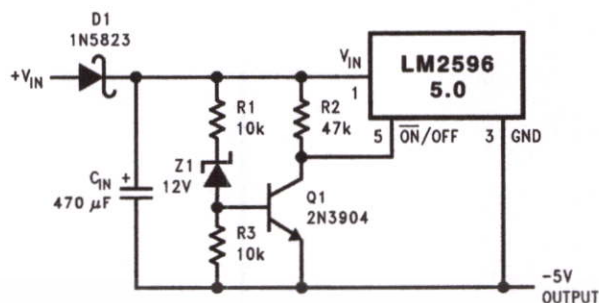
## UNDERVOLTAGE LOCKOUT

Some applications require the regulator to remain off until the input voltage reaches a predetermined voltage. An undervoltage lockout feature applied to a buck regulator is shown in Figure 34, while Figure 35 and Figure 36 applies the same feature to an inverting circuit. The circuit in Figure 35 features a constant threshold voltage for turn on and turn off (zener voltage plus approximately one volt). If hysteresis is needed, the circuit in Figure 36 has a turn ON voltage which is different than the turn OFF voltage. The amount of hysteresis is approximately equal to the value of the output voltage. If zener voltages greater than 25V are used, an additional 47 kΩ resistor is needed from the  $\overline{\text{ON}}/\text{OFF}$  pin to the ground pin to stay within the 25V maximum limit of the  $\overline{\text{ON}}/\text{OFF}$  pin.

## INVERTING REGULATOR

The circuit in Figure 37 converts a positive input voltage to a negative output voltage with a common ground. The circuit operates by bootstrapping the regulator's ground pin to the negative output voltage, then grounding the feedback pin, the regulator senses the inverted output voltage and regulates it.

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



This circuit has an ON/OFF threshold of approximately 13V.

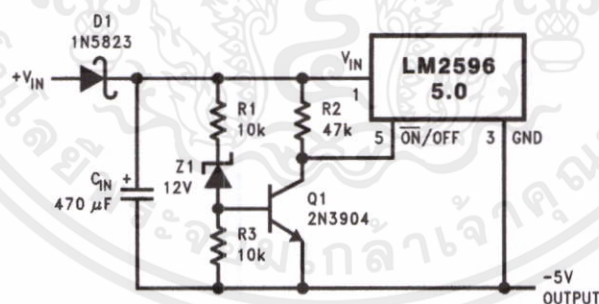
**Figure 35. Undervoltage Lockout for Inverting Regulator**

This example uses the LM2596-5.0 to generate a -5V output, but other output voltages are possible by selecting other output voltage versions, including the adjustable version. Since this regulator topology can produce an output voltage that is either greater than or less than the input voltage, the maximum output current greatly depends on both the input and output voltage. The curve shown in Figure 38 provides a guide as to the amount of output load current possible for the different input and output voltage conditions.

The maximum voltage appearing across the regulator is the absolute sum of the input and output voltage, and this must be limited to a maximum of 40V. For example, when converting +20V to -12V, the regulator would see 32V between the input pin and ground pin. The LM2596 has a maximum input voltage spec of 40V.

Additional diodes are required in this regulator configuration. Diode D1 is used to isolate input voltage ripple or noise from coupling through the  $C_{IN}$  capacitor to the output, under light or no load conditions. Also, this diode isolation changes the topology to closely resemble a buck configuration thus providing good closed loop stability. A Schottky diode is recommended for low input voltages, (because of its lower voltage drop) but for higher input voltages, a fast recovery diode could be used.

Without diode D3, when the input voltage is first applied, the charging current of  $C_{IN}$  can pull the output positive by several volts for a short period of time. Adding D3 prevents the output from going positive by more than a diode voltage.



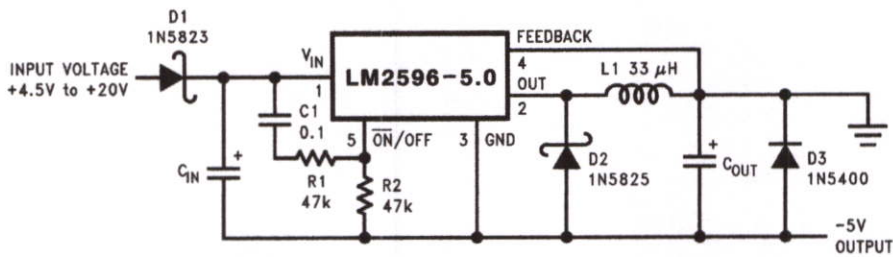
This circuit has hysteresis

Regulator starts switching at  $V_{IN} = 13V$

Regulator stops switching at  $V_{IN} = 8V$

**Figure 36. Undervoltage Lockout with Hysteresis for Inverting Regulator**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



- C<sub>IN</sub> —68 μF/25V Tant. Sprague 595D
- 470 μF/50V Elec. Panasonic HFQ
- C<sub>OUT</sub> —47 μF/20V Tant. Sprague 595D
- 220 μF/25V Elec. Panasonic HFQ

Figure 37. Inverting -5V Regulator with Delayed Startup

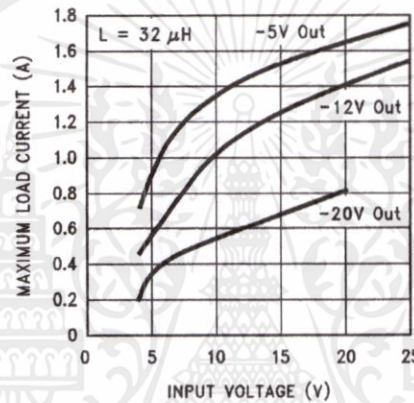


Figure 38. Inverting Regulator Typical Load Current

Because of differences in the operation of the inverting regulator, the standard design procedure is not used to select the inductor value. In the majority of designs, a 33 μH, 3.5A inductor is the best choice. Capacitor selection can also be narrowed down to just a few values. Using the values shown in Figure 37 will provide good results in the majority of inverting designs.

This type of inverting regulator can require relatively large amounts of input current when starting up, even with light loads. Input currents as high as the LM2596 current limit (approx 4.5A) are needed for at least 2 ms or more, until the output reaches its nominal output voltage. The actual time depends on the output voltage and the size of the output capacitor. Input power sources that are current limited or sources that can not deliver these currents without getting loaded down, may not work correctly. Because of the relatively high startup currents required by the inverting topology, the delayed startup feature (C1, R1 and R2) shown in Figure 37 is recommended. By delaying the regulator startup, the input capacitor is allowed to charge up to a higher voltage before the switcher begins operating. A portion of the high input current needed for startup is now supplied by the input capacitor (C<sub>IN</sub>). For severe start up conditions, the input capacitor can be made much larger than normal.

### INVERTING REGULATOR SHUTDOWN METHODS

To use the  $\overline{\text{ON}}/\text{OFF}$  pin in a standard buck configuration is simple, pull it below 1.3V (@25°C, referenced to ground) to turn regulator ON, pull it above 1.3V to shut the regulator OFF. With the inverting configuration, some level shifting is required, because the ground pin of the regulator is no longer at ground, but is now setting at the negative output voltage level. Two different shutdown methods for inverting regulators are shown in Figure 39 and Figure 40.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

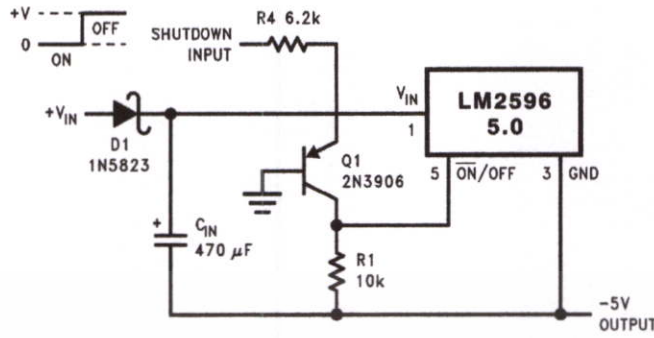


Figure 39. Inverting Regulator Ground Referenced Shutdown

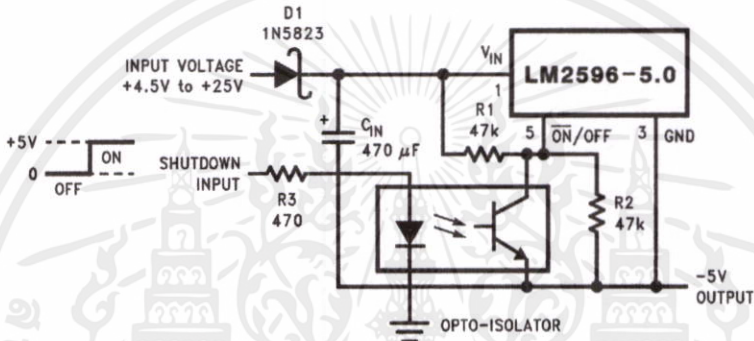
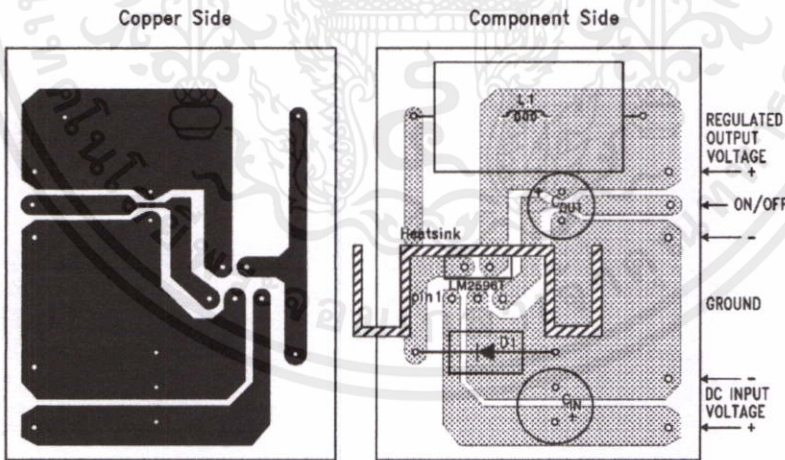


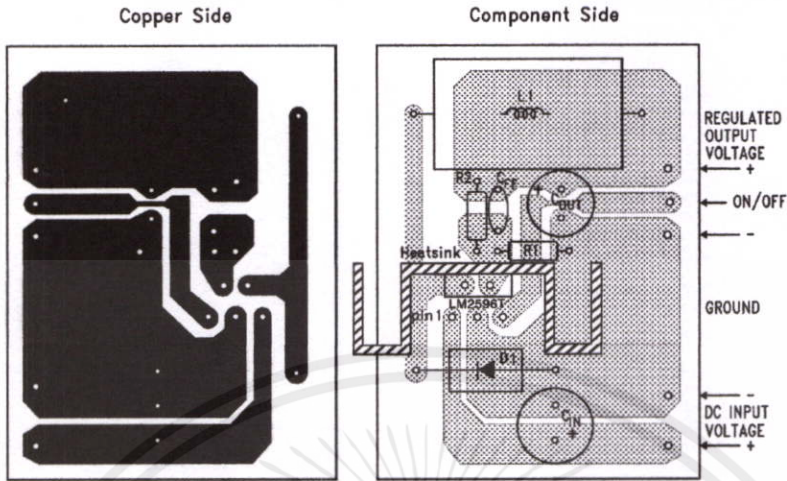
Figure 40. Inverting Regulator Ground Referenced Shutdown using Opto Device  
TYPICAL THROUGH HOLE PC BOARD LAYOUT, FIXED OUTPUT (1X SIZE), DOUBLE SIDED



$C_{IN}$ —470  $\mu$ F, 50V, Aluminum Electrolytic Panasonic, "HFQ Series"  
 $C_{OUT}$ —330  $\mu$ F, 35V, Aluminum Electrolytic Panasonic, "HFQ Series"  
 D1—5A, 40V Schottky Rectifier, 1N5825  
 L1—47  $\mu$ H, L39, Renco, Through Hole  
 Thermalloy Heat Sink #7020

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TYPICAL THROUGH HOLE PC BOARD LAYOUT, ADJUSTABLE OUTPUT (1X SIZE), DOUBLE SIDED



- $C_{IN}$ —470  $\mu$ F, 50V, Aluminum Electrolytic Panasonic, "HFQ Series"
- $C_{OUT}$ —220  $\mu$ F, 35V Aluminum Electrolytic Panasonic, "HFQ Series"
- D1—5A, 40V Schottky Rectifier, 1N5825
- L1—47  $\mu$ H, L39, Renco, Through Hole
- $R_1$ —1 k $\Omega$ , 1%
- $R_2$ —Use formula in Design Procedure
- $C_{FF}$ —See Table 2.
- Thermalloy Heat Sink #7020

Figure 41. PC Board Layout

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## REVISION HISTORY

### Changes from Revision B (April 2013) to Revision C

Page

- |  |    |
|--|----|
| • Changed layout of National Data Sheet to TI format ..... | 31 |
|--|----|



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**PACKAGING INFORMATION**

Orderable Device	Status (1)	Package Type	Package Drawing	Pins	Package Qty	Eco Plan (2)	Lead/Ball Finish (6)	MSL Peak Temp (3)	Op Temp (°C)	Device Marking (4/5)	Samples
LM2596S-12/NOPB	ACTIVE	DDPAK/ TO-263	KTT	5	45	Pb-Free (RoHS Exempt)	CU SN	Level-3-245C-168 HR		LM2596S -12 P+	<a href="#">Samples</a>
LM2596S-3.3	NRND	DDPAK/ TO-263	KTT	5	45	TBD	Call TI	Call TI		LM2596S -3.3 P+	
LM2596S-3.3/NOPB	ACTIVE	DDPAK/ TO-263	KTT	5	45	Pb-Free (RoHS Exempt)	CU SN	Level-3-245C-168 HR		LM2596S -3.3 P+	<a href="#">Samples</a>
LM2596S-5.0	NRND	DDPAK/ TO-263	KTT	5	45	TBD	Call TI	Call TI		LM2596S -5.0 P+	
LM2596S-5.0/NOPB	ACTIVE	DDPAK/ TO-263	KTT	5	45	Pb-Free (RoHS Exempt)	CU SN	Level-3-245C-168 HR		LM2596S -5.0 P+	<a href="#">Samples</a>
LM2596S-ADJ/NOPB	ACTIVE	DDPAK/ TO-263	KTT	5	45	Pb-Free (RoHS Exempt)	CU SN	Level-3-245C-168 HR	-40 to 125	LM2596S -ADJ P+	<a href="#">Samples</a>
LM2596SX-12/NOPB	ACTIVE	DDPAK/ TO-263	KTT	5	500	Pb-Free (RoHS Exempt)	CU SN	Level-3-245C-168 HR		LM2596S -12 P+	<a href="#">Samples</a>
LM2596SX-3.3	NRND	DDPAK/ TO-263	KTT	5	500	TBD	Call TI	Call TI		LM2596S -3.3 P+	
LM2596SX-3.3/NOPB	ACTIVE	DDPAK/ TO-263	KTT	5	500	Pb-Free (RoHS Exempt)	CU SN	Level-3-245C-168 HR		LM2596S -3.3 P+	<a href="#">Samples</a>
LM2596SX-5.0/NOPB	ACTIVE	DDPAK/ TO-263	KTT	5	500	Pb-Free (RoHS Exempt)	CU SN	Level-3-245C-168 HR		LM2596S -5.0 P+	<a href="#">Samples</a>
LM2596SX-ADJ	NRND	DDPAK/ TO-263	KTT	5	500	TBD	Call TI	Call TI	-40 to 125	LM2596S -ADJ P+	
LM2596SX-ADJ/NOPB	ACTIVE	DDPAK/ TO-263	KTT	5	500	Pb-Free (RoHS Exempt)	CU SN	Level-3-245C-168 HR	-40 to 125	LM2596S -ADJ P+	<a href="#">Samples</a>
LM2596T-12	NRND	TO-220	NDH	5	45	TBD	Call TI	Call TI		LM2596T -12 P+	
LM2596T-12/LF03	ACTIVE	TO-220	NDH	5	45	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU SN	Level-1-NA-UNLIM		LM2596T -12 P+	<a href="#">Samples</a>
LM2596T-12/NOPB	ACTIVE	TO-220	NDH	5	45	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU SN	Level-1-NA-UNLIM		LM2596T -12 P+	<a href="#">Samples</a>
LM2596T-3.3	NRND	TO-220	NDH	5	45	TBD	Call TI	Call TI		LM2596T -3.3 P+	
LM2596T-3.3/LF03	ACTIVE	TO-220	NDH	5	45	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU SN	Level-1-NA-UNLIM		LM2596T -3.3 P+	<a href="#">Samples</a>

Orderable Device	Status (1)	Package Type	Package Drawing	Pins	Package Qty	Eco Plan (2)	Lead/Ball Finish (6)	MSL Peak Temp (3)	Op Temp (°C)	Device Marking (4/5)	Samples
LM2596T-3.3/NOPB	ACTIVE	TO-220	NDH	5	45	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU SN	Level-1-NA-UNLIM		LM2596T -3.3 P+	Samples
LM2596T-5.0	NRND	TO-220	NDH	5	45	TBD	Call TI	Call TI		LM2596T -5.0 P+	
LM2596T-5.0/LF03	ACTIVE	TO-220	NDH	5	45	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU SN	Level-1-NA-UNLIM		LM2596T -5.0 P+	Samples
LM2596T-5.0/NOPB	ACTIVE	TO-220	NDH	5	45	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU SN	Level-1-NA-UNLIM		LM2596T -5.0 P+	Samples
LM2596T-ADJ	NRND	TO-220	NDH	5	45	TBD	Call TI	Call TI	-40 to 125	LM2596T -ADJ P+	
LM2596T-ADJ/LB05	NRND	TO-220	NEB	5	45	TBD	Call TI	Call TI		LM2596T -ADJ P+	
LM2596T-ADJ/LF02	ACTIVE	TO-220	NEB	5	45	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU SN	Level-1-NA-UNLIM		LM2596T -ADJ P+	Samples
LM2596T-ADJ/NOPB	ACTIVE	TO-220	NDH	5	45	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU SN	Level-1-NA-UNLIM	-40 to 125	LM2596T -ADJ P+	Samples

(1) The marketing status values are defined as follows:

**ACTIVE:** Product device recommended for new designs.

**LIFEBUY:** TI has announced that the device will be discontinued, and a lifetime-buy period is in effect.

**NRND:** Not recommended for new designs. Device is in production to support existing customers, but TI does not recommend using this part in a new design.

**PREVIEW:** Device has been announced but is not in production. Samples may or may not be available.

**OBSOLETE:** TI has discontinued the production of the device.

(2) Eco Plan - The planned eco-friendly classification: Pb-Free (RoHS), Pb-Free (RoHS Exempt), or Green (RoHS & no Sb/Br) - please check <http://www.ti.com/productcontent> for the latest availability information and additional product content details.

**TBD:** The Pb-Free/Green conversion plan has not been defined.

**Pb-Free (RoHS):** TI's terms "Lead-Free" or "Pb-Free" mean semiconductor products that are compatible with the current RoHS requirements for all 6 substances, including the requirement that lead not exceed 0.1% by weight in homogeneous materials. Where designed to be soldered at high temperatures, TI Pb-Free products are suitable for use in specified lead-free processes.

**Pb-Free (RoHS Exempt):** This component has a RoHS exemption for either 1) lead-based flip-chip solder bumps used between the die and package, or 2) lead-based die adhesive used between the die and leadframe. The component is otherwise considered Pb-Free (RoHS compatible) as defined above.

**Green (RoHS & no Sb/Br):** TI defines "Green" to mean Pb-Free (RoHS compatible), and free of Bromine (Br) and Antimony (Sb) based flame retardants (Br or Sb do not exceed 0.1% by weight in homogeneous material)

(3) MSL, Peak Temp. - The Moisture Sensitivity Level rating according to the JEDEC industry standard classifications, and peak solder temperature.

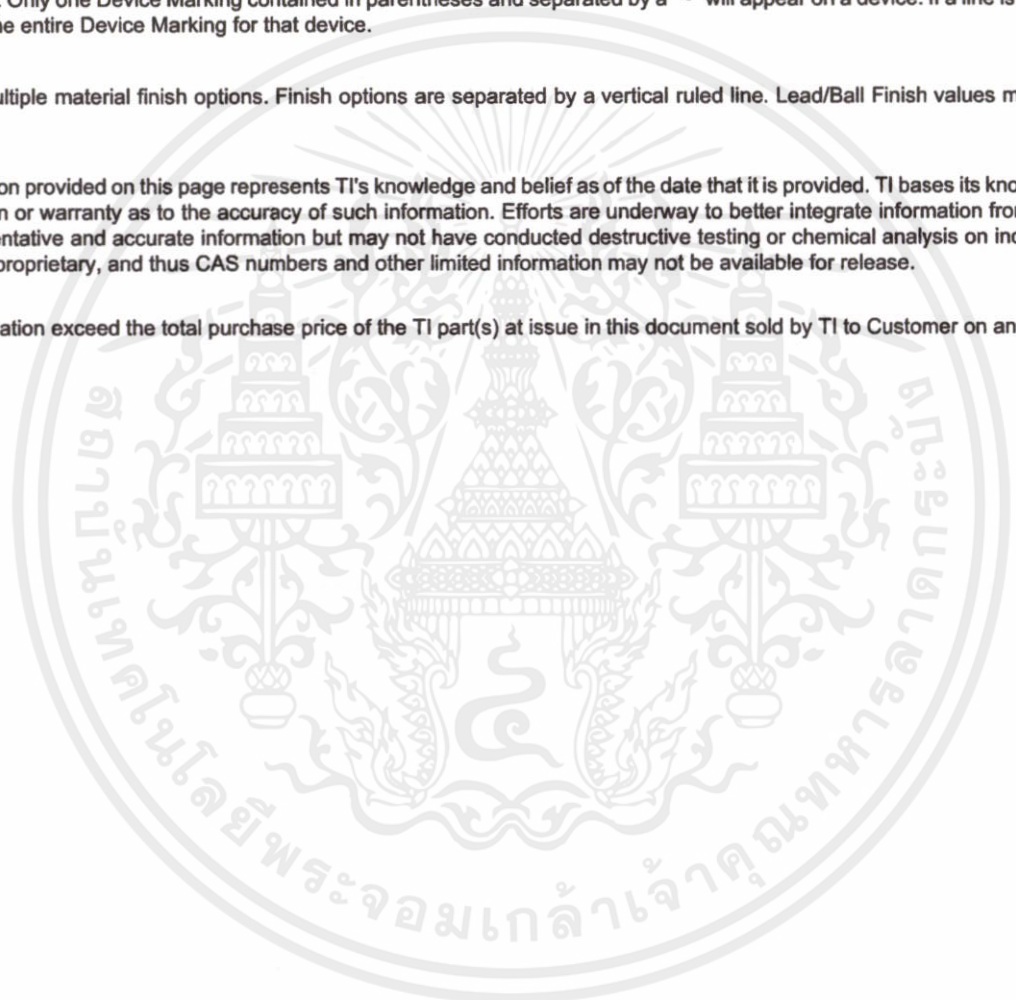
(4) There may be additional marking, which relates to the logo, the lot trace code information, or the environmental category on the device.

(5) Multiple Device Markings will be inside parentheses. Only one Device Marking contained in parentheses and separated by a "~" will appear on a device. If a line is indented then it is a continuation of the previous line and the two combined represent the entire Device Marking for that device.

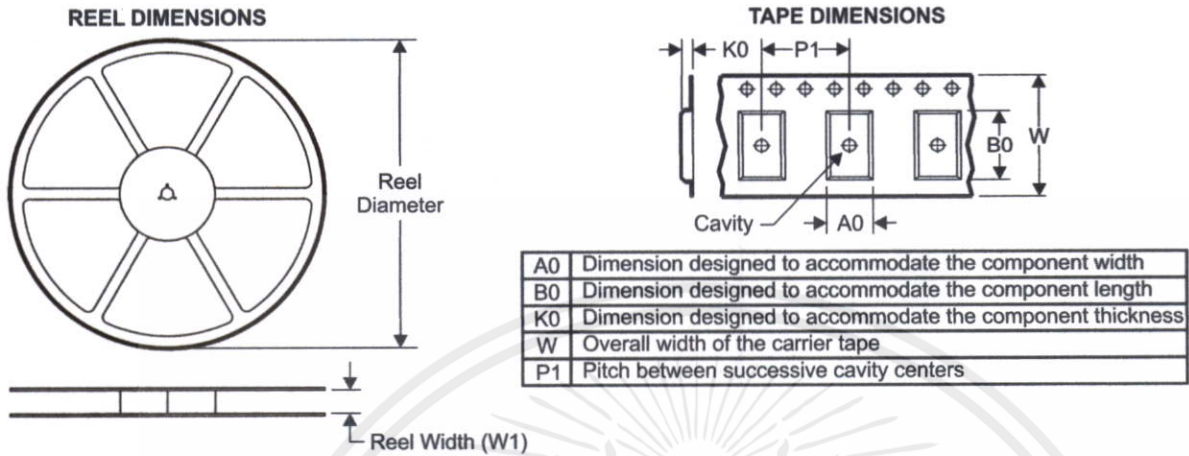
(6) Lead/Ball Finish - Orderable Devices may have multiple material finish options. Finish options are separated by a vertical ruled line. Lead/Ball Finish values may wrap to two lines if the finish value exceeds the maximum column width.

**Important Information and Disclaimer:** The information provided on this page represents TI's knowledge and belief as of the date that it is provided. TI bases its knowledge and belief on information provided by third parties, and makes no representation or warranty as to the accuracy of such information. Efforts are underway to better integrate information from third parties. TI has taken and continues to take reasonable steps to provide representative and accurate information but may not have conducted destructive testing or chemical analysis on incoming materials and chemicals. TI and TI suppliers consider certain information to be proprietary, and thus CAS numbers and other limited information may not be available for release.

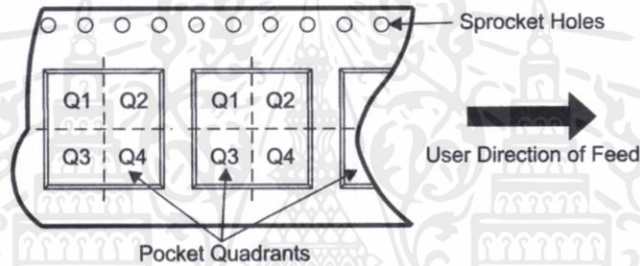
In no event shall TI's liability arising out of such information exceed the total purchase price of the TI part(s) at issue in this document sold by TI to Customer on an annual basis.



## TAPE AND REEL INFORMATION



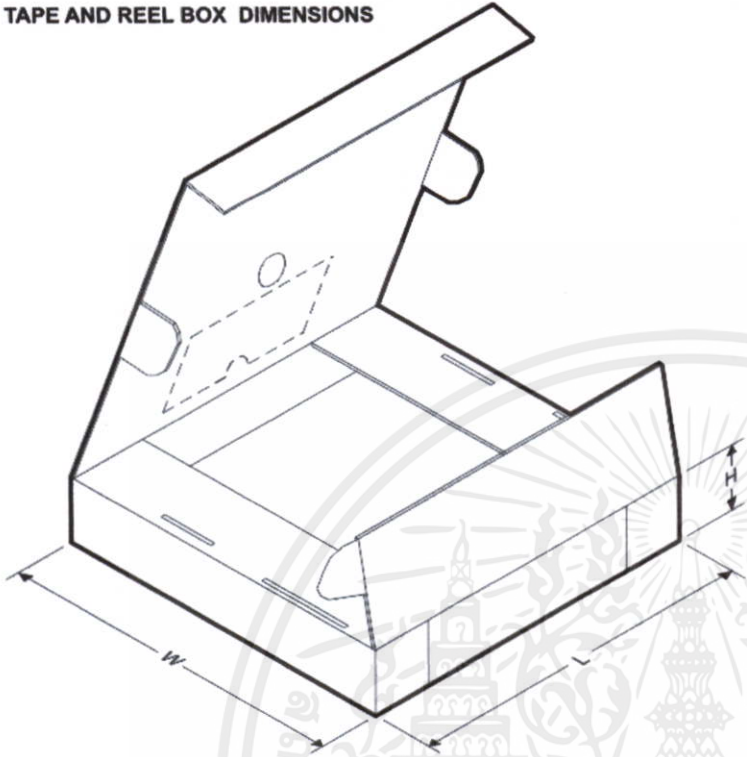
### QUADRANT ASSIGNMENTS FOR PIN 1 ORIENTATION IN TAPE



\*All dimensions are nominal

Device	Package Type	Package Drawing	Pins	SPQ	Reel Diameter (mm)	Reel Width W1 (mm)	A0 (mm)	B0 (mm)	K0 (mm)	P1 (mm)	W (mm)	Pin1 Quadrant
LM2596SX-12/NOPB	DDPAK/TO-263	KTT	5	500	330.0	24.4	10.75	14.85	5.0	16.0	24.0	Q2
LM2596SX-3.3	DDPAK/TO-263	KTT	5	500	330.0	24.4	10.75	14.85	5.0	16.0	24.0	Q2
LM2596SX-3.3/NOPB	DDPAK/TO-263	KTT	5	500	330.0	24.4	10.75	14.85	5.0	16.0	24.0	Q2
LM2596SX-5.0/NOPB	DDPAK/TO-263	KTT	5	500	330.0	24.4	10.75	14.85	5.0	16.0	24.0	Q2
LM2596SX-ADJ	DDPAK/TO-263	KTT	5	500	330.0	24.4	10.75	14.85	5.0	16.0	24.0	Q2
LM2596SX-ADJ/NOPB	DDPAK/TO-263	KTT	5	500	330.0	24.4	10.75	14.85	5.0	16.0	24.0	Q2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**TAPE AND REEL BOX DIMENSIONS**


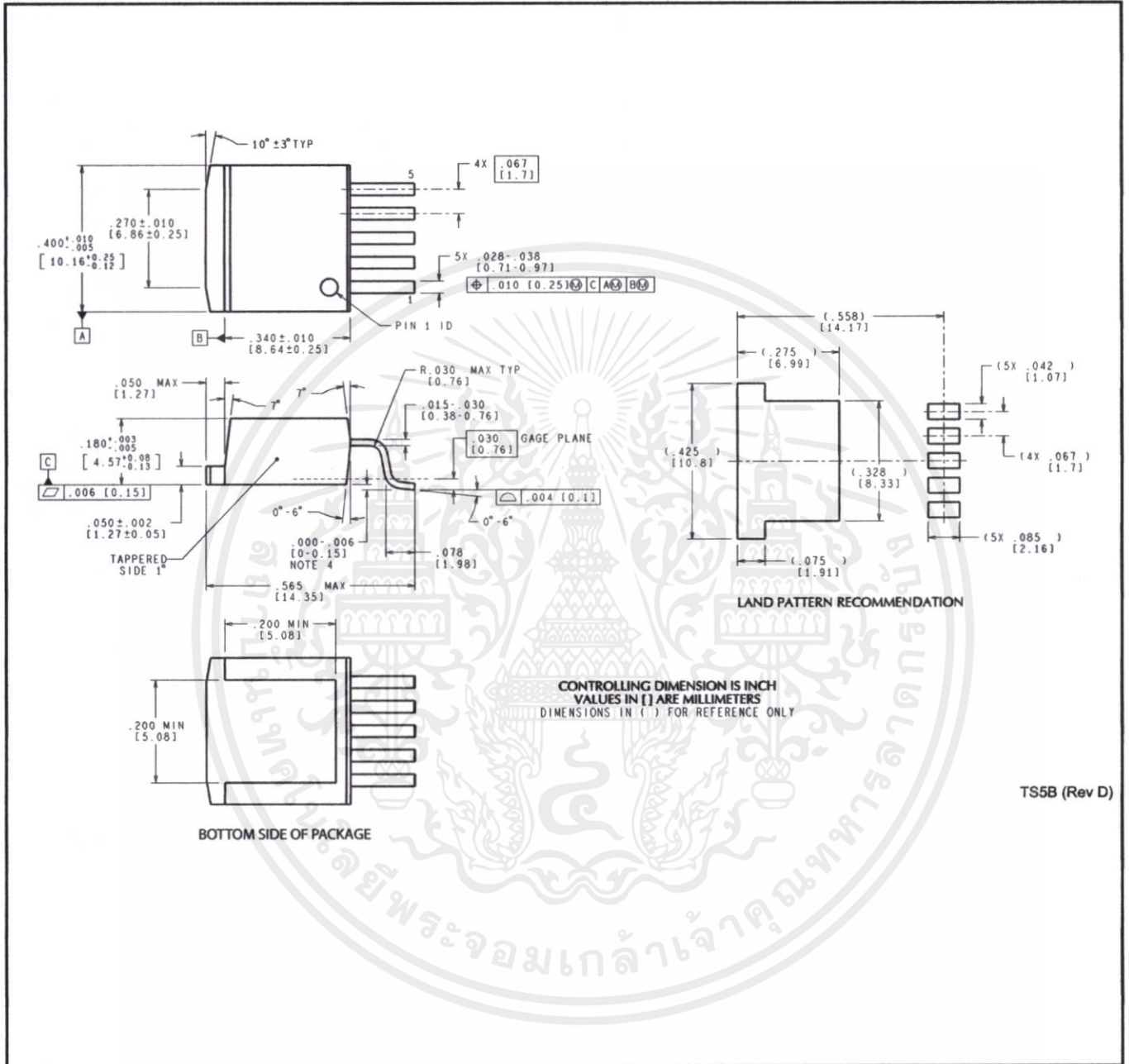
\*All dimensions are nominal

Device	Package Type	Package Drawing	Pins	SPQ	Length (mm)	Width (mm)	Height (mm)
LM2596SX-12/NOPB	DDPAK/TO-263	KTT	5	500	367.0	367.0	45.0
LM2596SX-3.3	DDPAK/TO-263	KTT	5	500	367.0	367.0	45.0
LM2596SX-3.3/NOPB	DDPAK/TO-263	KTT	5	500	367.0	367.0	45.0
LM2596SX-5.0/NOPB	DDPAK/TO-263	KTT	5	500	367.0	367.0	45.0
LM2596SX-ADJ	DDPAK/TO-263	KTT	5	500	367.0	367.0	45.0
LM2596SX-ADJ/NOPB	DDPAK/TO-263	KTT	5	500	367.0	367.0	45.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

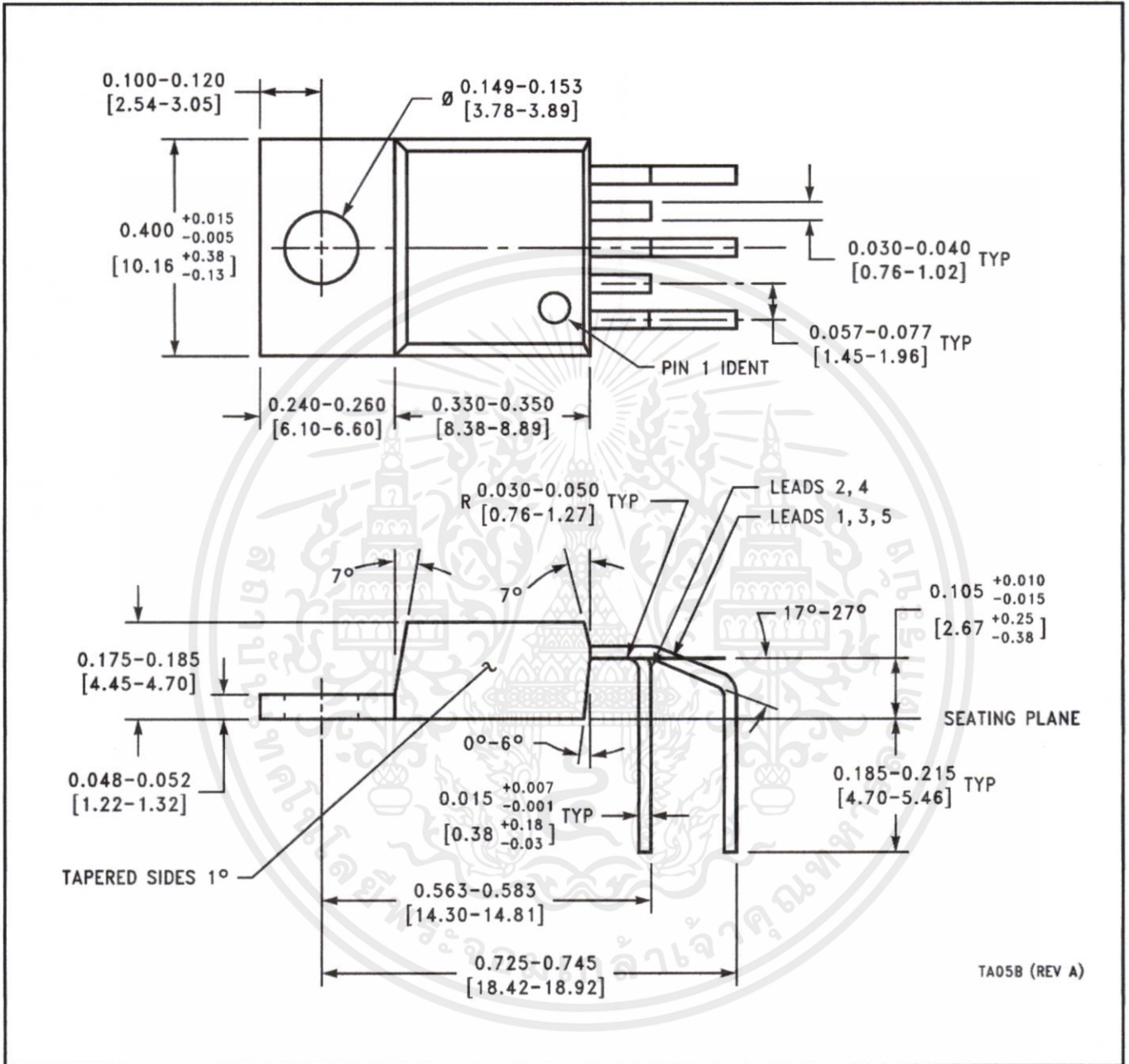


KTT0005B



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังเป็นให้ข้อมูลเบื้องต้น และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

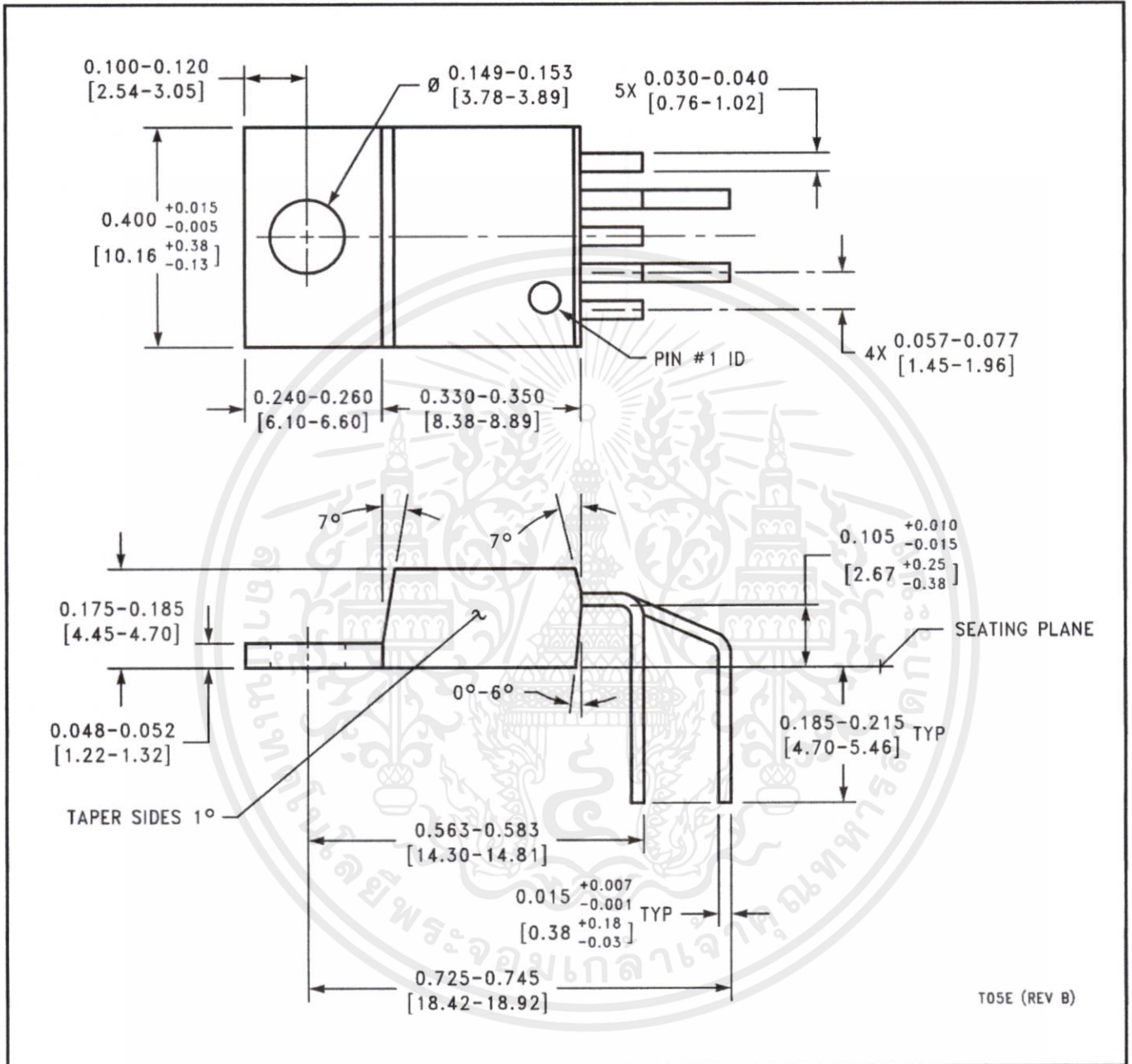
NEB0005B



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ผู้ใช้ต้องรับผิดชอบต่อการใช้งานเอกสารนี้ และผู้ขายจะไม่มีส่วนเกี่ยวข้องใดๆ ในการใช้งาน

NEB0005E



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆก็ตาม ดึงข้อมูลนี้ไปดัดแปลงเป็นของตนเองหรืองานอื่นจึงแจ้งทางเอกสารทุกครั้งที่มีดัดแปลงไปใช้

## IMPORTANT NOTICE

Texas Instruments Incorporated and its subsidiaries (TI) reserve the right to make corrections, enhancements, improvements and other changes to its semiconductor products and services per JESD46, latest issue, and to discontinue any product or service per JESD48, latest issue. Buyers should obtain the latest relevant information before placing orders and should verify that such information is current and complete. All semiconductor products (also referred to herein as "components") are sold subject to TI's terms and conditions of sale supplied at the time of order acknowledgment.

