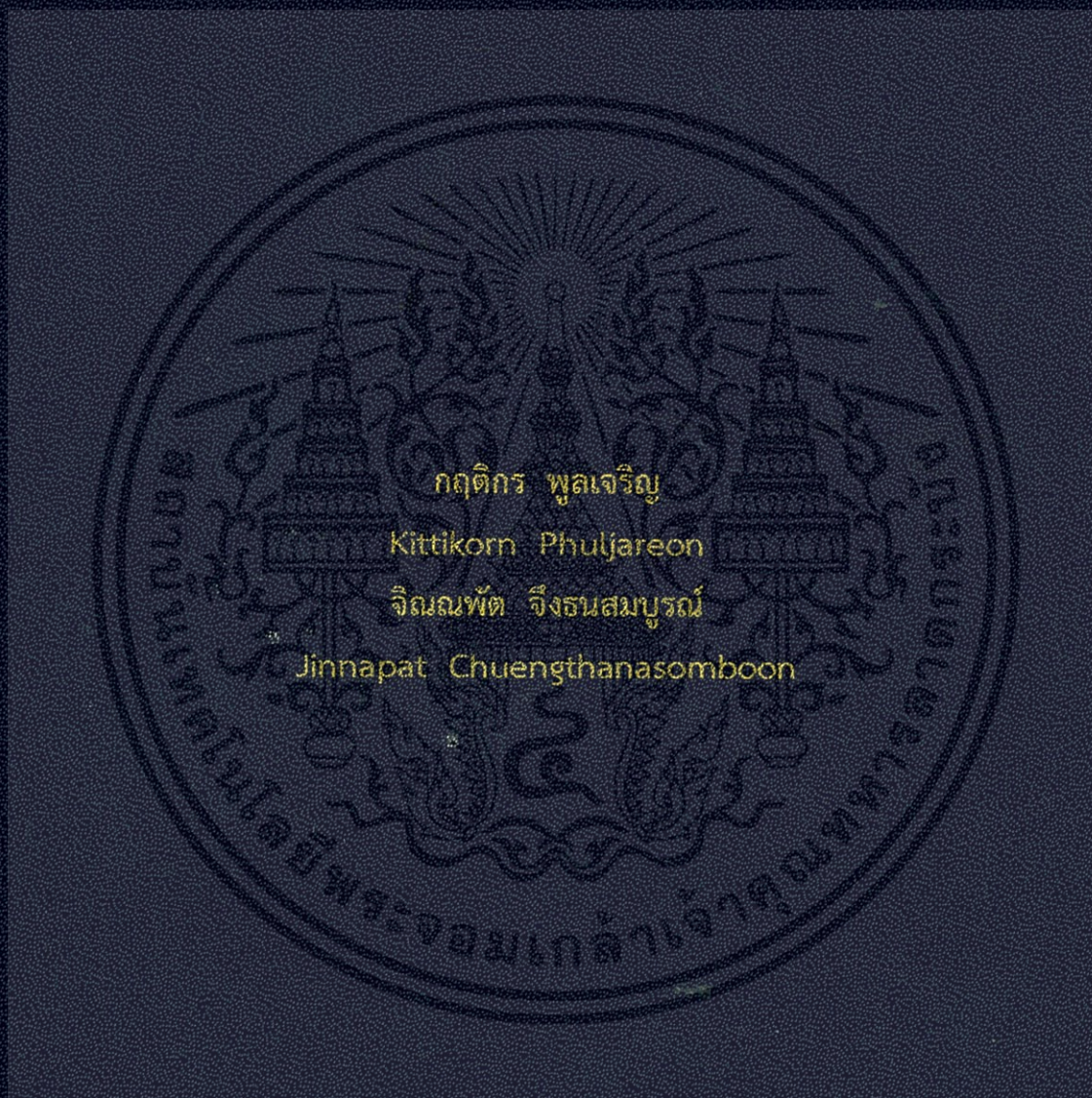


ระบบประจุแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดด้วยพลังงานความร้อน
จากระบบระบายความร้อนเครื่องยนต์

Battery charger by Thermal Energy from liquid cooling system



กฤติกร พูลเจริญ

Kittikorn Phuljareon

จิณณพัทธ์ จีงธนสมบุรณ์

Jinnapat Chuengthanasomboon

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2556

ระบบประจุแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดด้วยพลังงานความร้อน
จากระบบระบายความร้อนเครื่องยนต์

Battery charger by Thermal Energy from liquid cooling system



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2556

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ ปีการศึกษา 2556

สาขาวิชา วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

คณะ วิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง ระบบประจุแบตเตอรี่ที่ตะกั่ว-กรดด้วยพลังงานความร้อนจากระบบระบายความร้อนเครื่องยนต์

Battery charger by Thermal Energy from liquid cooling system

ผู้จัดทำ นาย กฤติกร พูลเจริญ รหัสนักศึกษา 53010042

นางสาว จิณณพัทธ์ จีรนสมบุรณ์ รหัสนักศึกษา 53010198

ปริญญาานิพนธ์นี้ผ่านการตรวจสอบโดยอาจารย์ที่ปรึกษาแล้ว



(รศ. จีรวัดน์ ปานกลาง)

อาจารย์ที่ปรึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	ระบบประจุแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดด้วยพลังงานความร้อนจาก ระบบระบายความร้อนเครื่องยนต์	
นักศึกษา	นาย กฤติกร พูลเจริญ	รหัส 53010042
	นางสาว จินณพัทธ์ จิ่งธนสมบุรณ์	รหัส 53010198
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต	
สาขาวิชา	วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์	
ปีการศึกษา	2556	
อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์	รศ.จิรวัดณ์ ปานกลาง	

บทคัดย่อ

โครงการขึ้นนี้มีจุดประสงค์เพื่อพัฒนาการประจุแบตเตอรี่ตะกั่ว - กรด ให้สามารถประยุกต์ใช้ได้กับระบบระบายความร้อนด้วยของเหลว เช่นหม้อน้ำในรถยนต์ หรือ จักรยานยนต์ ซึ่งเป็นการนำพลังงานที่เป็นพลังงานที่สูญเสียไปอย่าไม่เกิดประโยชน์ นำกลับมาใช้ใหม่โดยเปลี่ยนรูปให้เป็นพลังงานไฟฟ้าด้วย เพลเทียร์ โดยจะมีวงจรบัคบูท ใช้เพื่อรักษาระดับแรงดันจากแหล่งจ่ายให้มีค่าคงที่ และมีไมโครคอนโทรลเลอร์ ทำหน้าที่ในการควบคุมปริมาณการชาร์จแบตเตอรี่ของระบบให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด และทำการแจ้งหากรบบเกิดข้อผิดพลาดโดยแสดงผลออกมาทางจอ LCD สุดท้ายเป้าหมายของโครงการขึ้นนี้คือ การนำพลังงานที่สูญเสียไปนำกลับมาใช้ใหม่คือ ความร้อนที่เกิดจากระบบสันดาปของเครื่องยนต์กลับมาใช้ซึ่งเป็นพลังงานที่หาได้โดยไม่มีค่าใช้จ่าย มาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด

Thesis Title	Battery charger by Thermal Energy from liquid cooling system	
Student	Mr. Kittikorn Pulljareon	ID. 53010042
	Miss. Jinnapat Chuengthanasomboon	ID. 53010198
Degree	Bachelor of Engineering	
Program	Electronics Engineering	
Year	2013	
Thesis Advisor	Assoc. Prof. Jirawat Pranklang	

Abstract

The purpose of this project is to develop the lead – acid battery charger that can be applied to a liquid cooling system. For example, the radiator in a car or a motorbike, which is to bring the wasted energy back to use again. By changing the form of energy to be electric energy with thermoelectric generator, which has a buck-boost converter, uses to maintain the voltage level of supply to be constant. And has microcontroller to control the quantity of charging battery of system to get the highest performance. And also has the report when the system has something error, it show the output on the LCD screen, then use PWM circuit to be a charge. The last purpose of the project is to recycle the lost energy. The heat that come from engine vibration sword back to a obtainable power at no cost to maximize the benefits.

กิตติกรรมประกาศ

โครงการชิ้นนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ด้วยการสนับสนุนอย่างดียิ่งของ อาจารย์ที่ปรึกษา รศ. จิรวัดน์ ปานกลาง รวมทั้งอาจารย์ผู้สอนในภาควิชาอิเล็กทรอนิกส์ทุกท่านที่คอยให้แนวทางและ คำแนะนำต่างๆ ตั้งแต่การออกแบบรวมทั้งแก้ปัญหาที่เกิดในการทำงาน ขอขอบคุณเพื่อนๆร่วมห้อง โพรเจกต์และเพื่อนๆภายในภาควิชาอิเล็กทรอนิกส์ทุกคน ที่คอยช่วยเหลือในหลายๆด้าน เช่น อุปกรณ์ และคำปรึกษาต่างๆ รวมทั้งเป็นกำลังใจให้ผู้เขียนเสมอมา สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณบิดามารดาและ ครอบครัวที่คอยเป็นกำลังใจที่ตลอดมา รวมถึงการสนับสนุนงบประมาณจนกระทั่งการศึกษาครั้งนี้ สำเร็จไปได้ด้วยดี ผู้เขียนมีความรู้สึกซาบซึ้งในความกรุณาอันดีจากทุกท่านที่ได้กล่าว นามมาแล้วและไม่ได้กล่าวถึงด้วย จึงขอกราบขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้



สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญรูป.....	VI
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 วัตถุประสงค์ของโครงการ.....	1
1.2 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	1
1.3 ระบบของโครงการ.....	1
1.3.1 เทอร์โมอิเล็กทริก (Thermoelectric).....	2
1.3.2 วงจรรักษาระดับแรงดันไฟฟ้า (Regulator).....	2
1.3.3 วงจรแปลงระดับแรงดันไฟฟ้า (Boost Converter).....	2
1.3.4 วงจรอัดประจุแบตเตอรี่ (Battery charger).....	2
บทที่ 2 ต้นกำเนิดพลังงานในโครงการและระบบอัดประจุ.....	3
2.1 อุปกรณ์กำเนิดพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานความร้อน.....	3
2.1.1 ความรู้เกี่ยวกับคุณสมบัติทางไฟฟ้าของเทอร์โมอิเล็กทริก.....	4
2.1.2 โครงสร้างและหลักการทำงานของเทอร์โมอิเล็กทริก.....	4
2.2 แบตเตอรี่และวงจรอัดประจุ.....	5
2.2.1 หลักการอัดประจุของแบตเตอรี่.....	6
2.2.2 การบำรุงรักษา (Traction Battery Maintenance).....	8
2.3 ไมโครคอนโทรลเลอร์.....	10
บทที่ 3 โครงสร้างระบบในโครงการ.....	11
3.1 โครงสร้างรวมของโครงการ.....	11
3.2 วงจรรักษาระดับแรงดันแบบ step up.....	11
3.2.1 วงจรบูสคอนเวอร์เตอร์ (Boost Converter).....	11
3.2.2 วงจรรักษาระดับแรงดันแบบ step up สำหรับเพลเซียร์.....	13
3.2.3 วงจรรักษาระดับแรงดันแบบ Switching Voltage Regulator สำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์.....	13
บทที่ 4 ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller).....	15
4.1 ส่วนประกอบของไมโครคอนโทรลเลอร์ (PIC 16F877A).....	15
4.2 หน้าที่ของไมโครคอนโทรลเลอร์.....	21

4.3	หลักการเขียนโปรแกรมที่ใช้ในโครงงาน	21
4.3.1	โปรแกรมเขียนโดยใช้โปรแกรม MicroC.....	21
บทที่ 5	การทดลองและผลการทดลอง.....	24
5.1	การทดสอบคุณสมบัติทางไฟฟ้าของเทอร์โมอิเล็กทริก.....	24
5.2	การทดสอบวงจรรักษาระดับแรงดันไฟฟ้าแบบ step up.....	25
5.3	การทดสอบวงจรรักษาระดับแรงดันไฟฟ้าแบบ step up สำหรับเทอร์โมอิเล็กทริก.....	26
5.4	การทดสอบการทำงานของโปรแกรมด้วยโปรแกรม Proteus.....	27
5.5	ผลการทดสอบการทำงานของโปรแกรม.....	30
บทที่ 6	สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง.....	32
6.1	สรุปผลการทดลอง.....	32
6.2	วิจารณ์การทดลอง.....	33



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 รูปร่างของเพลเทียร์.....	3
2.2 กลไกการแปลงความร้อนเป็นไฟฟ้าของเพลเทียร์.....	5
3.1 โครงสร้างของระบบ.....	11
3.2 พิจารณาการทำงานของบวสคอนเวอร์เตอร์ในแต่ละโหมด (Mode) การทำงานตามการปิด-เปิด ของสวิตช์.....	11
3.3 แสดงวงจรสมมูลย์ของวงจรบวสคอนเวอร์เตอร์ (Boost Converter) ขณะสวิตช์ปิด(Switch On).....	12
3.4 แสดงวงจรสมมูลย์ของวงจรบวสคอนเวอร์เตอร์ (Boost Converter) ขณะสวิตช์เปิด(Switch Off).....	12
3.5 วงจรรักษาระดับแรงดันแบบ step up สำหรับ เพลเทียร์.....	13
3.6 วงจรรักษาระดับแรงดันแบบ step up สำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์.....	13
4.1 แสดงตัวอย่างข้อมูลขีดความสามารถของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F877A แบบ 28 ขา และ 40 ขา.....	16
4.2 แสดงตำแหน่งขา (PIN Diagram) ของตัวถังแบบต่างๆ.....	17
4.3 แสดงสถาปัตยกรรมที่เป็นโครงสร้างของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877A.....	18
4.4 ตารางเปรียบเทียบรายละเอียดขีดความสามารถของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F87XA.....	19
4.5 แสดงรายละเอียดและตำแหน่งขาของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F87XA.....	20
4.6 โปรแกรมในส่วนของการประกาศตัวแปรต่างๆ.....	21
4.7 โปรแกรมในส่วนของการตรวจเช็คระดับแรงดันและสถานะ.....	22
4.8 โปรแกรมในส่วนของการแสดงผลสถานะของแบตเตอรี่.....	23
5.1 ตารางแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแส(I) แรงดัน (V) และกำลัง (P) ของเพลเทียร์.....	24
5.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแส(I) แรงดัน (V) และกำลัง (P) ของเพลเทียร์.....	25
5.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าขาเข้า(โวลต์) และ แรงดันไฟฟ้าขาออก(โวลต์).....	25
5.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้า(โวลต์) และ กระแส (แอมป์).....	26
5.5 ในกรณีที่ Vbat มีค่าน้อยกว่า 8V จะแสดงผลเป็นคำว่า Low batt.....	27
5.6 Vbat อยู่ในช่วง 8-14V จะแสดงผลเป็น Batt OK.....	27
5.7 เมื่อ Vbat มีค่ามากกว่า 14V จะแสดงผลเป็น Full.....	28
5.8 ในส่วนของVb (Vboost)มีค่าน้อยกว่า14V จะแสดงผลเป็น Low Input.....	28

5.9	เมื่อ Vb มีมากกว่า 14v จะแสดงผลเป็น Charging.....	29
5.10	แสดงสัญญาณที่ใช้ในการควบคุมการชาร์จ.....	29
5.11	ชิ้นงานโครงสร้างของระบบ.....	30
5.12	เมื่อ Vb มีมากกว่า 14v จะแสดงผลเป็น Charging ที่จอ LCD.....	30
5.13	ในกรณีที่ Vbat มีค่าน้อยกว่า 8V จะแสดงผลเป็นคำว่า Low ที่จอ LCD.....	31
5.14	Vbat อยู่ในช่วง 8-14V จะแสดงผลเป็น Batt OK ที่จอ LCD.....	31
5.15	Vbat มีค่ามากกว่า 14V จะแสดงผลเป็น Full ที่จอ LCD.....	31



บทที่ 1

บทนำ

ในปัจจุบันเรามีการใช้พลังงานในหลายรูปแบบทั้งพลังงานเชื้อเพลิง ไม่ว่าจะเป็นน้ำมันหรือก๊าซธรรมชาติต่างๆซึ่งเป็นพลังงานที่มีแนวโน้มที่ราคาสูงขึ้นและกำลังจะหมดลงในอนาคต ดังนั้นมนุษย์เราจึงแสวงหาพลังงานทดแทน เช่น พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม พลังงานน้ำ พลังงานความร้อน เป็นต้น ซึ่งเป็นพลังงานที่ได้จากธรรมชาติ ทางคณะผู้จัดทำจึงเห็นถึงประโยชน์ในการนำพลังงานความร้อนมาใช้เพื่อประยุกต์เทคโนโลยีตัว-กรวด โดยจากแหล่งจ่ายแผ่นเพลเทียร์ ซึ่งแปลงเป็นพลังงานไฟฟ้าได้ และกักเก็บไว้ในแบตเตอรี่ เป็นอุปกรณ์ที่ใช้เป็นพลังงานไฟฟ้าไว้ใช้ประโยชน์ โดยใช้เป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้าหลักหรือเป็นจ่ายไฟฟ้าสำรองให้กับสิ่งที่นำไปใช้

1.1 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1.1.1 ทำการออกแบบ และ สร้างระบบอัดประจุแบตเตอรี่ด้วย พลังงานความร้อน

1.1.2 สร้างทางเลือกใหม่ของพลังงานทดแทน ที่อาจนำไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอื่น ๆ ที่มีความต้องการใช้พลังงานสะอาดและมีการสูญเสียพลังงานจากความร้อนและช่วยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

1.1.3 ชดเชยประสิทธิภาพกำลังงานในระบบต่างๆโดยนำความร้อนกลับไปใช้ซ้ำ โดยแปลงเป็นพลังงานไฟฟ้าเพื่อกลับไปอัดประจุแบตเตอรี่

1.2 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.2.1 สร้างองค์ความรู้ด้านพลังงานทดแทนเกี่ยวกับระบบเทอร์โมอิเล็กทริก ซึ่งสามารถนำไปวิจัยและพัฒนาต่อยอดให้ดียิ่งขึ้นได้

1.2.2 ลดการสูญเสียพลังงานโดยเปล่าประโยชน์ของระบบต่างๆ และสามารถใช้งานได้อย่างต่อเนื่องและคุ้มค่ามากยิ่งขึ้น

1.2.3 ลดปริมาณความร้อนที่ปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อม ซึ่งเป็นการช่วยลดภาวะโลกร้อน

1.3 ระบบของโครงการ

ในระบบการทำงานจะประกอบไปด้วยส่วนประกอบ 4 ส่วนหลัก คือ

1) อุปกรณ์แหล่งพลังงาน

1.1) อุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริก

2) วงจรรักษาระดับแรงดันไฟฟ้า

3) วงจรแปลงระดับแรงดันไฟฟ้า

4) วงจรอัดประจุแบตเตอรี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งพลังงาน จะถูกไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุมระบบในการตัดสินใจเลือกแหล่งพลังงานตามกำลังงานที่เหมาะสมในการอัดประจุแบตเตอรี่และใช้แสดงสถานะการทำงานต่างๆ ผ่านหน้าจอ LCD

1.3.1 เทอร์โมอิเล็กทริก (Thermoelectric)

ในส่วนนี้จะใช้อุปกรณ์ที่ชื่อว่าเพลเทียร์ เป็นอุปกรณ์ที่ใช้คุณสมบัติการ “Heat Pump” ซึ่งเมื่อจ่ายไฟเข้าไปในเพลเทียร์ มันจะทำหน้าที่ปั๊มความร้อนจากด้านหนึ่งไปสู่อีกด้านหนึ่งได้อย่างรวดเร็วทำให้จะมีด้านหนึ่งที่เย็น (ด้านที่ถูกปั๊มความร้อนออกไปอีกด้าน) และอีกด้านที่ร้อน (ด้านที่ถูกปั๊มความร้อนออกมา) ในทางกลับกันเราใช้คุณสมบัตินี้ของเพลเทียร์โดยให้ส่วนที่ทำหน้าที่แปลงพลังงานความร้อนที่ได้รับ ให้เป็นกำลังไฟฟ้าที่ใช้ในการอัดประจุแบตเตอรี่

1.3.2 วงจรรักษาระดับแรงดันไฟฟ้า (Regulator)

เป็นส่วนที่ช่วยให้ระดับแรงดันไฟฟ้าที่ระบบได้รับมีความคงที่ โดยจะทำหน้าที่กำจัดแรงดันกระเพื่อมที่ยังหลงเหลืออยู่เล็กน้อยให้หมดไป เพื่อให้เหมาะกับการควบคุมการนำพลังงานไปอัดประจุแบตเตอรี่ต่อไป

1.3.3 วงจรแปลงระดับแรงดันไฟฟ้า (Boost Converter)

เป็นส่วนที่แปลงระดับแรงดันไฟฟ้าให้มีระดับคงที่เพียงพอและเหมาะสมต่อการอัดประจุแบตเตอรี่

1.3.4 วงจรอัดประจุแบตเตอรี่ (Battery charger)

เป็นส่วนที่ทำการอัดประจุแบตเตอรี่โดยส่งผ่านกำลังงานที่มีระดับแรงดันที่เหมาะสมโดยจ่ายเข้าไปโดยใช้ Pulsed charge ซึ่งก็คือการจ่าย PWM จากคอนโทรลเลอร์จากเข้าวงจรอัดประจุ จากส่วนข้างต้นไปยังแบตเตอรี่ที่ต้องการอัดประจุ

บทที่ 2

ต้นกำเนิดพลังงานในโครงการและระบบอัดประจุ

ต้นกำเนิดพลังงานในโครงการนี้เราใช้พลังงาน คือ อุปกรณ์กำเนิดพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานความร้อน ซึ่งในบทนี้จะกล่าวถึงรายละเอียดเบื้องต้นและคุณสมบัติต่างๆของแหล่งพลังงานดังนี้

2.1 อุปกรณ์กำเนิดพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานความร้อน



รูปที่ 2.1 รูปร่างของเพลเทียร์

ในปัจจุบัน เทคโนโลยีเทอร์โมอิเล็กทริกยังคงถูกนำมาใช้ในวงแคบ เช่น เทคโนโลยีในการทำความเย็นบางประเภท เนื่องจากประสิทธิภาพในการทำงานยังไม่สูงนัก หากเราสามารถปรับปรุงประสิทธิภาพของเทอร์โมอิเล็กทริกได้ เทคโนโลยีนี้จะสามารถนำไปใช้ได้ในอนาคตของอุตสาหกรรมรถยนต์ อุตสาหกรรมพลังงานแสงอาทิตย์ การเปลี่ยนเอาพลังงานความร้อนซึ่งสูญเสียไปจากอุตสาหกรรมนิวเคลียร์ที่ก่อให้เกิดอันตรายจากโรงงานอุตสาหกรรมและอุปกรณ์ต่างๆในโรงงาน

เทอร์โมอิเล็กทริกหรือเรียกกันอีกชื่อ หนึ่งว่าเพลเทียร์ (Peltier) เป็นอุปกรณ์ทางเลือกหนึ่งสำหรับทำความเย็น หลักการทำงานของเพลเทียร์ คือ เมื่อป้อนไฟฟ้ากระแสตรงให้กับเพลเทียร์ที่สารกึ่งตัวนำแบบ พี-เอ็น (P-N type) กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านวัสดุที่ทำจากสารกึ่งตัวนำต่างชนิดกัน ทำให้เกิดการดูดกลืนของอิเล็กตรอนที่เคลื่อนที่จากพลังงานระดับต่ำในสาร กึ่งตัวนำแบบพีสู่พลังงานระดับสูงในสารกึ่งตัวนำแบบเอ็น ส่งผลให้เกิดการดูดกลืนความร้อนที่ด้านเย็น (Heat absorbed at cold side) และในขณะเดียวกันก็เกิดการดูดกลืนของอิเล็กตรอนที่เคลื่อนที่จากพลังงาน ระดับสูงในสารกึ่งตัวนำแบบเอ็น สู่พลังงานระดับต่ำในสารกึ่งตัวนำแบบพี ส่งผลให้เกิดการคายความร้อนที่ด้านร้อนขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.1 ความรู้เกี่ยวกับคุณสมบัติทางไฟฟ้าของเทอร์โมอิเล็กทริก (เพลเทียร์)

ประวัติความเป็นมาของการค้นพบปฏิกิริยา Peltier ปรากฏการณ์ที่เรียกว่า เพลเทียร์ เอฟเฟกต์(Peltiereffect) ได้ถูกค้นพบมากกว่า 176 ปีแล้ว โดยนักวิทยาศาสตร์ชาวฝรั่งเศส 2 คนที่ชื่อ เพรนซ์ วัตซ์เมคเกอร์ (French Watchmaker) และยีน ชาร์เลส เอธานาส ซี เพลเทียร์ (Jean Char Athanase Peltier) เมื่อปี ค.ศ. 1834 พบว่า เมื่อจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงให้กับสารกึ่งตัวนำ สารกึ่งตัวนำสองด้านจะกลายเป็นผิวร้อน (hot surface) และผิวเย็น (cold surface) ขึ้นกับทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้า ปรากฏการณ์นี้เรียกว่า ปรากฏการณ์เพลเทียร์(Peltiereffect) ในทางกลับกัน ถ้าถ่ายเทความร้อนให้กับผิวด้านหนึ่งจะเกิดแรงดันไฟฟ้าที่เรียกว่า ซีเบ็คโวลต์เตจ (Seebeck Voltage) สารกึ่งตัวนำดังกล่าวเรียกว่า P-n junction โดยที่การผลิต กระแสไฟฟ้าจะต่อแบบอนุกรม การทำความเย็นจะต่อแบบขนานเป็นแบบแซนวิช ระหว่างแผ่นฉนวนเซรามิกมีอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่อาศัยหลักการของปรากฏการณ์เพลเทียร์ซึ่งจัดเป็นปั๊มความร้อน (Heat Pump) เรียกว่าเทอร์โมอิเล็กทริก เพลเทียร์มีชีวิตอยู่ในช่วงปี ค.ศ.1785-1845 ความสำเร็จจากการค้นพบปรากฏการณ์เพลเทียร์เอการทดลองของโรมัส โจแอน ซีเบ็ค (Thomas Johann Seebeck) ซึ่งเขาได้แสดงผลการทดลองค้นคว้าของเขาที่เรียกว่า ซีเบ็ค เอฟเฟกต์ (Seebeck Effect)

หลักการของซีเบ็ค เป็นหลักการทางไฟฟ้า โดยซีเบ็ค นำเอาสายไฟ 3 ชั้น ที่ทำมาจากโลหะที่ต่างกัน 2 ชนิด มาต่อเป็นวงจรโดยการทดลองเป็นไปตามรูปที่ 1 เมื่อนำเอาลวดต่างชนิด (ชนิด B) มาต่อเข้าระหว่างลวดชนิดเดียวกัน(ชนิด A) ทำให้เกิดจังก์ชันระหว่างลวดทั้งคู่ จังก์ชันที่ว่านี้คือจังก์ชัน A และจังก์ชัน B เมื่อเริ่มให้ความร้อนกับจังก์ชันด้านหนึ่ง และพบว่ามีการไหลของกระแสไฟฟ้า เล็ก ๆ ไหลได้เมื่อต่อครบวงจร ซึ่งในที่นี้ใช้การแสดงผลของมิเตอร์วัดกระแสเป็นค่าหน่วยไมโครแอมป์ต่อเป็น โหลดในวงจร

2.1.2 โครงสร้างและหลักการทำงานของเทอร์โมอิเล็กทริก (เพลเทียร์)

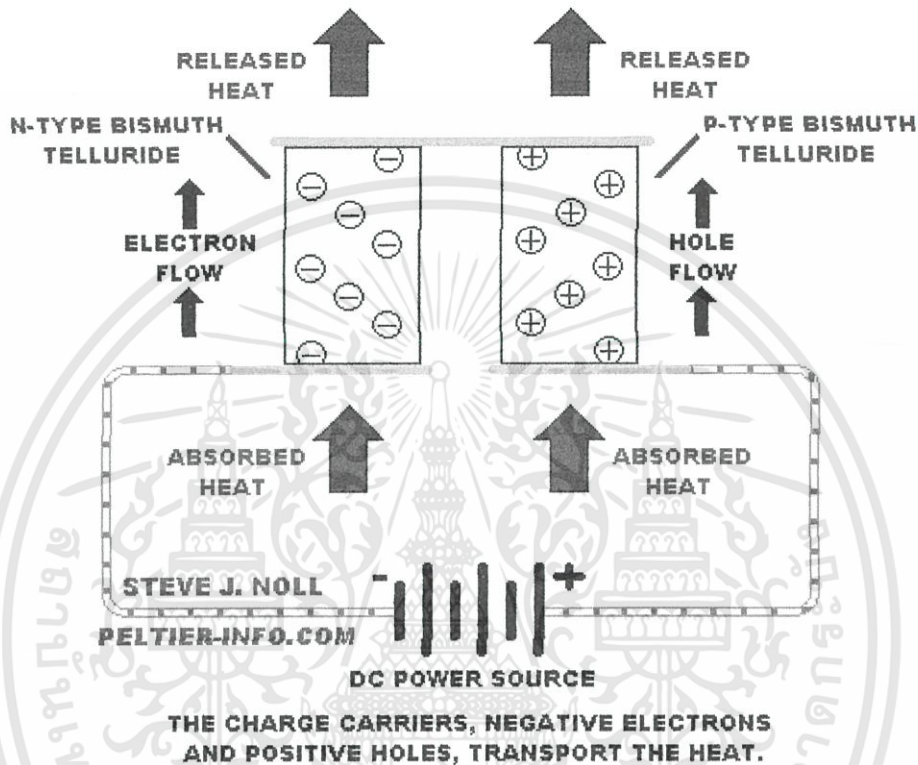
โครงสร้างเบื้องต้นของอุปกรณ์เพลเทียร์ ประกอบด้วยสารชนิดเอ็น (N-type)และ(P-type) ของบิสมัท เทลลูไรด์ (สร้างมาจากสารผสมบิสมัท (Bi) กับเทลลูเรียม (Te) วางลงบนฐานรองเซรามิก) ที่สร้างเป็นรูปลูกเต๋าเล็ก ๆ จำนวนมาก แล้วนำเอาแผ่นเซรามิกมาประกบไว้ทั้งสองด้าน ในขณะที่สารพีและเอ็นซึ่งทำเป็นเนื้ออัลลอยส์ระหว่างบิสมัท(Bismuth) และเทลลูเรียม (Tellurium) ทั้งสองมีความต่างในความหนาแน่นของอิเล็กตรอนอิสระที่อุณหภูมิต่ำกับลูกเต๋าด้านพี เป็นโลหะที่มีอิเล็กตรอนไม่พอเพียง (Deficiency of electrons) ในขณะที่ลูกเต๋าด้านเอ็น เป็นโลหะที่มีอิเล็กตรอนหนาแน่นมากจนเหลือเฟือ (Excess of electrons)

เมื่อกระแสไหลผ่านตัวโมดูล มันจะพยายามสร้างคุณภาพ (Attempts to establish) ขึ้นในมวลภายในกระแสที่กระทำกับสารชนิดพี ทำให้จังก์ชันเกิดความร้อนขึ้น ต้องการทำให้เกิดความ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เย็น และสารชนิดอื่นเกิดความร้อนขึ้น ต้องการทำให้เกิดความร้อน ทั้งนี้เพื่อบำรุงสภาพตัวเองไว้ให้ได้ เมื่ออุปกรณ์นี้ทำงานในระดับอุณหภูมิเดียวกัน ทำให้ด้านที่เกิดความร้อนเพิ่มขึ้น และด้านที่เกิดความเย็น มีความเย็นมากขึ้น

ONE Peltier Device "Couple" Consists of One N-Type and One P-Type Semiconductor Pellet



รูปที่ 2.2 กลไกการแปลงความร้อนเป็นไฟฟ้าของเพลเทียร์

2.2 แบตเตอรี่และวงจรอัดประจุ

จากมุมมองของผู้ใช้แบตเตอรี่แบ่งออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ ดังนี้; แบตเตอรี่ชนิดประจุไฟฟ้าใหม่ได้ และ แบตเตอรี่ชนิดประจุไฟฟ้าใหม่ไม่ได้ (ใช้แล้วทิ้ง) ซึ่งนิยมใช้อย่างแพร่หลายทั้งสองชนิด

แบตเตอรี่ใช้แล้วทิ้งเรียกอีกอย่างว่า เซลล์ปฐมภูมิ ใช้ได้ครั้งเดียว เนื่องจากไฟฟ้าที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของสารเคมีเมื่อสารเคมีเปลี่ยนแปลงหมดไฟฟ้าก็จะหมดจากแบตเตอรี่ แบตเตอรี่เหล่านี้เหมาะสำหรับใช้ในอุปกรณ์ขนาดเล็กและสามารถเคลื่อนย้ายได้สะดวก ใช้ไฟน้อยหรือในที่ที่ห่างไกลจากพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับ

ในทางตรงกันข้ามแบตเตอรี่ชนิดประจุไฟฟ้าใหม่ได้หรือ เซลล์ทุติยภูมิ สามารถประจุไฟฟ้าใหม่ได้หลังจากไฟหมดเนื่องจากสารเคมีที่ใช้ทำแบตเตอรี่ชนิดนี้สามารถทำให้กลับไปอยู่ในสภาพเดิมได้โดยการประจุไฟฟ้าเข้าไปใหม่ซึ่งอุปกรณ์ที่ใช้อัดไฟนี้เรียกว่า ชาร์เจอร์ หรือ รีชาร์เจอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบตเตอรี่ชนิดประจุไฟฟ้าใหม่ได้ที่เก่าแก่ที่สุดซึ่งใช้อยู่จนกระทั่งปัจจุบันคือ "เซลล์เปียก" หรือ แบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด (lead-acid battery) แบตเตอรี่ชนิดนี้จะบรรจุในภาชนะที่ไม่ได้ปิดผนึก (unsealed container) ซึ่งแบตเตอรี่จะต้องอยู่ในตำแหน่งตั้งตลอดเวลาและต้องเป็นพื้นที่ที่ระบายอากาศได้เป็นอย่างดี เพื่อระบายก๊าซ ไฮโดรเจน ที่เกิดจากปฏิกิริยาและแบตเตอรี่ชนิดจะมีน้ำหนักมาก

รูปแบบสามัญของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด คือแบตเตอรี่ รถยนต์ ซึ่งสามารถจะให้พลังงานไฟฟ้าได้ถึงประมาณ 10,000 วัตต์ในช่วงเวลาสั้นๆ และมีกระแสตั้งแต่ 450 ถึง 1100 แอมแปร์ สารละลายอิเล็กโทรไลต์ของแบตเตอรี่คือ กรดซัลฟิวริก ซึ่งสามารถเป็นอันตรายต่อผิวหนังและตาได้ แบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดที่มีราคาแพงมากเรียกว่า แบตเตอรี่เจล (หรือ "เจลเซลล์") ภายในจะบรรจุอิเล็กโทรไลต์ประเภทเซมิ-โซลิด (semi-solid electrolyte) ที่ป้องกันการหกได้ดี และ แบตเตอรี่ชนิดอัดไฟใหม่ได้ที่เคลื่อนย้ายได้สะดวกกว่าคือประเภท "เซลล์แห้ง" ที่นิยมใช้กันใน โทรศัพท์มือถือและคอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊ก เซลล์ของแบตเตอรี่ชนิดนี้คือ

- นิกเกิล-แคดเมียม (Ni-Cd)
- นิกเกิลเมทัลไฮไดรด์ (Ni-MH)
- ลิเทียม-ไอออน (Li-Ion)

แบตเตอรี่ที่เลือกใช้ในโครงการคือ แบตเตอรี่แบบตะกั่ว-กรด (Lead-acid battery)

- ข้อดี
 1. ไม่มี memory effect
 2. ราคาถูก
 3. ปลอดภัย ได้มาตรฐาน
- ข้อเสีย
 1. มีน้ำหนักมากเมื่อเทียบกับปริมาณไฟฟ้าที่จ่ายออกมา

2.2.1 หลักการอัดประจุของแบตเตอรี่

แบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด ประกอบด้วยเซลล์หรือหมู่ของเซลล์ต่อเข้าด้วยกัน ในหมู่ของเซลล์ ประกอบขึ้นด้วยกลุ่มของแผ่นธาตุทั้งแผ่นบวกและแผ่นลบ ซึ่งแผ่นธาตุทั้งบวกและลบทำจากโลหะต่างชนิดกันด้วยฉนวน เรียกว่า "แผ่นกั้น" โดยนำมาจุ่มไว้ใน "ELECTROLYTE" หรือที่เรียกว่า "น้ำกรดผสม" (Sulfuric Acid) น้ำกรดผสมจะทำปฏิกิริยากับแผ่นธาตุในเชิงเคมีเพื่อเปลี่ยนพลังงานเคมีเป็นพลังงานไฟฟ้า และแต่ละเซลล์สามารถจ่ายประจุไฟฟ้าได้ประมาณ 2 โวลต์ เซลล์ของแบตเตอรี่ส่วนมากจะถูกนำมาต่อเข้ากับ "แบบอนุกรม" (Series) ซึ่งจะเพิ่มโวลต์หรือแรงดันขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เรื่อยๆ เช่น แบตเตอรี่ 12 โวลต์ จะต้องใช้จำนวนเซลล์ 6 เซลล์มาต่อกัน แบบอนุกรม, แบตเตอรี่ 24 โวลต์ ใช้ 12 เซลล์เป็นต้น

การเกิดพลังงานไฟฟ้าแผ่นธาตุสองชนิด “แผ่นบวก” คือ LEAD DIOXIDE และ “แผ่นลบ” คือ SPONGE LEAD ถูกนำมาจุ่มลงในกรดผสม “แรงดัน” (Volt) ก็จะเกิดขึ้นที่ขั้วทั้งสอง เมื่อระบบ แบตเตอรี่ครบวงจร กระแสก็จะไหลทันทีเพื่อเปลี่ยนพลังงานเคมีออกมาเป็นพลังงานไฟฟ้า ในกรณีนี้ เรียกว่า “การคายประจุไฟ” (Discharge) ซึ่งตัวกรดในน้ำกรดผสมจะวิ่งเข้าทำปฏิกิริยาต่อแผ่นธาตุ ทั้งทางบวกและลบโดยจะค่อยๆ เปลี่ยนสภาพของแผ่นธาตุทั้งสองชนิดให้กลายเป็น ตะกั่วซัลเฟต (Lead Sulfate) เมื่อแผ่นธาตุทั้งบวกและลบเปลี่ยนสภาพไปเป็น โลหะชนิดเดียวกัน คือ “ตะกั่วซัลเฟต” แบตเตอรี่ก็จะไม่มีสภาพของความแตกต่างทางแรงดันกระแส ก็จะทำให้กระแสหยุดไหล หรือไฟหมด

