

ประจุแบตเตอรี่ด้วยพลังงานความร้อน
จากระบบระบายความร้อนเครื่องยนต์

Battery charger by Thermal Energy
from liquid cooling system



กิตติพงษ์ นิธิพรเดชะ
Kittipong Nithiporndecha

จิราภรณ์ รุ่งเรียนกิจ
Jiraporn Rumrienkit

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2556

ประจุแบตเตอรี่ด้วยพลังงานความร้อน
จากระบบระบายความร้อนเครื่องยนต์

Battery charger by Thermal Energy
from liquid cooling system



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
พ.ศ.2556

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2556

สาขาวิชา วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

คณะ วิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง ประจุแบตเตอรี่ด้วยพลังงานความร้อน

จากระบบระบายความร้อนเครื่องยนต์

Battery charger by Thermal Energy

from liquid cooling system

จัดทำโดย นาย กิตติพงศ์ นิธิพรเดชะ รหัสนักศึกษา 53010114

นางสาว จิราภรณ์ รุ่งเรียนกิจ รหัสนักศึกษา 53010230

ปริญญาานิพนธ์นี้ผ่านการตรวจสอบโดยอาจารย์ที่ปรึกษาแล้ว



Jiravuth Panaklang

(รศ.จิรวัดน์ ปานกลาง)

อาจารย์ที่ปรึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	ประจุแบตเตอรี่ด้วยพลังงานความร้อน จากระบบระบายความร้อนเครื่องยนต์	
นักศึกษา	นายกิตติพงศ์ นิธิพรเดชะ	รหัสประจำตัว 53010114
	นางสาวจิราภรณ์ รุ่งเรียนกิจ	รหัสประจำตัว 53010230
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต	
สาขาวิชา	วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์	
ปีการศึกษา	2556	
อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์	รศ.จิรวีวัฒน์ ปานกลาง	

บทคัดย่อ

รายงานฉบับนี้อธิบายถึงการออกแบบ และการสร้างระบบอัดประจุแบตเตอรี่ด้วยพลังงานความร้อนจากระบบระบายความร้อนของหม้อน้ำเครื่องยนต์ ซึ่งระบบนี้ประกอบด้วย 4 ส่วน คือ อุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกที่เป็นแหล่งจ่ายไฟ , ส่วนของวงจรรักษาระดับแรงดันไฟฟ้า , ส่วนของวงจรแปลงระดับแรงดันไฟฟ้า และส่วนของวงจรอัดประจุแบตเตอรี่ หลักการทำงานคือ อุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกจะให้พลังงานความร้อนและความเย็น โดยอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกแปลงพลังงานความร้อนและความเย็น ให้เป็นพลังงานไฟฟ้า ผ่านวงจรรักษาระดับแรงดันและแปลงระดับแรงดันเพื่อนำไปอัดประจุแบตเตอรี่ตามต้องการ ซึ่งการทำงานจะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการควบคุมการทำงานของระบบนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Battery charger by Thermal Energy from liquid cooling system		
Student	MR. Kittipong Nithiporndech	ID.53010114	
	Ms. Jiraporn Rumrienkit	ID.53010230	
Degree	Bachelor of Engineering		
Program	Electronics Engineering		
Year	2013		
Thesis Advisor	Assoc.Prof.Jirawath Parnklang		

Abstract

This report is intended to describe the design and building of Thermal Energy from liquid cooling system. This system consists of 4 parts: Thermoelectric equipments , Voltage regulator , Voltage converters and Battery charger. The system will pick up heat with the thermoelectric equipments which convert heat and cool into electric energy. They regulate by voltage regulator and convert by voltage converters to charge the desirable battery. The system was controlled by a microcontroller.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ในการจัดทำโครงการนี้ขึ้นมา ถ้าหากผู้จัดทำกระทำการใดๆ โดยที่ไม่มีผู้ดูแลและผู้ที่มีพระคุณแล้วอาจจะต้องใช้เวลาในการทำงาน ศึกษาค้นคว้า การซื้ออุปกรณ์ต่างๆเพื่อใช้ในการทำโครงการแล้ว อาจต้องใช้ระยะเวลาในการดำเนินงานที่ยาวนานกว่ากำหนด แต่เนื่องจากได้รับความช่วยเหลือจากผู้มีพระคุณหลายๆท่าน จึงทำให้ปัญหาที่เกิดขึ้นนั้นสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ถึงแม้จะไม่สามารถแก้ปัญหาเหล่านั้นได้จนบรรลุเป้าหมาย แต่ก็สามารถช่วยเสนอแนะแนวคิดและวิธีการดำเนินโครงการจนประสบผลสำเร็จ ดังนั้นแล้วผู้จัดทำโครงการจึงขอขอบพระคุณทุกท่านที่ให้ความร่วมมือให้คำปรึกษาตลอดจนความคิดเห็น และข้อมูลต่างๆที่เป็นประโยชน์ต่อการทำโครงการนี้ ขอขอบพระคุณอาจารย์จิรวัดน์ ปานกลาง ที่ปรึกษาที่คอยให้คำแนะนำและเสนอแนะเกี่ยวกับโครงการและเกร็ดความรู้ในการทำโครงการนี้ ขอขอบพระคุณรุ่นพี่ และเพื่อน ที่คอยช่วยเหลือและให้คำแนะนำในการตรวจสอบโครงการเพิ่มเติม หากไม่มีผู้มีพระคุณแล้ว โครงการนี้อาจไม่ประสบผลสำเร็จตามเวลาที่กำหนดได้ ทางผู้จัดทำจึงได้นำความรู้จากผู้มีพระคุณที่ช่วยกันถ่ายทอดความรู้กับผู้อ่านมาอ้างอิงในหนังสือเล่มนี้

นายกิตติพงศ์ นิธิพรเดชะ
จิราภรณ์ ร่ำเรียนกิจ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญรูปภาพ	VII
สารบัญตาราง	IX
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา	1
1.3 สมมุติฐานของการศึกษา	1
1.4 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในงานวิจัย	2
1.5 ขอบเขตของงานวิจัย	2
1.6 ขั้นตอนของการศึกษา	2
บทที่ 2 ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller)	3
2.1 ส่วนประกอบของไมโครคอนโทรลเลอร์ (16F877A)	3
2.2 ส่วนประกอบของไมโครคอนโทรลเลอร์ (MCP3208)	10
2.3 หน้าที่ของไมโครคอนโทรลเลอร์	13
บทที่ 3 ภาพรวมของวงจรประจุแบตเตอรี่และประจุแบตเตอรี่ ด้วยพลังงานความร้อนจากระบบระบายความร้อนเครื่องยนต์	14
3.1 อุปกรณ์กำเนิดพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานความร้อน	14
3.1.1 เทอร์โมอิเล็กทริก	14
3.1.2 ระบบการประจุแบตเตอรี่ด้วยเทอร์โมอิเล็กทริก (เพลเทียร์)	16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

3.2 วงจรรักษาระดับแรงดันไฟฟ้า (Regulator)	17
3.2.1 การออกแบบและการทำงาน (LM2576-5)	18
3.3 วงจรแปลงระดับแรงดันไฟฟ้า (Converter)	18
3.3.1 ฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์	18
3.3.2 พอร์เวิร์ดคอนเวอร์เตอร์	21
3.3.3 พุช-พูลคอนเวอร์เตอร์	23
3.3.4 ฮาล์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์	24
3.3.5 ฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์	26
3.3.6 การเลือกรวมวงจร converter	27
3.4 การออกแบบวงจรและการคำนวณ (LM2577T-ADJ)	27
3.4.1 การคำนวณค่าตัวต้านทานที่ใช้ควบคุมขนาดแรงดัน	28
3.4.2 การคำนวณค่าคงที่ แรงดันในไมโครวินาที ของขดลวดเหนี่ยวนำ	28
3.4.3 การเลือกตัวเก็บประจุขาออก	30
3.4.4 การเลือกใช้งานไดโอด	31
3.4.5 การเลือกตัวเก็บประจุขาเข้า	31
3.5 ชนิดและแบตเตอรี่ที่สามารถอัดประจุได้	32
3.5.1 การต่อแบตเตอรี่แบบอนุกรม	32
3.5.2 การต่อแบตเตอรี่แบบขนาน	32
3.5.3 การต่อแบตเตอรี่แบบผสม	33
3.5.4 แบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด	33
3.5.5 การแบ่งประเภทของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด	37
3.5.6 ชนิดแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด	38
3.6 หลักการการอัดประจุแบตเตอรี่แบบต่างๆ	44
3.7 วิธีการอัดประจุของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด	44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของสถาบันเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

3.8 ชนิดของวงจรอัดประจุ	45
บทที่ 4 ซอร์ฟแวร์และการเขียนโปรแกรม	47
4.1 Flow Chart	47
4.2 โปรแกรมภาษา C ที่เขียนลงใน Microcontroller	49
บทที่ 5 การทดลองและผลการทดลอง	52
5.1 การทดสอบคุณสมบัติทางไฟฟ้าของเทอร์โมอิเล็กทริก ในกรณีไม่มีโหลด (Open circuit)	52
5.2 การทดสอบคุณสมบัติทางไฟฟ้าของเทอร์โมอิเล็กทริกในกรณีที่มีโหลด	52
5.3 การแสดงผลของจอ LCD จาก Microcontroller	63
บทที่ 6 สรุปผลการทดลอง	55
6.1 ส่วนของแหล่งจ่ายจากเทอร์โมอิเล็กทริก (เพลเทียร์)	55
6.2 ส่วนของ Microcontroller	55
บทที่ 7 ข้อเสนอแนะ	56
7.1 แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (เพลเทียร์)	56
7.2 ไมโครคอนโทรลเลอร์	56
บรรณานุกรม	57
ภาคผนวก	58

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

บทที่ 2	รูปที่ 2.1 แสดงตัวอย่างข้อมูลขีดความสามารถของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F877A แบบ 28 ขา และ 40 ขา	5
	รูปที่ 2.2 แสดงตำแหน่งขา (PIN Diagram) ของตัวถังแบบต่างๆ	6
	รูปที่ 2.3 แสดงสถาปัตยกรรมที่เป็นโครงสร้างของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877A	7
	รูปที่ 2.4 โครงสร้างและขาสัญญาณของ MCP3208	10
	รูปที่ 2.5 ไดอะแกรมแสดงการทำงานของ MCP3208	11
	รูปที่ 2.6 ไดอะแกรมแสดงการทำงานรับค่าสัญญาณอนาล็อกของ MCP3208	12
บทที่ 3	รูปที่ 3.1 เทอโมอิเล็กทริก (Peltier)	14
	รูปที่ 3.2 โครงสร้างของเทอร์โมอิเล็กทริก	15
	รูปที่ 3.3 โครงสร้างของระบบ	17
	รูปที่ 3.4 วงจร Converter โดยใช้ LM2576-5	18
	รูปที่ 3.5 วงจรพื้นฐานของฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์	18
	รูปที่ 3.6 กราฟแสดงลักษณะกระแสและแรงดันในวงจรฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ขณะทำงาน	20
	รูปที่ 3.7 วงจรพื้นฐานของฟอร์เวิร์ดคอนเวอร์เตอร์	21
	รูปที่ 3.8 กราฟแสดงลักษณะกระแสและแรงดันในวงจรฟอร์เวิร์ดคอนเวอร์เตอร์ขณะทำงาน	22
	รูปที่ 3.9 วงจรพื้นฐานของฟูล-พูลคอนเวอร์เตอร์	23
	รูปที่ 3.10 วงจรพื้นฐานของฮาล์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์	24
	รูปที่ 3.11 (บน) ขณะ Q1 นำกระแส (ล่าง) ขณะ Q2 นำกระแส	25
	รูปที่ 3.12 วงจรพื้นฐานของฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์	26
	รูปที่ 3.13 วงจร Converter โดยใช้ LM2577T-ADJ	27
	รูปที่ 3.14 กราฟความสัมพันธ์ค่า $E \cdot T$ กับค่ากระแสภาระสูงสุด	29
	รูปที่ 3.15 ตารางการเลือกใช้ไดโอด	31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ(ต่อ)

รูปที่ 3.16 การต่อแบตเตอรี่แบบอนุกรม	32
รูปที่ 3.17 การต่อแบตเตอรี่แบบขนาน	32
รูปที่ 3.18 การต่อแบตเตอรี่แบบอนุกรม- ขนาน	33
รูปที่ 3.19 โครงสร้างของแบตเตอรี่ตะกั่ว – กรด	34
รูปที่ 3.20 โครงแผ่นธาตุ	35
รูปที่ 3.21 แผ่นกั้น (Separator)	35
รูปที่ 3.22 ประเภทของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด	36
รูปที่ 3.23 แบตเตอรี่ตะกั่ว – กรด แบบปิด (Valve Regulated Lead-Acid ,VRLA)	40
รูปที่ 3.24 โครงสร้างวาล์วระบายแก๊ส	40
รูปที่ 3.25 เปรียบเทียบระหว่างแบตเตอรี่แบบ Flooded กับ VRLA	41
รูปที่ 3.26 แบตเตอรี่แบบเจล (Gelled Battery)	42
รูปที่ 3.27 แบตเตอรี่ Absorbed Glass Mat (AGM)	42
รูปที่ 3.28 วงจรไดรฟ์กระแสเพื่อใช้ในการประจุแบตเตอรี่	46
บทที่ 5 รูปที่ 5.1 กราฟแสดงผลการทดลองแหล่งจ่ายแรงดันจาก เทอร์โมอิเล็กทริกเมื่อมีโหลด	53
รูปที่ 5.2 เมื่อแรงดันในแบตเตอรี่มากกว่า 14V จอ LCD จะแสดงผลว่า “Full”	53
รูปที่ 5.3 เมื่อแรงดันในแบตเตอรี่อยู่ในช่วง 8V ถึง 14V จอ LCD จะแสดงผลว่า “Medium”	54
รูปที่ 5.2 เมื่อแรงดันในแบตเตอรี่น้อยกว่า 8V จอ LCD จะแสดงผลว่า “Empty”	54

สารบัญตาราง

บทที่ 2 ตารางที่ 2.1 ตารางเปรียบเทียบรายละเอียดขีดความสามารถของ ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F87XA	8
ตารางที่ 2.2 แสดงรายละเอียดและตำแหน่งขาของ ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F87XA	9
ตารางที่ 2.3 แสดงสัญญาณที่ใช้ตั้งค่าการติดต่อกับ MCP3204/3208	13
บทที่ 3 ตารางที่ 3.1 ตารางเปรียบเทียบคุณสมบัติของแบตเตอรี่ชนิดต่างๆ	43
ตารางที่ 3.2 ตารางเปรียบเทียบคุณสมบัติของแบตเตอรี่ชนิดต่างๆ(ต่อ)	43
บทที่ 5 ตารางที่ 5.1 ตารางแสดงผลการทดลองแหล่งจ่ายแรงดันจาก เทอร์โมอิเล็กทริกเมื่อมีโหลด	52



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันประเทศไทยมีการใช้ยานพาหนะเป็นจำนวนมาก ซึ่งยานพาหนะต่างๆ จะมีระบบระบายความร้อนจากการใช้พลังงานไม่ว่าจะเป็นพลังงานไฟฟ้า พลังงานกล เป็นต้น ระบบระบายความร้อนของเครื่องยนต์ต่างๆ จะเกิดการสูญเสียพลังงานในรูปแบบของพลังงานความร้อนเป็นจำนวนมาก จึงมีแนวคิดที่จะนำพลังงานความร้อนที่สูญเสียเปล่ากลับมาใช้เพื่อทำให้เกิดประโยชน์ โดยเปลี่ยนพลังงานความร้อนให้เป็นพลังงานไฟฟ้า และนำพลังงานไฟฟ้านี้มาเก็บในแบตเตอรี่ ซึ่งเป็นทางเลือกหนึ่งที่จะช่วยประหยัดพลังงานได้

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

- 1) เพื่อใช้พลังงานความร้อนที่สูญเสียเปล่าจากระบบระบายความร้อนของเครื่องยนต์ให้เกิดประโยชน์
- 2) เพื่อเป็นแนวทางในการประหยัดพลังงาน
- 3) ศึกษาการใช้วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อควบคุมการประจุเก็บไว้ในแบตเตอรี่

1.3 สมมุติฐานของการศึกษา

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเกี่ยวกับการประจุแบตเตอรี่ โดยนำความร้อนที่ได้จากระบบระบายความร้อนเครื่องยนต์ มาทำการเปลี่ยนรูปแบบพลังงานจากพลังงานความร้อนให้เป็นพลังงานไฟฟ้าโดยใช้เพลเทียร์ ผ่านวงจรรีกซาระดับแรงดันและวงจรขยายแรงดัน เข้าสู่ไมโครคอนโทรลเลอร์ที่เป็นตัวควบคุมแลตรวจสถานะของแรงดันและกระแสในการประจุแบตเตอรี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในงานวิจัย

จากการศึกษาเกี่ยวกับการใช้พลังงานต่างๆ เมื่อใช้พลังงาน ย่อมมีการสูญเสียพลังงานทิ้งเปล่า จึงมีแนวคิดที่จะนำพลังงานที่สูญเสียเปล่านั้นกลับมาใช้ให้เกิดประโยชน์ เพื่อเป็นการลดการใช้พลังงานอย่างฟุ่มเฟือยได้

1.5 ขอบเขตของงานวิจัย

งานวิจัยนี้ทำขึ้นเพื่อแสดงให้เห็นถึงการนำพลังงานที่สูญเสียจากระบบระบายความร้อนจากเครื่องยนต์กลับมาใช้ใหม่โดยเปลี่ยนพลังงานความร้อนให้เป็นพลังงานไฟฟ้า และพลังงานไฟฟ้านี้จะผ่านการประจุแบตเตอรี่และสามารถนำพลังงานไฟฟ้านี้กลับมาใช้ใหม่ได้