TI warrants performance of its components to the specifications applicable at the time of sale, in accordance with the warranty in TI's terms and conditions of sale of semiconductor products. Testing and other quality control techniques are used to the extent TI deems necessary to support this warranty. Except where mandated by applicable law, testing of all parameters of each component is not necessarily performed.

TI assumes no liability for applications assistance or the design of Buyers' products. Buyers are responsible for their products and applications using TI components. To minimize the risks associated with Buyers' products and applications, Buyers should provide adequate design and operating safeguards.

TI does not warrant or represent that any license, either express or implied, is granted under any patent right, copyright, mask work right, or other intellectual property right relating to any combination, machine, or process in which TI components or services are used. Information published by TI regarding third-party products or services does not constitute a license to use such products or services or a warranty or endorsement thereof. Use of such information may require a license from a third party under the patents or other intellectual property of the third party, or a license from TI under the patents or other intellectual property of TI.

Reproduction of significant portions of TI information in TI data books or data sheets is permissible only if reproduction is without alteration and is accompanied by all associated warranties, conditions, limitations, and notices. TI is not responsible or liable for such altered documentation. Information of third parties may be subject to additional restrictions.

Resale of TI components or services with statements different from or beyond the parameters stated by TI for that component or service voids all express and any implied warranties for the associated TI component or service and is an unfair and deceptive business practice. TI is not responsible or liable for any such statements.

Buyer acknowledges and agrees that it is solely responsible for compliance with all legal, regulatory and safety-related requirements concerning its products, and any use of TI components in its applications, notwithstanding any applications-related information or support that may be provided by TI. Buyer represents and agrees that it has all the necessary expertise to create and implement safeguards which anticipate dangerous consequences of failures, monitor failures and their consequences, lessen the likelihood of failures that might cause harm and take appropriate remedial actions. Buyer will fully indemnify TI and its representatives against any damages arising out of the use of any TI components in safety-critical applications.

In some cases, TI components may be promoted specifically to facilitate safety-related applications. With such components, TI's goal is to help enable customers to design and create their own end-product solutions that meet applicable functional safety standards and requirements. Nonetheless, such components are subject to these terms.

No TI components are authorized for use in FDA Class III (or similar life-critical medical equipment) unless authorized officers of the parties have executed a special agreement specifically governing such use.

Only those TI components which TI has specifically designated as military grade or "enhanced plastic" are designed and intended for use in military/aerospace applications or environments. Buyer acknowledges and agrees that any military or aerospace use of TI components which have **not** been so designated is solely at the Buyer's risk, and that Buyer is solely responsible for compliance with all legal and regulatory requirements in connection with such use.

TI has specifically designated certain components as meeting ISO/TS16949 requirements, mainly for automotive use. In any case of use of non-designated products, TI will not be responsible for any failure to meet ISO/TS16949.

### Products

Audio	<a href="http://www.ti.com/audio">www.ti.com/audio</a>
Amplifiers	<a href="http://amplifier.ti.com">amplifier.ti.com</a>
Data Converters	<a href="http://dataconverter.ti.com">dataconverter.ti.com</a>
DLP® Products	<a href="http://www.dlp.com">www.dlp.com</a>
DSP	<a href="http://dsp.ti.com">dsp.ti.com</a>
Clocks and Timers	<a href="http://www.ti.com/clocks">www.ti.com/clocks</a>
Interface	<a href="http://interface.ti.com">interface.ti.com</a>
Logic	<a href="http://logic.ti.com">logic.ti.com</a>
Power Mgmt	<a href="http://power.ti.com">power.ti.com</a>
Microcontrollers	<a href="http://microcontroller.ti.com">microcontroller.ti.com</a>
RFID	<a href="http://www.ti-rfid.com">www.ti-rfid.com</a>
OMAP Applications Processors	<a href="http://www.ti.com/omap">www.ti.com/omap</a>
Wireless Connectivity	<a href="http://www.ti.com/wirelessconnectivity">www.ti.com/wirelessconnectivity</a>

### Applications

Automotive and Transportation	<a href="http://www.ti.com/automotive">www.ti.com/automotive</a>
Communications and Telecom	<a href="http://www.ti.com/communications">www.ti.com/communications</a>
Computers and Peripherals	<a href="http://www.ti.com/computers">www.ti.com/computers</a>
Consumer Electronics	<a href="http://www.ti.com/consumer-apps">www.ti.com/consumer-apps</a>
Energy and Lighting	<a href="http://www.ti.com/energy">www.ti.com/energy</a>
Industrial	<a href="http://www.ti.com/industrial">www.ti.com/industrial</a>
Medical	<a href="http://www.ti.com/medical">www.ti.com/medical</a>
Security	<a href="http://www.ti.com/security">www.ti.com/security</a>
Space, Avionics and Defense	<a href="http://www.ti.com/space-avionics-defense">www.ti.com/space-avionics-defense</a>
Video and Imaging	<a href="http://www.ti.com/video">www.ti.com/video</a>

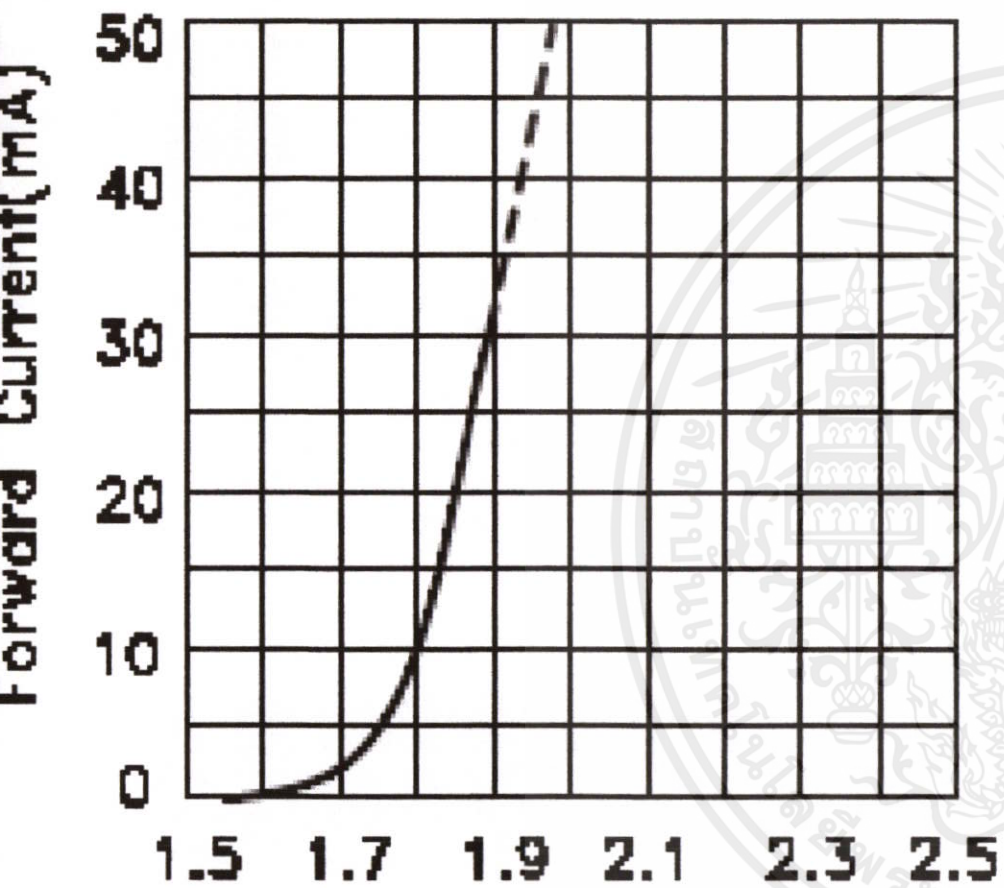
### TI E2E Community

[e2e.ti.com](http://e2e.ti.com)

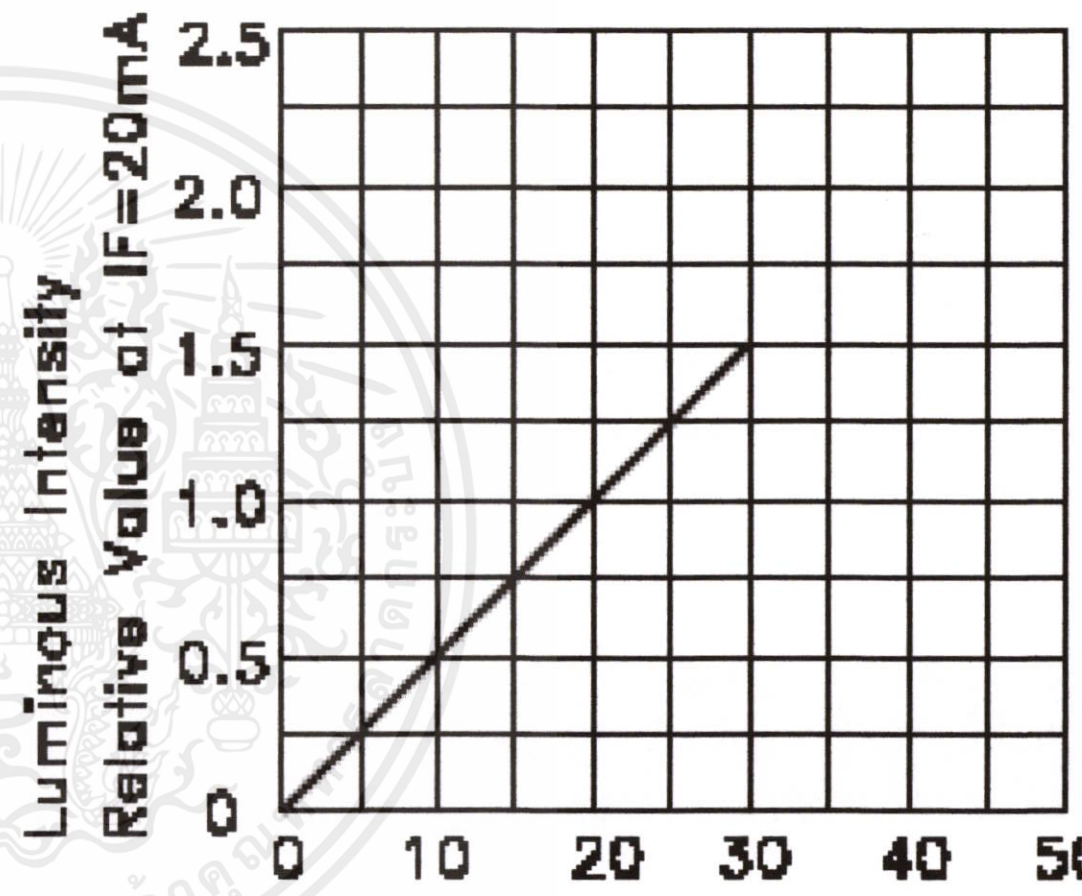
Mailing Address: Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265

Copyright © 2013, Texas Instruments Incorporated

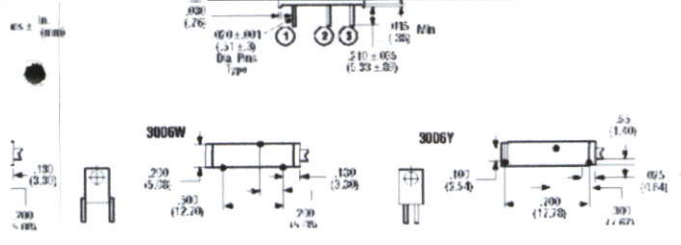
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานี้เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีการเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Forward Voltage(V)  
**FORWARD CURRENT Vs.  
 FORWARD VOLTAGE**



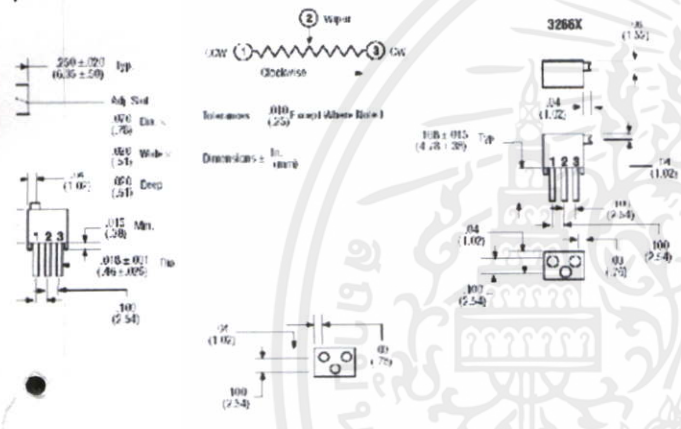
IF-Forward Current (mA)  
**LUMINOUS INTENSITY Vs.  
 FORWARD CURRENT**



infinite resolution, low temperature coefficient  $\pm 100$  PPM/°C  $-55^{\circ}\text{C}$  to  $+125^{\circ}\text{C}$ . Sealed to withstand wave soldering and boardwash process. 0.75 watt at  $70^{\circ}\text{C}$ .  $\pm 10\%$  tolerance. 15 turn nominal travel. Suffix: P, W and Y styles. Dimensions:  $\frac{1}{4} \times 0.19 \times 0.25$ . Weight: .04 oz.

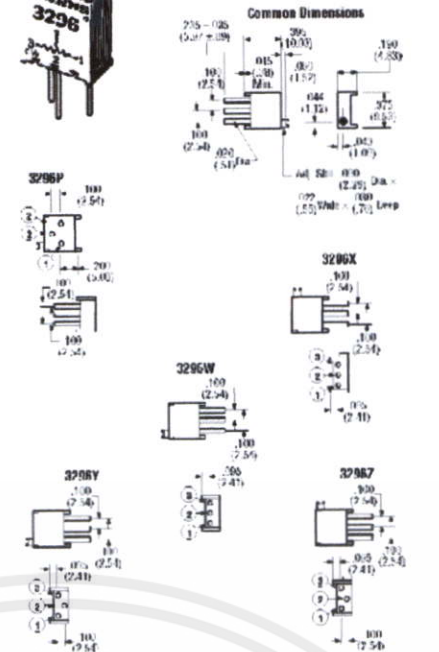
EACH				Stock No.	Mfr.'s Type	Ohms	EACH				
10-24	25-49	50-99	100-249				1-9	10-24	25-49	50-99	100-249
1.41	1.35	1.28	1.20	754-1082	3006W	5K	1.66	1.50	1.41	1.35	1.28
1.41	1.35	1.28	1.20	754-1083	3006Y	5K	1.66	1.50	1.41	1.35	1.28
1.41	1.35	1.28	1.20	754-1091	3006P	10K	1.55	1.41	1.35	1.28	1.20
1.41	1.35	1.28	1.20	754-1092	3006W	10K	1.79	1.62	1.52	1.46	1.38
1.50	1.41	1.35	1.28	754-1093	3006Y	10K	1.66	1.50	1.41	1.35	1.28
1.50	1.41	1.35	1.28	754-1101	3006P	20K	1.55	1.41	1.35	1.28	1.20
1.41	1.35	1.28	1.20	754-1102	3006W	20K	1.66	1.50	1.41	1.35	1.28
1.50	1.41	1.35	1.28	754-1103	3006Y	20K	1.66	1.50	1.41	1.35	1.28
1.41	1.35	1.28	1.20	754-1111	3006P	50K	1.55	1.41	1.35	1.28	1.20
1.50	1.41	1.35	1.28	754-1112	3006W	50K	1.66	1.50	1.41	1.35	1.28
1.50	1.41	1.35	1.28	754-1113	3006Y	50K	1.66	1.50	1.41	1.35	1.28
1.41	1.35	1.28	1.20	754-1121	3006P	100K	1.55	1.41	1.35	1.28	1.20
1.50	1.41	1.35	1.28	754-1122	3006W	100K	1.66	1.50	1.41	1.35	1.28
1.50	1.41	1.35	1.28	754-1123	3006Y	100K	1.66	1.50	1.41	1.35	1.28
1.41	1.35	1.28	1.20	754-1131	3006P	200K	1.55	1.41	1.35	1.28	1.20
1.50	1.41	1.35	1.28	754-1132	3006W	200K	1.66	1.50	1.41	1.35	1.28
1.50	1.41	1.35	1.28	754-1141	3006P	1M	1.55	1.41	1.35	1.28	1.20
1.41	1.35	1.28	1.20	754-1151	3006P	2M	1.55	1.41	1.35	1.28	1.20

**/Cermet**



Sealed to withstand wave soldering and boardwash process. Infinite resolution.  $\frac{1}{4}$  watt power at  $70^{\circ}\text{C}$ . Low Temperature Range:  $-55^{\circ}\text{C}$  to  $+125^{\circ}\text{C}$ . 12 turn nominal travel. Suffix: W=Vertical Mount; X=Offset Vertical Mount. Dimensions:  $\frac{1}{4}$ "

EACH				Stock No.	Mfr.'s Type	Ohms	EACH				
10-24	25-49	50-99	100-249				1-9	10-24	25-49	50-99	100-249
2.83	2.60	2.49	2.36	754-2224	3296X	5K	3.04	2.83	2.60	2.49	2.36
2.83	2.60	2.49	2.36	754-2232	3296W	10K	3.04	2.83	2.60	2.49	2.36
2.83	2.60	2.49	2.36	754-2234	3296X	10K	3.04	2.83	2.60	2.49	2.36
2.83	2.60	2.49	2.36	754-2242	3296W	20K	3.04	2.83	2.60	2.49	2.36
2.83	2.60	2.49	2.36	754-2244	3296X	20K	3.04	2.83	2.60	2.49	2.36
2.83	2.60	2.49	2.36	754-2252	3296W	50K	3.04	2.83	2.60	2.49	2.36
2.83	2.60	2.49	2.36	754-2254	3296X	50K	3.04	2.83	2.60	2.49	2.36
4.40	4.03	3.86	3.66	754-2262	3296W	100K	3.04	2.83	2.60	2.49	2.36
2.83	2.60	2.49	2.36	754-2264	3296X	100K	3.04	2.83	2.60	2.49	2.36
2.83	2.60	2.49	2.36	754-2272	3296W	1M	3.04	2.83	2.60	2.49	2.36



Listed on DESC OPL for style RJ24 per MIL-R-22097 and style RJ24 per MIL-R-39035. Thin body profile, low cost square multi-turn trimmer with infinite resolution. Wiper idling mechanism clicks at end of rotation. Sealed to withstand wave soldering and boardwash process. 0.5 watt at  $70^{\circ}\text{C}$ .  $\pm 10\%$  tolerance. Temperature Range:  $-55^{\circ}\text{C}$  to  $+125^{\circ}\text{C}$ . Suffix: P=Offset PC pins, W=Vertical Mount; X=Infinite Vertical Mount; Y=Offset PC pins, Z=Offset PC pins. Dimensions:  $\frac{1}{4}$  square  $\times$  0.19" thick. Weight: .03 oz.

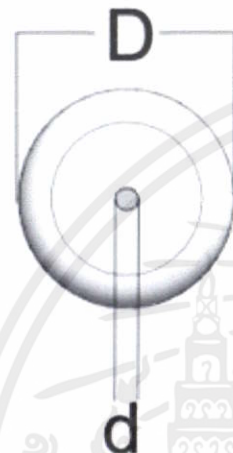
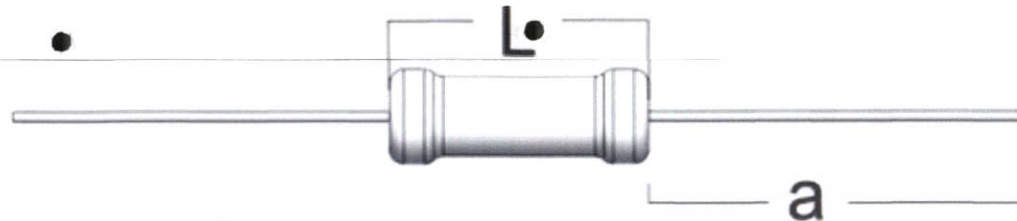
Stock No.	Mfr.'s Type	Ohms	EACH				
			1-9	10-24	25-49	50-99	100-249
754-3101	3296P	500	2.37	2.12	1.95	1.89	1.81
754-3102	3296W	500	2.20	2.00	1.81	1.75	1.68
754-3103	3296Y	500	2.20	2.00	1.81	1.75	1.68
754-3104	3296X	500	2.20	2.00	1.81	1.75	1.68
754-3111	3296P	1K	2.37	2.12	1.95	1.89	1.81
754-3112	3296W	1K	2.20	2.00	1.81	1.75	1.68
754-3113	3296Y	1K	2.20	2.00	1.81	1.75	1.68
754-3114	3296X	1K	2.20	2.00	1.81	1.75	1.68
754-3115	3296Z	1K	2.37	2.12	1.95	1.89	1.81
754-3121	3296P	2K	2.37	2.12	1.95	1.89	1.81
754-3122	3296W	2K	2.20	2.00	1.81	1.75	1.68
754-3123	3296Y	2K	2.20	2.00	1.81	1.75	1.68
754-3124	3296X	2K	2.20	2.00	1.81	1.75	1.68
754-3125	3296Z	2K	2.37	2.12	1.95	1.89	1.81
754-3131	3296P	5K	2.42	2.16	1.99	1.93	1.85
754-3132	3296W	5K	2.20	2.00	1.81	1.75	1.68
754-3133	3296Y	5K	2.20	2.00	1.81	1.75	1.68
754-3134	3296X	5K	2.20	2.00	1.81	1.75	1.68
754-3135	3296Z	5K	2.39	2.14	1.97	1.91	1.83
754-3141	3296P	10K	2.37	2.12	1.95	1.89	1.81
754-3142	3296W	10K	2.20	2.00	1.81	1.75	1.68
754-3143	3296Y	10K	2.20	2.00	1.81	1.75	1.68
754-3144	3296X	10K	1.50	1.36	1.24	1.20	1.15
754-3145	3296Z	10K	2.37	2.12	1.95	1.89	1.81
754-3151	3296P	20K	2.37	2.12	1.95	1.89	1.81
754-3152	3296W	20K	2.20	2.00	1.81	1.75	1.68
754-3153	3296Y	20K	2.20	2.00	1.81	1.75	1.68
754-3154	3296X	20K	2.20	2.00	1.81	1.75	1.68
754-3155	3296Z	20K	2.37	2.12	1.95	1.89	1.81
754-3161	3296P	50K	2.37	2.12	1.95	1.89	1.81
754-3162	3296W	50K	2.20	2.00	1.81	1.75	1.68
754-3163	3296Y	50K	2.20	2.00	1.81	1.75	1.68
754-3164	3296X	50K	2.20	2.00	1.81	1.75	1.68
754-3165	3296Z	50K	2.37	2.12	1.95	1.89	1.81
754-3171	3296P	100K	2.37	2.12	1.95	1.89	1.81
754-3172	3296W	100K	2.20	2.00	1.81	1.75	1.68
754-3173	3296Y	100K	2.20	2.00	1.81	1.75	1.68
754-3174	3296X	100K	2.20	2.00	1.81	1.75	1.68
754-3175	3296Z	100K	2.37	2.12	1.95	1.89	1.81

**le Service, Make Just One Call — 1-800-433-5700** **ALLIED ▶ 625**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับบริการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

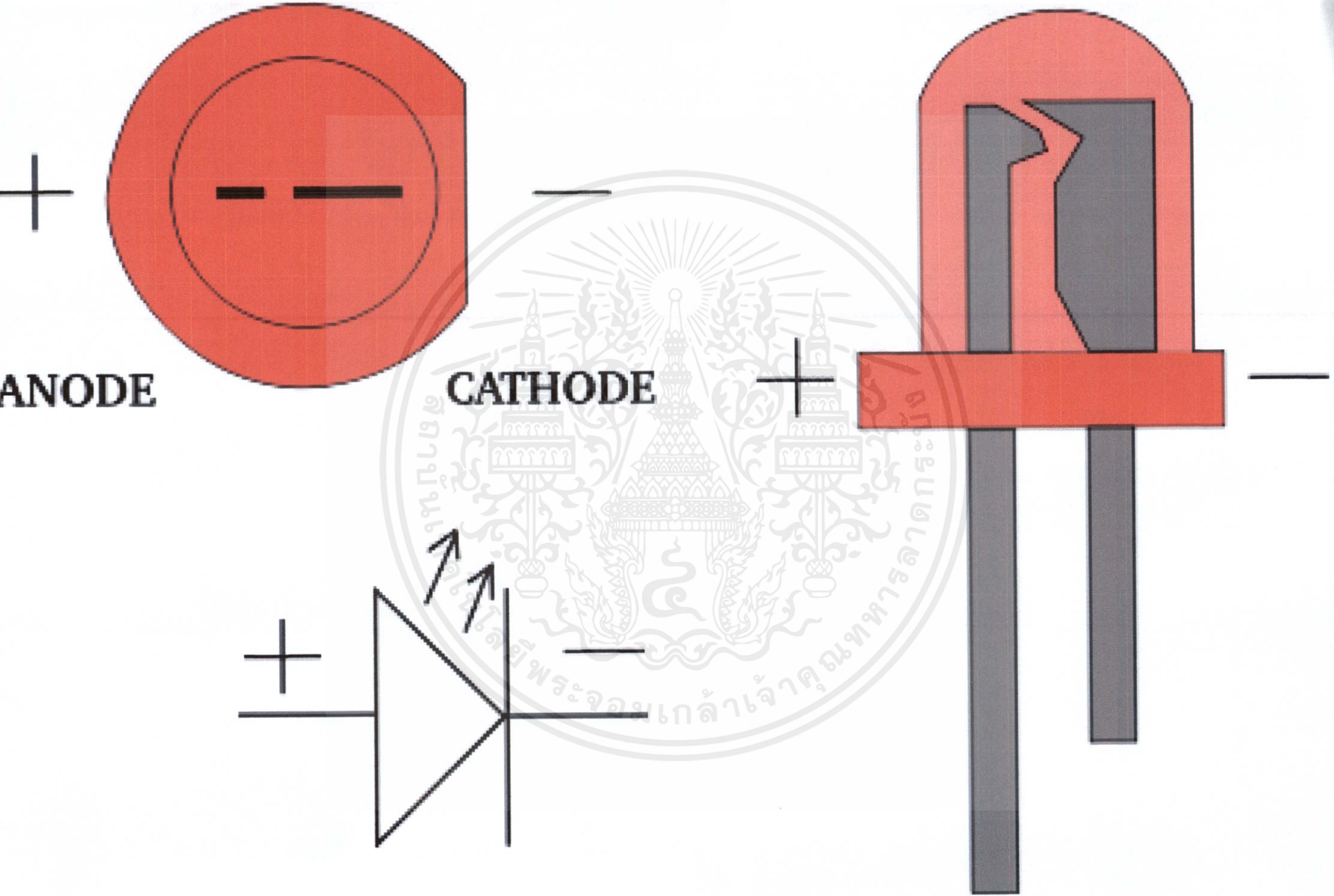
## 5mm Flat Top Super bright LED

	Forward Voltage(V)		Dominant wavelength(mm)		MCD		Reverse current(uA)	50% Power Angle (deg)
	If=25mA		If=25mA		If=25mA		Vr=5V	
	Min	Typ	Min	Typ	Min	Typ	Max	
Red	1.8	2	615	625	4000	6000	10	120--140
Yellow	1.8	2.2	587	595	4000	6000	10	120--140
Bright Green	3	3.2	515	520	12000	14000	10	120--140
Blue	3	3.2	460	465	5000	6000	10	120--140
White	3	3.2		X=0.31 Y=0.32	16000	20000	10	120--140
Warm White	3.2	3.5		N/A	13000	14000	10	120--140
Pink	3	3.5		X=0.35 Y=0.37	8000	9000	10	120--140
UltraViolet/ purple	3	3.2	390	400	1000	1200	10	120--140
orange/Amber	2	2.2	515	520	6000	8000	10	120--140



Dimension	Max. Working (V)	L (mm)		a (mm)		D (mm)		d (mm)	
Model									
1/8W (0.125W)	150V	3.20	+0.7 -0.2	27.70	+2.0 -2.0	1.74	+0.3 -0.3	0.40	+0.03 -0.03
1/4W (0.25W)	250V	6.00	+0.4 -0.2	28.00	+2.0 -2.0	2.30	+0.3 -0.3	0.40	+0.03 -0.03
1/2W (0.5W)	300V	9.00	+0.5 -0.5	25.15	+2.0 -2.0	2.30	+0.3 -0.3	0.60	+0.03 -0.03
1W	350V	10.50	+1.0 -1.0	24.75	+2.0 -2.0	4.20	+0.5 -0.5	0.60	+0.03 -0.03
2W	500V	14.80	+1.0 -1.0	27.6	+2.0 -2.0	4.70	+0.5 -0.5	0.70	+0.03 -0.03
3W	500V	16.60	+1.0 -1.0	31.20	+2.0 -2.0	5.80	+0.5 -0.5	0.70	+0.03 -0.03
5W	500V	24.20	+1.0 -1.0	28.00	+1.0 -1.0	8.20	+0.5 -0.5	0.70	+0.03 -0.03

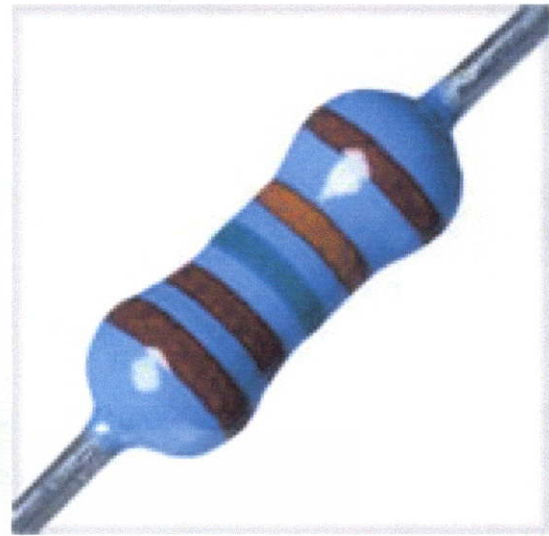
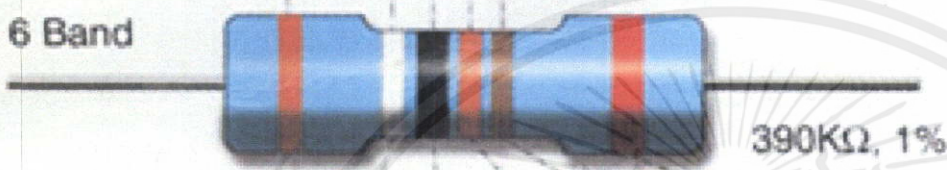
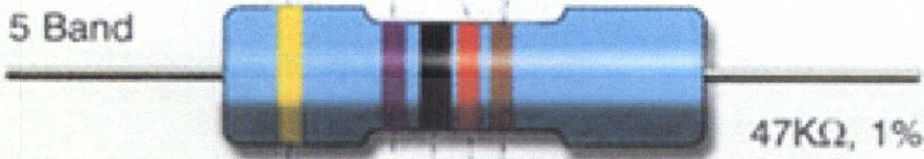
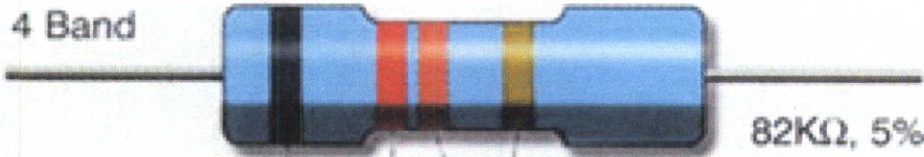
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ไปใช้ประโยชน์อื่นใด



# Available values of Metal Film Resistor **3W** (+/-1%)

$\Omega$	$\Omega$	$\Omega$	K $\Omega$	K $\Omega$	K $\Omega$	M $\Omega$
1.0	33	560	1.0	20	240	1.0
1.2	47	680	1.5	22	270	
1.5	51	820	2.0	24	300	
2.0	56		2.2	27	330	
2.2	68		2.4	33	430	
2.7	82		2.7	43	470	
3.3	100		3.3	47	510	
4.3	150		4.3	51	560	
4.7	180		4.7	56	680	
5.1	200		5.1	68	820	
5.6	220		5.6	82		
6.8	240		6.8	100		
8.2	330		8.2	150		
10	430		10	180		
15	470		15	200		
22	510		18	220		

# Resistor Colour Code



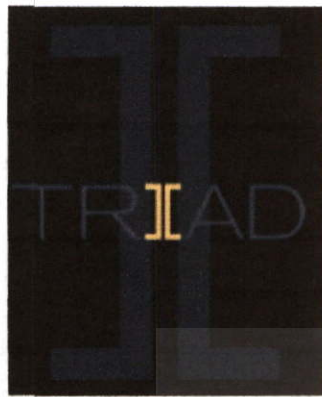
0	0	0	0.01	10%	
1	1	1	0.1	5%	
2	2	2	10	1%	100 ppm
3	3	3	100	2%	50 ppm
4	4	4	1k	tolerance	15 ppm
5	5	5	10k		25 ppm
6	6	6	100k	0.5%	temperature coefficient
7	7	7	1M	0.25%	
8	8	8	10M	0.1%	
9	9	9			

multiplier  
( $\Omega$ )

significant figures

อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ปวงชนชาวไทยและต้องอ้างอิงถึงเราของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

You Searched for product number C-14X .  
The Triad Magnetics product is highlighted below.



Triad Transformer Catalog

**INDUCTORS**

**Description:**

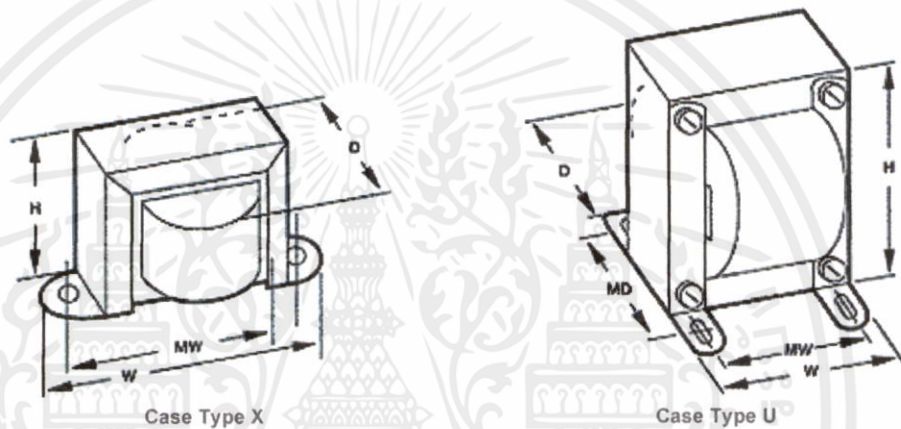
TRIAD chokes are manufactured in a wide variety of inductance values and physical configurations. Triad Magnetics produces two styles of TRIAD filter reactors (chokes) -- smoothing and swinging. Smoothing chokes are power supply filter chokes having a core with an air gap which prevents saturation at maximum direct current. Swinging chokes have cores with little or no air gap, therefore, exhibiting high inductance at low current and low inductance at high current. This inductance, which swings under conditions of varying load current, permits use of a high resistance bleeder resistor. Swinging chokes improve regulation of high voltage power supplies and prevent dc voltage from rising to the maximum peak ac rectifier input by providing a swinging input reactance.

**Specifications:**

Inductance Ranges: .005 to 15H

DC Current Ranges: 10 Ma to 22.5A

Resistance Ranges: .06 to 3,500 Ohms



**SMOOTHING FILTER CHOKES**

Type No.	Current DC M/A	Inductance** Henries	Resistance Ohms	Case Type	Connections	Lead Holes Used	Dimensions			Mounting Dimensions		Wt. Lbs.
							H	W	D	MW	MD	
C-85X	10.0	1.5	70.0	X (1)	Leads	-	1 1/4	2 1/8	1 1/8	1 3/4	-	0.4
C-1X	20.0	15.0	1000.0	X (1)	Leads	-	1 3/16	2 1/16	1 1/4	1 3/4	-	0.21
C-3X	50.0	10.0	500.0	X (1)	Leads	-	1 5/8	2 13/16	1 1/2	2 3/8	-	0.6
C-8X	75.0	7.0	240.0	X (1)	Leads	-	1 15/16	3 5/16	1 3/4	2 13/16	-	1.0
C-7X	90.0	10.0	270.0	X (1)	Leads	-	1 15/16	3 5/16	2	2 13/16	-	1.3
C-14X	200.0	6.0	150.0	X (1)	Leads	-	2 19/32	4	2 1/4	3 9/16	-	2.3
C-24X	240.0	1.0	50.0	X (1)	Leads	-	1 5/8	2 13/16	1 1/2	2 3/8	-	0.75
C-36X	300.0	0.5	30.0	X (1)	Leads	-	1 3/8	2 3/8	1 1/2	2	-	0.5
C-17X	300.0	1.5	40.0	X (1)	Leads	-	2 9/32	3 11/16	2	3 1/8	-	1.6
C-40X	600.0	0.32	10.0	X (1)	Leads	-	1 15/16	3 5/16	2	2 13/16	-	1.3
C-47U	1.0A/2.0A	0.3/0.075*	3.0/0.75	U (2)	Leads	-	3 1/2	2 7/8	3 3/16	2 1/4	2 11/16	4.6
C-56U	2.0	0.035	0.79	U (2)	Lugs	-	2 1/4	2 5/8	2	2 3/16	1 3/4	2.0
C-49U	5.0A/10.0A	0.032/0.008*	0.19/0.05	U (2)	Leads	-	4 1/4	3 1/2	3 5/8	2 3/4	3 1/16	8.0
C-59U	12.5A	0.01	0.10	U (2)	Lugs	-	3 1/2	4 1/8	3	3 7/16	2 3/8	6.25
C-80U	20.0A/40.0A	0.024/0.006*	0.1/0.025	U (7)	Lugs	-	5 5/16	4 9/16	5 1/2	2 3/4	4 1/2	21.2
C-60U	22.5A	0.005	0.06	U (2)	Lugs	-	3 3/4	4 1/2	4 3/16	3 3/4	3 1/2	12.7

\* Split winding

\*\* Inductance tolerance - 20% + 50%

Mounting hole sizes: (1)=3/16" (2)=13/64 x 3/8" (3)=9/32 x 1/2"

- [ PRODUCTS ]
- [ SALES CHANNELS ]
- [ COMPANY ]
- [ CONTACT ]
- [ HOME ]

PRINT PAGE

CLOSE PAGE

เอกสารนี้เป็นเอกสาร  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น

**TECHNICAL NOTES:**

1. Hi-pot tested at 1,500 VRMS.
2. Connections by leads or solder lugs.
3. Inductance tolerance -20% +50%



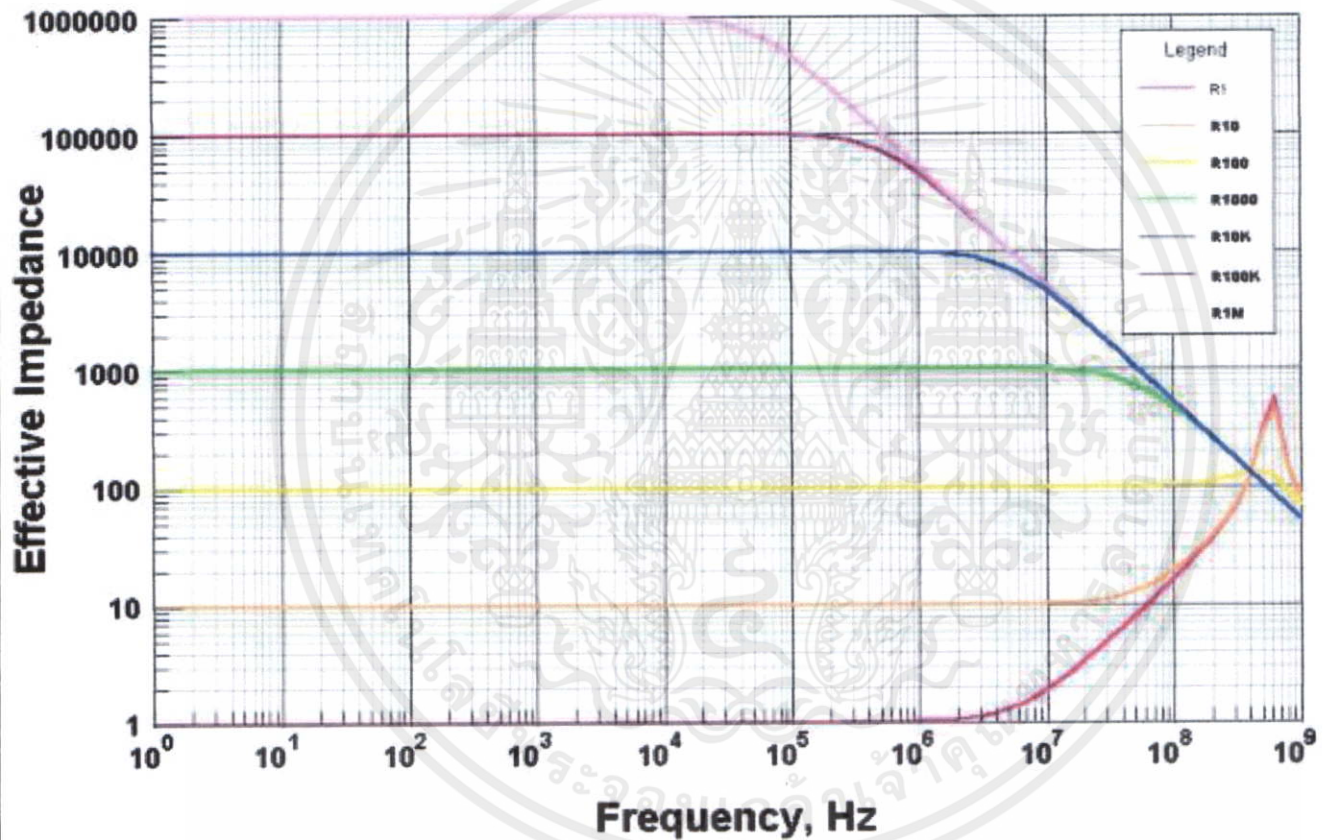
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3. TRIODES, POWER, REVERSE-BLOCKING: SCRS

IN ORDER OF (1) MAX. REPT. OFF-ST. VOLT (2) MAX. STATIC ON-ST. CUR (3) T<sub>10</sub> (4) T<sub>50</sub> (5) V<sub>GT</sub> (6) TYPE No.