TRACTION BATTERIES

ส่วนประกอบ (Construction)

1. แผ่นธาตุบวก (Positive Plate) เป็น โลหะผสมของตะกั่ว ละเลงด้วยเพสต์ของผงตะกั่วผสม กับสารละลายกรดซัลฟูริก (Sulfuric Acid) มี 2 ชนิด “แบบหลอด” (Tubular Type) และ “แบบเรียบ” (Pasted Type)
2. แผ่นธาตุลบ (Negative Plate) เป็น โลหะผสมของตะกั่วเช่นเดียวกัน แต่เติมสารเร่งปฏิกิริยามีเฉพาะ “แบบเรียบ” (Pasted Type)
3. แผ่นกั้น (Separator) มีหลายชนิด เช่น แผ่นกั้นยางไมโครโพรรัส (Microporous Rubber), พลาสติก (Plastic), กระดาษใยแก้ว
4. เปลือกและฝา (Container & Cover) ทำจากพลาสติก Transparent Plastic ซึ่งมีความยืดหยุ่นทนต่อแรงกระแทก ทนต่อการกัดกร่อนของกรดการประจุไฟ (Charging)

การประจุไฟครั้งแรก แบตเตอรี่ที่นำมาใช้งานเมื่ออยู่ในสภาพยังไม่ได้เติมน้ำกรดผสม และไม่ได้รับการประจุไฟ หรือบางครั้งอาจเติมน้ำกรดผสมและประจุไฟมาแล้ว ควรนำมาเติมน้ำกรดผสม และทำการประจุไฟครั้งแรก หรือเพียงแต่ประจุไฟเพิ่มเติม แล้วแต่สภาพของแบตเตอรี่

1. การเติมน้ำกรดผสม (Electrolyte) ให้เติมน้ำกรดผสมเจือจางที่มีความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity) ตามที่กำหนด (1.280 + 0.010) ลงไปในเซลล์จนระดับน้ำกรดผสมอยู่เหนือแผ่นธาตุ โดยพยายามไม่ให้น้ำกรดล้นออกจากเซลล์ โดยที่อุณหภูมิของน้ำกรดผสมก่อนเติมจะต้องต่ำกว่า 35 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การต่อแบตเตอรี่เข้ากับเครื่องประจุไฟ ต้องใช้กระแสไฟตรง (Direct Current) เท่านั้นในการประจุไฟ โดยต่อขั้วบวกของแบตเตอรี่เข้ากับขั้วบวกของเครื่องประจุไฟ ขั้วลบของแบตเตอรี่เข้ากับขั้วลบของเครื่องประจุไฟ ตรวจสอบให้แน่ใจเสมอว่า ต่อขั้วแบตเตอรี่ถูกต้อง แน่น เรียบร้อยดี

3. เริ่มประจุไฟภายหลังเติมน้ำกรดผสมไปแล้ว 3-10 ชั่วโมง โดยอุณหภูมิของน้ำกรดผสมต้องต่ำกว่า 40 °C หากพบว่าระดับน้ำกรดผสม (Electrolyte) ต่ำลงให้เติมลงไปจนถึงระดับสูงสุด (Maximum Level)

4. ทำการประจุไฟติดต่อกันไปตลอดด้วยกระแสไฟ และระยะเวลาตามที่กำหนดใน Spec

5. ขณะประจุไฟ ถ้าอุณหภูมิของ ELECTROLYTE สูงเกิน 50 °C ให้ลดกระแสไฟลงหรือหยุดประจุไฟ ปล่อยให้อุณหภูมิของ ELECTROLYTE สูงถึง 60 °C

6. การวัดและจดบันทึกข้อมูลขณะทำการประจุไฟครั้งแรก ควรมีการวัดและจดบันทึกค่าของกระแสไฟ (Ampere) แรงดันไฟฟ้า (Voltage) ความถ่วงจำเพาะ (SP.gr.) และอุณหภูมิ (Temperature)

7. เมื่อสิ้นสุดการประจุไฟ จะได้ค่าความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity) ของน้ำยา (Electrolyte) ประมาณ 1.280 ปล่องแบตเตอรี่ไว้เฉยๆ ประมาณ 1 ชั่วโมง ปรับระดับของ ELECTROLYTE ให้ถึงระดับสูงสุด ปิดจุกหมุนเกลียวช่องเติมกรดให้แน่น

2.2.2 การบำรุงรักษา (Traction Battery Maintenance)

1. การจ่ายกระแสไฟฟ้า (Discharge)

1.1 หลีกเลี่ยงการจ่ายกระแสไฟฟ้าเกินความสามารถของแบตเตอรี่ (Over Discharge) โดยการใช้งานหนักเกินความจำเป็น (Over Load) เนื่องจากจะทำให้อายุของแบตเตอรี่สั้นลง เพราะฉะนั้น ควรให้แบตเตอรี่จ่ายกระแสไฟฟ้า ประมาณ 70-80% ของ Capacity เช่น แบตเตอรี่ 24 โวลต์ ควรมี Cut-Off Discharge Voltage ประมาณ 20.4 โวลต์ 1.2 สภาพการใช้และความจุของแบตเตอรี่ ความสามารถในการจ่ายกระแสไฟฟ้า ขึ้นอยู่กับสภาพของ แบตเตอรี่ เช่น แบตเตอรี่ที่แห้งและสะอาด จะมีความสามารถในการจ่ายกระแสไฟฟ้าได้ดี ใช้รถยนต์หรือบรรทุกสิ่งของด้วยความเหมาะสมกับความสามารถ ซึ่งควรมีความระมัดระวังเป็นอย่างยิ่ง

1.2 การจ่ายกระแสไฟฟ้า ความจุของแบตเตอรี่ ลดลงเมื่อจ่ายกระแสเพิ่มขึ้น

1.3 อุณหภูมิ ความจุของแบตเตอรี่จะลดลงเมื่อใช้งานในสถานที่ที่มีอุณหภูมิต่ำๆ การใช้งานมานาน ความจุของแบตเตอรี่จะลดลงเมื่อมีอายุมากขึ้น การใช้งานบ่อยครั้ง หรือเป็น นานขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การประจุไฟ (Normal Charge)

2.1 แบตเตอรี่เมื่อผ่านการใช้งานเสร็จสิ้นในแต่ละวัน ต้องได้รับการประจุไฟแต่ควรระวังไม่ให้ อุณหภูมิของ ELECTROLYTE สูงเกิน 50 °C ควรลดกระแสในการประจุไฟเพื่อป้องกันไม่ให้อุณหภูมิของ ELECTROLYTE สูงขึ้น

2.2 ตรวจสอบให้แน่ใจว่าในการต่อ Plug เพื่อการประจุไฟ ต้องแน่นกระชับ ขั้วถูกต้อง Charger อยู่ในตำแหน่ง off เมื่อ On Charger แล้ว ห้ามถอดหรือขยับ Plug เพราะอาจทำให้เกิดประกายไฟซึ่งจะเป็นอันตรายต่อสะพานไฟ ข้อต่อต่างๆ หากมีความจำเป็น ควร cut Off Power Source

2.3 วิธีการประจุไฟ เช่น Tapper Charging, Constant Current or Voltage Charging, Constant Current-Step Type charging เมื่อการประจุไฟต่อเนื่องจนกระทั่ง Volt per Cell สูงถึง 24 โวลต์ จะเกิดแก๊ส Hydrogen กระแสไฟ (Charge Current) จะลดลงจนกระทั่งสิ้นสุดการ Charge

อย่างไรก็ตาม ปัจจุบันได้มีการออกแบบให้การประจุไฟเป็นไปอย่างสมบูรณ์เหมาะสมกับขนาด Voltage และ Capacity ของ แบตเตอรี่โดย Automatic Charger

3. การประจุไฟแบบกระตุ้น (Equalizing Charge)

แบตเตอรี่ที่ใช้งานในแต่ละวัน ได้รับการ Normal Charge แล้ว ควรมีการ Equalizing Charge อย่างน้อยเดือนละ 1 ครั้ง ถ้ามีการใช้มากกว่า 1 ครั้งควรทำทุก 6 วัน หรือเมื่อมีการเติมน้ำกลั่น โดย

3.1 Automatic Charger

3.2 Manual Charger ประมาณ 2-3 ชั่วโมง ต่อจากการประจุไฟฟ้าปกติ 8-10 ชั่วโมง

4. ตรวจสอบระดับ ELECTROLYTE

4.1 รักษาระดับ Electrolyte ให้อยู่ในระดับ Maximum Level เนื่องจากการประจุไฟและความร้อน จะให้เกิดน้ำกลั่นเกิดการระเหย ระดับ Electrolyte จึงลดลง

4.2 เมื่อลูกกลอยที่ฝาจากเติมน้ำกลั่น แสดงว่า Minimum Level ควรเติมน้ำกลั่นอย่างระมัดระวังไม่ให้ล้น

4.3 เมื่อเติมน้ำกลั่นแล้ว ต้องปิดฝาจากให้แน่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 ควรบันทึกการเติมน้ำกลั่นทุกครั้ง พร้อมตรวจสอบการทำงานของ Charger และสภาพ โดยทั่วไปของแบตเตอรี่

2.3 ไมโครคอนโทรลเลอร์

ไมโครคอนโทรลเลอร์ (อังกฤษ: microcontroller มักย่อว่า μC , uC หรือ MCU) คือ อุปกรณ์ควบคุมขนาดเล็ก ซึ่งบรรจุความสามารถที่คล้ายคลึงกับระบบคอมพิวเตอร์ โดยในไมโครคอนโทรลเลอร์ได้รวมเอาซีพียู, หน่วยความจำ และพอร์ต ซึ่งเป็นส่วนประกอบหลักสำคัญของระบบคอมพิวเตอร์เข้าไว้ด้วยกัน โดยทำการบรรจุเข้าไว้ในตัวถังเดียวกัน

โครงสร้างทั่วไป โครงสร้างโดยทั่วไป ของไมโครคอนโทรลเลอร์นั้น สามารถแบ่งออกมาได้เป็น 5 ส่วนใหญ่ๆ ดังต่อไปนี้

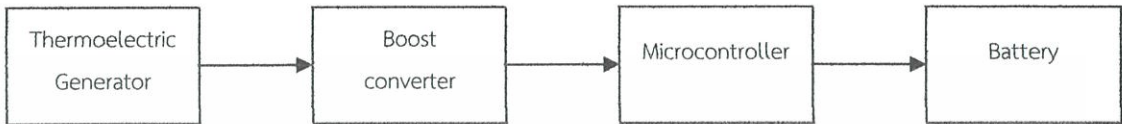
1. หน่วยประมวลผลกลางหรือซีพียู (CPU : Central Processing Unit)
2. หน่วยความจำ (Memory) สามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ หน่วยความจำที่มีไว้สำหรับเก็บโปรแกรมหลัก (Program Memory) เปรียบเสมือนฮาร์ดดิสก์ของ เครื่องคอมพิวเตอร์ตั้งโต๊ะ คือข้อมูลใดๆ ที่ถูกเก็บไว้ในนี้จะไม่สูญหายไปแม้ไม่มีไฟเลี้ยง อีกส่วนหนึ่งคือหน่วยความจำข้อมูล (Data Memory) ใช้เป็นเหมือนกระดาษทดในการคำนวณของซีพียู และเป็นที่พักข้อมูลชั่วคราวขณะทำงาน แต่หากไม่มีไฟเลี้ยง ข้อมูลก็จะหายไปคล้ายกับหน่วยความจำแรม (RAM) ในเครื่องคอมพิวเตอร์ทั่วไป แต่สำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์สมัยใหม่ หน่วยความจำข้อมูลจะมีทั้งที่เป็นหน่วยความจำแรม ซึ่งข้อมูลจะหายไปเมื่อไม่มีไฟเลี้ยง และเป็นอีอีพรอม (EEPROM : Erasable Electrically Read-Only Memory) ซึ่งสามารถเก็บข้อมูลได้แม้ไม่มีไฟเลี้ยง
3. ส่วนติดต่อกับอุปกรณ์ภายนอก หรือพอร์ต (Port) มี 2 ลักษณะคือ พอร์ตอินพุต (Input Port) และพอร์ตส่งสัญญาณหรือพอร์ตเอาต์พุต (Output Port) ส่วนนี้จะใช้ในการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ภายนอก ถือว่าเป็นส่วนที่สำคัญมาก ใช้ร่วมกันระหว่างพอร์ตอินพุต เพื่อรับสัญญาณ อาจจะใช้การกดสวิตช์ เพื่อนำไปประมวลผลและส่งไปพอร์ตเอาต์พุต เพื่อแสดงผลเช่น การติดสว่างของหลอดไฟ เป็นต้น
4. ช่องทางเดินของสัญญาณ หรือบัส (BUS) คือเส้นทางการแลกเปลี่ยนสัญญาณข้อมูลระหว่าง ซีพียู หน่วยความจำและพอร์ต เป็นลักษณะของสายสัญญาณ จำนวนมากอยู่ภายในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยแบ่งเป็นบัสข้อมูล (Data Bus) , บัสแอดเดรส (Address Bus) และบัสควบคุม (Control Bus)
5. วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกา นับเป็นส่วนประกอบที่สำคัญมากอีกส่วนหนึ่ง เนื่องจากการทำงานที่เกิดขึ้นในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ จะขึ้นอยู่กับกำหนัดจังหวะ หากสัญญาณนาฬิกามีความถี่สูง จังหวะการทำงานก็จะสามารถทำได้ถี่ขึ้นส่งผลให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตัวนั้น มีความเร็วในการประมวลผลสูงตามไปด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

โครงสร้างระบบในโครงการ

3.1 โครงสร้างรวมของโครงการ



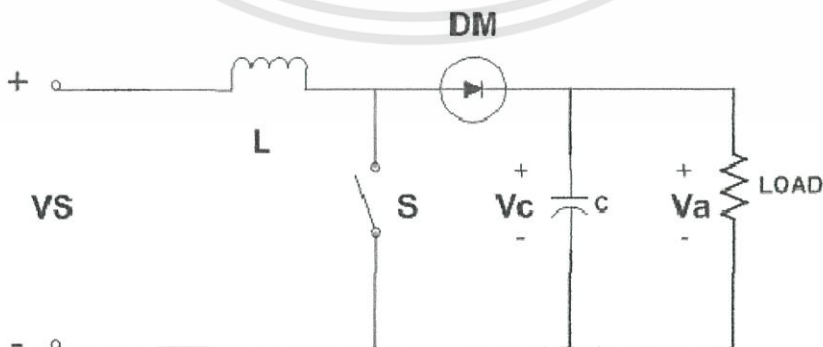
รูปที่ 3.1 โครงสร้างของระบบ

โดยหลักการทำงานคือ ระบบจะรับพลังงานจากแหล่งจ่าย Thermolectric Generator จากนั้นจะใช้วงจร Boost converter เพื่อยกระดับของแรงดันให้มีค่าสูงขึ้นและคงที่ จากนั้นจะมีไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นตัวตัดสินใจว่าแหล่งจ่ายไหนมีประสิทธิภาพสูงสุด และแสดงผลทางจอLCD แล้วจึงนำไปใช้ชาร์ตแบตเตอรี่ต่อไป

3.2 วงจรรักษาระดับแรงดันแบบ step up

3.2.1 วงจรบูสคอนเวอร์เตอร์ (Boost Converter)

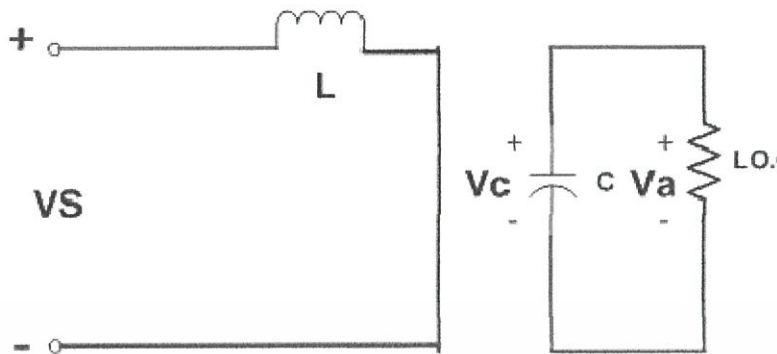
วงจรบูสคอนเวอร์เตอร์ (Boost Converter) เป็นวงจรที่ใช้สำหรับการแปลงแรงดันไฟฟ้าทางด้านเอาต์พุต (Output) ให้มีค่ามากกว่าแรงดันทางด้านอินพุต (Input) ที่ป้อนเข้ามาในวงจรหรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า วงจรทบระดับ (Step-up Converter) วงจรบูสคอนเวอร์เตอร์ จะใช้ มอสเฟตกำลัง (MOSFET) หรือไอจีบีที (IGBT) ดังรูปที่ 3.2 ทำหน้าที่แทนสวิตช์ โดยจังหวะหรือความถี่จะถูกควบคุมจากวงจรอื่นอีกทีหนึ่ง



รูปที่ 3.2 เราสามารถพิจารณาการทำงานของบูสคอนเวอร์เตอร์ในแต่ละโหมด (Mode) การทำงานตามการปิด-เปิด ของสวิตช์ได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

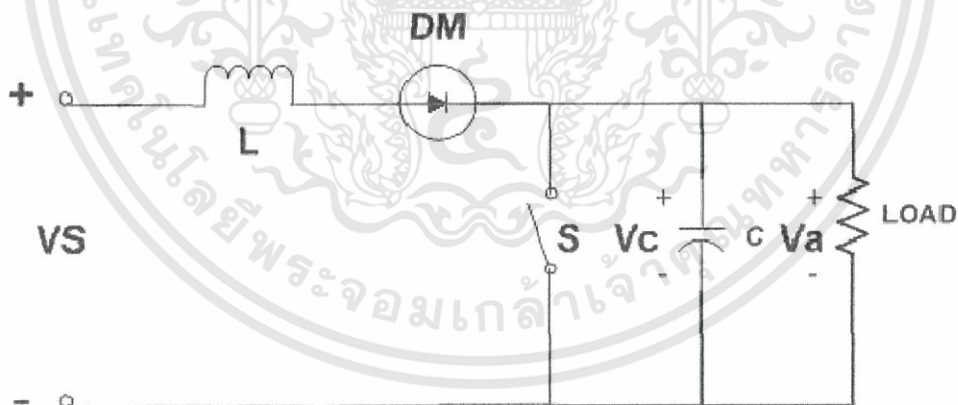
โหมด 1 เมื่อสวิตช์ปิด (Mode 1 Switch On)



รูปที่ 3.3 แสดงวงจรสมมูลของวงจรบัสคอนเวอร์เตอร์ (Boost Converter) ขณะสวิตช์ปิด(Switch On)

การทำงานในโหมด (Mode) นี้ของวงจรบัสคอนเวอร์เตอร์ (Boost Converter) จะเห็นได้ว่าเมื่อสวิตช์ปิด (Switch On) พลังงานไฟฟ้าจากแหล่งจ่าย (V_s) จะจ่ายให้ไปสะสม อยู่ในตัวเหนี่ยวนำไฟฟ้า (L) ในระยะเวลาหนึ่งในช่วงเวลาที่สวิตช์ปิด (Switch On) อยู่โดยแรงดันไฟฟ้าที่ตัวเหนี่ยวนำจะมีค่าเท่ากับแรงดันไฟฟ้าที่แหล่งจ่าย (V_s) ตามกฎแรงดันของเคอร์ชอฟ

โหมด 2 สวิตช์เปิด (Mode 2 Switch Off)



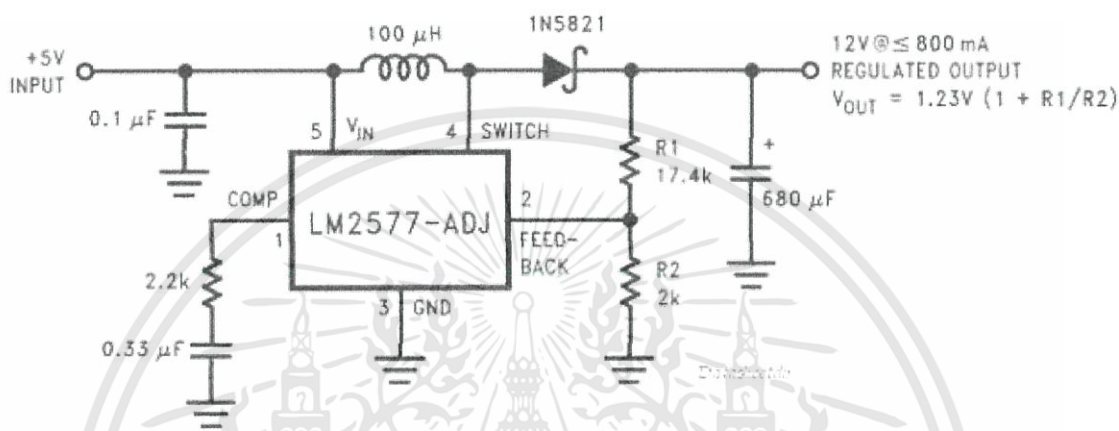
รูปที่ 3.4 แสดงวงจรสมมูลของวงจรบัสคอนเวอร์เตอร์ (Boost Converter) ขณะสวิตช์เปิด (Switch Off)

การทำงานในโหมด (Mode) นี้พลังงานไฟฟ้าจากแหล่งจ่าย (V_s) และพลังงานไฟฟ้าที่สะสมอยู่ในตัวเหนี่ยวนำจะถูกส่งมาให้ยังโหลด โดยพลังงานไฟฟ้าที่ได้ รับจากตัวเหนี่ยวนำเกิดจากการคายพลังงานไฟฟ้าของตัวเหนี่ยวนำ หลังจากที่ได้สะสมพลังงานไว้ในช่วงเวลาที่ทำงานในโหมดสวิตช์เปิด (Mode Switch On) และจากการที่โหลดได้รับพลังงานไฟฟ้าที่แหล่งจ่ายและการคายพลังงานของตัว

เหนี่ยวนำนี้เอง ส่งผลต่อแรงดันไฟฟ้าทางด้านเอาต์พุต (Output) มีค่าสูงกว่าแรงดันไฟฟ้าทางด้านอินพุต (Input)

จากการทำงานของวงจรทั้ง 2 โหมดนี้ ทำให้เห็นได้ชัดว่า วงจรบูสคอนเวอร์เตอร์ (Boost Converter) จะมีการจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับโหลดอยู่ตลอดเวลา ถึงแม้ว่าจะมี บางส่วนที่สวิตซ์ไม่ได้ทำงานก็ตาม

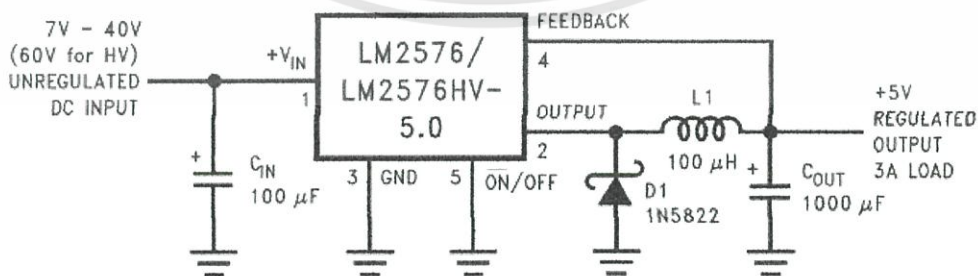
3.2.2 วงจรรักษาระดับแรงดันแบบ step up สำหรับเพลเทียร์



รูปที่ 3.5 วงจรรักษาระดับแรงดันแบบ step up สำหรับ เพลเทียร์

ใช้วงจรของ LM 2577 ที่สามารถรับค่าอินพุตได้เป็นช่วงเพราะเนื่องจากอินพุตที่ได้จากเพลเทียร์นั้นค่าเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา ทำให้ต้องเลือกอุปกรณ์ที่สามารถรับค่าได้เป็นช่วง และเราสามารถปรับค่าเอาต์พุตตามต้องการได้ โดยในโครงการชิ้นเราได้ตั้งค่าเอาต์พุตให้มีค่าคงที่ที่ 18V เพราะเป็นค่าที่สอดคล้องกับวงจร PWM Charger

3.2.3 วงจรรักษาระดับแรงดันแบบ Switching Voltage Regulator สำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์



รูปที่ 3.6 วงจรรักษาระดับแรงดันแบบ step up สำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากในการใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์นั้นเราจำเป็นที่จะต้องจ่ายไฟเลี้ยงเข้าไป และเพื่อให้ระบบสามารถอยู่ได้โดยไม่ต้องพึ่งพลังงานจากภายนอก เราจึงต้องสร้างไฟเลี้ยงสำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์ด้วย โดยใช้แหล่งจ่ายเป็นเพลทีเยอร์ จากนั้นนำมาผ่านวงจร LM2576-5 เพื่อให้ได้แรงดันคงที่ที่ 5V นั้นเอง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller)

4.1 ส่วนประกอบของไมโครคอนโทรลเลอร์ (PIC 16F877A)

ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC ของบริษัทไมโครชิพ (Microchip) โดยเฉพาะเบอร์ PIC 16F877A เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ที่กำลังได้รับความนิยมอย่างแพร่หลาย เนื่องจากเป็นไมโครคอนโทรลเลอร์แบบแรกๆที่มีการประมวลผลแบบ RISC Processor (RISC : Reduced Instruction Set Computer) โดยใช้คำสั่งการประมวลผลเพียง 33-35 คำสั่งและใช้เวลาในการประมวลผลคำสั่งเพียง 1 หรือ 2 machine cycle ต่อคำสั่งเท่านั้น การประมวลผลคำสั่งเป็นลักษณะ Pipe Line คือขณะประมวลผลคำสั่งแรก จะทำการโหลดคำสั่งถัดไปมาเตรียมรอไว้ ทำให้การทำงานรวดเร็วมาก นอกจากนั้นในตัวโครงสร้างยังประกอบด้วย ฮาร์ดแวร์ฟังก์ชันโมดูลสำหรับใช้งานพิเศษต่างๆมากมาย ได้แก่ โมดูล Analog to Digital Converter, USART, Time/Counter, SPI, Compare/Capture/PWM, I²C เป็นต้น โมดูลเหล่านี้ล้วนเพิ่มขีดความสามารถให้นำไปใช้งานได้ อย่างหลากหลาย ประกอบกับมีเครื่องมือในการพัฒนาที่เพียบพร้อมคุณสมบัติของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F877A ดังนี้

- มีคำสั่งในภาษา Assembly 35 คำสั่ง
- ใช้ความถี่ออสซิลเลเตอร์ได้สูงสุด 20 MHz
- มีหน่วยความจำโปรแกรม Flash Memory ขนาด 8 K word (14 - bit words)
- มีหน่วยความจำข้อมูลแบบ RAM 368 Bytes
- มีหน่วยความจำข้อมูลแบบ EEPROM 256 Bytes
- มีการตอบสนองอินเทอร์รัพท์ทั้งหมด 14 แหล่ง
- สามารถเลือกระดับการป้องกันข้อมูล (Code Protection) ได้
- มีโหมดประหยัดพลังงาน (Sleep Mode)
- สามารถเลือกแหล่งสัญญาณนาฬิกาได้หลายโหมด XT RC และออสซิลเลเตอร์พลังงานต่ำ
- มีฟังก์ชันการรักษาเสถียรภาพการทำงาน ได้แก่ POR, PWRT, OST, BOR และ WDT
- การโปรแกรมตัวชิพ ICSP (ICSP : In-Circuit Serial Programming)
- สามารถทำงานที่ไฟเลี้ยงวงจรตั้งแต่ 2.0 V ถึง 5.5 V
- ขาพอร์ต I/O แต่ละขา สามารถรับและปล่อยกระแสได้สูงสุด 25 mA
- มีโมดูล Timer/Counter ใช้งานทั้งหมด 3 ตัว Timer 0, Timer 1, และ Timer 2
- มีโมดูล CCP (CCP : Compare/Capture/PWM) จำนวน 2 ชุด
- มีโมดูล Analog to Digital Converter ความละเอียด ขนาด 8 บิต และ 10 บิต จำนวน 8 ช่อง ภายในตัวชิพ
- มีโมดูลสื่อสารอนุกรมแบบ USART (USART : Universal Synchronous Asynchronous Receiver/Transmitter)
- มีพอร์ต I/O จำนวน 5 พอร์ต A,B,C,D และ E มีขา I/O รวมกัน 33 ขา ดังนี้คือ
PORTA มี 5 ขา RA0 ถึง RA5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PORTB	มี 8 ขา RB0 ถึง RB7
PORTC	มี 8 ขา RC0 ถึง RC7
PORTD	มี 8 ขา RD0 ถึง RD7
PORTE	มี 3 ขา RE0 ถึง RE2

Devices Included in this Data Sheet:

- PIC16F873A
- PIC16F876A
- PIC16F874A
- PIC16F877A

High-Performance RISC CPU:

- Only 35 single-word instructions to learn
- All single-cycle instructions except for program branches, which are two-cycle
- Operating speed: DC – 20 MHz clock input
DC + 200 ns instruction cycle
- Up to 6K x 14 words of Flash Program Memory.
Up to 368 x 8 bytes of Data Memory (RAM).
Up to 256 x 8 bytes of EEPROM Data Memory
- Pinout compatible to other 28-pin or 40/44-pin PIC16XXX and PIC16FXXX microcontrollers

Peripheral Features:

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

Analog Features:

- 10-bit, up to 8-channel Analog-to-Digital Converter (A/D)
- Brown-out Reset (BOR)
- Analog Comparator module with:
 - Two analog comparators
 - Programmable on-chip voltage reference (VREF) module
 - Programmable input multiplexing from device inputs and internal voltage reference
 - Comparator outputs are externally accessible

Special Microcontroller Features:

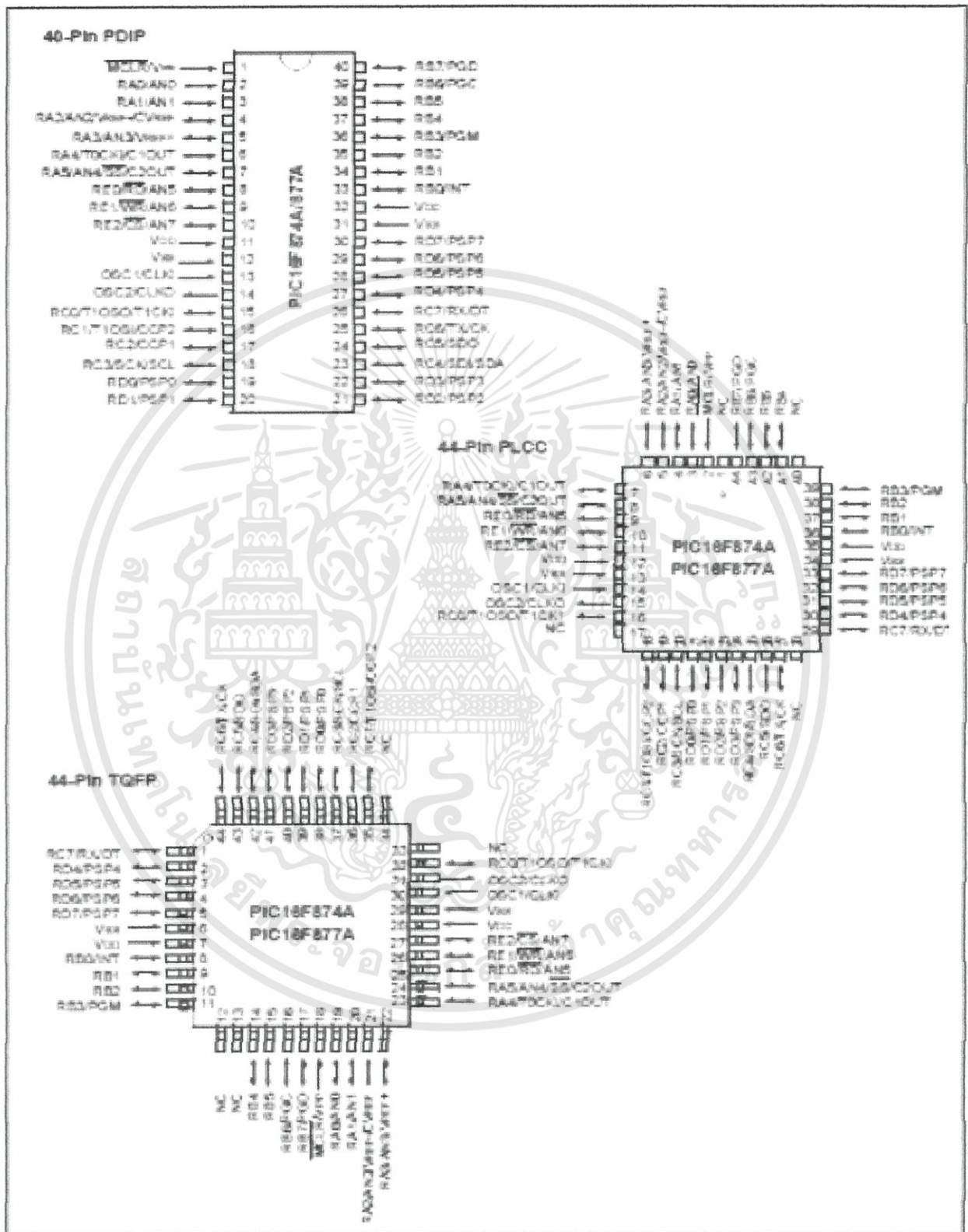
- 100,000 erase/write cycle Enhanced Flash program memory typical
- 1,000,000 erase/write cycle Data EEPROM memory typical
- Data EEPROM Retention > 40 years
- Self-reprogrammable under software control
- In-Circuit Serial Programming™ (ICSP™) via two pins
- Single-supply 5V In-Circuit Serial Programming
- Watchdog Timer (WDT) with its own on-chip RC oscillator for reliable operation
- Programmable code protection
- Power saving Sleep mode
- Selectable oscillator options
- In-Circuit Debug (ICD) via two pins

CMOS Technology:

- Low-power, high-speed Flash/EEPROM technology
- Fully static design
- Wide operating voltage range (2.0V to 5.5V)
- Commercial and Industrial temperature ranges
- Low-power consumption

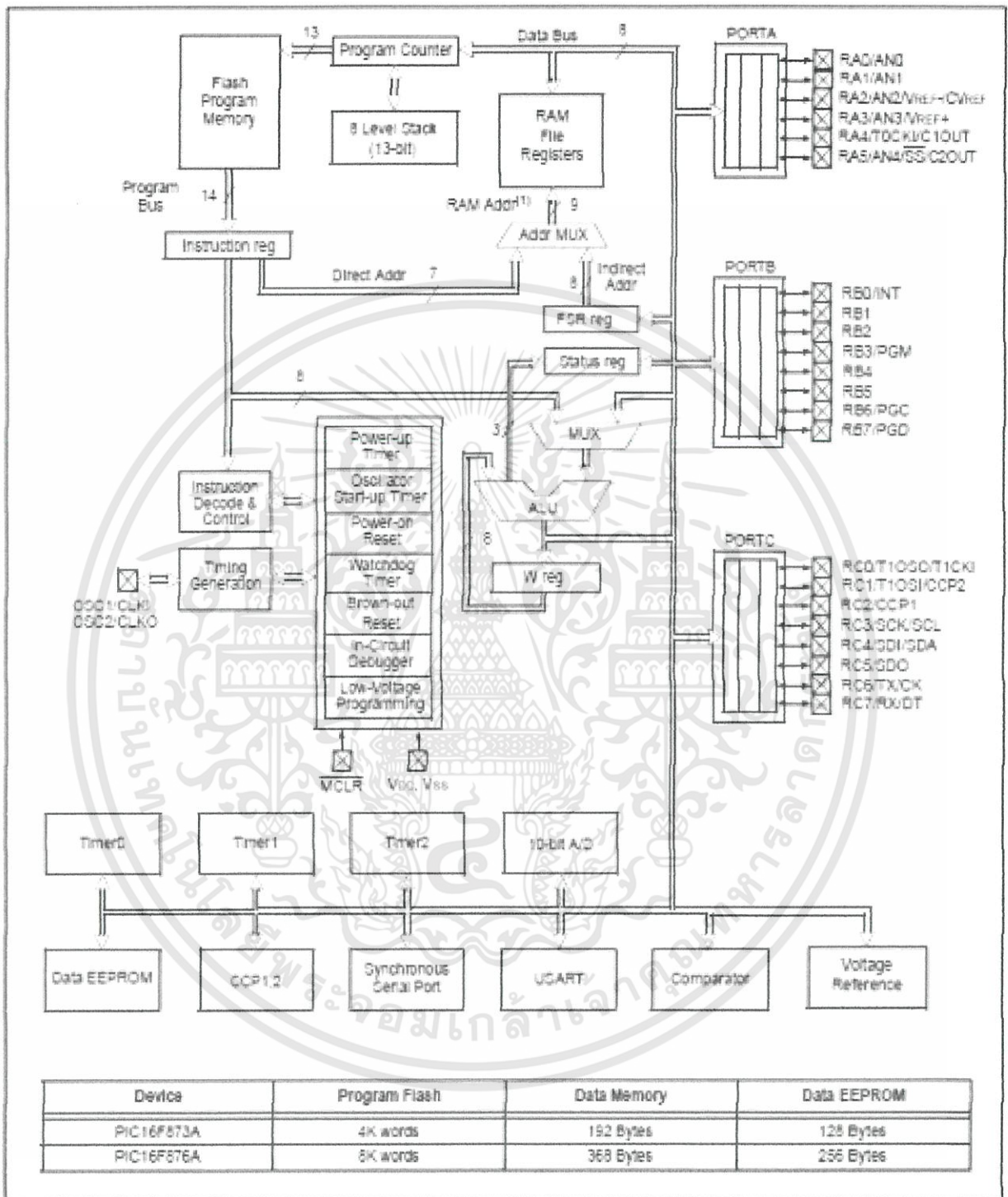
รูปที่ 4.1 แสดงตัวอย่างข้อมูลขีดความสามารถของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F877A แบบ 28 ขา และ 40 ขา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 แสดงตำแหน่งขา (PIN Diagram) ของตัวถังแบบต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 แสดงสถาปัตยกรรมที่เป็นโครงสร้างของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Key Features	PIC16F873A	PIC16F874A	PIC16F876A	PIC16F877A
Operating Frequency	DC – 20 MHz	DC – 20 MHz	DC – 20 MHz	DC – 20 MHz
Resets (and Delays)	POR, BOR (PWRT, OST)	POR, BOR (PWRT, OST)	POR, BOR (PWRT, OST)	POR, BOR (PWRT, OST)
Flash Program Memory (14-bit words)	4K	4K	8K	8K
Data Memory (bytes)	192	192	368	368
EEPROM Data Memory (bytes)	128	128	256	256
Interrupts	14	15	14	15
I/O Ports	Ports A, B, C	Ports A, B, C, D, E	Ports A, B, C	Ports A, B, C, D, E
Timers	3	3	3	3
Capture/Compare/PWM modules	2	2	2	2
Serial Communications	MSSP, USART	MSSP, USART	MSSP, USART	MSSP, USART
Parallel Communications	—	PSP	—	PSP
10-bit Analog-to-Digital Module	5 input channels	8 input channels	5 input channels	8 input channels
Analog Comparators	2	2	2	2
Instruction Set	35 Instructions	35 Instructions	35 Instructions	35 Instructions
Packages	28-pin PDIP 28-pin SOIC 28-pin SSOP 28-pin QFN	40-pin PDIP 44-pin PLCC 44-pin TQFP 44-pin QFN	28-pin PDIP 28-pin SOIC 28-pin SSOP 28-pin QFN	40-pin PDIP 44-pin PLCC 44-pin TQFP 44-pin QFN