1.6 ขั้นตอนของการศึกษา

- 1) ศึกษาเกี่ยวกับระบบระบายความร้อนของเครื่องยนต์ขนาดเล็ก
- 2) ศึกษาการประจุแบตเตอรี่โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการควบคุมการประจุ
- 3) ศึกษาและคำนวณอุปกรณ์ต่างๆที่นำมาใช้ทำวงจรประจุแบตเตอรี่และวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์
- 4) นำความรู้ที่ได้จากการศึกษาข้างต้นมาปฏิบัติจริงและสร้างเป็นผลงานขึ้นมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller)

2.1 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
- มีการตอบสนองอินเตอร์รัพท์ทั้งหมด 14 แหล่ง
- สามารถเลือกระดับการป้องกันข้อมูล (Code Protection) ได้
- มีโหมดประหยัดพลังงาน (Sleep Mode)
- สามารถเลือกแหล่งสัญญาณนาฬิกาได้หลายโหมด XT RC และออสซิลเลเตอร์พลังงานต่ำ
- มีฟังก์ชันการรักษาเสถียรภาพการทำงาน ได้แก่ POR, PWRT, OST, BOR และ WDT

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์สงวนไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ใช้ได้เห็นใบเขียวระบุเขตนับด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆก็ตามหากมีผู้ใดนำเอกสารนี้ไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากผู้จัดทำเอกสารนี้ถือว่าผิดกฎหมาย

- การโปรแกรมตัวชิพ ICSP (ICSP : In-Circuit Serial Programming)
- สามารถทำงานที่ไฟเลี้ยงวงจรตั้งแต่ 2.0 V ถึง 5.5 V
- ขาพอร์ท I/O แต่ละขา สามารถรับและปล่อยกระแสได้สูงสุด 25 mA
- มีโมดูล Timer/Counter ใช้งานทั้งหมด 3 ตัว Timer 0, Timer 1, และ Timer 2
- มีโมดูล CCP (CCP : Compare/Capture/PWM) จำนวน 2 ชุด
- มีโมดูล Analog to Digital Converter ความละเอียด ขนาด 8 บิต และ 10 บิต จำนวน 8

ช่อง ภายในตัวชิพ

- มีโมดูลสื่อสารอนุกรมแบบ USART (USART : Universal Synchronous Asynchronous Receiver/Transmitter)

- มีพอร์ท I/O จำนวน 5 พอร์ท A,B,C,D และ E มีขา I/O รวมกัน 33 ขา ดังนี้คือ

PORTA มี 5 ขา RA0 ถึง RA5

PORTB มี 8 ขา RB0 ถึง RB7

PORTC มี 8 ขา RC0 ถึง RC7

PORTD มี 8 ขา RD0 ถึง RD7

PORTE มี 3 ขา RE0 ถึง RE2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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 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 PIC18CXXX and PIC18FXXX 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

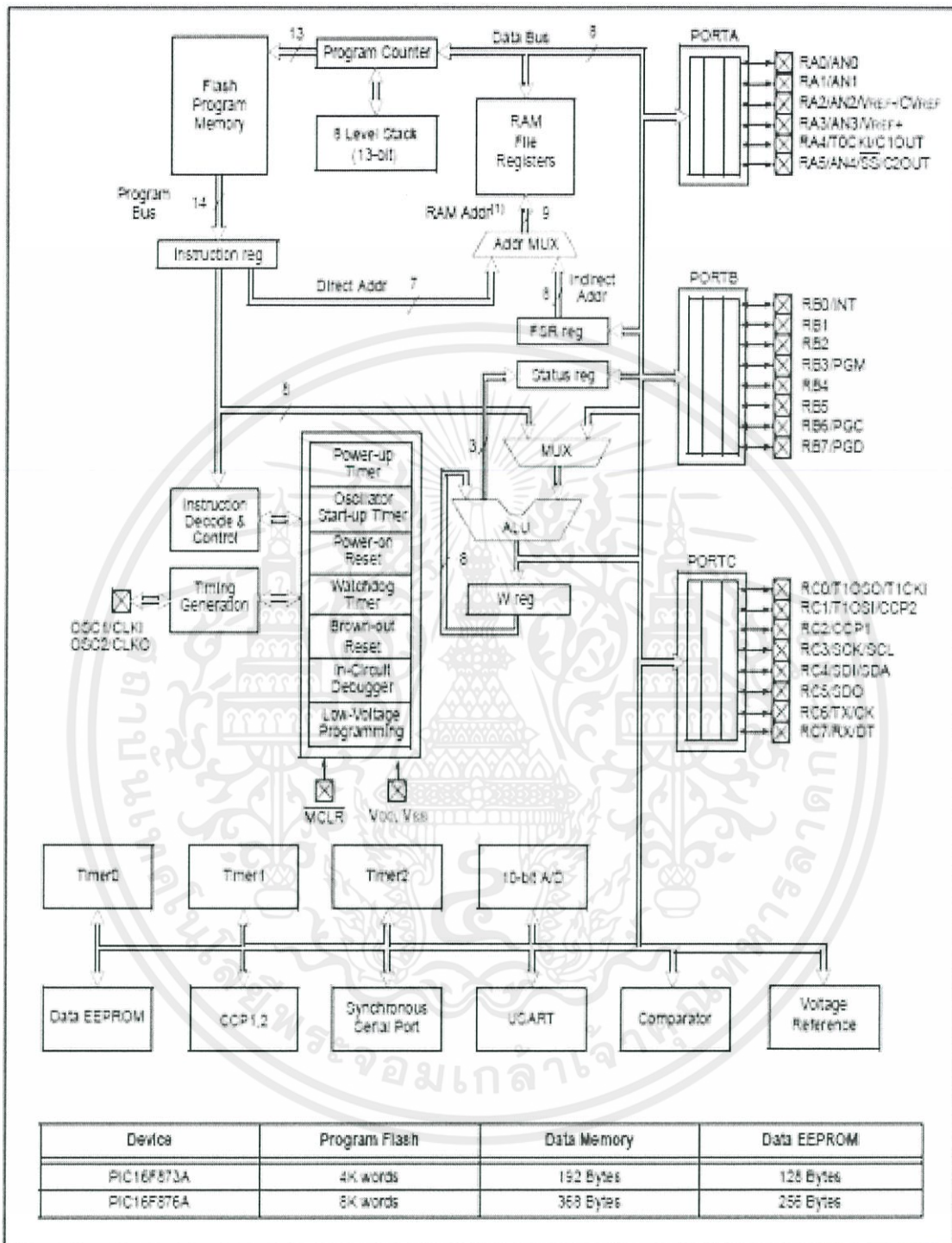
Special Microcontroller Features:

- 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 2.1 แสดงตัวอย่างข้อมูลขีดความสามารถของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F877A แบบ 28 ขา เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า และ 40 ขา ไม่ว่าจะพิมพ์ใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 แสดงสถาปัตยกรรมที่เป็นโครงสร้างของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า 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

เอกสารตารางที่ 2.1 ตารางเปรียบเทียบรายละเอียดขีดความสามารถของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F87XA นี้ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

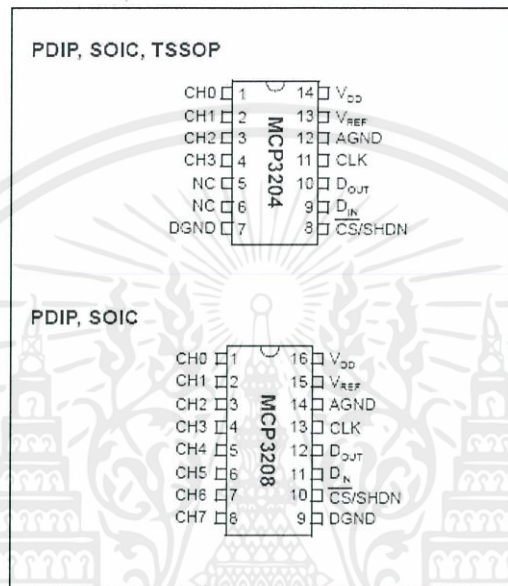
Pin Name	PDP Pin#	PLCC Pin#	TQFP Pin#	QFN Pin#	I/O Type	Buffer Type	Description
OSC1/CLKI OSC1 CLKI	13	14	30	32	I I	ST/CMOS ⁴⁾	Oscillator crystal or external clock input. Oscillator crystal input or external clock source input. ST buffer when configured in RC mode; otherwise CMOS. External clock source 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	2	3	19	19	I/O I I	TTL	PORTA is a bidirectional I/O port. Digital I/O. Analog input 0.
RA1/AN1 RA1 AN1	3	4	20	20	I/O I I	TTL	Digital I/O. Analog input 1.
RA2/AN2/Vref-/CVref RA2 AN2 Vref- CVref	4	5	21	21	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	6	22	22	I/O I I	TTL	Digital I/O. Analog input 3. A/D reference voltage (High) input.
RA4/TOCKI/C1OUT RA4 TOCKI C1OUT	8	7	23	23	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	8	24	24	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

ตารางที่ 2.2 แสดงรายละเอียดและตำแหน่งขาของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F87XA เอกสารนี้เป็นเอกสารทหส่งวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 ส่วนประกอบของไมโครคอนโทรลเลอร์ (MCP3208)

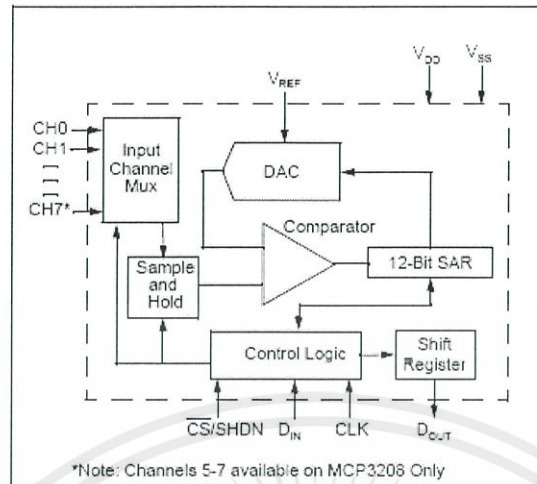
MCP3204/3208 เป็น IC ที่ใช้ในการแปลงสัญญาณไฟฟ้าอนาล็อกให้เป็นสัญญาณดิจิทัล ที่ความละเอียดขนาด 12 บิต โดยมีช่องสัญญาณ 8 ช่องในรุ่น MCP3208 ซึ่งโครงสร้างและขาสัญญาณ มีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 โครงสร้างและขาสัญญาณของ MCP3208

MCP3208 ใช้สถาปัตยกรรมแบบ SAR ซึ่งมีลักษณะในการสุ่มจับสัญญาณแบบ internal sample/hold capacitor โดยใช้สัญญาณนาฬิกาที่ 1.5 clock cycle โดยจะเริ่มต้นที่สัญญาณขาขึ้น อันดับที่สูงจากสัญญาณนาฬิกา และจะเริ่มในการตรวจจับสัญญาณเพื่อแปลงเป็นดิจิทัลโค้ดแบบอนุกรมขนาด 12 บิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 ไดอะแกรมแสดงการทำงานของ MCP3208

การทำงานเบื้องต้นในการรับสัญญาณ Analog Inputs

MCP3208 มีการทำงาน 2 ลักษณะในการรับสัญญาณอนาล็อก คือ single-ended inputs และ pseudo-differential pairs โดยที่การทำงานแบบ single-ended inputs จะรับสัญญาณไฟฟ้าอนาล็อกมาเปรียบเทียบกับสายดิน เพื่อให้ได้ค่าแรงดันไฟฟ้าออกมา ส่วนแบบ pseudo-differential pairs จะทำการเปรียบเทียบแรงดันไฟฟ้าจากสองช่องสัญญาณ ค่าแรงดันไฟฟ้าที่ได้จะเป็นค่าความแตกต่างระหว่างแรงดันไฟฟ้าจาก 2 ช่องสัญญาณ

โดยใน MCP3208 จะสามารถรับค่าแรงดันไฟฟ้าแบบ single-ended inputs ได้ทั้งหมด 4 ค่า และรับค่าแรงดันไฟฟ้าแบบ pseudo-differential pairs ได้ทั้งหมด 2 ค่า ซึ่งในการแปลงค่าสัญญาณไฟฟ้าแบบอนาล็อกให้อยู่ในรูปแบบของดิจิตอลโค้ดนั้นจะต้องอาศัยค่าแรงดันไฟฟ้าอ้างอิงเพื่อเปรียบเทียบหาค่าแรงดันไฟฟ้าจากสัญญาณไฟฟ้าที่รับเข้ามา ซึ่งการเลือกใช้ค่าแรงดันไฟฟ้าอ้างอิงนี้มีความสำคัญมากเพราะส่งผลโดยตรงกับค่าในดิจิตอลโค้ดที่ออกมา ค่าของดิจิตอลโค้ดขนาด 12 บิต สามารถหาได้จาก

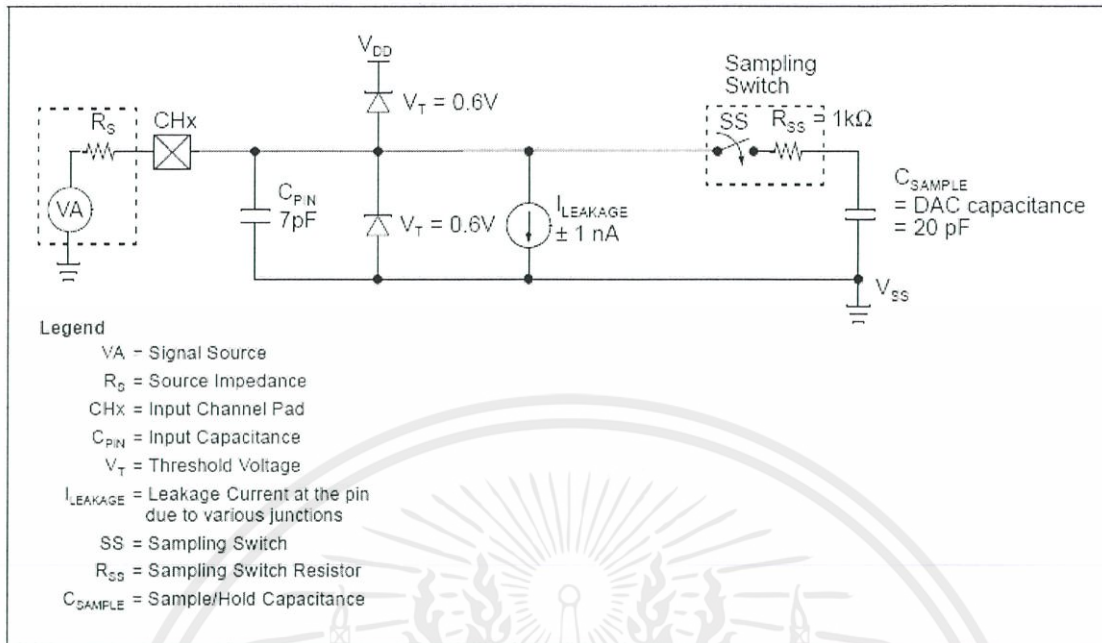
$$\text{Digital Output Code} = \frac{4096 * V_{IN}}{V_{REF}}$$

where:

V_{IN} = analog input voltage

V_{REF} = reference voltage

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 ไตอะแกรมแสดงการทำงานรับค่าสัญญาณอนาล็อกของ MCP3208

การติดต่อแบบอนุกรม

การสื่อสารเพื่อติดต่อกับ MCP3208 จะใช้การติดต่อเป็นสัญญาณอนุกรมแบบมาตรฐาน SPI-compatible serial interface ซึ่งรูปแบบการของสัญญาณที่ใช้ตั้งค่าเพื่อติดต่อกับ MCP3204 สามารถดูได้จากตารางในรูปที่ 2.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CONTROL BIT SELECTIONS				INPUT CONFIGURATION	CHANNEL SELECTION
SINGLE/ DIFF	D2*	D1	D0		
1	X	0	0	single ended	CH0
1	X	0	1	single ended	CH1
1	X	1	0	single ended	CH2
1	X	1	1	single ended	CH3
0	X	0	0	differential	CH0 = IN+ CH1 = IN-
0	X	0	1	differential	CH0 = IN- CH1 = IN+
0	X	1	0	differential	CH2 = IN+ CH3 = IN-
0	X	1	1	differential	CH2 = IN- CH3 = IN+

*D2 is don't care for MCP3204

ตารางที่ 2.3 แสดงสัญญาณที่ใช้ตั้งค่าการติดต่อกับ MCP3204/3208

2.3 หน้าทีของไมโครคอนโทรลเลอร์

หน้าที่สำคัญของไมโครคอนโทรลเลอร์คือการเช็คอินพุตที่เข้าสู่วงจรควบคุมขนาดแรงดัน และวงจรรักษาระดับแรงดันว่ามีแรงดันเท่าใด และคอยเช็คเอาต์พุตที่ออกมาจากวงจรควบคุมขนาดแรงดันและวงจรรักษาระดับแรงดันว่าเหมาะสมที่จะนำแรงดันเข้าสู่วงจรประจุแบตเตอรี่หรือไม่ หากมีแรงดันที่ต่ำกว่าที่วงจรทั้งหมดจะนำเข้ามา ไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำการตัดแรงดันส่วนที่ไม่จำเป็นทิ้งไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

ภาพรวมของวงจรประจุแบตเตอรี่และประจุแบตเตอรี่ ด้วยพลังงานความร้อนจากระบบระบายความร้อนเครื่องยนต์

3.1 อุปกรณ์กำเนิดพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานความร้อน

3.1.1 เทอร์โมอิเล็กทริก

ในส่วนของแหล่งจ่ายพลังงานนี้ ในวงจรประจุแบตเตอรี่ประจุแบตเตอรี่ด้วยพลังงานความร้อนจากระบบระบายความร้อนเครื่องยนต์จะเลือกใช้ "เทอร์โมอิเล็กทริก" ในการจ่ายพลังงานไฟฟ้า ซึ่งจะนำแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกด้านร้อนประกบกับหม้อน้ำของรถจักรยานยนต์ และส่วนของด้านเย็นจะประกบกับ Heat sink เพื่อระบายความร้อนส่วนเกินออกไป