LINE No.	TYPE No.	1 MAX. REP OFF-STATE VOLTAGE		2 MAX. STATIC ON-STATE CURRENT		MAXIMUM GATE FIRING CHARACTER.		MAX. HOLD. CUR. I <sub>H</sub> (A)	MAX. OFF-ST. CURRENT I <sub>RO</sub> @ V <sub>RRM</sub> OR I <sub>D</sub> @ V <sub>DRM</sub> (A)		MAXIMUM ON-STATE VOLTAGE		TYPICAL SWITCHING TIME		WORST-CASE dv/dt (V/us)	SURGE CURRENT I <sub>ISM</sub> (A)	OPER. TEMP. RANGE (°C)	LEAD CODE	DRAWING No.	
		V <sub>DRM</sub> (V)	I <sub>RM</sub> (A)	I <sub>SM</sub> (A)	I <sub>SM</sub> (A)	I <sub>GT</sub> (A)	I <sub>VGT</sub> (V)		V <sub>CE</sub> (V)	V <sub>CE</sub> (V)	t <sub>gt</sub> (s)	t <sub>off</sub> (s)								
1	C107Q2	15	2.2	20C	500u	800m	3.0m	100u	110	2.5	4.0	1.2u	1.0	40u	8.0	15	4B	AF	MU113	
2	C107Q4	15	2.2	20C	500u	800m	3.0m	100u	110	2.5	4.0	1.2u	1.0	40u	8.0	15	4B	AA	MU38	
3	C108Q2	15	2.4	20C	200u	800m	3.0m	100u	110	2.2	4.0	1.2u	1.0	40u	8.0	20	4B	AF	MU113	
4	C108Q4	15	2.4	20C	200u	800m	3.0m	100u	110	2.2	4.0	1.2u	1.0	40u	8.0	20	4B	AA	MU38	
5	C107Q	15	2.4	70C	500u	800m	3.0m	10u	25C	2.5	4.0	1.7u	1.0	30u	8.0	15	4A	AC	Y202AB	
6	S208Q0	15	2.75	85C	200u	800m	3.0m	10u	25C	2.2	4.0	2.5u	1.0	100u	5.0	35	4B	AC	TO220AB	
7	S2081Q	15	2.75	85C	500u	800m	6.0m	10u	25C	2.2	4.0	2.5u	1.0	100u	5.0	35	4B	AC	TO220AB	
8	S2082Q	15	2.75	85C	2.0m	800m	10m	10u	25C	2.2	4.0	2.5u	1.0	100u	5.0	35	4B	AC	TO220AB	
9	C108Q2	15	3.0	40C	200u	800m	3.0m	100u	110	1.3	5.0	1.2u	1.0	40u	8.0	30	4B	AF	MU113	
10	C108Q4	15	3.0	40C	200u	800m	3.0m	100u	110	1.3	5.0	1.2u	1.0	40u	8.0	30	4B	AA	MU38	
11	C107Q1	15	3.7	20C	500u	800m	3.0m	100u	110	2.5	4.0	1.2u	1.0	40u	8.0	15	4B	AE	MU114	
12	C107Q3	15	3.7	20C	500u	800m	3.0m	100u	110	2.5	4.0	1.2u	1.0	40u	8.0	15	4B	AF	MU112	
13	C108Q1	15	4.0	20C	200u	800m	3.0m	100u	110	2.2	4.0	1.2u	1.0	40u	8.0	20	4B	AE	MU114	
14	C108Q3	15	4.0	20C	200u	800m	3.0m	100u	110	2.2	4.0	1.2u	1.0	40u	8.0	20	4B	AF	MU112	
15	T107Q1	15	4.0	20C	500u	800m	6.0m	10u	25L	2.5	4.0	1.2u	1.0	40u	8.0	15	4B	AE	MU114c	
16	C108Q	15	4.0	30A	200u	800m	3.0m	10u	25J	2.2	4.0	1.2u	1.0	40u	8.0	20	4B	AC	TO126	
17	T108Q1	15	4.0	30C	200u	800m	3.0m	10u	25L	2.2	4.0	1.2u	1.0	40u	8.0	20	4B	AC	MU154	
18	IR108Q1	15	4.0	30C	200u	800m	3.0m	10u	25L	2.2	4.0	1.2u	1.0	100u	8.0	25	4B	AC	MU146	
19	IR108Q2	15	4.0	30C	200u	800m	3.0m	10u	25L	2.8	2.5	1.2u	1.0	100u	8.0	25	4B	AC	MU146	
20	IR108Q3	15	4.0	30C	200u	800m	3.0m	10u	25L	2.8	2.5	1.2u	1.0	100u	8.0	25	4B	AC	MU146	
21	IR108Q4	15	4.0	30C	200u	800m	3.0m	10u	25L	2.8	2.5	1.2u	1.0	100u	8.0	25	4B	AC	MU146	
22	IR108Q41	15	4.0	30C	200u	800m	3.0m	10u	25L	2.8	2.5	1.2u	1.0	100u	8.0	25	4B	AC	MU146	
23	C108Q	15	4.0	70C	200u	800m	3.0m	10u	25C	1.3	5.0	1.7u	1.0	30u	8.0	30	4A	AC	Y202AB	
24	C108Q1	15	5.0	47C	200u	800m	3.0m	100u	110	1.3	5.0	1.2u	1.0	40u	8.0	30	4B	AE	MU114	
25	C108Q3	15	5.0	47C	200u	800m	3.0m	100u	110	1.3	5.0	1.2u	1.0	40u	8.0	30	4B	AF	MU112	
26#	TAG002-20	20	1.0	70C	1.0m		25m	2.0	1.0								4A	AD	TO5	
27#	TAG001-20	20	1.0	70C	15m		25m	2.0	1.0								4A	AD	TO5	
28	NCF020D	20	10	35	50m	3.5	15m	100	1.2			500n	10	6.0u	25	125	XA	AF	TO48	
29	16RC2A	20	35	35C	40m	2.0	20m	6.5m	125C	2.3	70	10		75u	25	250	6C	AF	TO48	
30#	60T4	25	26	25A	20m	80	3.0m	0.5m	100J	1.1	20					5.0	2A	AD	TO46	
31	2N1929	25	7.5	55A	30m	2.0	80m	2.0m	125A	1.4	7.5					30	6C	AF	RD18	
32	NMB125	25	800m	25J	200u	800m	5.0m	1.0u	25C	1.5	1.0			15u	20	8.0	6C	AD	RD26a	
33	2N4212	25	1.0	85	300u	1.0	7.0m	200u	125	2.0	1.1					15	4C	AD	TO5	
34	2N2008	25	1.3	80C	20m	1.0	5.0m	10m	125C	1.2	1.0					15	6F	AD	TO5	
35#	10T4	25	1.6	25C	10m	3.0	1.5m	25m	25J	2.0	1.0			20u		15	2A	AD	TO5	
36	HSE700-RT	25	1.6	25C	10m	3.0	2.0m	1.0m	25	2.0	1.0					15	4A	AD	TO5	
37#	10T4S	25	1.6	40C	200u	1.0	4.0m	25u	25J	2.0	1.0			20u		15	2A	AD	TO39	
38	2N2344	25	1.6	55C	75u	1.0	1.0m	100u	100	1.5	1.8					15	6A	AD	TO5	
39	MCR1908-1	25	1.6	65C	1.0m	1.0	5.0	500u	110J	1.7	1.0	800n	1.0	10u		15	6B	AD	TO39	
40	2N2322A	25	1.6	85C	75u	90	3.0m	100u	125C	1.5	1.8					15	6A	AD	TO5	
41	C5U	25	1.6	85C	200u	800m	2.0m	100u	125C	1.5	1.8	1.4u	1.0	40u		15	6A	AD	TO5	
42	2N2322	25	1.6	85C	350u	1.0	3.0m	100u	125C	1.5	1.8					15	6A	AD	TO5	
43	C8U	25	1.6	87C	1.0m	80	5.0m	0.1m	25J	1.4	1.0	1.4u	1.0	40u		10	4C	AD	TO5	
44	C511U	25	1.6	104C	20m	80	2.0m	0.1m	25J	2.2	4.0					15	6C	AD	RD19a	
45	C611U	25	1.6	104C	1.0m	80	5.0m	0.1m	25J	1.4	1.0	1.4u	1.0	40u		10	4C	AD	RD19a	
46	C15U	25	3.0	75C	25m	2.5	30m	9.0m	105J	1.8	1.8					60	XA	AF	TO64	
47	NCR020B	25	3.0	80B	25m	2.5	3.0m	1.0m	125C	2.0	1.0	1.2u	1.0	40u		25	XA	AF	SC3	
48	NMB139	25	4.0	20C	200u	800m	3.0m	100u	110	2.2	4.0			40u	8.0	20	4B	AE	MU114	
49	3TCRA	25	4.2	60B	50m	3.0	50m	5.0m	125J	1.4	3.0	2.0u	3.0	30u		40	XF	AF	SC5	
50	2N1770	25	4.7	60C	30m	2.0	80m	9.0m	125C	1.8	1.4					60	6C	AF	TO64	
51	2N1770A	25	4.7	105C	30m	2.0	80m	9.0m	150C	1.8	1.4					60	6F	AF	TO64	
52	2N4187	25	5.0	70C	80m	2.5	80m	2.0m	100C	2.0	1.5					100	4A	AF	SC48	
53	2N4175	25	5.0	70C	80m	2.5	80m	2.0m	100C	2.0	1.5					100	4A	AF	SC48	
54	2N4151	25	5.0	75C	80m	2.5	80m	2.0m	100C	2.0	1.5					100	4A	AF	RD4	
55	2N4159	25	5.0	75C	80m	2.5	80m	2.0m	100C	2.0	1.5					100	4A	AF	RD5a	
56	2N4183	25	5.0	75C	80m	2.5	80m	2.0m	100C	2.0	1.5					100	4A	AF	RD5a	
57	2N4191	25	5.0	75C	80m	2.5	80m	2.0m	100C	2.0	1.5					100	4A	AF	RD24	
58	NCF020C	25	6.0	70B	30m	2.0	4.5m	60C	1.9	4.7			12u			80	XA	AF	SC3	
59	HSE5050-RT	25	7.0	25C	15m	3.0	25m	1.0m	25	2.0	7.0					60	4A	AF	TO64	
60	7TCRA	25	7.0	50C	30m	2.5	30m	2.0m	125J	1.5	7.0					75	6C	AF	TO64	
61	3TCRA	25	7.0	80B	50m	3.0	50m	5.0m	125J	1.8	3.0	2.0u	5.0	30u		40	XF	AF	SC5	
62	C11U	25	7.4	80C	15m	2.0	8.0m	9.0m	125J	1.8	1.5	1.0u	10	15u		60	6C	AF	TO64	
63	C20U	25	7.4	80	25m	1.5	30m	10m	100J	1.8	1.0					80	XA	AF	SC18	
64	C22U	25	7.4	80	25m	1.5	30m	10m	100J	1.8	1.0					80	XA	AF	RD17	
65	C10U	25	7.4	105C	15m	2.0	25m	9.0m	150C	1.8	1.4					60	6F	AF	TO64	
66	HSE5000-RT	25	7.8	25C	20m	3.0	200m	1.0m	25	2.0	7.6					200	4A	AF	TO48	
67#	9XT2107-501	25	8.0	50C	80m	2.5	80m	2.0m	100C	2.0	1.5	1.0u				100	4A	AF	TO64	
68	MCR72-1	25	8.0	83C	200u	1.5	6.0m	500u	110J	2.0	16	1.0u	16			10	4B	AC	TO220AB	
69	MCR568-1	25	8.0	85C	30m	1.5	50m	2.0m	125J	2.2	24	1.0u	24			10	4C	AC	MU254	
70	2N1842	25	10	35C	150m	3.5	22m	35C	2.5	31						125	4A	AF	TO48	
71	10PCRA	25	10	64C	40m	3.0	40m	3.0m	125	2.8	50					200	5C	AF	X01	
72	10PCRA	25	10	64C	40m	3.0	40m	3.0m	125	2.8	50					200	125	5C	AC	RD66c
73	10PCRNA	25	10	64C	40m	3.0	40m	3.0m	125	2.8	50					200	125	5C	AF	SC183
74	10PCRSA	25	10	64C	40m	3.0	40m	3.0m	125	2.8	50					200	125	5C	AF	SC18w
75	C220U2	25	10	68C	25m	1.5	30m	500u	100C	1.9	20					200	90	XA	AC	SC66b
76	C220U3	25	10	68C	25m	1.5	30m	500u	100C											

## Impedance of Metal Film Resistors



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**DISCLAIMER**

FAIRCHILD SEMICONDUCTOR RESERVES THE RIGHT TO MAKE CHANGES WITHOUT FURTHER NOTICE TO ANY PRODUCTS HEREIN TO IMPROVE RELIABILITY, FUNCTION OR DESIGN. FAIRCHILD DOES NOT ASSUME ANY LIABILITY ARISING OUT OF THE APPLICATION OR USE OF ANY PRODUCT OR CIRCUIT DESCRIBED HEREIN; NEITHER DOES IT CONVEY ANY LICENSE UNDER ITS PATENT RIGHTS, NOR THE RIGHTS OF OTHERS.

**LIFE SUPPORT POLICY**

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

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

## Ordering Information

Product Number	Output Voltage Tolerance	Package	Operating Temperature
LM7805CT	±4%	TO-220	0 ~ + 125°C

Product Number	Output Voltage Tolerance	Package	Operating Temperature
MC7805CT	±4%	TO-220	0 ~ + 125°C
MC7806CT			
MC7808CT			
MC7809CT			
MC7810CT			
MC7812CT			
MC7815CT			
MC7818CT			
MC7824CT			
MC7805CDT			
MC7806CDT			
MC7808CDT			
MC7809CDT			
MC7810CDT			
MC7812CDT	±2%	TO-220	0 ~ + 125°C
MC7805ACT			
MC7806ACT			
MC7808ACT			
MC7809ACT			
MC7810ACT			
MC7812ACT			
MC7815ACT			
MC7818ACT			
MC7824ACT			

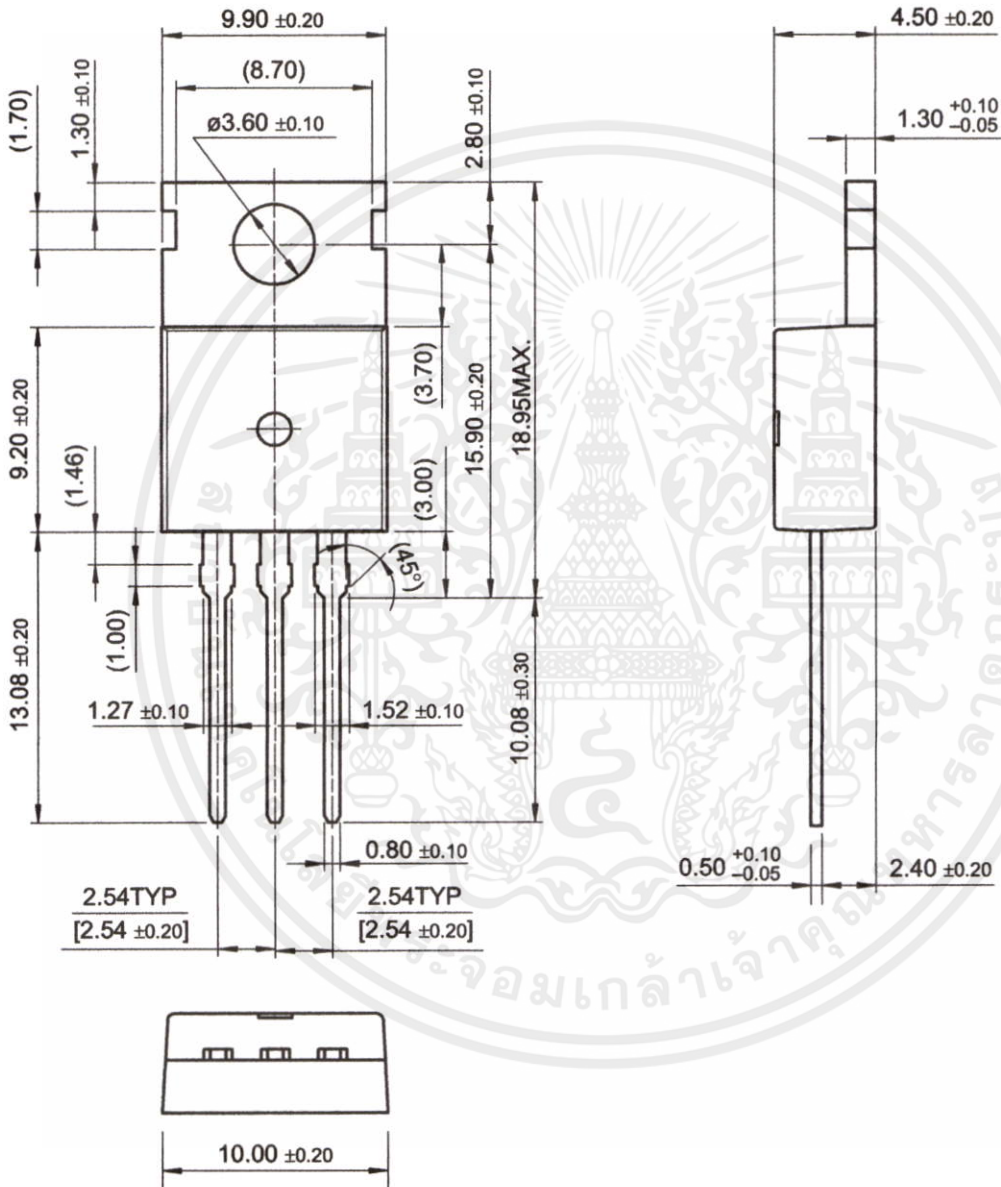
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



## Mechanical Dimensions

### Package

## TO-220



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

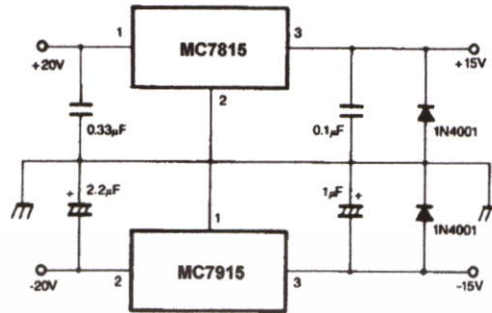


Figure 15. Split Power Supply ( ±15V-1A)

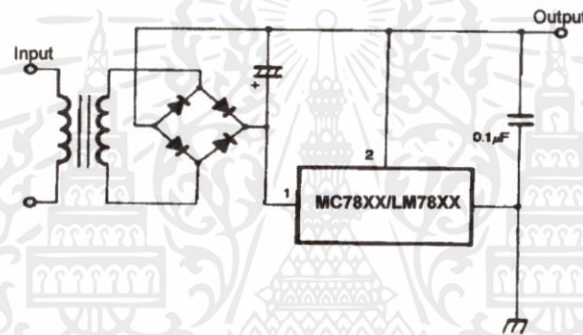


Figure 16. Negative Output Voltage Circuit

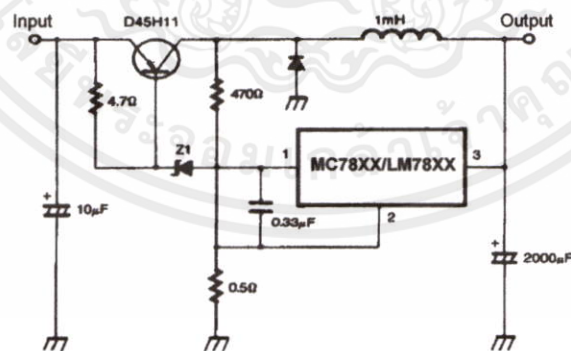


Figure 17. Switching Regulator

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

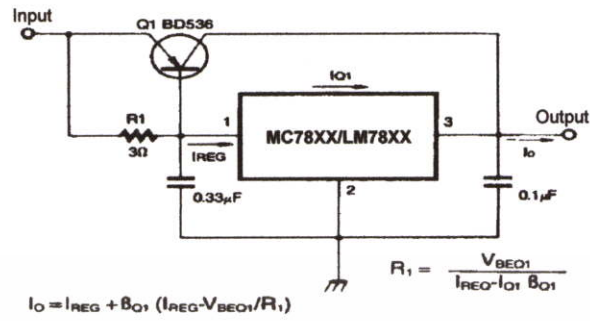


Figure 12. High Current Voltage Regulator

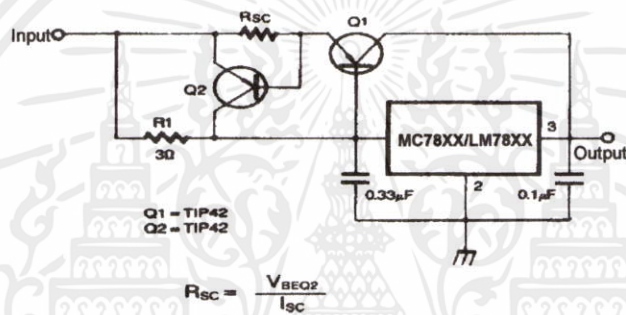


Figure 13. High Output Current with Short Circuit Protection

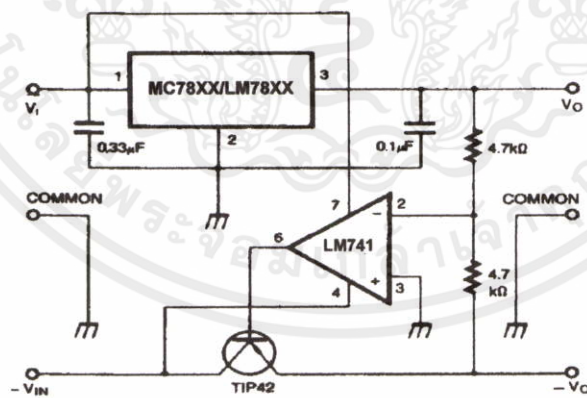


Figure 14. Tracking Voltage Regulator

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

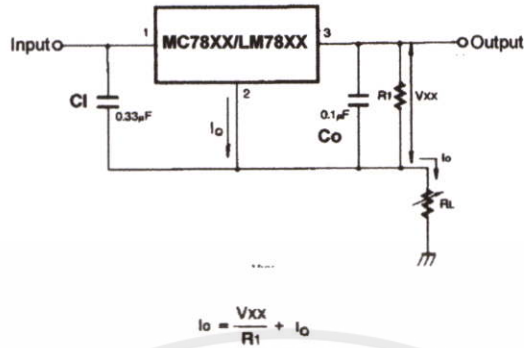


Figure 9. Constant Current Regulator

Notes:

- (1) To specify an output voltage, substitute voltage value for "XX." A common ground is required between the input and the Output voltage. The input voltage must remain typically 2.0V above the output voltage even during the low point on the input ripple voltage.
- (2) C<sub>1</sub> is required if regulator is located an appreciable distance from power Supply filter.
- (3) C<sub>0</sub> improves stability and transient response.

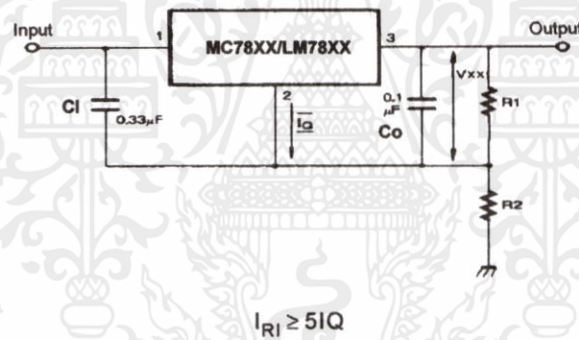
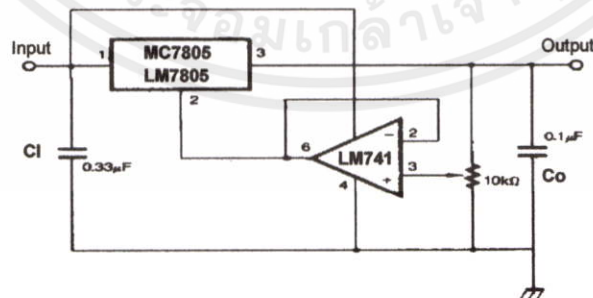


Figure 10. Circuit for Increasing Output Voltage



$$I_{R1} \geq 5I_Q$$

$$V_O = V_{xx}(1+R_2/R_1)+I_Q R_2$$

Figure 11. Adjustable Output Regulator (7 to 30V)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Typical Applications

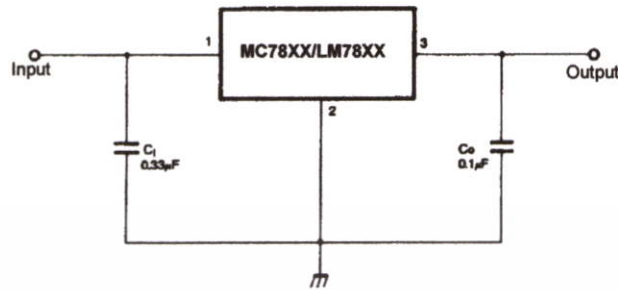


Figure 5. DC Parameters

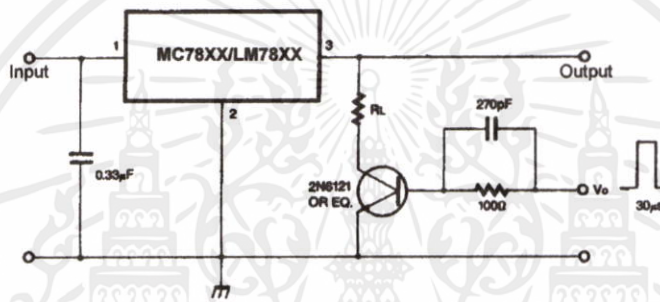


Figure 6. Load Regulation

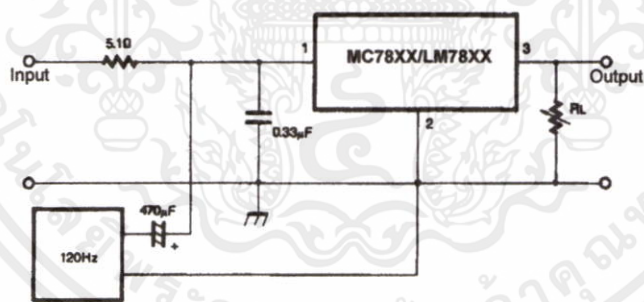


Figure 7. Ripple Rejection

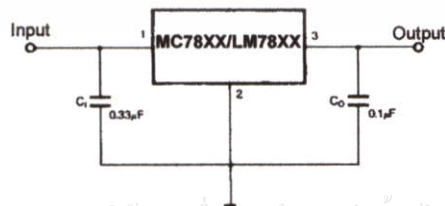


Figure 8. Fixed Output Regulator

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกหรือทำซ้ำของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Typical Performance Characteristics

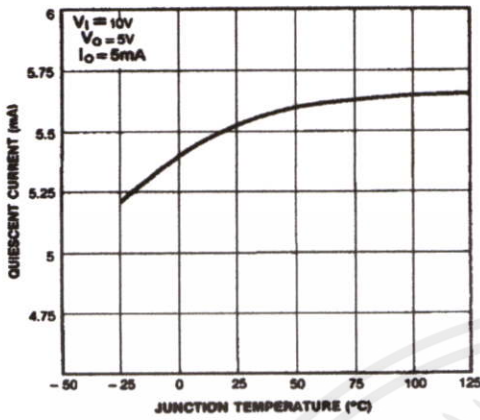


Figure 1. Quiescent Current

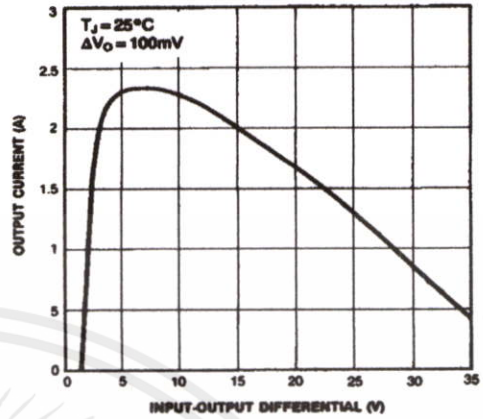


Figure 2. Peak Output Current

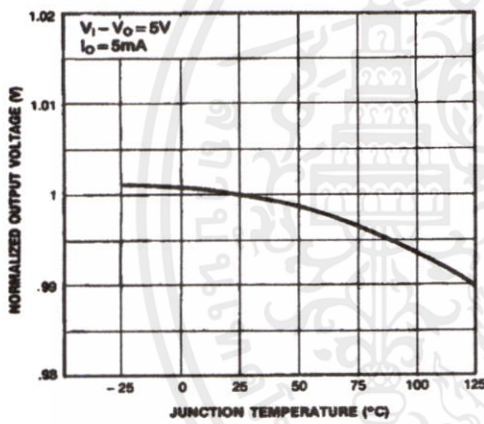


Figure 3. Output Voltage

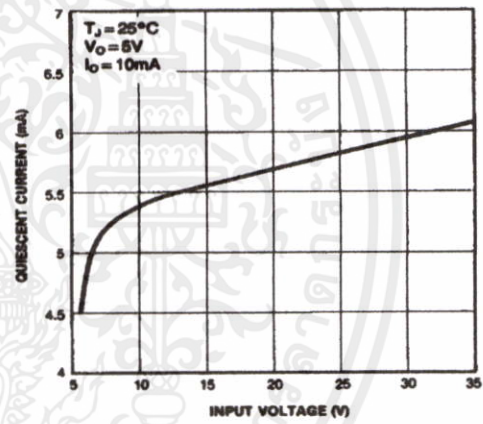


Figure 4. Quiescent Current

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Electrical Characteristics (MC7824A)

(Refer to the test circuits.  $0^{\circ}\text{C} < T_J < 125^{\circ}\text{C}$ ,  $I_O = 1\text{A}$ ,  $V_I = 33\text{V}$ ,  $C_I = 0.33\mu\text{F}$ ,  $C_O = 0.1\mu\text{F}$ , unless otherwise specified)

Parameter	Symbol	Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit	
Output Voltage	$V_O$	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	23.5	24	24.5	V	
		$I_O = 5\text{mA to } 1\text{A}$ , $P_O \leq 15\text{W}$ $V_I = 27.3\text{V to } 38\text{V}$	23	24	25		
Line Regulation (Note1)	Regline	$V_I = 27\text{V to } 38\text{V}$ $I_O = 500\text{mA}$	-	18	240	mV	
		$V_I = 21\text{V to } 33\text{V}$	-	6	240		
		$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	$V_I = 26.7\text{V to } 38\text{V}$	-	18		240
			$V_I = 30\text{V to } 36\text{V}$	-	6		120
Load Regulation (Note1)	Regload	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$ $I_O = 5\text{mA to } 1.5\text{A}$	-	15	100	mV	
		$I_O = 5\text{mA to } 1.0\text{A}$	-	15	100		
		$I_O = 250\text{mA to } 750\text{mA}$	-	7	50		
Quiescent Current	$I_Q$	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	-	5.2	6.0	mA	
Quiescent Current Change	$\Delta I_Q$	$V_I = 27.3\text{V to } 38\text{V}$ , $T_J = +25^{\circ}\text{C}$	-	-	0.8	mA	
		$V_I = 27.3\text{V to } 38\text{V}$ , $I_O = 500\text{mA}$	-	-	0.8		
		$I_O = 5\text{mA to } 1.0\text{A}$	-	-	0.5		
Output Voltage Drift	$\Delta V/\Delta T$	$I_O = 5\text{mA}$	-	-1.5	-	mV/ $^{\circ}\text{C}$	
Output Noise Voltage	$V_N$	$f = 10\text{Hz to } 100\text{KHz}$ $T_A = 25^{\circ}\text{C}$	-	10	-	$\mu\text{V}/V_O$	
Ripple Rejection	RR	$f = 120\text{Hz}$ , $I_O = 500\text{mA}$ $V_I = 28\text{V to } 38\text{V}$	-	54	-	dB	
Dropout Voltage	$V_{\text{Drop}}$	$I_O = 1\text{A}$ , $T_J = +25^{\circ}\text{C}$	-	2.0	-	V	
Output Resistance	$r_O$	$f = 1\text{KHz}$	-	20	-	$\text{m}\Omega$	
Short Circuit Current	ISC	$V_I = 35\text{V}$ , $T_A = +25^{\circ}\text{C}$	-	250	-	mA	
Peak Current	$I_{\text{PK}}$	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	-	2.2	-	A	

### Note:

1. Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Change in  $V_O$  due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty is used.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Electrical Characteristics (MC7818A)

(Refer to the test circuits.  $0^{\circ}\text{C} < T_J < 125^{\circ}\text{C}$ ,  $I_O = 1\text{A}$ ,  $V_I = 27\text{V}$ ,  $C_I = 0.33\mu\text{F}$ ,  $C_O = 0.1\mu\text{F}$ , unless otherwise specified)

Parameter	Symbol	Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit	
Output Voltage	$V_O$	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	17.64	18	18.36	V	
		$I_O = 5\text{mA to } 1\text{A}$ , $P_O \leq 15\text{W}$ $V_I = 21\text{V to } 33\text{V}$	17.3	18	18.7		
Line Regulation (Note1)	Regline	$V_I = 21\text{V to } 33\text{V}$ $I_O = 500\text{mA}$	-	15	180	mV	
		$V_I = 21\text{V to } 33\text{V}$	-	5	180		
		$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	$V_I = 20.6\text{V to } 33\text{V}$	-	15		180
			$V_I = 24\text{V to } 30\text{V}$	-	5		90
Load Regulation (Note1)	Regload	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$ $I_O = 5\text{mA to } 1.5\text{A}$	-	15	100	mV	
		$I_O = 5\text{mA to } 1.0\text{A}$	-	15	100		
		$I_O = 250\text{mA to } 750\text{mA}$	-	7	50		
Quiescent Current	$I_Q$	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	-	5.2	6.0	mA	
Quiescent Current Change	$\Delta I_Q$	$V_I = 21\text{V to } 33\text{V}$ , $T_J = +25^{\circ}\text{C}$	-	-	0.8	mA	
		$V_I = 21\text{V to } 33\text{V}$ , $I_O = 500\text{mA}$	-	-	0.8		
		$I_O = 5\text{mA to } 1.0\text{A}$	-	-	0.5		
Output Voltage Drift	$\Delta V/\Delta T$	$I_O = 5\text{mA}$	-	-1.0	-	mV/ $^{\circ}\text{C}$	
Output Noise Voltage	$V_N$	$f = 10\text{Hz to } 100\text{KHz}$ $T_A = +25^{\circ}\text{C}$	-	10	-	$\mu\text{V}/V_O$	
Ripple Rejection	RR	$f = 120\text{Hz}$ , $I_O = 500\text{mA}$ $V_I = 22\text{V to } 32\text{V}$	-	57	-	dB	
Dropout Voltage	$V_{\text{Drop}}$	$I_O = 1\text{A}$ , $T_J = +25^{\circ}\text{C}$	-	2.0	-	V	
Output Resistance	$r_O$	$f = 1\text{KHz}$	-	19	-	$\text{m}\Omega$	
Short Circuit Current	$I_{\text{SC}}$	$V_I = 35\text{V}$ , $T_A = +25^{\circ}\text{C}$	-	250	-	mA	
Peak Current	$I_{\text{PK}}$	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	-	2.2	-	A	

### Note:

1. Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Change in  $V_O$  due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty is used.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Electrical Characteristics (MC7815A)

(Refer to the test circuits.  $0^{\circ}\text{C} < T_J < 125^{\circ}\text{C}$ ,  $I_O = 1\text{A}$ ,  $V_I = 23\text{V}$ ,  $C_I = 0.33\mu\text{F}$ ,  $C_O = 0.1\mu\text{F}$ , unless otherwise specified)

Parameter	Symbol	Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit	
Output Voltage	$V_O$	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	14.7	15	15.3	V	
		$I_O = 5\text{mA}$ to 1A, $P_O \leq 15\text{W}$ $V_I = 17.7\text{V}$ to 30V	14.4	15	15.6		
Line Regulation (Note1)	Regline	$V_I = 17.9\text{V}$ to 30V $I_O = 500\text{mA}$	-	10	150	mV	
		$V_I = 20\text{V}$ to 26V	-	5	150		
		$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	$V_I = 17.5\text{V}$ to 30V	-	11		150
			$V_I = 20\text{V}$ to 26V	-	3		75
Load Regulation (Note1)	Regload	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$ $I_O = 5\text{mA}$ to 1.5A	-	12	100	mV	
		$I_O = 5\text{mA}$ to 1.0A	-	12	100		
		$I_O = 250\text{mA}$ to 750mA	-	5	50		
Quiescent Current	$I_Q$	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	-	5.2	6.0	mA	
Quiescent Current Change	$\Delta I_Q$	$V_I = 17.5\text{V}$ to 30V, $T_J = +25^{\circ}\text{C}$	-	-	0.8	mA	
		$V_I = 17.5\text{V}$ to 30V, $I_O = 500\text{mA}$	-	-	0.8		
		$I_O = 5\text{mA}$ to 1.0A	-	-	0.5		
Output Voltage Drift	$\Delta V/\Delta T$	$I_O = 5\text{mA}$	-	-1.0	-	$\text{mV}/^{\circ}\text{C}$	
Output Noise Voltage	$V_N$	$f = 10\text{Hz}$ to 100KHz $T_A = +25^{\circ}\text{C}$	-	10	-	$\mu\text{V}/V_O$	
Ripple Rejection	RR	$f = 120\text{Hz}$ , $I_O = 500\text{mA}$ $V_I = 18.5\text{V}$ to 28.5V	-	58	-	dB	
Dropout Voltage	$V_{\text{Drop}}$	$I_O = 1\text{A}$ , $T_J = +25^{\circ}\text{C}$	-	2.0	-	V	
Output Resistance	$r_O$	$f = 1\text{KHz}$	-	19	-	$\text{m}\Omega$	
Short Circuit Current	ISC	$V_I = 35\text{V}$ , $T_A = +25^{\circ}\text{C}$	-	250	-	mA	
Peak Current	IPK	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	-	2.2	-	A	

### Note:

- Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Change in  $V_O$  due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty is used.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Electrical Characteristics (MC7812A)

(Refer to the test circuits.  $0^{\circ}\text{C} < T_J < 125^{\circ}\text{C}$ ,  $I_O = 1\text{A}$ ,  $V_I = 19\text{V}$ ,  $C_I = 0.33\mu\text{F}$ ,  $C_O = 0.1\mu\text{F}$ , unless otherwise specified)

Parameter	Symbol	Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit	
Output Voltage	$V_O$	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	11.75	12	12.25	V	
		$I_O = 5\text{mA to } 1\text{A}$ , $P_O \leq 15\text{W}$ $V_I = 14.8\text{V to } 27\text{V}$	11.5	12	12.5		
Line Regulation (Note1)	Regline	$V_I = 14.8\text{V to } 30\text{V}$ $I_O = 500\text{mA}$	-	10	120	mV	
		$V_I = 16\text{V to } 22\text{V}$	-	4	120		
		$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	$V_I = 14.5\text{V to } 27\text{V}$	-	10		120
			$V_I = 16\text{V to } 22\text{V}$	-	3		60
Load Regulation (Note1)	Regload	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$ $I_O = 5\text{mA to } 1.5\text{A}$	-	12	100	mV	
		$I_O = 5\text{mA to } 1.0\text{A}$	-	12	100		
		$I_O = 250\text{mA to } 750\text{mA}$	-	5	50		
Quiescent Current	$I_Q$	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	-	5.1	6.0	mA	
Quiescent Current Change	$\Delta I_Q$	$V_I = 15\text{V to } 30\text{V}$ , $T_J = +25^{\circ}\text{C}$	-	-	0.8	mA	
		$V_I = 14\text{V to } 27\text{V}$ , $I_O = 500\text{mA}$	-	-	0.8		
		$I_O = 5\text{mA to } 1.0\text{A}$	-	-	0.5		
Output Voltage Drift	$\Delta V/\Delta T$	$I_O = 5\text{mA}$	-	-1.0	-	$\text{mV}/^{\circ}\text{C}$	
Output Noise Voltage	$V_N$	$f = 10\text{Hz to } 100\text{KHz}$ $T_A = +25^{\circ}\text{C}$	-	10	-	$\mu\text{V}/V_O$	
Ripple Rejection	RR	$f = 120\text{Hz}$ , $I_O = 500\text{mA}$ $V_I = 14\text{V to } 24\text{V}$	-	60	-	dB	
Dropout Voltage	$V_{\text{Drop}}$	$I_O = 1\text{A}$ , $T_J = +25^{\circ}\text{C}$	-	2.0	-	V	
Output Resistance	$r_O$	$f = 1\text{KHz}$	-	18	-	$\text{m}\Omega$	
Short Circuit Current	$I_{\text{SC}}$	$V_I = 35\text{V}$ , $T_A = +25^{\circ}\text{C}$	-	250	-	mA	
Peak Current	$I_{\text{PK}}$	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	-	2.2	-	A	

### Note:

1. Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Change in  $V_O$  due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty is used.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Electrical Characteristics (MC7810A)

(Refer to the test circuits.  $0^{\circ}\text{C} < T_J < 125^{\circ}\text{C}$ ,  $I_O = 1\text{A}$ ,  $V_I = 16\text{V}$ ,  $C_I = 0.33\mu\text{F}$ ,  $C_O = 0.1\mu\text{F}$ , unless otherwise specified)

Parameter	Symbol	Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit	
Output Voltage	$V_O$	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	9.8	10	10.2	V	
		$I_O = 5\text{mA to } 1\text{A}$ , $P_O \leq 15\text{W}$ $V_I = 12.8\text{V to } 25\text{V}$	9.6	10	10.4		
Line Regulation (Note1)	Regline	$V_I = 12.8\text{V to } 26\text{V}$ $I_O = 500\text{mA}$	-	8	100	mV	
		$V_I = 13\text{V to } 20\text{V}$	-	4	50		
		$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	$V_I = 12.5\text{V to } 25\text{V}$	-	8		100
			$V_I = 13\text{V to } 20\text{V}$	-	3		50
Load Regulation (Note1)	Regload	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$ $I_O = 5\text{mA to } 1.5\text{A}$	-	12	100	mV	
		$I_O = 5\text{mA to } 1.0\text{A}$	-	12	100		
		$I_O = 250\text{mA to } 750\text{mA}$	-	5	50		
Quiescent Current	$I_Q$	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	-	5.0	6.0	mA	
Quiescent Current Change	$\Delta I_Q$	$V_I = 13\text{V to } 26\text{V}$ , $T_J = +25^{\circ}\text{C}$	-	-	0.5	mA	
		$V_I = 12.8\text{V to } 25\text{V}$ , $I_O = 500\text{mA}$	-	-	0.8		
		$I_O = 5\text{mA to } 1.0\text{A}$	-	-	0.5		
Output Voltage Drift	$\Delta V/\Delta T$	$I_O = 5\text{mA}$	-	-1.0	-	mV/ $^{\circ}\text{C}$	
Output Noise Voltage	$V_N$	$f = 10\text{Hz to } 100\text{KHz}$ $T_A = +25^{\circ}\text{C}$	-	10	-	$\mu\text{V}/V_O$	
Ripple Rejection	RR	$f = 120\text{Hz}$ , $I_O = 500\text{mA}$ $V_I = 14\text{V to } 24\text{V}$	-	62	-	dB	
Dropout Voltage	$V_{\text{Drop}}$	$I_O = 1\text{A}$ , $T_J = +25^{\circ}\text{C}$	-	2.0	-	V	
Output Resistance	$r_O$	$f = 1\text{KHz}$	-	17	-	m $\Omega$	
Short Circuit Current	$I_{\text{SC}}$	$V_I = 35\text{V}$ , $T_A = +25^{\circ}\text{C}$	-	250	-	mA	
Peak Current	$I_{\text{PK}}$	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	-	2.2	-	A	