รูปที่ 4.4 ตารางเปรียบเทียบรายละเอียดขีดความสามารถของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F87XA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Pin Name	PDIP Pin#	PLCC Pin#	TGFP Pin#	QFN Pin#	I/O/P Type	Buffer Type	Description
OSC1/CLKI OSC1 CLKI	13	14	30	32	I I	ST/CMOS ⁽⁴⁾	Oscillator crystal or external clock input Oscillator crystal input or external clock source input. ST buffer when configured in RC mode; otherwise CMOS. External clock source input. Always associated with pin function OSC1 (see OSC1/CLKI, OSC2/CLKO pins).
OSC2/CLKO OSC2 CLKO	14	15	31	33	O O	—	Oscillator crystal or clock output Oscillator crystal output. Connects to crystal or resonator in Crystal Oscillator mode. In RC mode, OSC2 pin outputs CLKO, which has 1/4 the frequency of OSC1 and denotes the instruction cycle rate.
MCLR/Vpp MCLR Vpp	1	2	18	18	I P	ST	Master Clear (input) or programming voltage (output) Master Clear (Reset) input. This pin is an active low Reset to the device. Programming voltage input.
RA0/AN0 RA0 AN0 RA1/AN1 RA1 AN1 RA2/AN2/Vref-/CVref RA2 AN2 Vref- CVref RA3/AN3/Vref+ RA3 AN3 Vref+ RA4/T0CKI/C1OUT RA4 T0CKI C1OUT RA5/AN5/SS/C2OUT RA5 AN4 SS C2OUT	2 3 3 4 5 5 6 7 7 8	3 4 4 5 6 6 7 8	19 20 21 21 22 22 23 23 24 24	19 20 21 21 22 22 23 23 24 24	I/O I I I I/O I I I I/O I I I I/O I I I O	TTL TTL TTL TTL TTL ST TTL	PORTA is a bidirectional I/O port. Digital I/O Analog input 0 Digital I/O Analog input 1 Digital I/O Analog input 2 A/D reference voltage (Low) input Comparator Vref- output Digital I/O Analog input 3 A/D reference voltage (High) input Digital I/O = Open-drain when configured as output Timer0 external clock input Comparator 1 output Digital I/O Analog input 4 SPI slave select input. Comparator 2 output

Legend: I = input O = output I/O = input/output P = power
— = Not used TTL = TTL input ST = Schmitt Trigger input

รูปที่ 4.5 แสดงรายละเอียดและตำแหน่งขาของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F87XA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 หน้าที่ของไมโครคอนโทรลเลอร์

หน้าที่ที่สำคัญของไมโครคอนโทรลเลอร์คือการเช็คอินพุตที่เข้าสู่วงจรควบคุมขนาดแรงดัน และวงจรรักษาระดับแรงดันว่ามีแรงดันเท่าใด และคอยเช็คเอาต์พุตที่ออกมาจากวงจรควบคุมขนาดแรงดันและวงจรรักษาระดับแรงดันว่าเหมาะสมที่จะนำแรงดันเข้าสู่วงจรประจุแบตเตอรี่หรือไม่ หากมีแรงดันที่ต่ำกว่าที่วงจรทั้งหมดจะนำเข้ามา ไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำการตัดแรงดันส่วนที่ไม่จำเป็นทิ้งไป

4.3 หลักการเขียนโปรแกรมที่ใช้ในโครงการ

ในส่วนของโปรแกรมที่เขียนขึ้นนั้นมีจุดประสงค์เพื่อที่จะให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ทำงานโดยมีการตรวจเช็คระดับแรงดันไฟฟ้าของอินพุตและเอาต์พุต อันประกอบด้วย ระดับแรงดันของเพลเทียร์ ระดับแรงดันของวงจรบูสคอนเวอร์เตอร์ และระดับแรงดันของแบตเตอรี่ ซึ่งมีการแสดงสถานะการชาร์จ และ สถานะของแบตเตอรี่ผ่านทางจอ LCD รวมถึงมีการสร้าง Pulse เพื่อเป็นสัญญาณควบคุมการชาร์จอีกด้วย

4.3.1 โปรแกรมเขียนโดยใช้โปรแกรม MicroC

```

1 void main()
2 {
3     unsigned long int Vpen, Vboost, Vbat;
4     unsigned char v0, v1, v2, v3, v4, v5, v6, v7, v8, v9, v10, v11;
5     int A, B;
6     TRISA=0xFF;
7     TRISD=0;
8     Lcd_Init(&PORTD);
9     Lcd_Cmd(LCD_CURSOR_OFF);
10    Lcd_Cmd(LCD_CLEAR);
11    while (1)
12    {
13        Lcd_Cmd(LCD_CLEAR);
14        Vpen=Adc_Read(0);
15        Vboost=Adc_Read(1);
16        Vbat=Adc_Read(2);
17        if (vboost>=715)
18        {
19            A =3;
20            B = 3;
21        }
22        if (vboost<715)
23        {
24            A =2;
25            B = 2;
26        }
27        if (vbat<409)

```

รูปที่ 4.6 โปรแกรมในส่วนของการประกาศตัวแปรต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

28     {
29         B= 1;
30     }
31     if (vbat>=4096&&vbat<715)
32     {
33         B = 0;
34     }
35     Vpen=Vpen*489/1000*24/10; //12V
36     v0=Vpen/1000;
37     v1=(Vpen%1000)/100;
38     v2=(Vpen%100)/10;
39     v3=Vpen%10;
40     Lcd_Chr(1,12,v0+48);
41     Lcd_Chr(1,13,v1+48);
42     Lcd_Chr(1,14,'. ');
43     Lcd_Chr(1,15,v2+48);
44     Lcd_Chr(1,16,v3+48);
45     Lcd_Out(1,8,"Vp =");
46     Vboost=Vboost*489/1000*4; //20V
47     v10=Vboost/1000;
48     v4=(Vboost%1000)/100;
49     v5=(Vboost%100)/10;
50     v6=Vboost%10;
51     Lcd_Chr(2,12,v10+48);
52     Lcd_Chr(2,13,v4+48);
53     Lcd_Chr(2,14,'. ');
54     Lcd_Chr(2,15,v5+48);
55     Lcd_Chr(2,16,v6+48);
56     Lcd_Out(2,8,"Vbc=");
57     switch(A)
58     {
59     case 3 :
60         Lcd_Out(2,1,"Ch");
61
62         delay_ms(500);
63         PORTC=0;
64         TRISC=0;
65         T2CON=0x02;
66         PR2=0x7C; //2625A
67         CCP1L=0x1F; //1312D
68         CCP1CON=0x0C;
69         T2CON.TMR2ON=1;
70         delay_ms(200);
71         break;
72     case 2 :
73         Lcd_Out(2,1,"Low IP");
74         delay_ms(500);
75         PORTC=0;
76         TRISC=0;
77         T2CON=0x02;
78         PR2=0xFF;
79         CCP1L=0x00;
80         CCP1CON=0x0C;
81         T2CON.TMR2ON=1;

```

รูปที่ 4.7 โปรแกรมในส่วนของการตรวจเช็คระดับแรงดันและสถานะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

82             delay_ms(200);
83             break;
84         }
85         Lcd_Cmd(LCD_CLEAR);
86         Vbat=Vbat*489/1000*4; //20V
87         v11=Vbat/1000;
88         v7=(Vbat%1000)/100;
89         v8=(Vbat%100)/10;
90         v9=Vbat%10;
91         Lcd_Chr(1,1,v11+48);
92         Lcd_Chr(1,2,v7+48);
93         Lcd_Chr(1,3,'. ');
94         Lcd_Chr(1,4,v8+48);
95         Lcd_Chr(1,5,v9+48);
96         Lcd_Out(1,7,"Vbat");
97         switch(B)
98         {
99         case 1:
100
101             Lcd_Out(2,1,"LOW");
102
103             delay_ms(500);
104             break;
105         case 0:
106
107             Lcd_Out(2,1,"Battery OK");
108             delay_ms(500);
109             break;
110         default :
111
112             Lcd_Out(2,1,"Full");
113             delay_ms(500);
114
115
116
117

```

รูปที่ 4.8 โปรแกรมในส่วนของการแสดงผลสถานะของแบตเตอรี่

บทที่ 5

การทดลองและผลการทดลอง

5.1 การทดสอบคุณสมบัติทางไฟฟ้าของเทอร์โมอิเล็กทริก

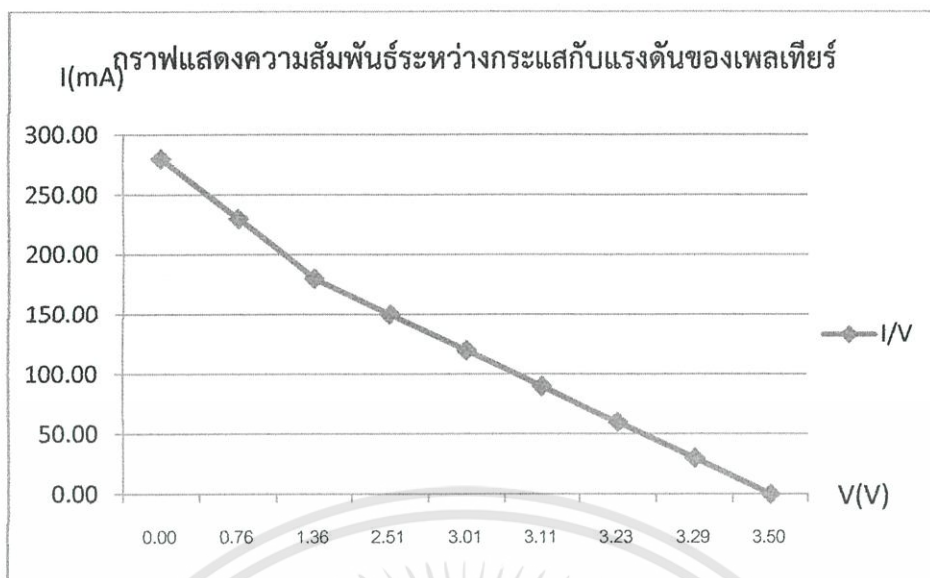
ในตอนแรกเราจำเป็นต้องทราบว่าด้านใดของเทอร์โมอิเล็กทริกแต่ละตัวนั้นจะให้ความร้อนหรือความเย็น โดยจ่ายพลังงานไฟฟ้าจากเครื่องจ่ายไฟตรง และทดสอบด้วยการสัมผัสว่าด้านใดให้ความร้อน และให้ความเย็น จากนั้นทำการต่ออนุกรมกัน และนำด้านที่เย็นติดกับแผ่นระบายความร้อนและด้านร้อนใช้ลুমินีเยมแผ่นเรียบประกบติด ให้เป็นชิ้นเดียวกันให้เรียบร้อย เริ่มทำการทดลองจากการทดลองได้อุณหภูมิที่เซลเซียส ทำการวัดค่าด้วยมัลติมิเตอร์ได้ผลการทดลองดังนี้

$$I_{sc} = 350 \text{ mA}$$

$$V_{oc} = 3.50 \text{ V}$$

V(V)	I(mA)	P(mW)
0.00	280.00	0.00
0.76	230.00	174.80
1.36	180.00	244.80
2.51	150.00	376.50
3.01	120.00	361.20
3.11	90.00	279.90
3.23	60.00	193.80
3.29	30.00	98.70
3.50	0.00	0.00

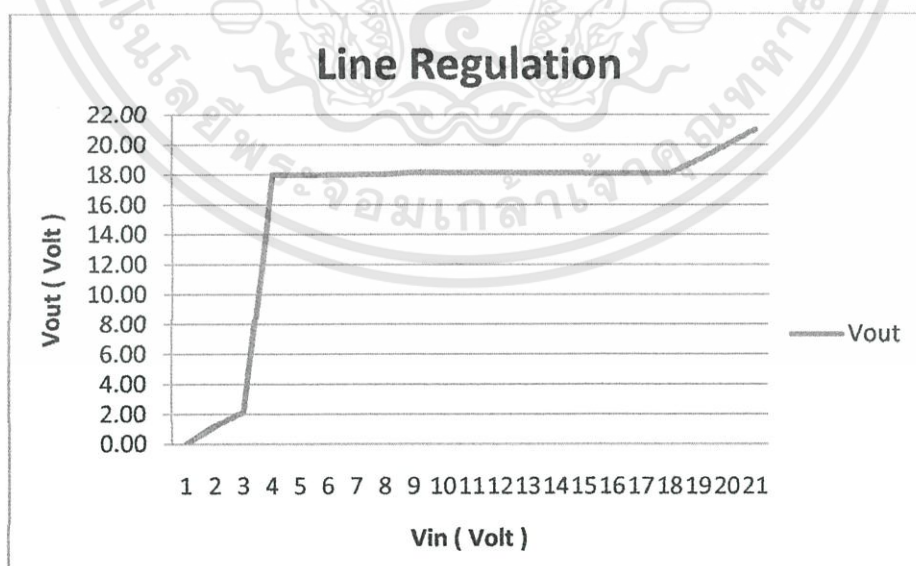
รูปที่ 5.1 ตารางแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแส(I) แรงดัน (V) และกำลัง (P) ของเพลเทียร์



รูปที่ 5.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแส(I) แรงดัน (V) และกำลัง (P) ของเพลเทียร์

5.2 การทดสอบวงจรรักษาระดับแรงดันไฟฟ้าแบบ step up

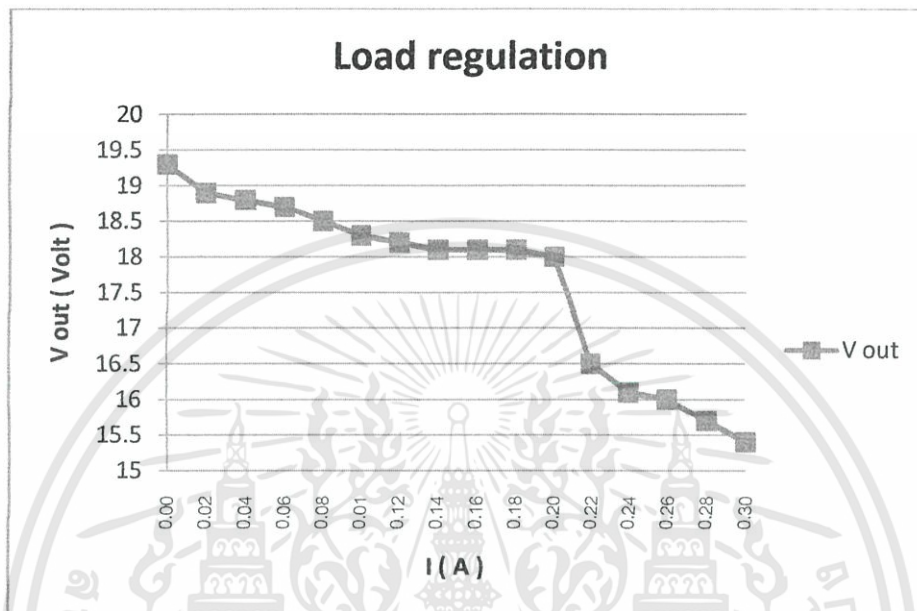
ในการทดสอบวงจรรักษาระดับแรงดันไฟฟ้าในที่นี้เราใช้ LM2577 ในการทดลองทำการต่อกับแหล่งจ่ายไฟ จ่ายแรงดันตั้งแต่ 0-20 โวลต์ และนำมัลติมิเตอร์มาวัดค่าทางด้านเอาต์พุต เพื่อทำการวัด Line regulation ของวงจรจะได้ผลการทดลองดังรูปที่ 5.3



รูปที่ 5.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าขาเข้า(โวลต์) และ แรงดันไฟฟ้าขาออก(โวลต์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต่อมา นำวงจรรักษาระดับแรงดันมาทำการดิงกระแสโดยใช้ Active Load ดิงกระแสที่ค่า ตั้งแต่ 0.00-0.30 มิลลิแอมป์ และวัดค่าแรงดันเอาต์พุตนำมาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง แรงดันไฟฟ้า(โวลต์) และ กระแส (แอมป์) ได้ดังรูปที่ 5.4



รูปที่ 5.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้า(โวลต์) และ กระแส (แอมป์)

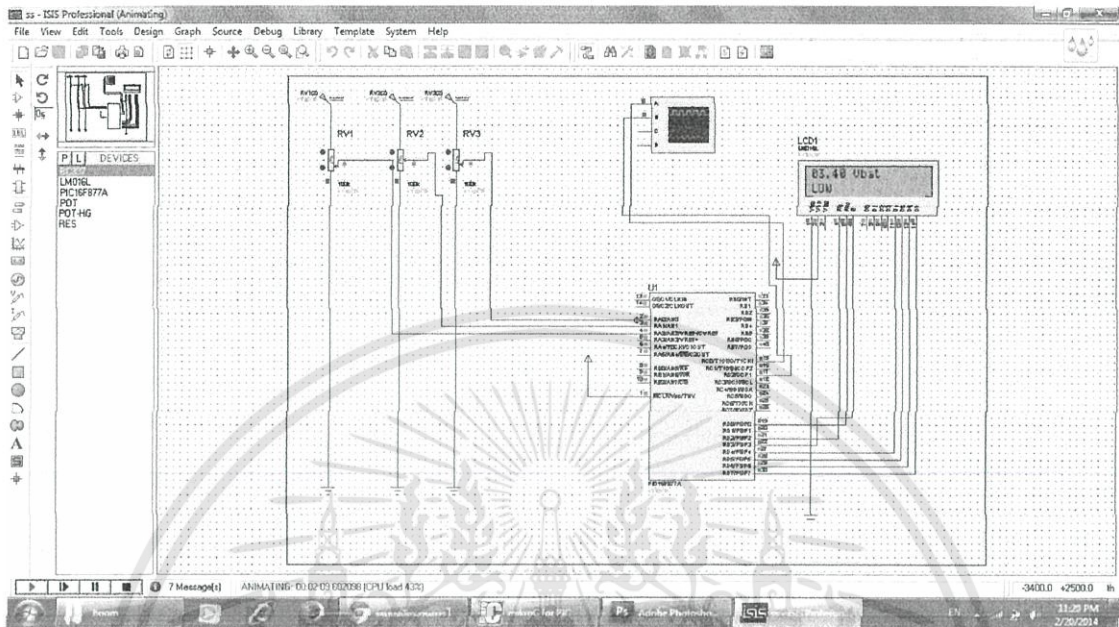
5.3 การทดสอบวงจรรักษาระดับแรงดันไฟฟ้าแบบ step up สำหรับเทอร์โมอิเล็กทริก

ในการทดสอบวงจรรักษาระดับแรงดันไฟฟ้าสำหรับเทอร์โมอิเล็กทริกนำมาต่อเข้าทางอินพุตของ วงจรทำการทดลองเช่นเดิมอีกครั้ง ทำการวัดค่าด้วยมัลติมิเตอร์ได้ผลการทดลองดังนี้

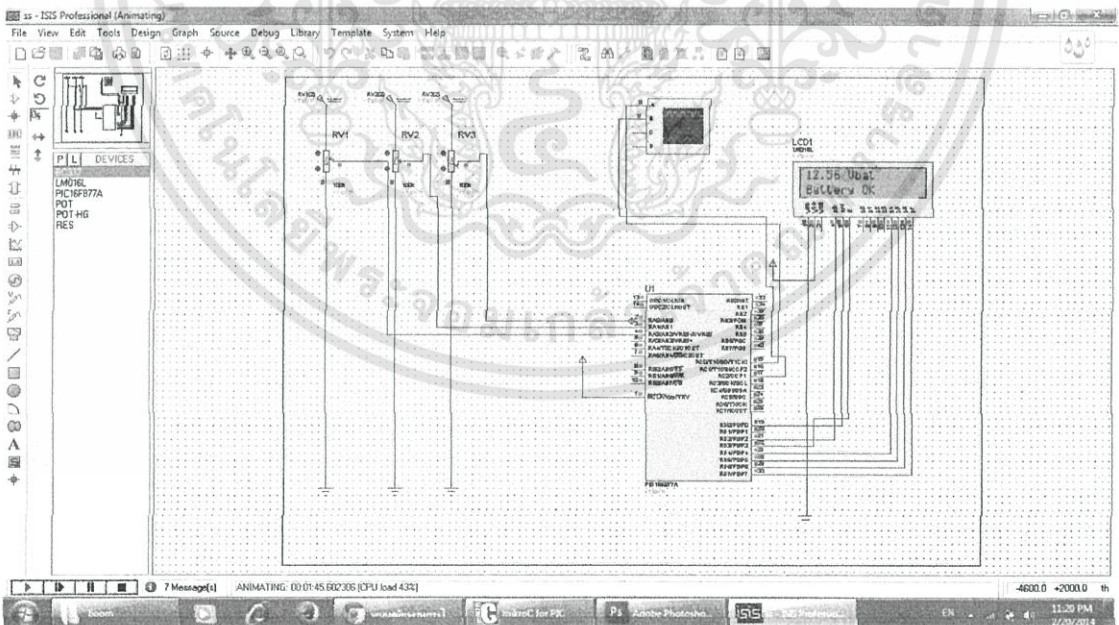
$$V_{input} = 3.50 V$$

$$V_{output\ 2577} = 17.97 V$$

5.4 การทดสอบการทำงานของโปรแกรมด้วยโปรแกรม Proteus

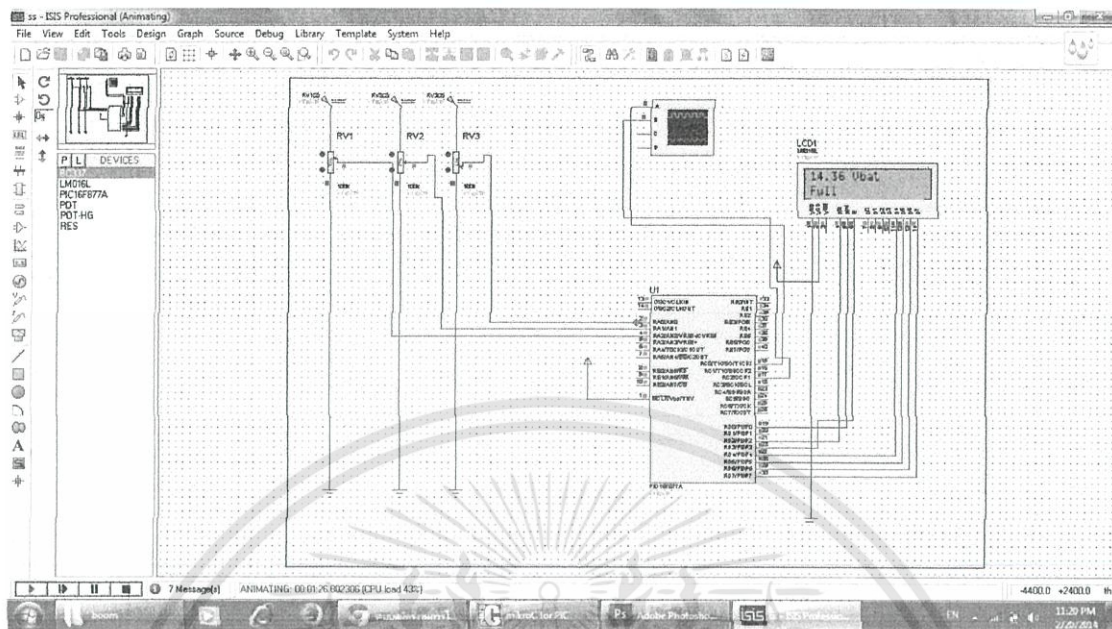


รูปที่ 5.5 ในกรณีที่ Vbat มีค่าน้อยกว่า 8V จะแสดงผลเป็นคำว่า Low batt

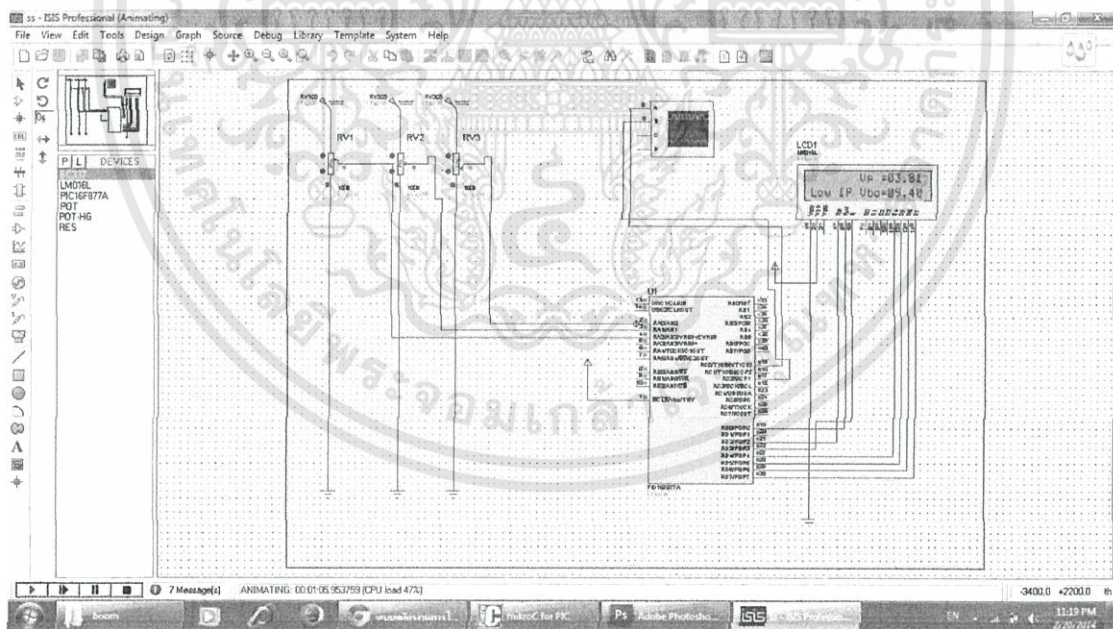


รูปที่ 5.6 Vbat อยู่ในช่วง 8-14V จะแสดงผลเป็น Batt OK

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

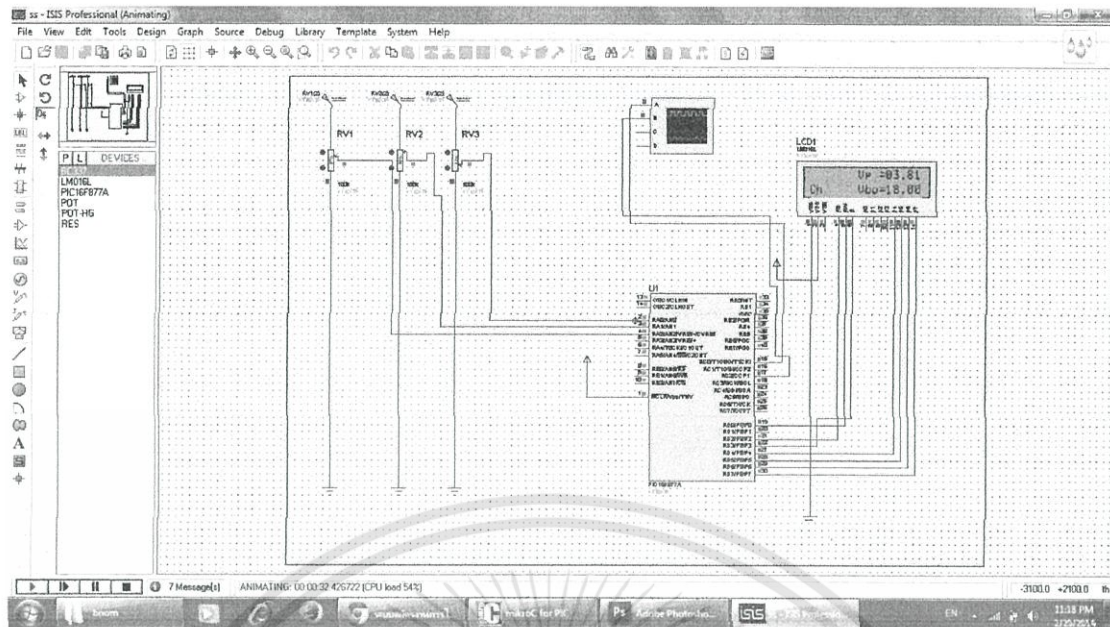


รูปที่ 5.7 เมื่อ Vbat มีค่ามากกว่า 14V จะแสดงผลเป็น Full

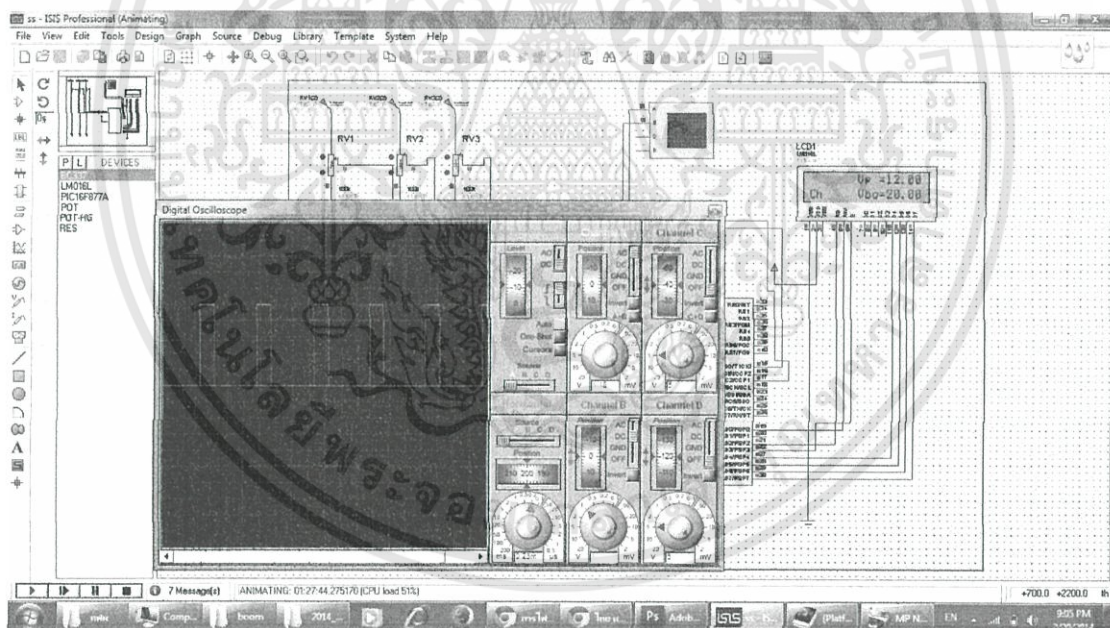


รูปที่ 5.8 ในส่วนของ Vb (Vboost)มีค่าน้อยกว่า14V จะแสดงผลเป็น Low Input

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.9 เมื่อ Vb มีมากกว่า 14v จะแสดงผลเป็น Charging

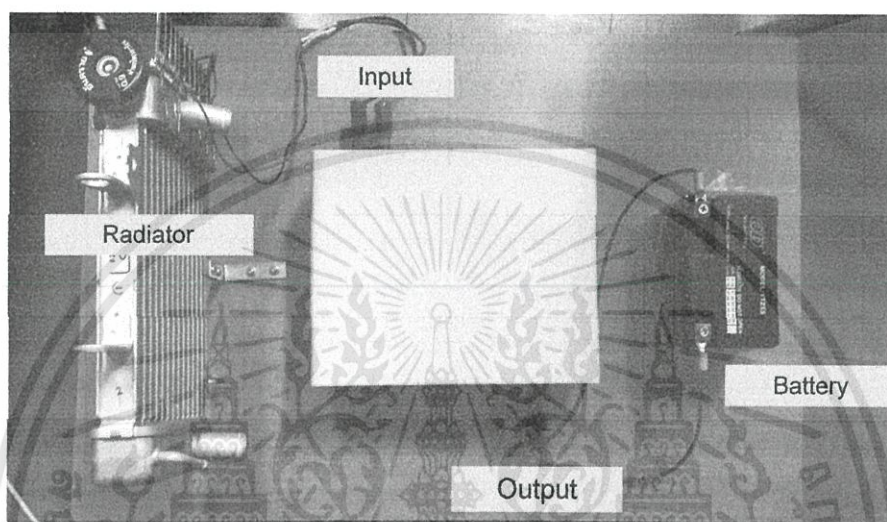


รูปที่ 5.10 แสดงสัญญาณที่ใช้ในการควบคุมการชาร์จ

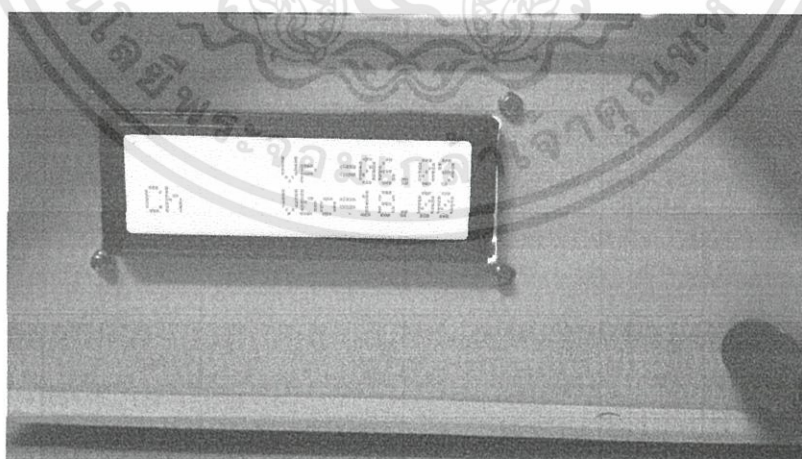
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.5 ผลการทดสอบการทำงานของโปรแกรม

ในการทดลองทำการต่อกับแหล่งจ่ายไฟ จ่ายแรงดันเข้าทางอินพุท (Input) แทนการจ่ายไฟโดยเพลเทียร์ จ่ายแรงดันเพิ่มขึ้นไปค่าต่างๆ ทดสอบการทำงานของและแสดงผลบนจอ LCD ซึ่งได้ผลการทดลองดังนี้

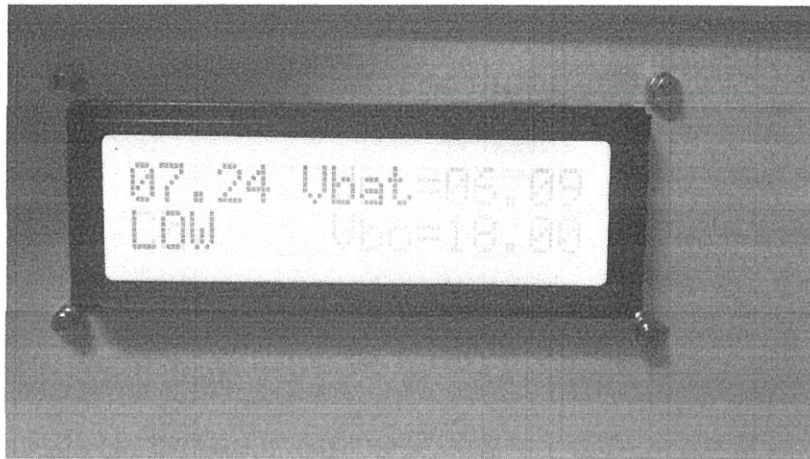


รูปที่ 5.11 ชิ้นงานโครงสร้างของระบบ



รูปที่ 5.12 เมื่อ V_b มีมากกว่า 14v จะแสดงผลเป็น Charging ที่จอ LCD

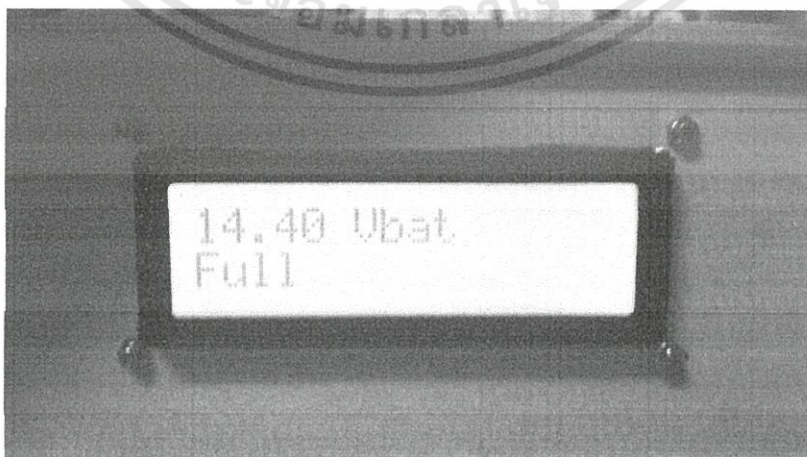
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.13 ในกรณีที่ Vbat มีค่าน้อยกว่า 8V จะแสดงผลเป็นคำว่า Low ที่จอ LCD