โครงสร้างและหลักการทำงานของเพลเทียร์ (Peltier) โครงสร้างเบื้องต้นของอุปกรณ์เพลเทียร์ประกอบด้วยสารชนิดเอ็น (N-type) และ (P-type) ของบิสมัทเทลลูไรด์ (สร้างมาจากสารผสมบิสมัท (Bi) กับเทลลูเรียม (Te) วางลงบนฐานรองเซรามิก) ที่สร้างเป็นรูปลูกเต๋าเล็ก ๆ จำนวนมากแล้วนำเอาแผ่นเซรามิกมาประกบไว้ทั้งสองด้านในขณะที่สารพีและเอ็นซึ่งทำเป็นเนื้ออัลลอยส์ระหว่างบิสมัท (Bismuth) และเทลลูเรียม (Tellurium) ทั้งสองมีความต่างในความหนาแน่นของอิเล็กตรอนอิสระที่อุณหภูมิเท่ากันลูกเต๋าด้านพีเป็นโลหะที่มีอิเล็กตรอนไม่พอเพียง (Deficiency of electrons) ในขณะที่ลูกเต๋าด้านเอ็นเป็นโลหะที่มีอิเล็กตรอนหนาแน่นมากจนเหลือเฟือ (Excess of electrons)

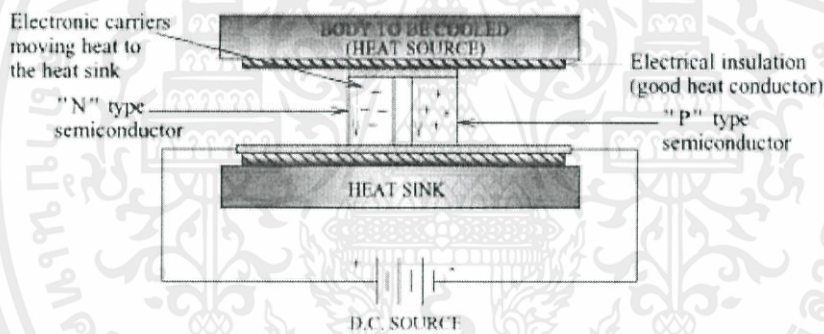
รูปที่ 3.1 เทอร์โมอิเล็กทริก (Peltier)

เมื่อกระแสไหลผ่านตัวโมดูลมันจะพยายามสร้างดุลภาพ (Attempts to establish) ขึ้นในมวลภายในกระแสที่กระทำกับสารชนิดพีทำให้จังก์ชันเกิดความร้อนขึ้นต้องการทำให้เกิดความเย็นและสารชนิดเอ็นเกิดความร้อนขึ้นต้องการทำให้เกิดความร้อนทั้งนี้เพื่อดำรงดุลภาพตัวเองไว้ให้ได้เมื่อไม่ว่ากริมใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้คิดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์นี้ทำงานในระดับอุณหภูมิเดียวกันทำให้ด้านที่เกิดความร้อนเพิ่มขึ้นและด้านที่เกิดความเย็นมีความเย็นมากขึ้น

โดยทั่วไปเพเลเทียร์ทำงานด้วยกระแส 4-10 แอมป์ที่แรงดันไฟ 12 โวลต์แต่ในการผลิตเพื่องานอุตสาหกรรมผลิตเพเลเทียร์ให้ทำงานด้วยกระแส 100 แอมป์หรือมากกว่านี้

เทอร์โมอิเล็กทริกประกอบด้วยสารกึ่งตัวนำสองชนิดคือสาร N-Type และสาร P-Type ซึ่งต่ออนุกรมกันทางไฟฟ้าและต่อขนานกันทางความร้อน การผลิตพลังงานไฟฟ้าจะเกิดขึ้นเมื่อป้อนพลังงานความร้อนเข้าที่ด้านหนึ่งของเทอร์โมอิเล็กทริกและควบคุมอุณหภูมิอีกด้านหนึ่งไว้ที่ระดับต่ำกว่าโดยใช้ตัวระบายความร้อน ผลของอุณหภูมิที่แตกต่างกันจะทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าไหลได้ ถ้ามีภาระทางไฟฟ้าต่ออยู่ภายนอกทำให้วงจรสมบูรณ์ แรงดันและกำลังงานที่เทอร์โมอิเล็กทริกผลิตได้นั้นจะขึ้นอยู่กับพลังงานความร้อนที่ได้รับ ระบบระบาย ความร้อน และจำนวนของโมดูลที่นำมาต่อรวมกัน



รูปที่ 3.2 โครงสร้างของเทอร์โมอิเล็กทริก

เมื่อต่อกันครบวงจร ดังรูปที่ P-type จะดูดอิเล็กตรอนเข้ามาทางขวา ซึ่งมีอยู่ตรงรอยต่อ (Junction) ทำให้ด้านขวามือเป็นเมื่อโปรตอนจากความร้อนมากระทบ จะทำให้ประจุบวกลบซึ่งเป็นกลางแยกออกจากกัน เรียกว่า Hole-Pair ทำให้ประจุลบจากขวาวิ่งผ่านรอยต่อไปทางซ้ายเป็นการเคลื่อนที่ของประจุลบ (ทวนเข็มนาฬิกา) ทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าเคลื่อนที่ไปในทิศสวนกลับ คือตามเข็มนาฬิกา เทอร์โมอิเล็กทริกสามารถเปลี่ยนพลังงานความร้อนให้เป็นพลังงานไฟฟ้าได้โดยสมการการถ่ายเทความร้อนที่ด้านเย็นหรือด้านร้อนตามสมการที่ 3.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$Q_c = (\alpha I T_c - 0.5 I^2 R - K_t \Delta T) \quad (3.1)$$

โดยที่ Q_c / Q_h คือ ปริมาณความเย็นหรือความร้อนที่ให้กับเทอร์โมอิเล็กทริก (W)

α คือ สัมประสิทธิ์ของซีเบ็ค (V/K)

ΔT คือ ผลต่างระหว่างอุณหภูมิด้านร้อนและอุณหภูมิด้านเย็น (K)

R คือ ความต้านทานไฟฟ้าของเทอร์โมอิเล็กทริก

I คือ กระแสไฟฟ้า(A)

T_c / T_h คือ อุณหภูมิด้านเย็นหรือด้านร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริก (K)

K_t คือ ค่าสภาพนำความร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริก (Watt/cm-K)

และจะได้ค่ากำลังเอาต์พุต คือ $P_{out} = I^2 R_L$ (3.2)

โดยที่ R_L คือ ความต้านทานโหลดไฟฟ้า

และจะได้ค่าแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุต คือ

$$V = \alpha \Delta T = (R + R_L) I \quad (3.3)$$

$$I = \alpha \Delta T / (R + R_L) \quad (3.4)$$

$$P_{out} = R_L (\alpha \Delta T)^2 / (R + R_L) \quad (3.5)$$

3.1.2 ระบบการประจุแบตเตอรี่ด้วยเทอร์โมอิเล็กทริก (เพลเทียร์)

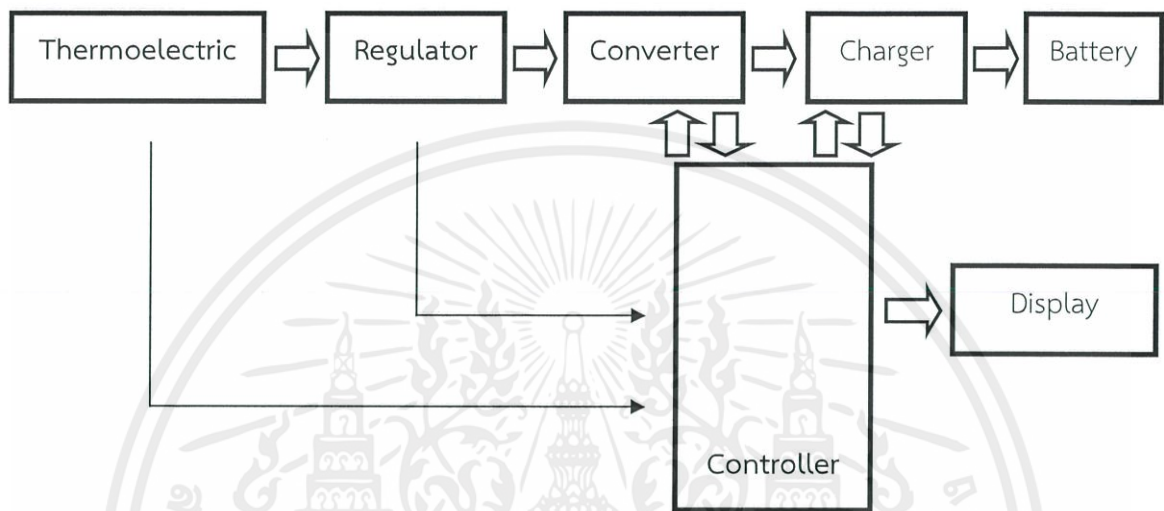
ในส่วนนี้จะใช้อุปกรณ์ที่ชื่อว่าเพลเทียร์ เป็นอุปกรณ์ที่ใช้คุณสมบัติการ “Heat Pump” ซึ่งเมื่อจ่ายไฟเข้าไปในเพลเทียร์ มันจะทำหน้าที่ปั๊มความร้อนจากด้านหนึ่งไปสู่อีกด้านหนึ่งได้อย่างรวดเร็ว ทำให้จะมีด้านหนึ่งที่เย็น (ด้านที่ถูกปั๊มความร้อนออกไปอีกด้าน) และอีกด้านหนึ่งที่ร้อน (ด้านที่ถูกปั๊มความร้อนออกมา) ในทางกลับกันเราใช้คุณสมบัตินี้ของเพลเทียร์ โดยให้ส่วนที่ทำหน้าที่แปลงพลังงานความร้อนที่ได้รับ ให้เป็นกำลังไฟฟ้าที่ใช้ในการอัดประจุแบตเตอรี่ผ่านไปยังวงจรรักษา

ระดับแรงดันไฟฟ้า

(Regulator) ซึ่งเป็นส่วนที่ช่วยให้ระดับแรงดันไฟฟ้าที่ระบบได้รับมีความคงที่ โดยจะทำหน้าที่กำจัดแรงดันกระเพื่อมที่ยังหลงเหลืออยู่เล็กน้อยให้หมดไป เพื่อให้เหมาะกับการควบคุมการนำพลังงานไป

อัตรประจุแบตเตอรี่ และผ่านไปยังวงจรแปลงระดับแรงดันไฟฟ้า (Boost Converter) เป็นส่วนที่

แปลงระดับแรงดันไฟฟ้าให้มีระดับคงที่เพียงพอและเหมาะสมต่อการอัดประจุแบตเตอรี่ และเข้าสู่ วงจรอัดประจุแบตเตอรี่ (Battery charger) ซึ่งเป็นส่วนที่ทำการอัดประจุแบตเตอรี่โดยส่งผ่านกำลัง งานที่มีระดับแรงดันที่เหมาะสมโดยจ่ายเข้าไปโดยใช้ Pulsed charge ซึ่งก็คือการจ่าย PWM จาก คอนโทรลเลอร์จากเข้าวงจรอัดประจุ จากส่วนข้างต้นไปยังแบตเตอรี่ที่ต้องการอัดประจุ



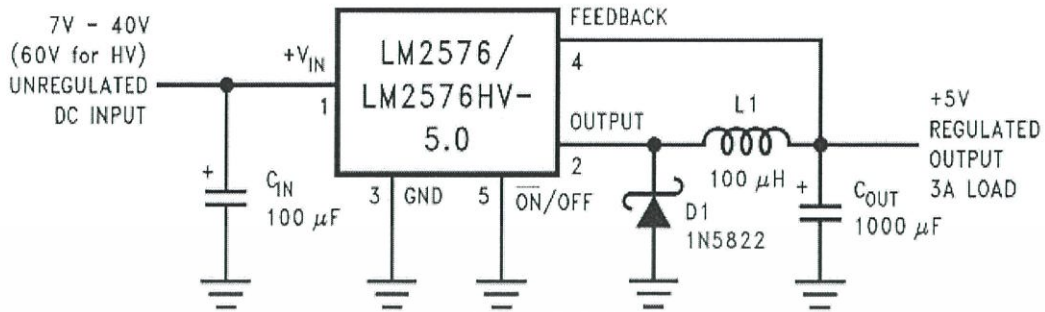
รูปที่ 3.3 โครงสร้างของระบบ

3.2 วงจรรักษาระดับแรงดันไฟฟ้า (Regulator)

เป็นส่วนที่ช่วยให้ระดับแรงดันไฟฟ้าที่ระบบได้รับมีความคงที่ โดยจะทำหน้าที่กำจัดแรงดัน กระแสที่ขี้นหรือลดลงเล็กน้อยให้หมดไป เพื่อให้เหมาะกับการควบคุมการนำพลังงานไปอัดประจุ แบตเตอรี่ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.1 การออกแบบและการทำงาน (LM2576-5)



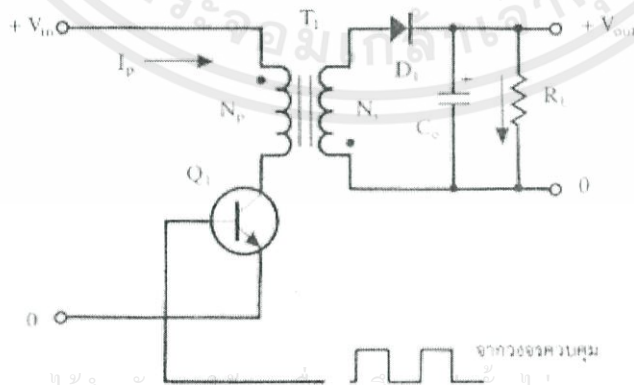
รูปที่ 3.4 วงจร Converter โดยใช้ LM2576-5

การทำงานของวงจรของวงจร Regulator โดยใช้ LM2576-5 คือ เมื่อมีแรงดันทางขาอินพุต ประมาณ 7-40 โวลต์ เอาท์พุทที่ออกมาจะได้ 5 โวลต์ และกระแสที่เอาท์พุทจะเท่ากับกระแสที่ถูกรับมาจากอินพุต

3.3 วงจรแปลงระดับแรงดันไฟฟ้า (Converter)

คอนเวอร์เตอร์ทั้ง 5 แบบนี้ มีลักษณะการทำงานที่ไม่แตกต่างกันจนเกินไปนัก และค่อนข้างง่ายต่อการทำความเข้าใจและศึกษา คอนเวอร์เตอร์เหล่านี้ยังสามารถแบ่งย่อยได้อีกหลายประเภทโดยการเพิ่มเทคนิคบางประการให้กับคอนเวอร์เตอร์ ในที่นี้จะกล่าวถึงแต่เพียงการทำงานพื้นฐานเท่านั้น

3.3.1 ฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งรูปที่ 3.5 นี้ยังเป็นเอกสารที่สงวนไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้

รูปที่ 3.5 วงจรพื้นฐานของฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์

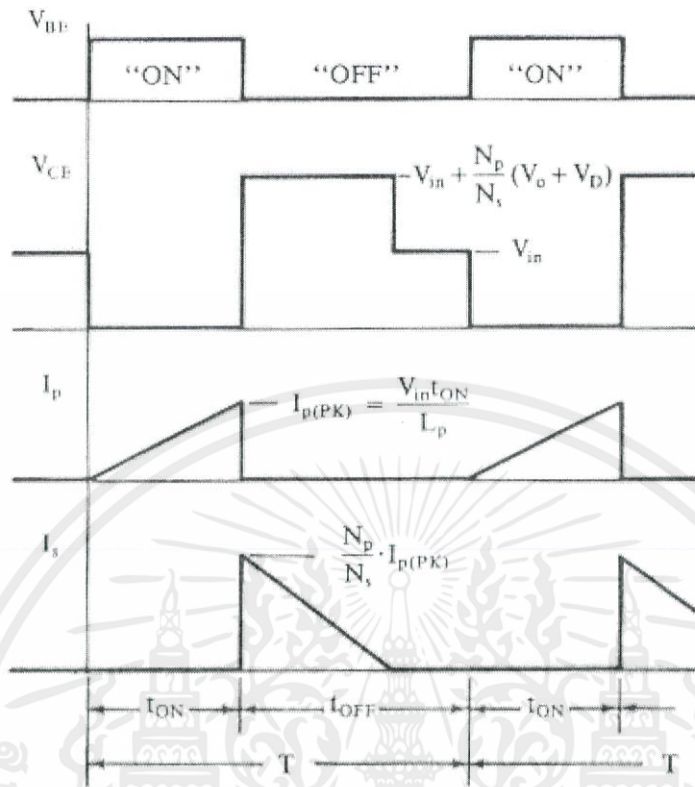
จากรูปที่ 3.5 เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ Q1 ในฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์จะทำงานในลักษณะเป็นสวิตช์ และจะนำกระแสตามคำสั่งของพัลส์สี่เหลี่ยมที่ป้อนให้ทางขาเบส เนื่องจากหม้อแปลง T1 จะกำหนดขดไพรมารีและขดเซคันดารีให้มีลักษณะกลับเฟสกันอยู่ ดังนั้นเมื่อ Q1 นำกระแส ไดโอด D1 จึงอยู่ในลักษณะถูกไบแอสกลับและไม่นำกระแส จึงมีการสะสมพลังงานที่ขดไพรมารีของหม้อแปลง T1 แทน เมื่อ Q1 หยุดนำกระแส สนามแม่เหล็ก T1 ยุบตัวทำให้เกิดการกลับชั่วแรงแรงดันที่ขดไพรมารีและเซคันดารี D1 ก็จะถูกไบแอสตรง พลังงานที่สะสมในขดไพรมารีของหม้อแปลงก็จะถูกถ่ายเทออกไปยังขดเซคันดารี และมีกระแสไหลผ่านไดโอด D1 ไปยังตัวเก็บประจุเอาต์พุต C_o และโหลดได้ ค่าของแรงดันที่เอาต์พุตของคอนเวอร์เตอร์จะขึ้นอยู่กับค่าความถี่การทำงานของ Q1 ช่วงเวลานำกระแสของ Q1 อัตราส่วนจำนวนรอบของหม้อแปลง และค่าของแรงดันที่อินพุต