### Note:

1. Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Change in  $V_O$  due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty is used.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Electrical Characteristics (MC7809A)

(Refer to the test circuits.  $0^{\circ}\text{C} < T_J < 125^{\circ}\text{C}$ ,  $I_O = 1\text{A}$ ,  $V_I = 15\text{V}$ ,  $C_I = 0.33\mu\text{F}$ ,  $C_O = 0.1\mu\text{F}$ , unless otherwise specified)

Parameter	Symbol	Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit	
Output Voltage	VO	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	8.82	9.0	9.18	V	
		$I_O = 5\text{mA to } 1\text{A}$ , $P_O \leq 15\text{W}$ $V_I = 11.2\text{V to } 24\text{V}$	8.65	9.0	9.35		
Line Regulation (Note1)	Regline	$V_I = 11.7\text{V to } 25\text{V}$ $I_O = 500\text{mA}$	-	6	90	mV	
		$V_I = 12.5\text{V to } 19\text{V}$	-	4	45		
		$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	$V_I = 11.5\text{V to } 24\text{V}$	-	6		90
			$V_I = 12.5\text{V to } 19\text{V}$	-	2		45
Load Regulation (Note1)	Regload	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$ $I_O = 5\text{mA to } 1.0\text{A}$	-	12	100	mV	
		$I_O = 5\text{mA to } 1.0\text{A}$	-	12	100		
		$I_O = 250\text{mA to } 750\text{mA}$	-	5	50		
Quiescent Current	I <sub>Q</sub>	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	-	5.0	6.0	mA	
Quiescent Current Change	$\Delta I_Q$	$V_I = 11.7\text{V to } 25\text{V}$ , $T_J = +25^{\circ}\text{C}$	-	-	0.8	mA	
		$V_I = 12\text{V to } 25\text{V}$ , $I_O = 500\text{mA}$	-	-	0.8		
		$I_O = 5\text{mA to } 1.0\text{A}$	-	-	0.5		
Output Voltage Drift	$\Delta V/\Delta T$	$I_O = 5\text{mA}$	-	-1.0	-	mV/ $^{\circ}\text{C}$	
Output Noise Voltage	V <sub>N</sub>	$f = 10\text{Hz to } 100\text{KHz}$ $T_A = +25^{\circ}\text{C}$	-	10	-	$\mu\text{V}/V_O$	
Ripple Rejection	RR	$f = 120\text{Hz}$ , $I_O = 500\text{mA}$ $V_I = 12\text{V to } 22\text{V}$	-	62	-	dB	
Dropout Voltage	V <sub>Drop</sub>	$I_O = 1\text{A}$ , $T_J = +25^{\circ}\text{C}$	-	2.0	-	V	
Output Resistance	r <sub>O</sub>	$f = 1\text{KHz}$	-	17	-	m $\Omega$	
Short Circuit Current	I <sub>SC</sub>	$V_I = 35\text{V}$ , $T_A = +25^{\circ}\text{C}$	-	250	-	mA	
Peak Current	I <sub>PK</sub>	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	-	2.2	-	A	

### Note:

- Load and line regulation are specified at constant, junction temperature. Change in  $V_O$  due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty is used.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Electrical Characteristics (MC7808A)

(Refer to the test circuits.  $0^{\circ}\text{C} < T_J < 125^{\circ}\text{C}$ ,  $I_O = 1\text{A}$ ,  $V_I = 14\text{V}$ ,  $C_I = 0.33\mu\text{F}$ ,  $C_O = 0.1\mu\text{F}$ , unless otherwise specified)

Parameter	Symbol	Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit	
Output Voltage	$V_O$	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	7.84	8	8.16	V	
		$I_O = 5\text{mA to } 1\text{A}$ , $P_O \leq 15\text{W}$ $V_I = 10.6\text{V to } 23\text{V}$	7.7	8	8.3		
Line Regulation (Note1)	Regline	$V_I = 10.6\text{V to } 25\text{V}$ $I_O = 500\text{mA}$	-	6	80	mV	
		$V_I = 11\text{V to } 17\text{V}$	-	3	80		
		$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	$V_I = 10.4\text{V to } 23\text{V}$	-	6		80
			$V_I = 11\text{V to } 17\text{V}$	-	2		40
Load Regulation (Note1)	Regload	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$ $I_O = 5\text{mA to } 1.5\text{A}$	-	12	100	mV	
		$I_O = 5\text{mA to } 1\text{A}$	-	12	100		
		$I_O = 250\text{mA to } 750\text{mA}$	-	5	50		
Quiescent Current	$I_Q$	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	-	5.0	6	mA	
Quiescent Current Change	$\Delta I_Q$	$I_O = 5\text{mA to } 1\text{A}$	-	-	0.5	mA	
		$V_I = 11\text{V to } 25\text{V}$ , $I_O = 500\text{mA}$	-	-	0.8		
		$V_I = 10.6\text{V to } 23\text{V}$ , $T_J = +25^{\circ}\text{C}$	-	-	0.8		
Output Voltage Drift	$\Delta V/\Delta T$	$I_O = 5\text{mA}$	-	-0.8	-	mV/ $^{\circ}\text{C}$	
Output Noise Voltage	$V_N$	$f = 10\text{Hz to } 100\text{KHz}$ $T_A = +25^{\circ}\text{C}$	-	10	-	$\mu\text{V}/V_O$	
Ripple Rejection	RR	$f = 120\text{Hz}$ , $I_O = 500\text{mA}$ $V_I = 11.5\text{V to } 21.5\text{V}$	-	62	-	dB	
Dropout Voltage	$V_{\text{Drop}}$	$I_O = 1\text{A}$ , $T_J = +25^{\circ}\text{C}$	-	2	-	V	
Output Resistance	$r_O$	$f = 1\text{KHz}$	-	18	-	$\text{m}\Omega$	
Short Circuit Current	ISC	$V_I = 35\text{V}$ , $T_A = +25^{\circ}\text{C}$	-	250	-	mA	
Peak Current	$I_{\text{PK}}$	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	-	2.2	-	A	

- Note:**
1. Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Change in  $V_O$  due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty is used.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Electrical Characteristics (MC7806A)

(Refer to the test circuits.  $0^{\circ}\text{C} < T_J < 125^{\circ}\text{C}$ ,  $I_O = 1\text{A}$ ,  $V_I = 11\text{V}$ ,  $C_I = 0.33\mu\text{F}$ ,  $C_O = 0.1\mu\text{F}$ , unless otherwise specified)

Parameter	Symbol	Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit	
Output Voltage	$V_O$	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	5.58	6	6.12	V	
		$I_O = 5\text{mA to } 1\text{A}$ , $P_O \leq 15\text{W}$ $V_I = 8.6\text{V to } 21\text{V}$	5.76	6	6.24		
Line Regulation (Note1)	Regline	$V_I = 8.6\text{V to } 25\text{V}$ $I_O = 500\text{mA}$	-	5	60	mV	
		$V_I = 9\text{V to } 13\text{V}$	-	3	60		
		$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	$V_I = 8.3\text{V to } 21\text{V}$	-	5		60
			$V_I = 9\text{V to } 13\text{V}$	-	1.5		30
Load Regulation (Note1)	Regload	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$ $I_O = 5\text{mA to } 1.5\text{A}$	-	9	100	mV	
		$I_O = 5\text{mA to } 1\text{A}$	-	4	100		
		$I_O = 250\text{mA to } 750\text{mA}$	-	5.0	50		
Quiescent Current	$I_Q$	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	-	4.3	6	mA	
Quiescent Current Change	$\Delta I_Q$	$I_O = 5\text{mA to } 1\text{A}$	-	-	0.5	mA	
		$V_I = 9\text{V to } 25\text{V}$ , $I_O = 500\text{mA}$	-	-	0.8		
		$V_I = 8.5\text{V to } 21\text{V}$ , $T_J = +25^{\circ}\text{C}$	-	-	0.8		
Output Voltage Drift	$\Delta V/\Delta T$	$I_O = 5\text{mA}$	-	-0.8	-	mV/ $^{\circ}\text{C}$	
Output Noise Voltage	$V_N$	$f = 10\text{Hz to } 100\text{KHz}$ $T_A = +25^{\circ}\text{C}$	-	10	-	$\mu\text{V}/V_O$	
Ripple Rejection	RR	$f = 120\text{Hz}$ , $I_O = 500\text{mA}$ $V_I = 9\text{V to } 19\text{V}$	-	65	-	dB	
Dropout Voltage	$V_{\text{Drop}}$	$I_O = 1\text{A}$ , $T_J = +25^{\circ}\text{C}$	-	2	-	V	
Output Resistance	$r_O$	$f = 1\text{KHz}$	-	17	-	$\text{m}\Omega$	
Short Circuit Current	$I_{\text{SC}}$	$V_I = 35\text{V}$ , $T_A = +25^{\circ}\text{C}$	-	250	-	mA	
Peak Current	$I_{\text{PK}}$	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	-	2.2	-	A	

### Note:

1. Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Change in  $V_O$  due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty is used.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Electrical Characteristics (MC7805A)

(Refer to the test circuits.  $0^{\circ}\text{C} < T_J < 125^{\circ}\text{C}$ ,  $I_O = 1\text{A}$ ,  $V_I = 10\text{V}$ ,  $C_I = 0.33\mu\text{F}$ ,  $C_O = 0.1\mu\text{F}$ , unless otherwise specified)

Parameter	Symbol	Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit	
Output Voltage	$V_O$	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	4.9	5	5.1	V	
		$I_O = 5\text{mA to } 1\text{A}$ , $P_O \leq 15\text{W}$ $V_I = 7.5\text{V to } 20\text{V}$	4.8	5	5.2		
Line Regulation (Note1)	Regline	$V_I = 7.5\text{V to } 25\text{V}$ $I_O = 500\text{mA}$	-	5	50	mV	
		$V_I = 8\text{V to } 12\text{V}$	-	3	50		
		$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	$V_I = 7.3\text{V to } 20\text{V}$	-	5		50
			$V_I = 8\text{V to } 12\text{V}$	-	1.5		25
Load Regulation (Note1)	Regload	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$ $I_O = 5\text{mA to } 1.5\text{A}$	-	9	100	mV	
		$I_O = 5\text{mA to } 1\text{A}$	-	9	100		
		$I_O = 250\text{mA to } 750\text{mA}$	-	4	50		
Quiescent Current	$I_Q$	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	-	5.0	6	mA	
Quiescent Current Change	$\Delta I_Q$	$I_O = 5\text{mA to } 1\text{A}$	-	-	0.5	mA	
		$V_I = 8\text{V to } 25\text{V}$ , $I_O = 500\text{mA}$	-	-	0.8		
		$V_I = 7.5\text{V to } 20\text{V}$ , $T_J = +25^{\circ}\text{C}$	-	-	0.8		
Output Voltage Drift	$\Delta V/\Delta T$	$I_O = 5\text{mA}$	-	-0.8	-	mV/ $^{\circ}\text{C}$	
Output Noise Voltage	$V_N$	$f = 10\text{Hz to } 100\text{KHz}$ $T_A = +25^{\circ}\text{C}$	-	10	-	$\mu\text{V}/V_O$	
Ripple Rejection	RR	$f = 120\text{Hz}$ , $I_O = 500\text{mA}$ $V_I = 8\text{V to } 18\text{V}$	-	68	-	dB	
Dropout Voltage	$V_{\text{Drop}}$	$I_O = 1\text{A}$ , $T_J = +25^{\circ}\text{C}$	-	2	-	V	
Output Resistance	$r_O$	$f = 1\text{KHz}$	-	17	-	$\text{m}\Omega$	
Short Circuit Current	ISC	$V_I = 35\text{V}$ , $T_A = +25^{\circ}\text{C}$	-	250	-	mA	
Peak Current	$I_{\text{PK}}$	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	-	2.2	-	A	

- Note:**
1. Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Change in  $V_O$  due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty is used.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Electrical Characteristics (MC7824)

(Refer to test circuit,  $0^{\circ}\text{C} < T_J < 125^{\circ}\text{C}$ ,  $I_O = 500\text{mA}$ ,  $V_I = 33\text{V}$ ,  $C_I = 0.33\mu\text{F}$ ,  $C_O = 0.1\mu\text{F}$ , unless otherwise specified)

Parameter	Symbol	Conditions	MC7824			Unit	
			Min.	Typ.	Max.		
Output Voltage	$V_O$	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	23	24	25	V	
		$5.0\text{mA} \leq I_O \leq 1.0\text{A}$ , $P_O \leq 15\text{W}$ $V_I = 27\text{V to } 38\text{V}$	22.8	24	25.25		
Line Regulation (Note1)	Regline	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	$V_I = 27\text{V to } 38\text{V}$	-	17	480	mV
			$V_I = 30\text{V to } 36\text{V}$	-	6	240	
Load Regulation (Note1)	Regload	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	$I_O = 5\text{mA to } 1.5\text{A}$	-	15	480	mV
			$I_O = 250\text{mA to } 750\text{mA}$	-	5.0	240	
Quiescent Current	$I_Q$	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	-	5.2	8.0	mA	
Quiescent Current Change	$\Delta I_Q$	$I_O = 5\text{mA to } 1.0\text{A}$	-	0.1	0.5	mA	
		$V_I = 27\text{V to } 38\text{V}$	-	0.5	1		
Output Voltage Drift	$\Delta V_O / \Delta T$	$I_O = 5\text{mA}$	-	-1.5	-	mV/ $^{\circ}\text{C}$	
Output Noise Voltage	$V_N$	$f = 10\text{Hz to } 100\text{kHz}$ , $T_A = +25^{\circ}\text{C}$	-	60	-	$\mu\text{V}/V_O$	
Ripple Rejection	RR	$f = 120\text{Hz}$ $V_I = 28\text{V to } 38\text{V}$	50	67	-	dB	
Dropout Voltage	$V_{\text{Drop}}$	$I_O = 1\text{A}$ , $T_J = +25^{\circ}\text{C}$	-	2	-	V	
Output Resistance	$r_O$	$f = 1\text{kHz}$	-	28	-	$\text{m}\Omega$	
Short Circuit Current	$I_{\text{SC}}$	$V_I = 35\text{V}$ , $T_A = +25^{\circ}\text{C}$	-	230	-	mA	
Peak Current	$I_{\text{PK}}$	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	-	2.2	-	A	

### Note:

1. 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 is used.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Electrical Characteristics (MC7818)

(Refer to test circuit,  $0^{\circ}\text{C} < T_J < 125^{\circ}\text{C}$ ,  $I_O = 500\text{mA}$ ,  $V_I = 27\text{V}$ ,  $C_I = 0.33\mu\text{F}$ ,  $C_O = 0.1\mu\text{F}$ , unless otherwise specified)

Parameter	Symbol	Conditions	MC7818			Unit	
			Min.	Typ.	Max.		
Output Voltage	V <sub>O</sub>	T <sub>J</sub> = +25 °C	17.3	18	18.7	V	
		5.0mA ≤ I <sub>O</sub> ≤ 1.0A, P <sub>O</sub> ≤ 15W V <sub>I</sub> = 21V to 33V	17.1	18	18.9		
Line Regulation (Note1)	Regline	T <sub>J</sub> = +25 °C	V <sub>I</sub> = 21V to 33V	-	15	360	mV
			V <sub>I</sub> = 24V to 30V	-	5	180	
Load Regulation (Note1)	Regload	T <sub>J</sub> = +25 °C	I <sub>O</sub> = 5mA to 1.5A	-	15	360	mV
			I <sub>O</sub> = 250mA to 750mA	-	5.0	180	
Quiescent Current	I <sub>Q</sub>	T <sub>J</sub> = +25 °C	-	5.2	8.0	mA	
Quiescent Current Change	ΔI <sub>Q</sub>	I <sub>O</sub> = 5mA to 1.0A	-	-	0.5	mA	
		V <sub>I</sub> = 21V to 33V	-	-	1		
Output Voltage Drift	ΔV <sub>O</sub> /ΔT	I <sub>O</sub> = 5mA	-	-1	-	mV/°C	
Output Noise Voltage	V <sub>N</sub>	f = 10Hz to 100KHz, T <sub>A</sub> = +25 °C	-	110	-	μV/V <sub>O</sub>	
Ripple Rejection	RR	f = 120Hz V <sub>I</sub> = 22V to 32V	53	69	-	dB	
Dropout Voltage	V <sub>Drop</sub>	I <sub>O</sub> = 1A, T <sub>J</sub> = +25 °C	-	2	-	V	
Output Resistance	r <sub>O</sub>	f = 1KHz	-	22	-	mΩ	
Short Circuit Current	I <sub>SC</sub>	V <sub>I</sub> = 35V, T <sub>A</sub> = +25 °C	-	250	-	mA	
Peak Current	I <sub>PK</sub>	T <sub>J</sub> = +25 °C	-	2.2	-	A	

- Note:**
1. Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in V<sub>O</sub> due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty is used.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Electrical Characteristics (MC7815)

(Refer to test circuit,  $0^{\circ}\text{C} < T_J < 125^{\circ}\text{C}$ ,  $I_O = 500\text{mA}$ ,  $V_I = 23\text{V}$ ,  $C_I = 0.33\mu\text{F}$ ,  $C_O = 0.1\mu\text{F}$ , unless otherwise specified)

Parameter	Symbol	Conditions	MC7815			Unit	
			Min.	Typ.	Max.		
Output Voltage	$V_O$	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	14.4	15	15.6	V	
		$5.0\text{mA} \leq I_O \leq 1.0\text{A}$ , $P_O \leq 15\text{W}$ $V_I = 17.5\text{V to } 30\text{V}$	14.25	15	15.75		
Line Regulation (Note1)	Regline	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	$V_I = 17.5\text{V to } 30\text{V}$	-	11	300	mV
			$V_I = 20\text{V to } 26\text{V}$	-	3	150	
Load Regulation (Note1)	Regload	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	$I_O = 5\text{mA to } 1.5\text{A}$	-	12	300	mV
			$I_O = 250\text{mA to } 750\text{mA}$	-	4	150	
Quiescent Current	$I_Q$	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	-	5.2	8.0	mA	
Quiescent Current Change	$\Delta I_Q$	$I_O = 5\text{mA to } 1.0\text{A}$	-	-	0.5	mA	
		$V_I = 17.5\text{V to } 30\text{V}$	-	-	1.0		
Output Voltage Drift	$\Delta V_O / \Delta T$	$I_O = 5\text{mA}$	-	-1	-	mV/ $^{\circ}\text{C}$	
Output Noise Voltage	$V_N$	$f = 10\text{Hz to } 100\text{kHz}$ , $T_A = +25^{\circ}\text{C}$	-	90	-	$\mu\text{V}/V_O$	
Ripple Rejection	RR	$f = 120\text{Hz}$ $V_I = 18.5\text{V to } 28.5\text{V}$	54	70	-	dB	
Dropout Voltage	$V_{\text{Drop}}$	$I_O = 1\text{A}$ , $T_J = +25^{\circ}\text{C}$	-	2	-	V	
Output Resistance	$r_O$	$f = 1\text{kHz}$	-	19	-	$\text{m}\Omega$	
Short Circuit Current	$I_{\text{SC}}$	$V_I = 35\text{V}$ , $T_A = +25^{\circ}\text{C}$	-	250	-	mA	
Peak Current	$I_{\text{PK}}$	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	-	2.2	-	A	

### Note:

1. 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 is used.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Electrical Characteristics (MC7812)

(Refer to test circuit ,0°C < T<sub>J</sub> < 125°C, I<sub>O</sub> = 500mA, V<sub>I</sub> =19V, C<sub>I</sub>= 0.33μF, C<sub>O</sub>=0.1μF, unless otherwise specified)

Parameter	Symbol	Conditions	MC7812			Unit	
			Min.	Typ.	Max.		
Output Voltage	V <sub>O</sub>	T <sub>J</sub> =+25 °C	11.5	12	12.5	V	
		5.0mA ≤ I <sub>O</sub> ≤1.0A, P <sub>O</sub> ≤15W V <sub>I</sub> = 14.5V to 27V	11.4	12	12.6		
Line Regulation (Note1)	Regline	T <sub>J</sub> =+25 °C	V <sub>I</sub> = 14.5V to 30V	-	10	240	mV
			V <sub>I</sub> = 16V to 22V	-	3.0	120	
Load Regulation (Note1)	Regload	T <sub>J</sub> =+25 °C	I <sub>O</sub> = 5mA to 1.5A	-	11	240	mV
			I <sub>O</sub> = 250mA to 750mA	-	5.0	120	
Quiescent Current	I <sub>Q</sub>	T <sub>J</sub> =+25 °C	-	5.1	8.0	mA	
Quiescent Current Change	ΔI <sub>Q</sub>	I <sub>O</sub> = 5mA to 1.0A	-	0.1	0.5	mA	
		V <sub>I</sub> = 14.5V to 30V	-	0.5	1.0		
Output Voltage Drift	ΔV <sub>O</sub> /ΔT	I <sub>O</sub> = 5mA	-	-1	-	mV/°C	
Output Noise Voltage	V <sub>N</sub>	f = 10Hz to 100KHz, T <sub>A</sub> =+25 °C	-	76	-	μV/V <sub>O</sub>	
Ripple Rejection	RR	f = 120Hz V <sub>I</sub> = 15V to 25V	55	71	-	dB	
Dropout Voltage	V <sub>Drop</sub>	I <sub>O</sub> = 1A, T <sub>J</sub> =+25 °C	-	2	-	V	
Output Resistance	r <sub>O</sub>	f = 1KHz	-	18	-	mΩ	
Short Circuit Current	I <sub>SC</sub>	V <sub>I</sub> = 35V, T <sub>A</sub> =+25 °C	-	230	-	mA	
Peak Current	I <sub>PK</sub>	T <sub>J</sub> = +25 °C	-	2.2	-	A	

### Note:

1. Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in V<sub>O</sub> due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty is used.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Electrical Characteristics (MC7810)

(Refer to test circuit ,0°C < T<sub>J</sub> < 125°C, I<sub>O</sub> = 500mA, V<sub>I</sub> = 16V, C<sub>I</sub> = 0.33μF, C<sub>O</sub> = 0.1μF, unless otherwise specified)

Parameter	Symbol	Conditions	MC7810			Unit	
			Min.	Typ.	Max.		
Output Voltage	V <sub>O</sub>	T <sub>J</sub> = +25 °C	9.6	10	10.4	V	
		5.0mA ≤ I <sub>O</sub> ≤ 1.0A, P <sub>O</sub> ≤ 15W V <sub>I</sub> = 12.5V to 25V	9.5	10	10.5		
Line Regulation (Note1)	Regline	T <sub>J</sub> = +25°C	V <sub>I</sub> = 12.5V to 25V	-	10	200	mV
			V <sub>I</sub> = 13V to 25V	-	3	100	
Load Regulation (Note1)	Regload	T <sub>J</sub> = +25°C	I <sub>O</sub> = 5mA to 1.5A	-	12	200	mV
			I <sub>O</sub> = 250mA to 750mA	-	4	400	
Quiescent Current	I <sub>Q</sub>	T <sub>J</sub> = +25°C	-	5.1	8.0	mA	
Quiescent Current Change	ΔI <sub>Q</sub>	I <sub>O</sub> = 5mA to 1.0A	-	-	0.5	mA	
		V <sub>I</sub> = 12.5V to 29V	-	-	1.0		
Output Voltage Drift	ΔV <sub>O</sub> /ΔT	I <sub>O</sub> = 5mA	-	-1	-	mV/°C	
Output Noise Voltage	V <sub>N</sub>	f = 10Hz to 100KHz, T <sub>A</sub> = +25 °C	-	58	-	μV/V <sub>O</sub>	
Ripple Rejection	RR	f = 120Hz V <sub>I</sub> = 13V to 23V	56	71	-	dB	
Dropout Voltage	V <sub>Drop</sub>	I <sub>O</sub> = 1A, T <sub>J</sub> = +25 °C	-	2	-	V	
Output Resistance	r <sub>O</sub>	f = 1KHz	-	17	-	mΩ	
Short Circuit Current	I <sub>SC</sub>	V <sub>I</sub> = 35V, T <sub>A</sub> = +25 °C	-	250	-	mA	
Peak Current	I <sub>PK</sub>	T <sub>J</sub> = +25 °C	-	2.2	-	A	

### Note:

1. Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in V<sub>O</sub> due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty is used.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Electrical Characteristics (MC7809)

(Refer to test circuit,  $0^{\circ}\text{C} < T_J < 125^{\circ}\text{C}$ ,  $I_O = 500\text{mA}$ ,  $V_I = 15\text{V}$ ,  $C_I = 0.33\mu\text{F}$ ,  $C_O = 0.1\mu\text{F}$ , unless otherwise specified)

Parameter	Symbol	Conditions	MC7809			Unit	
			Min.	Typ.	Max.		
Output Voltage	$V_O$	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	8.65	9	9.35	V	
		$5.0\text{mA} \leq I_O \leq 1.0\text{A}$ , $P_O \leq 15\text{W}$ $V_I = 11.5\text{V to } 24\text{V}$	8.6	9	9.4		
Line Regulation (Note1)	Regline	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	$V_I = 11.5\text{V to } 25\text{V}$	-	6	180	mV
			$V_I = 12\text{V to } 17\text{V}$	-	2	90	
Load Regulation (Note1)	Regload	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	$I_O = 5\text{mA to } 1.5\text{A}$	-	12	180	mV
			$I_O = 250\text{mA to } 750\text{mA}$	-	4	90	
Quiescent Current	$I_Q$	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	-	5.0	8.0	mA	
Quiescent Current Change	$\Delta I_Q$	$I_O = 5\text{mA to } 1.0\text{A}$	-	-	0.5	mA	
		$V_I = 11.5\text{V to } 26\text{V}$	-	-	1.3		
Output Voltage Drift	$\Delta V_O / \Delta T$	$I_O = 5\text{mA}$	-	-1	-	mV/°C	
Output Noise Voltage	$V_N$	$f = 10\text{Hz to } 100\text{kHz}$ , $T_A = +25^{\circ}\text{C}$	-	58	-	$\mu\text{V}/V_O$	
Ripple Rejection	RR	$f = 120\text{Hz}$ $V_I = 13\text{V to } 23\text{V}$	56	71	-	dB	
Dropout Voltage	$V_{\text{Drop}}$	$I_O = 1\text{A}$ , $T_J = +25^{\circ}\text{C}$	-	2	-	V	
Output Resistance	$r_O$	$f = 1\text{kHz}$	-	17	-	m $\Omega$	
Short Circuit Current	$I_{\text{SC}}$	$V_I = 35\text{V}$ , $T_A = +25^{\circ}\text{C}$	-	250	-	mA	
Peak Current	$I_{\text{PK}}$	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	-	2.2	-	A	

### Note:

1. 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 is used.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Electrical Characteristics (MC7808)

(Refer to test circuit,  $0^{\circ}\text{C} < T_J < 125^{\circ}\text{C}$ ,  $I_O = 500\text{mA}$ ,  $V_I = 14\text{V}$ ,  $C_I = 0.33\mu\text{F}$ ,  $C_O = 0.1\mu\text{F}$ , unless otherwise specified)

Parameter	Symbol	Conditions	MC7808			Unit	
			Min.	Typ.	Max.		
Output Voltage	$V_O$	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	7.7	8.0	8.3	V	
		$5.0\text{mA} \leq I_O \leq 1.0\text{A}$ , $P_O \leq 15\text{W}$ $V_I = 10.5\text{V to } 23\text{V}$	7.6	8.0	8.4		
Line Regulation (Note1)	Regline	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	$V_I = 10.5\text{V to } 25\text{V}$	-	5.0	160	mV
			$V_I = 11.5\text{V to } 17\text{V}$	-	2.0	80	
Load Regulation (Note1)	Regload	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	$I_O = 5.0\text{mA to } 1.5\text{A}$	-	10	160	mV
			$I_O = 250\text{mA to } 750\text{mA}$	-	5.0	80	
Quiescent Current	$I_Q$	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	-	5.0	8.0	mA	
Quiescent Current Change	$\Delta I_Q$	$I_O = 5\text{mA to } 1.0\text{A}$	-	0.05	0.5	mA	
		$V_I = 10.5\text{A to } 25\text{V}$	-	0.5	1.0		
Output Voltage Drift	$\Delta V_O / \Delta T$	$I_O = 5\text{mA}$	-	-0.8	-	mV/ $^{\circ}\text{C}$	
Output Noise Voltage	$V_N$	$f = 10\text{Hz to } 100\text{kHz}$ , $T_A = +25^{\circ}\text{C}$	-	52	-	$\mu\text{V}/V_O$	
Ripple Rejection	RR	$f = 120\text{Hz}$ , $V_I = 11.5\text{V to } 21.5\text{V}$	56	73	-	dB	
Dropout Voltage	$V_{\text{Drop}}$	$I_O = 1\text{A}$ , $T_J = +25^{\circ}\text{C}$	-	2	-	V	
Output Resistance	$r_O$	$f = 1\text{kHz}$	-	17	-	$\text{m}\Omega$	
Short Circuit Current	ISC	$V_I = 35\text{V}$ , $T_A = +25^{\circ}\text{C}$	-	230	-	mA	
Peak Current	IPK	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	-	2.2	-	A	

### Note:

1. 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 is used.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Electrical Characteristics (MC7806)

(Refer to test circuit,  $0^{\circ}\text{C} < T_J < 125^{\circ}\text{C}$ ,  $I_O = 500\text{mA}$ ,  $V_I = 11\text{V}$ ,  $C_I = 0.33\mu\text{F}$ ,  $C_O = 0.1\mu\text{F}$ , unless otherwise specified)

Parameter	Symbol	Conditions	MC7806			Unit	
			Min.	Typ.	Max.		
Output Voltage	$V_O$	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	5.75	6.0	6.25	V	
		$5.0\text{mA} \leq I_O \leq 1.0\text{A}$ , $P_O \leq 15\text{W}$ $V_I = 8.0\text{V to } 21\text{V}$	5.7	6.0	6.3		
Line Regulation (Note1)	Regline	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	$V_I = 8\text{V to } 25\text{V}$	-	5	120	mV
			$V_I = 9\text{V to } 13\text{V}$	-	1.5	60	
Load Regulation (Note1)	Regload	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	$I_O = 5\text{mA to } 1.5\text{A}$	-	9	120	mV
			$I_O = 250\text{mA to } 750\text{A}$	-	3	60	
Quiescent Current	$I_Q$	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	-	5.0	8.0	mA	
Quiescent Current Change	$\Delta I_Q$	$I_O = 5\text{mA to } 1\text{A}$	-	-	0.5	mA	
		$V_I = 8\text{V to } 25\text{V}$	-	-	1.3		
Output Voltage Drift	$\Delta V_O / \Delta T$	$I_O = 5\text{mA}$	-	-0.8	-	mV/ $^{\circ}\text{C}$	
Output Noise Voltage	$V_N$	$f = 10\text{Hz to } 100\text{KHz}$ , $T_A = +25^{\circ}\text{C}$	-	45	-	$\mu\text{V}/V_O$	
Ripple Rejection	RR	$f = 120\text{Hz}$ $V_I = 9\text{V to } 19\text{V}$	59	75	-	dB	
Dropout Voltage	$V_{\text{Drop}}$	$I_O = 1\text{A}$ , $T_J = +25^{\circ}\text{C}$	-	2	-	V	
Output Resistance	$r_O$	$f = 1\text{KHz}$	-	19	-	$\text{m}\Omega$	
Short Circuit Current	$I_{\text{SC}}$	$V_I = 35\text{V}$ , $T_A = +25^{\circ}\text{C}$	-	250	-	mA	
Peak Current	$I_{\text{PK}}$	$T_J = +25^{\circ}\text{C}$	-	2.2	-	A	

### Note:

1. 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 is used.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Absolute Maximum Ratings

Parameter	Symbol	Value	Unit
Input Voltage (for $V_O = 5V$ to $18V$ ) (for $V_O = 24V$ )	$V_I$	35	V
	$V_I$	40	V
Thermal Resistance Junction-Cases (TO-220)	$R_{\theta JC}$	5	$^{\circ}C/W$
Thermal Resistance Junction-Air (TO-220)	$R_{\theta JA}$	65	$^{\circ}C/W$
Operating Temperature Range	TOPR	0 ~ +125	$^{\circ}C$
Storage Temperature Range	TSTG	-65 ~ +150	$^{\circ}C$

## Electrical Characteristics (MC7805/LM7805)

(Refer to test circuit,  $0^{\circ}C < T_J < 125^{\circ}C$ ,  $I_O = 500mA$ ,  $V_I = 10V$ ,  $C_I = 0.33\mu F$ ,  $C_O = 0.1\mu F$ , unless otherwise specified)

Parameter	Symbol	Conditions	MC7805/LM7805			Unit	
			Min.	Typ.	Max.		
Output Voltage	$V_O$	$T_J = +25^{\circ}C$	4.8	5.0	5.2	V	
		$5.0mA \leq I_O \leq 1.0A$ , $P_O \leq 15W$ $V_I = 7V$ to $20V$	4.75	5.0	5.25		
Line Regulation (Note1)	Regline	$T_J = +25^{\circ}C$	$V_O = 7V$ to $25V$	-	4.0	100	mV
			$V_I = 8V$ to $12V$	-	1.6	50	
Load Regulation (Note1)	Regload	$T_J = +25^{\circ}C$	$I_O = 5.0mA$ to $1.5A$	-	9	100	mV
			$I_O = 250mA$ to $750mA$	-	4	50	
Quiescent Current	$I_Q$	$T_J = +25^{\circ}C$	-	5.0	8.0	mA	
Quiescent Current Change	$\Delta I_Q$	$I_O = 5mA$ to $1.0A$	-	0.03	0.5	mA	
		$V_I = 7V$ to $25V$	-	0.3	1.3		
Output Voltage Drift	$\Delta V_O / \Delta T$	$I_O = 5mA$	-	-0.8	-	$mV / ^{\circ}C$	
Output Noise Voltage	$V_N$	$f = 10Hz$ to $100KHz$ , $T_A = +25^{\circ}C$	-	42	-	$\mu V / V_O$	
Ripple Rejection	RR	$f = 120Hz$ $V_O = 8V$ to $18V$	62	73	-	dB	
Dropout Voltage	$V_{Drop}$	$I_O = 1A$ , $T_J = +25^{\circ}C$	-	2	-	V	
Output Resistance	$r_O$	$f = 1KHz$	-	15	-	$m\Omega$	
Short Circuit Current	$I_{SC}$	$V_I = 35V$ , $T_A = +25^{\circ}C$	-	230	-	mA	
Peak Current	IPK	$T_J = +25^{\circ}C$	-	2.2	-	A	

### Note:

1. 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 is used.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# MC78XX/LM78XX/MC78XXA

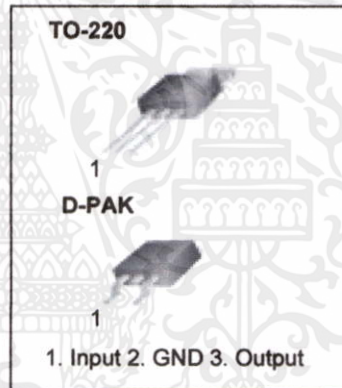
## 3-Terminal 1A Positive Voltage Regulator

### Features

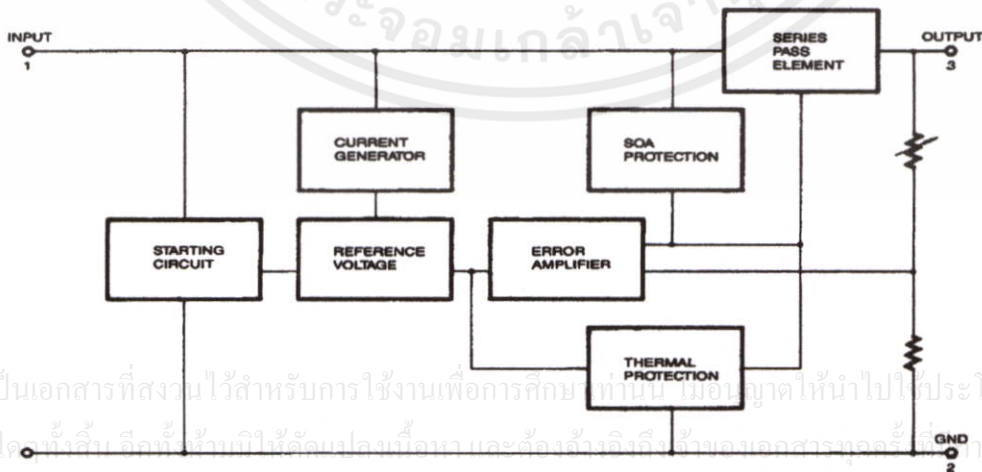
- Output Current up to 1A
- Output Voltages of 5, 6, 8, 9, 10, 12, 15, 18, 24V
- Thermal Overload Protection
- Short Circuit Protection
- Output Transistor Safe Operating Area Protection

### Description

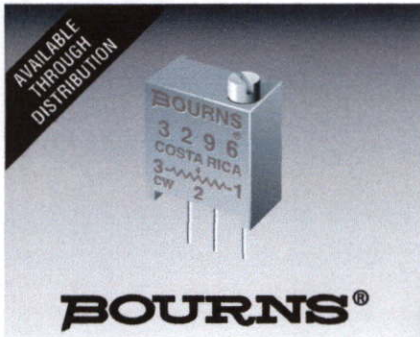
The MC78XX/LM78XX/MC78XXA series of three terminal positive regulators are available in the TO-220/D-PAK package and with several fixed output voltages, making them useful in a wide range of applications. Each type employs internal current limiting, thermal shut down and safe operating area protection, making it essentially indestructible. If adequate heat sinking is provided, they can deliver over 1A output current. Although designed primarily as fixed voltage regulators, these devices can be used with external components to obtain adjustable voltages and currents.



### Internal Block Diagram



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปประ โยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ผู้ที่นำข้อมูลนี้ไปดัดแปลงเพื่อขายและต้องแจ้งถึงที่มาของเอกสารผู้จัดให้มีการนำไปใช้



## Features

- Multiturn / Cermet / Industrial / Sealed
- 5 terminal styles
- Tape and reel packaging available
- Chevron seal design
- Listed on the QPL for style RJ24 per MIL-R-22097 and RJR24 per High-Rel Mil-R-39035

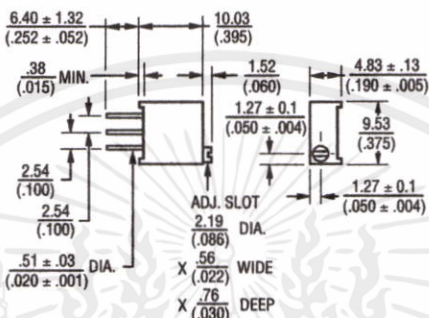
- Mounting hardware available (H-117P)
- Lead free version available

# 3296 - 3/8" Square Trimming Potentiometer

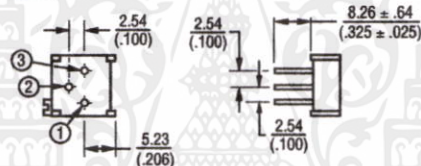
## Electrical Characteristics

- Standard Resistance Range .....10 ohms to 2 megohms  
(see standard resistance table)
- Resistance Tolerance .....±10 % std.  
(tighter tolerance available)
- Absolute Minimum Resistance .....1 % or 2 ohms max.  
(whichever is greater)
- Contact Resistance Variation .....1.0 % or 3 ohms max.  
(whichever is greater)
- Adjustability  
Voltage .....±0.01 %  
Resistance .....±0.05 %  
Resolution .....Infinite
- Insulation Resistance .....500 vdc.  
1,000 megohms min.
- Dielectric Strength  
Sea Level .....900 vac  
70,000 Feet .....350 vac  
Effective Travel .....25 turns nom.

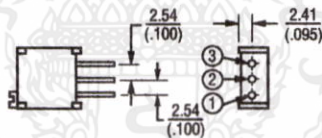
## Common Dimensions



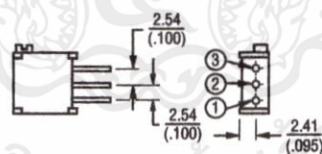
## 3296P



## 3296W



## 3296X



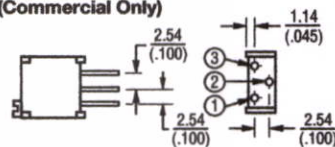
## How to Order

**3296 W - 1 - 103 LF**

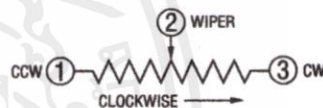
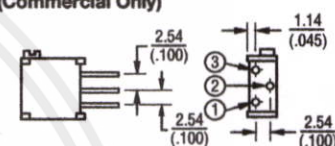
- Model \_\_\_\_\_
- Style \_\_\_\_\_
- Standard or Modified Product Indicator  
-1 = Standard Product
- Resistance Code \_\_\_\_\_
- Packaging Designator \_\_\_\_\_  
Blank = Tube (Standard)  
R = Tape and Reel (X and W Pin Styles Only)  
A = Ammo Pack (X and W Pin Styles Only)
- Terminations \_\_\_\_\_  
LF = 100 % Tin-plated (lead free)  
Blank = 90 % Tin / 10 % Lead-plated

Consult factory for other available options.