รูปที่ 5.14 Vbat อยู่ในช่วง 8-14V จะแสดงผลเป็น Batt OK ที่จอ LCD



รูปที่ 5.15 Vbat มีค่ามากกว่า 14V จะแสดงผลเป็น Full ที่จอ LCD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

6.1 สรุปผลการทดลอง

จากการทดสอบวงจรรักษาระดับแรงดันโดยการจ่ายแรงดันตั้งแต่ 0-20 โวลต์เข้าไปที่อินพุทของวงจรจะได้ผลการทดลองดังรูปที่ 5.3 จากกราฟจะเห็นว่าวงจรสามารถรักษาระดับแรงดันเท่ากับ 18 โวลต์ เมื่ออินพุทมีค่าประมาณ 3-17 โวลต์ ถ้าหากค่าอินพุทน้อยกว่าหรือมากกว่าช่วงดังกล่าว แรงดันเอาต์พุท จะอยู่ที่ประมาณค่าอินพุทที่เข้ามาซึ่งแสดงให้เห็นถึงช่วงการทำงานของวงจรรักษาระดับแรงดัน เมื่อนำวงจรรักษาระดับแรงดันและนำ Active Load ดึงกระแส ตั้งแต่ 0-0.3 แอมป์ โดยเพิ่มทีละ 0.02 แอมป์ ได้ผลการทดลองดังกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้า(โวลต์) และ กระแส (แอมป์) ซึ่งจากกราฟจะเห็นว่าเมื่อเริ่มทำการดึงกระแสในช่วงแรกแรงดันค่อยๆลดลงช้าๆมีค่าประมาณ 18 โวลต์ และเมื่อดึงกระแสที่ประมาณ 0.2 แอมป์ ค่าแรงดันตกลงเป็น 16.5 โวลต์อย่างรวดเร็วและค่อยๆลดลงไปเรื่อยๆดังรูปที่ 5.4

และการทดสอบเทอร์โมอิเล็กทริกจะมีด้านที่ให้ความร้อนและความเย็นแตกต่างกันไป ก่อนที่จะนำไปใช้งานจะต้องทำการทดสอบ เพื่อให้ทราบว่าด้านใดเป็นด้านที่ให้ความร้อนและด้านใดที่ให้ความเย็น โดยเทอร์โมอิเล็กทริกจะให้แรงดันออกมาเป็นบวก เมื่อให้ความร้อนกับด้านที่ร้อน แต่ถ้าให้พลังงานความร้อนเข้าที่ด้านเย็นจะให้แรงดันเป็นลบ และมีปริมาณน้อยกว่าด้านร้อน เพราะฉะนั้นในการใช้งานควรจะใช้ด้านร้อนในการรับความร้อน เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด โดยในการทดลองนำเทอร์โมอิเล็กทริกมาอนุกรม จะเห็นว่าได้ แรงดันออกมาเพียง 3.50 โวลต์ จากผลต่างของอุณหภูมิระหว่างด้านร้อนกับด้านเย็นที่ประมาณ 140 องศาเซลเซียสหรืออาจกล่าวได้ว่า เทอร์โมอิเล็กทริกมีประสิทธิภาพต่ำมากเมื่อใช้เป็นอุปกรณ์ในการรับความร้อนและเมื่อต่อเข้ากับวงจรรักษาระดับแรงดันแล้วแรงดันเอาต์พุทที่ได้มีค่า 17.97 โวลต์ ซึ่งเป็นค่าแรงดันที่เราต้องการ เราจะเห็นว่า เนื่องจากแรงดันอินพุทที่ได้จากเทอร์โมอิเล็กทริกมีค่า 3.5 โวลต์ ซึ่งในการทดสอบ Line regulation จะเห็นว่า เป็นค่าแรงดันที่อยู่ในช่วงที่วงจรสามารถทำงานได้ แต่เมื่อทำการทดสอบโดยนำมาติดกับหม้อน้ำระบายความร้อนนั้นเมื่อทำการทาหม้อน้ำที่มีความร้อนกับแผ่นอะลูมิเนียมที่วางบนด้านร้อนของ แผ่นเพลเทียร์ และใช้อากาศในการให้ความเย็นกับด้านเย็นของแผ่นเพลเทียร์ที่ติดอยู่กับ Heat sink เมื่อนำมาดึงกระแสพบว่าแรงดันขาเข้า ของเพลเทียร์ลดลงเหลือ 2.3 โวลต์ ทำให้วงจร Boost Converter ไม่สามารถทำงานได้ มีผลทำให้ไม่สามารถหาพลังงานสูงสุดของวงจรนี้ได้

ซึ่งในโครงงานนี้เป็นโครงงานที่เกี่ยวกับการนำพลังงานที่สูญเสียไปในรูปของความร้อนนำกลับมาใช้ใหม่โดยการเปลี่ยนรูปให้เป็นพลังงานทางไฟฟ้าโดยใช้อุปกรณ์เพลเทียร์ที่อาศัยความแตกต่างของอุณหภูมิก่อให้เกิดพลังงานไฟฟ้าขึ้นและเพื่อเพิ่มความสามารถในระบบประจุแบตเตอรี่จึงเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ได้มีการนำไมโครคอนโทรลเลอร์มาใช้ให้ควบคุมได้ตามต้องการ โดยไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำการเช็คสถานะของอุปกรณ์ต่างๆว่ามีค่าพร้อมต่อการชาร์จหรือไม่ เริ่มจากเช็คสถานะของแบตเตอรี่ว่ามีค่าแรงดันมีค่าเป็นเท่าไร หากมีค่าต่ำกว่า 8V ลงไปจะแสดงผลเป็น Low batt มีค่าตั้งแต่ 8-14 V จะแสดงผลเป็น Batt OK และถ้าค่ามีสูงกว่า 14V ขึ้นไปจะแสดงผลว่า Full ซึ่งหมายถึงแบตเตอรี่เต็มนั่นเอง อีกส่วนคือเช็คสถานะของแรงดันจากวงจร Boost converter ถ้ามีแรงดัน V_b น้อยกว่า 14V จะแสดงผลเป็น Low input และถ้ามากกว่า 14V จะแสดงผลเป็น Charging พร้อมทั้งปล่อยสัญญาณ Pulse จากที่ได้กล่าวไปทำให้เราทราบถึงค่าต่างๆภายในระบบได้และหากเกิดความผิดพลาดที่ส่วนไหนก็จะสามารถแก้ไขได้ตรงจุดซึ่งจากผลการทดลองได้ผลเป็นไปตามที่คาดไว้

6.2 วิจารณ์การทดลอง

ในการทดลองจะเห็นว่าเพลทีร์มีประสิทธิภาพที่ต่ำมาก ทำให้ระบบไม่มีเสถียรภาพในการทำงานเนื่องจากเป็นแหล่งกำเนิดพลังงานที่ต่ำ และ พื้นที่ในการใช้งานบนระบบระบายความร้อนนั้นก็มีพื้นที่จำกัดจึงจำเป็นต้องอาศัยการแก้ไขและพัฒนาโครงการนี้ให้ดียิ่งขึ้นต่อไป

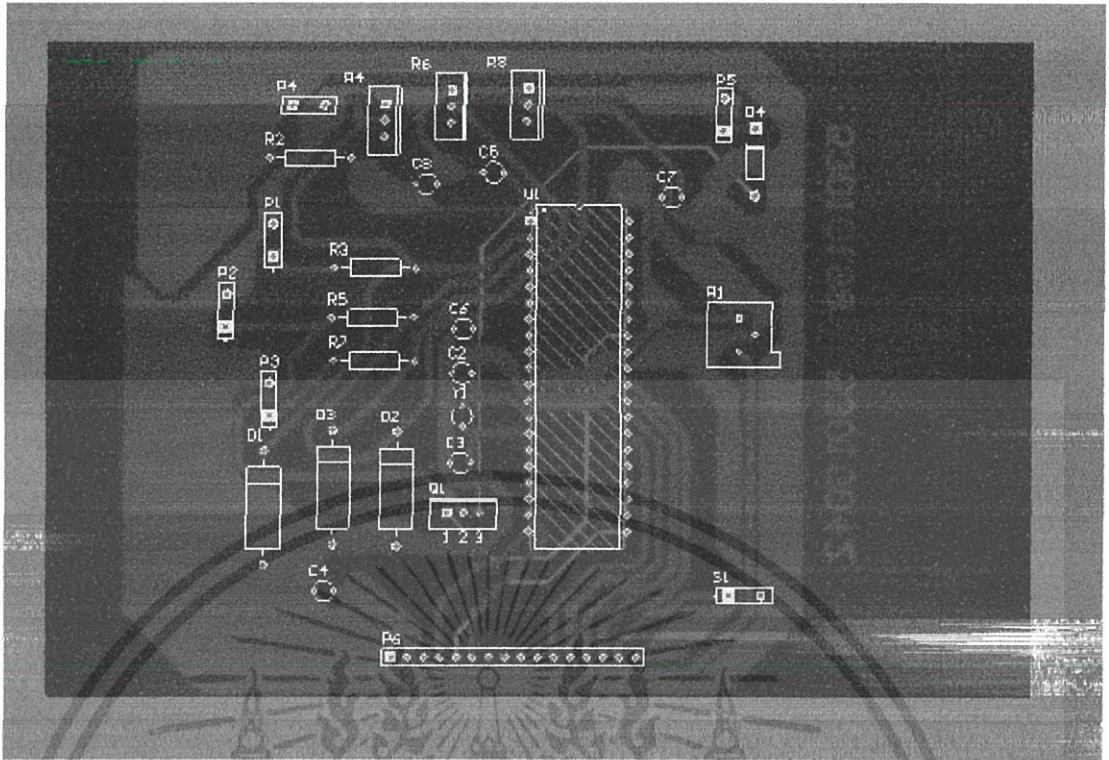


เอกสารอ้างอิง

- [1] ทีมงานสมาร์ทเสิร์ช(2555).Advance PIC Microcontroller in C การประยุกต์ใช้งาน PIC ขั้นสูงด้วยภาษา C .กรุงเทพมหานคร : ห้างหุ้นส่วนสามัญสมาร์ทเสิร์ช
- [2] Lead-acid battery สืบค้นเมื่อ 15 ธันวาคม 2555 จาก http://en.wikipedia.org/wiki/Lead%E2%80%93acid_battery
- [3] การใช้งาน CCS เบื้องต้น สืบค้นเมื่อ 26 กรกฎาคม 2556 จาก <http://www.mcuthailand.com/articles/pic/CCS.html>
- [4] การใช้งาน CCS C COMPILER 2551 เบื้องต้น สืบค้นเมื่อ 27 กรกฎาคม 2556 จาก http://www.sce-projects.com/images/pdf_article/2.Use%20CCS%20C%20COMPILER%202551.pdf
- [5] โครงสร้างและสถาปัตยกรรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F877A สืบค้นเมื่อ 5 กันยายน 2556 จาก http://www.kknic.ac.th/~kkvisart_poon/Webpage/wachira/htdoc/less_2/Krongsang.pdf

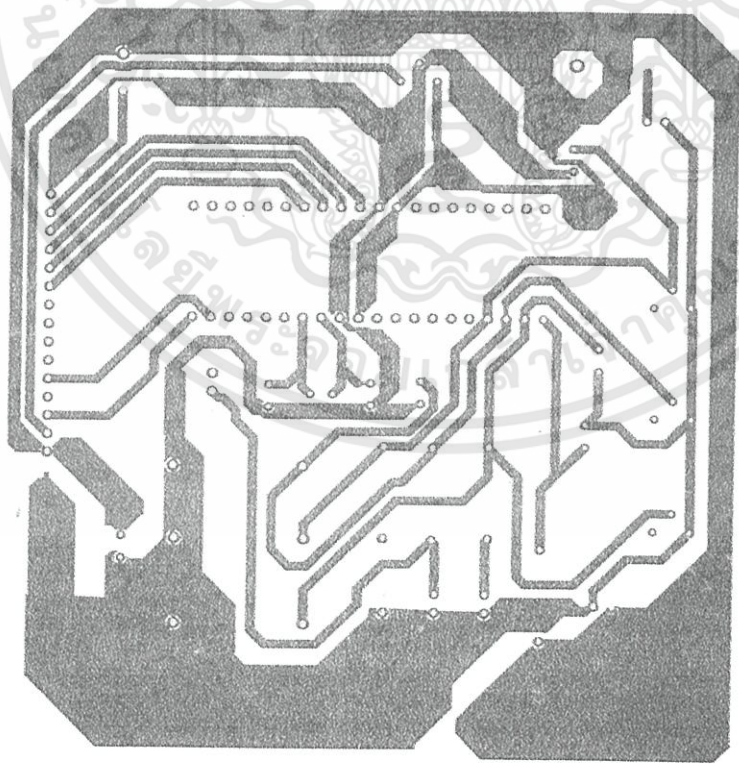


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



๒3010045

๒30101๒8



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

28/40/44-Pin Enhanced Flash Microcontrollers

Devices Included in this Data Sheet:

- PIC16F873A
- PIC16F874A
- PIC16F876A
- PIC16F877A

High-Performance RISC CPU:

- Only 35 single-word instructions to learn
- All single-cycle instructions except for program branches, which are two-cycle
- Operating speed: DC – 20 MHz clock input
DC – 200 ns instruction cycle
- Up to 8K x 14 words of Flash Program Memory,
Up to 368 x 8 bytes of Data Memory (RAM),
Up to 256 x 8 bytes of EEPROM Data Memory
- Pinout compatible to other 28-pin or 40/44-pin PIC16CXXX and PIC16FXXX microcontrollers

Peripheral Features:

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

Analog Features:

- 10-bit, up to 8-channel Analog-to-Digital Converter (A/D)
- Brown-out Reset (BOR)
- Analog Comparator module with:
 - Two analog comparators
 - Programmable on-chip voltage reference (VREF) module
 - Programmable input multiplexing from device inputs and internal voltage reference
 - Comparator outputs are externally accessible

Special Microcontroller Features:

- 100,000 erase/write cycle Enhanced Flash program memory typical
- 1,000,000 erase/write cycle Data EEPROM memory typical
- Data EEPROM Retention > 40 years
- Self-reprogrammable under software control
- In-Circuit Serial Programming™ (ICSP™) via two pins
- Single-supply 5V In-Circuit Serial Programming
- Watchdog Timer (WDT) with its own on-chip RC oscillator for reliable operation
- Programmable code protection
- Power saving Sleep mode
- Selectable oscillator options
- In-Circuit Debug (ICD) via two pins

CMOS Technology:

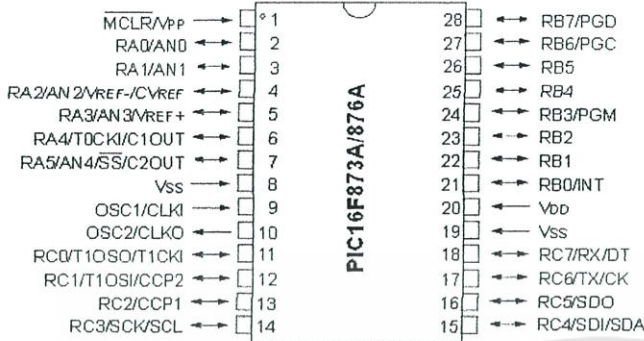
- Low-power, high-speed Flash/EEPROM technology
- Fully static design
- Wide operating voltage range (2.0V to 5.5V)
- Commercial and Industrial temperature ranges
- Low-power consumption

Device	Program Memory		Data SRAM (Bytes)	EEPROM (Bytes)	I/O	10-bit A/D (ch)	CCP (PWM)	MSSP		USART	Timers 8/16-bit	Comparators
	Bytes	# Single Word Instructions						SPI	Master I ² C			
PIC16F873A	7.2K	4096	192	128	22	5	2	Yes	Yes	Yes	2/1	2
PIC16F874A	7.2K	4096	192	128	33	8	2	Yes	Yes	Yes	2/1	2
PIC16F876A	14.3K	8192	368	256	22	5	2	Yes	Yes	Yes	2/1	2
PIC16F877A	14.3K	8192	368	256	33	8	2	Yes	Yes	Yes	2/1	2

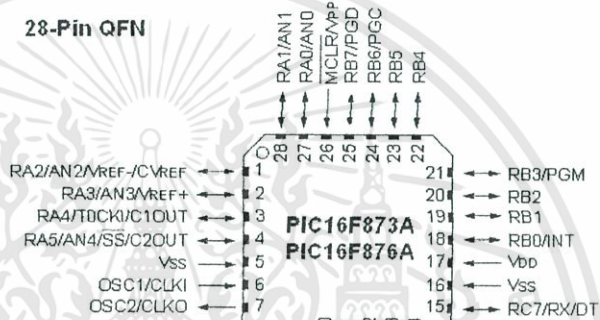
PIC16F87XA

Pin Diagrams

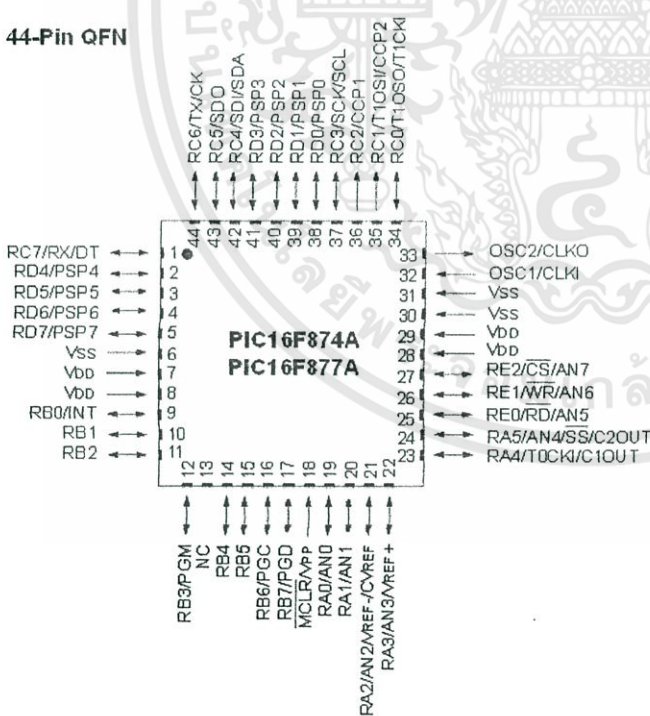
28-Pin PDIP, SOIC, SSOP



28-Pin QFN

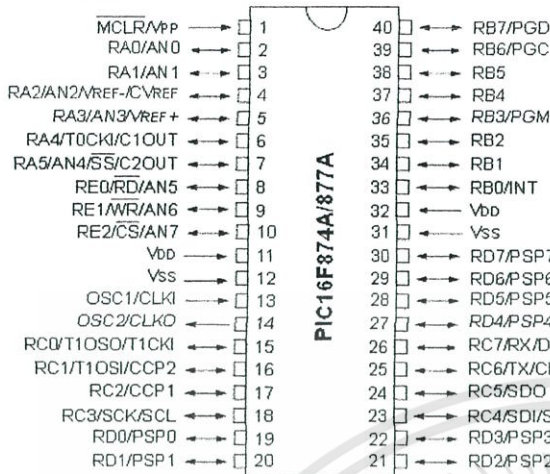


44-Pin QFN

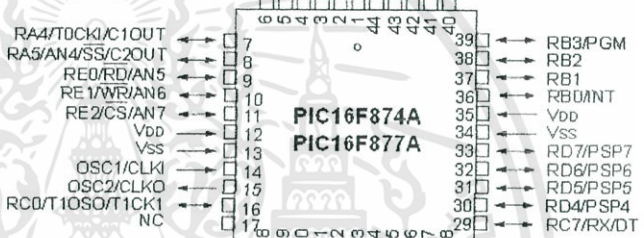


Pin Diagrams (Continued)

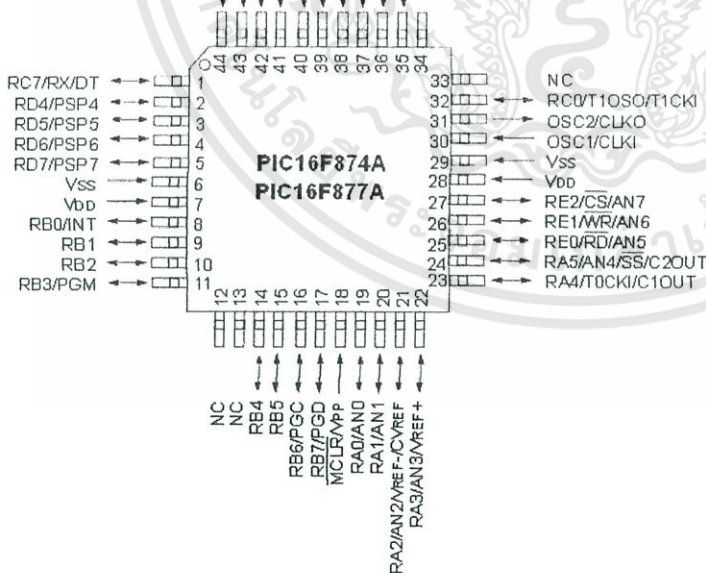
40-Pin PDIP



44-Pin PLCC



44-Pin TQFP



PIC16F87XA

Table of Contents

1.0	Device Overview	5
2.0	Memory Organization	15
3.0	Data EEPROM and Flash Program Memory	33
4.0	I/O Ports	41
5.0	Timer0 Module	53
6.0	Timer1 Module	57
7.0	Timer2 Module	61
8.0	Capture/Compare/PWM Modules	63
9.0	Master Synchronous Serial Port (MSSP) Module	71
10.0	Addressable Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter (USART)	111
11.0	Analog-to-Digital Converter (A/D) Module	127
12.0	Comparator Module	135
13.0	Comparator Voltage Reference Module	141
14.0	Special Features of the CPU	143
15.0	Instruction Set Summary	159
16.0	Development Support	167
17.0	Electrical Characteristics	173
18.0	DC and AC Characteristics Graphs and Tables	197
19.0	Packaging Information	208
	Appendix A: Revision History	219
	Appendix B: Device Differences	219
	Appendix C: Conversion Considerations	220
	Index	221
	On-Line Support	229
	Systems Information and Upgrade Hot Line	229
	Reader Response	230
	PIC16F87XA Product Identification System	231

TO OUR VALUED CUSTOMERS

It is our intention to provide our valued customers with the best documentation possible to ensure successful use of your Microchip products. To this end, we will continue to improve our publications to better suit your needs. Our publications will be refined and enhanced as new volumes and updates are introduced.

If you have any questions or comments regarding this publication, please contact the Marketing Communications Department via E-mail at docerrors@mail.microchip.com or fax the **Reader Response Form** in the back of this data sheet to (480) 792-4150. We welcome your feedback.

Most Current Data Sheet

To obtain the most up-to-date version of this data sheet, please register at our Worldwide Web site at:

<http://www.microchip.com>

You can determine the version of a data sheet by examining its literature number found on the bottom outside corner of any page. The last character of the literature number is the version number, (e.g., DS30000A is version A of document DS30000).

Errata

An errata sheet, describing minor operational differences from the data sheet and recommended workarounds, may exist for current devices. As device/documentation issues become known to us, we will publish an errata sheet. The errata will specify the revision of silicon and revision of document to which it applies.

To determine if an errata sheet exists for a particular device, please check with one of the following:

- Microchip's Worldwide Web site; <http://www.microchip.com>
- Your local Microchip sales office (see last page)
- The Microchip Corporate Literature Center; U.S. FAX: (480) 792-7277

When contacting a sales office or the literature center, please specify which device, revision of silicon and data sheet (include literature number) you are using.

Customer Notification System

Register on our Web site at www.microchip.com/cn to receive the most current information on all of our products.

1.0 DEVICE OVERVIEW

This document contains device specific information about the following devices:

- PIC16F873A
- PIC16F874A
- PIC16F876A
- PIC16F877A

PIC16F873A/876A devices are available only in 28-pin packages, while PIC16F874A/877A devices are available in 40-pin and 44-pin packages. All devices in the PIC16F87XA family share common architecture with the following differences:

- The PIC16F873A and PIC16F874A have one-half of the total on-chip memory of the PIC16F876A and PIC16F877A
- The 28-pin devices have three I/O ports, while the 40/44-pin devices have five
- The 28-pin devices have fourteen interrupts, while the 40/44-pin devices have fifteen
- The 28-pin devices have five A/D input channels, while the 40/44-pin devices have eight
- The Parallel Slave Port is implemented only on the 40/44-pin devices

The available features are summarized in Table 1-1. Block diagrams of the PIC16F873A/876A and PIC16F874A/877A devices are provided in Figure 1-1 and Figure 1-2, respectively. The pinouts for these device families are listed in Table 1-2 and Table 1-3.

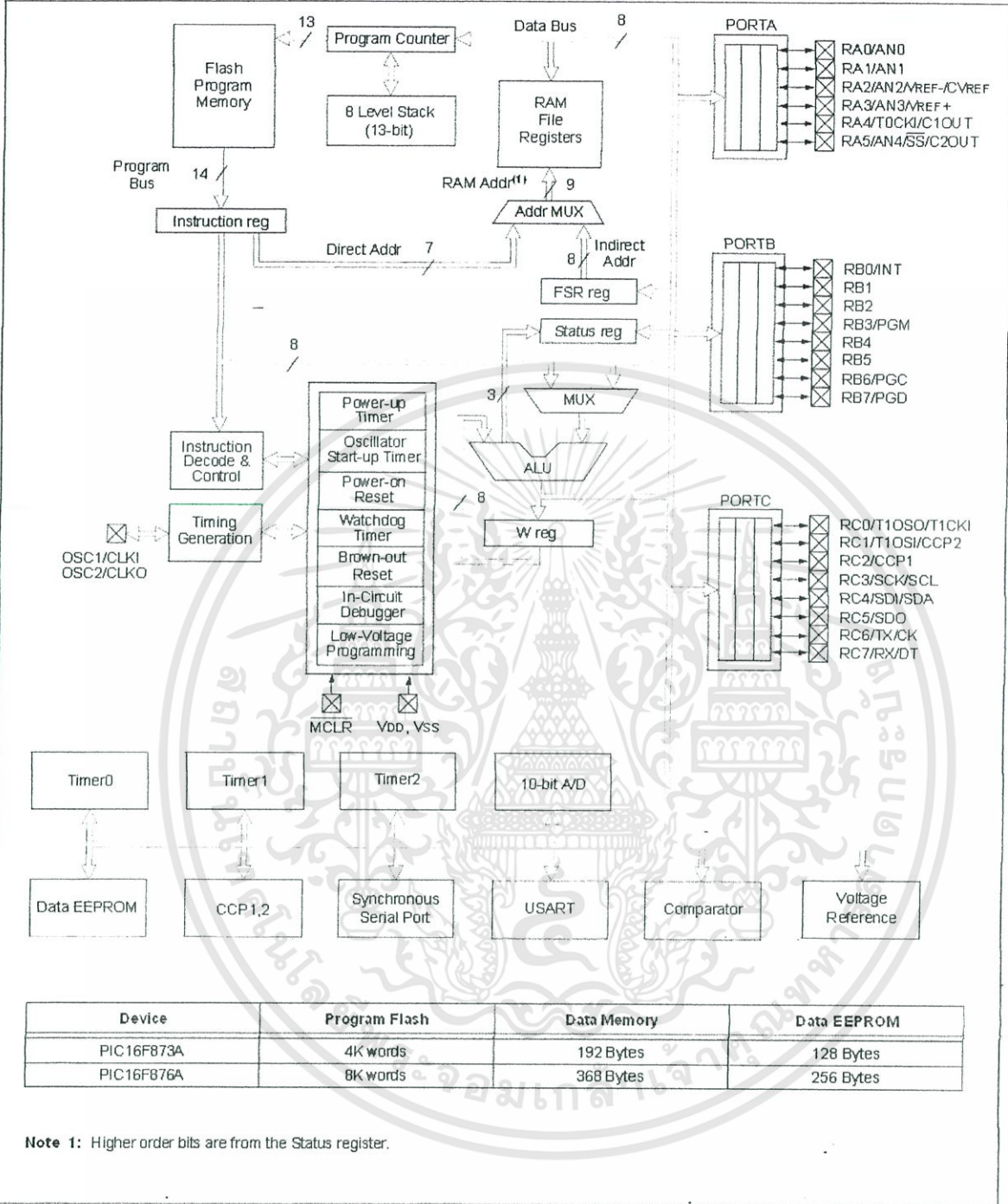
Additional information may be found in the PIC[®] Mid-Range Reference Manual (DS33023), which may be obtained from your local Microchip Sales Representative or downloaded from the Microchip web site. The Reference Manual should be considered a complementary document to this data sheet and is highly recommended reading for a better understanding of the device architecture and operation of the peripheral modules.

TABLE 1-1: PIC16F87XA DEVICE FEATURES

Key Features	PIC16F873A	PIC16F874A	PIC16F876A	PIC16F877A
Operating Frequency	DC – 20 MHz	DC – 20 MHz	DC – 20 MHz	DC – 20 MHz
Resets (and Delays)	POR, BOR (PWRT, OST)	POR, BOR (PWRT, OST)	POR, BOR (PWRT, OST)	POR, BOR (PWRT, OST)
Flash Program Memory (14-bit words)	4K	4K	8K	8K
Data Memory (bytes)	192	192	368	368
EEPROM Data Memory (bytes)	128	128	256	256
Interrupts	14	15	14	15
I/O Ports	Ports A, B, C	Ports A, B, C, D, E	Ports A, B, C	Ports A, B, C, D, E
Timers	3	3	3	3
Capture/Compare/PWM modules	2	2	2	2
Serial Communications	MSSP, USART	MSSP, USART	MSSP, USART	MSSP, USART
Parallel Communications	—	PSP	—	PSP
10-bit Analog-to-Digital Module	5 input channels	8 input channels	5 input channels	8 input channels
Analog Comparators	2	2	2	2
Instruction Set	35 Instructions	35 Instructions	35 Instructions	35 Instructions
Packages	28-pin PDIP 28-pin SOIC 28-pin SSOP 28-pin QFN	40-pin PDIP 44-pin PLCC 44-pin TQFP 44-pin QFN	28-pin PDIP 28-pin SOIC 28-pin SSOP 28-pin QFN	40-pin PDIP 44-pin PLCC 44-pin TQFP 44-pin QFN

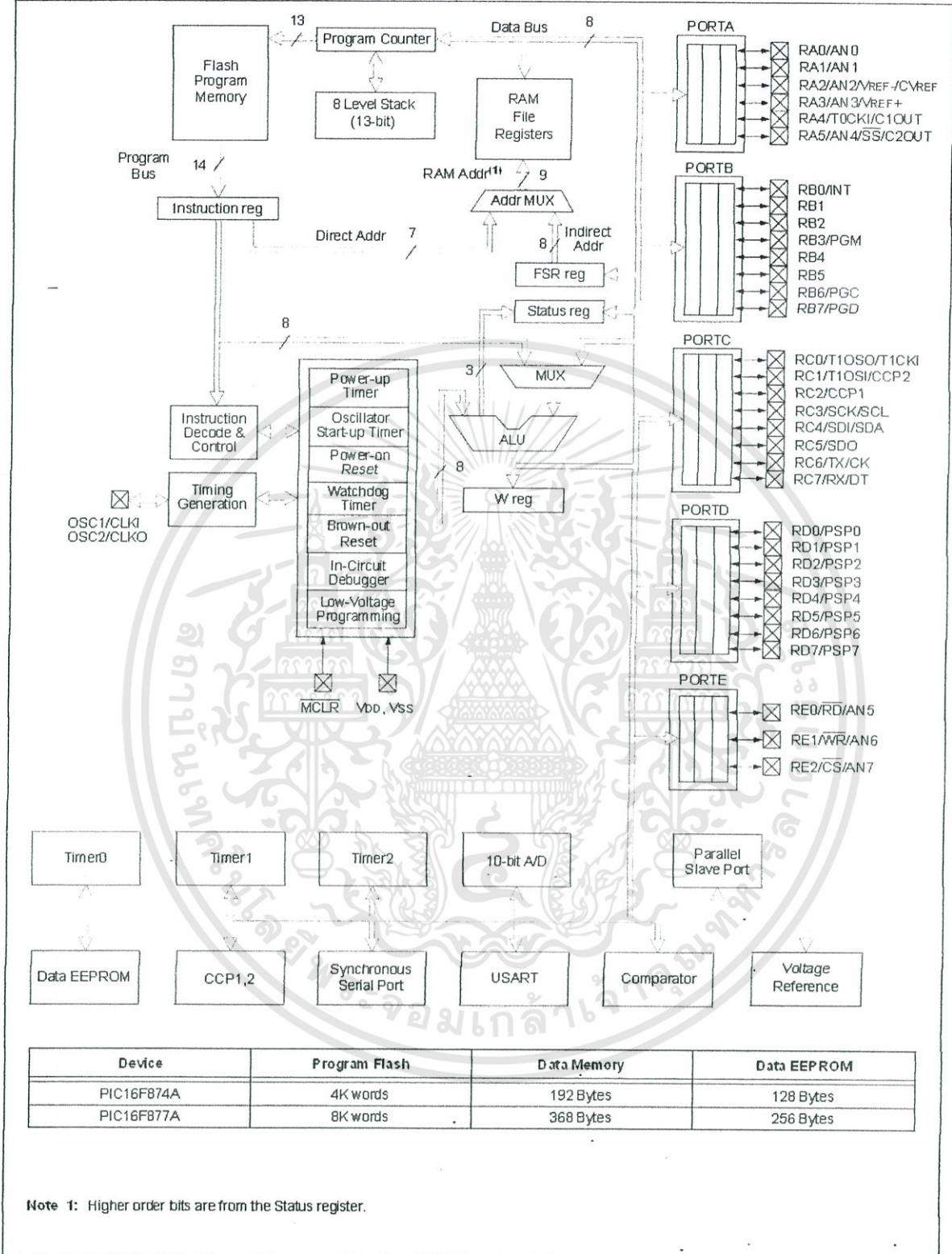
PIC16F87XA

FIGURE 1-1: PIC16F873A/876A BLOCK DIAGRAM



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FIGURE 1-2: PIC16F874A/877A BLOCK DIAGRAM



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PIC16F87XA

TABLE 1-2: PIC16F873A/876A PINOUT DESCRIPTION

Pin Name	PDIP, SOIC, SSOP Pin#	QFN Pin#	I/O/P Type	Buffer Type	Description
OSC1/CLKI OSC1 CLKI	9	6	I I	ST/CMOS ⁽³⁾	Oscillator crystal or external clock input. Oscillator crystal input or external clock source input. ST buffer when configured in RC mode; otherwise CMOS. External clock source input. Always associated with pin function OSC1 (see OSC1/CLKI, OSC2/CLKO pins).
OSC2/CLKO OSC2 CLKO	10	7	O O	—	Oscillator crystal or clock output. Oscillator crystal output. Connects to crystal or resonator in Crystal Oscillator mode. In RC mode, OSC2 pin outputs CLKO, which has 1/4 the frequency of OSC1 and denotes the instruction cycle rate.
MCLR/VPP MCLR VPP	1	26	I P	ST	Master Clear (input) or programming voltage (output). Master Clear (Reset) input. This pin is an active low Reset to the device. Programming voltage input.
RA0/AN0 RA0 AN0	2	27	I/O I	TTL	PORTA is a bidirectional I/O port. Digital I/O. Analog input 0.
RA1/AN1 RA1 AN1	3	28	I/O I	TTL	Digital I/O. Analog input 1.
RA2/AN2/VREF-/CVREF RA2 AN2 VREF- CVREF	4	1	I/O I I O	TTL	Digital I/O. Analog input 2. A/D reference voltage (Low) input. Comparator VREF output.
RA3/AN3/VREF+ RA3 AN3 VREF+	5	2	I/O I I	TTL	Digital I/O. Analog input 3. A/D reference voltage (High) input.
RA4/T0CKI/C1OUT RA4 T0CKI C1OUT	6	3	I/O I O	ST	Digital I/O – Open-drain when configured as output. Timer0 external clock input. Comparator 1 output.
RA5/AN4/SS/C2OUT RA5 AN4 SS C2OUT	7	4	I/O I I O	TTL	Digital I/O. Analog input 4. SPI slave select input. Comparator 2 output.

Legend: I = input O = output I/O = input/output P = power
 — = Not used TTL = TTL input ST = Schmitt Trigger input

- Note** 1: This buffer is a Schmitt Trigger input when configured as the external interrupt.
 2: This buffer is a Schmitt Trigger input when used in Serial Programming mode.
 3: This buffer is a Schmitt Trigger input when configured in RC Oscillator mode and a CMOS input otherwise.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TABLE 1-2: PIC16F873A/876A PINOUT DESCRIPTION (CONTINUED)

Pin Name	PDIP, SOIC, SSOP Pin#	QFN Pin#	I/O/P Type	Buffer Type	Description
RB0/INT RB0 INT	21	18	I/O I	TTL/ST ⁽¹⁾	PORTB is a bidirectional I/O port. PORTB can be software programmed for internal weak pull-ups on all inputs. Digital I/O. External interrupt.
RB1	22	19	I/O	TTL	Digital I/O.
RB2	23	20	I/O	TTL	Digital I/O.
RB3/PGM RB3 PGM	24	21	I/O I	TTL	Digital I/O. Low-voltage (single-supply) ICSP programming enable pin.
RB4	25	22	I/O	TTL	Digital I/O.
RB5	26	23	I/O	TTL	Digital I/O.
RB6/PGC RB6 PGC	27	24	I/O I	TTL/ST ⁽²⁾	Digital I/O. In-circuit debugger and ICSP programming clock.
RB7/PGD RB7 PGD	28	25	I/O I/O	TTL/ST ⁽²⁾	Digital I/O. In-circuit debugger and ICSP programming data.
RC0/T1OSO/T1CKI RC0 T1OSO T1CKI	11	8	I/O O I	ST	PORTC is a bidirectional I/O port. Digital I/O. Timer1 oscillator output. Timer1 external clock input.
RC1/T1OSI/CCP2 RC1 T1OSI CCP2	12	9	I/O I I/O	ST	Digital I/O. Timer1 oscillator input. Capture2 input, Compare2 output, PWM2 output.
RC2/CCP1 RC2 CCP1	13	10	I/O I/O	ST	Digital I/O. Capture1 input, Compare1 output, PWM1 output.
RC3/SCK/SCL RC3 SCK SCL	14	11	I/O I/O I/O	ST	Digital I/O. Synchronous serial clock input/output for SPI mode. Synchronous serial clock input/output for I ² C mode.
RC4/SDI/SDA RC4 SDI SDA	15	12	I/O I I/O	ST	Digital I/O. SPI data in. I ² C data I/O.
RC5/SDO RC5 SDO	16	13	I/O O	ST	Digital I/O. SPI data out.
RC6/TX/CK RC6 TX CK	17	14	I/O O I/O	ST	Digital I/O. USART asynchronous transmit. USART1 synchronous clock.
RC7/RX/DT RC7 RX DT	18	15	I/O I I/O	ST	Digital I/O. USART asynchronous receive. USART synchronous data.
VSS	8, 19	5, 6	P	—	Ground reference for logic and I/O pins.
VDD	20	17	P	—	Positive supply for logic and I/O pins.