เมื่อวงจรทำงานอยู่ในสภาวะคงที่ ค่าแรงดันเอาต์พุตที่ได้จากคอนเวอร์เตอร์จะเป็นไปตามสมการ

$$V_{out} = \frac{t_{ON} \times (N_s / N_p)(V_{in} - V_{CE(sat)})}{(T - t_{ON})} - V_D$$

T	คือ คาบเวลาการทำงานของ Q1 เป็นวินาที
tON	คือ ช่วงเวลา
Np	คือ จำนวนรอบของขดไพรมารี
Ns	คือ จำนวนรอบของขดเซคันดารี
Vout	คือ แรงดันที่เอาต์พุตของคอนเวอร์เตอร์ เป็นโวลต์
Vin	คือ แรงดันที่อินพุตของคอนเวอร์เตอร์ เป็นโวลต์
$V_{ce(sat)}$	คือ แรงดันตกคร่อม Q1 ขณะนำกระแสที่จุดอิ่มตัว เป็นโวลต์
VD	คือ แรงดันตกคร่อมไดโอด D1 ขณะนำกระแส เป็นโวลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

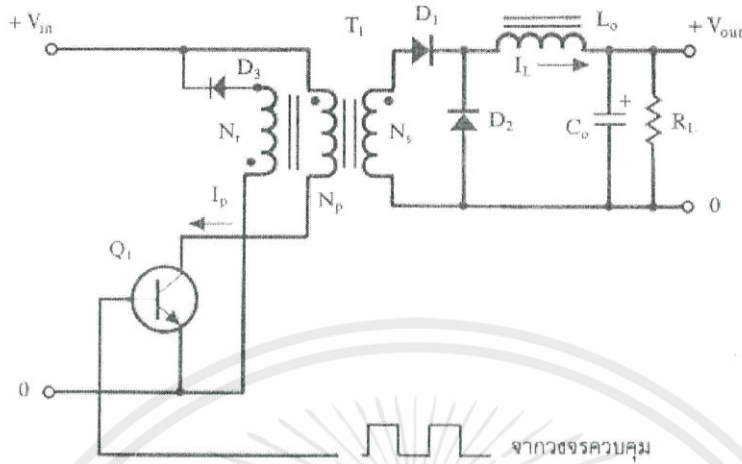


รูปที่ 3.6 กราฟแสดงลักษณะกระแสและแรงดันในวงจรฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ขณะทำงาน

ฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์เป็นคอนเวอร์เตอร์ที่ให้กำลังงานได้ไม่สูงนัก โดยอยู่ในช่วงไม่เกิน 150 วัตต์ และให้ค่าสัญญาณรบกวน RFI/EMI ค่อนข้างสูง แต่ใช้อุปกรณ์น้อยและมีราคาถูก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2 พอร์เวิร์ตคอนเวอร์เตอร์



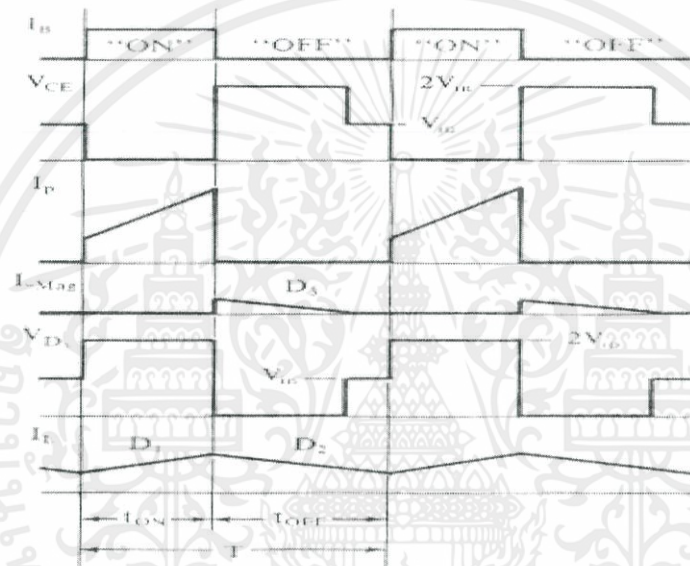
รูปที่ 3.7 วงจรพื้นฐานของพอร์เวิร์ตคอนเวอร์เตอร์

วงจรพื้นฐานของพอร์เวิร์ตคอนเวอร์เตอร์แสดงไว้ในรูปที่ 3.7 จะเห็นได้ว่าพอร์เวิร์ตคอนเวอร์เตอร์มีลักษณะใกล้เคียงกับฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ แต่พื้นฐานการทำงานจะแตกต่างกัน คือ หม้อแปลงในพอร์เวิร์ตคอนเวอร์เตอร์จะทำหน้าที่ส่งผ่านพลังงานในช่วงที่เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์นำกระแส ต่างจากฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ซึ่งหม้อแปลงจะสะสมพลังงานในช่วงที่เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์นำกระแส แล้วจึงถ่ายเทพลังงานออกไปขณะที่เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์หยุดนำกระแส การทำงานของวงจรจะเป็นดังนี้

เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ Q1 จะทำงานโดยนำกระแสและหยุดนำกระแสสลับกันไป เมื่อ Q1 นำกระแส จะมีกระแส I_p ไหลผ่านขดไพรมารี N_p และตัวมัน เนื่องจากหม้อแปลง T1 ในพอร์เวิร์ตคอนเวอร์เตอร์จำกัดขดไพรมารีและเซคันดารีให้มีเฟสตรงกัน ดังนั้นไดโอด D1 จึงถูกไบแอสตรง ทำให้มีกระแสไหลที่เซคันดารี N_s ผ่านตัวเหนี่ยวนำ L_o ไปยังตัวเก็บประจุเอาต์พุต C_o และโหลดได้ ขณะที่กระแสไหลผ่าน L_o จะมีการสะสมพลังงานไว้ในตัวมันด้วย ส่วนไดโอด D2 จะอยู่ในลักษณะไบแอสกลับ จึงไม่มีการนำกระแส เช่นเดียวกันไดโอด D3 เนื่องจากขดตีเมกเนไตซ์ N_r ถูกพันไว้ในทิศตรงข้ามกับขดไพรมารี N_p ไดโอด D3 จึงอยู่ในลักษณะไบแอสกลับ และไม่มีกระแสไหล เมื่อ Q1 หยุดนำกระแส ไดโอด D1 จะถูกไบแอสกลับและไม่มีการไหลจากขอเซคันดารี N_s แต่ในขณะเดียวกันสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นใน L_o ยุบตัว ทำให้มีการกลับชั่วแรงแรงดันที่ L_o ไดโอด D2 จึงถูกไบแอสตรง พลังงานที่ถูกสะสมไว้ใน L_o จะถูกถ่ายเทออกมาทำให้มีกระแสไหลผ่านไดโอด D2 ไปยังตัว

เก็บประจุ C_o และโหลดได้ กระแสที่ไหลผ่านโหลดจึงมีลักษณะต่อเนื่อง ทั้งในช่วงที่ Q1 นำกระแส และหยุดนำกระแส ทำให้มีการกระเพื่อมของแรงดันที่เอาต์พุตต่ำกว่าฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์

ในขณะที่ Q1 หยุดนำกระแส สนามแม่เหล็กที่ตักค้างภายในหม้อแปลงจะมีการยุบตัวและกลับชั่วแรงดันที่ขด N_p , N_s และ N_r ไดโอด D_3 จะอยู่ในลักษณะถูกไบแอสตรง ทำให้มีการถ่ายเทพลังงานที่เหลือค้ำนี้ออกไปได้ ขดลวดตีแมกเนตซึ่ง N_r และไดโอด D_3 นี้มีความสำคัญมาก เพราะถ้าไม่มีการถ่ายเทพลังงานที่ตักค้างออกไปจากขดไพรมารีในขณะที่ Q1 หยุดนำกระแส เมื่อ Q1 เริ่มนำกระแสอีกครั้ง สนามแม่เหล็กที่หลงเหลืออยู่จะทำให้ Q1 เป็นอัตรายได้



รูปที่ 3.8 กราฟแสดงลักษณะกระแสและแรงดันในวงจรฟอร์เวิร์ดคอนเวอร์เตอร์ขณะทำงาน

สำหรับฟอร์เวิร์ดคอนเวอร์เตอร์ เมื่อวงจรทำงานอยู่ในสภาวะคงที่ ค่าแรงดันเอาต์พุตที่ได้จากคอนเวอร์เตอร์จะเป็นไปตามสมการ

$$V_{out} = \frac{(N_p / N_s)(V_{in} - V_{CE(sat)})t_{ON}}{T} - V_D$$

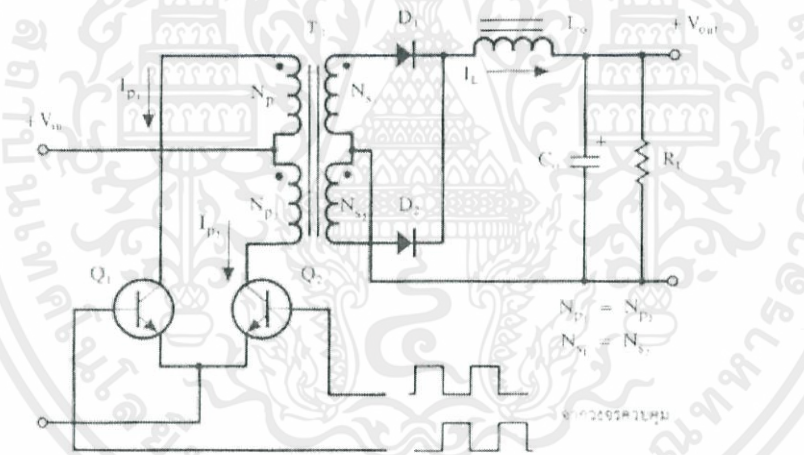
ฟอร์เวิร์ดคอนเวอร์เตอร์ให้กำลังงานได้ในช่วงเดียวกับฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ (ในช่วง 100 - 200 วัตต์) แต่กระแสที่ได้จะมีการกระเพื่อมต่ำกว่า อย่างไรก็ตาม ตัวอุปกรณ์ที่เพิ่มเข้ามาจะให้มีราคาสูงกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.3 พุช-พูลคอนเวอร์เตอร์

พุช-พูลคอนเวอร์เตอร์เป็นคอนเวอร์เตอร์ที่จ่ายกำลังได้สูง ในช่วง 200 - 1000 วัตต์ แต่มีข้อเสียคือมักเกิดการไม่สมมาตรของฟลักซ์แม่เหล็กของแกนหม้อแปลง ซึ่งจะมีผลต่อการพังเสียหายของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ได้ง่าย ในปัจจุบันเทคนิคการควบคุมแบบควบคุมกระแสช่วยลดปัญหานี้ลงได้ ดังนั้นพุช-พูลคอนเวอร์เตอร์จึงเป็นคอนเวอร์เตอร์ที่น่าสนใจสำหรับสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลายที่ต้องการกำลังสูง

การทำงานของพุช-พูลคอนเวอร์เตอร์ เปรียบเสมือนการนำฟอร์เวิร์ดคอนเวอร์เตอร์สองชุดมาทำงานร่วมกัน โดยผลัดกันทำงานในแต่ละครึ่งคาบเวลาในลักษณะกลับเฟส ทำให้จ่ายกำลังได้สูง เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ในวงจรยังคงมีแรงดันตกคร่อมในขณะหยุดนำกระแสค่อนข้างสูงเช่นเดียวกับฟลายแบคและฟอร์เวิร์ดคอนเวอร์เตอร์ รวมทั้งปัญหาการเกิดฟลักซ์ไม่สมมาตรในแกนเฟอร์ไรต์ของวงจรทำให้เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์พังเสียหายง่าย พุช-พูลคอนเวอร์เตอร์เป็นพื้นฐานของฮาล์ฟบริดจ์และฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ซึ่งมีการทำงานคล้ายกัน แต่มีข้อบกพร่องน้อยกว่า



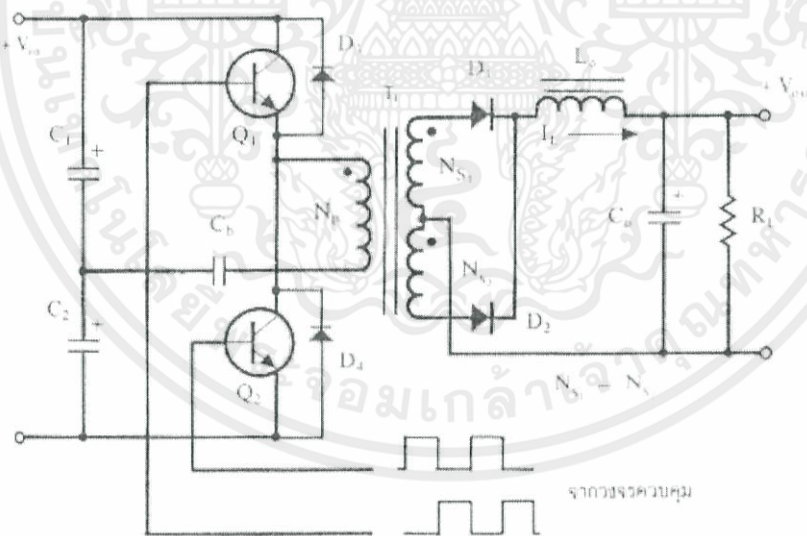
รูปที่ 3.9 วงจรพื้นฐานของพุช-พูลคอนเวอร์เตอร์

วงจรพื้นฐานของพุช-พูลคอนเวอร์เตอร์ แสดงไว้ในรูปที่ 3.9 จากรูป Q1 และ Q2 จะสลับกันทำงานโดยผลัดกันนำกระแสในแต่ละครึ่งคาบเวลา T ในขณะที่ Q1 นำกระแสจะมีกระแส I_p ไหลผ่านขดไพรมารี N_{p1} และไดโอด D1 จะถูกไบแอสกลับ ส่วนไดโอด D2 จะถูกไบแอสตรง ทำให้มีกระแสไหลที่ขดไพรมารี N_{s2} ผ่านไดโอด D2 และ L_o ไปยังตัวเก็บประจุ C_o และโหลด เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในจังหวะนี้แรงดันตกคร่อม Q2 จะมีค่าเป็น $2V_{in}$ (จำนวนรอบ $N_{p1} = N_{p2}$ และ $N_{s1} = N_{s2}$) ในทำนองเดียวกันขณะที่ Q2 นำกระแส Q1 และ D2 จะไม่นำกระแสเนื่องจากถูกไบแอสกลับ D1 ซึ่งถูกไบแอสตรงจะนำกระแสจากขดเซคันดารี N_{s1} ผ่าน L_o ไปยังตัวเก็บประจุ C_o และโหลด จะเห็นได้ว่าในหนึ่งคาบเวลาการทำงาน ขดเซคันดารีจะให้กระแสไหลผ่าน L_o ได้ถึงสองครั้ง พุช-พูลคอนเวอร์เตอร์จึงสามารถจ่ายกำลังงานได้มากเป็นสองเท่าของฟอร์เวิร์ดคอนเวอร์เตอร์ที่ค่ากระแสสูงสุดด้านไพรมารีมีค่าเท่ากัน และโหลดมีกระแสไหลต่อเนื่องตลอดเวลา กระแสที่ได้ทางเอาต์พุตจึงค่อนข้างเรียบ

3.3.4 ฮาล์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์

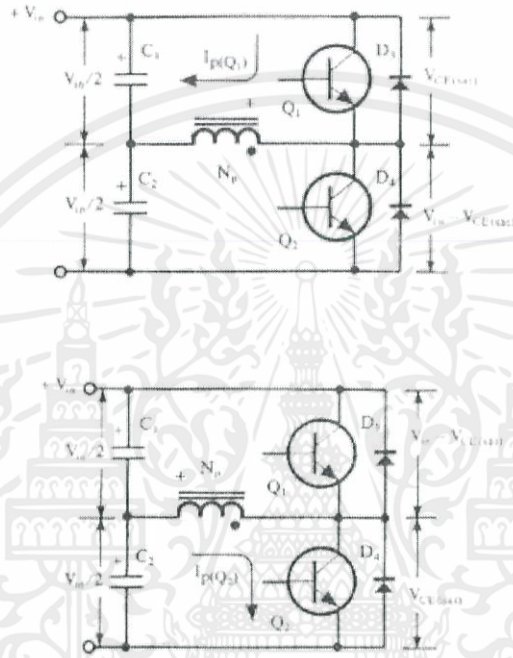
ฮาล์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์จัดอยู่ในตระกูลเดียวกับพุชพูลคอนเวอร์เตอร์ แต่ลักษณะการจัดวงจรจะทำให้เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ในวงจรมีแรงดันตกคร่อมขณะหยุดนำกระแสเพียงค่าแรงดันอินพุตเท่านั้น ทำให้เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ที่ใช้มีราคาถูก และหาได้ง่ายกว่า และลดข้อจำกัดเมื่อใช้กับระบบแรงดันไฟสูงได้มาก รวมทั้งยังไม่มีปัญหาการไม่สมมาตรของฟลักซ์ในแกนเฟอร์ไรต์ของหม้อแปลงได้ด้วย



รูปที่ 3.10 วงจรพื้นฐานของฮาล์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์

วงจรพื้นฐานของฮาล์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์แสดงไว้ในรูปที่ 3.10 การทำงานเป็นดังต่อไปนี้ เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของ บริษัท ทรานส์เทค จำกัด เพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้ใช้ฟรี ขอสงวนสิทธิ์ในด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ห้ามทำซ้ำหรือดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงชื่อของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แรงดัน แรงดันตกคร่อม C_1 และ C_2 จึงมีค่าเท่ากับครึ่งหนึ่งของแรงดันที่อินพุต เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ Q_1 และ Q_2 จะสลับกันทำงานคนละครึ่งคาบเวลาเช่นเดียวกับฟูลคอนเวอร์เตอร์ เพื่อให้่ายต่อการพิจารณาวจร จะพิจารณาในกรณีที่ไม่มีตัวเก็บประจุ C_b อยู่ในวงจร โดยให้ปลายของขดไพรมารี N_p ที่ต่อกับ C_b นั้นต่อโดยตรงเข้ากับจุดต่อระหว่างตัวเก็บประจุ C_1 และ C_2 ดังแสดงในรูปที่ 3.14