## 3296Y (Commercial Only)



## 3296Z (Commercial Only)



TOLERANCES: ± 0.25 (.010) EXCEPT WHERE NOTED

DIMENSIONS ARE:  $\frac{\text{MM}}{\text{(INCHES)}}$

## Standard Resistance Table

Resistance (Ohms)	Resistance Code
10	100
20	200
50	500
100	101
200	201
500	501
1,000	102
2,000	202
5,000	502
10,000	103
20,000	203
25,000	253
50,000	503
100,000	104
200,000	204
250,000	254
500,000	504
1,000,000	105
2,000,000	205

Popular values listed in boldface. Special resistances available.

## Environmental Characteristics

- Power Rating (300 volts max.)  
70 °C .....0.5 watt  
125 °C .....0 watt
- Temperature Range .....-55 °C to +150 °C
- Temperature Coefficient .....±100 ppm/°C
- Seal Test .....85 °C Fluorinert\*
- Humidity .....MIL-STD-202 Method 103  
96 hours  
(2 % ΔTR, 10 Megohms IR)
- Vibration .....20 G (1 % ΔTR; 1 % ΔVR)
- Shock .....100 G (1 % ΔTR; 1 % ΔVR)
- Load Life .....1,000 hours 0.5 watt @ 70 °C  
(3 % ΔTR; 3 % or 3 ohms, whichever is greater, CRV)
- Rotational Life .....200 cycles  
(4 % ΔTR; 3 % or 3 ohms, whichever is greater, CRV)

## Physical Characteristics

- Torque .....3.0 oz-in. max.
- Mechanical Stops .....Wiper idles
- Terminals .....Solderable pins
- Weight .....0.03 oz.
- Marking .....Manufacturer's trademark, resistance code, wiring diagram, date code, manufacturer's model number and style
- Wiper .....50 % ± 10 %
- Flammability .....U.L. 94V-0
- Standard Packaging .....50 pcs. per tube
- Adjustment Tool .....H-90

\*"FLUORINERT" IS A REGISTERED TRADEMARK OF 3M CO.

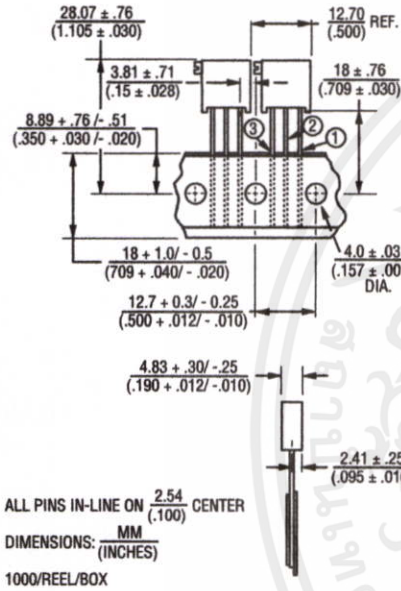
Specifications are subject to change without notice.  
Customers should verify actual device performance in their specific applications.

# 3296 - 3/8" Square Trimming Potentiometer

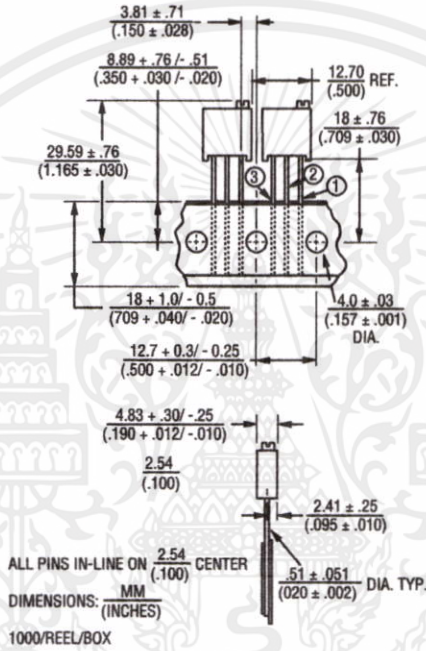
**BOURNS®**

## Packaging Specifications

**SIDE ADJUST  
3296X-1**



**TOP ADJUST  
3296W-1**



Meets EIA Specification 468.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

REV. 06/04

Specifications are subject to change without notice.  
Customers should verify actual device performance in their specific applications.

# Model 3296

Bourns® Trimming Potentiometer

## Electrical Characteristics

- Standard Resistance Range**  
 ..... 10 to 5 megohms  
 (see standard resistance table)
- Resistance Tolerance** ..... ±10% std.  
 (tighter tolerance available)
- Absolute Minimum Resistance**  
 ..... 1% or 2 ohms max.  
 (whichever is greater)
- Contact Resistance Variation**  
 ..... 1.0% or 3 ohms max.  
 (whichever is greater)
- Adjustability**  
 Voltage ..... ±0.01%  
 Resistance ..... ±0.05%
- Resolution** ..... Infinite
- Insulation Resistance** ..... 500 vdc.  
 1,000 megohms min.
- Dielectric Strength**  
 Sea Level ..... 900 vac  
 70,000 Feet ..... 350 vac
- Effective Travel** ..... 25 turns nom.

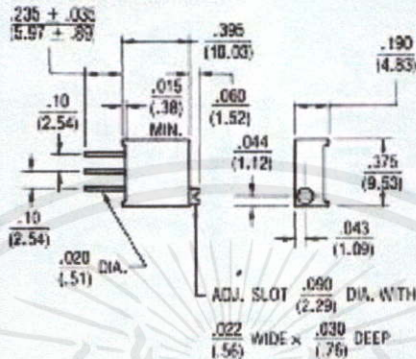
## Environmental Characteristics

- Power Rating (300 volts max.)**  
 70°C ..... 0.5 watt  
 125°C ..... 0 watt
- Temperature Range**  
 ..... -55°C to +125°C
- Temperature Coefficient**  
 ..... ±100ppm/°C
- Seal Test** ..... 85°C Fluorinert\*
- Humidity** ..... MIL-STD-202 Method 103  
 96 hours
- Vibration** ..... 20G (1% ΔTR; 1% ΔVR)
- Shock** ..... 100G (1% ΔTR; 1% ΔVR)
- Load Life**  
 ..... 1,000 hours 0.5 watt @ 70°C  
 (3% ΔTR; 3% or 3 ohms,  
 whichever is greater, CRV)
- Rotational Life** ..... 200 cycles  
 (4% ΔTR; 3% or 3 ohms,  
 whichever is greater, CRV)

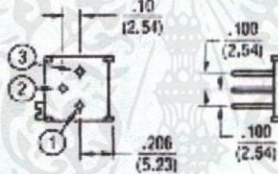
## Physical Characteristics

- Torque** ..... 3.0 oz-in. max.
- Mechanical Stops** ..... Wiper idles
- Terminals** ..... Solderable pins
- Weight** ..... 0.03 oz.
- Marking** ..... Manufacturer's  
 trademark, resistance code,  
 wiring diagram, date code,  
 manufacturer's model  
 number and style
- Standard Packaging** .. 50 pcs. per tube

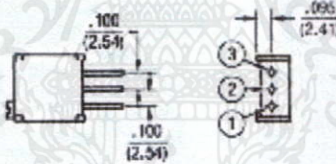
## COMMON DIMENSIONS



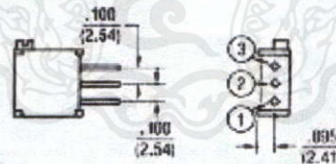
3296P



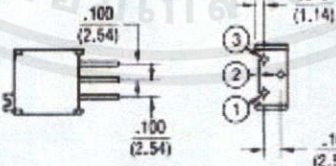
3296W



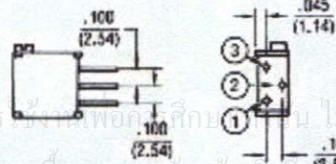
3296X



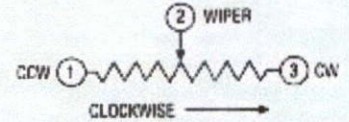
3296Y



3296Z



TOLERANCES: ±  $\frac{.010}{(.25)}$  EXCEPT WHERE NOTED  
 DIMENSIONS  $\frac{IN.}{(MM)}$



## STANDARD RESISTANCE TABLE

Resistance (Ohms)	Resistance Code
10	100
20	200
50	500
100	101
200	201
500	501
1,000	102
2,000	202
5,000	502
10,000	103
20,000	203
25,000	253
50,000	503
100,000	104
200,000	204
250,000	254
500,000	504
1,000,000	105
2,000,000	205
5,000,000	505

Special resistances available from 10 ohms to 5 megohms.

## HOW TO ORDER

3296 W - 1 - 103

Model \_\_\_\_\_

Style \_\_\_\_\_

Standard or Modified \_\_\_\_\_

Product Indicator  
 -1 = Standard Product  
 -11 = 5% Resistance Tolerance

Resistance Code \_\_\_\_\_

Consult factory for other available options.

เอกสารนี้เป็นเอกสารของบริษัท Bourns Inc. ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงชื่อของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# 2N3904 / MMBT3904 / PZT3904 NPN General Purpose Amplifier

## Features

- This device is designed as a general purpose amplifier and switch.
- The useful dynamic range extends to 100 mA as a switch and to 100 MHz as an amplifier.



## Absolute Maximum Ratings\* $T_a = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Value	Units
$V_{CEO}$	Collector-Emitter Voltage	40	V
$V_{CBO}$	Collector-Base Voltage	60	V
$V_{EBO}$	Emitter-Base Voltage	6.0	V
$I_C$	Collector Current - Continuous	200	mA
$T_J, T_{stg}$	Operating and Storage Junction Temperature Range	-55 to +150	$^\circ\text{C}$

\* These ratings are limiting values above which the serviceability of any semiconductor device may be impaired.

### NOTES:

- 1) These ratings are based on a maximum junction temperature of 150 degrees C.
- 2) These are steady state limits. The factory should be consulted on applications involving pulsed or low duty cycle operations.

## Thermal Characteristics $T_a = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Max.			Units
		2N3904	*MMBT3904	**PZT3904	
$P_D$	Total Device Dissipation Derate above $25^\circ\text{C}$	625	350	1,000	mW
		5.0	2.8	8.0	$\text{mW}/^\circ\text{C}$
$R_{\theta JC}$	Thermal Resistance, Junction to Case	83.3			$^\circ\text{C}/\text{W}$
$R_{\theta JA}$	Thermal Resistance, Junction to Ambient	200	357	125	$^\circ\text{C}/\text{W}$

\* Device mounted on FR-4 PCB 1.6" X 1.6" X 0.06".

\*\* Device mounted on FR-4 PCB 36 mm X 18 mm X 1.5 mm; mounting pad for the collector lead min. 6  $\text{cm}^2$ .

เอกสารนี้เป็นเอกสารทสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่นุญขาดให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Electrical Characteristics**  $T_a = 25^\circ\text{C}$  unless otherwise noted

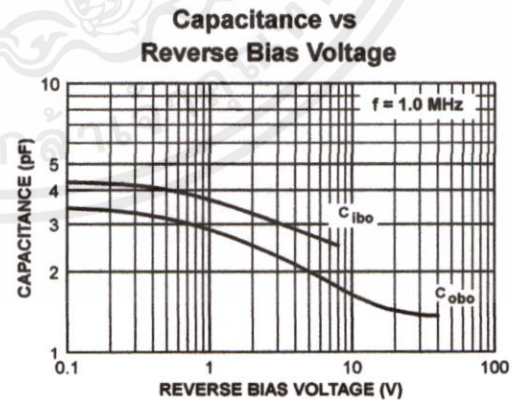
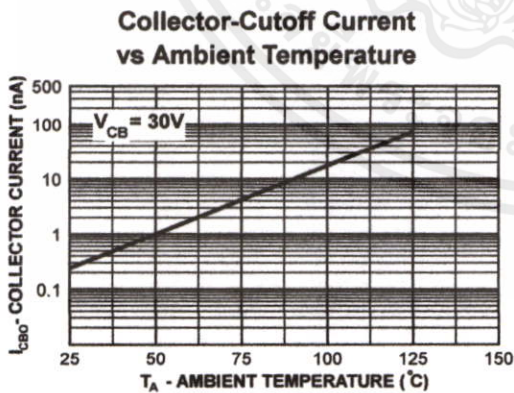
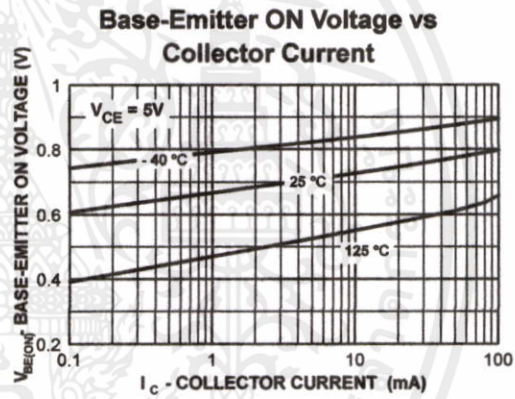
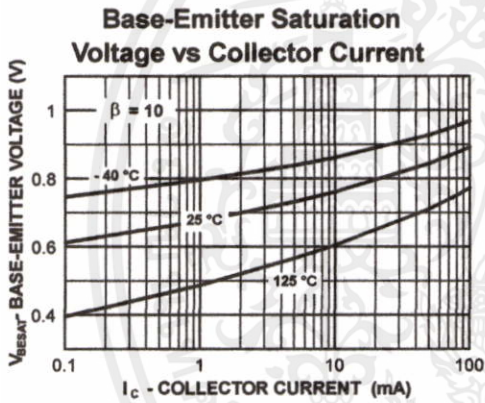
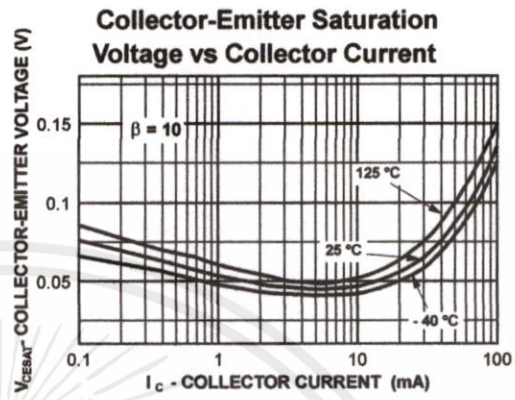
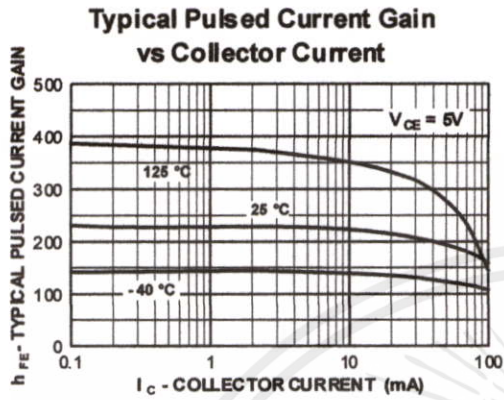
Symbol	Parameter	Test Condition	Min.	Max.	Units
<b>OFF CHARACTERISTICS</b>					
$V_{(BR)CEO}$	Collector-Emitter Breakdown Voltage	$I_C = 1.0\text{mA}, I_B = 0$	40		V
$V_{(BR)CBO}$	Collector-Base Breakdown Voltage	$I_C = 10\mu\text{A}, I_E = 0$	60		V
$V_{(BR)EBO}$	Emitter-Base Breakdown Voltage	$I_E = 10\mu\text{A}, I_C = 0$	6.0		V
$I_{BL}$	Base Cutoff Current	$V_{CE} = 30\text{V}, V_{EB} = 3\text{V}$		50	nA
$I_{CEX}$	Collector Cutoff Current	$V_{CE} = 30\text{V}, V_{EB} = 3\text{V}$		50	nA
<b>ON CHARACTERISTICS*</b>					
$h_{FE}$	DC Current Gain	$I_C = 0.1\text{mA}, V_{CE} = 1.0\text{V}$ $I_C = 1.0\text{mA}, V_{CE} = 1.0\text{V}$ $I_C = 10\text{mA}, V_{CE} = 1.0\text{V}$ $I_C = 50\text{mA}, V_{CE} = 1.0\text{V}$ $I_C = 100\text{mA}, V_{CE} = 1.0\text{V}$	40 70 100 60 30	300	
$V_{CE(sat)}$	Collector-Emitter Saturation Voltage	$I_C = 10\text{mA}, I_B = 1.0\text{mA}$ $I_C = 50\text{mA}, I_B = 5.0\text{mA}$		0.2 0.3	V V
$V_{BE(sat)}$	Base-Emitter Saturation Voltage	$I_C = 10\text{mA}, I_B = 1.0\text{mA}$ $I_C = 50\text{mA}, I_B = 5.0\text{mA}$	0.65	0.85 0.95	V V
<b>SMALL SIGNAL CHARACTERISTICS</b>					
$f_T$	Current Gain - Bandwidth Product	$I_C = 10\text{mA}, V_{CE} = 20\text{V},$ $f = 100\text{MHz}$	300		MHz
$C_{obo}$	Output Capacitance	$V_{CB} = 5.0\text{V}, I_E = 0,$ $f = 1.0\text{MHz}$		4.0	pF
$C_{ibo}$	Input Capacitance	$V_{EB} = 0.5\text{V}, I_C = 0,$ $f = 1.0\text{MHz}$		8.0	pF
NF	Noise Figure	$I_C = 100\mu\text{A}, V_{CE} = 5.0\text{V},$ $R_S = 1.0\text{k}\Omega,$ $f = 10\text{Hz to } 15.7\text{kHz}$		5.0	dB
<b>SWITCHING CHARACTERISTICS</b>					
$t_d$	Delay Time	$V_{CC} = 3.0\text{V}, V_{BE} = 0.5\text{V}$		35	ns
$t_r$	Rise Time	$I_C = 10\text{mA}, I_{B1} = 1.0\text{mA}$		35	ns
$t_s$	Storage Time	$V_{CC} = 3.0\text{V}, I_C = 10\text{mA},$		200	ns
$t_f$	Fall Time	$I_{B1} = I_{B2} = 1.0\text{mA}$		50	ns

\* Pulse Test: Pulse Width  $\leq 300\mu\text{s}$ , Duty Cycle  $\leq 2.0\%$ **Ordering Information**

Part Number	Marking	Package	Packing Method	Pack Qty
2N3904BU	2N3904	TO-92	BULK	10000
2N3904TA	2N3904	TO-92	AMMO	2000
2N3904TAR	2N3904	TO-92	AMMO	2000
2N3904TF	2N3904	TO-92	TAPE REEL	2000
2N3904TFR	2N3904	TO-92	TAPE REEL	2000
MMBT3904	1A	SOT-23	TAPE REEL	3000
MMBT3904_D87Z	1A	SOT-23	TAPE REEL	10000
PZT3904	3904	SOT-223	TAPE REEL	2500

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

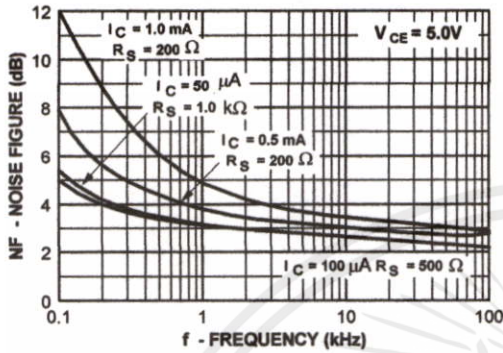
## Typical Performance Characteristics



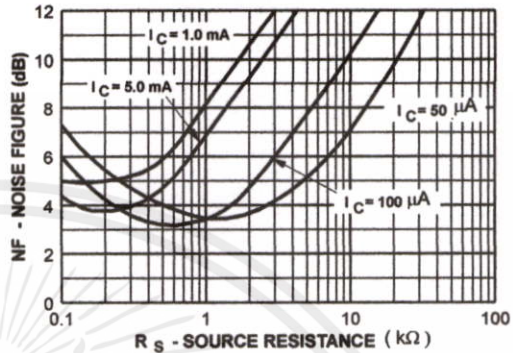
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Typical Performance Characteristics** (continued)

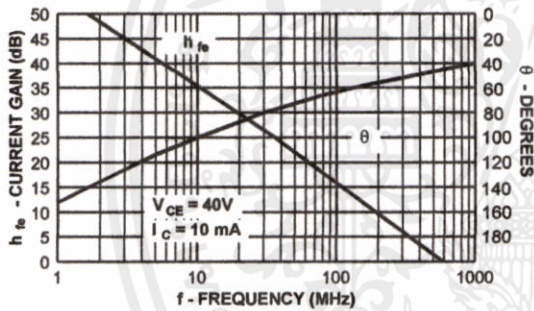
**Noise Figure vs Frequency**



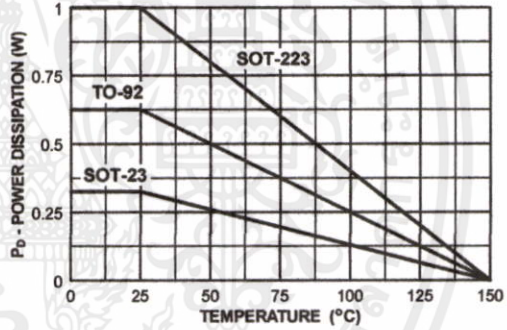
**Noise Figure vs Source Resistance**



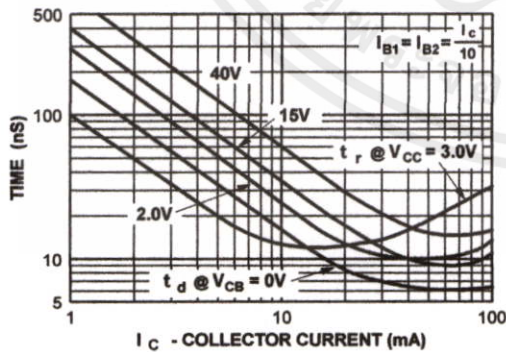
**Current Gain and Phase Angle vs Frequency**



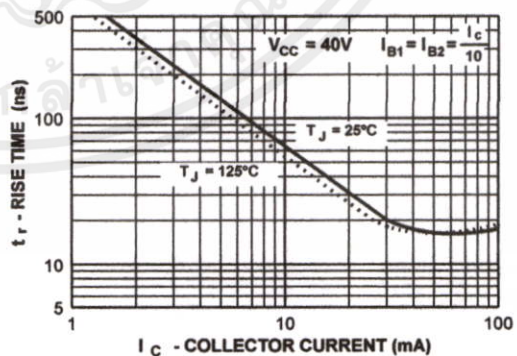
**Power Dissipation vs Ambient Temperature**



**Turn-On Time vs Collector Current**

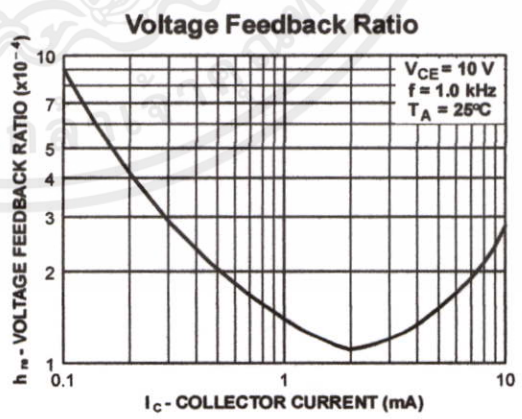
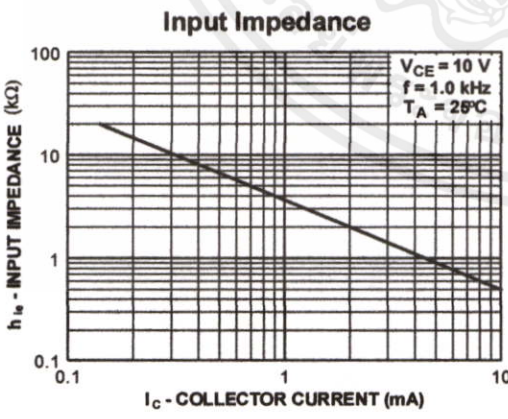
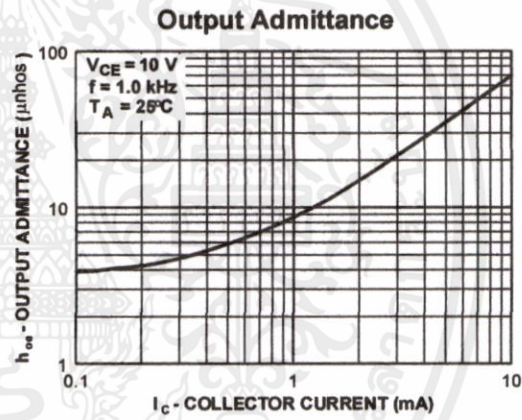
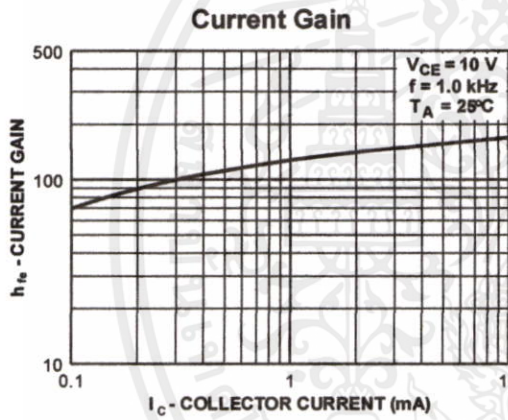
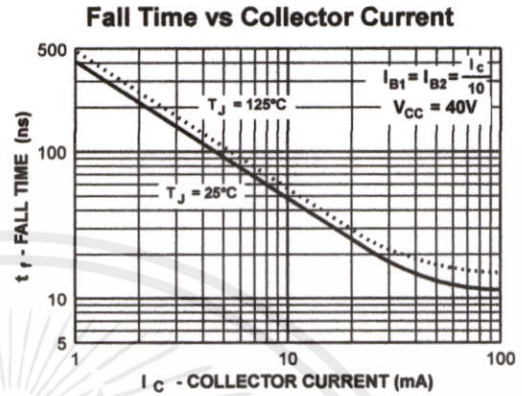
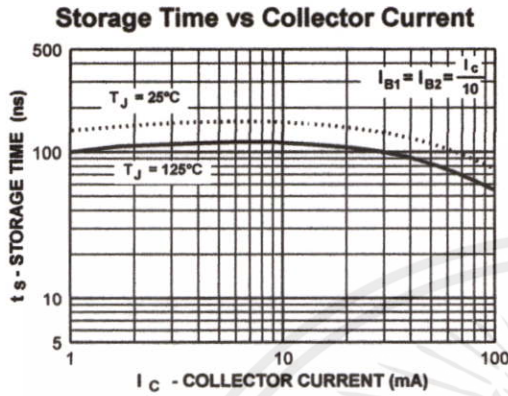


**Rise Time vs Collector Current**



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Performance Characteristics (continued)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Test Circuits

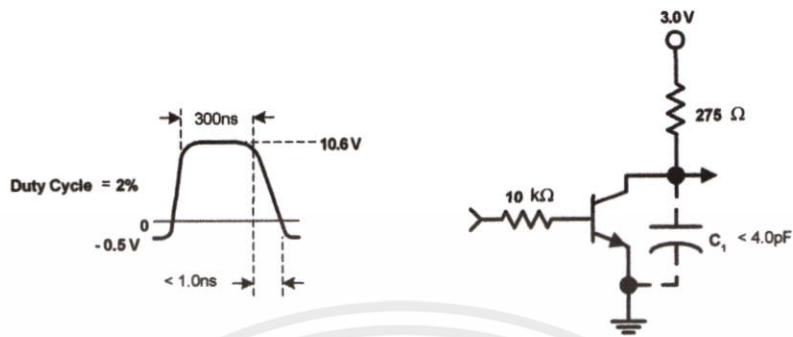


FIGURE 1: Delay and Rise Time Equivalent Test Circuit

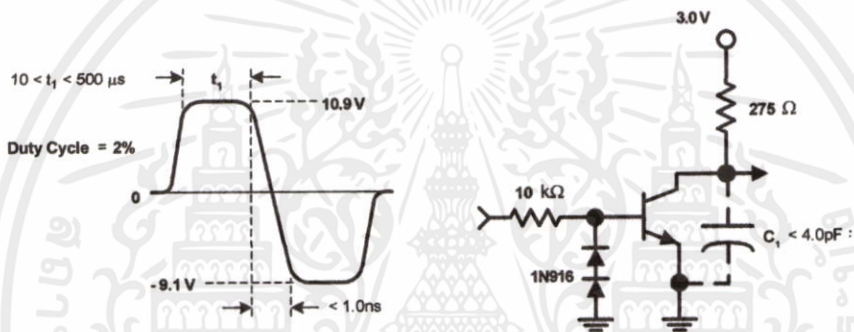






FIGURE 2: Storage and Fall Time Equivalent Test Circuit

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**TRADEMARKS**

The following includes registered and unregistered trademarks and service marks, owned by Fairchild Semiconductor and/or its global subsidiaries, and is not intended to be an exhaustive list of all such trademarks.

- |  |  |   |   |
|--|--|---|---|
| 2Cool™   | FPS™   | PDP SPM™  | The Power Franchise®  |
| AccuPower™   | F-PFS™   | Power-SPM™  | the Power™  |
| Auto-SPM™  | FRFET®   | PowerTrench®  | franchise   |
| AX-CAP™  | Global Power Resource <sup>SM</sup>            | PowerXS™  | TinyBoost™  |
| BitSiC®  | Green FPS™                                     | Programmable Active Droop™  | TinyBuck™   |
| Build it Now™  | Green FPS™ e-Series™                           | QFET®   | TinyCalc™   |
| CorePLUS™  | Gmax™  | QS™   | TinyLogic®  |
| CorePOWER™   | GTO™   | Quiet Series™   | TINYOPTO™   |
| CROSSVOLT™   | IntelliMAX™                                    | RapidConfigure™   | TinyPower™  |
| CTL™   | ISOPLANAR™                                     |  ™ | TinyPVM™  |
| Current Transfer Logic™  | Making Small Speakers Sound Louder and Better™ | Saving our world, 1mW/W/kW at a time™   | TinyWire™   |
| DEUXPEED®  | MegaBuck™                                      | SignalWise™   | TranSiC®  |
| Dual Cool™   | MICROCOUPLER™                                  | SmartMax™   | TriFault Detect™  |
| EcoSPARK®  | MicroFET™                                      | SMART START™  | TRUECURRENT®  |
| EfficientMax™  | MicroPak™                                      | SPM®  | μSerDes™  |
| ESBC™  | MicroPak2™                                     | STEALTH™  |  ™ |
|  ™ | MillerDrive™                                   | SuperFET®   | UHC®  |
| Fairchild®   | MotionMax™                                     | SuperSOT™-3   | Ultra FRFET™  |
| Fairchild Semiconductor®   | Motion-SPM™                                    | SuperSOT™-6   | UnifET™   |
| FACT Quiet Series™   | mWSaver™                                       | SuperSOT™-8   | VCX™  |
| FACT®  | OptoHIT™                                       | SupreMOS®   | VisualMax™  |
| FAST®  | OPTOLOGIC®                                     | SyncFET™  | VoltagePlus™  |
| FastvCore™   | OPTOPLANAR®                                    | Sync-Lock™  | XS™   |
| FETBench™  |  |  ™ |   |
| FlashWriter®   |  |   |   |

\* Trademarks of System General Corporation, used under license by Fairchild Semiconductor.

**DISCLAIMER**

FAIRCHILD SEMICONDUCTOR RESERVES THE RIGHT TO MAKE CHANGES WITHOUT FURTHER NOTICE TO ANY PRODUCTS HEREIN TO IMPROVE RELIABILITY, FUNCTION, OR DESIGN. FAIRCHILD DOES NOT ASSUME ANY LIABILITY ARISING OUT OF THE APPLICATION OR USE OF ANY PRODUCT OR CIRCUIT DESCRIBED HEREIN; NEITHER DOES IT CONVEY ANY LICENSE UNDER ITS PATENT RIGHTS, NOR THE RIGHTS OF OTHERS. THESE SPECIFICATIONS DO NOT EXPAND THE TERMS OF FAIRCHILD'S WORLDWIDE TERMS AND CONDITIONS, SPECIFICALLY THE WARRANTY THEREIN, WHICH COVERS THESE PRODUCTS.

**LIFE SUPPORT POLICY**

FAIRCHILD'S PRODUCTS ARE NOT AUTHORIZED FOR USE AS CRITICAL COMPONENTS IN LIFE SUPPORT DEVICES OR SYSTEMS WITHOUT THE EXPRESS WRITTEN APPROVAL OF FAIRCHILD SEMICONDUCTOR CORPORATION.

As used herein:

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

**ANTI-COUNTERFEITING POLICY**

Fairchild Semiconductor Corporation's Anti-Counterfeiting Policy. Fairchild's Anti-Counterfeiting Policy is also stated on our external website, [www.fairchildsemi.com](http://www.fairchildsemi.com), under Sales Support.

Counterfeiting of semiconductor parts is a growing problem in the industry. All manufacturers of semiconductor products are experiencing counterfeiting of their parts. Customers who inadvertently purchase counterfeit parts experience many problems such as loss of brand reputation, substandard performance, failed applications, and increased cost of production and manufacturing delays. Fairchild is taking strong measures to protect ourselves and our customers from the proliferation of counterfeit parts. Fairchild strongly encourages customers to purchase Fairchild parts either directly from Fairchild or from Authorized Fairchild Distributors who are listed by country on our web page cited above. Products customers buy either from Fairchild directly or from Authorized Fairchild Distributors are genuine parts, have full traceability, meet Fairchild's quality standards for handling and storage and provide access to Fairchild's full range of up-to-date technical and product information. Fairchild and our Authorized Distributors will stand behind all warranties and will appropriately address any warranty issues that may arise. Fairchild will not provide any warranty coverage or other assistance for parts bought from Unauthorized Sources. Fairchild is committed to combat this global problem and encourage our customers to do their part in stopping this practice by buying direct or from authorized distributors.

**PRODUCT STATUS DEFINITIONS**

**Definition of Terms**

Datasheet Identification	Product Status	Definition
Advance Information	Formative / In Design	Datasheet contains the design specifications for product development. Specifications may change in any manner without notice.
Preliminary	First Production	Datasheet contains preliminary data; supplementary data will be published at a later date. Fairchild Semiconductor reserves the right to make changes at any time without notice to improve design.
No Identification Needed	Full Production	Datasheet contains final specifications. Fairchild Semiconductor reserves the right to make changes at any time without notice to improve the design.
Obsolete	Not In Production	Datasheet contains specifications on a product that is discontinued by Fairchild Semiconductor. The datasheet is for reference information only.

# LM1577/LM2577 SIMPLE SWITCHER<sup>®</sup> Step-Up Voltage Regulator

 Check for Samples: [LM1577](#), [LM2577](#)

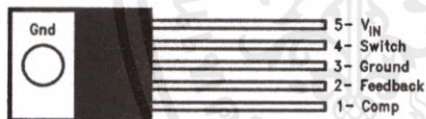
## FEATURES

- Requires Few External Components
- NPN Output Switches 3.0A, can Stand off 65V
- Wide Input Voltage Range: 3.5V to 40V
- Current-mode Operation for Improved Transient Response, Line Regulation, and Current Limit
- 52 kHz Internal Oscillator
- Soft-start Function Reduces In-rush Current During Start-up
- Output Switch Protected by Current Limit, Under-voltage Lockout, and Thermal Shutdown

## TYPICAL APPLICATIONS

- Simple Boost Regulator
- Flyback and Forward Regulators
- Multiple-output Regulator

## Connection Diagrams



**Figure 1. 5-Lead (Straight Leads) TO-220 (T) – Top View**  
See Package Number KC



**Figure 2. 5-Lead (Bent, Staggered Leads) TO-220 (T) – Top View**  
See Package Number NDH0005D

## DESCRIPTION

The LM1577/LM2577 are monolithic integrated circuits that provide all of the power and control functions for step-up (boost), flyback, and forward converter switching regulators. The device is available in three different output voltage versions: 12V, 15V, and adjustable.

Requiring a minimum number of external components, these regulators are cost effective, and simple to use. Listed in this data sheet are a family of standard inductors and flyback transformers designed to work with these switching regulators.

Included on the chip is a 3.0A NPN switch and its associated protection circuitry, consisting of current and thermal limiting, and undervoltage lockout. Other features include a 52 kHz fixed-frequency oscillator that requires no external components, a soft start mode to reduce in-rush current during start-up, and current mode control for improved rejection of input voltage and output load transients.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า



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.

SIMPLE SWITCHER is a registered trademark of Texas Instruments.  
All other trademarks are the property of their respective owners.



**Absolute Maximum Ratings<sup>(1)(2)</sup>**

Supply Voltage		45V
Output Switch Voltage		65V
Output Switch Current <sup>(3)</sup>		6.0A
Power Dissipation		Internally Limited
Storage Temperature Range		-65°C to +150°C
Lead Temperature	Soldering, 10 sec.	260°C
Maximum Junction Temperature		150°C
Minimum ESD Rating	C = 100 pF, R = 1.5 kΩ	2 kV

- (1) Absolute Maximum Ratings indicate limits beyond which damage to the device may occur. Operating ratings indicate conditions the device is intended to be functional, but device parameter specifications may not be ensured under these conditions. For ensured specifications and test conditions, see the Electrical Characteristics.
- (2) If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the Texas Instruments Sales Office/ Distributors for availability and specifications.
- (3) Due to timing considerations of the LM1577/LM2577 current limit circuit, output current cannot be internally limited when the LM1577/LM2577 is used as a step-up regulator. To prevent damage to the switch, its current must be externally limited to 6.0A. However, output current is internally limited when the LM1577/LM2577 is used as a flyback or forward converter regulator in accordance to the Application Hints.

**Operating Ratings**

Supply Voltage		$3.5V \leq V_{IN} \leq 40V$
Output Switch Voltage		$0V \leq V_{SWITCH} \leq 60V$
Output Switch Current		$I_{SWITCH} \leq 3.0A$
Junction Temperature Range	LM1577	$-55^{\circ}C \leq T_J \leq +150^{\circ}C$
	LM2577	$-40^{\circ}C \leq T_J \leq +125^{\circ}C$

**Electrical Characteristics—LM1577-12, LM2577-12**

Specifications with standard type face are for  $T_J = 25^{\circ}C$ , and those in **bold type face** apply over full **Operating Temperature Range**. Unless otherwise specified,  $V_{IN} = 5V$ , and  $I_{SWITCH} = 0$ .

Symbol	Parameter	Conditions	Typical	LM1577-12 Limit <sup>(1)(2)</sup>	LM2577-12 Limit <sup>(3)</sup>	Units (Limits)
<b>SYSTEM PARAMETERS</b> Circuit of Figure 29 <sup>(4)</sup>						
$V_{OUT}$	Output Voltage	$V_{IN} = 5V$ to 10V $I_{LOAD} = 100$ mA to 800 mA <sup>(1)</sup>	12.0			V
				11.60/11.40	11.60/11.40	V(min)
				12.40/12.60	12.40/12.60	V(max)
$\frac{\Delta V_{OUT}}{\Delta V_{IN}}$ (1)	Line Regulation	$V_{IN} = 3.5V$ to 10V $I_{LOAD} = 300$ mA	20			mV
				50/100	50/100	mV(max)
$\frac{\Delta V_{OUT}}{\Delta I_{LOAD}}$ (2)	Load Regulation	$V_{IN} = 5V$ $I_{LOAD} = 100$ mA to 800 mA	20			mV
				50/100	50/100	mV(max)
$\eta$	Efficiency	$V_{IN} = 5V$ , $I_{LOAD} = 800$ mA	80			%
<b>DEVICE PARAMETERS</b>						
$I_S$	Input Supply Current	$V_{FEEDBACK} = 14V$ (Switch Off)	7.5			mA
				10.0/14.0	10.0/14.0	mA(max)
		$I_{SWITCH} = 2.0A$ $V_{COMP} = 2.0V$ (Max Duty Cycle)	25			mA
				50/85	50/85	mA(max)

- (1) All limits ensured at room temperature (standard type face) and at temperature extremes (boldface type). All limits are used to calculate Outgoing Quality Level, and are 100% production tested.
- (2) A military RETS electrical test specification is available on request. At the time of printing, the LM1577K-12/883, LM1577K-15/883, and LM1577K-ADJ/883 RETS specifications complied fully with the boldface limits in these columns. The LM1577K-12/883, LM1577K-15/883, and LM1577K-ADJ/883 may also be procured to Standard Military Drawing specifications.
- (3) All limits ensured at room temperature (standard type face) and at temperature extremes (boldface type). All room temperature limits are 100% production tested. All limits at temperature extremes are ensured via correlation using standard Statistical Quality Control (SQC) methods.
- (4) External components such as the diode, inductor, input and output capacitors can affect switching regulator performance. When the LM1577/LM2577 is used as shown in the Test Circuit, system performance will be as specified by the system parameters.

**Electrical Characteristics—LM1577-12, LM2577-12 (continued)**

Specifications with standard type face are for  $T_J = 25^\circ\text{C}$ , and those in **bold type face** apply over full **Operating Temperature Range**. Unless otherwise specified,  $V_{IN} = 5\text{V}$ , and  $I_{\text{SWITCH}} = 0$ .