Legend: I = input O = output I/O = input/output P = power
 — = Not used TTL = TTL input ST = Schmitt Trigger input

Note 1: This buffer is a Schmitt Trigger input when configured as the external interrupt.
2: This buffer is a Schmitt Trigger input when used in Serial Programming mode.
3: This buffer is a Schmitt Trigger input when configured in RC Oscillator mode and a CMOS input otherwise.

M·C·C·

Micro Commercial Components
21201 Itasca Street Chatsworth
CA 91311
Phone: (818) 701-4933
Fax: (818) 701-4939

FR201 THRU FR207

Features

- Low Cost
- Low Leakage
- Low Forward Voltage Drop
- High Current Capability
- Fast Switching Speed For High Efficiency

2 Amp Fast Recovery Rectifier 50 to 1000 Volts

Maximum Ratings

- Operating Temperature: -55°C to +150°C
- Storage Temperature: -55°C to +150°C

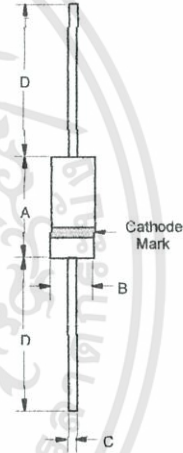
Microsemi Catalog Number	Device Marking	Maximum Recurrent Peak Reverse Voltage	Maximum RMS Voltage	Maximum DC Blocking Voltage
FR201	---	50V	35V	50V
FR202	---	100V	70V	100V
FR203	---	200V	140V	200V
FR204	---	400V	280V	400V
FR205	---	600V	420V	600V
FR206	---	800V	560V	800V
FR207	---	1000V	700V	1000V

Electrical Characteristics @ 25°C Unless Otherwise Specified

Average Forward Current	$I_{F(AV)}$	2 A	$T_A = 55^\circ\text{C}$
Peak Forward Surge Current	I_{FSM}	60A	8.3ms, half sine
Maximum Instantaneous Forward Voltage	V_F	1.3V	$I_{FM} = 2.0\text{A}; T_A = 25^\circ\text{C}$
Maximum DC Reverse Current At Rated DC Blocking Voltage	I_R	5.0 μA 100 μA	$T_A = 25^\circ\text{C}$ $T_A = 100^\circ\text{C}$
Maximum Reverse Recovery Time	T_{rr}	150ns 250ns 500ns	$I_F = 0.5\text{A}, I_R = 1.0\text{A}, I_T = 0.25\text{A}$
Typical Junction Capacitance	C_J	40pF	Measured at 1.0MHz, $V_R = 4.0\text{V}$

*Pulse Test: Pulse Width 300 μsec , Duty Cycle 1%

DO-15



DIMENSIONS					
DIM	INCHES		MM		NOTE
	MIN	MAX	MIN	MAX	
A	.230	.300	5.80	7.60	
B	.104	.140	2.60	3.60	
C	.026	.034	.70	.90	
D	1.000	—	25.40	—	

www.mccsemi.com

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Figure 1
Typical Forward Characteristics

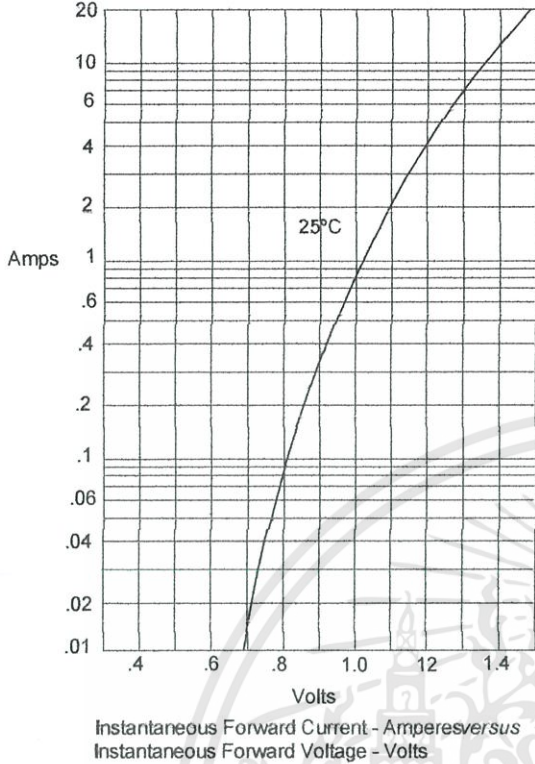


Figure 2
Forward Derating Curve

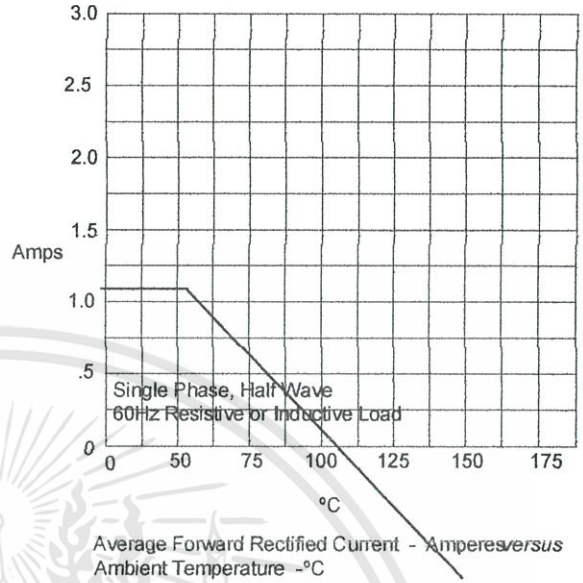
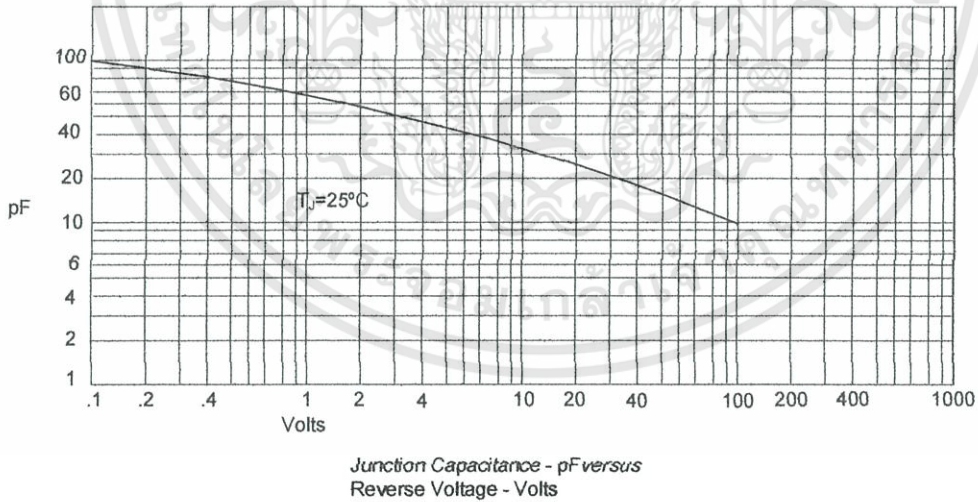


Figure 3
Junction Capacitance



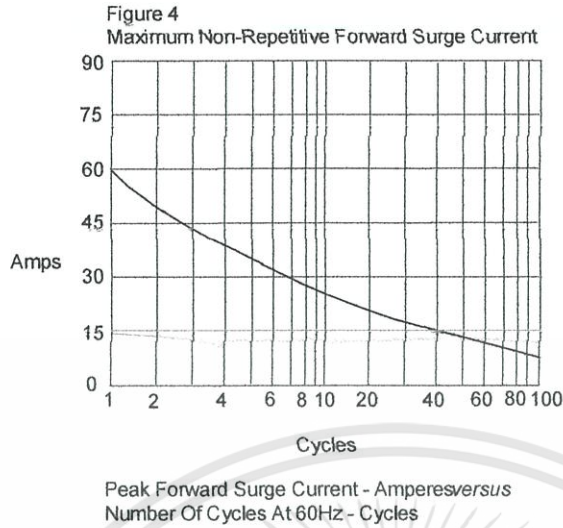
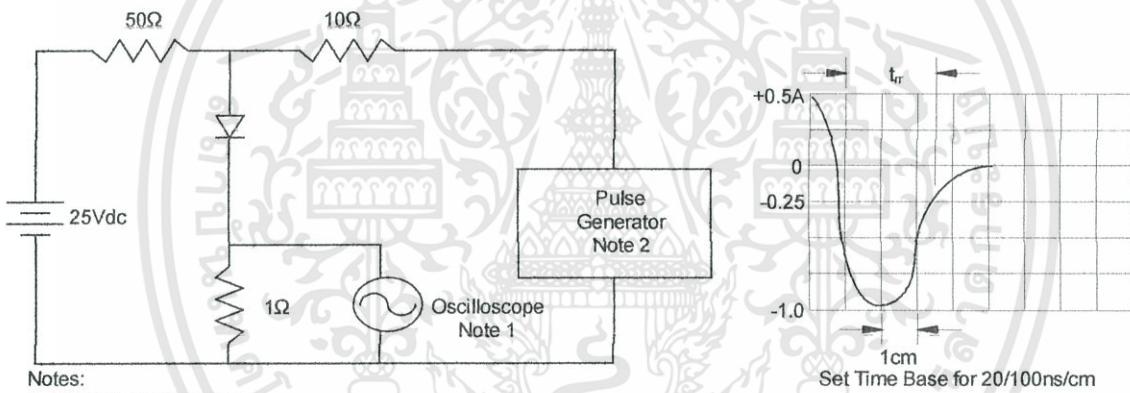


Figure 5
Reverse Recovery Time Characteristic And Test Circuit Diagram



- Notes:
1. Rise Time = 7ns max.
Input impedance = 1 megohm, 22pF
 2. Rise Time = 10ns max.
Source impedance = 50 ohms
 3. Resistors are non-inductive



1. FUNCTIONS & FEATURES

- | | |
|--|--|
| 1.1. Format | : 16x2 characters |
| 1.2. LCD mode | : STN / Positive / Transflective Mode / Grey |
| 1.3. Viewing direction | : 6 o'clock |
| 1.4. Driving scheme | : 1/16 Duty , 1/5 Bias |
| 1.5. Power supply voltage (V _{DD}) | : 5.0V |
| 1.6. LCD driving voltage(V _{op}) | : 4.2V |
| 1.7. Operation temp | : -20~70°C |
| 1.8. Storage temp | : -30~80°C |
| 1.9. Backlight | : White (Edge) |
| 1.10. RoHS compliant. | |

2. MECHANICAL SPECIFICATIONS

- | | |
|----------------------|--------------------------------------|
| 2.1. Module size | : 80.0mm(L)*36.0mm(W)*14.5(H) max mm |
| 2.2. Viewing area | : 62.2mm(L)*17.9mm(W) |
| 2.3. Character pitch | : 3.55mm(L)*5.95mm(W) |
| 2.4. Character size | : 2.95mm(L)*5.55mm(W) |
| 2.5. Dot pitch | : 0.55mm(L)*0.65mm(W) |
| 2.6. Dot size | : 0.60mm(L)*0.70mm(W) |
| 2.7. Weight | : Approx. |

3. BLOCK DIAGRAM

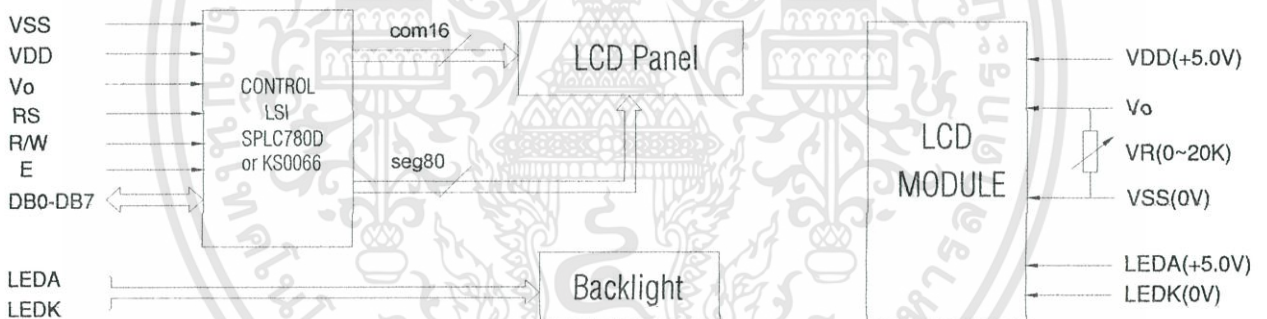


Figure1. Block diagram



4. DIMENSIONAL OUTLINE

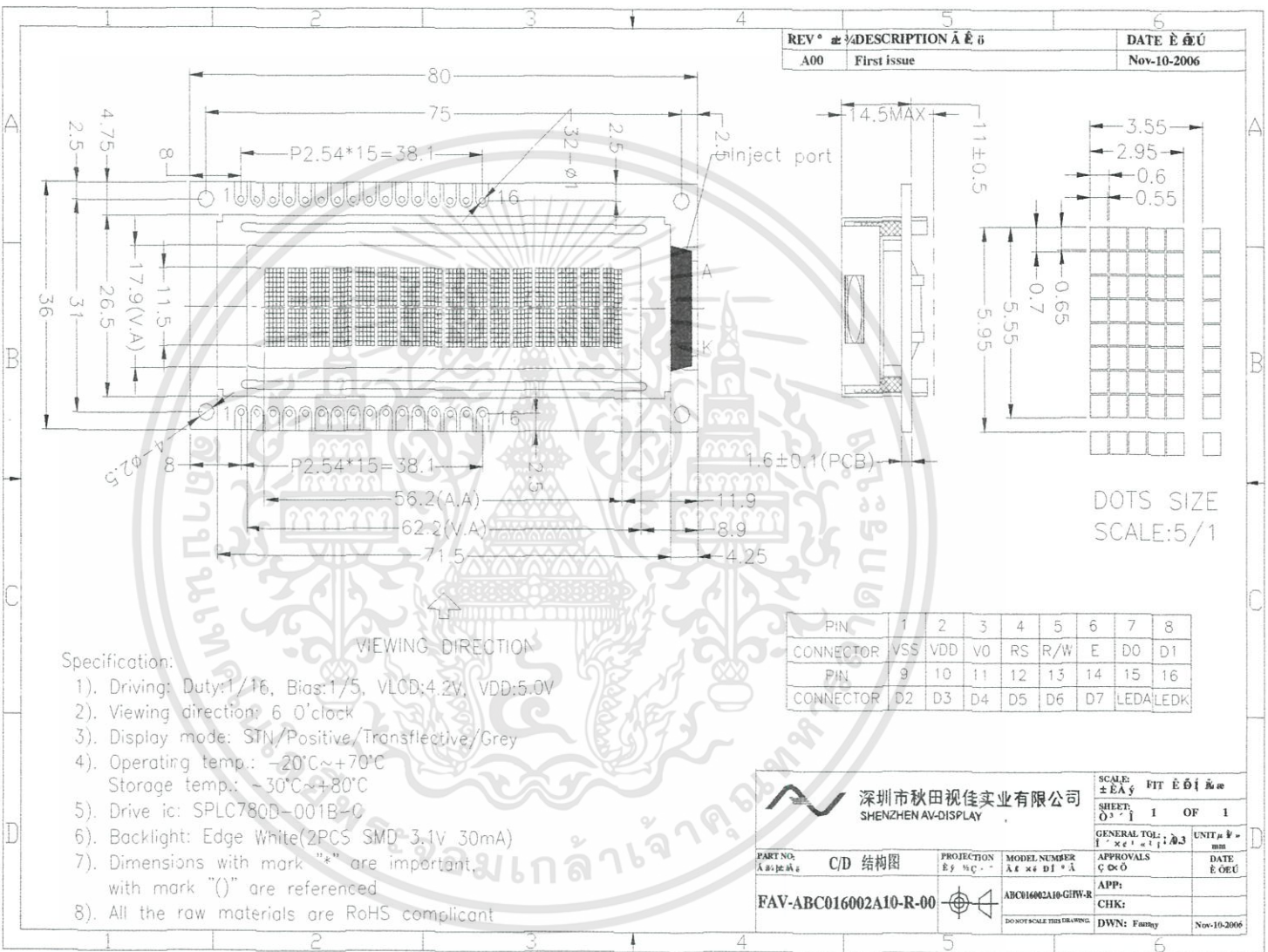


Figure 2. Dimensional outline



5. PIN DESCRIPTION

No.	Symbol	Function
1-2	VDD	Power supply for Logic(+5V)
2-1	VSS	GND(0V)
3	V0	Power supply for LCD drive
4	RS	Register selection (H: Data register, L: Instruction register)
5	R/W	Read/write selection (H: Read, L: Write)
6	E	Enable signal for LCM
7~14	DB0~DB7	Data Bus line
15	LEDA	Power supply for Backlight(+5.0V)
16	LEDK	Power supply for Backlight(0V)

6. MAXIMUM ABSOLUTE LIMIT

Maximum Absolute Power Ratings

Characteristic	Symbol	Unit	Value
Power Supply Voltage	V_{DD}	V	-0.3 to +7.0
Operating Voltage	V_{LCD}	V	$V_{DD}-15.0$ to $V_{DD}+0.3$
Input Voltage	V_{IN}	V	-0.3 to $V_{DD}+0.3$

NOTE: Voltage greater than above may damage the circuit.
 $V_{DD} > V1 > V2 > V3 > V4 > V5$

Temperature Characteristics

Characteristic	Symbol	Unit	Value
Operating Temperature	T_{CPR}	°C	-30 to +85
Storage Temperature	T_{STG}	°C	-55 to +125



7. ELECTRICAL CHARACTERISTICS

7.1 DC CHARACTERISTICS

(V_{DD} = 4.5V ~ 5.5V, T_a = -30°C ~ +85°C)

Characteristic	Symbol	Condition	Min	Typ	Max	Unit
Operating Voltage	V _{DD}	—	4.5	—	5.5	V
Operating Current	I _{DD}	Internal oscillation or external clock (V _{DD} = 5.0V, f _{osc} = 270kHz)	—	0.35	0.6	mA
Input Voltage (1) (except OSC1)	V _{IH1}	—	2.2	—	V _{DD}	V
	V _{IL1}	—	-0.3	—	0.6	
Input Voltage (2) (OSC1)	V _{IH2}	—	V _{DD} -1.0	—	V _{DD}	V
	V _{IL2}	—	-0.2	—	1.0	
Output Voltage (1) (DB0 to DB7)	V _{OH1}	I _{OH} = -0.205mA	2.4	—	—	V
	V _{OL1}	I _{OL} = 1.2mA	—	—	0.4	
Output Voltage (2) (except DB0 to DB7)	V _{OH2}	I _O = -40μA	0.9V _{DD}	—	—	V
	V _{OL2}	I _O = 40μA	—	—	0.1V _{DD}	
Voltage Drop	V _{dCOM}	I _O = ±0.1mA	—	—	1	V
	V _{dSEG}		—	—	1	
Input Leakage Current	I _{LKG}	V _{IN} = 0V to V _{DD}	-1	—	1	μA
Input Low Current	I _{IL}	V _{IN} = 0V, V _{DD} = 5V (pull up)	-50	-125	-250	
Internal Clock (external Rf)	f _{OSC1}	Rf = 91kΩ ± 2% (V _{DD} = 5V)	190	270	350	kHz
External Clock	f _{OSC}	—	125	270	350	kHz
	duty		45	50	55	%
	t _R , t _F		—	—	0.2	μA
LCD Driving Voltage	V _{LCD}	V _{DD} -V5 (1/5, 1/4 bias)	3.0	—	13.0	V



7.2 AC Characteristics

(VDD = 4.5V ~ 5.5V, Ta = -30 °C ~ +85°C)

Mode	Characteristics	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
Write Mode (refer to Figure-6)	E Cycle Time	t_c	500	-	-	ns
	E Rise / Fall Time	$t_{R, F}$	-	-	20	
	E Pulse Width (High, Low)	t_w	230	-	-	
	R/W and RS Setup Time	t_{su1}	40	-	-	
	R/W and RS Hold Time	t_{H1}	10	-	-	
	Data Setup Time	t_{su2}	80	-	-	
	Data Hold Time	t_{H2}	10	-	-	
Read Mode (refer to Figure-7)	E Cycle Time	t_c	500	-	-	ns
	E Rise / Fall Time	$t_{R, F}$	-	-	20	
	E Pulse Width (High, Low)	t_w	230	-	-	
	R/W and RS Setup Time	t_{su}	40	-	-	
	R/W and RS Hold Time	t_H	10	-	-	
	Data Output Delay Time	t_D	-	-	120	
	Data Hold Time	t_{DH}	5	-	-	

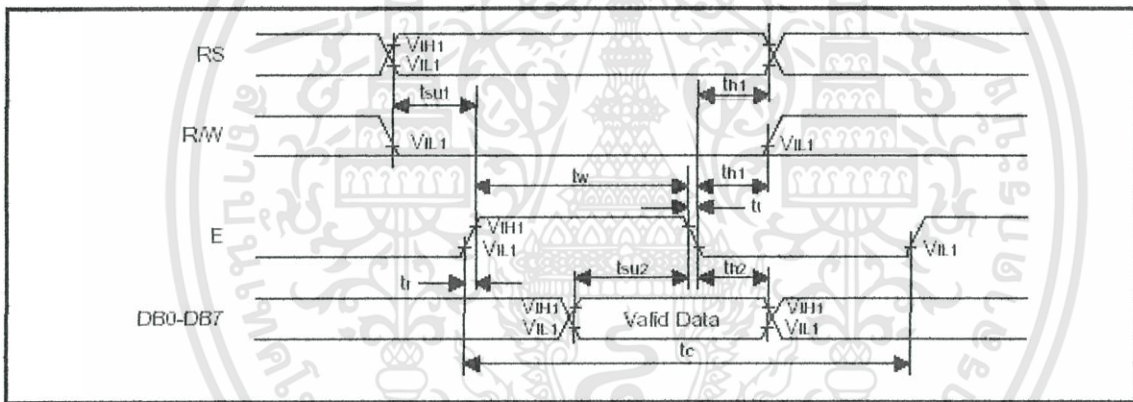


Figure 6. Write Mode Timing Diagram

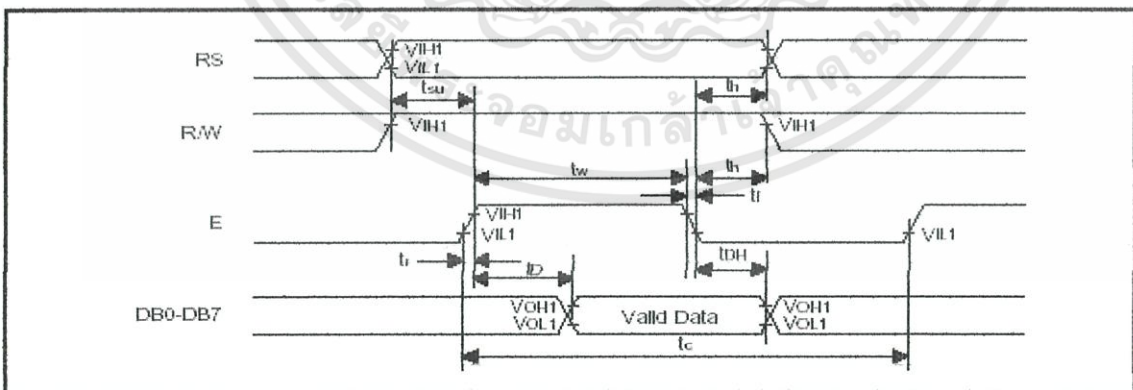
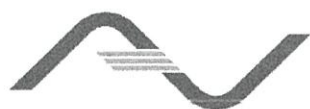


Figure 7. Read Mode Timing Diagram



8. CONTROL AND DISPLAY INSTRUCTION

Instruction	Instruction Code										Description Instruction Code	Execution time (f _{osc} =270kHz)
	RS	R/W	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0		
Clear Display	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	Write "20H" to DDRAM, and set DDRAM address to "00H" from AC.	1.53ms
Return Home	0	0	0	0	0	0	0	0	1	X	Set DDRAM address to "00H" from AC and return cursor to its original position if shifted. The contents of DDRAM are not changed.	1.53ms
Entry Mode Set	0	0	0	0	0	0	0	1	I/D	SH	Assign cursor moving direction and make shift of entire display enable.	39μs
Display ON/OFF Control	0	0	0	0	0	0	1	D	C	B	Set display(D), cursor(C), and blinking of cursor(B) on/off control bit.	39μs
Cursor or Display Shift	0	0	0	0	0	1	S/C	R/L	X	X	Set cursor moving and display shift control bit, and the direction, without changing DDRAM data.	39μs
Function Set	0	0	0	0	1	DL	N	F	X	X	Set interface data length (DL: 4-bit/8-bit), numbers of display line (N: 1-line/2-line), display font type(F: 5 X 8 dots/ 5 X 11 dots)	39μs
Set CGRAM Address	0	0	0	1	AC5	AC4	AC3	AC2	AC1	AC0	Set CGRAM address in address counter.	39μs
Set DDRAM Address	0	0	1	AC6	AC5	AC4	AC3	AC2	AC1	AC0	Set DDRAM address in address counter.	39μs
Read Busy Flag and Address	0	1	BF	AC6	AC5	AC4	AC3	AC2	AC1	AC0	Whether during internal operation or not can be known by reading BF. The contents of address counter can also be read.	0μs
Write Data to RAM	1	0	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0	Write data into internal RAM (DDRAM/CGRAM).	43μs
Read Data from RAM	1	1	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0	Read data from internal RAM (DDRAM/CGRAM).	43μs

NOTE: When an MPU program with checking the Busy Flag (DB7) is made, it must be necessary 1/2 F_{osc} is necessary for executing the next instruction by the falling edge of the 'E' signal after the Busy Flag (DB7) goes to "Low".



9. CHARACTER GENERATOR ROM

Upper 4 bit / Lower 4 bit	LLLL	LLLH	LLHL	LLHH	LHLI	LHLH	LHLL	LHHL	HLLL	HLLH	HLHL	HLHH	HHLL	HHLH	HHHL	HHHH
LLLL	士	!	山	山	山	山	山	山	山	山	山	山	山	山	山	山
LLLH	山	山	山	山	山	山	山	山	山	山	山	山	山	山	山	山
LLHL	山	山	山	山	山	山	山	山	山	山	山	山	山	山	山	山
LLHH	山	山	山	山	山	山	山	山	山	山	山	山	山	山	山	山
LHLI	山	山	山	山	山	山	山	山	山	山	山	山	山	山	山	山
LHLH	山	山	山	山	山	山	山	山	山	山	山	山	山	山	山	山
LHLL	山	山	山	山	山	山	山	山	山	山	山	山	山	山	山	山
LHHL	山	山	山	山	山	山	山	山	山	山	山	山	山	山	山	山
HLLL	山	山	山	山	山	山	山	山	山	山	山	山	山	山	山	山
HLLH	山	山	山	山	山	山	山	山	山	山	山	山	山	山	山	山
HLHL	山	山	山	山	山	山	山	山	山	山	山	山	山	山	山	山
HLHH	山	山	山	山	山	山	山	山	山	山	山	山	山	山	山	山
HHLL	山	山	山	山	山	山	山	山	山	山	山	山	山	山	山	山
HHLH	山	山	山	山	山	山	山	山	山	山	山	山	山	山	山	山
HHHL	山	山	山	山	山	山	山	山	山	山	山	山	山	山	山	山
HHHH	山	山	山	山	山	山	山	山	山	山	山	山	山	山	山	山

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



10. ELECTRO-OPTICAL CHARACTERISTICS

($V_{DD} = 5.0V, T_a = 25^\circ C$)

Item	Symbol	Condition	Min	Typ	Max	Unit
Operating Voltage Of LCD	Vop	Ta = -20°C	4.6	4.8	5.0	V
		Ta = 25°C	4.0	4.2	4.5	
		Ta = 70°C	3.7	3.8	4.0	
Response time	Tr	Ta = 25°C	---	185	---	ms
	Tf		---	200	---	ms
Contrast	Cr	Ta = 25°C	---	4	---	---
Viewing angle range	θ	Cr ≥ 2	-40	---	+40	deg
	Φ		-40	---	+40	deg



11. BACKLIGHT CHARACTERISTICS

LCD Module with edge LED Backlight
ELECTRICAL RATINGS

Ta = 25°C

Item	Symbol	Condition	Min	Typ	Max	Unit
Forward Voltage	VF	IF=30mA	2.8	3.1	3.3	V
Reverse Current	IR	VR=5V	---	30	---	uA
Luminous Intensity (With LCD dots off)	IV	IF=30mA	---	20	---	Cd/m ²
Wave length	$\lambda\rho$	IF=30mA	---	--	---	nm
Color	White					

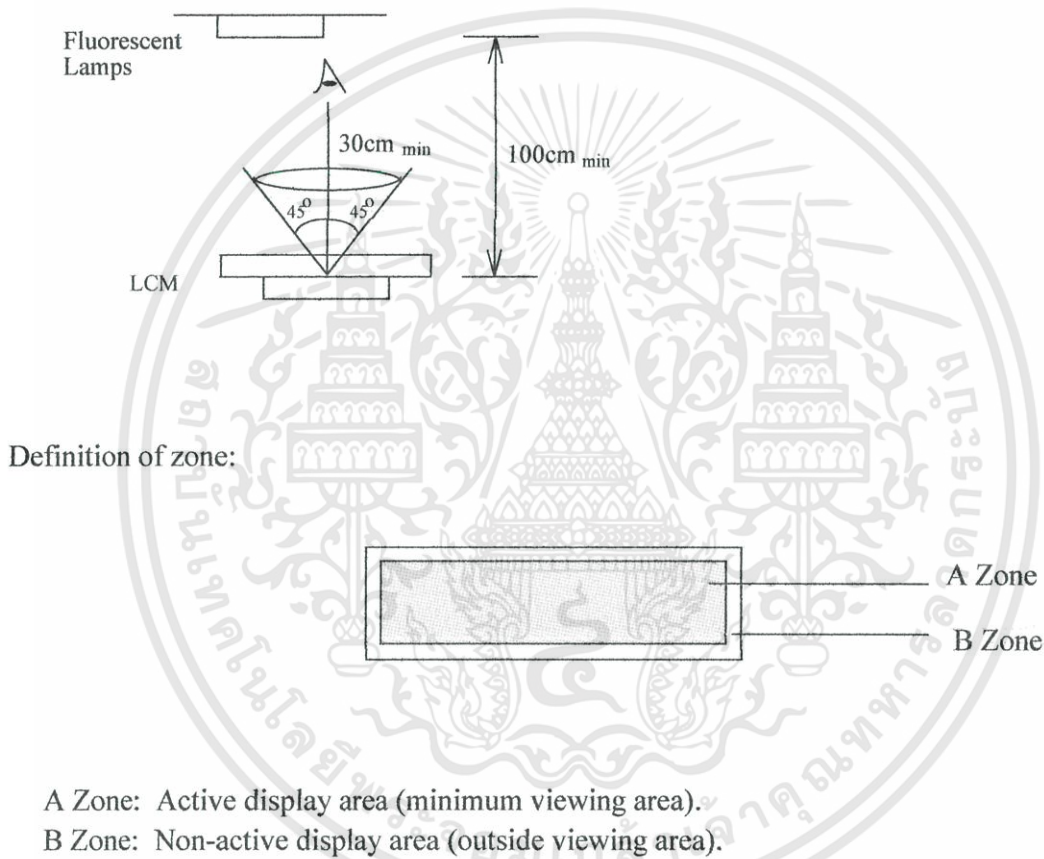


12.QUALITY SPECIFICATIONS

12.1 Standard of the product appearance test

Manner of appearance test: The inspection should be performed in using 20W x 2 fluorescent lamps. Distance between LCM and fluorescent lamps should be 100 cm or more. Distance between LCM and inspector eyes should be 30 cm or more.

Viewing direction for inspection is 45° from vertical against LCM.



12.2 Specification of quality assurance

AQL inspection standard

Sampling method: MIL-STD-105E, Level II, single sampling





Defect classification (Note: * is not including)

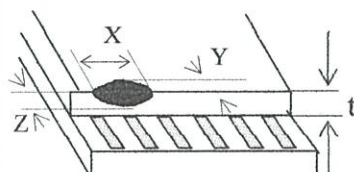
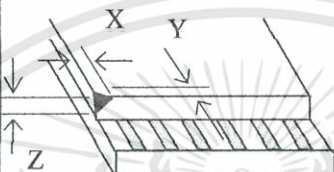
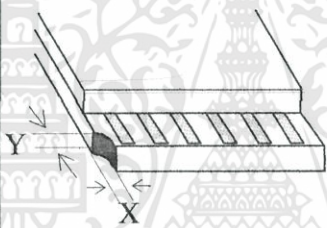
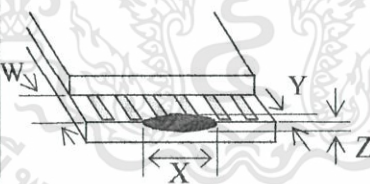
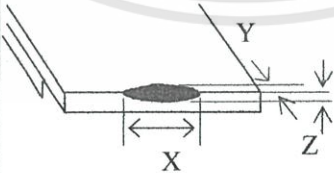
Classify	Item		Note	AQL
Major	Display state	Short or open circuit	1	0.65
		LC leakage		
		Flickering		
		No display		
		Wrong viewing direction		
		Contrast defect (dim, ghost)	2	
	Non-display	Back-light	1,8	
		Flat cable or pin reverse	10	
Minor	Display state	Wrong or missing component	11	
		Background color deviation	2	
		Black spot and dust	3	
		Line defect, Scratch	4	
		Rainbow	5	
		Chip	6	
	Polarizer	Pin hole	7	
		Protruded	12	
	Soldering	Bubble and foreign material	3	
		Poor connection	9	
	Wire	Poor connection	10	
	TAB	Position, Bonding strength	13	

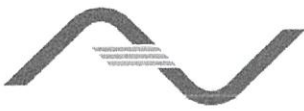


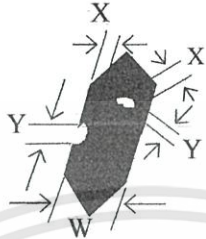
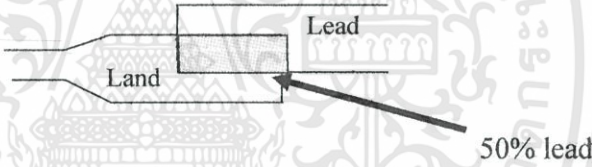
Note on defect classification

No.	Item	Criterion																				
1	Short or open circuit	Not allow																				
	LC leakage																					
	Flickering																					
	No display																					
	Wrong viewing direction																					
	Wrong Back-light																					
2	Contrast defect	Refer to approval sample																				
	Background color deviation																					
3	Point defect, Black spot, dust (including Polarizer)	 <table border="1" data-bbox="800 851 1215 1131"> <thead> <tr> <th>Point Size</th> <th>Acceptable Qty.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>$\phi \leq 0.10$</td> <td>Disregard</td> </tr> <tr> <td>$0.10 < \phi \leq 0.20$</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td>$0.20 < \phi \leq 0.25$</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>$0.25 < \phi \leq 0.30$</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>$\phi > 0.30$</td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table> <p>$\phi = (X+Y)/2$</p> <p>Unit: mm</p>	Point Size	Acceptable Qty.	$\phi \leq 0.10$	Disregard	$0.10 < \phi \leq 0.20$	3	$0.20 < \phi \leq 0.25$	2	$0.25 < \phi \leq 0.30$	1	$\phi > 0.30$	0								
	Point Size		Acceptable Qty.																			
$\phi \leq 0.10$	Disregard																					
$0.10 < \phi \leq 0.20$	3																					
$0.20 < \phi \leq 0.25$	2																					
$0.25 < \phi \leq 0.30$	1																					
$\phi > 0.30$	0																					
4	Line defect, Scratch	 <table border="1" data-bbox="735 1293 1259 1541"> <thead> <tr> <th colspan="2">Line</th> <th>Acceptable Qty.</th> </tr> <tr> <th>L</th> <th>W</th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>---</td> <td>$0.015 \geq W$</td> <td>Disregard</td> </tr> <tr> <td>$3.0 \geq L$</td> <td>$0.03 \geq W$</td> <td rowspan="2">2</td> </tr> <tr> <td>$2.0 \geq L$</td> <td>$0.05 \geq W$</td> </tr> <tr> <td>$1.0 \geq L$</td> <td>$0.1 > W$</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>---</td> <td>$0.05 < W$</td> <td>Applied as point defect</td> </tr> </tbody> </table> <p>Unit: mm</p>	Line		Acceptable Qty.	L	W		---	$0.015 \geq W$	Disregard	$3.0 \geq L$	$0.03 \geq W$	2	$2.0 \geq L$	$0.05 \geq W$	$1.0 \geq L$	$0.1 > W$	1	---	$0.05 < W$	Applied as point defect
Line		Acceptable Qty.																				
L	W																					
---	$0.015 \geq W$	Disregard																				
$3.0 \geq L$	$0.03 \geq W$	2																				
$2.0 \geq L$	$0.05 \geq W$																					
$1.0 \geq L$	$0.1 > W$	1																				
---	$0.05 < W$	Applied as point defect																				
5	Rainbow	Not more than two color changes across the viewing area.																				