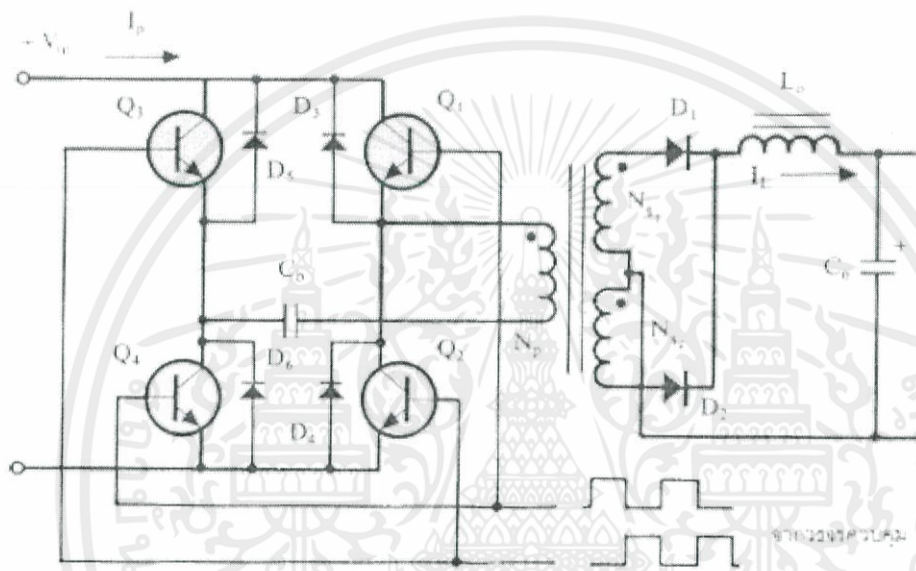
รูปที่ 3.11 (บน) ขณะ Q_1 นำกระแส (ล่าง) ขณะ Q_2 นำกระแส

เมื่อ Q_1 เริ่มนำกระแส และ Q_2 ไม่นำกระแส แรงดันตกคร่อม Q_2 จะมีค่าเท่ากับ $V_{in} - V_{ce(sat)}$ ส่วนแรงดันตกคร่อมของไพรมารี N_p จะมีค่าเท่ากับ $V_{c1} - V_{ce(sat)}$ หรือมีค่าเท่ากับ $V_{in}/2 - V_{ce(sat)}$ นั่นเอง ในทำนองเดียวกัน เมื่อ Q_2 นำกระแส และ Q_1 ไม่นำกระแส แรงดันตกคร่อม Q_1 จะมีค่าเท่ากับ $V_{in} - V_{ce(sat)}$ เช่นเดียวกัน แรงดันตกคร่อมที่ขดไพรมารี N_p ก็ยังคงมีค่าเท่ากับ $V_{in}/2 - V_{ce(sat)}$ เนื่องจาก $V_{ce(sat)}$ มีค่าประมาณ 0.5-1 โวลต์ ดังนั้นจะเห็นได้ว่าแรงดันตกคร่อม Q_1 และ Q_2 ขณะหยุดนำกระแสจะมีค่าเพียงแรงดันอินพุตเท่านั้น ผลของการทำงานของ Q_1 และ Q_2 ที่ด้านเซคันดารีจะมีลักษณะเดียวกันกับฟูลคอนเวอร์เตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.5 ฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์

ฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ ขณะทำงานจะมีแรงดันตกคร่อมขดไพรมารีเท่ากับแรงดันอินพุต แต่แรงดันตกคร่อมเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์มีค่าเพียงครึ่งหนึ่งของแรงดันอินพุตเท่านั้น และค่ากระแสสูงสุดที่เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์แต่ละตัวนั้น มีค่าเป็นครึ่งหนึ่งของค่ากระแสสูงสุดในฮาล์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ที่กำลังขาออกเท่ากัน เนื่องจากข้อจำกัดด้านเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ลดน้อยลงไป กำลังงานสูงสุดที่ได้จากฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์จึงมีค่าสูง ตั้งแต่ 500 - 1000 วัตต์



รูปที่ 3.12 วงจรพื้นฐานของฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์

วงจรพื้นฐานของฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์แสดงในรูป CNV-6 เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ทั้ง 4 ตัว จะทำงานโดยนำกระแสและหยุดนำกระแสสลับกันเป็นคู่ๆ ในแต่ละครึ่งคาบเวลา Q1 และ Q4 จะนำกระแสพร้อมกันในครึ่งคาบเวลา และเมื่อหยุดนำกระแส Q2 และ Q3 จะนำกระแสพร้อมกันในครึ่งคาบเวลาที่เหลือ สลับกันเช่นนี้เรื่อยไป ลักษณะการทำงานของวงจรที่ได้จึงเป็นเช่นเดียวกับฮาล์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ ยกเว้นแรงดันตกคร่อมขดไพรมารีจะมีค่าเท่ากับ $V_{in} - 2V_{ce(sat)}$ ดังนั้นผลของการทำงานของวงจรจึงเหมือนกับผลที่ได้จากฟูลคอนเวอร์เตอร์นั่นเอง ส่วนตัวเก็บประจุบล็อกกิ้ง C_b จะมีผลเช่นเดียวกับวงจรฮาล์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ จะเห็นได้ว่าแรงดันที่ตกคร่อม Q1 และ Q4 ขณะหยุดนำกระแสจะมีค่าเท่ากับ $V_{in} - V_{ceq2(sat)}$ และ $V_{in} - V_{ceq3(sat)}$ ตามลำดับ ส่วนแรงดันที่ตกคร่อม Q2 และ Q3 ขณะหยุดนำกระแสก็จะมีค่า $V_{in} - V_{ceq1(sat)}$ และ $V_{in} - V_{ceq4(sat)}$ ไม่ว่าจะฉีกดูทั้งสี่ อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

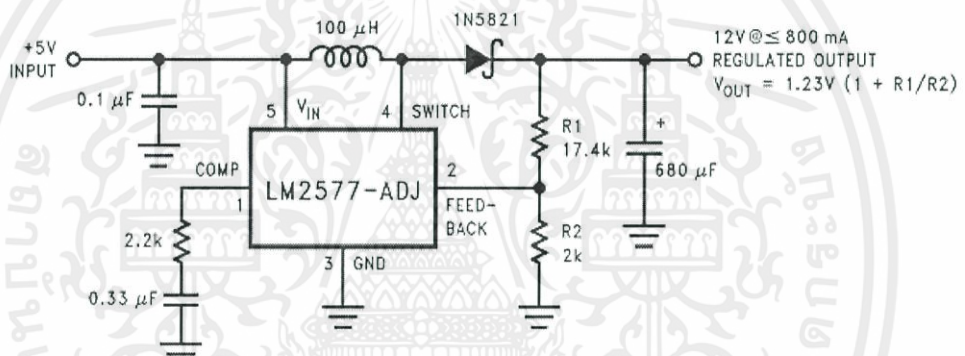
ตามลำดับเช่นเดียวกัน ส่วนไดโอด D3-D6 ทำหน้าที่เป็นคอมมิวเตตติ้งไดโอดให้กับวงจร เพื่อป้องกัน Q1-Q4 เช่นเดียวกับฮัลฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์

3.3.6 การเลือกวงจร converter

การเลือกวงจร converter ที่เหมาะสมกับการประจุแบตเตอรี่ ควรเลือกวงจรพุก-พูลคอนเวอร์เตอร์ (วงจร LM-2577T-ADJ) เพราะวงจรมีจะทำให้แรงดันที่ขาออกจากวงจรรักษาระดับแรงดันมีค่าเพิ่มขึ้น เพื่อที่จะทำให้แรงดันเหมาะสมก่อนที่จะประจุเข้าในแบตเตอรี่

3.4 การออกแบบวงจรและการคำนวณ (LM2577T-ADJ)

Typical Application



รูปที่ 3.13 วงจร Converter โดยใช้ LM2577T-ADJ

การเลือกใช้ LM2577T-ADJ เนื่องจากสามารถนำไปสร้างวงจรได้ง่าย หาซื้อง่ายและมีราคาถูก และสามารถปรับแรงดันขาออกได้ตามแรงดันของแบตเตอรี่ที่ต้องการจะจัดประจุ โดยกำหนดความต้องการดังนี้

แรงดันขาออกของวงจร (Vout) = 18 - 21 V

แรงดันขาเข้า (Vin) = 6 - 21 V

กระแสภาระ (I load) = 700 mA

ความถี่ใช้งานซึ่งเป็นความถี่การ Switch ของ LM2577 (F) = 52 KHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.1 การคำนวณค่าตัวต้านทานที่ใช้ควบคุมขนาดแรงดัน

ค่าความต้านทาน R1 และ R2 เป็นค่าที่ใช้กำหนดค่าแรงดัน feed back จากขาออก กลับไปยัง LM2576 เพื่อควบคุมแรงดันขาออก สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$V_{out} = V_{ref} [1 + (R2/R1)] \text{ โดยที่ } V_{ref} = 1.23 \text{ V}$$

$$R2 = R1 [(V_{out}/V_{ref}) - 1]$$

$$R2 = R1 [(18.00/1.23) - 1]$$

$$R2 = 13.63R1$$

นั่นคือ R2 ต้องมีค่าเป็น 13.63 เท่าตัวของ R1 จึงจะได้ แรงดันขาออกตามต้องการ แต่ในที่นี้สามารถเลือกใช้ตัวต้านทานแบบปรับค่าได้ เพื่อปรับแรงดันขาออกได้ตามต้องการ

3.4.2 การคำนวณค่าคงที่ แรงดันในไมโครวินาที ของขดลวดเหนี่ยวนำ

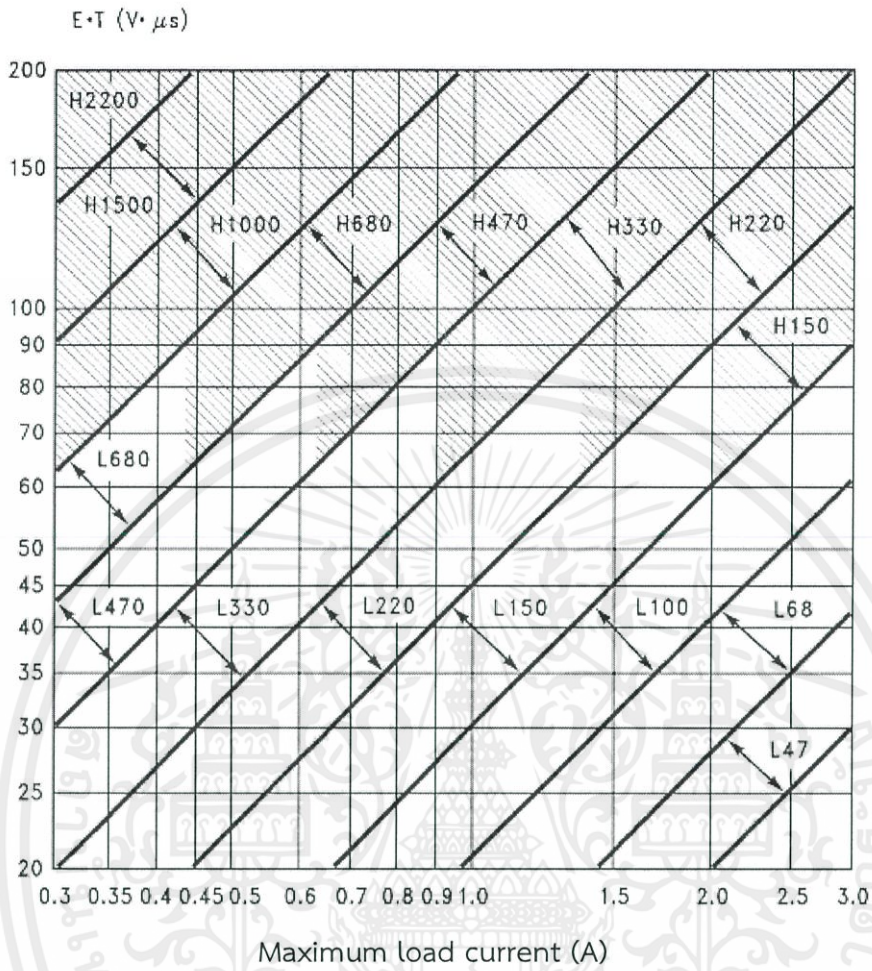
$$E \cdot T = \frac{D_{(max)} (V_{IN(min)} - 0.6V) 10^6}{52,000 \text{ Hz}} \quad (V \cdot \mu s)$$

$$E \cdot T = \frac{0.67 \times (6 - 0.6) 10^6}{52,000}$$

$$= 69.58 \text{ V } \mu s$$

นำค่าที่ได้ไปหาค่า L จาก Datasheet ได้ค่า L = 100 μ H

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.14 กราฟความสัมพันธ์ค่า $E \cdot T$ กับค่ากระแสภาระสูงสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.3 การเลือกตัวเก็บประจุขาออก

ค่าตัวเก็บประจุขาออกและค่าความเหนี่ยวนำขดลวดขาออกจากคู่ pole ที่ dominate ในรอบการ switch ของ regulator เพื่อให้วงจรสามารถทำงานได้อย่างเสถียร คำนวณได้ตามสมการ

$$C_{OUT} \geq \frac{0.19 \times L \times R_C \times I_{LOAD(max)}}{V_{IN(min)} \times V_{OUT}} \quad (3.1)$$

และ

$$C_{OUT} \geq \frac{V_{IN(min)} \times R_C \times (V_{IN(min)} + (3.74 \times 10^5 \times L))}{487,800 \times V_{OUT}^3} \quad (3.2)$$

โดยที่

$$R_C \leq \frac{750 \times I_{LOAD(max)} \times V_{OUT}^2}{V_{IN(min)}^2} \quad (3.3)$$

และ

$$I_{LOAD(max)} \leq \frac{2.1 \times V_{IN(min)}}{V_{OUT}} \quad (3.4)$$

จากการคำนวณ จะได้ว่า

$$I_{Load(max)} \leq \frac{2.1 \times 6}{18} = 0.7 \text{ A}$$

$$R_C \leq \frac{750 \times 0.7 \times 18^2}{6^2} = 4725$$

$$C_{out} \geq$$

$$\frac{0.19 \times 100 \times 10^{-6} \times 4725 \times 0.7}{6 \times 18}$$

$$\geq 581.875 \text{ uF}$$

ดังนั้น จึงเลือกใช้ C_{out} ขนาด 680 uF

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.4 การเลือกใช้งานไดโอด

การเลือกใช้ Catch Diode ควรเลือกไดโอดที่ทนกระแสมากกว่า 1.2 เท่าของกระแสภาระสูงสุด และควรมีเท่ากับขีดจำกัดกระแสสูงสุดของ LM2577 ด้วย นอกจากนี้ต้องสามารถทนต่อการลัดวงจรที่ขาออกหรือสภาวะ overload ได้ ส่วนเรื่องแรงดันต้นนั้น ไดโอดที่เลือกควรจะสามารถทนต่อแรงดันย้อนกลับได้อย่างน้อย 1.25 เท่าของแรงดันขาเข้าสูงสุด สามารถเลือกไดโอดได้จากตัวอย่างตารางเลือกไดโอดจาก Datasheet ของ LM2577

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

รูปที่ 3.15 ตารางการเลือกใช้ไดโอด

3.4.5 การเลือกตัวเก็บประจุขาเข้า

ควรเลือกใช้ตัวเก็บประจุที่มีขนาดใหญ่พอที่จะลดการกระเพื่อมของแรงดันขาเข้า เพื่อให้แรงดันขาเข้ามีเสถียรภาพพอที่จะนำไปใช้ในวงจรได้

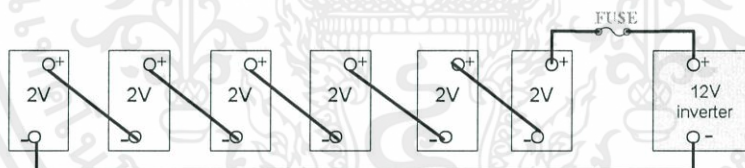
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 ชนิดและแบตเตอรี่ที่สามารถอัดประจุได้

แบตเตอรี่ (Battery) เป็นอุปกรณ์ที่สามารถแปลงพลังงานเคมีให้เป็นพลังงานไฟฟ้าได้โดยตรง โดยการใช้เซลล์กัลวานิก (Galvanic Cell) ที่ประกอบด้วยขั้วบวกและขั้วลบพร้อมกับสารละลายอิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte Solution) ซึ่งแบตเตอรี่อาจประกอบด้วยเซลล์กัลวานิกเพียง 1 เซลล์หรือมากกว่าก็ได้ดังแสดงในรูปที่ ... เป็นเซลล์พื้นฐานของแบตเตอรี่ที่ประกอบด้วยขั้วบวก ขั้วลบ มีสารอิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte) และมีแผ่นกั้น เพื่อป้องกันไม่ให้ขั้วบวกและขั้วลบสัมผัสกันโดยตรง โดยที่แต่ละเซลล์ของแบตเตอรี่มีแรงดันเท่ากับ 2 V ดังนั้นแบตเตอรี่ 12 V จึงประกอบด้วย 6 เซลล์ต่อกันแบบอนุกรมเซลล์ทั้งหมดอาจบรรจุอยู่ในกล่องเดียวหรือแยกกล่องก็ได้ซึ่งการต่อแบตเตอรี่มีดังต่อไปนี้