Symbol	Parameter	Conditions	Typical	LM1577-12 Limit <sup>(1)(2)</sup>	LM2577-12 Limit <sup>(3)</sup>	Units (Limits)
$V_{UV}$	Input Supply Undervoltage Lockout	$I_{\text{SWITCH}} = 100\text{ mA}$	2.90			V
				2.70/2.65	2.70/2.65	V(min)
				3.10/3.15	3.10/3.15	V(max)
$f_o$	Oscillator Frequency	Measured at Switch Pin $I_{\text{SWITCH}} = 100\text{ mA}$	52			kHz
				48/42	48/42	kHz(min)
				56/62	56/62	kHz(max)
$V_{REF}$	Output Reference Voltage	Measured at Feedback Pin $V_{IN} = 3.5\text{V to }40\text{V}$ $V_{COMP} = 1.0\text{V}$	12	11.76/11.64	11.76/11.64	V(min)
				12.24/12.36	12.24/12.36	V(max)
$\frac{\Delta V_{REF}}{\Delta V_{IN}}$	Output Reference Voltage Line Regulator	$V_{IN} = 3.5\text{V to }40\text{V}$	7			mV
$R_{FB}$	Feedback Pin Input Resistance		9.7			k $\Omega$
$G_M$	Error Amp Transconductance	$I_{COMP} = -30\ \mu\text{A to }+30\ \mu\text{A}$ $V_{COMP} = 1.0\text{V}$	370			$\mu\text{mho}$
				225/145	225/145	$\mu\text{mho(min)}$
				515/615	515/615	$\mu\text{mho(max)}$
$A_{VOL}$	Error Amp Voltage Gain	$V_{COMP} = 1.1\text{V to }1.9\text{V}$ $R_{COMP} = 1.0\text{ M}\Omega^{(5)}$	80			V/V
				50/25	50/25	V/V(min)
	Error Amplifier Output Swing	Upper Limit $V_{FEEDBACK} = 10.0\text{V}$	2.4			V
				2.2/2.0	2.2/2.0	V(min)
			Lower Limit $V_{FEEDBACK} = 15.0\text{V}$	0.3		
	0.40/0.55	0.40/0.55		V(max)		
	Error Amplifier Output Current	$V_{FEEDBACK} = 10.0\text{V to }15.0\text{V}$ $V_{COMP} = 1.0\text{V}$	$\pm 200$			$\mu\text{A}$
				$\pm 130/\pm 90$	$\pm 130/\pm 90$	$\mu\text{A(min)}$
				$\pm 300/\pm 400$	$\pm 300/\pm 400$	$\mu\text{A(max)}$
$I_{SS}$	Soft Start Current	$V_{FEEDBACK} = 10.0\text{V}$ $V_{COMP} = 0\text{V}$	5.0			$\mu\text{A}$
				2.5/1.5	2.5/1.5	$\mu\text{A(min)}$
				7.5/9.5	7.5/9.5	$\mu\text{A(max)}$
D	Maximum Duty Cycle	$V_{COMP} = 1.5\text{V}$ $I_{\text{SWITCH}} = 100\text{ mA}$	95			%
				93/90	93/90	%(min)
$\frac{\Delta I_{\text{SWITCH}}}{\Delta V_{COMP}}$	Switch Transconductance		12.5			A/V
$I_L$	Switch Leakage Current	$V_{\text{SWITCH}} = 65\text{V}$ $V_{FEEDBACK} = 15\text{V (Switch Off)}$	10			$\mu\text{A}$
				300/600	300/600	$\mu\text{A(max)}$
$V_{SAT}$	Switch Saturation Voltage	$I_{\text{SWITCH}} = 2.0\text{A}$ $V_{COMP} = 2.0\text{V (Max Duty Cycle)}$	0.5			V
				0.7/0.9	0.7/0.9	V(max)
			NPN Switch Current Limit	4.5		
	3.7/3.0	3.7/3.0		A(min)		
	5.3/6.0	5.3/6.0		A(max)		

(5) A 1.0 M $\Omega$  resistor is connected to the compensation pin (which is the error amplifier's output) to ensure accuracy in measuring  $A_{VOL}$ . In actual applications, this pin's load resistance should be  $\geq 10\text{ M}\Omega$ , resulting in  $A_{VOL}$  that is typically twice the ensured minimum limit.

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Electrical Characteristics—LM1577-15, LM2577-15**

Specifications with standard type face are for  $T_J = 25^\circ\text{C}$ , and those in **bold type face** apply over full **Operating Temperature Range**. Unless otherwise specified,  $V_{IN} = 5\text{V}$ , and  $I_{\text{SWITCH}} = 0$ .

Symbol	Parameter	Conditions	Typical	LM1577-15 Limit <sup>(1)(2)</sup>	LM2577-15 Limit <sup>(3)</sup>	Units (Limits)
<b>SYSTEM PARAMETERS</b> Circuit of Figure 30 <sup>(4)</sup>						
$V_{\text{OUT}}$	Output Voltage	$V_{IN} = 5\text{V to }12\text{V}$ $I_{\text{LOAD}} = 100\text{ mA to }600\text{ mA}$	15.0			V
				<b>14.50/14.25</b>	<b>14.50/14.25</b>	V(min)
				<b>15.50/15.75</b>	<b>15.50/15.75</b>	V(max)
$\frac{\Delta V_{\text{OUT}}}{\Delta V_{IN}}$	Line Regulation	$V_{IN} = 3.5\text{V to }12\text{V}$ $I_{\text{LOAD}} = 300\text{ mA}$	20	<b>50/100</b>	<b>50/100</b>	mV mV(max)
$\frac{\Delta V_{\text{OUT}}}{\Delta I_{\text{LOAD}}}$	Load Regulation	$V_{IN} = 5\text{V}$ $I_{\text{LOAD}} = 100\text{ mA to }600\text{ mA}$	20	<b>50/100</b>	<b>50/100</b>	mV mV(max)
$\eta$	Efficiency	$V_{IN} = 5\text{V}$ , $I_{\text{LOAD}} = 600\text{ mA}$	80			%
<b>DEVICE PARAMETERS</b>						
$I_S$	Input Supply Current	$V_{\text{FEEDBACK}} = 18.0\text{V}$ (Switch Off)	7.5			mA
				<b>10.0/14.0</b>	<b>10.0/14.0</b>	mA(max)
			$I_{\text{SWITCH}} = 2.0\text{A}$ $V_{\text{COMP}} = 2.0\text{V}$ (Max Duty Cycle)	25		
				<b>50/85</b>	<b>50/85</b>	mA(max)
$V_{\text{UV}}$	Input Supply Undervoltage Lockout	$I_{\text{SWITCH}} = 100\text{ mA}$	2.90			V
				<b>2.70/2.65</b>	<b>2.70/2.65</b>	V(min)
				<b>3.10/3.15</b>	<b>3.10/3.15</b>	V(max)
$f_O$	Oscillator Frequency	Measured at Switch Pin $I_{\text{SWITCH}} = 100\text{ mA}$	52			kHz
				<b>48/42</b>	<b>48/42</b>	kHz(min)
				<b>56/62</b>	<b>56/62</b>	kHz(max)
$V_{\text{REF}}$	Output Reference Voltage	Measured at Feedback Pin $V_{IN} = 3.5\text{V to }40\text{V}$ $V_{\text{COMP}} = 1.0\text{V}$				V
			15	<b>14.70/14.55</b>	<b>14.70/14.55</b>	V(min)
				<b>15.30/15.45</b>	<b>15.30/15.45</b>	V(max)
$\frac{\Delta V_{\text{REF}}}{\Delta V_{IN}}$	Output Reference Voltage Line Regulation	$V_{IN} = 3.5\text{V to }40\text{V}$	10			mV
$R_{\text{FB}}$	Feedback Pin Input Voltage Line Regulator		12.2			k $\Omega$
$G_M$	Error Amp Transconductance	$I_{\text{COMP}} = -30\text{ }\mu\text{A to }+30\text{ }\mu\text{A}$ $V_{\text{COMP}} = 1.0\text{V}$	300			$\mu\text{mho}$
				<b>170/110</b>	<b>170/110</b>	$\mu\text{mho(min)}$
				<b>420/500</b>	<b>420/500</b>	$\mu\text{mho(max)}$
$A_{\text{VOL}}$	Error Amp Voltage Gain	$V_{\text{COMP}} = 1.1\text{V to }1.9\text{V}$ $R_{\text{COMP}} = 1.0\text{ M}\Omega^{(5)}$	65			V/V
				<b>40/20</b>	<b>40/20</b>	V/V(min)

- (1) All limits ensured at room temperature (standard type face) and at temperature extremes (boldface type). All limits are used to calculate Outgoing Quality Level, and are 100% production tested.
- (2) A military RETS electrical test specification is available on request. At the time of printing, the LM1577K-12/883, LM1577K-15/883, and LM1577K-ADJ/883 RETS specifications complied fully with the boldface limits in these columns. The LM1577K-12/883, LM1577K-15/883, and LM1577K-ADJ/883 may also be procured to Standard Military Drawing specifications.
- (3) All limits ensured at room temperature (standard type face) and at temperature extremes (boldface type). All room temperature limits are 100% production tested. All limits at temperature extremes are ensured via correlation using standard Statistical Quality Control (SQC) methods.
- (4) External components such as the diode, inductor, input and output capacitors can affect switching regulator performance. When the LM1577/LM2577 is used as shown in the Test Circuit, system performance will be as specified by the system parameters.
- (5) A 1.0 M $\Omega$  resistor is connected to the compensation pin (which is the error amplifier's output) to ensure accuracy in measuring  $A_{\text{VOL}}$ . In actual applications, this pin's load resistance should be  $\geq 10\text{ M}\Omega$ , resulting in  $A_{\text{VOL}}$  that is typically twice the ensured minimum limit.

**Electrical Characteristics—LM1577-15, LM2577-15 (continued)**

Specifications with standard type face are for  $T_J = 25^\circ\text{C}$ , and those in **bold type face** apply over full **Operating Temperature Range**. Unless otherwise specified,  $V_{IN} = 5\text{V}$ , and  $I_{SWITCH} = 0$ .

Symbol	Parameter	Conditions	Typical	LM1577-15 Limit <sup>(1)(2)</sup>	LM2577-15 Limit <sup>(3)</sup>	Units (Limits)
	Error Amplifier Output Swing	Upper Limit $V_{FEEDBACK} = 12.0\text{V}$	2.4			V
				<b>2.2/2.0</b>	<b>2.2/2.0</b>	V(min)
		Lower Limit $V_{FEEDBACK} = 18.0\text{V}$	0.3			V
				<b>0.4/0.55</b>	<b>0.40/0.55</b>	V(max)
	Error Amp Output Current	$V_{FEEDBACK} = 12.0\text{V}$ to $18.0\text{V}$ $V_{COMP} = 1.0\text{V}$	$\pm 200$			$\mu\text{A}$
				$\pm 130/\pm 90$	$\pm 130/\pm 90$	$\mu\text{A}(\text{min})$
				$\pm 300/\pm 400$	$\pm 300/\pm 400$	$\mu\text{A}(\text{max})$
$I_{SS}$	Soft Start Current	$V_{FEEDBACK} = 12.0\text{V}$ $V_{COMP} = 0\text{V}$	5.0			$\mu\text{A}$
				<b>2.5/1.5</b>	<b>2.5/1.5</b>	$\mu\text{A}(\text{min})$
				<b>7.5/9.5</b>	<b>7.5/9.5</b>	$\mu\text{A}(\text{max})$
D	Maximum Duty Cycle	$V_{COMP} = 1.5\text{V}$ $I_{SWITCH} = 100\text{ mA}$	95			%
				<b>93/90</b>	<b>93/90</b>	%(min)
$\frac{\Delta I_{SWITCH}}{\Delta V_{COMP}}$	Switch Transconductance		12.5			A/V
$I_L$	Switch Leakage Current	$V_{SWITCH} = 65\text{V}$ $V_{FEEDBACK} = 18.0\text{V}$ (Switch Off)	10			$\mu\text{A}$
				<b>300/600</b>	<b>300/600</b>	$\mu\text{A}(\text{max})$
$V_{SAT}$	Switch Saturation Voltage	$I_{SWITCH} = 2.0\text{A}$ $V_{COMP} = 2.0\text{V}$ (Max Duty Cycle)	0.5			V
				<b>0.7/0.9</b>	<b>0.7/0.9</b>	V(max)
	NPN Switch Current Limit	$V_{COMP} = 2.0\text{V}$	4.3			A
				<b>3.7/3.0</b>	<b>3.7/3.0</b>	A(min)
				<b>5.3/6.0</b>	<b>5.3/6.0</b>	A(max)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Electrical Characteristics—LM1577-ADJ, LM2577-ADJ**

Specifications with standard type face are for  $T_J = 25^\circ\text{C}$ , and those in **bold type face** apply over full **Operating Temperature Range**. Unless otherwise specified,  $V_{IN} = 5\text{V}$ ,  $V_{FEEDBACK} = V_{REF}$ , and  $I_{SWITCH} = 0$ .

Symbol	Parameter	Conditions	Typical	LM1577-ADJ Limit <sup>(1)(2)</sup>	LM2577-ADJ Limit <sup>(3)</sup>	Units (Limits)
<b>SYSTEM PARAMETERS</b> Circuit of Figure 31 <sup>(4)</sup>						
$V_{OUT}$	Output Voltage	$V_{IN} = 5\text{V to }10\text{V}$ $I_{LOAD} = 100\text{ mA to }800\text{ mA}^{(1)}$	12.0			V
				<b>11.60/11.40</b>	<b>11.60/11.40</b>	V(min)
				<b>12.40/12.60</b>	<b>12.40/12.60</b>	V(max)
$\Delta V_{OUT}/\Delta V_{IN}$	Line Regulation	$V_{IN} = 3.5\text{V to }10\text{V}$ $I_{LOAD} = 300\text{ mA}$	20			mV
				<b>50/100</b>	<b>50/100</b>	mV(max)
$\Delta V_{OUT}/\Delta I_{LOAD}$	Load Regulation	$V_{IN} = 5\text{V}$ $I_{LOAD} = 100\text{ mA to }800\text{ mA}$	20			mV
				<b>50/100</b>	<b>50/100</b>	mV(max)
$\eta$	Efficiency	$V_{IN} = 5\text{V}$ , $I_{LOAD} = 800\text{ mA}$	80			%
<b>DEVICE PARAMETERS</b>						
$I_S$	Input Supply Current	$V_{FEEDBACK} = 1.5\text{V (Switch Off)}$  $I_{SWITCH} = 2.0\text{A}$ $V_{COMP} = 2.0\text{V (Max Duty Cycle)}$	7.5			mA
				<b>10.0/14.0</b>	<b>10.0/14.0</b>	mA(max)
				<b>25</b>	<b>25</b>	mA
$V_{UV}$	Input Supply Undervoltage Lockout	$I_{SWITCH} = 100\text{ mA}$	2.90			V
				<b>2.70/2.65</b>	<b>2.70/2.65</b>	V(min)
				<b>3.10/3.15</b>	<b>3.10/3.15</b>	V(max)
$f_O$	Oscillator Frequency	Measured at Switch Pin $I_{SWITCH} = 100\text{ mA}$	52			kHz
				<b>48/42</b>	<b>48/42</b>	kHz(min)
				<b>56/62</b>	<b>56/62</b>	kHz(max)
$V_{REF}$	Reference Voltage	Measured at Feedback Pin $V_{IN} = 3.5\text{V to }40\text{V}$ $V_{COMP} = 1.0\text{V}$	1.230	<b>1.214/1.206</b>	<b>1.214/1.206</b>	V
				<b>1.246/1.254</b>	<b>1.246/1.254</b>	V(min)
				<b>1.246/1.254</b>	<b>1.246/1.254</b>	V(max)
$\Delta V_{REF}/\Delta V_{IN}$	Reference Voltage Line Regulation	$V_{IN} = 3.5\text{V to }40\text{V}$	0.5			mV
$I_B$	Error Amp Input Bias Current	$V_{COMP} = 1.0\text{V}$	100			nA
				<b>300/800</b>	<b>300/800</b>	nA(max)
$G_M$	Error Amp Transconductance	$I_{COMP} = -30\text{ }\mu\text{A to }+30\text{ }\mu\text{A}$ $V_{COMP} = 1.0\text{V}$	3700			$\mu\text{mho}$
				<b>2400/1600</b>	<b>2400/1600</b>	$\mu\text{mho(min)}$
				<b>4800/5800</b>	<b>4800/5800</b>	$\mu\text{mho(max)}$
$A_{VOL}$	Error Amp Voltage Gain	$V_{COMP} = 1.1\text{V to }1.9\text{V}$ $R_{COMP} = 1.0\text{ M}\Omega^{(5)}$	800			V/V
				<b>500/250</b>	<b>500/250</b>	V/V(min)
	Error Amplifier Output Swing	Upper Limit $V_{FEEDBACK} = 1.0\text{V}$  Lower Limit $V_{FEEDBACK} = 1.5\text{V}$	2.4			V
				<b>2.2/2.0</b>	<b>2.2/2.0</b>	V(min)
			0.3			V
				<b>0.40/0.55</b>	<b>0.40/0.55</b>	V(max)

- (1) All limits ensured at room temperature (standard type face) and at temperature extremes (boldface type). All limits are used to calculate Outgoing Quality Level, and are 100% production tested.
- (2) A military RETS electrical test specification is available on request. At the time of printing, the LM1577K-12/883, LM1577K-15/883, and LM1577K-ADJ/883 RETS specifications complied fully with the boldface limits in these columns. The LM1577K-12/883, LM1577K-15/883, and LM1577K-ADJ/883 may also be procured to Standard Military Drawing specifications.
- (3) All limits ensured at room temperature (standard type face) and at temperature extremes (boldface type). All room temperature limits are 100% production tested. All limits at temperature extremes are ensured via correlation using standard Statistical Quality Control (SQC) methods.
- (4) External components such as the diode, inductor, input and output capacitors can affect switching regulator performance. When the LM1577/LM2577 is used as shown in the Test Circuit, system performance will be as specified by the system parameters.
- (5) A 1.0 M $\Omega$  resistor is connected to the compensation pin (which is the error amplifier's output) to ensure accuracy in measuring  $A_{VOL}$ . In actual applications, this pin's load resistance should be  $\geq 10\text{ M}\Omega$ , resulting in  $A_{VOL}$  that is typically twice the ensured minimum limit.

**Electrical Characteristics—LM1577-ADJ, LM2577-ADJ (continued)**

Specifications with standard type face are for  $T_J = 25^\circ\text{C}$ , and those in **bold type face** apply over full **Operating Temperature Range**. Unless otherwise specified,  $V_{IN} = 5\text{V}$ ,  $V_{FEEDBACK} = V_{REF}$ , and  $I_{SWITCH} = 0$ .

Symbol	Parameter	Conditions	Typical	LM1577-ADJ Limit <sup>(1)(2)</sup>	LM2577-ADJ Limit <sup>(3)</sup>	Units (Limits)
	Error Amp Output Current	$V_{FEEDBACK} = 1.0\text{V to }1.5\text{V}$ $V_{COMP} = 1.0\text{V}$	$\pm 200$			$\mu\text{A}$
				$\pm 130/\mathbf{\pm 90}$	$\pm 130/\mathbf{\pm 90}$	$\mu\text{A}(\text{min})$
				$\pm 300/\mathbf{\pm 400}$	$\pm 300/\mathbf{\pm 400}$	$\mu\text{A}(\text{max})$
$I_{SS}$	Soft Start Current	$V_{FEEDBACK} = 1.0\text{V}$ $V_{COMP} = 0\text{V}$	5.0			$\mu\text{A}$
				2.5/1.5	2.5/1.5	$\mu\text{A}(\text{min})$
				7.5/9.5	7.5/9.5	$\mu\text{A}(\text{max})$
D	Maximum Duty Cycle	$V_{COMP} = 1.5\text{V}$ $I_{SWITCH} = 100\text{ mA}$	95			%
				93/90	93/90	% (min)
$\Delta I_{SWITCH}/\Delta V_{COMP}$	Switch Transconductance		12.5			A/V
$I_L$	Switch Leakage Current	$V_{SWITCH} = 65\text{V}$ $V_{FEEDBACK} = 1.5\text{V (Switch Off)}$	10			$\mu\text{A}$
				300/600	300/600	$\mu\text{A}(\text{max})$
$V_{SAT}$	Switch Saturation Voltage	$I_{SWITCH} = 2.0\text{A}$ $V_{COMP} = 2.0\text{V (Max Duty Cycle)}$	0.5			V
				0.7/0.9	0.7/0.9	V(max)
	NPN Switch Current Limit	$V_{COMP} = 2.0\text{V}$	4.3			A
				3.7/3.0	3.7/3.0	A(min)
				5.3/6.0	5.3/6.0	A(max)
<b>THERMAL PARAMETERS (All Versions)</b>						
$\theta_{JA}$	Thermal Resistance	K Package, Junction to Ambient	35			$^\circ\text{C/W}$
$\theta_{JC}$		K Package, Junction to Case	1.5			
$\theta_{JA}$		T Package, Junction to Ambient	65			
$\theta_{JC}$		T Package, Junction to Case	2			
$\theta_{JA}$		N Package, Junction to Ambient <sup>(6)</sup>	85			
$\theta_{JA}$		M Package, Junction to Ambient <sup>(6)</sup>	100			
$\theta_{JA}$		S Package, Junction to Ambient <sup>(7)</sup>	37			

- (6) Junction to ambient thermal resistance with approximately 1 square inch of pc board copper surrounding the leads. Additional copper area will lower thermal resistance further. See thermal model in "Switchers Made Simple" software.
- (7) If the DDPK/TO-263 package is used, the thermal resistance can be reduced by increasing the PC board copper area thermally connected to the package. Using 0.5 square inches of copper area,  $\theta_{JA}$  is  $50^\circ\text{C/W}$ ; with 1 square inch of copper area,  $\theta_{JA}$  is  $37^\circ\text{C/W}$ ; and with 1.6 or more square inches of copper area,  $\theta_{JA}$  is  $32^\circ\text{C/W}$ .

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Performance Characteristics

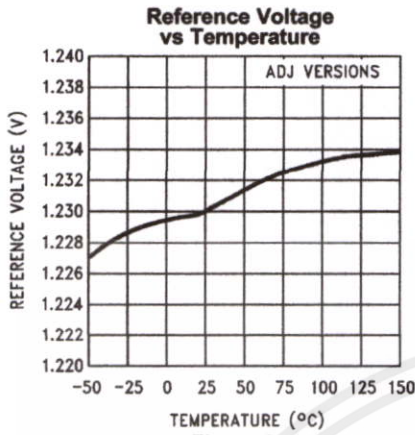


Figure 8.

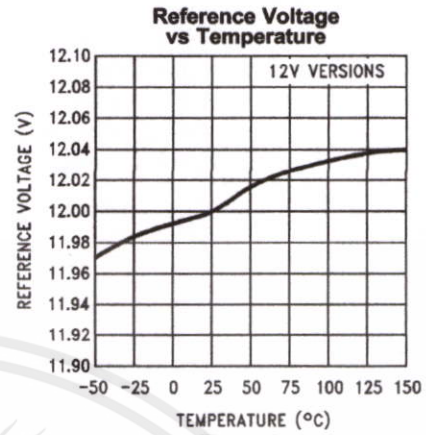


Figure 9.

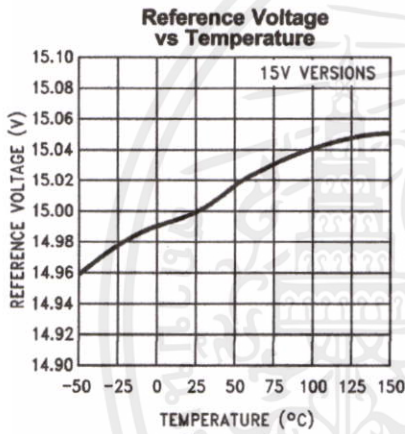


Figure 10.

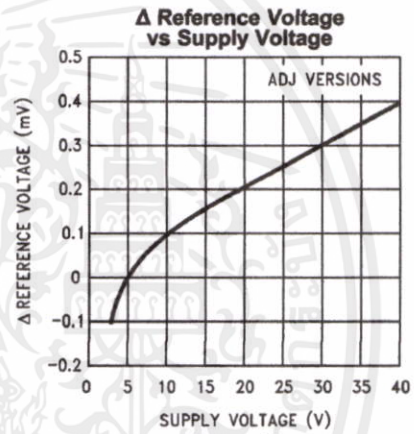


Figure 11.

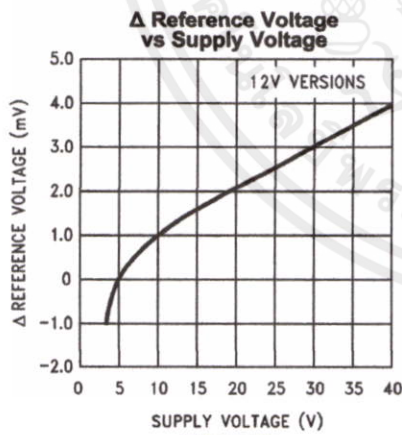


Figure 12.

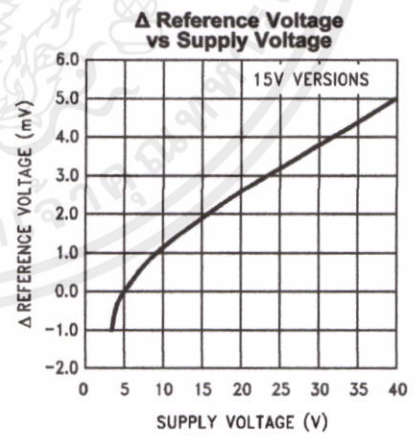
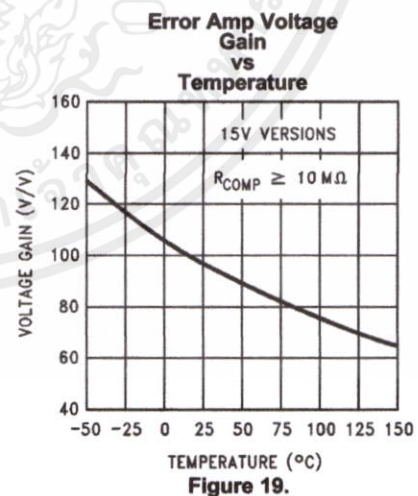
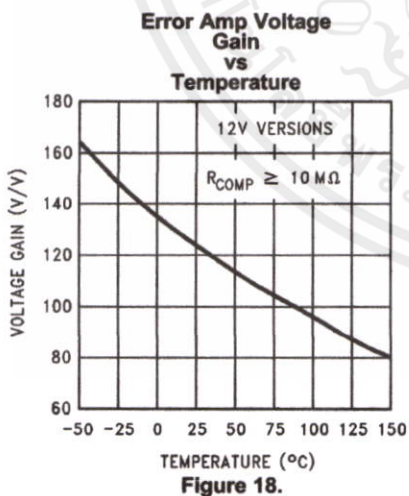
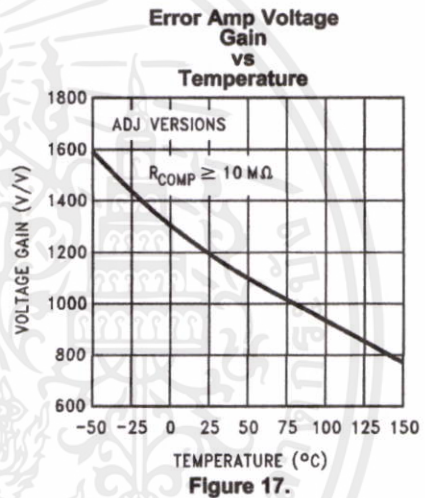
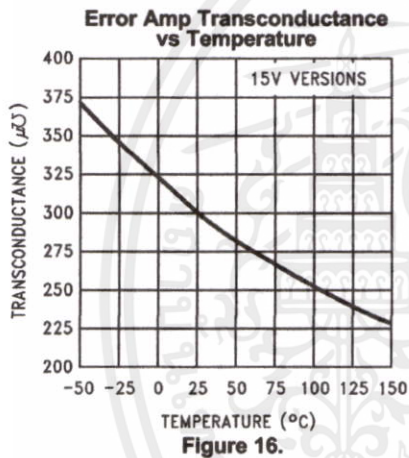
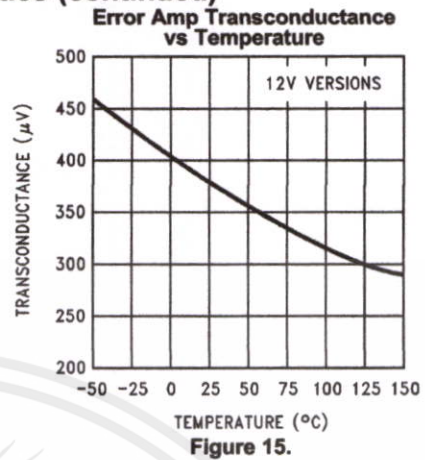
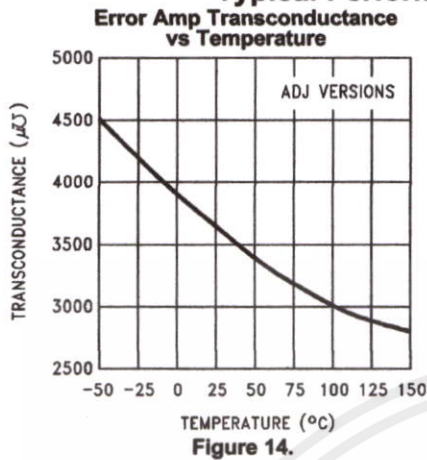


Figure 13.

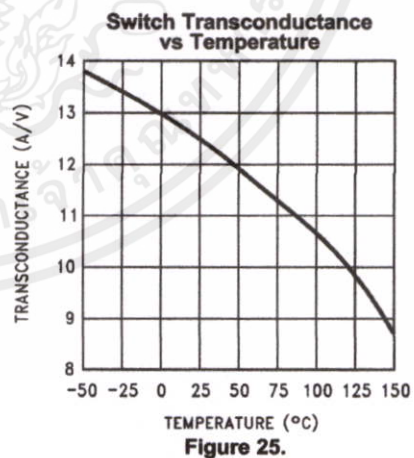
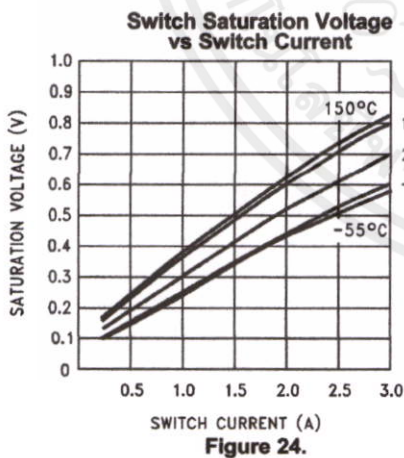
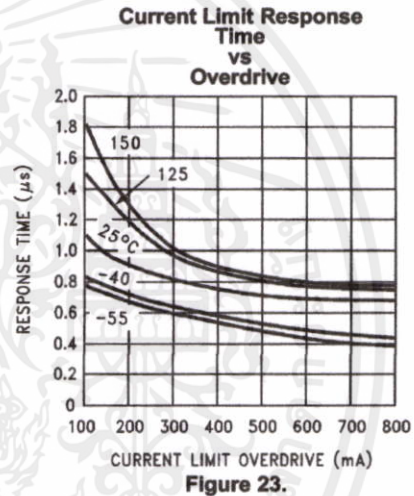
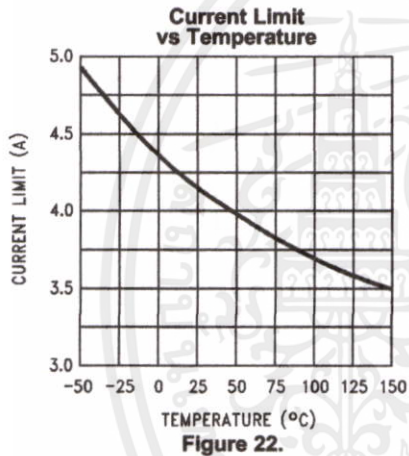
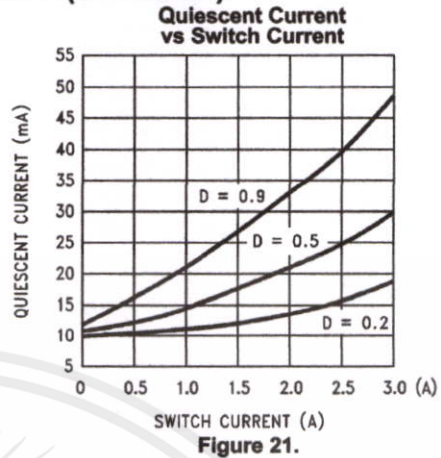
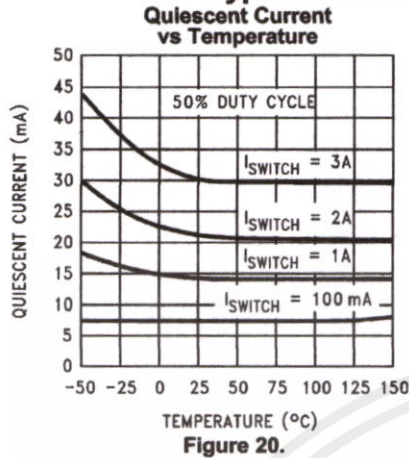
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Performance Characteristics (continued)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Performance Characteristics (continued)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Performance Characteristics (continued)

Feedback Pin Bias Current vs Temperature

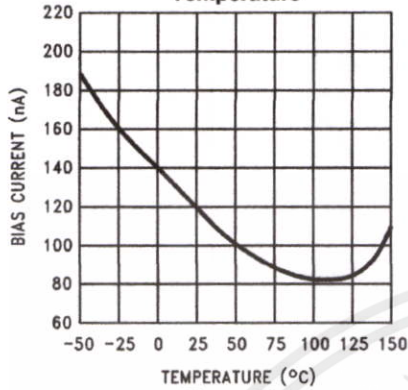


Figure 26.

Oscillator Frequency vs Temperature

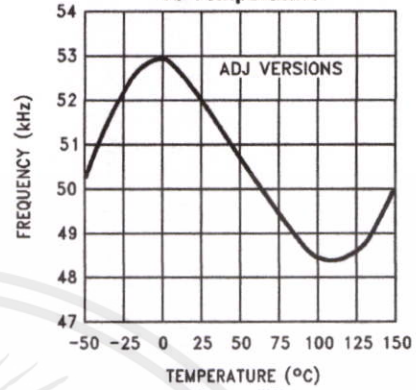


Figure 27.

Maximum Power Dissipation (DDPAK/TO-263)<sup>(1)</sup>

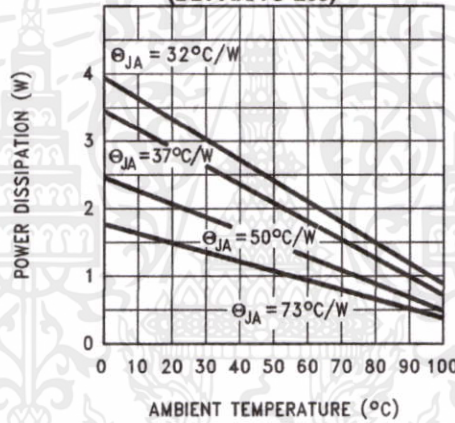
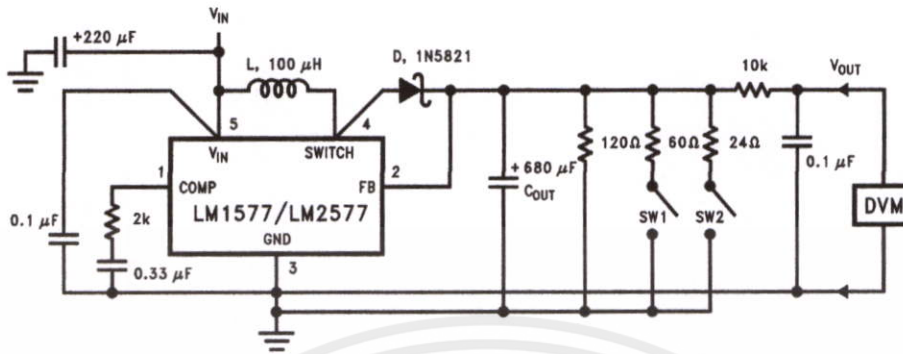


Figure 28.

- (1) If the DDPAK/TO-263 package is used, the thermal resistance can be reduced by increasing the PC board copper area thermally connected to the package. Using 0.5 square inches of copper area,  $\theta_{JA}$  is 50°C/W; with 1 square inch of copper area,  $\theta_{JA}$  is 37°C/W; and with 1.6 or more square inches of copper area,  $\theta_{JA}$  is 32°C/W.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LM1577-12, LM2577-12 TEST CIRCUIT



L = 415-0930 (AIE)

D = any manufacturer

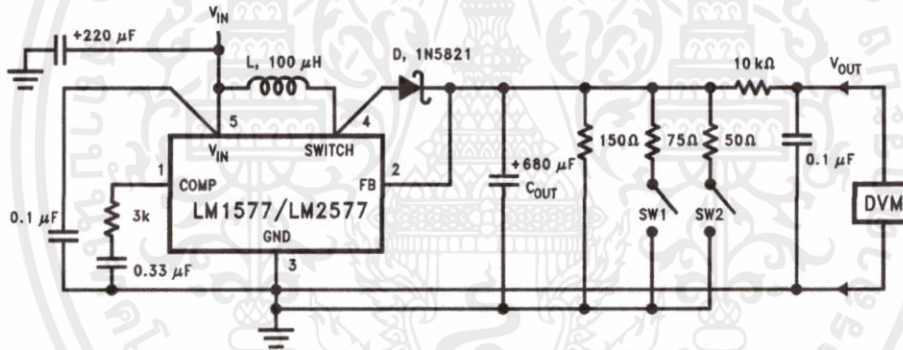
C<sub>OUT</sub> = Sprague Type 673D

Electrolytic 680 μF, 20V

Note: Pin numbers shown are for TO-220 (T) package

Figure 29. Circuit Used to Specify System Parameters for 12V Versions

LM1577-15, LM2577-15 Test Circuit



L = 415-0930 (AIE)

D = any manufacturer

C<sub>OUT</sub> = Sprague Type 673D

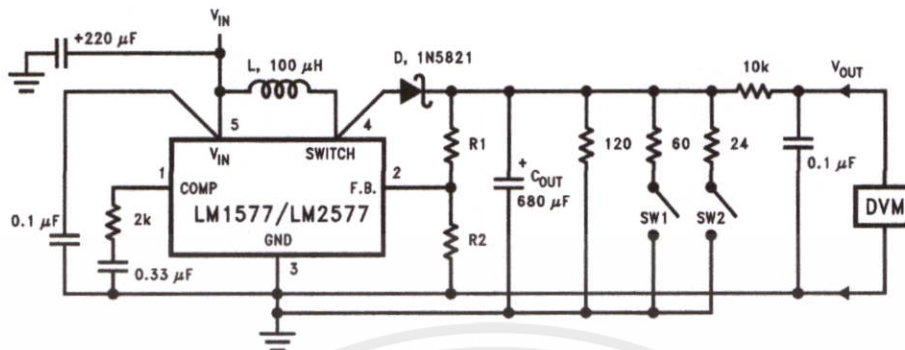
Electrolytic 680 μF, 20V

Note: Pin numbers shown are for TO-220 (T) package

Figure 30. Circuit Used to Specify System Parameters for 15V Versions

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

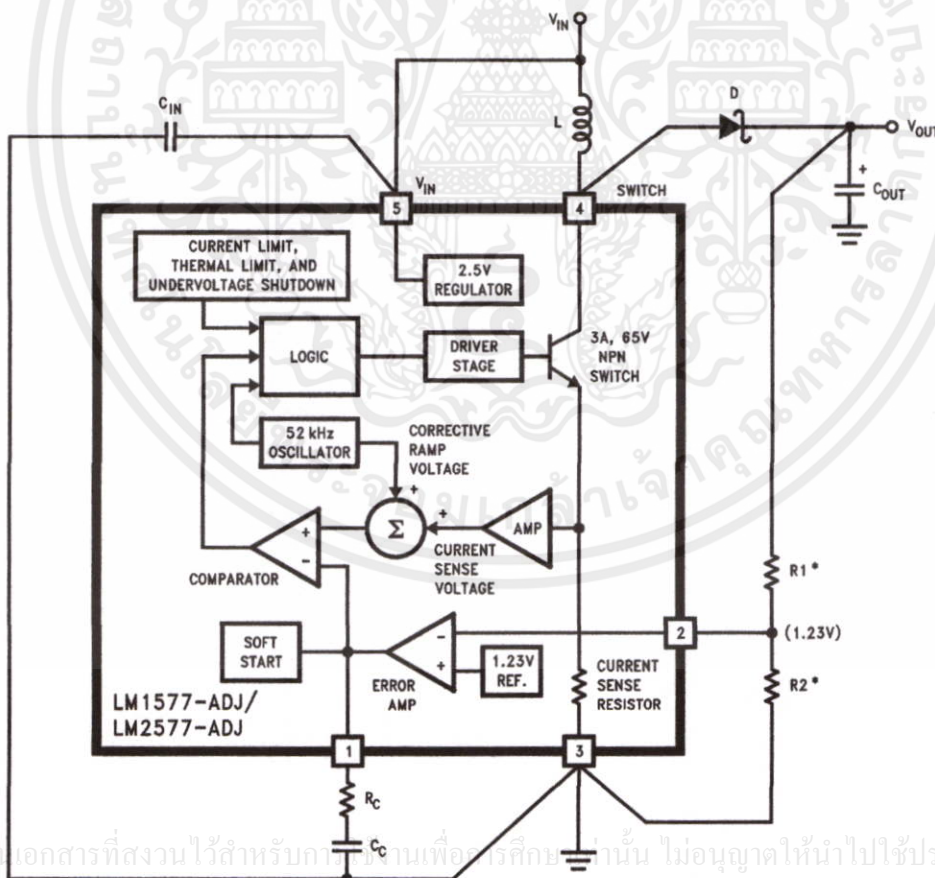
LM1577-ADJ, LM2577-ADJ Test Circuit



- L = 415-0930 (AIE)
- D = any manufacturer
- C<sub>OUT</sub> = Sprague Type 673D  
Electrolytic 680 μF, 20V
- R1 = 48.7k in series with 511Ω (1%)
- R2 = 5.62k (1%)
- Note: Pin numbers shown are for TO-220 (T) package

Figure 31. Circuit Used to Specify System Parameters for ADJ Versions

Application Hints



Note: Pin numbers shown are for TO-220 (T) package

\*Resistors are internal to LM1577/LM2577 for 12V and 15V versions.

Figure 32. LM1577/LM2577 Block Diagram and Boost Regulator Application

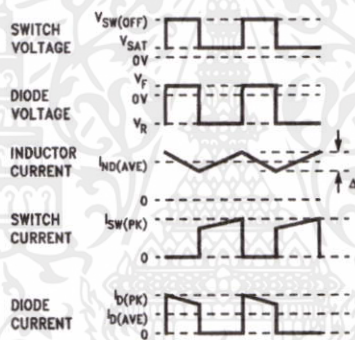
**STEP-UP (BOOST) REGULATOR**

Figure 32 shows the LM1577-ADJ/LM2577-ADJ used as a Step-Up Regulator. This is a switching regulator used for producing an output voltage greater than the input supply voltage. The LM1577-12/LM2577-12 and LM1577-15/LM2577-15 can also be used for step-up regulators with 12V or 15V outputs (respectively), by tying the feedback pin directly to the regulator output.

A basic explanation of how it works is as follows. The LM1577/LM2577 turns its output switch on and off at a frequency of 52 kHz, and this creates energy in the inductor (L). When the NPN switch turns on, the inductor current charges up at a rate of  $V_{IN}/L$ , storing current in the inductor. When the switch turns off, the lower end of the inductor flies above  $V_{IN}$ , discharging its current through diode (D) into the output capacitor ( $C_{OUT}$ ) at a rate of  $(V_{OUT} - V_{IN})/L$ . Thus, energy stored in the inductor during the switch on time is transferred to the output during the switch off time. The output voltage is controlled by the amount of energy transferred which, in turn, is controlled by modulating the peak inductor current. This is done by feeding back a portion of the output voltage to the error amp, which amplifies the difference between the feedback voltage and a 1.230V reference. The error amp output voltage is compared to a voltage proportional to the switch current (i.e., inductor current during the switch on time).