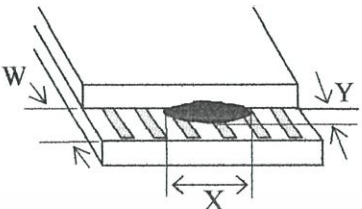
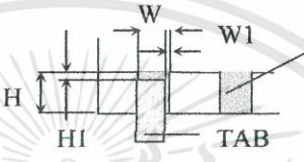



No	Item	Criterion							
6	Chip Remark: X: Length direction Y: Short direction Z: Thickness direction t: Glass thickness W: Terminal Width	 <p>Acceptable criterion</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>X</th> <th>Y</th> <th>Z</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>≤ 2</td> <td>0.5mm</td> <td>$\leq t/2$</td> </tr> </tbody> </table>	X	Y	Z	≤ 2	0.5mm	$\leq t/2$	
		X	Y	Z					
		≤ 2	0.5mm	$\leq t/2$					
		 <p>Acceptable criterion</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>X</th> <th>Y</th> <th>Z</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>≤ 2</td> <td>0.5mm</td> <td>$\leq t$</td> </tr> </tbody> </table>	X	Y	Z	≤ 2	0.5mm	$\leq t$	
		X	Y	Z					
≤ 2	0.5mm	$\leq t$							
 <p>Acceptable criterion</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>X</th> <th>Y</th> <th>Z</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>≤ 3</td> <td>≤ 2</td> <td>$\leq t$</td> </tr> <tr> <td colspan="2">shall not reach to ITO</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	X	Y	Z	≤ 3	≤ 2	$\leq t$	shall not reach to ITO		
X	Y	Z							
≤ 3	≤ 2	$\leq t$							
shall not reach to ITO									
 <p>Acceptable criterion</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>X</th> <th>Y</th> <th>Z</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Disregard</td> <td>≤ 0.2</td> <td>$\leq t$</td> </tr> </tbody> </table>	X	Y	Z	Disregard	≤ 0.2	$\leq t$			
X	Y	Z							
Disregard	≤ 0.2	$\leq t$							
 <p>Acceptable criterion</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>X</th> <th>Y</th> <th>Z</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>≤ 5</td> <td>≤ 2</td> <td>$\leq t/3$</td> </tr> </tbody> </table>	X	Y	Z	≤ 5	≤ 2	$\leq t/3$			
X	Y	Z							
≤ 5	≤ 2	$\leq t/3$							



No.	Item	Criterion								
7	Segment pattern W = Segment width $\phi = (X+Y)/2$	<p>(1) Pin hole $\phi < 0.10\text{mm}$ is acceptable.</p>  <table border="1" data-bbox="797 487 1234 655"> <thead> <tr> <th>Point Size</th> <th>Acceptable Qty</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>$\phi \leq 1/4W$</td> <td>Disregard</td> </tr> <tr> <td>$1/4W < \phi \leq 1/2W$</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>$\phi > 1/2W$</td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table> <p style="text-align: right;">Unit: mm</p>	Point Size	Acceptable Qty	$\phi \leq 1/4W$	Disregard	$1/4W < \phi \leq 1/2W$	1	$\phi > 1/2W$	0
Point Size	Acceptable Qty									
$\phi \leq 1/4W$	Disregard									
$1/4W < \phi \leq 1/2W$	1									
$\phi > 1/2W$	0									
8	Back-light	<p>(1) The color of backlight should correspond its specification. (2) Not allow flickering</p>								
9	Soldering	<p>(1) Not allow heavy dirty and solder ball on PCB. (The size of dirty refer to point and dust defect) (2) Over 50% of lead should be soldered on Land.</p> 								
10	Wire	<p>(1) Copper wire should not be rusted (2) Not allow crack on copper wire connection. (3) Not allow reversing the position of the flat cable. (4) Not allow exposed copper wire inside the flat cable.</p>								
11*	PCB	<p>(1) Not allow screw rust or damage. (2) Not allow missing or wrong putting of component.</p>								



No	Item	Criterion
12	Protruded W: Terminal Width	 <p>Acceptable criteria: $Y \leq 0.4$</p>
13	TAB	<p>1. Position</p>  <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin-left: auto; margin-right: auto;"> $W1 \leq 1/3W$ $HI \leq 1/3H$ </div> <p>2. TAB bonding strength test</p>  <p>$P (=F/TAB \text{ bonding width}) \geq 650gf/cm$, (speed rate: 1mm/min) 5pcs per SOA (shipment)</p>
14	Total no. of acceptable Defect	<p>A. Zone</p> <p>Maximum 2 minor non-conformities per one unit. Defect distance: each point to be separated over 10mm</p> <p>B. Zone</p> <p>It is acceptable when it is no trouble for quality and assembly in customer's end product.</p>



12.3 Reliability of LCM

Reliability test condition:

Item	Condition	Time (hrs)	Assessment
High temp. Storage	80°C	48	No abnormalities in functions and appearance
High temp. Operating	70°C	48	
Low temp. Storage	-30°C	48	
Low temp. Operating	-20°C	48	
Humidity	40°C/ 90%RH	48	
Temp. Cycle	-20°C ← 25°C → 70°C (30 min ← 5 min → 30min)	10cycles	

Recovery time should be 24 hours minimum. Moreover, functions, performance and appearance shall be free from remarkable deterioration within 50,000 hours under ordinary operating and storage conditions room temperature (20±8°C), normal humidity (below 65% RH), and in the area not exposed to direct sun light.

12.4 Precaution for using LCD/LCM

LCD/LCM is assembled and adjusted with a high degree of precision. Do not attempt to make any alteration or modification. The followings should be noted.

General Precautions:

1. LCD panel is made of glass. Avoid excessive mechanical shock or applying strong pressure onto the surface of display area.
2. The polarizer used on the display surface is easily scratched and damaged. Extreme care should be taken when handling. To clean dust or dirt off the display surface, wipe gently with cotton, or other soft material soaked with isopropyl alcohol, ethyl alcohol or trichlorotrifluoroethane, do not use water, ketone or aromatics and never scrub hard.
3. Do not tamper in any way with the tabs on the metal frame.
4. Do not make any modification on the PCB without consulting AV.
5. When mounting a LCM, make sure that the PCB is not under any stress such as bending or twisting. Elastomer contacts are very delicate and missing pixels could result from slight dislocation of any of the elements.
6. Avoid pressing on the metal bezel, otherwise the elastomer connector could be deformed and lose contact, resulting in missing pixels and also cause rainbow on the display.

LM2576/LM2576HV Series SIMPLE SWITCHER® 3A Step-Down Voltage Regulator

Check for Samples: LM2576, LM2576HV

FEATURES

- 3.3V, 5V, 12V, 15V, and Adjustable Output Versions
- Adjustable Version Output Voltage Range, 1.23V to 37V (57V for HV Version) $\pm 4\%$ Max Over Line and Load Conditions
- Specified 3A Output Current
- Wide Input Voltage Range, 40V Up to 60V for HV Version
- Requires Only 4 External Components
- 52 kHz Fixed Frequency Internal Oscillator
- TTL Shutdown Capability, Low Power Standby Mode
- High Efficiency
- Uses Readily Available Standard Inductors
- Thermal Shutdown and Current Limit Protection
- P+ Product Enhancement Tested

APPLICATIONS

- Simple High-Efficiency Step-Down (Buck) Regulator
- Efficient Pre-Regulator for Linear Regulators
- On-Card Switching Regulators
- Positive to Negative Converter (Buck-Boost)

TYPICAL APPLICATION

(Fixed Output Voltage Versions)

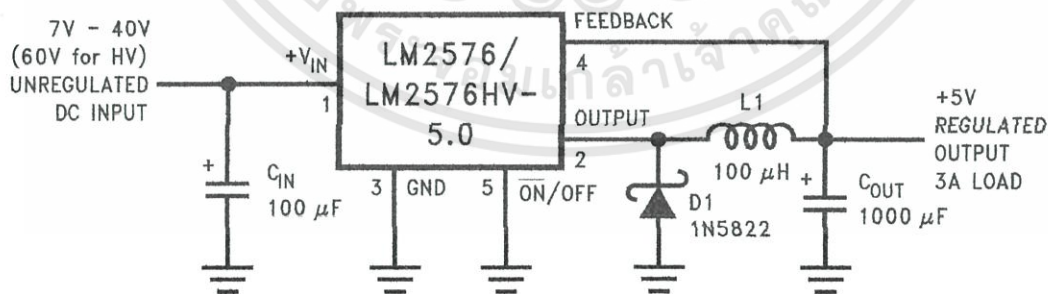


Figure 1.

DESCRIPTION

The LM2576 series of regulators are monolithic integrated circuits that provide all the active functions for a step-down (buck) switching regulator, capable of driving 3A load with excellent line and load regulation. These devices are available in fixed output voltages of 3.3V, 5V, 12V, 15V, 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 LM2576 series offers a high-efficiency replacement for popular three-terminal linear regulators. It substantially reduces the size of the heat sink, and in some cases no heat sink is required.

A standard series of inductors optimized for use with the LM2576 are available from several different manufacturers. This feature greatly simplifies the design of switch-mode power supplies.

Other features include a specified $\pm 4\%$ tolerance on output voltage within specified input voltages and output load conditions, and $\pm 10\%$ on the oscillator frequency. External shutdown is included, featuring 50 μ A (typical) standby current. The output switch includes cycle-by-cycle current limiting, as well as thermal shutdown for full protection under fault conditions.

 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.

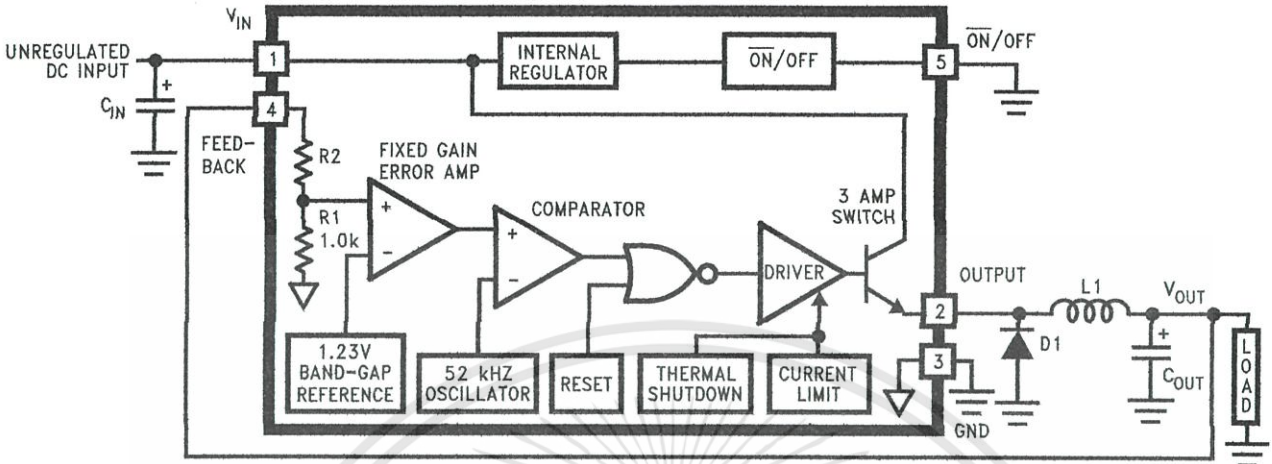
SIMPLE SWITCHER is a registered trademark of Texas Instruments.
All other trademarks are the property of their respective owners.

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

Copyright © 1999–2013, Texas Instruments Incorporated


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Block Diagram



3.3V R2 = 1.7k
 5V, R2 = 3.1k
 12V, R2 = 8.84k
 15V, R2 = 11.3k
 For ADJ. Version
 R1 = Open, R2 = 0Ω
 Patent Pending





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 ⁽¹⁾⁽²⁾

Maximum Supply Voltage	LM2576	45V
	LM2576HV	63V
ON /OFF Pin Input Voltage		$-0.3V \leq V \leq +V_{IN}$
Output Voltage to Ground	(Steady State)	-1V
Power Dissipation		Internally Limited
Storage Temperature Range		-65°C to +150°C
Maximum Junction Temperature		150°C
Minimum ESD Rating	(C = 100 pF, R = 1.5 kΩ)	2 kV
Lead Temperature	(Soldering, 10 Seconds)	260°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 ELECTRICAL CHARACTERISTICS ALL OUTPUT VOLTAGE VERSIONS.

(2) If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the TI Sales Office/ Distributors for availability and specifications.

OPERATING RATINGS

Temperature Range	LM2576/LM2576HV	$-40^{\circ}\text{C} \leq T_J \leq +125^{\circ}\text{C}$
Supply Voltage	LM2576	40V
	LM2576HV	60V

ELECTRICAL CHARACTERISTICS LM2576-3.3, LM2576HV-3.3

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	LM2576-3.3 LM2576HV-3.3		Units (Limits)
			Typ	Limit ⁽¹⁾	
SYSTEM PARAMETERS Test Circuit Figure 21 and Figure 22⁽²⁾					
V_{OUT}	Output Voltage	$V_{IN} = 12V$, $I_{LOAD} = 0.5A$ Circuit of Figure 21 and Figure 22	3.3	3.234 3.366	V V(Min) V(Max)
V_{OUT}	Output Voltage LM2576	$6V \leq V_{IN} \leq 40V$, $0.5A \leq I_{LOAD} \leq 3A$ Circuit of Figure 21 and Figure 22	3.3	3.168/3.135 3.432/3.465	V V(Min) V(Max)
V_{OUT}	Output Voltage LM2576HV	$6V \leq V_{IN} \leq 60V$, $0.5A \leq I_{LOAD} \leq 3A$ Circuit of Figure 21 and Figure 22	3.3	3.168/3.135 3.450/3.482	V V(Min) V(Max)
η	Efficiency	$V_{IN} = 12V$, $I_{LOAD} = 3A$	75		%

(1) 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 specified via correlation using standard Statistical Quality Control (SQC) methods.

(2) External components such as the catch diode, inductor, input and output capacitors can affect switching regulator system performance. When the LM2576/LM2576HV is used as shown in Figure 21 and Figure 22, system performance will be as shown in ELECTRICAL CHARACTERISTICS ALL OUTPUT VOLTAGE VERSIONS.

ELECTRICAL CHARACTERISTICS LM2576-5.0, LM2576HV-5.0

Specifications with standard type face are for $T_J = 25^\circ\text{C}$, and those with Figure 21 and Figure 22 **boldface type** apply over full Operating Temperature Range.

Symbol	Parameter	Conditions	LM2576-5.0 LM2576HV-5.0		Units (Limits)
			Typ	Limit (1)	
SYSTEM PARAMETERS Figure 21 and Figure 22(2)					
V_{OUT}	Output Voltage	$V_{\text{IN}} = 12\text{V}$, $I_{\text{LOAD}} = 0.5\text{A}$ Circuit of Figure 21 and Figure 22	5.0	4.900 5.100	V V(Min) V(Max)
V_{OUT}	Output Voltage LM2576	$0.5\text{A} \leq I_{\text{LOAD}} \leq 3\text{A}$, $8\text{V} \leq V_{\text{IN}} \leq 40\text{V}$ Circuit of Figure 21 and Figure 22	5.0	4.800/4.750 5.200/5.250	V V(Min) V(Max)
V_{OUT}	Output Voltage LM2576HV	$0.5\text{A} \leq I_{\text{LOAD}} \leq 3\text{A}$, $8\text{V} \leq V_{\text{IN}} \leq 60\text{V}$ Circuit of Figure 21 and Figure 22	5.0	4.800/4.750 5.225/5.275	V V(Min) V(Max)
η	Efficiency	$V_{\text{IN}} = 12\text{V}$, $I_{\text{LOAD}} = 3\text{A}$	77		%

- (1) 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 specified via correlation using standard Statistical Quality Control (SQC) methods.
- (2) External components such as the catch diode, inductor, input and output capacitors can affect switching regulator system performance. When the LM2576/LM2576HV is used as shown in Figure 21 and Figure 22, system performance will be as shown in ELECTRICAL CHARACTERISTICS ALL OUTPUT VOLTAGE VERSIONS.

ELECTRICAL CHARACTERISTICS LM2576-12, LM2576HV-12

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	LM2576-12 LM2576HV-12		Units (Limits)
			Typ	Limit (1)	
SYSTEM PARAMETERS Test Circuit Figure 21 and Figure 22(2)					
V_{OUT}	Output Voltage	$V_{\text{IN}} = 25\text{V}$, $I_{\text{LOAD}} = 0.5\text{A}$ Circuit of Figure 21 and Figure 22	12	11.76 12.24	V V(Min) V(Max)
V_{OUT}	Output Voltage LM2576	$0.5\text{A} \leq I_{\text{LOAD}} \leq 3\text{A}$, $15\text{V} \leq V_{\text{IN}} \leq 40\text{V}$ Circuit of Figure 21 and Figure 22 and	12	11.52/11.40 12.48/12.60	V V(Min) V(Max)
V_{OUT}	Output Voltage LM2576HV	$0.5\text{A} \leq I_{\text{LOAD}} \leq 3\text{A}$, $15\text{V} \leq V_{\text{IN}} \leq 60\text{V}$ Circuit of Figure 21 and Figure 22	12	11.52/11.40 12.54/12.66	V V(Min) V(Max)
η	Efficiency	$V_{\text{IN}} = 15\text{V}$, $I_{\text{LOAD}} = 3\text{A}$	88		%

- (1) 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 specified via correlation using standard Statistical Quality Control (SQC) methods.
- (2) External components such as the catch diode, inductor, input and output capacitors can affect switching regulator system performance. When the LM2576/LM2576HV is used as shown in Figure 21 and Figure 22, system performance will be as shown in ELECTRICAL CHARACTERISTICS ALL OUTPUT VOLTAGE VERSIONS.

ELECTRICAL CHARACTERISTICS LM2576-15, LM2576HV-15

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	LM2576-15 LM2576HV-15		Units (Limits)
			Typ	Limit ⁽¹⁾	
SYSTEM PARAMETERS Test Circuit Figure 21 and Figure 22⁽²⁾					
V_{OUT}	Output Voltage	$V_{\text{IN}} = 25\text{V}$, $I_{\text{LOAD}} = 0.5\text{A}$ Circuit of Figure 21 and Figure 22	15	14.70 15.30	V V(Min) V(Max)
V_{OUT}	Output Voltage LM2576	$0.5\text{A} \leq I_{\text{LOAD}} \leq 3\text{A}$, $18\text{V} \leq V_{\text{IN}} \leq 40\text{V}$ Circuit of Figure 21 and Figure 22	15	14.40/ 14.25 15.60/ 15.75	V V(Min) V(Max)
V_{OUT}	Output Voltage LM2576HV	$0.5\text{A} \leq I_{\text{LOAD}} \leq 3\text{A}$, $18\text{V} \leq V_{\text{IN}} \leq 60\text{V}$ Circuit of Figure 21 and Figure 22	15	14.40/ 14.25 15.68/ 15.83	V V(Min) V(Max)
η	Efficiency	$V_{\text{IN}} = 18\text{V}$, $I_{\text{LOAD}} = 3\text{A}$	88		%

- (1) 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 specified via correlation using standard Statistical Quality Control (SQC) methods.
- (2) External components such as the catch diode, inductor, input and output capacitors can affect switching regulator system performance. When the LM2576/LM2576HV is used as shown in Figure 21 and Figure 22, system performance will be as shown in ELECTRICAL CHARACTERISTICS ALL OUTPUT VOLTAGE VERSIONS.

ELECTRICAL CHARACTERISTICS LM2576-ADJ, LM2576HV-ADJ

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	LM2576-ADJ LM2576HV-ADJ		Units (Limits)
			Typ	Limit ⁽¹⁾	
SYSTEM PARAMETERS Test Circuit Figure 21 and Figure 22⁽²⁾					
V_{OUT}	Feedback Voltage	$V_{\text{IN}} = 12\text{V}$, $I_{\text{LOAD}} = 0.5\text{A}$ $V_{\text{OUT}} = 5\text{V}$, Circuit of Figure 21 and Figure 22	1.230	1.217 1.243	V V(Min) V(Max)
V_{OUT}	Feedback Voltage LM2576	$0.5\text{A} \leq I_{\text{LOAD}} \leq 3\text{A}$, $8\text{V} \leq V_{\text{IN}} \leq 40\text{V}$ $V_{\text{OUT}} = 5\text{V}$, Circuit of Figure 21 and Figure 22	1.230	1.193/ 1.180 1.267/ 1.280	V V(Min) V(Max)
V_{OUT}	Feedback Voltage LM2576HV	$0.5\text{A} \leq I_{\text{LOAD}} \leq 3\text{A}$, $8\text{V} \leq V_{\text{IN}} \leq 60\text{V}$ $V_{\text{OUT}} = 5\text{V}$, Circuit of Figure 21 and Figure 22	1.230	1.193/ 1.180 1.273/ 1.286	V V(Min) V(Max)
η	Efficiency	$V_{\text{IN}} = 12\text{V}$, $I_{\text{LOAD}} = 3\text{A}$, $V_{\text{OUT}} = 5\text{V}$	77		%

- (1) 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 specified via correlation using standard Statistical Quality Control (SQC) methods.
- (2) External components such as the catch diode, inductor, input and output capacitors can affect switching regulator system performance. When the LM2576/LM2576HV is used as shown in Figure 21 and Figure 22, system performance will be as shown in ELECTRICAL CHARACTERISTICS ALL OUTPUT VOLTAGE VERSIONS.

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ALL OUTPUT VOLTAGE VERSIONS

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, $V_{IN} = 25\text{V}$ for the 12V version, and $V_{IN} = 30\text{V}$ for the 15V version. $I_{LOAD} = 500\text{ mA}$.

Symbol	Parameter	Conditions	LM2576-XX LM2576HV-XX		Units (Limits)
			Typ	Limit ⁽¹⁾	
DEVICE PARAMETERS					
I_b	Feedback Bias Current	$V_{OUT} = 5\text{V}$ (Adjustable Version Only)	50	100/500	nA
f_o	Oscillator Frequency	See ⁽²⁾	52	47/42 58/63	kHz (Min) kHz (Max)
V_{SAT}	Saturation Voltage	$I_{OUT} = 3\text{A}$ ⁽³⁾	1.4	1.8/2.0	V V(Max)
DC	Max Duty Cycle (ON)	See ⁽⁴⁾	98	93	% %(Min)
I_{CL}	Current Limit	See ⁽³⁾⁽²⁾	5.8	4.2/3.5 6.9/7.5	A A(Min) A(Max)
I_L	Output Leakage Current	Output = 0V Output = -1V Output = -1V ⁽⁵⁾⁽⁶⁾	7.5	2 30	mA(Max) mA mA(Max)
I_Q	Quiescent Current	See ⁽⁵⁾	5	10	mA mA(Max)
I_{STBY}	Standby Quiescent Current	ON /OFF Pin = 5V (OFF)	50	200	μA $\mu\text{A}(\text{Max})$
θ_{JA} θ_{JA} θ_{JC} θ_{JA}	Thermal Resistance	T Package, Junction to Ambient ⁽⁷⁾ T Package, Junction to Ambient ⁽⁸⁾ T Package, Junction to Case S Package, Junction to Ambient ⁽⁹⁾	65 45 2 50		$^\circ\text{C}/\text{W}$
ON /OFF CONTROL Test Circuit Figure 21 and Figure 22					
V_{IH}	ON /OFF Pin Logic Input Level	$V_{OUT} = 0\text{V}$	1.4	2.2/2.4	V(Min)
V_{IL}	Logic Input Level	$V_{OUT} = \text{Nominal Output Voltage}$	1.2	1.0/0.8	V(Max)
I_{IH}	ON /OFF Pin Input Current	ON /OFF Pin = 5V (OFF)	12	30	μA $\mu\text{A}(\text{Max})$
I_{IL}		ON /OFF Pin = 0V (ON)	0	10	μA $\mu\text{A}(\text{Max})$

- (1) 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 specified via correlation using standard Statistical Quality Control (SQC) methods.
- (2) The oscillator frequency reduces to approximately 11 kHz in the event of an output short or an overload which causes the regulated output voltage to drop approximately 40% from the nominal output voltage. This self protection feature lowers the average power dissipation of the IC by lowering the minimum duty cycle from 5% down to approximately 2%.
- (3) Output pin sourcing current. No diode, inductor or capacitor connected to output.
- (4) Feedback pin removed from output and connected to 0V.
- (5) Feedback pin removed from output and connected to +12V for the Adjustable, 3.3V, and 5V versions, and +25V for the 12V and 15V versions, to force the output transistor OFF.
- (6) $V_{IN} = 40\text{V}$ (60V for high voltage version).
- (7) Junction to ambient thermal resistance (no external heat sink) for the 5 lead TO-220 package mounted vertically, with 1/2 inch leads in a socket, or on a PC board with minimum copper area.
- (8) Junction to ambient thermal resistance (no external heat sink) for the 5 lead TO-220 package mounted vertically, with 1/4 inch leads soldered to a PC board containing approximately 4 square inches of copper area surrounding the leads.
- (9) 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, θ_{JA} is 50 $^\circ\text{C}/\text{W}$, with 1 square inch of copper area, θ_{JA} is 37 $^\circ\text{C}/\text{W}$, and with 1.6 or more square inches of copper area, θ_{JA} is 32 $^\circ\text{C}/\text{W}$.

TYPICAL PERFORMANCE CHARACTERISTICS

(Circuit of Figure 21 and Figure 22)

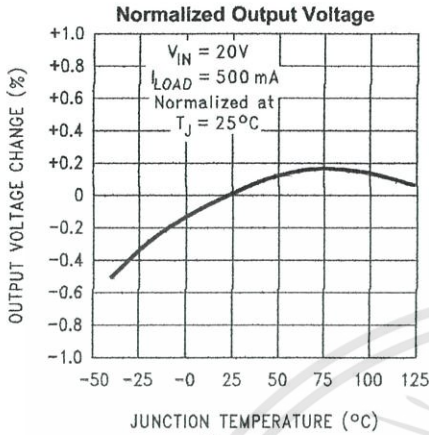


Figure 2.

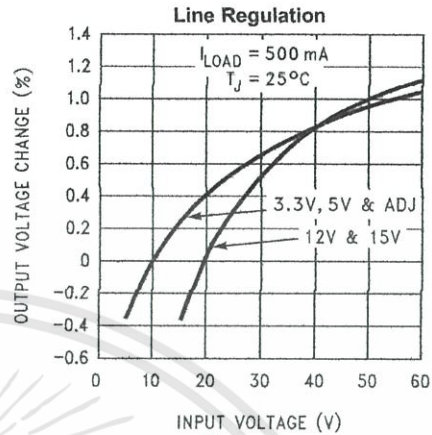


Figure 3.

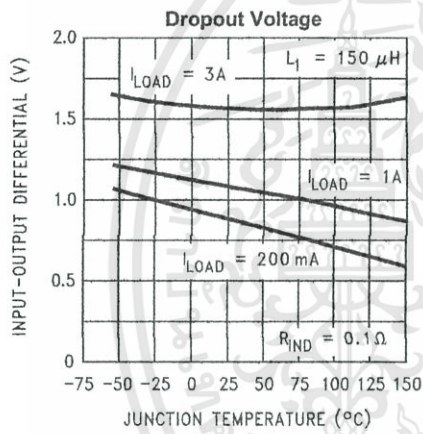


Figure 4.

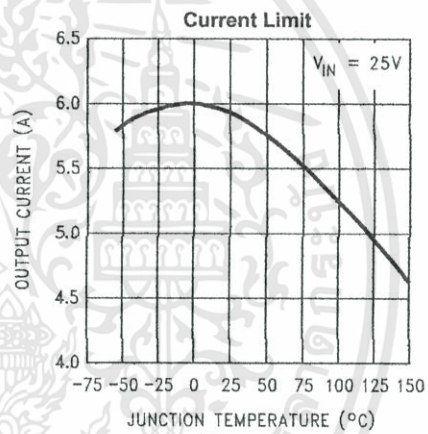


Figure 5.

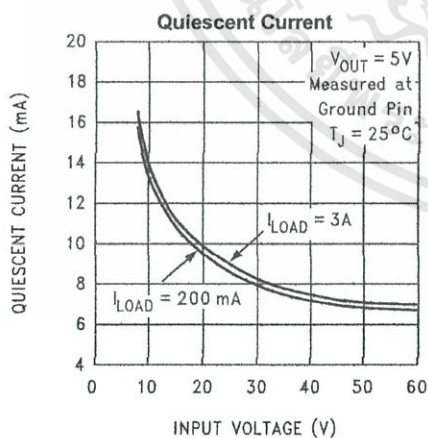


Figure 6.

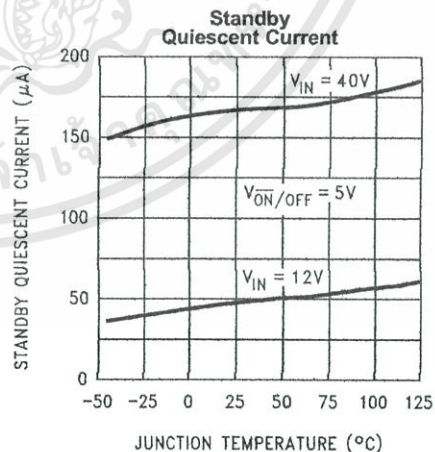


Figure 7.

TYPICAL PERFORMANCE CHARACTERISTICS (continued)

(Circuit of Figure 21 and Figure 22)

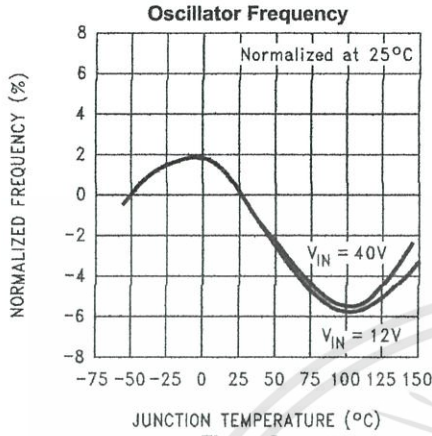


Figure 8.

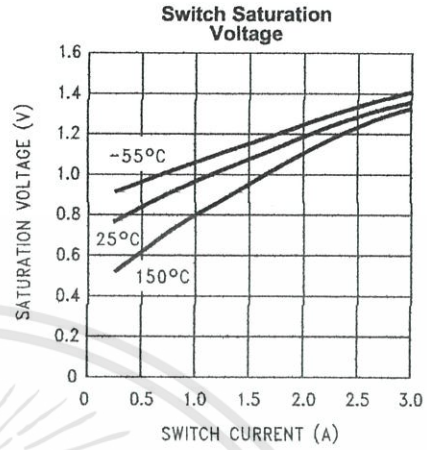


Figure 9.

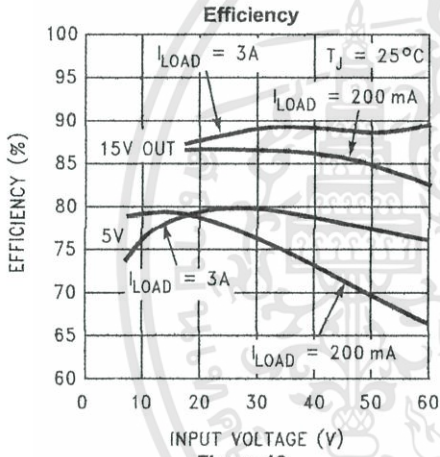


Figure 10.

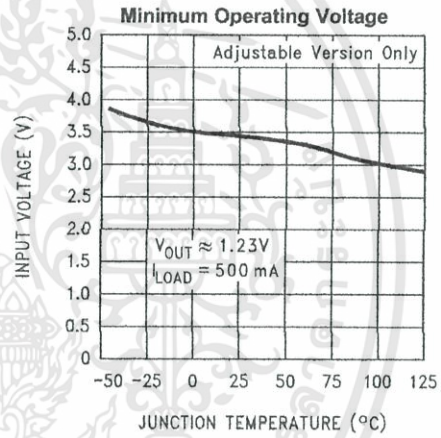


Figure 11.

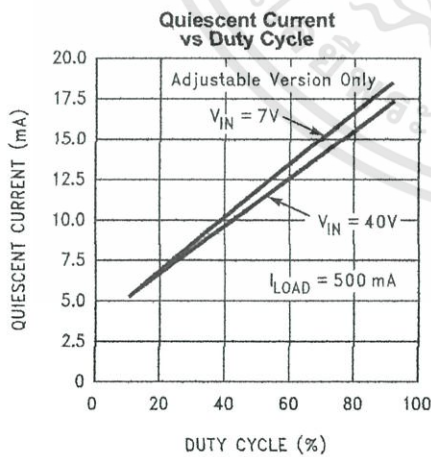


Figure 12.

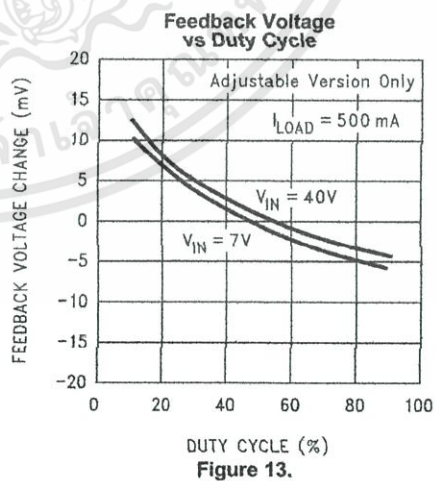


Figure 13.

TYPICAL PERFORMANCE CHARACTERISTICS (continued)

(Circuit of Figure 21 and Figure 22)

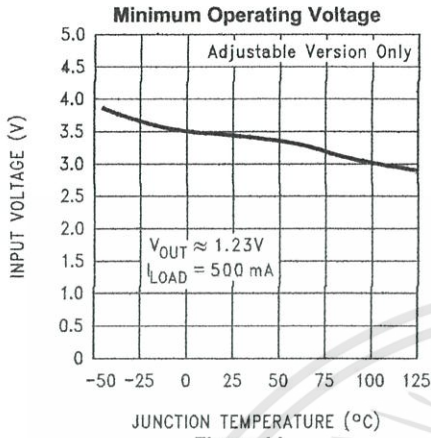


Figure 14.

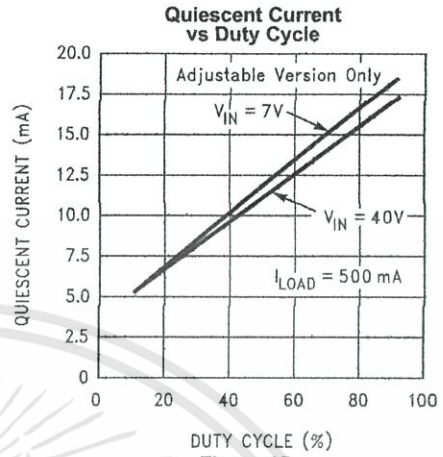


Figure 15.

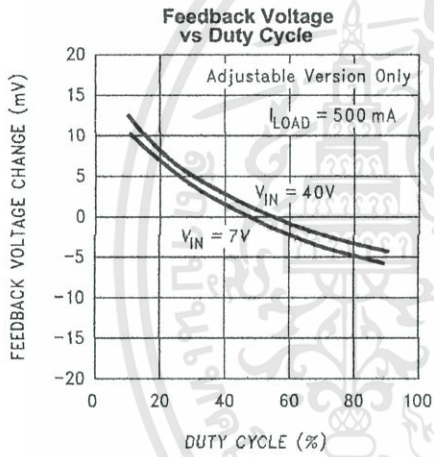


Figure 16.

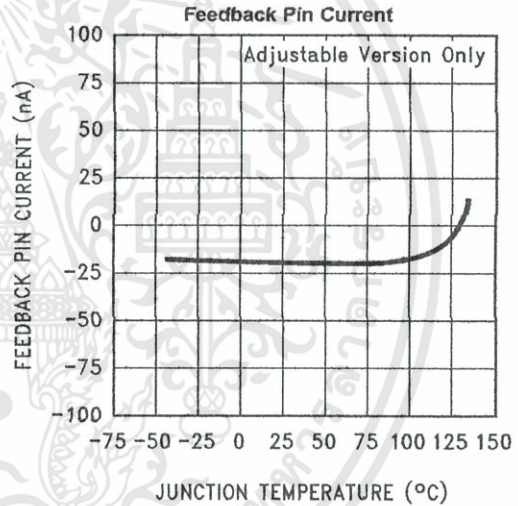
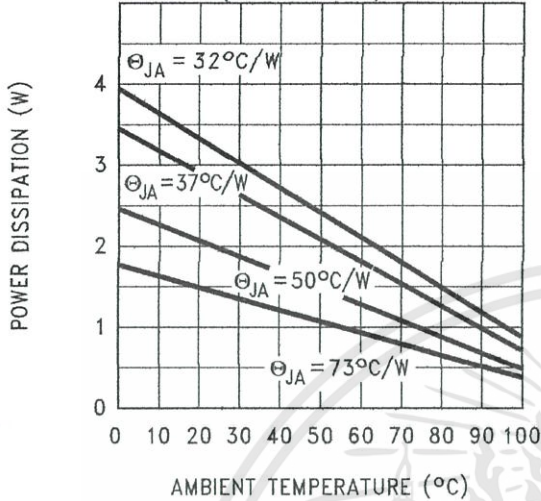


Figure 17.

TYPICAL PERFORMANCE CHARACTERISTICS (continued)

(Circuit of Figure 21 and Figure 22)

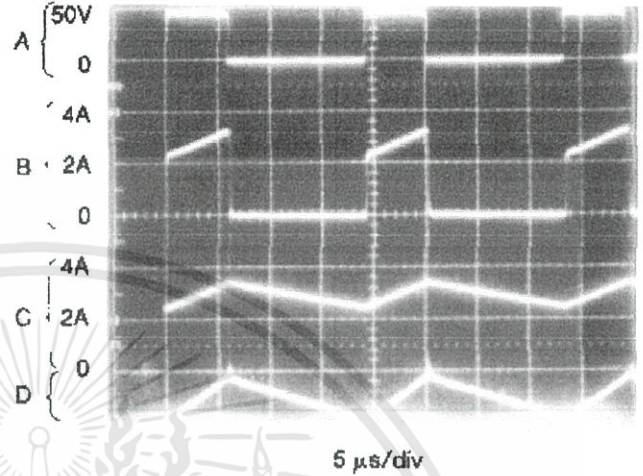
Maximum Power Dissipation (DDPAK/TO-263)



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, θ_{JA} is 50°C/W , with 1 square inch of copper area, θ_{JA} is 37°C/W , and with 1.6 or more square inches of copper area, θ_{JA} is 32°C/W .

Figure 18.