3.5.1 การต่อแบตเตอรี่แบบอนุกรม

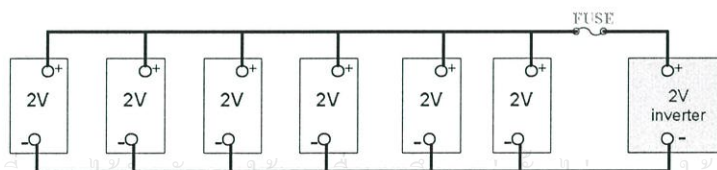
การต่อแบตเตอรี่แบบนี้แบตเตอรี่ถูกเชื่อมต่อกันโดยขั้วบวกต่อเข้ากับขั้วลบของตัวถัดไป ในการต่อแบบอนุกรมความจุที่ได้จะเท่ากับแบตเตอรี่แบบเดี่ยว แรงดันไฟฟ้าจะเท่ากับผลรวมแรงดันของแบตเตอรี่แต่ละตัว ซึ่งแสดงไว้ในรูปที่ 3.1 ในการต่อแบตเตอรี่แบบอนุกรมที่จะนำมาต่อควรมีความจุเท่ากัน เพราะว่าแบตเตอรี่ที่ความจุน้อยจะเกิดการคายประจุแบบลึก Deep Discharge ได้ง่ายกว่าแบตเตอรี่ที่ความจุสูงกว่า



รูปที่ 3.16 การต่อแบตเตอรี่แบบอนุกรม

3.5.2 การต่อแบตเตอรี่แบบขนาน

แบตเตอรี่ที่ต่อแบบขนานเข้ากัน จะต้องนำขั้วบวกทั้งหมดต่อร่วมกันและขั้วลบทั้งหมดต่อกันโดยที่แรงดันไฟฟ้าที่ได้ของแบตเตอรี่แต่ละตัวจะมีขนาดเท่ากัน ดังรูปที่ 3.2



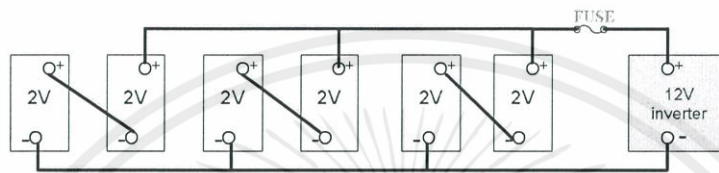
รูปที่ 3.17 การต่อแบตเตอรี่แบบขนาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้เฉพาะในท้องถิ่นเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้เผยแพร่ลงเน็ตหรือสื่อสิ่งพิมพ์ของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นถ้ามีความต้องการกระแสที่มากขึ้นทำได้โดยนำแบตเตอรี่ 2 ลูกหรือมากกว่านั้นต่อกันแบบขนานจนได้กระแสที่ต้องการการต่อแบตเตอรี่แบบขนานควรมีอัตราแรงดันเท่ากัน เพราะแบตเตอรี่ที่อัตราแรงดันสูงกว่าจะจ่ายกระแสให้กับตัวที่อัตราต่ำกว่าจะทำให้เกิดความเสียหายได้

3.5.3 การต่อแบตเตอรี่แบบผสม

เป็นการนำแบบอนุกรมและแบบขนานมารวมกันทำให้ได้แรงดันและความจุเพิ่มขึ้นดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.18 การต่อแบตเตอรี่แบบอนุกรม-ขนาน

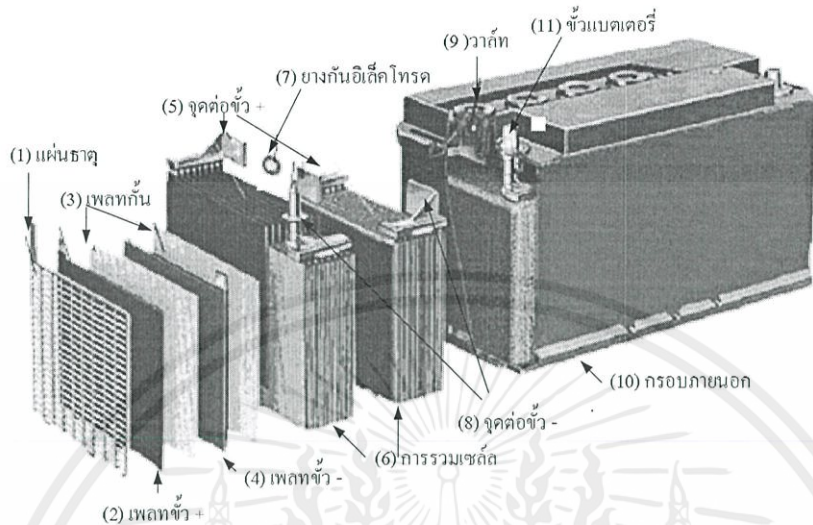
การผลิตแบตเตอรี่ในระดับอุตสาหกรรมเป็นลักษณะอุตสาหกรรมที่ใช้วัสดุที่เป็นพิษและมีของเสียที่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม โดยทั่วไปแล้วจะทำเป็นลักษณะผลิตเชิงปริมาณที่ประกอบด้วยกระบวนการต่างๆหลังจากประกอบเป็นแบตเตอรี่แล้วยังต้องทำการประจุและคายประจุก่อนที่จะส่งแบตเตอรี่ถึงลูกค้า โดยที่โรงงานผลิตแบตเตอรี่จะมีรายละเอียดของโครงสร้างแบตเตอรี่มากมายแตกต่างกันแต่จะมีลักษณะส่วนประกอบพื้นฐานที่เหมือนกัน

โดยทั่วไปเรียกว่าแบตเตอรี่น้ำ (Storage Battery) ประกอบด้วยเซลล์ 6 เซลล์ต่อกันแบบอนุกรมซึ่งแต่ละเซลล์จะมีแรงดัน 2 V จึงจ่ายแรงดันได้ 12 V มีคุณสมบัติในการเปลี่ยนพลังงานเคมีแล้วจ่ายเป็นพลังงานไฟฟ้าชนิดกระแสตรงแบตเตอรี่ประเภทนี้ใช้งานจนไฟหมดหรือเลิกใช้งานแล้วสามารถนำไปประจุไฟเพิ่มได้ เป็นการปรับสภาพทางเคมีให้กลับสู่สภาพพร้อมใช้งานเหมือนเดิมได้คือสามารถใช้หมุนเวียนได้จนกว่าแบตเตอรี่นั้นจะเสื่อมสภาพแบตเตอรี่ชนิดนี้ส่วนมากทำจากตะกั่ว-กรดใช้ในรถยนต์และในการใช้พลังงานไฟฟ้าสำรองในระบบต่างๆ

3.5.4 แบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด

แบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรดมีส่วนประกอบสำคัญภายใน ดังรูปที่ 3.19 ประกอบไปด้วยแผ่นตะกั่วที่เป็นขั้วบวก และลบลูกมอยู่ในสารละลายกรดซัลฟูริกหรือเรียกว่าสารละลายอิเล็กโทรไลต์เมื่อเซลล์มีการจ่ายประจุ โมเลกุลของซัลเฟอร์จากสารละลายอิเล็กโทรไลต์จะติดอยู่กับแผ่นตะกั่วและปล่อยอิเล็กตรอนออกมาจำนวนมากเมื่อเซลล์มีการประจุไฟฟ้าเข้าไปใหม่อิเล็กตรอนจำนวนมากจะกลับเข้าไปในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ แบตเตอรี่จึงเกิดแรงดันได้จากปฏิกิริยาเคมีนี้เองและไฟฟ้าเกิดขึ้นได้

จากการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนภายในแต่ละเซลล์ของแบตเตอรี่ให้แรงดัน 2 โวลต์ต่อเซลล์แบตเตอรี่ 12 V จึงมี 6 เซลล์ต่อกันแบบอนุกรมเซลล์ทั้งหมดอาจบรรจุอยู่ในกล่องเดียวหรือแยกกล่องก็ได้



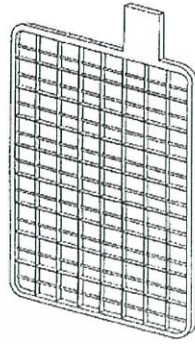
รูปที่ 3.19 โครงสร้างของแบตเตอรี่ตะกั่ว - กรด

ส่วนประกอบของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด วัสดุภายในที่นำมาให้อาจแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับประเภทงานที่นำไปใช้งาน และการออกแบบของผู้ผลิต แต่จะมีส่วนประกอบหลักที่เหมือนกัน ดังนี้

1. วัสดุทำปฏิกิริยา (Active Material) ในเซลล์ไฟฟ้าเคมีนั้นจะประกอบด้วยขั้วบวกและขั้วลบซึ่งเป็นวัสดุต่างชนิดกันเป็นผลให้เกิดความต่างศักย์ระหว่างขั้วทั้งสอง สำหรับแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรดนั้น แผ่นธาตุบวกจะเป็น PbO_2 ผงตะกั่วออกไซด์มีสีน้ำตาลฉาบอยู่ในโครงแผ่นธาตุ ในขณะที่ขั้วลบจะเป็น Pb ผงตะกั่วมีสีเทาฉาบบนโครงแผ่นธาตุเช่นกันเพื่อเพิ่มความแข็งแรง และผิวสัมผัสระหว่างอิเล็กโทรไลต์กับวัสดุทำปฏิกิริยาและลดการตกลงของแรงดันอันเนื่องมาจากปรากฏการณ์ Polarisation

2. โครงแผ่นธาตุ (Support Grids) โครงแผ่นธาตุ ดังรูปที่ 3.20 จะทำจากตะกั่วผสมอาจเป็น พลวง (Antimony) ดีบุก (Tin) บิสมัท (Bismuth) แคลเซียม (Calcium) ซีลีเนียม (Selenium) ซึ่งตะกั่ว-พลวงเป็นโลหะผสมที่ใช้กับแบตเตอรี่ชนิดแรกเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติทางกลของตะกั่วโดยใช้ประมาณ 1.5 – 1.8 % เปอร์เซนต์ แต่ทำให้เกิดผลเสียคือเพิ่มความต้านทานในเซลล์ทำให้เกิดการคายประจุในตัวเองเร็วขึ้น และอายุการใช้งานสั้น ในระหว่างการประจุใหม่จะทำให้เกิดการก่อตัวของ

เอกซาแก๊สพิษ SbH_3 จากการค้นคว้าทำให้เราทราบว่า ตะกั่ว-แคลเซียม มีข้อได้เปรียบมากกว่า ตะกั่ว-พลวง ในการค้าไม่ว่าในกรณีแผ่นธาตุชนิดพลังจะเจือซีลีเนียมเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติทางกล เช่นกัน สารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.20 โครงแผ่นธาตุ

3. แผ่นกั้น (Separator) แผ่นกั้นดังรูปที่ 3.21 มีหน้าที่ป้องกันการสัมผัสกันโดยตรงของขั้วอิเล็กโทรดทั้งสอง คุณสมบัติที่ดีของแผ่นกั้นนั้น จะต้องมีความต้านทานการไหลของไอออนในสารละลายต่ำ นั่นก็หมายถึงต้องมีความพรุนให้อิออนผ่านได้สะดวกและไม่ทำปฏิกิริยากับกรดหรือแผ่นธาตุในระบบด้วย ในช่วงแรกนั้นแผ่นกั้นจะทำจากวัสดุจำพวกไม้ fir และ Cedar โดยนำยางไม้ ออกก่อน ต่อมาก็ใช้ยางตามธรรมชาติอบซึ่งให้ความพรุนมากกว่า แต่ในปัจจุบันนิยมใช้ยางสังเคราะห์ที่เป็นรูพรุนอันเนื่องมาจากกรรมวิธีการผลิตจำพวกโพลีไวนิลคลอไรด์หรือโพลีเอทิลีน แต่แบตเตอรี่ที่มีอายุการใช้งานสั้น เช่น แบตเตอรี่รถยนต์การใช้แผ่นกั้นที่เป็นกระดาษจะคุ้มทุนกว่า



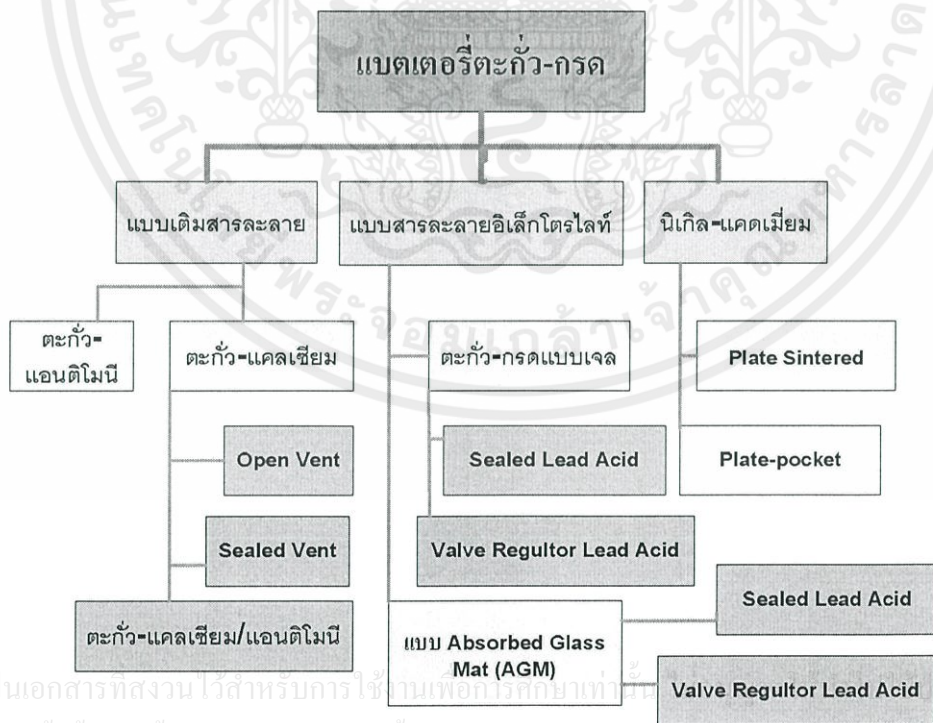
รูปที่ 3.21 แผ่นกั้น (Separator)

4. สารละลายอิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte) สารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่ใช้ในแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด เป็นกรดซัลฟูริก ซึ่งค่าความถ่วงจำเพาะจะมีค่าอยู่ที่ประมาณ 1.210 – 1.300 แต่จะขึ้นอยู่กับกรดด่างและการออกแบและประเภทการใช้งานและสภาพภูมิอากาศ ถ้าใช้สารละลายที่มีค่าความไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ่วงจำเพาะมากเกินไปจะทำให้เกิดผลเสียหลายอย่าง เช่น การคายประจุในตัวเองและการผุกร่อนของแผ่นธาตุ แต่จะมีประโยชน์สำหรับภูมิประเทศเขตนหนาว เนื่องจากจะทำให้จุดเยือกแข็งของสารละลายลดต่ำลง ปกติถ้าเป็นแบตเตอรี่ที่ใช้กระแสสูงได้แก่แบตเตอรี่รถยนต์จะใช้กรดที่มีความถ่วงจำเพาะสูงไม่ว่าจะใช้ค่าความถ่วงจำเพาะสูงหรือต่ำ แต่ปริมาณอออนที่อยู่ในสารละลายก็ต้องเพียงพอที่จะทำปฏิกิริยาในสารละลายนอกจากจะมีกรดซัลฟูริกแล้วยังมีสารอื่นเจือปนอยู่ด้วยเช่น แมงกานีส เหล็ก สารหนู คลอไรด์ ไนโตรเจนออกไซด์ โดยที่มีปริมาณมากน้อยจะขึ้นอยู่กับเกรดของน้ำกรด ถ้าเป็นน้ำกรดเกรดเอ จะมีสารเจือปนไม่เกิน 0.03665 %

5. หม้อแบตเตอรี่ (Container) หม้อแบตเตอรี่มีวิวัฒนาการมาอย่างต่อเนื่องจากไม้ แก้ว เซรามิก พลาสติก ซึ่งปัจจุบันนิยมทำมาจากพลาสติกจำพวก PVC หรือไม้กัโพลีเอทิลีน และแบ่งออกเป็นช่องๆ ขึ้นกับการออกแบบโดยกำหนดให้หนึ่งช่องเซลล์มีความต่างศักย์ดีประมาณ 2 V และต่อกัน

ในการเลือกวัสดุนั้นจะต้องเลือกวัสดุที่ทนต่อการกัดกร่อนของกรดและไม่มีผลต่อปฏิกิริยาในระบบ ดังนั้นจึงไม่นิยมใช้โลหะแต่สำหรับในแบตเตอรี่รถยนต์/รถยนต์จะใช้โลหะด้านนอกเพื่อความแข็งแรงแต่ด้านในจะเป็นพลาสติก แบตเตอรี่ต่างชนิดกันแม้จะมีความจุเท่ากันก็อาจมีขนาดตัวถังต่างกันเนื่องด้วยปริมาณสารละลายต่างกัน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำออกจำหน่ายหรือทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาตจากศูนย์บริการข้อมูลสารสนเทศ
รูปที่ 3.22 ประเภทของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด

3.5.5 การแบ่งประเภทของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด

แบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรดมีคุณสมบัติเฉพาะกับการใช้งานที่แตกต่างกันโดยทั่วไปจะจัดแบ่งเป็น 3 ลักษณะใหญ่ๆคือ

1) แบตเตอรี่รถยนต์ (Starting Lighting and Ignition : SLI) เป็นแบตเตอรี่ที่ออกแบบมาใช้กับงานลักษณะการคายประจุน้อย (Shallow Cycle) ใช้กับระบบรถยนต์เป็นส่วนใหญ่แบตเตอรี่ชนิดนี้มีแผ่นเพลทบางทั้งเพลทบวกและลบลักษณะการออกแบบแบบนี้เพื่อเพิ่มพื้นที่การทำปฏิกิริยาการที่เพลทมีพื้นที่ทำปฏิกิริยามากต่อเซลล์ทำให้แบตเตอรี่ชนิดนี้จ่ายกระแสสูงๆในช่วงเวลาสั้นๆได้ ถึงแม้ว่าไม่ได้รับการออกแบบให้มีอายุการใช้งานนานกับลักษณะการคายประจุแบบลึก (Deep Cycle) แบตเตอรี่แบบนี้ก็ยังมีนำมาใช้กับระบบเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศกำลังพัฒนาที่มีอุตสาหกรรมการผลิตแบตเตอรี่เพียงชนิดเดียวถึงอย่างไรก็ตามเมื่อนำแบตเตอรี่ชนิดนี้มาใช้กับระบบเซลล์แสงอาทิตย์อาจใช้งานได้ถึงสองปีกับระบบอิสระขนาดเล็กที่มีการใช้งานไม่เกิน 10-20 % DOD ต่อวันและจำกัดไว้มากที่สุดไม่เกิน 40-60 % DOD