The comparator terminates the switch on time when the two voltages are equal, thereby controlling the peak switch current to maintain a constant output voltage.

Voltage and current waveforms for this circuit are shown in Figure 33, and formulas for calculating them are given in Table 1.



**Figure 33. Step-Up Regulator Waveforms**

**Table 1. Step-Up Regulator Formulas<sup>(1)</sup>**

Duty Cycle	D	$\frac{V_{OUT} + V_F - V_{IN}}{V_{OUT} + V_F - V_{SAT}} = \frac{V_{OUT} - V_{IN}}{V_{OUT}}$
Average Inductor Current	$I_{IND(AVE)}$	$\frac{I_{LOAD}}{1 - D}$
Inductor Current Ripple	$\Delta I_{IND}$	$\frac{V_{IN} - V_{SAT}}{L} \cdot \frac{D}{52,000}$
Peak Inductor Current	$I_{IND(PK)}$	$\frac{I_{LOAD(max)}}{1 - D_{(max)}} + \frac{\Delta I_{IND}}{2}$
Peak Switch Current	$I_{SW(PK)}$	$\frac{I_{LOAD(max)}}{1 - D_{(max)}} + \frac{\Delta I_{IND}}{2}$
Switch Voltage When Off	$V_{SW(OFF)}$	$V_{OUT} + V_F$
Diode Reverse Voltage	$V_R$	$V_{OUT} - V_{SAT}$
Average Diode Current	$I_{D(AVE)}$	$I_{LOAD}$
Peak Diode Current	$I_{D(PK)}$	$\frac{I_{LOAD}}{1 - D_{(max)}} + \frac{\Delta I_{IND}}{2}$
Power Dissipation of LM1577/2577	$P_D$	$0.25\Omega \left(\frac{I_{LOAD}}{1 - D}\right)^2 D + \frac{I_{LOAD} D V_{IN}}{50(1 - D)}$

(1)  $V_F$  = Forward Biased Diode Voltage  
 $I_{LOAD}$  = Output Load Current

## STEP-UP REGULATOR DESIGN PROCEDURE

The following design procedure can be used to select the appropriate external components for the circuit in Figure 32, based on these system requirements.

### Given:

- $V_{IN(min)}$  = Minimum input supply voltage
- $V_{OUT}$  = Regulated output voltage
- $I_{LOAD(max)}$  = Maximum output load current
- Before proceeding any further, determine if the LM1577/LM2577 can provide these values of  $V_{OUT}$  and  $I_{LOAD(max)}$  when operating with the minimum value of  $V_{IN}$ . The upper limits for  $V_{OUT}$  and  $I_{LOAD(max)}$  are given by the following equations.

$$I_{LOAD(max)} \leq \frac{2.1A \times V_{IN(min)}}{V_{OUT}}$$

where

- $V_{OUT} \leq 60V$
  - $V_{OUT} \leq 10 \times V_{IN(min)}$
- (3)

These limits must be greater than or equal to the values specified in this application.

### 1. Inductor Selection (L)

#### A. Voltage Options:

##### 1. For 12V or 15V output

From Figure 34 (for 12V output) or Figure 35 (for 15V output), identify inductor code for region indicated by  $V_{IN(min)}$  and  $I_{LOAD(max)}$ . The shaded region indicates conditions for which the LM1577/LM2577 output switch would be operating beyond its switch current rating. The minimum operating voltage for the LM1577/LM2577 is 3.5V.

From here, **proceed to step C.**

##### 2. For Adjustable version

#### Preliminary calculations:

The inductor selection is based on the calculation of the following three parameters:

$D_{(max)}$ , the maximum switch duty cycle ( $0 \leq D \leq 0.9$ ):

$$D_{(max)} = \frac{V_{OUT} + V_F - V_{IN(min)}}{V_{OUT} + V_F - 0.6V}$$
(4)

where  $V_F = 0.5V$  for Schottky diodes and  $0.8V$  for fast recovery diodes (typically);

$E \cdot T$ , the product of volts  $\times$  time that charges the inductor:

$$E \cdot T = \frac{D_{(max)} (V_{IN(min)} - 0.6V) 10^6}{52,000 \text{ Hz}} \quad (V \cdot \mu s)$$
(5)

$I_{IND,DC}$ , the average inductor current under full load;

$$I_{IND,DC} = \frac{1.05 \times I_{LOAD(max)}}{1 - D_{(max)}}$$
(6)

#### B. Identify Inductor Value:

1. From Figure 36, identify the inductor code for the region indicated by the intersection of  $E \cdot T$  and  $I_{IND,DC}$ . This code gives the inductor value in microhenries. The L or H prefix signifies whether the inductor is rated for a maximum  $E \cdot T$  of  $90 V \cdot \mu s$  (L) or  $250 V \cdot \mu s$  (H).

2. If  $D < 0.85$ , go on to step C. If  $D \geq 0.85$ , then calculate the minimum inductance needed to ensure the switching regulator's stability:

$$L_{MIN} = \frac{6.4 (V_{IN(min)} - 0.6V) (2D_{(max)} - 1)}{1 - D_{(max)}} \quad (\mu H)$$
(7)

If  $L_{MIN}$  is smaller than the inductor value found in step B1, go on to step C. Otherwise, the inductor value found in step B1 is too low; an appropriate inductor code should be obtained from the graph as follows:

1. Find the lowest value inductor that is greater than  $L_{MIN}$ .

2. Find where E•T intersects this inductor value to determine if it has an L or H prefix. If E•T intersects both the L and H regions, select the inductor with an H prefix.

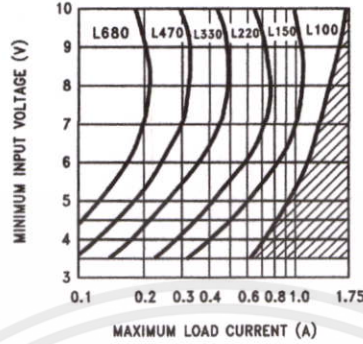


Figure 34. LM2577-12 Inductor Selection Guide

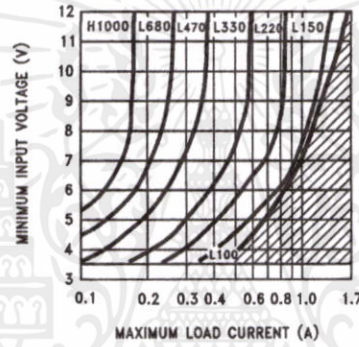
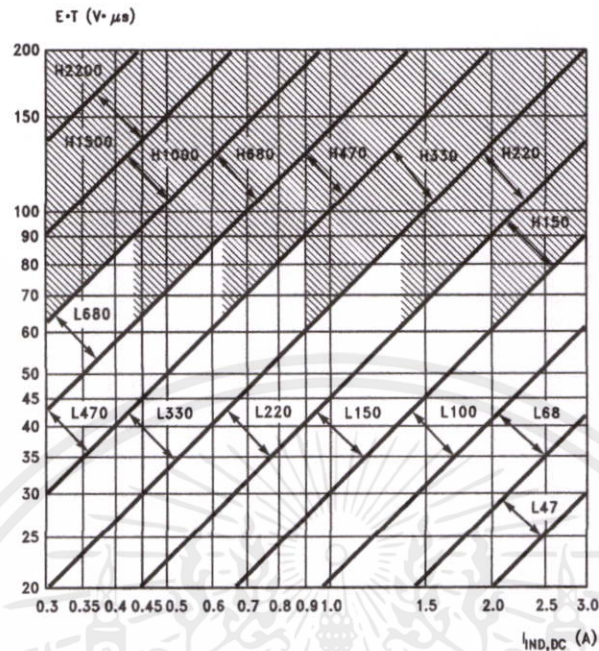


Figure 35. LM2577-15 Inductor Selection Guide

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**Note:** These charts assume that the inductor ripple current is approximately 20% to 30% of the average inductor current (when the regulator is under full load). Greater ripple current causes higher peak switch currents and greater output ripple voltage; lower ripple current is achieved with larger-value inductors. The factor of 20 to 30% is chosen as a convenient balance between the two extremes.

**Figure 36. LM1577-ADJ/LM2577-ADJ Inductor Selection Graph**

- C. Select an inductor from Table 2 which cross-references the inductor codes to the part numbers of three different manufacturers. Complete specifications for these inductors are available from the respective manufacturers. The inductors listed in this table have the following characteristics:
- *AIE*: ferrite, pot-core inductors; Benefits of this type are low electro-magnetic interference (EMI), small physical size, and very low power dissipation (core loss). Be careful not to operate these inductors too far beyond their maximum ratings for E•T and peak current, as this will saturate the core.
  - *Pulse*: powdered iron, toroid core inductors; Benefits are low EMI and ability to withstand E•T and peak current above rated value better than ferrite cores.
  - *Renco*: ferrite, bobbin-core inductors; Benefits are low cost and best ability to withstand E•T and peak current above rated value. Be aware that these inductors generate more EMI than the other types, and this may interfere with signals sensitive to noise.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Table 2. Table of Standardized Inductors and Manufacturer's Part Numbers<sup>(1)</sup>**

Inductor	Manufacturer's Part Number			
	Code	Schott	Pulse	Renco
L47	L47	67126980	PE - 53112	RL2442
L68	L68	67126990	PE - 92114	RL2443
L100	L100	67127000	PE - 92108	RL2444
L150	L150	67127010	PE - 53113	RL1954
L220	L220	67127020	PE - 52626	RL1953
L330	L330	67127030	PE - 52627	RL1952
L470	L470	67127040	PE - 53114	RL1951
L680	L680	67127050	PE - 52629	RL1950
H150	H150	67127060	PE - 53115	RL2445
H220	H220	67127070	PE - 53116	RL2446
H330	H330	67127080	PE - 53117	RL2447
H470	H470	67127090	PE - 53118	RL1961
H680	H680	67127100	PE - 53119	RL1960
H1000	H1000	67127110	PE - 53120	RL1959
H1500	H1500	67127120	PE - 53121	RL1958
H2200	H2200	67127130	PE - 53122	RL2448

- (1) **Schott Corp.**, (612) 475-1173  
 1000 Parkers Lake Rd., Wayzata, MN 55391  
**Pulse Engineering**, (619) 268-2400  
 P.O. Box 12235, San Diego, CA 92112  
**Renco Electronics Inc.**, (516) 586-5566  
 60 Jeffryn Blvd. East, Deer Park, NY 11729

## 2. Compensation Network ( $R_C$ , $C_C$ ) and Output Capacitor ( $C_{OUT}$ ) Selection

$R_C$  and  $C_C$  form a pole-zero compensation network that stabilizes the regulator. The values of  $R_C$  and  $C_C$  are mainly dependant on the regulator voltage gain,  $I_{LOAD(max)}$ ,  $L$  and  $C_{OUT}$ . The following procedure calculates values for  $R_C$ ,  $C_C$ , and  $C_{OUT}$  that ensure regulator stability. Be aware that this procedure doesn't necessarily result in  $R_C$  and  $C_C$  that provide optimum compensation. In order to ensure optimum compensation, one of the standard procedures for testing loop stability must be used, such as measuring  $V_{OUT}$  transient response when pulsing  $I_{LOAD}$  (see Figure 39).

A. First, calculate the maximum value for  $R_C$ .

$$R_C \leq \frac{750 \times I_{LOAD(max)} \times V_{OUT}^2}{V_{IN(min)}^2} \quad (8)$$

Select a resistor less than or equal to this value, and it should also be no greater than 3 k $\Omega$ .

B. Calculate the minimum value for  $C_{OUT}$  using the following two equations.

$$C_{OUT} \geq \frac{0.19 \times L \times R_C \times I_{LOAD(max)}}{V_{IN(min)} \times V_{OUT}}$$

and

$$C_{OUT} \geq \frac{V_{IN(min)} \times R_C \times (V_{IN(min)} + (3.74 \times 10^5 \times L))}{487,800 \times V_{OUT}^3} \quad (9)$$

The larger of these two values is the minimum value that ensures stability.

C. Calculate the minimum value of  $C_C$ .

$$C_C \geq \frac{58.5 \times V_{OUT}^2 \times C_{OUT}}{R_C^2 \times V_{IN(min)}} \quad (10)$$

The compensation capacitor is also part of the soft start circuitry. When power to the regulator is turned on, the switch duty cycle is allowed to rise at a rate controlled by this capacitor (with no control on the duty cycle, it would immediately rise to 90%, drawing huge currents from the input power supply). In order to operate properly, the soft start circuit requires  $C_C \geq 0.22 \mu\text{F}$ .

The value of the output filter capacitor is normally large enough to require the use of aluminum electrolytic capacitors. Table 3 lists several different types that are recommended for switching regulators, and the following parameters are used to select the proper capacitor.

**Working Voltage (WVDC):** Choose a capacitor with a working voltage at least 20% higher than the regulator output voltage.

**Ripple Current:** This is the maximum RMS value of current that charges the capacitor during each switching cycle. For step-up and flyback regulators, the formula for ripple current is

$$I_{\text{RIPPLE(RMS)}} = \frac{I_{\text{LOAD(max)}} \times D_{\text{(max)}}}{1 - D_{\text{(max)}}} \quad (11)$$

Choose a capacitor that is rated at least 50% higher than this value at 52 kHz.

**Equivalent Series Resistance (ESR) :** This is the primary cause of output ripple voltage, and it also affects the values of  $R_C$  and  $C_C$  needed to stabilize the regulator. As a result, the preceding calculations for  $C_C$  and  $R_C$  are only valid if ESR doesn't exceed the maximum value specified by the following equations.

$$\text{ESR} \leq \frac{0.01 \times V_{\text{OUT}}}{I_{\text{RIPPLE(P-P)}}} \text{ and } \leq \frac{8.7 \times (10) - 3 \times V_{\text{IN}}}{I_{\text{LOAD(max)}}}$$

where

$$I_{\text{RIPPLE(P-P)}} = \frac{1.15 \times I_{\text{LOAD(max)}}}{1 - D_{\text{(max)}}} \quad (12)$$

Select a capacitor with ESR, at 52 kHz, that is less than or equal to the lower value calculated. Most electrolytic capacitors specify ESR at 120 Hz which is 15% to 30% higher than at 52 kHz. Also, be aware that ESR increases by a factor of 2 when operating at  $-20^\circ\text{C}$ .

In general, low values of ESR are achieved by using large value capacitors ( $C \geq 470 \mu\text{F}$ ), and capacitors with high WVDC, or by paralleling smaller-value capacitors.

### 3. Output Voltage Selection (R1 and R2)

This section is for applications using the LM1577-ADJ/LM2577-ADJ. Skip this section if the LM1577-12/LM2577-12 or LM1577-15/LM2577-15 is being used.

With the LM1577-ADJ/LM2577-ADJ, the output voltage is given by

$$V_{\text{OUT}} = 1.23\text{V} (1 + R1/R2) \quad (13)$$

Resistors R1 and R2 divide the output down so it can be compared with the LM1577-ADJ/LM2577-ADJ internal 1.23V reference. For a given desired output voltage  $V_{\text{OUT}}$ , select R1 and R2 so that

$$\frac{R1}{R2} = \frac{V_{\text{OUT}}}{1.23\text{V}} - 1 \quad (14)$$

### 4. Input Capacitor Selection ( $C_{\text{IN}}$ )

The switching action in the step-up regulator causes a triangular ripple current to be drawn from the supply source. This in turn causes noise to appear on the supply voltage. For proper operation of the LM1577, the input voltage should be decoupled. Bypassing the Input Voltage pin directly to ground with a good quality, low ESR, 0.1  $\mu\text{F}$  capacitor (leads as short as possible) is normally sufficient.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Table 3. Aluminum Electrolytic Capacitors Recommended for Switching Regulators**

<b>Cornell Dublier</b> —Types 239, 250, 251, UFT, 300, or 350	
	P.O. Box 128, Pickens, SC 29671 (803) 878-6311
<b>Nichicon</b> —Types PF, PX, or PZ	
	927 East Parkway, Schaumburg, IL 60173 (708) 843-7500
<b>Sprague</b> —Types 672D, 673D, or 674D	
	Box 1, Sprague Road, Lansing, NC 28643 (919) 384-2551
<b>United Chemi-Con</b> —Types LX, SXF, or SXJ	
	9801 West Higgins Road, Rosemont, IL 60018 (708) 696-2000

If the LM1577 is located far from the supply source filter capacitors, an additional large electrolytic capacitor (e.g. 47  $\mu$ F) is often required.

### 5. Diode Selection (D)

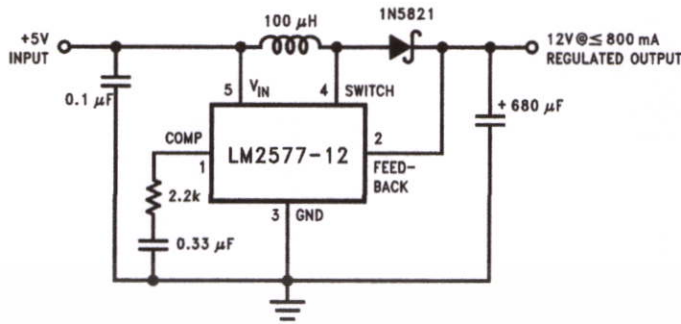
The switching diode used in the boost regulator must withstand a reverse voltage equal to the circuit output voltage, and must conduct the peak output current of the LM2577. A suitable diode must have a minimum reverse breakdown voltage greater than the circuit output voltage, and should be rated for average and peak current greater than  $I_{LOAD(max)}$  and  $I_{D(PK)}$ . Schottky barrier diodes are often favored for use in switching regulators. Their low forward voltage drop allows higher regulator efficiency than if a (less expensive) fast recovery diode was used. See [Table 4](#) for recommended part numbers and voltage ratings of 1A and 3A diodes.

**Table 4. Diode Selection Chart**

$V_{out}$ (max)	Schottky		Fast Recovery	
	1A	3A	1A	3A
20V	1N5817	1N5820		
	MBR120P	MBR320P		
	1N5818	1N5821		
30V	MBR130P	MBR330P		
	11DQ03	31DQ03		
	1N5819	1N5822		
40V	MBR140P	MBR340P		
	11DQ04	31DQ04		
	MBR150	MBR350	1N4933	
50V	11DQ05	31DQ05	MUR105	
			1N4934	MR851
			HER102	30DL1
100V			MUR110	MR831
			10DL1	HER302

### BOOST REGULATOR CIRCUIT EXAMPLE

By adding a few external components (as shown in [Figure 37](#)), the LM2577 can be used to produce a regulated output voltage that is greater than the applied input voltage. Typical performance of this regulator is shown in [Figure 38](#) and [Figure 39](#). The switching waveforms observed during the operation of this circuit are shown in [Figure 40](#).



Note: Pin numbers shown are for TO-220 (T) package.

Figure 37. Step-up Regulator Delivers 12V from a 5V Input

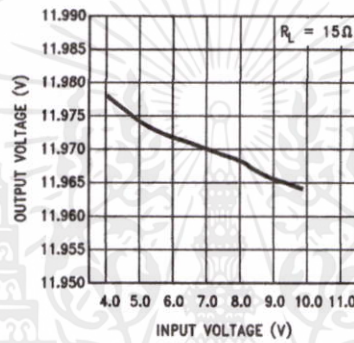
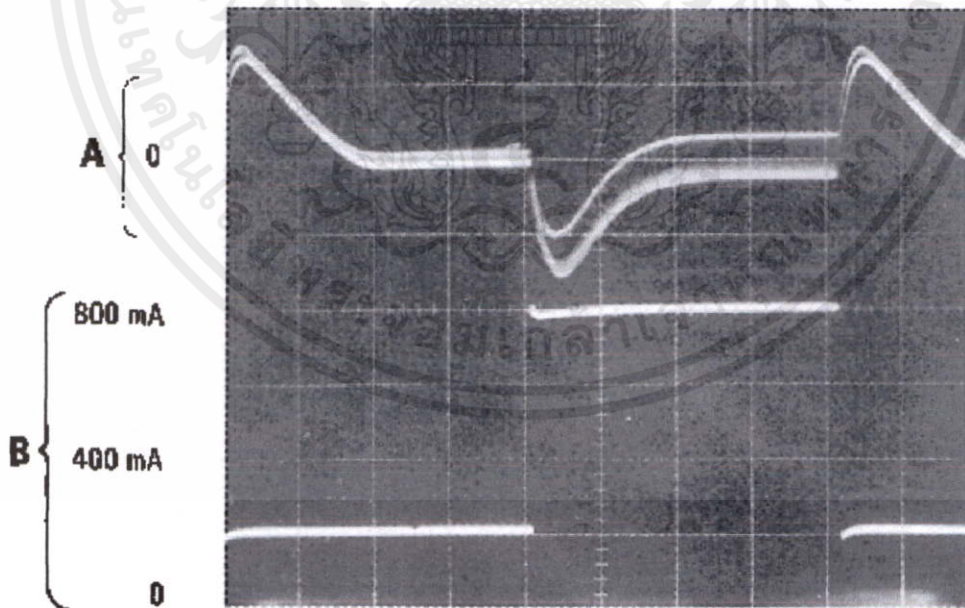


Figure 38. Line Regulation (Typical) of Step-Up Regulator of Figure 37

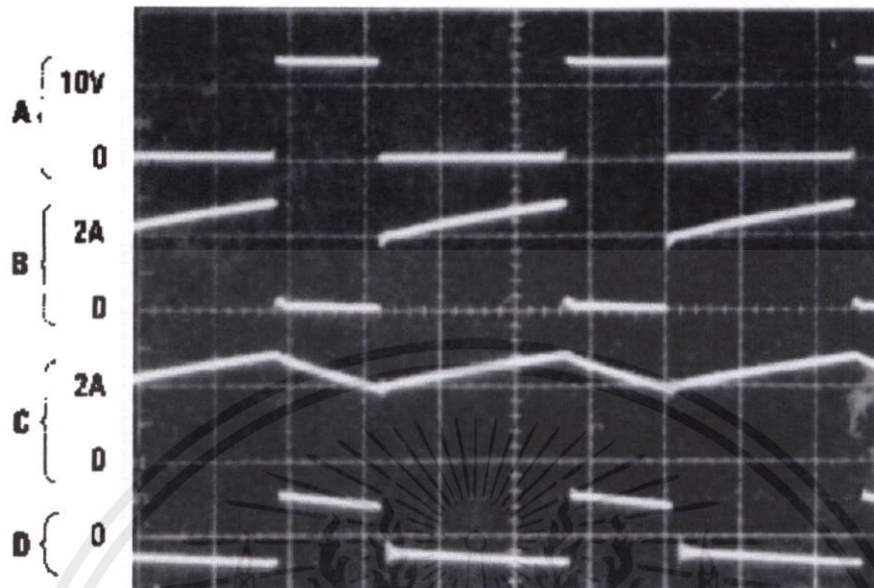


A: Output Voltage Change, 100 mV/div. (AC-coupled)

B: Load current, 0.2 A/div

Horizontal: 5 ms/div

Figure 39. Load Transient Response of Step-Up Regulator of Figure 37



A: Switch pin voltage, 10 V/div  
 B: Switch pin current, 2 A/div  
 C: Inductor current, 2 A/div  
 D: Output ripple voltage, 100 mV/div (AC-coupled)  
 Horizontal: 5 µs/div

Figure 40. Switching Waveforms of Step-Up Regulator of Figure 37

## FLYBACK REGULATOR

A Flyback regulator can produce single or multiple output voltages that are lower or greater than the input supply voltage. Figure 42 shows the LM1577/LM2577 used as a flyback regulator with positive and negative regulated outputs. Its operation is similar to a step-up regulator, except the output switch controls the primary current of a flyback transformer. Note that the primary and secondary windings are out of phase, so no current flows through secondary when current flows through the primary. This allows the primary to charge up the transformer core when the switch is on. When the switch turns off, the core discharges by sending current through the secondary, and this produces voltage at the outputs. The output voltages are controlled by adjusting the peak primary current, as described in the [STEP-UP \(BOOST\) REGULATOR](#) section.

Voltage and current waveforms for this circuit are shown in Figure 41, and formulas for calculating them are given in Table 5.

## FLYBACK REGULATOR DESIGN PROCEDURE

### 1. Transformer Selection

A family of standardized flyback transformers is available for creating flyback regulators that produce dual output voltages, from  $\pm 10V$  to  $\pm 15V$ , as shown in Figure 42. Table 6 lists these transformers with the input voltage, output voltages and maximum load current they are designed for.

### 2. Compensation Network ( $C_C$ , $R_C$ ) and Output Capacitor ( $C_{OUT}$ ) Selection

As explained in the Step-Up Regulator Design Procedure,  $C_C$ ,  $R_C$  and  $C_{OUT}$  must be selected as a group. The following procedure is for a dual output flyback regulator with equal turns ratios for each secondary (i.e., both output voltages have the same magnitude). The equations can be used for a single output regulator by changing  $\Sigma I_{LOAD(max)}$  to  $I_{LOAD(max)}$  in the following equations.

A. First, calculate the maximum value for  $R_C$ .

$$R_C \leq \frac{750 \times \Sigma I_{LOAD(max)} \times (15V + V_{IN(min)N})^2}{V_{IN(min)}^2} \tag{15}$$

Where  $\Sigma I_{LOAD(max)}$  is the sum of the load current (magnitude) required from both outputs. Select a resistor less than or equal to this value, and no greater than 3 k $\Omega$ .

B. Calculate the minimum value for  $\Sigma C_{OUT}$  (sum of  $C_{OUT}$  at both outputs) using the following two equations.

$$C_{OUT} \geq \frac{0.19 \times R_C \times L_p \times \Sigma I_{LOAD(max)}}{15V \times V_{IN(min)}}$$

and

$$C_{OUT} \geq \frac{V_{IN(min)} \times R_C \times N^2 \times (V_{IN(min)} + (3.74 \times 10^5 \times L_p))}{487,800 \times (15V)^2 \times (15V + V_{IN(min)} \times N)} \tag{16}$$

The larger of these two values must be used to ensure regulator stability.

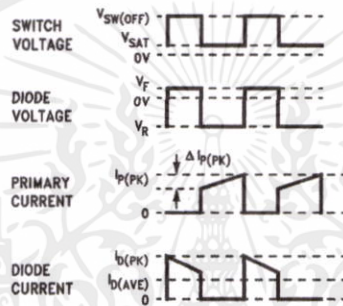
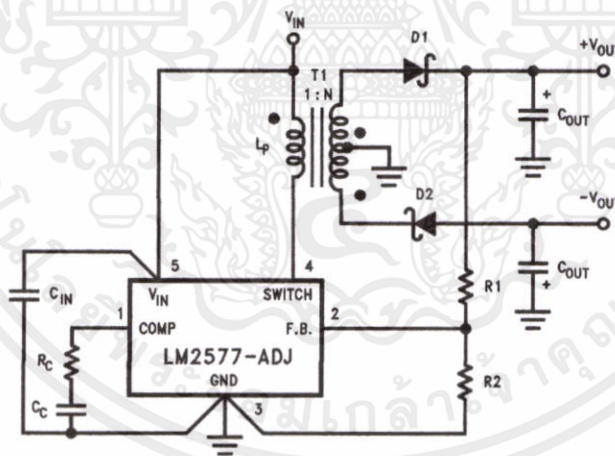


Figure 41. Flyback Regulator Waveforms



T1 = Pulse Engineering, PE-65300  
D1, D2 = 1N5821

Figure 42. LM1577-ADJ/LM2577-ADJ Flyback Regulator with  $\pm$  Outputs

Table 5. Flyback Regulator Formulas

Duty Cycle	D	$\frac{V_{OUT} + V_F}{N(V_{IN} - V_{SAT}) + V_{OUT} + V_F} \approx \frac{V_{OUT}}{N(V_{IN}) + V_{OUT}}$ (17)
Primary Current Variation	$\Delta I_p$	$\frac{D(V_{IN} - V_{SAT})}{L_p \times 52,000}$ เอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ (18)

**Table 5. Flyback Regulator Formulas (continued)**

Peak Primary Current	$I_{P(PK)}$	$\frac{N}{\eta} \times \frac{\Sigma I_{LOAD}}{1-D} + \frac{\Delta I_{PK}}{2}$	(19)
Switch Voltage when Off	$V_{SW(OFF)}$	$V_{IN} + \frac{V_{OUT} + V_F}{N}$	(20)
Diode Reverse Voltage	$V_R$	$V_{OUT} + N (V_{IN} - V_{SAT})$	
Average Diode Current	$I_{D(AVE)}$	$I_{LOAD}$	
Peak Diode Current	$I_{D(PK)}$	$\frac{I_{LOAD}}{1-D} + \frac{\Delta I_{IND}}{2}$	(21)
Short Circuit Diode Current		$\approx \frac{6A}{N}$	(22)
Power Dissipation of LM1577/LM2577	$P_D$	$0.25\Omega \left( \frac{N \Sigma I_{LOAD}}{1-D} \right)^2 + \frac{N I_{LOAD} D}{50(1-D)} V_{IN}$	(23)

$$N = \text{Transformer Turns Ratio} = \frac{\text{number of secondary turns}}{\text{number of primary turns}}$$

$$\eta = \text{Transformer Efficiency (typically 0.95)}$$

$$\Sigma I_{LOAD} = |I_{LOAD}| + |-I_{LOAD}|$$

C. Calculate the minimum value of  $C_C$

$$C_C \geq \frac{58.5 \times C_{OUT} \times V_{OUT} \times (V_{OUT} + (V_{IN(min)} \times N))}{R_C^2 \times V_{IN(min)} \times N} \quad (24)$$

D. Calculate the maximum ESR of the  $+V_{OUT}$  and  $-V_{OUT}$  output capacitors in parallel.

$$ESR + \parallel ESR \leq \frac{8.7 \times 10^{-3} \times V_{IN(min)} \times V_{OUT} \times N}{\Sigma I_{LOAD(max)} \times (V_{OUT} + (V_{IN(min)} \times N))} \quad (25)$$

This formula can also be used to calculate the maximum ESR of a single output regulator.

At this point, refer to this same section in the [STEP-UP REGULATOR DESIGN PROCEDURE](#) section for more information regarding the selection of  $C_{OUT}$ .

### 3. Output Voltage Selection

This section is for applications using the LM1577-ADJ/LM2577-ADJ. Skip this section if the LM1577-12/LM2577-12 or LM1577-15/LM2577-15 is being used.

With the LM1577-ADJ/LM2577-ADJ, the output voltage is given by

$$V_{OUT} = 1.23V (1 + R1/R2) \quad (26)$$

Resistors R1 and R2 divide the output voltage down so it can be compared with the LM1577-ADJ/LM2577-ADJ internal 1.23V reference. For a desired output voltage  $V_{OUT}$ , select R1 and R2 so that

$$\frac{R1}{R2} = \frac{V_{OUT}}{1.23V} - 1 \quad (27)$$

### 4. Diode Selection

The switching diode in a flyback converter must withstand the reverse voltage specified by the following equation.

$$V_R = V_{OUT} + \frac{V_{IN}}{N} \quad (28)$$

A suitable diode must have a reverse voltage rating greater than this. In addition it must be rated for more than the average and peak diode currents listed in [Table 5](#).

### 5. Input Capacitor Selection

The primary of a flyback transformer draws discontinuous pulses of current from the input supply. As a result, a flyback regulator generates more noise at the input supply than a step-up regulator, and this requires a larger bypass capacitor to decouple the LM1577/LM2577  $V_{IN}$  pin from this noise. For most applications, a low ESR, 1.0  $\mu\text{F}$  cap will be sufficient, if it is connected very close to the  $V_{IN}$  and Ground pins.

Transformer		Input	Dual	Maximum
Type		Voltage	Output	Output
			Voltage	Current
1	$L_P = 100 \mu\text{H}$ $N = 1$	5V	$\pm 10\text{V}$	325 mA
		5V	$\pm 12\text{V}$	275 mA
		5V	$\pm 15\text{V}$	225 mA
		10V	$\pm 10\text{V}$	700 mA
2	$L_P = 200 \mu\text{H}$ $N = 0.5$	10V	$\pm 12\text{V}$	575 mA
		10V	$\pm 15\text{V}$	500 mA
		12V	$\pm 10\text{V}$	800 mA
		12V	$\pm 12\text{V}$	700 mA
3	$L_P = 250 \mu\text{H}$ $N = 0.5$	12V	$\pm 15\text{V}$	575 mA
		15V	$\pm 10\text{V}$	900 mA
		15V	$\pm 12\text{V}$	825 mA
		15V	$\pm 15\text{V}$	700 mA

Table 6. Flyback Transformer Selection Guide

Transformer Type	Manufacturers' Part Numbers		
	AIE	Pulse	Renco
1	326-0637	PE-65300	RL-2580
2	330-0202	PE-65301	RL-2581
3	330-0203	PE-65302	RL-2582

In addition to this bypass cap, a larger capacitor ( $\geq 47 \mu\text{F}$ ) should be used where the flyback transformer connects to the input supply. This will attenuate noise which may interfere with other circuits connected to the same input supply voltage.

## 6. Snubber Circuit

A "snubber" circuit is required when operating from input voltages greater than 10V, or when using a transformer with  $L_P \geq 200 \mu\text{H}$ . This circuit clamps a voltage spike from the transformer primary that occurs immediately after the output switch turns off. Without it, the switch voltage may exceed the 65V maximum rating. As shown in Figure 43, the snubber consists of a fast recovery diode, and a parallel RC. The RC values are selected for switch clamp voltage ( $V_{CLAMP}$ ) that is 5V to 10V greater than  $V_{SW(OFF)}$ . Use the following equations to calculate R and C;

$$C \geq \frac{0.02 \times L_P \times I_{P(PK)}^2}{(V_{CLAMP})^2 - (V_{SW(OFF)})^2}$$

$$R \leq \left( \frac{V_{CLAMP} + V_{SW(OFF)} - V_{IN}}{2} \right)^2 \times \left( \frac{19.2 \times 10^{-4}}{L_P \times I_{P(PK)}^2} \right) \quad (29)$$

Power dissipation (and power rating) of the resistor is;

$$P = \left( \frac{V_{CLAMP} + V_{SW(OFF)} - V_{IN}}{2} \right)^2 / R \quad (30)$$

The fast recovery diode must have a reverse voltage rating greater than  $V_{CLAMP}$ .

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

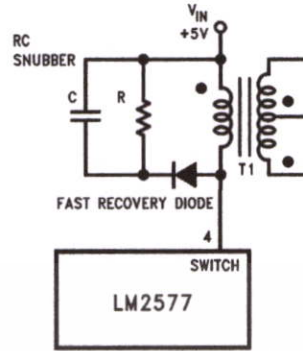
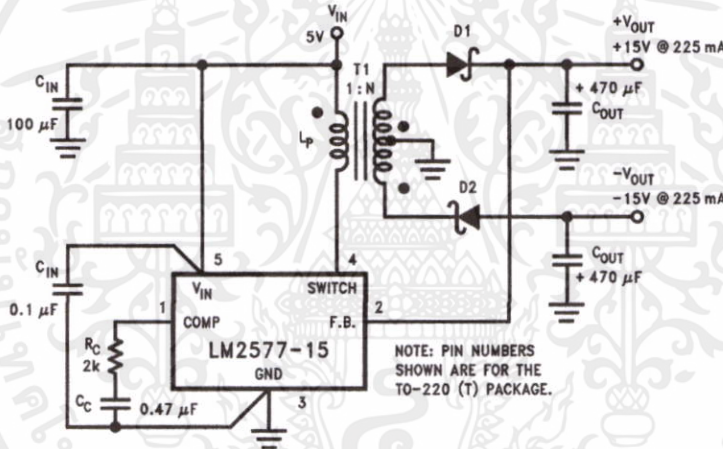


Figure 43. Snubber Circuit

**FLYBACK REGULATOR CIRCUIT EXAMPLE**

The circuit of Figure 44 produces  $\pm 15V$  (at 225 mA each) from a single 5V input. The output regulation of this circuit is shown in Figure 45 and Figure 47, while the load transient response is shown in Figure 46 and Figure 48. Switching waveforms seen in this circuit are shown in Figure 49.



T1 = Pulse Engineering, PE-65300  
D1, D2 = 1N5821

Figure 44. Flyback Regulator Easily Provides Dual Outputs

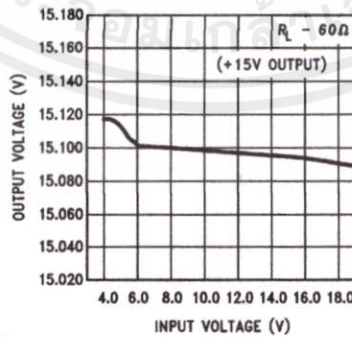
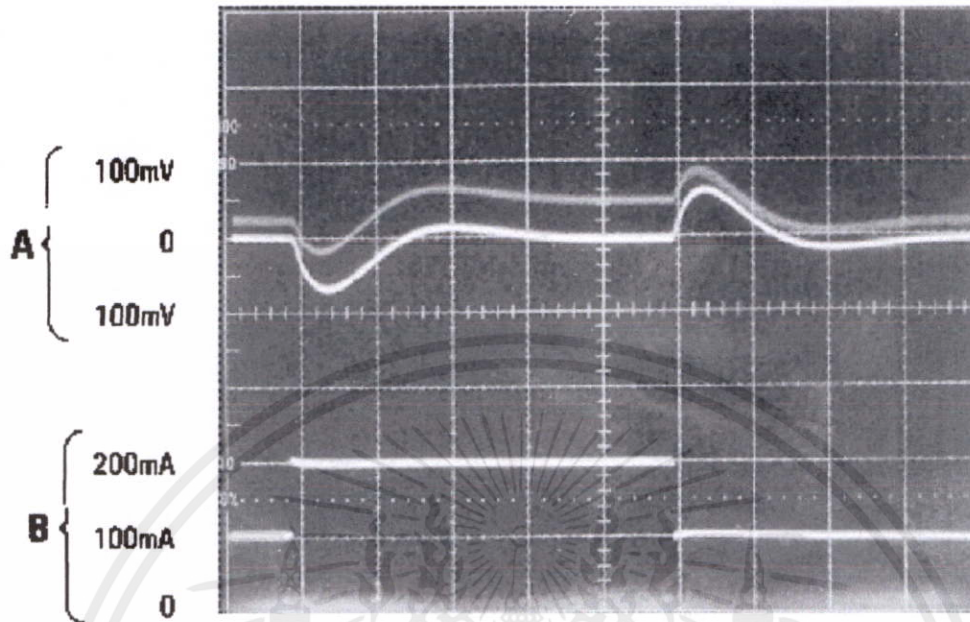


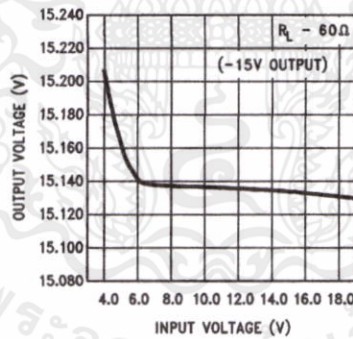
Figure 45. Line Regulation (Typical) of Flyback Regulator of Figure 44, +15V Output

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของ Texas Instruments กรุณาใช้เพื่อวัตถุประสงค์ในการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



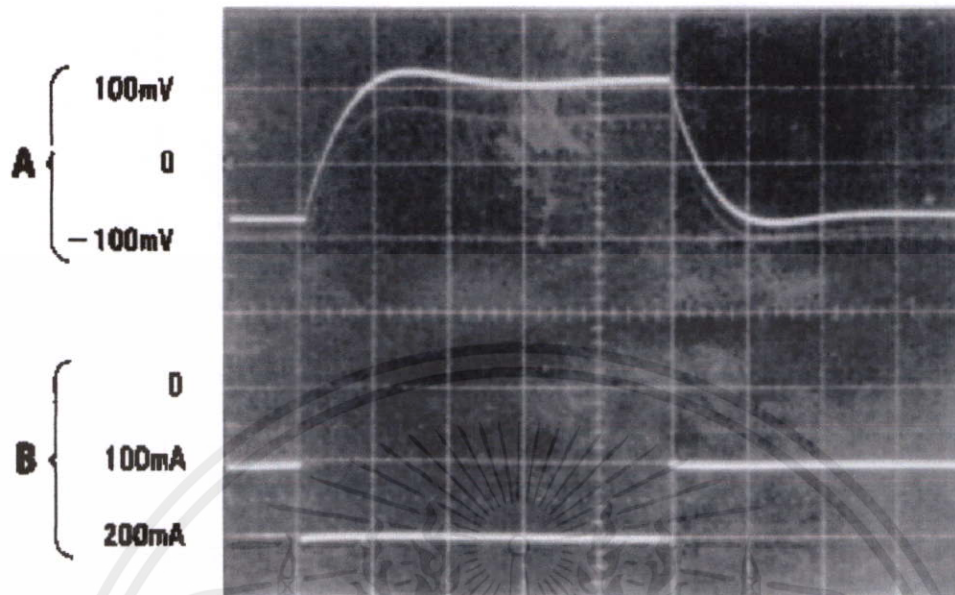
A: Output Voltage Change, 100 mV/div  
 B: Output Current, 100 mA/div  
 Horizontal: 10 ms/div

**Figure 46. Load Transient Response of Flyback Regulator of Figure 44, +15V Output**



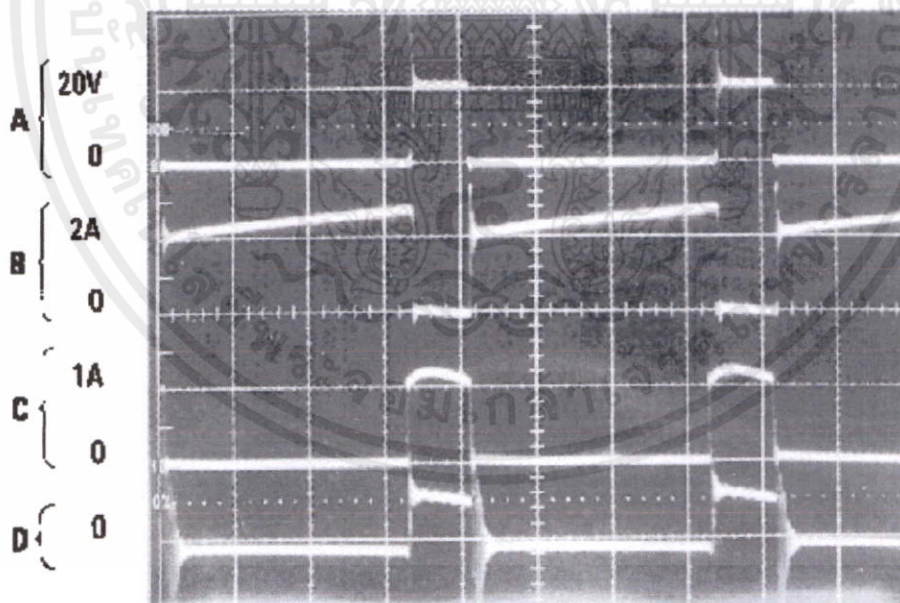
**Figure 47. Line Regulation (Typical) of Flyback Regulator of Figure 44, -15V Output**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



A: Output Voltage Change, 100 mV/div  
B: Output Current, 100 mA/div  
Horizontal: 10 ms/div

Figure 48. Load Transient Response of Flyback Regulator of Figure 44, -15V Output



A: Switch pin voltage, 20 V/div  
B: Primary current, 2 A/div  
C: +15V Secondary current, 1 A/div  
D: +15V Output ripple voltage, 100 mV/div  
Horizontal: 5 μs/div

Figure 49. Switching Waveforms of Flyback Regulator of Figure 44, Each Output Loaded with 60Ω

## REVISION HISTORY

### Changes from Revision C (April 2013) to Revision D

Page

- Changed layout of National Data Sheet to TI format ..... 29



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**PACKAGING INFORMATION**

Orderable Device	Status (1)	Package Type	Package Drawing	Pins	Package Qty	Eco Plan (2)	Lead/Ball Finish (6)	MSL Peak Temp (3)	Op Temp (°C)	Device Marking (4/5)	Samples
LM2577M-ADJ	NRND	SOIC	DW	24	30	TBD	Call TI	Call TI	-40 to 125	LM2577M -ADJ P+	
LM2577M-ADJ/NOPB	ACTIVE	SOIC	DW	24	30	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU SN	Level-3-260C-168 HR	-40 to 125	LM2577M -ADJ P+	Samples
LM2577N-ADJ	NRND	PDIP	NBG	16	20	TBD	Call TI	Call TI	-40 to 125	LM2577N-ADJ P+	
LM2577N-ADJ/NOPB	ACTIVE	PDIP	NBG	16	20	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU SN	Level-1-NA-UNLIM	-40 to 125	LM2577N-ADJ P+	Samples
LM2577S-12/NOPB	ACTIVE	DDPAK/ TO-263	KTT	5	45	Pb-Free (RoHS Exempt)	CU SN	Level-3-245C-168 HR	-40 to 125	LM2577S -12 P+	Samples
LM2577S-ADJ	NRND	DDPAK/ TO-263	KTT	5	45	TBD	Call TI	Call TI	-40 to 125	LM2577S -ADJ P+	
LM2577S-ADJ/NOPB	ACTIVE	DDPAK/ TO-263	KTT	5	45	Pb-Free (RoHS Exempt)	CU SN	Level-3-245C-168 HR	-40 to 125	LM2577S -ADJ P+	Samples
LM2577SX-12/NOPB	ACTIVE	DDPAK/ TO-263	KTT	5	500	Pb-Free (RoHS Exempt)	CU SN	Level-3-245C-168 HR	-40 to 125	LM2577S -12 P+	Samples
LM2577SX-ADJ	NRND	DDPAK/ TO-263	KTT	5	500	TBD	Call TI	Call TI	-40 to 125	LM2577S -ADJ P+	
LM2577SX-ADJ/NOPB	ACTIVE	DDPAK/ TO-263	KTT	5	500	Pb-Free (RoHS Exempt)	CU SN	Level-3-245C-168 HR	-40 to 125	LM2577S -ADJ P+	Samples
LM2577T-12	NRND	TO-220	KC	5	45	TBD	Call TI	Call TI	-40 to 125	LM2577T-12 P+	
LM2577T-12/LB03	NRND	TO-220	NDH	5	45	TBD	Call TI	Call TI	-40 to 125	LM2577T-12 P+	
LM2577T-12/LF03	ACTIVE	TO-220	NDH	5	45	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU SN	Level-1-NA-UNLIM	-40 to 125	LM2577T-12 P+	Samples
LM2577T-12/NOPB	ACTIVE	TO-220	KC	5	45	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU SN	Level-1-NA-UNLIM	-40 to 125	LM2577T-12 P+	Samples
LM2577T-15	NRND	TO-220	KC	5	45	TBD	Call TI	Call TI	-40 to 125	LM2577T-15 P+	
LM2577T-15/LB03	NRND	TO-220	NDH	5	45	TBD	Call TI	Call TI	-40 to 125	LM2577T-15 P+	
LM2577T-15/NOPB	ACTIVE	TO-220	KC	5	45	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU SN	Level-1-NA-UNLIM	-40 to 125	LM2577T-15 P+	Samples

Orderable Device	Status (1)	Package Type	Package Drawing	Pins	Package Qty	Eco Plan (2)	Lead/Ball Finish (6)	MSL Peak Temp (3)	Op Temp (°C)	Device Marking (4/5)	Samples
LM2577T-ADJ	NRND	TO-220	KC	5	45	TBD	Call TI	Call TI	-40 to 125	LM2577T -ADJ P+	
LM2577T-ADJ/LB02	NRND	TO-220	NEB	5	45	TBD	Call TI	Call TI		LM2577T -ADJ P+	
LM2577T-ADJ/LB03	NRND	TO-220	NDH	5	45	TBD	Call TI	Call TI		LM2577T -ADJ P+	
LM2577T-ADJ/LF03	ACTIVE	TO-220	NDH	5	45	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU SN	Level-1-NA-UNLIM		LM2577T -ADJ P+	Samples
LM2577T-ADJ/NOPB	ACTIVE	TO-220	KC	5	45	Pb-Free (RoHS Exempt)	CU SN	Level-1-NA-UNLIM	-40 to 125	LM2577T -ADJ P+	Samples

(1) The marketing status values are defined as follows:

**ACTIVE:** Product device recommended for new designs.

**LIFEBUY:** TI has announced that the device will be discontinued, and a lifetime-buy period is in effect.

**NRND:** Not recommended for new designs. Device is in production to support existing customers, but TI does not recommend using this part in a new design.