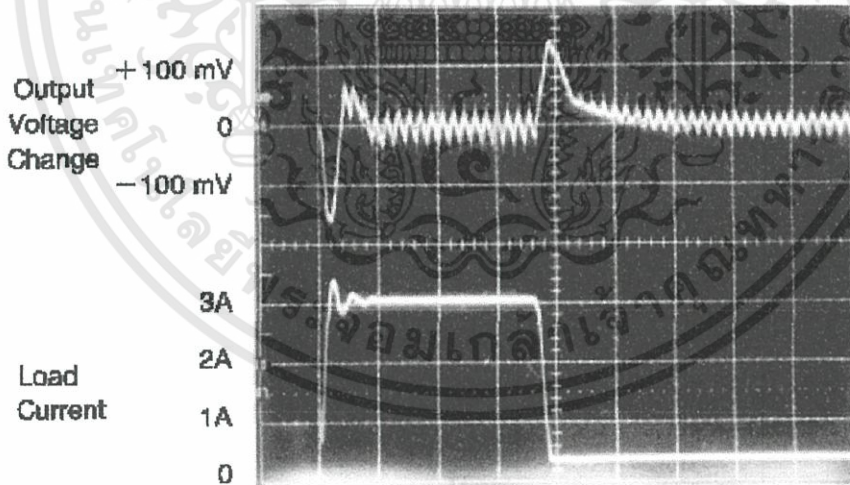
Switching Waveforms



$V_{OUT} = 15\text{V}$
 A: Output Pin Voltage, 50V/div
 B: Output Pin Current, 2A/div
 C: Inductor Current, 2A/div
 D: Output Ripple Voltage, 50 mV/div, AC-Coupled
 Horizontal Time Base: 5 $\mu\text{s/div}$

Figure 19.

Load Transient Response

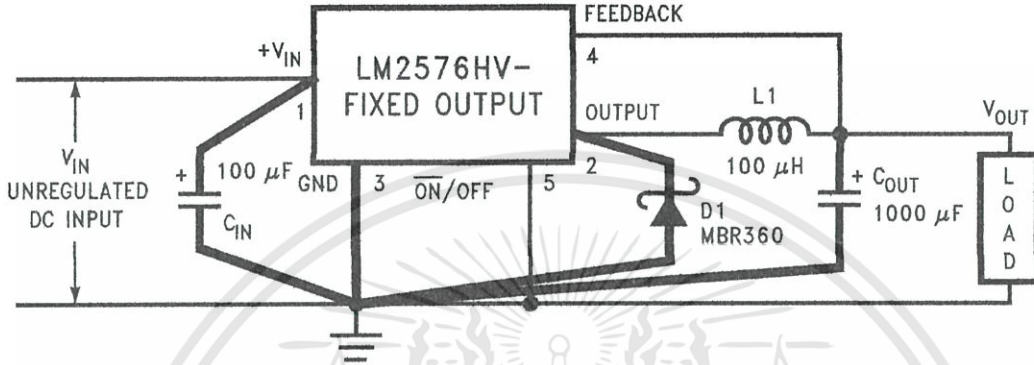


100 $\mu\text{s/div}$

Figure 20.

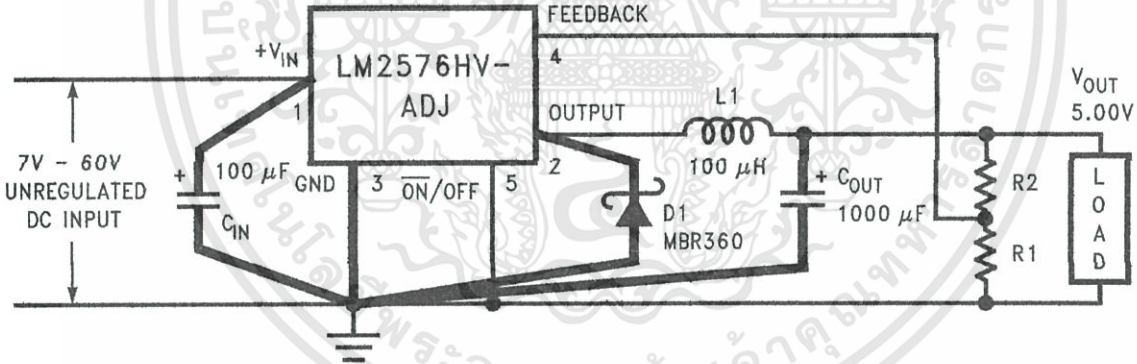
TEST CIRCUIT AND LAYOUT GUIDELINES

As in any switching regulator, layout is very important. Rapidly switching currents associated with wiring inductance generate voltage transients which can cause problems. For minimal inductance and ground loops, the length of the leads indicated by heavy lines should be kept as short as possible. Single-point grounding (as indicated) or ground plane construction should be used for best results. When using the Adjustable version, physically locate the programming resistors near the regulator, to keep the sensitive feedback wiring short.



- C_{IN} — 100 µF, 75V, Aluminum Electrolytic
- C_{OUT} — 1000 µF, 25V, Aluminum Electrolytic
- D₁ — Schottky, MBR360
- L₁ — 100 µH, Pulse Eng. PE-92108
- R₁ — 2k, 0.1%
- R₂ — 6.12k, 0.1%

Figure 21. Fixed Output Voltage Versions



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

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

where

V_{REF} = 1.23V, R₁ between 1k and 5k

Figure 22. Adjustable Output Voltage Version

LM2576 Series Buck Regulator Design Procedure

PROCEDURE (Fixed Output Voltage Versions)	EXAMPLE (Fixed Output Voltage Versions)
<p>Given: V_{OUT} = Regulated Output Voltage (3.3V, 5V, 12V, or 15V) $V_{IN(Max)}$ = Maximum Input Voltage $I_{LOAD(Max)}$ = Maximum Load Current</p>	<p>Given: V_{OUT} = 5V $V_{IN(Max)}$ = 15V $I_{LOAD(Max)}$ = 3A</p>
<p>1. Inductor Selection (L1)</p> <p>A. Select the correct Inductor value selection guide from Figure 23, Figure 24, Figure 25, or Figure 26. (Output voltages of 3.3V, 5V, 12V or 15V respectively). For other output voltages, see the design procedure for the adjustable version.</p> <p>B. From the inductor value selection guide, identify the inductance region intersected by $V_{IN(Max)}$ and $I_{LOAD(Max)}$, and note the inductor code for that region.</p> <p>C. Identify the inductor value from the inductor code, and select an appropriate inductor from the table shown in Figure 23. Part numbers are listed for three inductor manufacturers. The inductor chosen must be rated for operation at the LM2576 switching frequency (52 kHz) and for a current rating of $1.15 \times I_{LOAD}$. For additional inductor information, see INDUCTOR SELECTION.</p>	<p>1. Inductor Selection (L1)</p> <p>A. Use the selection guide shown in Figure 24.</p> <p>B. From the selection guide, the inductance area intersected by the 15V line and 3A line is L100.</p> <p>C. Inductor value required is 100 μH. From the table in Figure 23. Choose AIE 415-0930, Pulse Engineering PE92108, or Renco RL2444.</p>
<p>2. Output Capacitor Selection (C_{OUT})</p> <p>A. The value of the output capacitor together with the inductor defines the dominate pole-pair of the switching regulator loop. For stable operation and an acceptable output ripple voltage, (approximately 1% of the output voltage) a value between 100 μF and 470 μF is recommended.</p> <p>B. The capacitor's voltage rating should be at least 1.5 times greater than the output voltage. For a 5V regulator, a rating of at least 8V is appropriate, and a 10V or 15V rating is recommended.</p> <p>Higher voltage electrolytic capacitors generally have lower ESR numbers, and for this reason it may be necessary to select a capacitor rated for a higher voltage than would normally be needed.</p>	<p>2. Output Capacitor Selection (C_{OUT})</p> <p>A. C_{OUT} = 680 μF to 2000 μF standard aluminum electrolytic.</p> <p>B. Capacitor voltage rating = 20V.</p>
<p>3. Catch Diode Selection (D1)</p> <p>A. The catch-diode current rating must be at least 1.2 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 LM2576. The most stressful condition for this diode is an overload or shorted output condition.</p> <p>B. The reverse voltage rating of the diode should be at least 1.25 times the maximum input voltage.</p>	<p>3. Catch Diode Selection (D1)</p> <p>A. For this example, a 3A current rating is adequate.</p> <p>B. Use a 20V 1N5823 or SR302 Schottky diode, or any of the suggested fast-recovery diodes shown in Table 1.</p>
<p>4. Input Capacitor (C_{IN})</p> <p>An aluminum or tantalum electrolytic bypass capacitor located close to the regulator is needed for stable operation.</p>	<p>4. Input Capacitor (C_{IN})</p> <p>A 100 μF, 25V aluminum electrolytic capacitor located near the input and ground pins provides sufficient bypassing.</p>

INDUCTOR VALUE SELECTION GUIDES

(For Continuous Mode Operation)

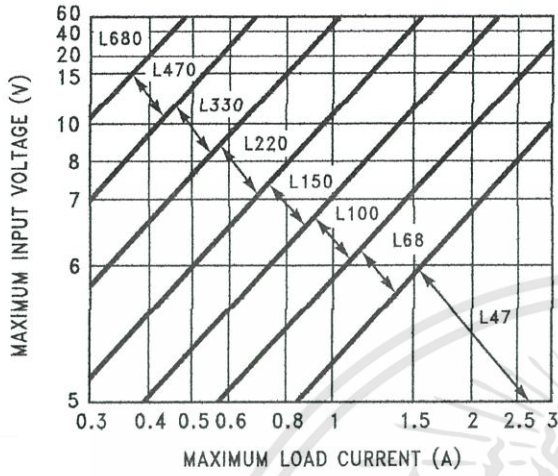


Figure 23. LM2576(HV)-3.3

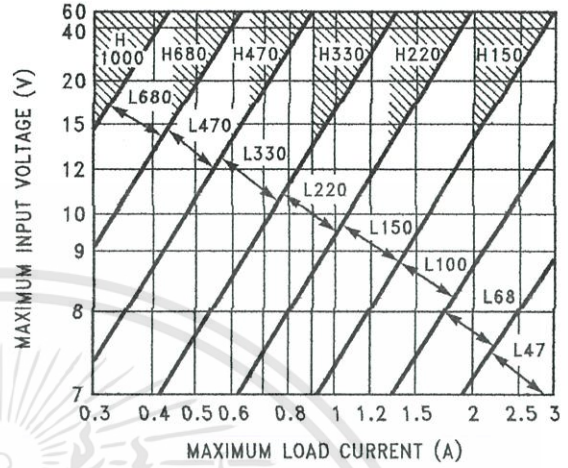


Figure 24. LM2576(HV)-5.0

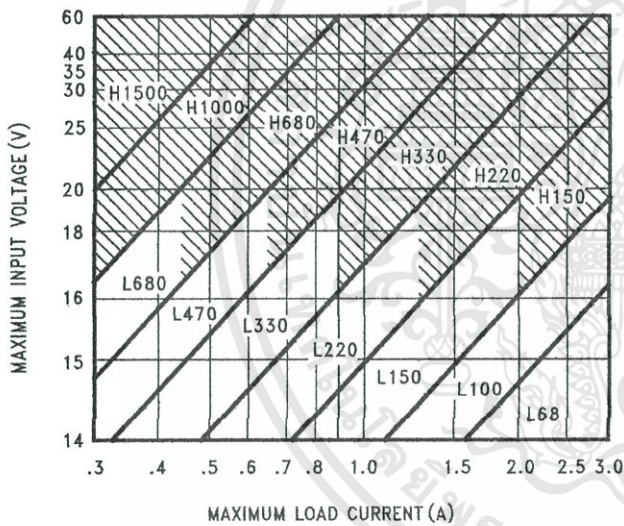


Figure 25. LM2576(HV)-12

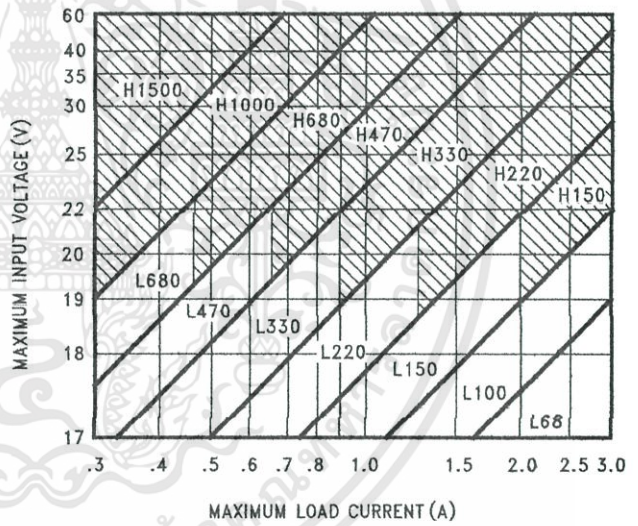


Figure 26. LM2576(HV)-15

(For Continuous Mode Operation)

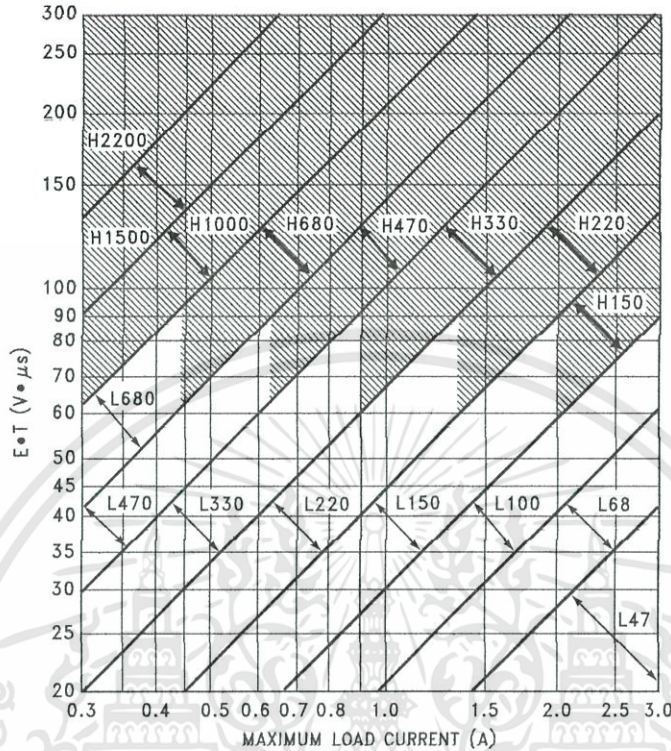


Figure 27. LM2576(HV)-ADJ

PROCEDURE (Adjustable Output Voltage Versions)	EXAMPLE (Adjustable Output Voltage Versions)
<p>Given: V_{OUT} = Regulated Output Voltage $V_{IN(Max)}$ = Maximum Input Voltage $I_{LOAD(Max)}$ = Maximum Load Current F = Switching Frequency (Fixed at 52 kHz)</p>	<p>Given: V_{OUT} = 10V $V_{IN(Max)}$ = 25V $I_{LOAD(Max)}$ = 3A F = 52 kHz</p>
<p>1. Programming Output Voltage (Selecting R_1 and R_2, as shown in Figure 21 and Figure 22) Use the following formula to select the appropriate resistor values.</p> $V_{OUT} = V_{REF} \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) \quad \text{where } V_{REF} = 1.23V$ <p>R_1 can be between 1k and 5k. (For best temperature coefficient and stability with time, use 1% metal film resistors)</p> $R_2 = R_1 \left(\frac{V_{OUT}}{V_{REF}} - 1 \right)$	<p>1. Programming Output Voltage(Selecting R_1 and R_2)</p> $V_{OUT} = 1.23 \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) \quad \text{Select } R_1 = 1k$ $R_2 = R_1 \left(\frac{V_{OUT}}{V_{REF}} - 1 \right) = 1k \left(\frac{10V}{1.23V} - 1 \right)$ <p>$R_2 = 1k (8.13 - 1) = 7.13k$, closest 1% value is 7.15k</p>

(For Continuous Mode Operation)

PROCEDURE (Adjustable Output Voltage Versions)	EXAMPLE (Adjustable Output Voltage Versions)
<p>2. Inductor Selection (L1)</p> <p>A. Calculate the inductor Volt • microsecond constant, E • T (V • μs), from the following formula:</p> $E \cdot T = (V_{IN} - V_{OUT}) \frac{V_{OUT}}{V_{IN}} \cdot \frac{1000}{F \text{ (in kHz)}} \text{ (V} \cdot \mu\text{s)}$ <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 27.</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, and note the inductor code for that region.</p> <p>E. Identify the inductor value from the inductor code, and select an appropriate inductor from the table shown in Table 2. Part numbers are listed for three inductor manufacturers. The inductor chosen must be rated for operation at the LM2576 switching frequency (52 kHz) and for a current rating of $1.15 \times I_{LOAD}$. For additional inductor information, see INDUCTOR SELECTION.</p>	<p>2. Inductor Selection (L1)</p> <p>A. Calculate E • T (V • μs)</p> $E \cdot T = (25 - 10) \cdot \frac{10}{25} \cdot \frac{1000}{52} = 115 \text{ V} \cdot \mu\text{s}$ <p>B. E • T = 115 V • μs</p> <p>C. $I_{LOAD}(\text{Max}) = 3\text{A}$</p> <p>D. Inductance Region = H150</p> <p>E. Inductor Value = 150 μH Choose from AIE part #415-0936 Pulse Engineering part #PE-531115, or Renco part #RL2445.</p>
<p>3. Output Capacitor Selection (C_{OUT})</p> <p>A. The value of the output capacitor together with the inductor defines the dominate pole-pair of the switching regulator loop. For stable operation, the capacitor must satisfy the following requirement:</p> $C_{OUT} \geq 13,300 \frac{V_{IN}(\text{Max})}{V_{OUT} \cdot L(\mu\text{H})} (\mu\text{F})$ <p>The above formula yields capacitor values between 10 μF and 2200 μF that will satisfy the loop requirements for stable operation. But to achieve an acceptable output ripple voltage, (approximately 1% of the output voltage) and transient response, the output capacitor may need to be several times larger than the above formula yields.</p> <p>B. The capacitor's voltage rating should be at least 1.5 times greater than the output voltage. For a 10V regulator, a rating of at least 15V or more is recommended. Higher voltage electrolytic capacitors generally have lower ESR numbers, and for this reason it may be necessary to select a capacitor rate for a higher voltage than would normally be needed.</p>	<p>3. Output Capacitor Selection (C_{OUT})</p> $C_{OUT} > 13,300 \frac{25}{10 \cdot 150} = 22.2 \mu\text{F}$ <p>However, for acceptable output ripple voltage select</p> <p>$C_{OUT} \geq 680 \mu\text{F}$</p> <p>$C_{OUT} = 680 \mu\text{F}$ electrolytic capacitor</p>
<p>4. Catch Diode Selection (D1)</p> <p>A. The catch-diode current rating must be at least 1.2 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 LM2576. The most stressful condition for this diode is an overload or shorted output. See Table 1.</p> <p>B. The reverse voltage rating of the diode should be at least 1.25 times the maximum input voltage.</p>	<p>4. Catch Diode Selection (D1)</p> <p>A. For this example, a 3.3A current rating is adequate.</p> <p>B. Use a 30V 31DQ03 Schottky diode, or any of the suggested fast-recovery diodes in Table 1.</p>
<p>5. Input Capacitor (C_{IN})</p> <p>An aluminum or tantalum electrolytic bypass capacitor located close to the regulator is needed for stable operation.</p>	<p>5. Input Capacitor (C_{IN})</p> <p>A 100 μF aluminum electrolytic capacitor located near the input and ground pins provides sufficient bypassing.</p>

To further simplify the buck regulator design procedure, TI is making available computer design software to be used with the **SIMPLE SWITCHER** line of switching regulators. **Switchers Made Simple** (Version 3.3) is available on a (3½") diskette for IBM compatible computers from a TI office in your area.

Table 1. Diode Selection Guide

V _R	Schottky		Fast Recovery	
	3A	4A–6A	3A	4A–6A
20V	1N5820 MBR320P SR302	1N5823	The following diodes are all rated to 100V 31DF1 HER302	The following diodes are all rated to 100V 50WF10 MUR410 HER602
30V	1N5821 MBR330 31DQ03 SR303	50WQ03 1N5824		
40V	1N5822 MBR340 31DQ04 SR304	MBR340 50WQ04 1N5825		
50V	MBR350 31DQ05 SR305	50WQ05		
60V	MBR360 DQ06 SR306	50WR06 50SQ060		

Table 2. Inductor Selection by Manufacturer's Part Number

Inductor Code	Inductor Value	Schott ⁽¹⁾	Pulse Eng. ⁽²⁾	Renco ⁽³⁾
L47	47 µH	671 26980	PE-53112	RL2442
L68	68 µH	671 26990	PE-92114	RL2443
L100	100 µH	671 27000	PE-92108	RL2444
L150	150 µH	671 27010	PE-53113	RL1954
L220	220 µH	671 27020	PE-52626	RL1953
L330	330 µH	671 27030	PE-52627	RL1952
L470	470 µH	671 27040	PE-53114	RL1951
L680	680 µH	671 27050	PE-52629	RL1950
H150	150 µH	671 27060	PE-53115	RL2445
H220	220 µH	671 27070	PE-53116	RL2446
H330	330 µH	671 27080	PE-53117	RL2447
H470	470 µH	671 27090	PE-53118	RL1961
H680	680 µH	671 27100	PE-53119	RL1960
H1000	1000 µH	671 27110	PE-53120	RL1959
H1500	1500 µH	671 27120	PE-53121	RL1958
H2200	2200 µH	671 27130	PE-53122	RL2448

(1) Schott Corporation, (612) 475-1173, 1000 Parkers Lake Road, Wayzata, MN 55391.

(2) Pulse Engineering, (619) 674-8100, P.O. Box 12235, San Diego, CA 92112.

(3) Renco Electronics Incorporated, (516) 586-5566, 60 Jeffryn Blvd. East, Deer Park, NY 11729.

APPLICATION HINTS

INPUT CAPACITOR (C_{IN})

To maintain stability, the regulator input pin must be bypassed with at least a 100 μ F electrolytic capacitor. The capacitor's leads must be kept short, and located near the regulator.

If the operating temperature range includes temperatures below -25°C , the input capacitor value may need to be larger. With most electrolytic capacitors, the capacitance value decreases and the ESR increases with lower temperatures and age. Paralleling a ceramic or solid tantalum capacitor will increase the regulator stability at cold temperatures. For maximum capacitor operating lifetime, the capacitor's RMS ripple current rating should be greater than

$$1.2 \times \left(\frac{t_{ON}}{T} \right) \times I_{LOAD}$$

where $\frac{t_{ON}}{T} = \frac{V_{OUT}}{V_{IN}}$ for a buck regulator

and $\frac{t_{ON}}{T} = \frac{|V_{OUT}|}{|V_{OUT}| + V_{IN}}$ for a buck-boost regulator.

(1)

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 regulator performance and requirements.

The LM2576 (or any of the SIMPLE SWITCHER family) can be used for both continuous and discontinuous modes of operation.

The inductor value selection guides in Figure 23 through Figure 27 were designed for buck regulator designs of the continuous inductor current type. When using inductor values shown in the inductor selection guide, the peak-to-peak inductor ripple current will be approximately 20% to 30% of the maximum DC current. With relatively heavy load currents, the circuit operates in the continuous mode (inductor current always flowing), but under light load conditions, the circuit will be forced to the discontinuous mode (inductor current falls to zero for a period of time). This discontinuous mode of operation is perfectly acceptable. For light loads (less than approximately 300 mA) it may be desirable to operate the regulator in the discontinuous mode, primarily because of the lower inductor values required for the discontinuous mode.

The selection guide chooses inductor values suitable for continuous mode operation, but if the inductor value chosen is prohibitively high, the designer should investigate the possibility of discontinuous operation. The computer design software *Switchers Made Simple* will provide all component values for discontinuous (as well as continuous) mode of operation.

Inductors are available in different styles such as pot core, toroid, E-frame, bobbin core, and so on, as well as different core materials, such as ferrites and powdered iron. The least expensive, the bobbin core type, consists of wire wrapped on a ferrite rod core. This type of construction makes for an inexpensive inductor, but since the magnetic flux is not completely contained within the core, it generates more electromagnetic interference (EMI). This EMI can cause problems in sensitive circuits, or can give incorrect scope readings because of induced voltages in the scope probe.

The inductors listed in the selection chart include ferrite pot core construction for AIE, powdered iron toroid for Pulse Engineering, and ferrite bobbin core for Renco.

An inductor should not be operated beyond its maximum rated current because it may saturate. When an inductor begins to saturate, the inductance decreases rapidly and the inductor begins to look mainly resistive (the DC resistance of the winding). This will cause the switch current to rise very rapidly. 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.

INDUCTOR RIPPLE CURRENT

When the switcher 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 voltage and output voltage, the peak-to-peak amplitude of this inductor current waveform remains constant. As the load current rises or falls, the entire sawtooth current waveform also rises or falls. The average DC value of this waveform is equal to the DC load current (in the buck regulator configuration).

If the load current drops to a low enough level, the bottom of the sawtooth current waveform will reach zero, and the switcher will change to a discontinuous mode of operation. This is a perfectly acceptable mode of operation. Any buck switching regulator (no matter how large the inductor value is) will be forced to run discontinuous if the load current is light enough.

OUTPUT CAPACITOR

An output capacitor is required to filter the output voltage and is needed for loop stability. The capacitor should be located near the LM2576 using short pc board traces. Standard aluminum electrolytics are usually adequate, but low ESR types are recommended for low output ripple voltage and good stability. The ESR of a capacitor depends on many factors, some which are: the value, the voltage rating, physical size and the type of construction. In general, low value or low voltage (less than 12V) electrolytic capacitors usually have higher ESR numbers.

The amount of output ripple voltage is primarily a function of the ESR (Equivalent Series Resistance) of the output capacitor and the amplitude of the inductor ripple current (ΔI_{IND}). See INDUCTOR RIPPLE CURRENT.

The lower capacitor values (220 μF –1000 μF) will allow typically 50 mV to 150 mV of output ripple voltage, while larger-value capacitors will reduce the ripple to approximately 20 mV to 50 mV.

Output Ripple Voltage = (ΔI_{IND}) (ESR of C_{OUT}) (2)

To further reduce the output ripple voltage, several standard electrolytic capacitors may be paralleled, or a higher-grade capacitor may be used. Such capacitors are often called “high-frequency,” “low-inductance,” or “low-ESR.” These will reduce the output ripple to 10 mV or 20 mV. However, when operating in the continuous mode, reducing the ESR below 0.03 Ω can cause instability in the regulator.

Tantalum capacitors can have a very low ESR, and should be carefully evaluated if it is the only output capacitor. Because of their good low temperature characteristics, a tantalum can be used in parallel with aluminum electrolytics, with the tantalum making up 10% or 20% of the total capacitance.

The capacitor's ripple current rating at 52 kHz should be at least 50% higher than the peak-to-peak inductor ripple current.

CATCH DIODE

Buck regulators require a diode to provide a return path for the inductor current when the switch is off. This diode should be located close to the LM2576 using short leads and short printed circuit traces.

Because of their fast switching speed and low forward voltage drop, Schottky diodes provide the best efficiency, especially in low output voltage switching regulators (less than 5V). Fast-Recovery, High-Efficiency, or Ultra-Fast Recovery diodes are also suitable, but some types with an abrupt turn-off characteristic may cause instability and EMI problems. A fast-recovery diode with soft recovery characteristics is a better choice. Standard 60 Hz diodes (e.g., 1N4001 or 1N5400, and so on) are also **not suitable**. See Table 1 for Schottky and “soft” fast-recovery diode selection guide.

OUTPUT VOLTAGE RIPPLE AND TRANSIENTS

The output voltage of a switching power supply will contain a sawtooth ripple voltage at the switcher frequency, typically about 1% of the output voltage, and may also contain short voltage spikes at the peaks of the sawtooth waveform.

The output ripple voltage is due mainly to the inductor sawtooth ripple current multiplied by the ESR of the output capacitor. (See INDUCTOR SELECTION)

The voltage spikes are present because of the the fast switching action of the output switch, and the parasitic inductance of the output filter capacitor. To minimize these voltage spikes, special low inductance capacitors can be used, and their lead lengths must be kept short. Wiring inductance, stray capacitance, as well as the scope probe used to evaluate these transients, all contribute to the amplitude of these spikes.

An additional small LC filter (20 μH & 100 μF) can be added to the output (as shown in Figure 33) to further reduce the amount of output ripple and transients. A 10 \times reduction in output ripple voltage and transients is possible with this filter.

FEEDBACK CONNECTION

The LM2576 (fixed voltage versions) feedback pin must be wired to the output voltage point of the switching power supply. When using the adjustable version, physically locate both output voltage programming resistors near the LM2576 to avoid picking up unwanted noise. Avoid using resistors greater than 100 k Ω because of the increased chance of noise pickup.

$\overline{\text{ON}}$ /OFF INPUT

For normal operation, the $\overline{\text{ON}}$ /OFF pin should be grounded or driven with a low-level TTL voltage (typically below 1.6V). To put the regulator into standby mode, drive this pin with a high-level TTL or CMOS signal. The $\overline{\text{ON}}$ /OFF pin can be safely pulled up to $+V_{\text{IN}}$ without a resistor in series with it. The $\overline{\text{ON}}$ /OFF pin should not be left open.

GROUNDING

To maintain output voltage stability, the power ground connections must be low-impedance (see Figure 21 and Figure 22). For the 5-lead TO-220 and DDPK/TO-263 style package, both the tab and pin 3 are ground and either connection may be used, as they are both part of the same copper lead frame.

HEAT SINK/THERMAL CONSIDERATIONS

In many cases, only a small heat sink is required to keep the LM2576 junction temperature within the allowed operating range. For each application, to determine whether or not a heat sink will be required, the following must be identified:

1. Maximum ambient temperature (in the application).
2. Maximum regulator power dissipation (in application).
3. Maximum allowed junction temperature (125°C for the LM2576). For a safe, conservative design, a temperature approximately 15°C cooler than the maximum temperatures should be selected.
4. LM2576 package thermal resistances θ_{JA} and θ_{JC} .

Total power dissipated by the LM2576 can be estimated as follows:

$$P_D = (V_{\text{IN}})(I_Q) + (V_O/V_{\text{IN}})(I_{\text{LOAD}})(V_{\text{SAT}})$$

where

- I_Q (quiescent current) and V_{SAT} can be found in TYPICAL PERFORMANCE CHARACTERISTICS shown previously,
- V_{IN} is the applied minimum input voltage, V_O is the regulated output voltage,
- and I_{LOAD} is the load current.

(3)

The dynamic losses during turn-on and turn-off are negligible if a Schottky type catch diode is used.

When no heat sink is used, the junction temperature rise can be determined by the following:

$$\Delta T_J = (P_D) (\theta_{\text{JA}})$$

(4)

To arrive at the actual operating junction temperature, add the junction temperature rise to the maximum ambient temperature.

$$T_J = \Delta T_J + T_A$$

(5)

If the actual operating junction temperature is greater than the selected safe operating junction temperature determined in step 3, then a heat sink is required.

When using a heat sink, the junction temperature rise can be determined by the following:

$$\Delta T_J = (P_D) (\theta_{JC} + \theta_{interface} + \theta_{Heat\ sink}) \tag{6}$$

The operating junction temperature will be:

$$T_J = T_A + \Delta T_J \tag{7}$$

As in Equation 14, if the actual operating junction temperature is greater than the selected safe operating junction temperature, then a larger heat sink is required (one that has a lower thermal resistance).

Included on the **Switcher Made Simple** design software is a more precise (non-linear) thermal model that can be used to determine junction temperature with different input-output parameters or different component values. It can also calculate the heat sink thermal resistance required to maintain the regulators junction temperature below the maximum operating temperature.

Additional Applications

INVERTING REGULATOR

Figure 28 shows a LM2576-12 in a buck-boost configuration to generate a negative 12V output from a positive input voltage. This circuit bootstraps the regulator's ground pin to the negative output voltage, then by grounding the feedback pin, the regulator senses the inverted output voltage and regulates it to -12V.

For an input voltage of 12V or more, the maximum available output current in this configuration is approximately 700 mA. At lighter loads, the minimum input voltage required drops to approximately 4.7V.

The switch currents in this buck-boost configuration are higher than in the standard buck-mode design, thus lowering the available output current. Also, the start-up input current of the buck-boost converter is higher than the standard buck-mode regulator, and this may overload an input power source with a current limit less than 5A. Using a delayed turn-on or an undervoltage lockout circuit (described in NEGATIVE BOOST REGULATOR) would allow the input voltage to rise to a high enough level before the switcher would be allowed to turn on.

Because of the structural differences between the buck and the buck-boost regulator topologies, the buck regulator design procedure section can not be used to select the inductor or the output capacitor. The recommended range of inductor values for the buck-boost design is between 68 μH and 220 μH, and the output capacitor values must be larger than what is normally required for buck designs. Low input voltages or high output currents require a large value output capacitor (in the thousands of micro Farads).

The peak inductor current, which is the same as the peak switch current, can be calculated from the following formula:

$$I_p \approx \frac{I_{LOAD} (V_{IN} + |V_O|)}{V_{IN}} + \frac{V_{IN} |V_O|}{V_{IN} + |V_O|} \times \frac{1}{2L_1 f_{osc}} \tag{8}$$

where

- $f_{osc} = 52 \text{ kHz}$

Under normal continuous inductor current operating conditions, the minimum V_{IN} represents the worst case. Select an inductor that is rated for the peak current anticipated.

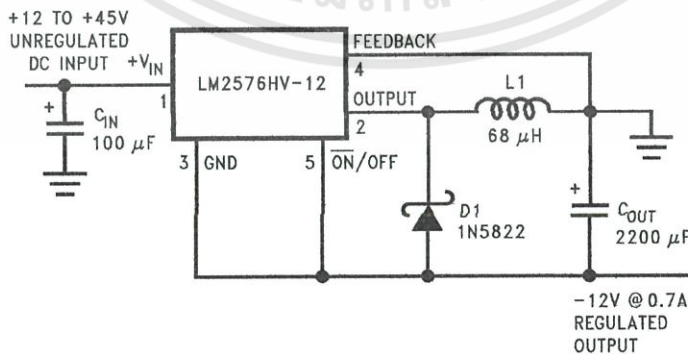


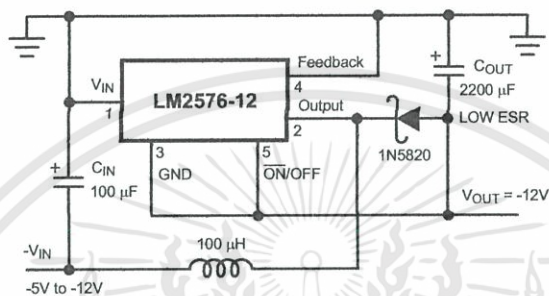
Figure 28. Inverting Buck-Boost Develops -12V

Also, the maximum voltage appearing across the regulator is the absolute sum of the input and output voltage. For a -12V output, the maximum input voltage for the LM2576 is $+28\text{V}$, or $+48\text{V}$ for the LM2576HV.

The *Switchers Made Simple* (version 3.0) design software can be used to determine the feasibility of regulator designs using different topologies, different input-output parameters, different components, and so on.

NEGATIVE BOOST REGULATOR

Another variation on the buck-boost topology is the negative boost configuration. The circuit in Figure 29 accepts an input voltage ranging from -5V to -12V and provides a regulated -12V output. Input voltages greater than -12V will cause the output to rise above -12V , but will not damage the regulator.



Typical Load Current
400 mA for $V_{IN} = -5.2\text{V}$
750 mA for $V_{IN} = -7\text{V}$
Heat sink may be required.

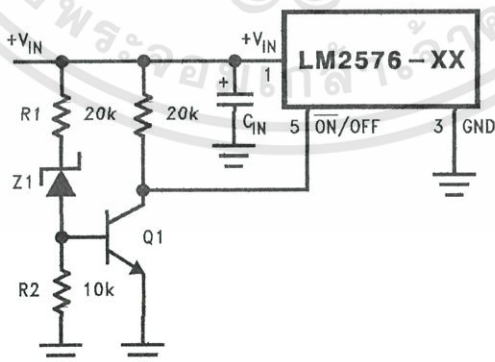
Figure 29. Negative Boost

Because of the boosting function of this type of regulator, the switch current is relatively high, especially at low input voltages. Output load current limitations are a result of the maximum current rating of the switch. Also, boost regulators can not provide current limiting load protection in the event of a shorted load, so some other means (such as a fuse) may be necessary.

UNDERVOLTAGE LOCKOUT

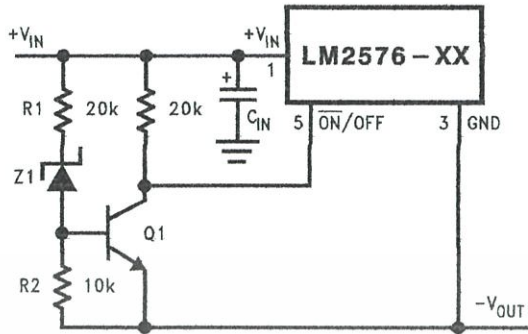
In some applications it is desirable to keep the regulator off until the input voltage reaches a certain threshold. An undervoltage lockout circuit which accomplishes this task is shown in Figure 30, while Figure 31 shows the same circuit applied to a buck-boost configuration. These circuits keep the regulator off until the input voltage reaches a predetermined level.

$$V_{TH} \approx V_{Z1} + 2V_{BE}(Q1)$$



Complete circuit not shown.

Figure 30. Undervoltage Lockout for Buck Circuit



Complete circuit not shown (see Figure 28).

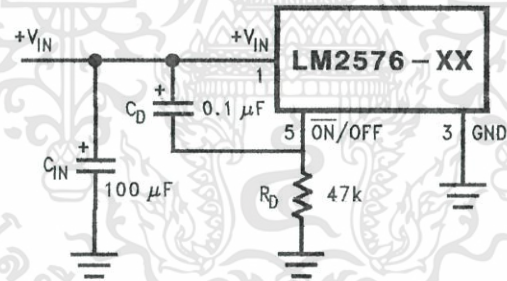
Figure 31. Undervoltage Lockout for Buck-Boost Circuit

DELAYED STARTUP

The $\overline{\text{ON}}/\text{OFF}$ pin can be used to provide a delayed startup feature as shown in Figure 32. With an input voltage of 20V and for the part values shown, the circuit provides approximately 10 ms of delay time before the circuit begins switching. Increasing the RC time constant can provide longer delay times. But excessively large RC time constants can cause problems with input voltages that are high in 60 Hz or 120 Hz ripple, by coupling the ripple into the $\overline{\text{ON}}/\text{OFF}$ pin.