2) แบตเตอรี่รถไฟฟ้า (Motive Power or Traction Battery) แบตเตอรี่ชนิดนี้ได้รับการออกแบบสำหรับการใช้งานที่มีการคายประจุมากส่วนใหญ่ใช้ในรถยนต์ไฟฟ้า รถยกไฟฟ้า ในสนามกอล์ฟ แบตเตอรี่ชนิดนี้จะมีจำนวนเพลทต่อเซลล์น้อยกว่าแบบที่ใช้กับรถยนต์แต่อย่างไรก็ตามลักษณะเพลทจะหนาและทนทานกว่าวัสดุที่นำมาทำกริดแบบนี้ในยุคแรกๆจะใช้ตะกั่ว-แอนติโมนีเพื่อให้สามารถคายประจุได้มาก แบตเตอรี่ชนิดนี้เป็นที่รู้จักกันดีและมีการนำมาใช้งานกับระบบเซลล์แสงอาทิตย์อย่างกว้างขวางเนื่องจากความสามารถในการคายประจุมาก (Deep Cycle) อายุการใช้งานนานและออกแบบมาให้มีความทนทาน

3) แบตเตอรี่สำหรับระบบไฟฟ้า (Stationary Battery) แบตเตอรี่ชนิดนี้มีการใช้งานอย่างแพร่หลายในระบบไฟฟ้าสำรอง (UPS) เพื่อจ่ายไฟฟ้าสำรองให้กับระบบคอมพิวเตอร์ระบบโทรศัพท์และระบบไฟฟ้าอื่นๆ แบตเตอรี่สำหรับระบบไฟฟ้ามีคุณลักษณะคล้ายกับทั้งแบตเตอรี่รถยนต์และแบตเตอรี่รถไฟฟ้าและจะออกแบบให้มีการคายประจุมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.6 ชนิดแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด

ปัจจุบันมีแบตเตอรี่ชนิดเติมสารละลายหรือแบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรดผลิตออกมาจำหน่ายหลายชนิดที่จะกล่าวต่อไปนี้เป็นชนิดที่มีการนำมาประยุกต์ใช้กับระบบเซลล์แสงอาทิตย์

โดยจะมี 3 ชนิด คือ ก) แบบเติมสารละลาย (Flooded Lead Acid Battery)

ข) แบบสารละลายอิเล็กโทรไลต์(VRLA Battery)

ค) นิกเกิล-แคดเมียม

1) แบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-แอนติโมนีเป็นแบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรดแบบหนึ่งที่ใช้สารแอนติโมนี (Sb) ผสมกับตะกั่วในกริดเพลทการใช้สารแอนติโมนีผสมกับตะกั่วในเพลทมีทั้งข้อดีและข้อเสีย

ข้อดี คือการเพิ่มความแข็งแรงทนทานของแผ่นกริดเพลทให้มากกว่าใช้ตะกั่วธรรมดาและทำให้สามารถใช้งานคายประจุมากหรือที่เรียกว่าประจुरुอบลึกและงานที่มีอัตราการคายประจุสูงได้เป็นอย่างดีกริดแบบตะกั่ว-แอนติโมนียังจำกัดการปลดปล่อยตัวของสารทำปฏิกิริยาทำให้มีอายุการใช้งานมากกว่าแบตเตอรี่แบบตะกั่ว-แคลเซียมเมื่อใช้งานในสภาพแวดล้อมอุณหภูมิสูง

ข้อเสียของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-แอนติโมนีคือการมีอัตราการคายประจุในตัวเองสูงและจากที่ต้องการการประจุน้อยทำให้ต้องเติมน้ำกลั่นบ่อยๆขึ้นกับอุณหภูมิและจำนวนครั้งของการประจุน้ำ แบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-แอนติโมนีส่วนใหญ่แล้วเป็นแบบเติมสารละลายมีช่องระบายก๊าซเป็นเกลียวเปิดสำหรับเปิดเติมน้ำแบตเตอรี่แบบนี้เหมาะสมกับระบบเซลล์แสงอาทิตย์เนื่องจากความสามารถในการคายประจุมากและความสามารถในการใช้ด้านอื่นๆแต่อย่างไรก็ตามแบตเตอรี่ชนิดนี้ต้องการการเติมน้ำเป็นระยะเวลาที่แน่นอนการลดความถี่ของการเติมน้ำอาจจะโดยการใช้ฝาปิดที่ตักจับน้ำที่ระเหยไปกลับหรือการออกแบบแบตเตอรี่ที่มีการแลกเปลี่ยนสารละลายจากด้านนอก การเช็คดูความผิดปกติของแบตเตอรี่ชนิดนี้ทำได้โดยการวัดความถ่วงจำเพาะของสารละลายโดยใช้ไฮโดรมิเตอร์

แบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-แอนติโมนีแบบเพลทหนาและการออกแบบที่แข็งแรงส่วนใหญ่แล้วจะถูกจัดอยู่ในกลุ่มแบตเตอรี่สำหรับรถไฟฟ้าเพราะเป็นลักษณะการใช้งานที่ต้องการลักษณะการคายประจุสูงและอายุการใช้งานนาน

แบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-แคลเซียมเป็นแบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรดแบบหนึ่งที่ใช้สารแคลเซียม (Ca) ผสมกับตะกั่วในกริดเพลทเหมือนแบบตะกั่ว-แอนติโมนีเช่นเดียวกันการใช้ส่วนผสมแคลเซียมใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น การตีพิมพ์ขึ้นบน ใบนี้จะไม่เอาไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราการคายประจุในตัวเองต่ำและลดผลการเกิดก๊าซซึ่งทำให้มีการสูญเสียน้ำน้อยลงการบำรุงรักษาที่ลดลงด้วยข้อเสียของการผสมแคลเซียมคือมีคุณสมบัติการประจุที่ไม่ดีในสภาวะที่คายประจุมาก ๆ และเมื่อนำไปใช้งานในสภาวะอุณหภูมิสูงหรือใช้งานคายประจุมากกว่า 25 % DOD บ่อยๆอายุการใช้งานจะสั้นลงมี 3 ชนิด

- แบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-แคลเซียม Open Vent แบตเตอรี่ชนิดนี้มักจัดอยู่ในชนิดใช้สำหรับระบบไฟฟ้าส่วนใหญ่แล้วจะมีขนาดลูกกลม 2 โวลต์มีความจุหลายขนาดและมากถึง 1000 แอมแปร์-ชั่วโมง แบตเตอรี่ชนิดนี้มีข้อดีที่มีอัตราการคายประจุด้วยตัวเองต่ำและมีการสูญเสียน้ำน้อยและอาจมีอายุการใช้งานนานถึง 20 ปีถ้าใช้ในโหมดไฟฟ้าสำรองสำหรับการประยุกต์ใช้กับระบบเซลล์แสงอาทิตย์ยังมีประสบการณ์ไม่มากนักเนื่องจากปัญหาเรื่องปรากฏการณ์ซัลเฟชันและปรากฏการณ์แบ่งชั้นของสารละลาย (Stratification)

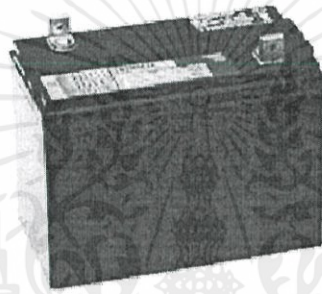
- แบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-แคลเซียม Sealed Vent การพัฒนาแบตเตอรี่ ชนิดนี้เริ่มต้นใช้ชื่อ Maintenance Free ใช้กับรถยนต์มีความจุในช่วง 50 แอมแปร์-ชั่วโมงถึง 200 แอมแปร์-ชั่วโมงขนาด 12 V และมีคุณสมบัติเหมือนกับแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-แคลเซียมธรรมดาคือทนต่อการประจุเกินสภาวะแวลต์ล่อมอุณหภูมิสูงและการทำงานในลักษณะการคายประจุมาก ความหมายของการไม่มีการบำรุงรักษาคือการไม่ต้องเติมน้ำกลั่นซึ่งมีผลต่ออายุการใช้งานของแบตเตอรี่ดังนั้นการออกแบบแบตเตอรี่จะมีการสำรองสารอิเล็กโทรไลต์เพื่อให้แบตเตอรี่ทำงานได้ตลอดอายุการใช้งาน แบตเตอรี่ชนิดนี้มีการนำมาใช้กับระบบโซลาร์เซลล์ขนาดเล็กเช่นระบบที่ใช้ในบ้านระบบแสงสว่างแต่ต้องระมัดระวังในการประจุเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพของแบตเตอรี่สูงสุดและอายุงานที่สูงสุดถึงแม้จะมีราคาถูกแต่แบตเตอรี่ชนิดนี้ได้รับการออกแบบสำหรับการคายประจุน้อย (Shallow Cycle) และจะมีอายุการใช้งานสั้นเมื่อนำมาใช้กับระบบเซลล์แสงอาทิตย์

- แบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-แอนติโมนี/แคลเซียมไฮบริด แบตเตอรี่ชนิดนี้ส่วนใหญ่จะเป็นชนิดเติมน้ำกลั่นมีความจุถึง 200 แอมแปร์-ชั่วโมง ลักษณะการออกแบบที่สำคัญของแบตเตอรี่ชนิดนี้คือการใช้ตะกั่ว-แคลเซียมเป็นกริดแบบแท่งในขั้วบวกและใช้ตะกั่ว-แอนติโมนีในขั้วลบ การออกแบบนี้ได้รวมข้อดีของแบตเตอรี่ทั้งสองชนิดคือมีประสิทธิภาพดีที่การคายประจุมากมีการสูญเสียน้ำน้อยและอายุการใช้งานนาน ปัญหาปรากฏการณ์ซัลเฟชันและปรากฏการณ์แบ่งชั้นของสูญเสีย น้ำน้อยและอายุการใช้งานนาน ปัญหาปรากฏการณ์ซัลเฟชันและปรากฏการณ์แบ่งชั้นของสารละลาย ยังคงมีอยู่ แบตเตอรี่ชนิดนี้มีการนำมาใช้งานกับระบบเซลล์แสงอาทิตย์ในระบบขนาดใหญ่

2) แบตเตอรี่ชนิด Captive Electrolyte Lead-Acid (VRLA) ดังรูปที่ 3.23 เป็น

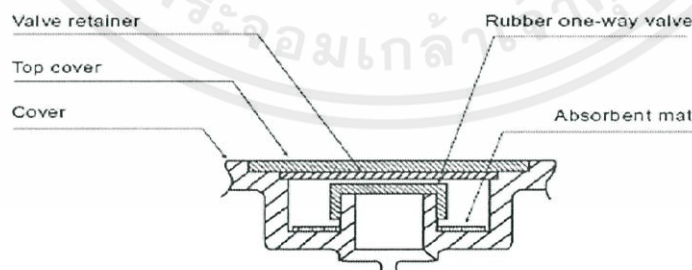
แบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด อีกชนิดหนึ่งโดยสารอิเล็กโทรไลต์จะถูกอิมโมบิไลซ์ (Immobilized) และปิด
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ผนึกในภาชนะบรรจุถ้าเกิดสภาวะประจุเกินของระบายนอากาศจะเปิดโดยแรงดันอากาศภายใน ดังรูป
 ไม่ว่าจะพิมพ์ใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มาไปใช้

ที่ 3.24 แบตเตอรี่ส่วนใหญ่แล้วจะเรียกแบตเตอรี่ชนิดนี้ว่า Valve Regulated Lead-Acid (VRLA) สารอิเล็กโทรไลต์จะไม่สามารถเติมได้ในแบตเตอรี่ชนิดนี้ดังนั้นในการใช้แบตเตอรี่ชนิดนี้ต้องไม่ทำการประจุเกินแบตเตอรี่ชนิดนี้เป็นที่นิยมนำมาใช้กับระบบเซลล์แสงอาทิตย์และกังหันลมผลิตไฟฟ้าเพราะได้รับการพิสูจน์ใช้งานแล้วและสะดวกต่อการขนส่งและที่สำคัญคือไม่ต้องเติมน้ำกลั่นซึ่งเป็นแบตเตอรี่ในอุดมคติของระบบเซลล์แสงอาทิตย์และกังหันลมผลิตไฟฟ้าในพื้นที่ห่างไกลแต่อย่างไรก็ตามสาเหตุที่จะทำให้แบตเตอรี่ชนิดนี้เกิดการเสียหายได้ในระบบเซลล์แสงอาทิตย์คือการประจุเกินทำให้สูญเสียสารอิเล็กโทรไลต์ซึ่งมักเกิดในสภาวะอุณหภูมิสูงดังนั้นสำหรับกรณีนี้อุปกรณ์ควบคุมการประจุแบตเตอรี่จะต้องตั้งจุดควบคุมไม่ให้มีสภาวะประจุเกิน (Over Charging)



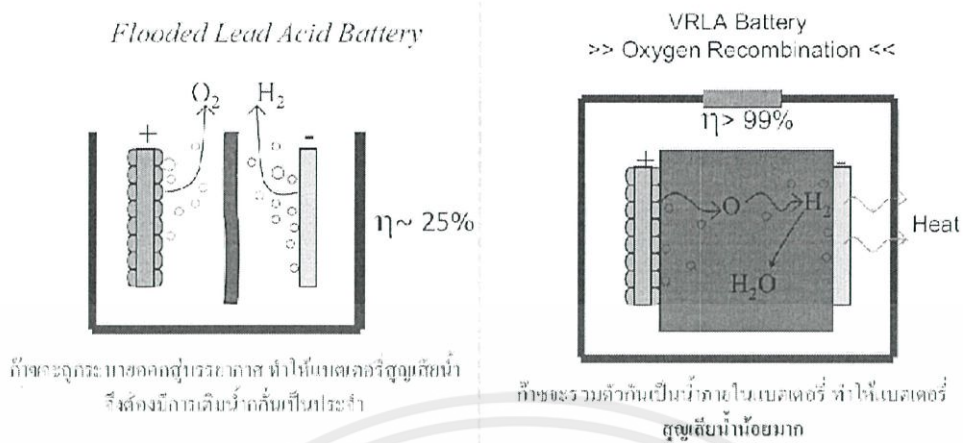
รูปที่ 3.23 แบตเตอรี่ตะกั่ว – กรด แบบปิด (Valve Regulated Lead-Acid ,VRLA)

เป็นแบตเตอรี่ที่ปิดผนึกโดยรอบยกเว้นวาล์ว (วาล์วทางเดียว) ที่จะเปิดออกเองในบางครั้ง เพื่อลดความดันในแบตเตอรี่ ในกรณีที่เกิดการชาร์จแบตเตอรี่ด้วยแรงดันที่เกินกว่าค่าที่แนะนำของบริษัทผู้ผลิต หรืออุณหภูมิที่ใช้งานสูงผิดปกติ โดยแก๊สที่ระบายออกมานั้นจะมีส่วนของไฮโดรเจน และออกซิเจน



รูปที่ 3.24 โครงสร้างวาล์วระบายแก๊ส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.25 เปรียบเทียบระหว่างแบตเตอรี่แบบ Flooded กับ VRLA

จากรูปที่ 3.25 ได้ทำการเปรียบเทียบลักษณะการทำงานภายในของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดชนิดเติมสารละลาย (Flooded) กับแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดชนิดแห้ง (VRLA) ขณะเกิดการสูญเสียน้ำภายในขณะเกิดปฏิกิริยาทางเคมีทางกายภาพ

เทคโนโลยีของแบตเตอรี่ชนิดนี้มีผลกระทบเร็วมากต่อสภาวะการประจุโดยเฉพาะข้อจำกัดระดับแรงดันและอุณหภูมิการประจุแบตเตอรี่ชนิดนี้จะต้องปฏิบัติตามข้อกำหนดของผู้ผลิต ถ้าไม่มีข้อมูลไม่ควรประจุเกิน 14.2 V ที่ 25°C สำหรับแบตเตอรี่ 12V ข้อแนะนำสำหรับการประจุแบตเตอรี่ชนิดนี้คือให้ทำการประจุที่ระดับแรงดันและอุณหภูมิต่ำเพื่อป้องกันการประจุเกินยังแบ่งได้อีก 2 ชนิดคือ

- แบตเตอรี่แบบเจล (Gelled battery) ดังรูปที่ 3.26 แบตเตอรี่ชนิดนี้ออกแบบสำหรับใช้ในงานเครื่องมือวัดและอุปกรณ์ไฟฟ้าทั่วไปส่วนใหญ่ใช้กรดแบบตะกั่ว-แคลเซียมแบตเตอรี่ชนิดนี้มีการเติมซิลิกอนไดออกไซด์เข้าไปในสารอิเล็กโทรไลต์ก่อนที่จะทำให้เป็นเจลปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นปฏิกิริยารวมกันภายในเพื่อลดการเกิดก๊าซและลดการสูญเสียน้ำ แบตเตอรี่แบบเจล บางชนิดมีการผสมกรดฟอสฟอริกในสารละลายอิเล็กโทรไลต์เพื่อปรับปรุงความสามารถในการคายประจุมากของแบตเตอรี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Gel



รูปที่ 3.26 แบตเตอรี่แบบเจล (Gelled Battery)