**PREVIEW:** Device has been announced but is not in production. Samples may or may not be available.

**OBSOLETE:** TI has discontinued the production of the device.

(2) Eco Plan - The planned eco-friendly classification: Pb-Free (RoHS), Pb-Free (RoHS Exempt), or Green (RoHS & no Sb/Br) - please check <http://www.ti.com/productcontent> for the latest availability information and additional product content details.

**TBD:** The Pb-Free/Green conversion plan has not been defined.

**Pb-Free (RoHS):** TI's terms "Lead-Free" or "Pb-Free" mean semiconductor products that are compatible with the current RoHS requirements for all 6 substances, including the requirement that lead not exceed 0.1% by weight in homogeneous materials. Where designed to be soldered at high temperatures, TI Pb-Free products are suitable for use in specified lead-free processes.

**Pb-Free (RoHS Exempt):** This component has a RoHS exemption for either 1) lead-based flip-chip solder bumps used between the die and package, or 2) lead-based die adhesive used between the die and leadframe. The component is otherwise considered Pb-Free (RoHS compatible) as defined above.

**Green (RoHS & no Sb/Br):** TI defines "Green" to mean Pb-Free (RoHS compatible), and free of Bromine (Br) and Antimony (Sb) based flame retardants (Br or Sb do not exceed 0.1% by weight in homogeneous material)

(3) MSL, Peak Temp. - The Moisture Sensitivity Level rating according to the JEDEC industry standard classifications, and peak solder temperature.

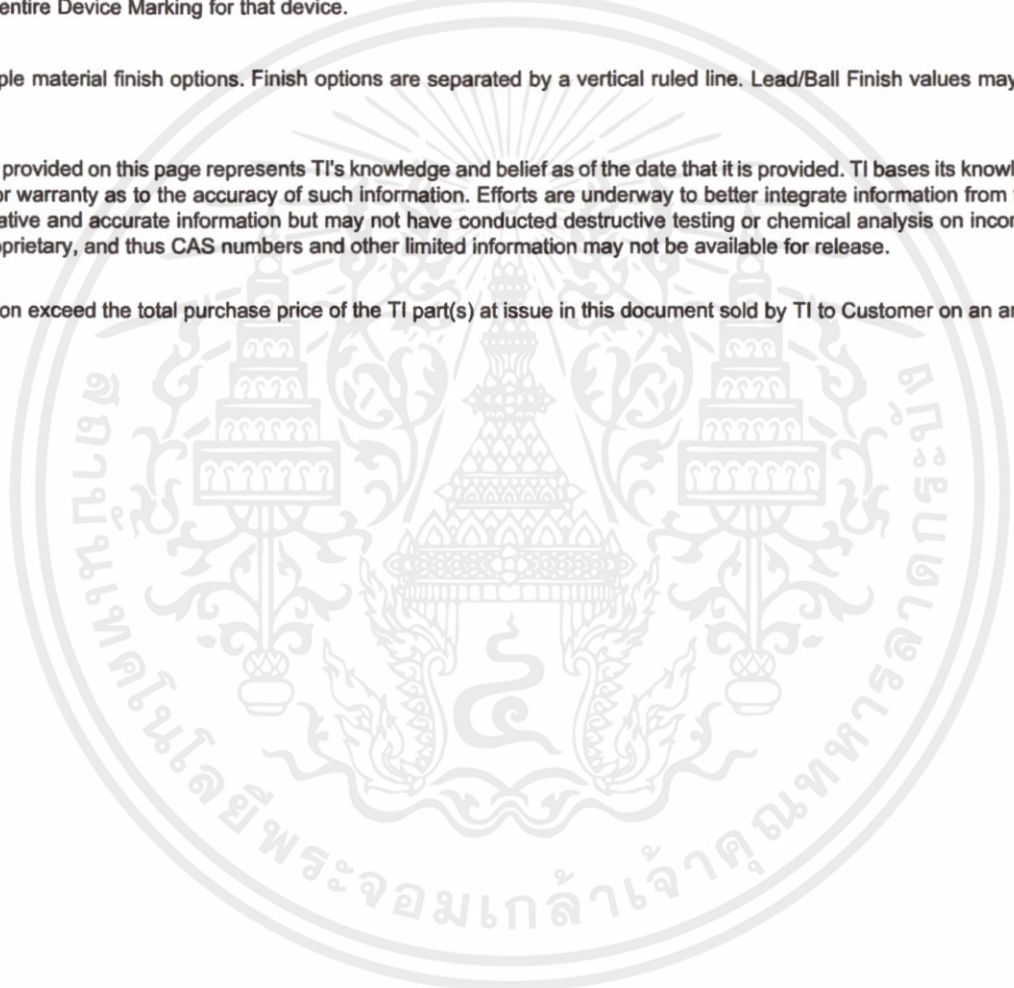
(4) There may be additional marking, which relates to the logo, the lot trace code information, or the environmental category on the device.

<sup>(5)</sup> Multiple Device Markings will be inside parentheses. Only one Device Marking contained in parentheses and separated by a "~" will appear on a device. If a line is indented then it is a continuation of the previous line and the two combined represent the entire Device Marking for that device.

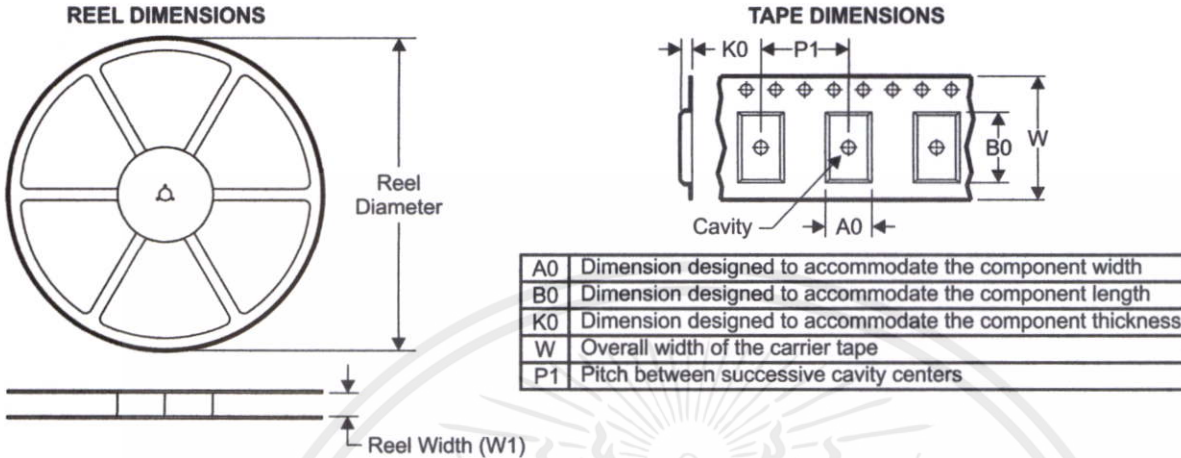
<sup>(6)</sup> Lead/Ball Finish - Orderable Devices may have multiple material finish options. Finish options are separated by a vertical ruled line. Lead/Ball Finish values may wrap to two lines if the finish value exceeds the maximum column width.

**Important Information and Disclaimer:** The information provided on this page represents TI's knowledge and belief as of the date that it is provided. TI bases its knowledge and belief on information provided by third parties, and makes no representation or warranty as to the accuracy of such information. Efforts are underway to better integrate information from third parties. TI has taken and continues to take reasonable steps to provide representative and accurate information but may not have conducted destructive testing or chemical analysis on incoming materials and chemicals. TI and TI suppliers consider certain information to be proprietary, and thus CAS numbers and other limited information may not be available for release.

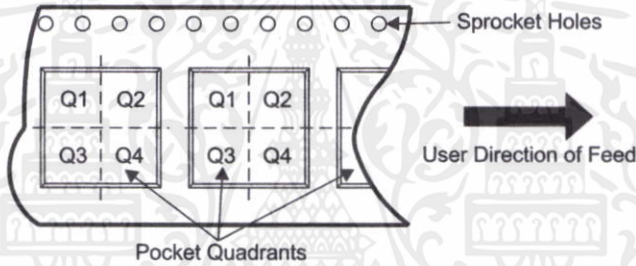
In no event shall TI's liability arising out of such information exceed the total purchase price of the TI part(s) at issue in this document sold by TI to Customer on an annual basis.



TAPE AND REEL INFORMATION



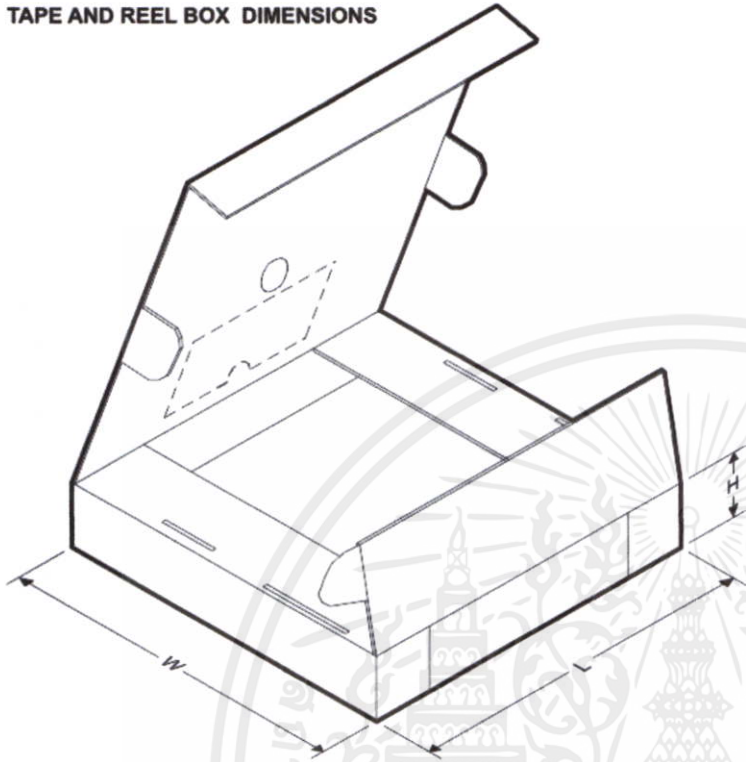
QUADRANT ASSIGNMENTS FOR PIN 1 ORIENTATION IN TAPE



\*All dimensions are nominal

Device	Package Type	Package Drawing	Pins	SPQ	Reel Diameter (mm)	Reel Width W1 (mm)	A0 (mm)	B0 (mm)	K0 (mm)	P1 (mm)	W (mm)	Pin1 Quadrant
LM2577SX-12/NOPB	DDPAK/TO-263	KTT	5	500	330.0	24.4	10.75	14.85	5.0	16.0	24.0	Q2
LM2577SX-ADJ	DDPAK/TO-263	KTT	5	500	330.0	24.4	10.75	14.85	5.0	16.0	24.0	Q2
LM2577SX-ADJ/NOPB	DDPAK/TO-263	KTT	5	500	330.0	24.4	10.75	14.85	5.0	16.0	24.0	Q2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**TAPE AND REEL BOX DIMENSIONS**


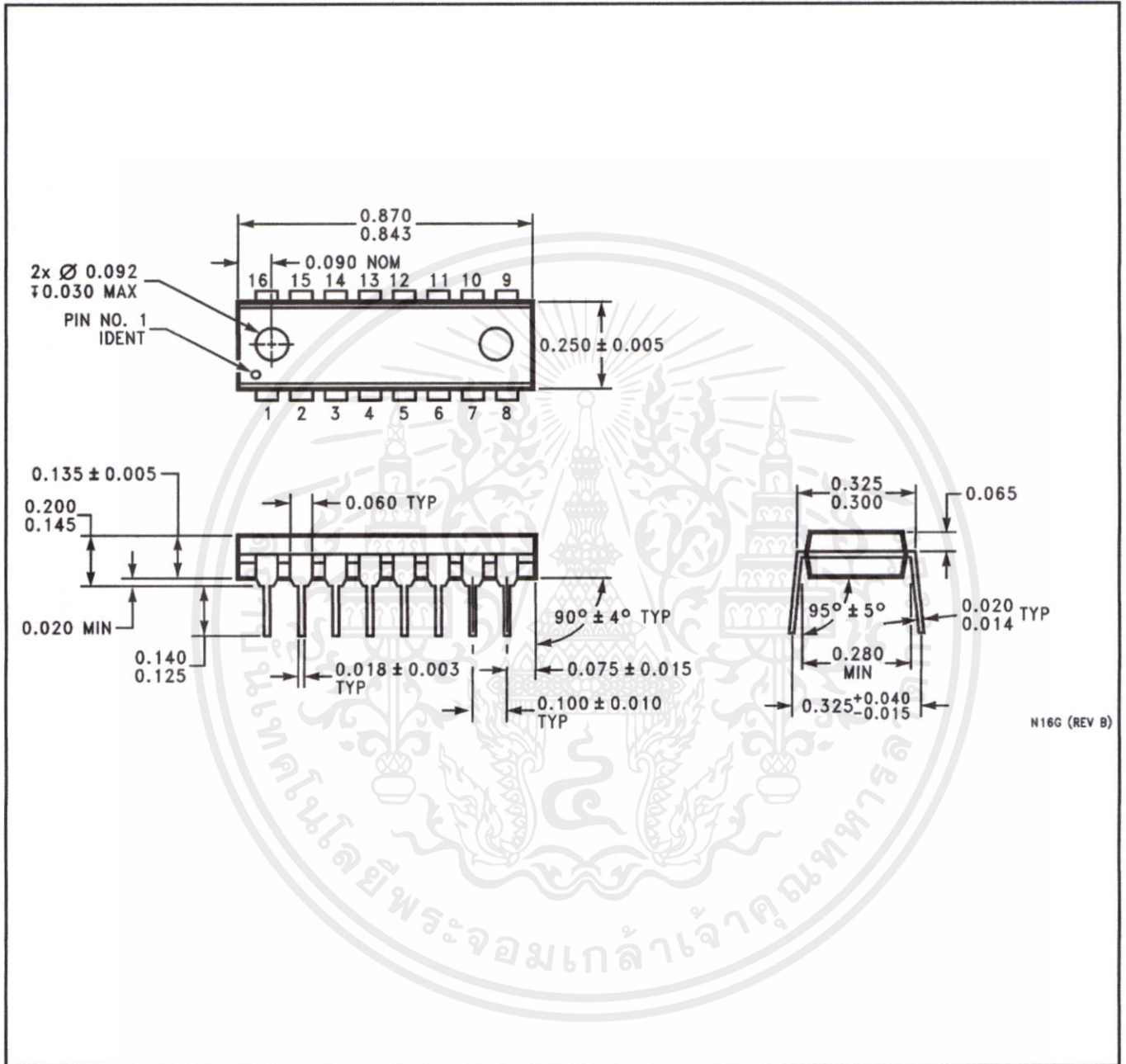
\*All dimensions are nominal

Device	Package Type	Package Drawing	Pins	SPQ	Length (mm)	Width (mm)	Height (mm)
LM2577SX-12/NOPB	DDPAK/TO-263	KTT	5	500	367.0	367.0	45.0
LM2577SX-ADJ	DDPAK/TO-263	KTT	5	500	367.0	367.0	45.0
LM2577SX-ADJ/NOPB	DDPAK/TO-263	KTT	5	500	367.0	367.0	45.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



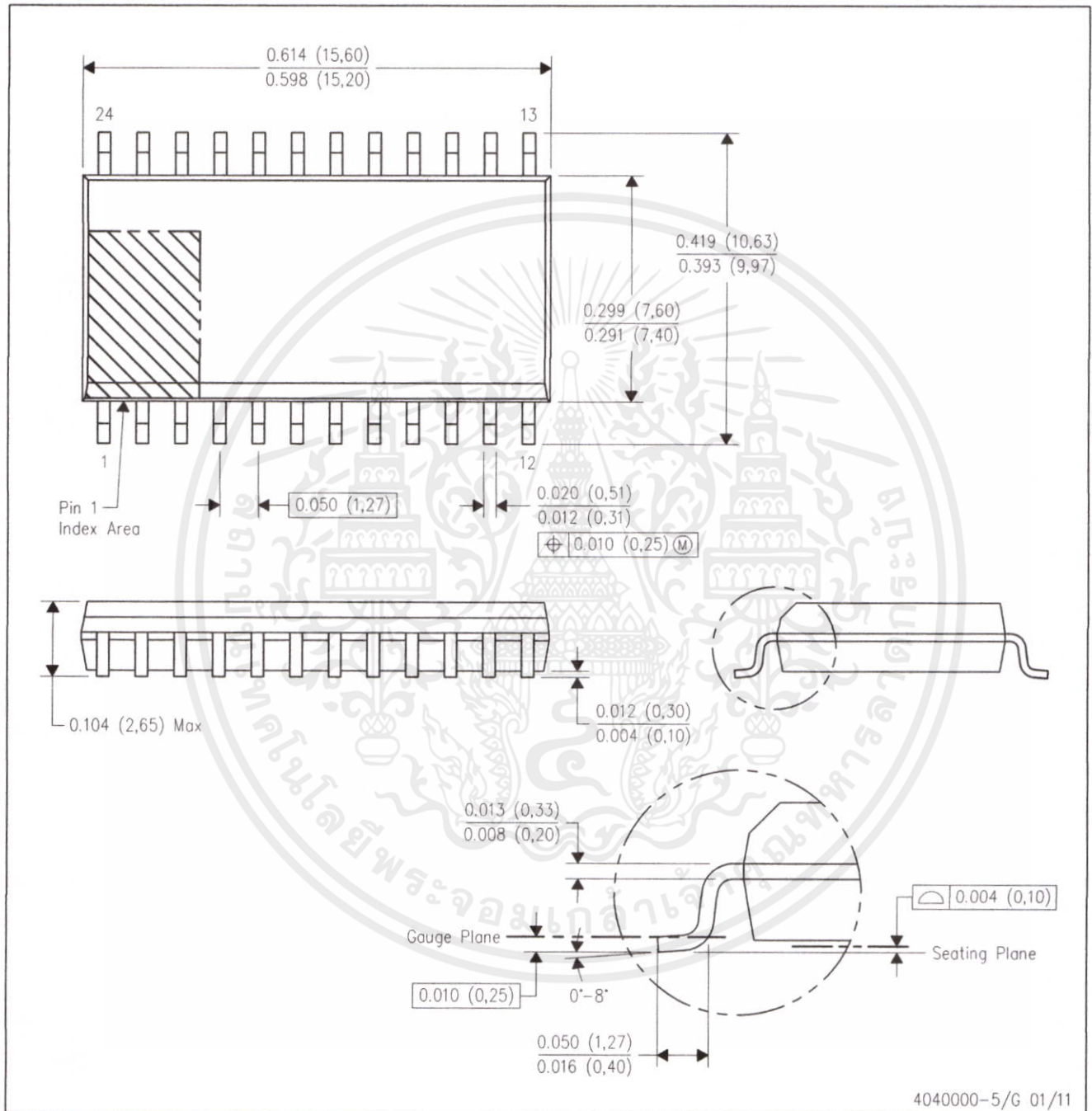
NBG0016G



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DW (R-PDSO-G24)

PLASTIC SMALL OUTLINE



NOTES: A. All linear dimensions are in inches (millimeters). Dimensioning and tolerancing per ASME Y14.5M-1994.

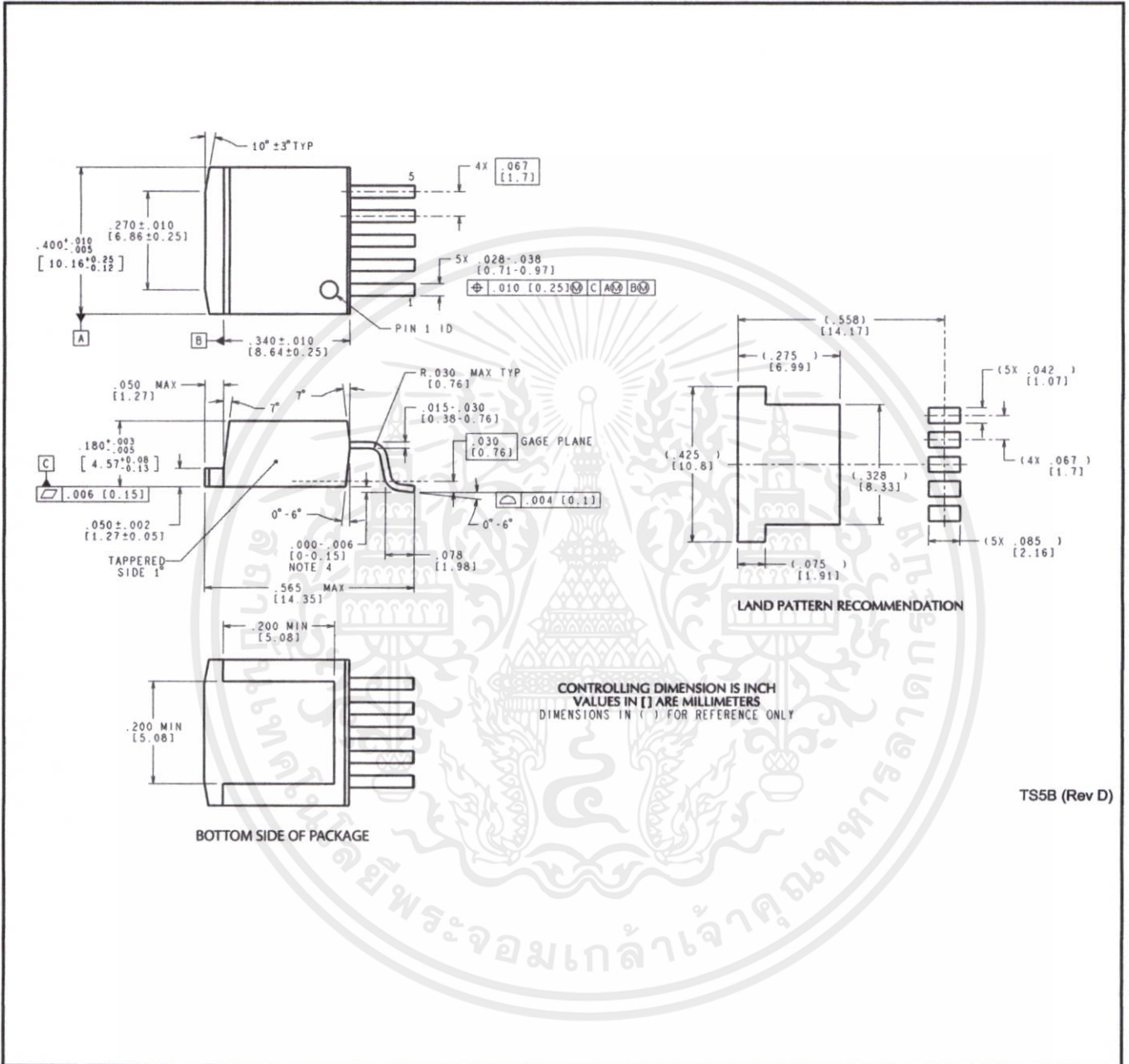
B. This drawing is subject to change without notice.

C. Body dimensions do not include mold flash or protrusion not to exceed 0.006 (0,15).

D. Falls within JEDEC MS-013 variation AD. ใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

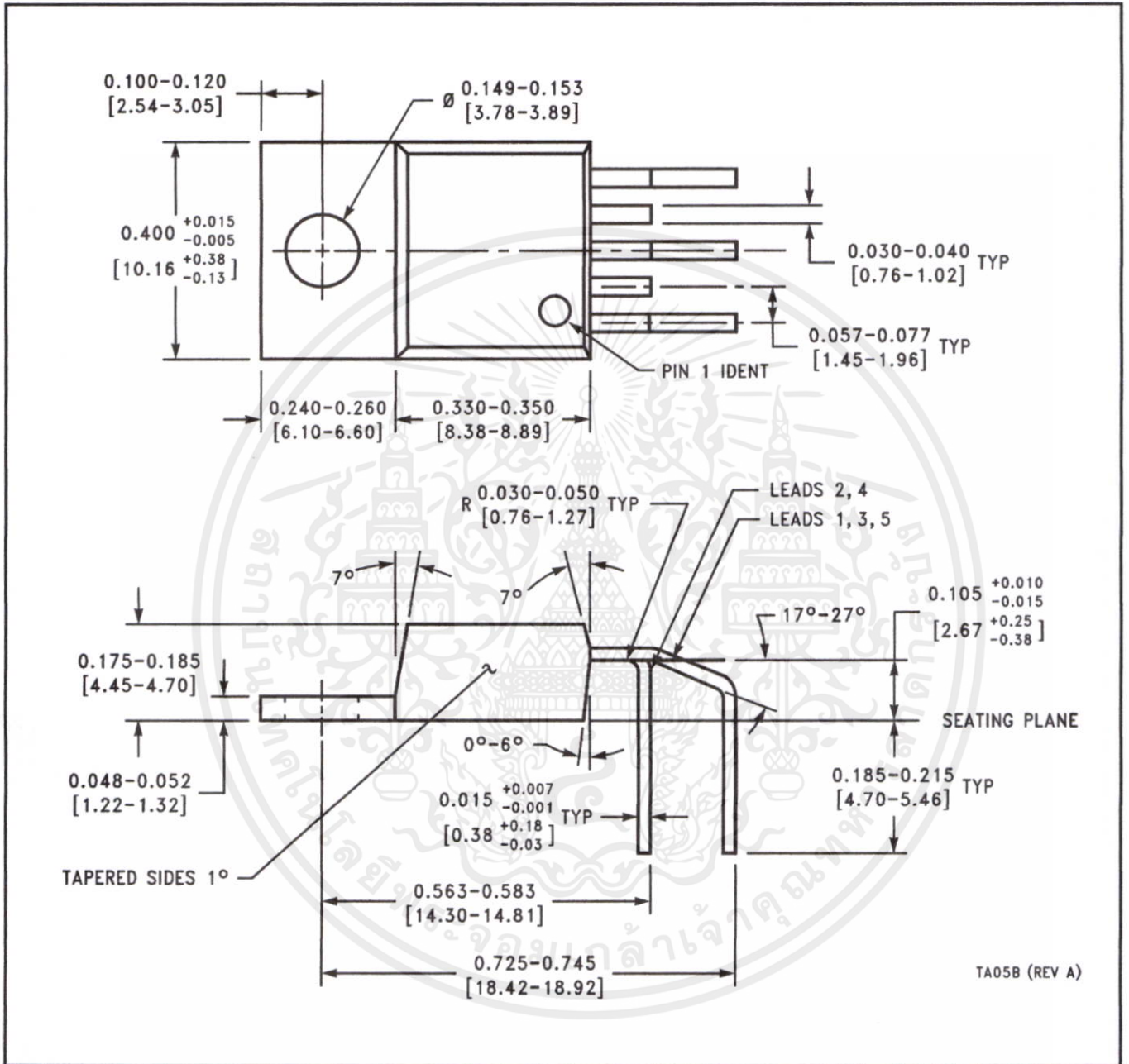
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

KTT0005B



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

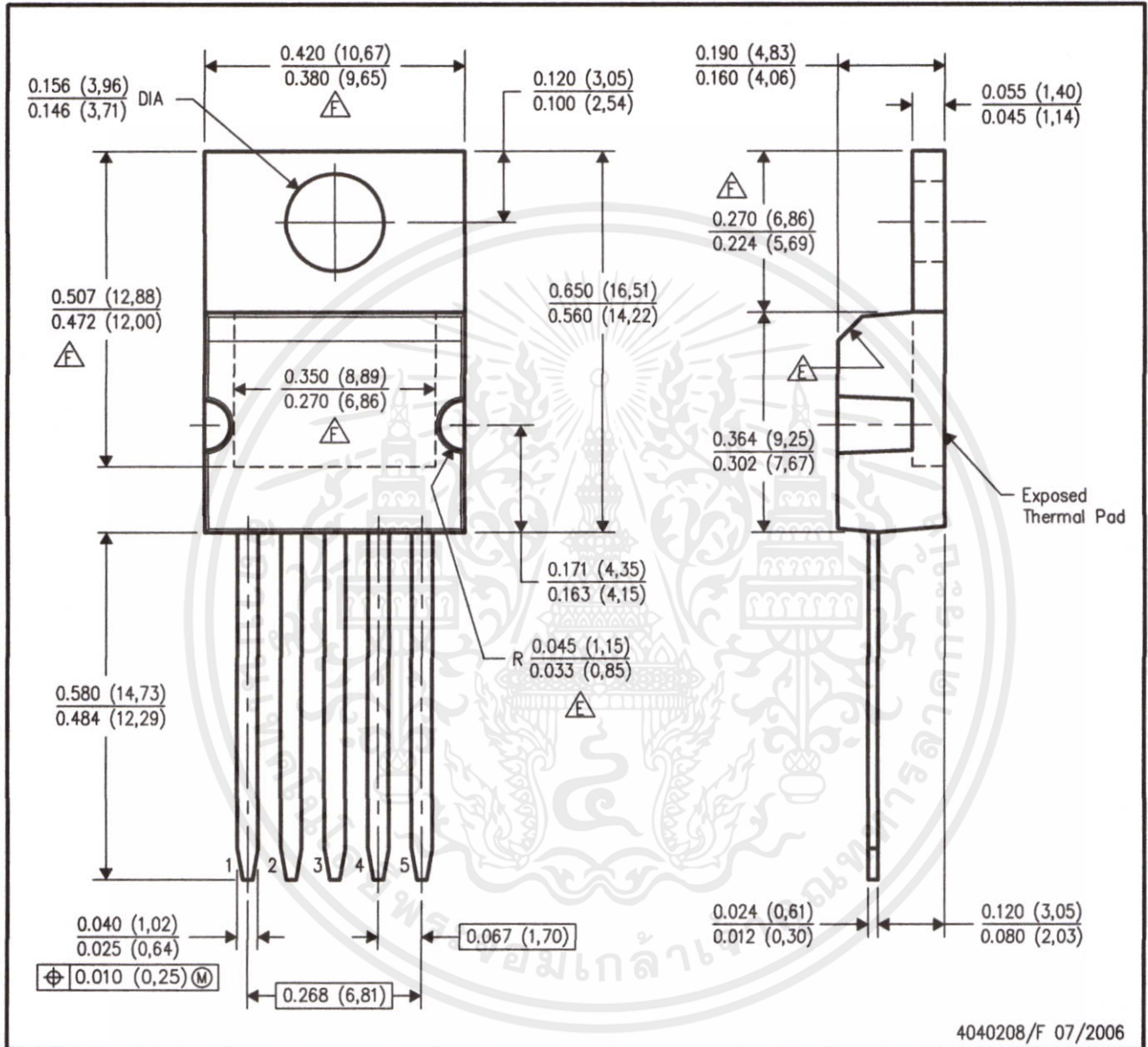
NEB0005B



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

KC (R-PSFM-T5)

PLASTIC FLANGE-MOUNT PACKAGE



- NOTES:
- A. All linear dimensions are in inches (millimeters).
  - B. This drawing is subject to change without notice.
  - C. All lead dimensions apply before solder dip.
  - D. The center lead is in electrical contact with the mounting tab.
- △ These features are optional.
- △ Thermal pad contour optional within these dimensions.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## IMPORTANT NOTICE

Texas Instruments Incorporated and its subsidiaries (TI) reserve the right to make corrections, enhancements, improvements and other changes to its semiconductor products and services per JESD46, latest issue, and to discontinue any product or service per JESD48, latest issue. Buyers should obtain the latest relevant information before placing orders and should verify that such information is current and complete. All semiconductor products (also referred to herein as "components") are sold subject to TI's terms and conditions of sale supplied at the time of order acknowledgment.

TI warrants performance of its components to the specifications applicable at the time of sale, in accordance with the warranty in TI's terms and conditions of sale of semiconductor products. Testing and other quality control techniques are used to the extent TI deems necessary to support this warranty. Except where mandated by applicable law, testing of all parameters of each component is not necessarily performed.

TI assumes no liability for applications assistance or the design of Buyers' products. Buyers are responsible for their products and applications using TI components. To minimize the risks associated with Buyers' products and applications, Buyers should provide adequate design and operating safeguards.

TI does not warrant or represent that any license, either express or implied, is granted under any patent right, copyright, mask work right, or other intellectual property right relating to any combination, machine, or process in which TI components or services are used. Information published by TI regarding third-party products or services does not constitute a license to use such products or services or a warranty or endorsement thereof. Use of such information may require a license from a third party under the patents or other intellectual property of the third party, or a license from TI under the patents or other intellectual property of TI.

Reproduction of significant portions of TI information in TI data books or data sheets is permissible only if reproduction is without alteration and is accompanied by all associated warranties, conditions, limitations, and notices. TI is not responsible or liable for such altered documentation. Information of third parties may be subject to additional restrictions.

Resale of TI components or services with statements different from or beyond the parameters stated by TI for that component or service voids all express and any implied warranties for the associated TI component or service and is an unfair and deceptive business practice. TI is not responsible or liable for any such statements.

Buyer acknowledges and agrees that it is solely responsible for compliance with all legal, regulatory and safety-related requirements concerning its products, and any use of TI components in its applications, notwithstanding any applications-related information or support that may be provided by TI. Buyer represents and agrees that it has all the necessary expertise to create and implement safeguards which anticipate dangerous consequences of failures, monitor failures and their consequences, lessen the likelihood of failures that might cause harm and take appropriate remedial actions. Buyer will fully indemnify TI and its representatives against any damages arising out of the use of any TI components in safety-critical applications.

In some cases, TI components may be promoted specifically to facilitate safety-related applications. With such components, TI's goal is to help enable customers to design and create their own end-product solutions that meet applicable functional safety standards and requirements. Nonetheless, such components are subject to these terms.

No TI components are authorized for use in FDA Class III (or similar life-critical medical equipment) unless authorized officers of the parties have executed a special agreement specifically governing such use.

Only those TI components which TI has specifically designated as military grade or "enhanced plastic" are designed and intended for use in military/aerospace applications or environments. Buyer acknowledges and agrees that any military or aerospace use of TI components which have *not* been so designated is solely at the Buyer's risk, and that Buyer is solely responsible for compliance with all legal and regulatory requirements in connection with such use.

TI has specifically designated certain components as meeting ISO/TS16949 requirements, mainly for automotive use. In any case of use of non-designated products, TI will not be responsible for any failure to meet ISO/TS16949.

### Products

Audio	<a href="http://www.ti.com/audio">www.ti.com/audio</a>
Amplifiers	<a href="http://amplifier.ti.com">amplifier.ti.com</a>
Data Converters	<a href="http://dataconverter.ti.com">dataconverter.ti.com</a>
DLP® Products	<a href="http://www.dlp.com">www.dlp.com</a>
DSP	<a href="http://dsp.ti.com">dsp.ti.com</a>
Clocks and Timers	<a href="http://www.ti.com/clocks">www.ti.com/clocks</a>
Interface	<a href="http://interface.ti.com">interface.ti.com</a>
Logic	<a href="http://logic.ti.com">logic.ti.com</a>
Power Mgmt	<a href="http://power.ti.com">power.ti.com</a>
Microcontrollers	<a href="http://microcontroller.ti.com">microcontroller.ti.com</a>
RFID	<a href="http://www.ti-rfid.com">www.ti-rfid.com</a>
OMAP Applications Processors	<a href="http://www.ti.com/omap">www.ti.com/omap</a>
Wireless Connectivity	<a href="http://www.ti.com/wirelessconnectivity">www.ti.com/wirelessconnectivity</a>

### Applications

Automotive and Transportation	<a href="http://www.ti.com/automotive">www.ti.com/automotive</a>
Communications and Telecom	<a href="http://www.ti.com/communications">www.ti.com/communications</a>
Computers and Peripherals	<a href="http://www.ti.com/computers">www.ti.com/computers</a>
Consumer Electronics	<a href="http://www.ti.com/consumer-apps">www.ti.com/consumer-apps</a>
Energy and Lighting	<a href="http://www.ti.com/energy">www.ti.com/energy</a>
Industrial	<a href="http://www.ti.com/industrial">www.ti.com/industrial</a>
Medical	<a href="http://www.ti.com/medical">www.ti.com/medical</a>
Security	<a href="http://www.ti.com/security">www.ti.com/security</a>
Space, Avionics and Defense	<a href="http://www.ti.com/space-avionics-defense">www.ti.com/space-avionics-defense</a>
Video and Imaging	<a href="http://www.ti.com/video">www.ti.com/video</a>

### TI E2E Community

[e2e.ti.com](http://e2e.ti.com)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

Mailing Address: Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ออกจาก Copyright © 2013, Texas Instruments Incorporated เอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้