ADJUSTABLE OUTPUT, LOW-RIPPLE POWER SUPPLY

A 3A power supply that features an adjustable output voltage is shown in Figure 33. An additional L-C filter that reduces the output ripple by a factor of 10 or more is included in this circuit.



Complete circuit not shown.

Figure 32. Delayed Startup

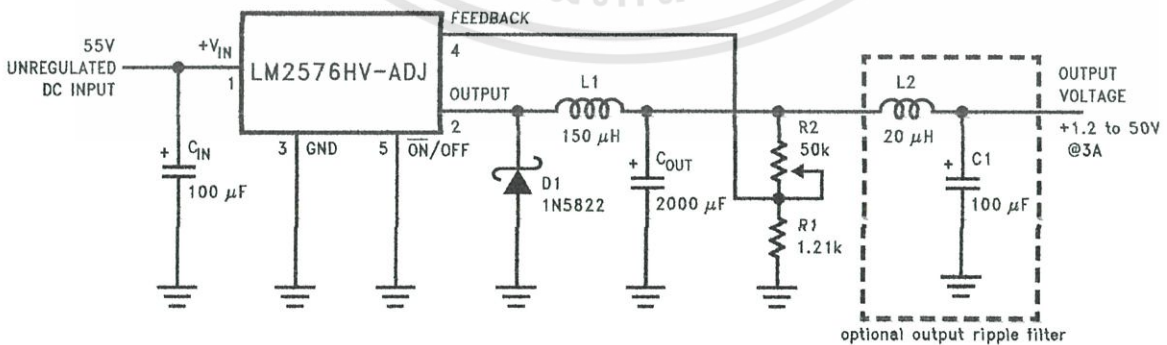


Figure 33. 1.2V to 55V Adjustable 3A Power Supply with Low Output Ripple

DEFINITION OF TERMS

BUCK REGULATOR A switching regulator topology in which a higher voltage is converted to a lower voltage. Also known as a step-down switching regulator.

BUCK-BOOST REGULATOR A switching regulator topology in which a positive voltage is converted to a negative voltage without a transformer.

DUTY CYCLE (D) Ratio of the output switch's on-time to the oscillator period.

$$\text{for buck regulator} \quad D = \frac{t_{\text{ON}}}{T} = \frac{V_{\text{OUT}}}{V_{\text{IN}}}$$

$$\text{for buck-boost regulator} \quad D = \frac{t_{\text{ON}}}{T} = \frac{|V_{\text{O}}|}{|V_{\text{O}}| + V_{\text{IN}}}$$

(9)

CATCH DIODE OR CURRENT STEERING DIODE The diode which provides a return path for the load current when the LM2576 switch is OFF.

EFFICIENCY (η) The proportion of input power actually delivered to the load.

$$\eta = \frac{P_{\text{OUT}}}{P_{\text{IN}}} = \frac{P_{\text{OUT}}}{P_{\text{OUT}} + P_{\text{LOSS}}}$$

(10)

CAPACITOR EQUIVALENT SERIES RESISTANCE (ESR) The purely resistive component of a real capacitor's impedance (see Figure 34). It causes power loss resulting in capacitor heating, which directly affects the capacitor's operating lifetime. When used as a switching regulator output filter, higher ESR values result in higher output ripple voltages.



Figure 34. Simple Model of a Real Capacitor

Most standard aluminum electrolytic capacitors in the 100 μF –1000 μF range have 0.5 Ω to 0.1 Ω ESR. Higher-grade capacitors ("low-ESR", "high-frequency", or "low-inductance") in the 100 μF –1000 μF range generally have ESR of less than 0.15 Ω .

EQUIVALENT SERIES INDUCTANCE (ESL) The pure inductance component of a capacitor (see Figure 34). The amount of inductance is determined to a large extent on the capacitor's construction. In a buck regulator, this unwanted inductance causes voltage spikes to appear on the output.

OUTPUT RIPPLE VOLTAGE The AC component of the switching regulator's output voltage. It is usually dominated by the output capacitor's ESR multiplied by the inductor's ripple current (ΔI_{IND}). The peak-to-peak value of this sawtooth ripple current can be determined by reading the INDUCTOR RIPPLE CURRENT section.

CAPACITOR RIPPLE CURRENT RMS value of the maximum allowable alternating current at which a capacitor can be operated continuously at a specified temperature.

STANDBY QUIESCENT CURRENT (I_{STBY}) Supply current required by the LM2576 when in the standby mode ($\overline{\text{ON}}/\text{OFF}$ pin is driven to TTL-high voltage, thus turning the output switch OFF).

INDUCTOR RIPPLE CURRENT (ΔI_{IND}) The peak-to-peak value of the inductor current waveform, typically a sawtooth waveform when the regulator is operating in the continuous mode (vs. discontinuous mode).

CONTINUOUS/DISCONTINUOUS MODE OPERATION Relates to the inductor current. In the continuous mode, the inductor current is always flowing and never drops to zero, vs. the discontinuous mode, where the inductor current drops to zero for a period of time in the normal switching cycle.

INDUCTOR SATURATION The condition which exists when an inductor cannot hold any more magnetic flux. When an inductor saturates, the inductor appears less inductive and the resistive component dominates. Inductor current is then limited only by the DC resistance of the wire and the available source current.

OPERATING VOLT MICROSECOND CONSTANT ($E \cdot T_{\text{op}}$) The product (in Volt- μs) of the voltage applied to the inductor and the time the voltage is applied. This $E \cdot T_{\text{op}}$ constant is a measure of the energy handling capability of an inductor and is dependent upon the type of core, the core area, the number of turns, and the duty cycle.

Connection Diagrams

(XX indicates output voltage option.)

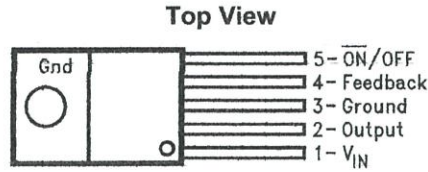


Figure 35. Straight Leads
5-Lead TO-220 (T) Package
LM2576T-XX or LM2576HVT-XX
See Package Number KC0005A

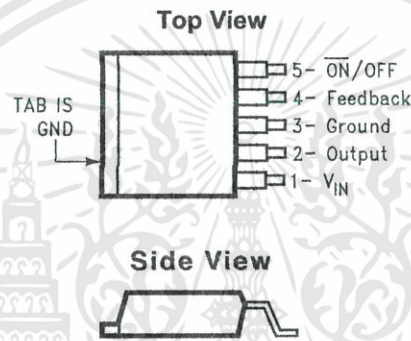


Figure 36. DPAK/TO-263 (S) Package
5-Lead Surface-Mount Package
LM2576S-XX or LM2576HVS-XX
See Package Number KTT0005B
LM2576SX-XX or LM2576HVSX-XX
See Package Number KTT0005B

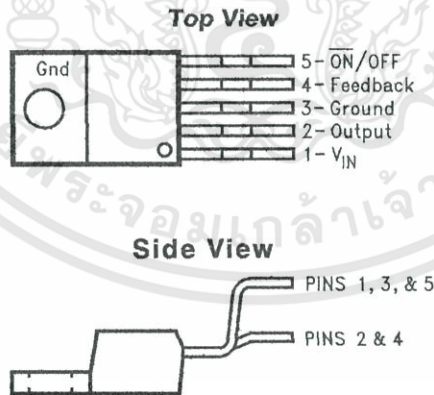


Figure 37. Bent, Staggered Leads
5-Lead TO-220 (T) Package
LM2576T-XX Flow LB03
or LM2576HVT-XX Flow LB03
See Package Number NDH0005D

LM1577/LM2577 Series SIMPLE SWITCHER® Step-Up Voltage Regulator

General 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.

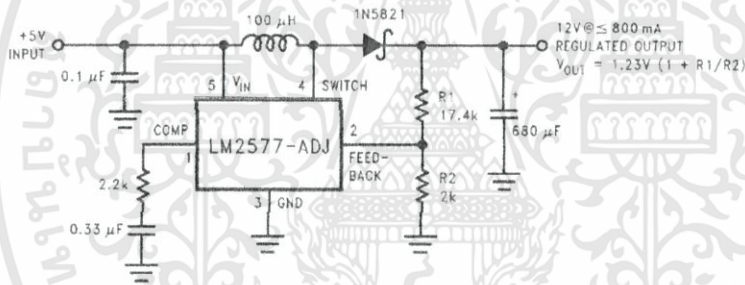
Features

- 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

Typical Application



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

DS011468-1

Ordering Information

Temperature Range	Package Type	Output Voltage			NSC Package Drawing	Package
		12V	15V	ADJ		
-40°C ≤ T _A ≤ +125°C	24-Pin Surface Mount	LM2577M-12	LM2577M-15	LM2577M-ADJ	M24B	SO
	16-Pin Molded DIP	LM2577N-12	LM2577N-15	LM2577N-ADJ	N16A	N
	5-Lead Surface Mount	LM2577S-12	LM2577S-15	LM2577S-ADJ	TS5B	TO-263
	5-Straight Leads	LM2577T-12	LM2577T-15	LM2577T-ADJ	T05A	TO-220
	5-Bent Staggered Leads	LM2577T-12 Flow LB03	LM2577T-15 Flow LB03	LM2577T-ADJ Flow LB03	T05D	TO-220
-55°C ≤ T _A ≤ +150°C	4-Pin TO-3	LM1577K-12/883	LM1577K-15/883	LM1577K-ADJ/883	K04A	TO-3

SIMPLE SWITCHER® is a registered trademark of National Semiconductor Corporation.

Absolute Maximum Ratings (Note 1)

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

Supply Voltage	45V
Output Switch Voltage	65V
Output Switch Current (Note 2)	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

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 (Notes 3, 4)	LM2577-12 Limit (Note 5)	Units (Limits)
SYSTEM PARAMETERS Circuit of Figure 1 (Note 6)						
V_{OUT}	Output Voltage	$V_{IN} = 5V$ to 10V $I_{LOAD} = 100$ mA to 800 mA (Note 3)	12.0	11.60/11.40 12.40/12.60	11.60/11.40 12.40/12.60	V V(min) V(max)
$\frac{\Delta V_{OUT}}{\Delta V_{IN}}$	Line Regulation	$V_{IN} = 3.5V$ to 10V $I_{LOAD} = 300$ mA	20	50/100	50/100	mV mV(max)
$\frac{\Delta V_{OUT}}{\Delta I_{LOAD}}$	Load Regulation	$V_{IN} = 5V$ $I_{LOAD} = 100$ mA to 800 mA	20	50/100	50/100	mV mV(max)
η	Efficiency	$V_{IN} = 5V$, $I_{LOAD} = 800$ mA	80			%
DEVICE PARAMETERS						
I_S	Input Supply Current	$V_{FEEDBACK} = 14V$ (Switch Off)	7.5	10.0/14.0	10.0/14.0	mA mA(max)
		$I_{SWITCH} = 2.0A$ $V_{COMP} = 2.0V$ (Max Duty Cycle)	25	50/85	50/85	mA mA(max)
V_{UV}	Input Supply Undervoltage Lockout	$I_{SWITCH} = 100$ mA	2.90	2.70/2.65 3.10/3.15	2.70/2.65 3.10/3.15	V V(min) V(max)
f_O	Oscillator Frequency	Measured at Switch Pin $I_{SWITCH} = 100$ mA	52	48/42 56/62	48/42 56/62	kHz kHz(min) kHz(max)
V_{REF}	Output Reference Voltage	Measured at Feedback Pin $V_{IN} = 3.5V$ to 40V $V_{COMP} = 1.0V$	12	11.76/11.64 12.24/12.36	11.76/11.64 12.24/12.36	V V(min) V(max)
$\frac{\Delta V_{REF}}{\Delta V_{IN}}$	Output Reference Voltage Line Regulator	$V_{IN} = 3.5V$ to 40V	7			mV
R_{FB}	Feedback Pin Input Resistance		9.7			kΩ
G_M	Error Amp Transconductance	$I_{COMP} = -30$ μA to +30 μA $V_{COMP} = 1.0V$	370	225/145 515/615	225/145 515/615	μmho μmho(min) μmho(max)
A_{VOL}	Error Amp Voltage Gain	$V_{COMP} = 1.1V$ to 1.9V $R_{COMP} = 1.0$ MΩ (Note 7)	80	50/25	50/25	V/V V/V(min)

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 (Notes 3, 4)	LM2577-12 Limit (Note 5)	Units (Limits)
	Error Amplifier Output Swing	Upper Limit $V_{\text{FEEDBACK}} = 10.0\text{V}$	2.4	2.2/2.0	2.2/2.0	V V(min)
		Lower Limit $V_{\text{FEEDBACK}} = 15.0\text{V}$	0.3	0.40/0.55	0.40/0.55	V V(max)
	Error Amplifier Output Current	$V_{\text{FEEDBACK}} = 10.0\text{V}$ to 15.0V $V_{\text{COMP}} = 1.0\text{V}$	± 200	$\pm 130/\pm 90$ $\pm 300/\pm 400$	$\pm 130/\pm 90$ $\pm 300/\pm 400$	μA $\mu\text{A}(\text{min})$ $\mu\text{A}(\text{max})$
I_{SS}	Soft Start Current	$V_{\text{FEEDBACK}} = 10.0\text{V}$ $V_{\text{COMP}} = 0\text{V}$	5.0	2.5/1.5 7.5/9.5	2.5/1.5 7.5/9.5	μA $\mu\text{A}(\text{min})$ $\mu\text{A}(\text{max})$
D	Maximum Duty Cycle	$V_{\text{COMP}} = 1.5\text{V}$ $I_{\text{SWITCH}} = 100\text{mA}$	95	93/90	93/90	% %(min)
$\frac{\Delta I_{\text{SWITCH}}}{\Delta V_{\text{COMP}}}$	Switch Transconductance		12.5			A/V
I_L	Switch Leakage Current	$V_{\text{SWITCH}} = 65\text{V}$ $V_{\text{FEEDBACK}} = 15\text{V}$ (Switch Off)	10	300/600	300/600	μA $\mu\text{A}(\text{max})$
V_{SAT}	Switch Saturation Voltage	$I_{\text{SWITCH}} = 2.0\text{A}$ $V_{\text{COMP}} = 2.0\text{V}$ (Max Duty Cycle)	0.5	0.7/0.9	0.7/0.9	V V(max)
	NPN Switch Current Limit		4.5	3.7/3.0 5.3/6.0	3.7/3.0 5.3/6.0	A A(min) A(max)

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 (Notes 3, 4)	LM2577-15 Limit (Note 5)	Units (Limits)
SYSTEM PARAMETERS Circuit of Figure 2 (Note 6)						
V_{OUT}	Output Voltage	$V_{IN} = 5\text{V}$ to 12V $I_{\text{LOAD}} = 100\text{mA}$ to 600mA (Note 3)	15.0	14.50/14.25 15.50/15.75	14.50/14.25 15.50/15.75	V V(min) V(max)
$\frac{\Delta V_{\text{OUT}}}{\Delta V_{IN}}$	Line Regulation	$V_{IN} = 3.5\text{V}$ to 12V $I_{\text{LOAD}} = 300\text{mA}$	20	50/100	50/100	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 600mA	20	50/100	50/100	mV mV(max)
η	Efficiency	$V_{IN} = 5\text{V}$, $I_{\text{LOAD}} = 600\text{mA}$	80			%
DEVICE PARAMETERS						
I_S	Input Supply Current	$V_{\text{FEEDBACK}} = 18.0\text{V}$ (Switch Off)	7.5	10.0/14.0	10.0/14.0	mA mA(max)
		$I_{\text{SWITCH}} = 2.0\text{A}$ $V_{\text{COMP}} = 2.0\text{V}$ (Max Duty Cycle)	25	50/85	50/85	mA mA(max)
V_{UV}	Input Supply	$I_{\text{SWITCH}} = 100\text{mA}$	2.90			V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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 (Notes 3, 4)	LM2577-15 Limit (Note 5)	Units (Limits)
DEVICE PARAMETERS						
	Undervoltage Lockout			2.70/2.65 3.10/3.15	2.70/2.65 3.10/3.15	V(min) V(max)
f_O	Oscillator Frequency	Measured at Switch Pin $I_{SWITCH} = 100\text{ mA}$	52	48/42 56/62	48/42 56/62	kHz kHz(min) kHz(max)
V_{REF}	Output Reference Voltage	Measured at Feedback Pin $V_{IN} = 3.5\text{V to }40\text{V}$ $V_{COMP} = 1.0\text{V}$	15	14.70/14.55 15.30/15.45	14.70/14.55 15.30/15.45	V V(min) V(max)
$\frac{\Delta V_{REF}}{\Delta V_{IN}}$	Output Reference Voltage Line Regulation	$V_{IN} = 3.5\text{V to }40\text{V}$	10			mV
R_{FB}	Feedback Pin Input Voltage Line Regulator		12.2			k Ω
G_M	Error Amp Transconductance	$I_{COMP} = -30\text{ }\mu\text{A to }+30\text{ }\mu\text{A}$ $V_{COMP} = 1.0\text{V}$	300	170/110 420/500	170/110 420/500	μmho $\mu\text{mho(min)}$ $\mu\text{mho(max)}$
A_{VOL}	Error Amp Voltage Gain	$V_{COMP} = 1.1\text{V to }1.9\text{V}$ $R_{COMP} = 1.0\text{ M}\Omega$ (Note 7)	65	40/20	40/20	V/V V/V(min)
	Error Amplifier Output Swing	Upper Limit $V_{FEEDBACK} = 12.0\text{V}$ Lower Limit $V_{FEEDBACK} = 18.0\text{V}$	2.4 0.3	2.2/2.0 0.4/0.55	2.2/2.0 0.40/0.55	V V(min) V(max)
	Error Amp Output Current	$V_{FEEDBACK} = 12.0\text{V to }18.0\text{V}$ $V_{COMP} = 1.0\text{V}$	± 200	$\pm 130/\pm 90$ $\pm 300/\pm 400$	$\pm 130/\pm 90$ $\pm 300/\pm 400$	μA $\mu\text{A(min)}$ $\mu\text{A(max)}$
I_{SS}	Soft Start Current	$V_{FEEDBACK} = 12.0\text{V}$ $V_{COMP} = 0\text{V}$	5.0	2.5/1.5 7.5/9.5	2.5/1.5 7.5/9.5	μA $\mu\text{A(min)}$ $\mu\text{A(max)}$
D	Maximum Duty Cycle	$V_{COMP} = 1.5\text{V}$ $I_{SWITCH} = 100\text{ mA}$	95	93/90	93/90	% %(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	300/600	300/600	μA $\mu\text{A(max)}$
V_{SAT}	Switch Saturation Voltage	$I_{SWITCH} = 2.0\text{A}$ $V_{COMP} = 2.0\text{V}$ (Max Duty Cycle)	0.5	0.7/0.9	0.7/0.9	V V(max)
	NPN Switch Current Limit	$V_{COMP} = 2.0\text{V}$	4.3	3.7/3.0 5.3/6.0	3.7/3.0 5.3/6.0	A A(min) 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 (Notes 3, 4)	LM2577-ADJ Limit (Note 5)	Units (Limits)
SYSTEM PARAMETERS Circuit of Figure 3 (Note 6)						
V_{OUT}	Output Voltage	$V_{IN} = 5\text{V to }10\text{V}$ $I_{LOAD} = 100\text{ mA to }800\text{ mA}$ (Note 3)	12.0	11.60/11.40 12.40/12.60	11.60/11.40 12.40/12.60	V V(min) 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	50/100	50/100	mV 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	50/100	50/100	mV mV(max)
η	Efficiency	$V_{IN} = 5\text{V}$, $I_{LOAD} = 800\text{ mA}$	80			%
DEVICE PARAMETERS						
I_S	Input Supply Current	$V_{FEEDBACK} = 1.5\text{V}$ (Switch Off)	7.5	10.0/14.0	10.0/14.0	mA mA(max)
		$I_{SWITCH} = 2.0\text{A}$ $V_{COMP} = 2.0\text{V}$ (Max Duty Cycle)	25	50/85	50/85	mA mA(max)
V_{UV}	Input Supply Undervoltage Lockout	$I_{SWITCH} = 100\text{ mA}$	2.90	2.70/2.65 3.10/3.15	2.70/2.65 3.10/3.15	V V(min) V(max)
f_O	Oscillator Frequency	Measured at Switch Pin	52	48/42 56/62	48/42 56/62	kHz kHz(min) kHz(max)
		$I_{SWITCH} = 100\text{ mA}$				
V_{REF}	Reference Voltage	Measured at Feedback Pin	1.230	1.214/1.206 1.246/1.254	1.214/1.206 1.246/1.254	V V(min) V(max)
		$V_{IN} = 3.5\text{V to }40\text{V}$ $V_{COMP} = 1.0\text{V}$				
$\Delta V_{REF}/\Delta V_{IN}$	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	300/800	300/800	nA 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	2400/1600 4800/5800	2400/1600 4800/5800	μmho μmho (min) μmho (max)
A_{VOL}	Error Amp Voltage Gain	$V_{COMP} = 1.1\text{V to }1.9\text{V}$ $R_{COMP} = 1.0\text{ M}\Omega$ (Note 7)	800	500/250	500/250	V/V V/V(min)
	Error Amplifier Output Swing	Upper Limit	2.4	2.2/2.0	2.2/2.0	V V(min)
		Lower Limit	0.3			V
		$V_{FEEDBACK} = 1.5\text{V}$	0.40/0.55	0.40/0.55		V(max)
	Error Amp Output Current	$V_{FEEDBACK} = 1.0\text{V to }1.5\text{V}$ $V_{COMP} = 1.0\text{V}$	± 200	$\pm 130/\pm 90$ $\pm 300/\pm 400$	$\pm 130/\pm 90$ $\pm 300/\pm 400$	μA μA (min) μA (max)
I_{SS}	Soft Start Current	$V_{FEEDBACK} = 1.0\text{V}$ $V_{COMP} = 0\text{V}$	5.0	2.5/1.5 7.5/9.5	2.5/1.5 7.5/9.5	μA μA (min) μA (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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

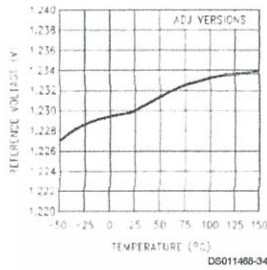
Electrical Characteristics—LM1577-ADJ, LM2577-ADJ (Continued)

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 $I_{SWITCH} = 0$.

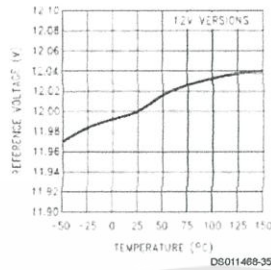
Symbol	Parameter	Conditions	Typical	LM1577-ADJ Limit (Notes 3, 4)	LM2577-ADJ Limit (Note 5)	Units (Limits)
DEVICE PARAMETERS						
I_L	Switch Leakage Current	$V_{SWITCH} = 65\text{V}$ $V_{FEEDBACK} = 1.5\text{V}$ (Switch Off)	10	300/600	300/600	μA $\mu\text{A}(\text{max})$
V_{SAT}	Switch Saturation Voltage	$I_{SWITCH} = 2.0\text{A}$ $V_{COMP} = 2.0\text{V}$ (Max Duty Cycle)	0.5	0.7/0.9	0.7/0.9	V V(max)
	NPN Switch Current Limit	$V_{COMP} = 2.0\text{V}$	4.3	3.7/3.0 5.3/6.0	3.7/3.0 5.3/6.0	A A(min) A(max)
THERMAL PARAMETERS (All Versions)						
θ_{JA}	Thermal Resistance	K Package, Junction to Ambient	35			°C/W
θ_{JC}		K Package, Junction to Case	1.5			
θ_{JA}		T Package, Junction to Ambient	65			
θ_{JC}		T Package, Junction to Case	2			
θ_{JA}		N Package, Junction to Ambient (Note 8)	85			
θ_{JA}		M Package, Junction to Ambient (Note 8)	100			
θ_{JA}		S Package, Junction to Ambient (Note 9)	37			
<p>Note 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 guaranteed under these conditions. For guaranteed specifications and test conditions, see the Electrical Characteristics.</p> <p>Note 2: 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.</p> <p>Note 3: All limits guaranteed 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.</p> <p>Note 4: 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.</p> <p>Note 5: All limits guaranteed 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 guaranteed via correlation using standard Statistical Quality Control (SQC) methods.</p> <p>Note 6: 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.</p> <p>Note 7: A 1.0 MΩ 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 guaranteed minimum limit.</p> <p>Note 8: 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.</p> <p>Note 9: If the 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, θ_{JA} is 50°C/W; with 1 square inch of copper area, θ_{JA} is 37°C/W; and with 1.6 or more square inches of copper area, θ_{JA} is 32°C/W.</p>						

Typical Performance Characteristics

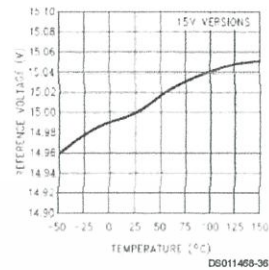
Reference Voltage vs Temperature



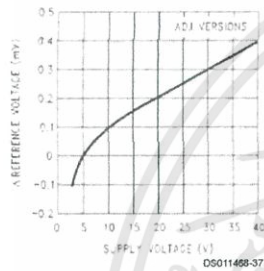
Reference Voltage vs Temperature



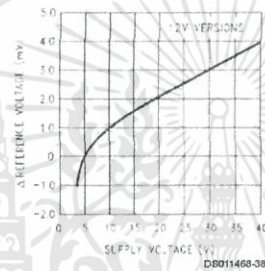
Reference Voltage vs Temperature



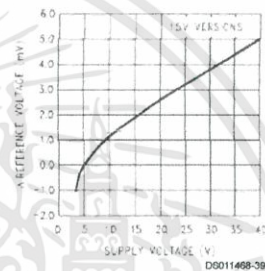
Δ Reference Voltage vs Supply Voltage



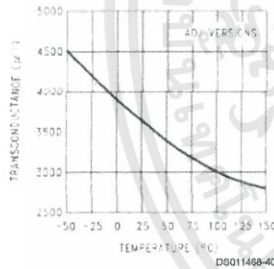
Δ Reference Voltage vs Supply Voltage



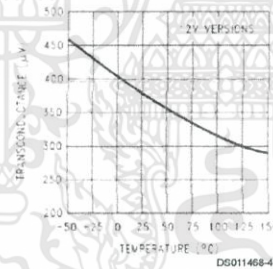
Δ Reference Voltage vs Supply Voltage



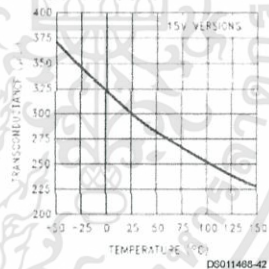
Error Amp Transconductance vs Temperature



Error Amp Transconductance vs Temperature



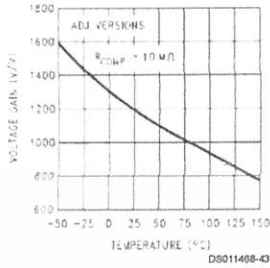
Error Amp Transconductance vs Temperature



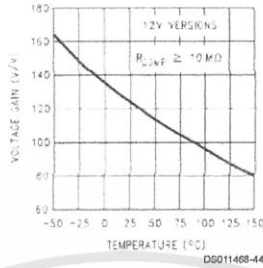
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Performance Characteristics (Continued)

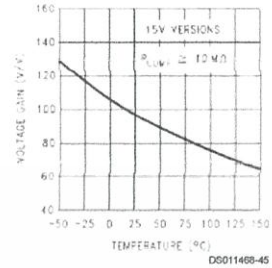
Error Amp Voltage Gain vs Temperature



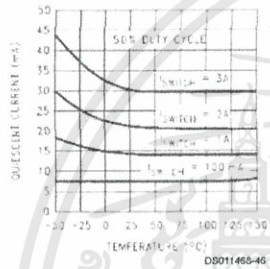
Error Amp Voltage Gain vs Temperature



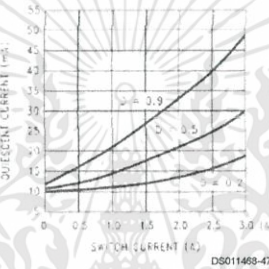
Error Amp Voltage Gain vs Temperature



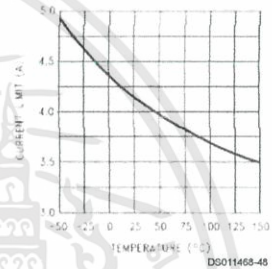
Quiescent Current vs Temperature



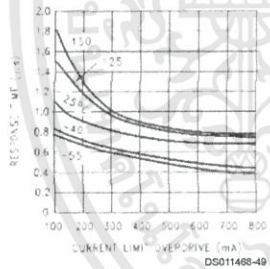
Quiescent Current vs Switch Current



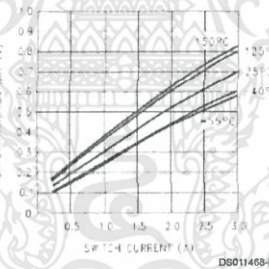
Current Limit vs Temperature



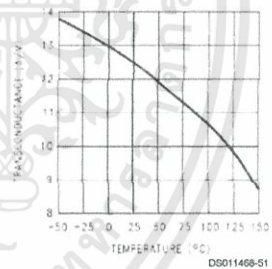
Current Limit Response Time vs Overdrive



Switch Saturation Voltage vs Switch Current



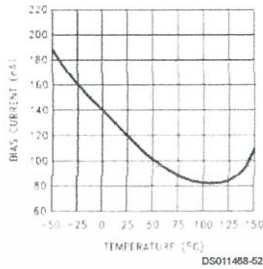
Switch Transconductance vs Temperature



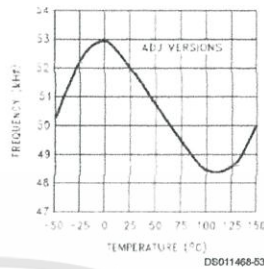
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Performance Characteristics (Continued)

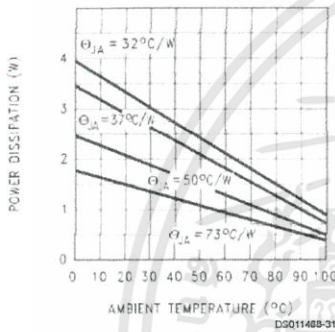
Feedback Pin Bias Current vs Temperature



Oscillator Frequency vs Temperature



Maximum Power Dissipation (TO-263) (Note 9)



Connection Diagrams

**Straight Leads
5-Lead TO-220 (T)**



Top View

Order Number LM2577T-12, LM2577T-15,
or LM2577T-ADJ
See NS Package Number T05A

**Bent, Staggered Leads
5-Lead TO-220 (T)**

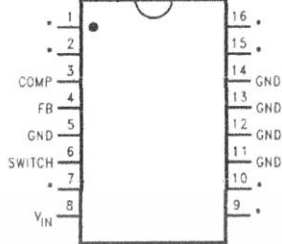


Top View

Order Number LM2577T-12 Flow LB03, LM2577T-15
Flow LB03, or LM2577T-ADJ Flow LB03
See NS Package Number T05D

Connection Diagrams (Continued)

16-Lead DIP (N)



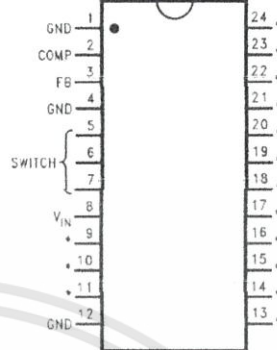
DS011468-6

*No internal Connection

Top View

Order Number LM2577N-12, LM2577N-15,
or LM2577N-ADJ
See NS Package Number N16A

24-Lead Surface Mount (M)



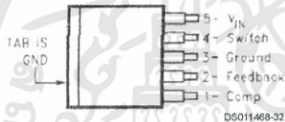
DS011468-7

*No internal Connection

Top View

Order Number LM2577M-12, LM2577M-15,
or LM2577M-ADJ
See NS Package Number M24B

TO-263 (S)
5-Lead Surface-Mount Package



DS011468-32

Top View

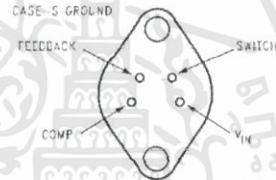


DS011468-33

Side View

Order Number LM2577S-12, LM2577S-15,
or LM2577S-ADJ
See NS Package Number TS5B

4-Lead TO-3 (K)



DS011468-8

Bottom View

Order Number LM1577K-12/883, LM1577K-15/883,
or LM1577K-ADJ/883
See NS Package Number K04A

1N5820 - 1N5822

Features

- 3.0 ampere operation at $T_A = 95^\circ\text{C}$ with no thermal runaway.
- For use in low voltage, high frequency inverters free wheeling, and polarity protection applications.



DO-201AD
COLOR BAND DENOTES CATHODE

Schottky Rectifiers

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

Symbol	Parameter	Value			Units
		1N5820	1N5821	1N5822	
V_{RRM}	Maximum Repetitive Reverse Voltage	20	30	40	V
$I_{F(AV)}$	Average Rectified Forward Current 3/8" lead length @ $T_A = 95^\circ\text{C}$	3.0			A
I_{FSM}	Non-repetitive Peak Forward Surge Current 8.3 ms Single Half-Sine-Wave	80			A
T_{stg}	Storage Temperature Range	-65 to +125			$^\circ\text{C}$
T_J	Operating Junction Temperature	-65 to +125			$^\circ\text{C}$

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

Thermal Characteristics

Symbol	Parameter	Value	Units
P_D	Power Dissipation	3.6	W
$R_{\theta JA}$	Thermal Resistance, Junction to Ambient	28	$^\circ\text{C}/\text{W}$

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

Symbol	Parameter	Device			Units
		1N5820	1N5821	1N5822	
V_F	Forward Voltage @ 3.0 A @ 9.4 A	475	500	525	mV
		850	900	950	mV
I_R	Reverse Current @ rated V_R $T_A = 25^\circ\text{C}$ $T_A = 100^\circ\text{C}$	0.5			mA
		20			mA
C_T	Total Capacitance $V_R = 4.0\text{ V}, f = 1.0\text{ MHz}$	190			pF

Typical Characteristics

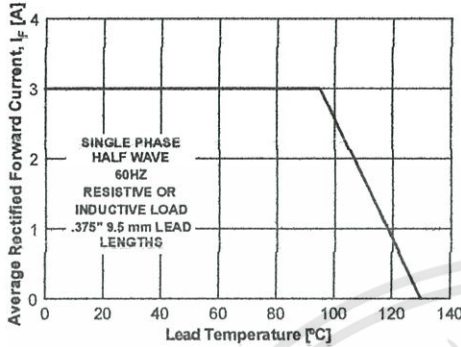


Figure 1. Forward Current Derating Curve

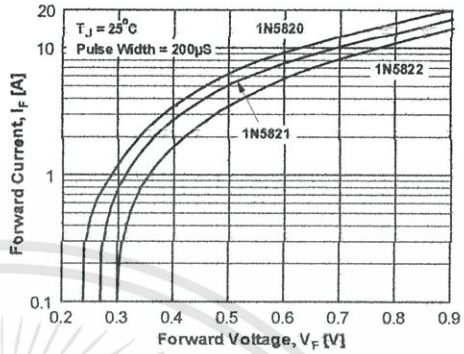


Figure 2. Forward Voltage Characteristics

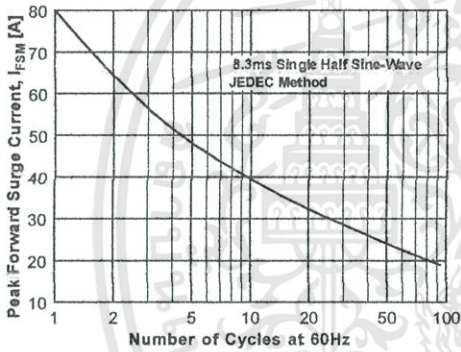


Figure 3. Non-Repetitive Surge Current

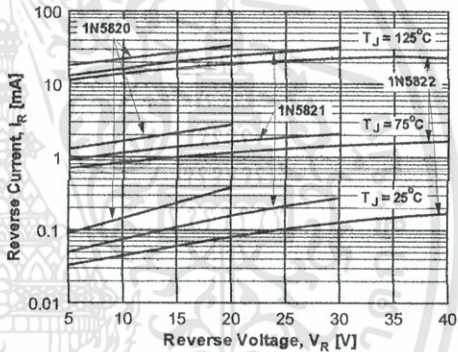


Figure 4. Reverse Current vs Reverse Voltage

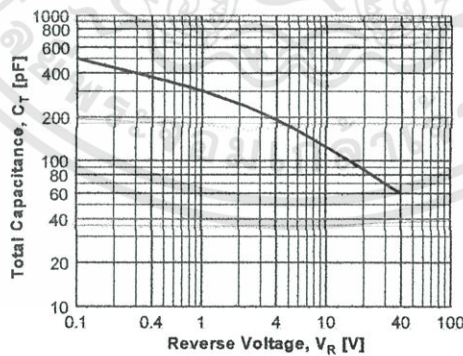


Figure 5. Total Capacitance

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TRADEMARKS

The following are registered and unregistered trademarks Fairchild Semiconductor owns or is authorized to use and is not intended to be an exhaustive list of all such trademarks.

ACE ^x ™	FAST □	OPTOLOGIC™	SMART START™	VCX™
Bottomless™	FASTr™	OPTOPLANAR™	STAR*POWER™	
CoolFET™	FRFET™	PACMAN™	Stealth™	
CROSSVOLT™	GlobalOptoisolator™	POP™	SuperSOT™-3	
DenseTrench™	GTO™	Power247™	SuperSOT™-6	
DOME™	HiSeC™	PowerTrench□	SuperSOT™-8	
EcoSPARK™	ISOPLANAR™	QFET™	SyncFET™	
E ² CMOS™	LittleFET™	QS™	TinyLogic™	
EnSigna™	MicroFET™	QT Optoelectronics™	TruTranslation™	
FACT™	MicroPak™	Quiet Series™	UHC™	
FACT Quiet Series™	MICROWIRE™	SILENT SWITCHER□	UltraFET□	

STAR*POWER is used under license

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 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, or (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 significant injury to the user.
2. A critical component is any component of a life support device or system whose failure to perform can be reasonably expected to cause the failure of the life support device or system, or to affect its safety or effectiveness.

PRODUCT STATUS DEFINITIONS

Definition of Terms

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

Rev. H4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้