• แบตเตอรี่ Absorbed Glass Mat (AGM) ดังรูปที่ 3.27 แบตเตอรี่ชนิดนี้แตกต่างจากแบบเจลคือสารอิเล็กโทรไลต์จะซับด้วย glass mats และวางเป็นชั้นๆ ระหว่างเพลทแต่มีลักษณะทางกายภาพเหมือนกับเจล การพัฒนาแบตเตอรี่ชนิดนี้ทำให้สามารถใช้งานในสภาวะประจุเกินและสภาพแวดล้อมอุณหภูมิสูงได้ ดังนั้นข้อแนะนำในการประจุสำหรับแบตเตอรี่ชนิดนี้จะกำหนดแรงดันคงที่สูงกว่าแบตเตอรี่แบบเจลได้



AGM



รูปที่ 3.27 แบตเตอรี่ Absorbed Glass Mat (AGM)

ลักษณะเด่นของแบตเตอรี่แบบ AGM คือปรากฏการณ์การรวมตัวของก๊าซภายในเมื่อเราทำการประจุแบตเตอรี่แบบตะกั่วกรดใกล้ถึงสภาวะประจุเต็มจะเกิดก๊าซไฮโดรเจนและออกซิเจนจากปฏิกิริยาในขั้วบวกและลบถ้าเป็นแบตเตอรี่แบบเติมน้ำกลั่นก๊าซที่เกิดขึ้นจะระบายออกมาภายนอกทำให้ต้องเติมน้ำกลั่นเข้าไปทดแทนแต่ใน AGM แบตเตอรี่โมเลกุลออกซิเจนที่เกิดขึ้นในเพลทบวกสามารถเคลื่อนที่ไปรวมกับโมเลกุลของก๊าซไฮโดรเจนที่เพลทลบและรวมตัวกลับเป็นน้ำอีกครั้งดังนั้นแบตเตอรี่ชนิดนี้จะปิดสนิทเพื่อป้องกันการสูญเสียน้ำและก๊าซที่เกิดขึ้นภายใน

• แบตเตอรี่นิเกิล-แคดเมียม แบตเตอรี่นิเกิล-แคดเมียมเป็นแบตเตอรี่แบบทุติยภูมิสามารถนำมาประจุใหม่ได้และมีการนำไปใช้ประโยชน์ในวงกว้างมากกว่าแบตเตอรี่แบบตะกั่วกรดทำให้เป็นที่น่าสนใจที่จะนำมาใช้กับระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์และกักเก็บผลผลิตไฟฟ้าแบบไม่มีการพึ่งพาพลังงานจากภายนอก

อิสระข้อดีของแบตเตอรี่ชนิดนี้คือมีอายุการใช้งานนานบำรุงรักษาน้อยสามารถทนการประจุที่ผิดปกติได้ทำงานได้ดีที่อุณหภูมิต่ำไม่มีข้อจำกัดที่ต้องควบคุมแรงดันให้คงที่ขณะประจุข้อเสียคือราคาแพงและมีขนาดให้เลือกใช้งานน้อย

ตารางที่ 3.1 ตารางเปรียบเทียบคุณสมบัติของแบตเตอรี่ชนิดต่างๆ

ชนิดของแบตเตอรี่ตะกั่วกรด (Lead-Acid Battery)	ราคา	คุณสมบัติการคายประจุแบบ ลึก (Deep cycle)	การ บำรุงรักษา
แบตเตอรี่ชนิดเติมสารละลาย (Flooded Lead-Acid)			
1. ชนิดตะกั่ว-แอนติโมนี	ต่ำ	ดี	สูง
2. ชนิดตะกั่ว-แคลเซียม Open Vent	ต่ำ	ไม่ดี	ปานกลาง
3. ชนิดตะกั่ว-แคลเซียม Sealed Vent	ต่ำ	ไม่ดี	ต่ำ
4. ชนิดตะกั่ว-แอนติโมนี/แคลเซียม	ปานกลาง	ดี	ปานกลาง

ตารางที่ 3.2 ตารางเปรียบเทียบคุณสมบัติของแบตเตอรี่ชนิดต่างๆ(ต่อ)

ชนิดของแบตเตอรี่ตะกั่วกรด (Lead-Acid Battery)	ราคา	คุณสมบัติการคายประจุแบบ ลึก (Deep cycle)	การ บำรุงรักษา
แบตเตอรี่ชนิด Captive Electrolyte Lead-Acid (VRLA)			
1. เจลแบตเตอรี่(Gelled)	ปานกลาง	มาก	ต่ำ
2. Absorbed Glass Mat(AGM)	ปานกลาง	มาก	ต่ำ
นิเกิล-แคดเมียม			
1. ชนิดเพลทแบบ Sintered	สูง	ดี	ไม่มี
2. ชนิดเพลทแบบ Pocket	สูง	ดี	ปานกลาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกร ใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6 หลักการการอัดประจุแบตเตอรี่แบบต่างๆ

ในการอัดประจุแบตเตอรี่ จำเป็นที่ต้องทราบอัตราการอัดประจุแบตเตอรี่นั้นๆ ซึ่งขึ้นกับปฏิกิริยาเคมีภายในเซลล์แบตเตอรี่ โดยผู้ผลิตจะให้ข้อมูลอื่นที่เหมาะสมต่อการอัดประจุแบตเตอรี่นั้นๆ ได้แก่ แรงดันและกระแสที่เหมาะสม เวลาที่ใช้ทั้งหมด รูปแบบ วิธีการและโหมดการอัดประจุ ซึ่งระหว่างการอัดประจุนั้นๆ จำเป็นต้องรักษาอัตราการอัดประจุ จนกระทั่งหยุดที่เวลาที่เหมาะสมเมื่อประจุเต็มแล้ว ทั้งนี้เพื่อเป็นการป้องกันความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นได้กับแบตเตอรี่ อันเนื่องจากการอัดประจุเกินขนาด ซึ่งอาจเกิดจากความร้อนหรือสาเหตุอื่น และเพื่อเป็นการยืดอายุการใช้งานของแบตเตอรี่เพื่อให้เกิดความคุ้มค่าอย่างสูงสุด

การอัดประจุแบตเตอรี่ที่สามารถควบคุมได้ง่ายวิธีการหนึ่งคือ การใช้สัญญาณคลื่นสี่เหลี่ยมหรือคลื่นสัญญาณพัลส์ในการอัดประจุ ซึ่งสามารถใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการสร้างและควบคุมขนาดกระแสหรือแรงดัน คาบเวลา และอัตราอัดการประจุได้ด้วยการเขียนโปรแกรมตามต้องการ ซึ่งแบตเตอรี่ที่เลือกใช้ในการอัดประจุคือแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด

3.7 วิธีการอัดประจุของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด

แบ่งแบบพื้นฐานได้เป็น Float Charge และ 3-Stage Charge

1) Good Float Charge

จะทำให้แรงดันไฟฟ้าเปลี่ยนเป็น Float Voltage เมื่อมีแรงดัน 13.8 V (กรณีแบตเตอรี่ 12V) และจะอัดประจุที่กระแสคงที่จนอัดประจุได้ 75% จากความจุแบตเตอรี่ทั้งหมด และกระแสจะค่อยๆ ลดลงหลังจากนั้น และใช้เวลาอัดประจุ 75% แรกสั้นกว่า 25% หลัง

2) Bad Float Charge

จะมีการตกของกระแสไฟฟ้าก่อนที่แรงดันจะมีค่าถึง Float Voltage (13.8V โดยทั่วไป) และจากการที่กระแสตกลงเร็วจะทำให้ใช้เวลาอัดประจุมาก

3) 3-Stage Charge

ขั้นแรกจะเริ่มเหมือน Good Float Charge ขั้นต่อมาจะอัดประจุด้วยกระแสคงที่จนกระทั่งถึง Boost Voltage (14.4V) ขั้นที่สามแรงดันจะลดลงจนเหลือ 1 ใน 4 ของกระแส

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ใช้เห็นว่าเป็นประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สูงสุด และจะอัดประจุต่อไปจนมีความจุประมาณ 90% จากนั้นแรงดันจะเปลี่ยนไปเป็น Float Voltage โดยอัตโนมัติ และจะใช้เวลาอัดประจุมากขึ้นไปอีก 10% ที่เหลือ

3.8 ชนิดของวงจรอัดประจุ

1) Ferro Resonant

ใช้หลักการควบคุมอัตโนมัติโดยใช้แม่เหล็กความถี่ต่ำ ซึ่งเป็นผลให้มีน้ำหนักมาก มีความสามารถในการอัดประจุแบบ float ต่ำ ใช้เวลาในการอัดประจุสูง ราคาสูง และทำให้มีสนามแม่เหล็กรบกวนอุปกรณ์อื่นๆ

2) Linear Charge

ใช้หม้อแปลงในการลดแรงดันและใช้ทรานซิสเตอร์ในการลดกระแสและแรงดันที่ใช้อัดประจุ วงจรชนิดนี้มีความสามารถใช้กับการอัดประจุแบบ Float และ 3-Stage Charge แต่มีประสิทธิภาพต่ำ อุณหภูมิสูง และมีช่วงของการจ่ายแรงดันจำกัด

3) Switched Mode Charge

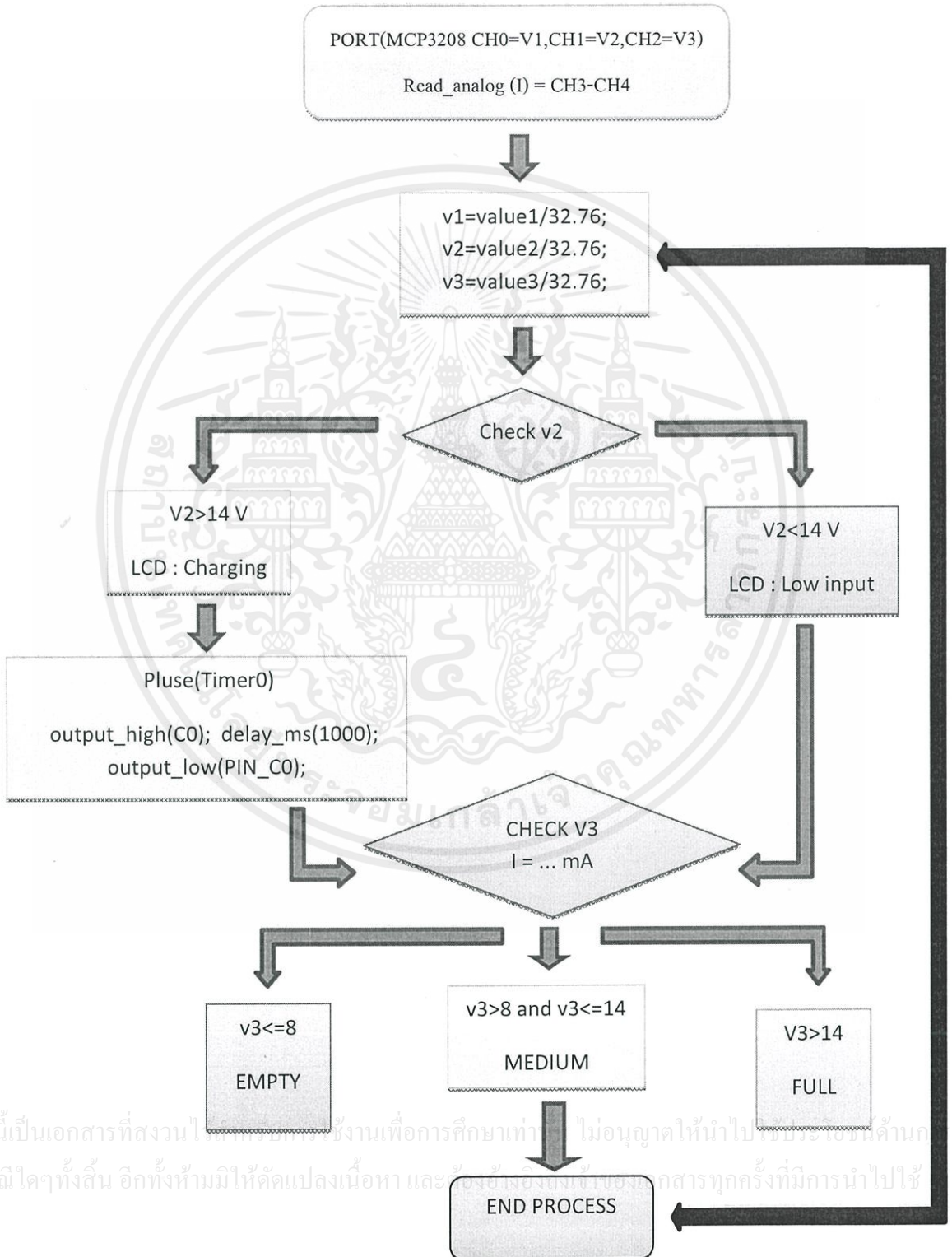
ในขั้นแรกจะแปลงแรงดันกระแสสลับ ให้เป็นแรงดันกระแสตรงชนิดความถี่สูง หลังจากนั้นแปลงแรงดันกระแสตรงชนิดความถี่สูงให้เป็นแรงดันกระแสสลับความถี่สูงจากการใช้ทรานซิสเตอร์ และหม้อแปลงความถี่สูง หลังจากนั้นจึงลดระดับแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับจนถึงระดับที่จะนำไปใช้งาน ซึ่งวงจรชนิดนี้จะมีประสิทธิภาพสูงกว่าสองแบบแรก มีขนาดเล็ก น้ำหนักเบา ราคาถูก แต่มีความซับซ้อนมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ซอฟต์แวร์และการเขียนโปรแกรม

4.1 Flow Chart



Flow Charge แสดงขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมที่ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยกำหนดให้ MCP3208 Port CH0 = V1 = แรงดันที่เป็นค่าอนุโลกจากเทอร์โมอิเล็กทริก , Port CH1 = V2 = แรงดันที่เป็นค่าอนุโลกจากวงจรแปลงแรงดัน และ Port CH2 = V3 = แรงดันที่เป็นค่าอนุโลกจากแบตเตอรี่ และแสดงผลของค่ากระแสโดยใช้ Port CH3-CH4

เมื่อรับแรงดันจากทั้ง 3 พอร์ท จะทำการเปลี่ยนแรงดันสัญญาณอนุโลกให้เป็นแรงดันสัญญาณแบบดิจิตอลเพื่อแสดงผลทางจอ LCD ขั้นตอนต่อไปคือการตรวจสอบสถานะของแรงดันจากวงจรแปลงแรงดันโดยแบ่งเป็น 2 เงื่อนไข คือ เงื่อนไขแรก เมื่อมีแรงดันมากกว่า 14 โวลต์ วงจรจะทำการอัดประจุแบตเตอรี่เข้าไปในรูปของ Pulse(Timer0) โดย แรงดันขาออกที่สูงที่สุดจะมีความหน่วงเวลา 1000 ms และแรงดันขาออกที่ต่ำที่สุดจะมีความหน่วงเวลา 1000 ms และอีกเงื่อนไขหนึ่ง คือ เมื่อแรงดันต่ำกว่า 14 โวลต์ จะแสดงผลในจอ LCD ว่าวงจรมีแรงดันไฟเข้าไม่เพียงพอ (Low input) เมื่อตรวจสอบสถานะของแรงดันของวงจรแปลงแรงดันไฟฟ้าเสร็จสิ้น จะเข้าสู่ลำดับต่อไปคือการตรวจสอบสถานะของแรงดันจากแบตเตอรี่ โดยจะแบ่งออกเป็น 3 เงื่อนไข คือ 1) เมื่อแรงดันของแบตเตอรี่น้อยกว่าหรือเท่ากับ 8 โวลต์ จะแสดงทางหน้าจอ LCD ว่า “EMPTY” , 2) เมื่อแรงดันอยู่ในช่วง 8 โวลต์ แต่น้อยกว่าหรือเท่ากับ 14 โวลต์ จะแสดงผลทางจอ LCD ว่า “MEDIUM” และเมื่อมีแรงดันมากกว่า 14 โวลต์ จะแสดงผลทางจอ LCD ว่า “FULL” และใน 2 กรณีนี้จะมีการเช็คกระแสด้วย โดยเมื่อเสร็จสิ้นการตรวจสอบสถานะของแบตเตอรี่ ก็จะทำกรวนลูกลับไปที่เช็คสถานะตั้งแต่เริ่มต้นไปเรื่อยๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 โปรแกรมภาษา C ที่เขียนลงใน Microcontroller

```

#include <16f877a.h>
#include <fuses HS,NOWDT,NOPROTECT>
#include <delay(clock=1000000)>
#include <MCP3208.c>
#include <LCD.c>
unsigned int tick=0;
int1 check=0;
#INT_TIMER0 void Timer0_ISR()

{
    tick++;
    if(tick>37&&check==1)
    {
        output_toggle(PIN_C2);
        tick=0;
    }
    if(tick>37&&check==0)
    {
        output_low(PIN_C2);
        tick=0;
    }
}

void main(void)
{
    unsigned long int adc_v;
    unsigned int a,b,c,d,e,f,g,h,i,j,k;
    enable_interrupts(GLOBAL);
    enable_interrupts(INT_TIMER0);
    setup_timer_0(RTCC_INTERNAL|RTCC_DIV_256);
    set_timer0(0);
    set_tris_c(0x00);
    set_tris_d(0x00);
    // set_tris_b(0x02);
    output_d(0x00);
    output_b(0x00);
    adc_init();
    lcd_init();
    for(;;)

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

{
    lcd_putc("\f");
    adc_v=read_analog(0);
    adc_v=(adc_v/32.76)-50;
    a=adc_v/100;
    b=adc_v%100;
    printf(lcd_putc,"Vp=%d.%dV",a,b);
    delay_us(10);
    adc_v=read_analog(1);
    adc_v=(adc_v/32.76)-50;
    c=adc_v/100;
    d=adc_v%100;
    printf(lcd_putc,"\nVbs=%d.%dV.",c,d);
    delay_us(10);
    adc_v=read_analog(2);
    adc_v=(adc_v/32.76)-50;
    e=adc_v/100;
    f=adc_v%100;
    if(c>=10) { printf(lcd_putc,"CH");
    delay_us(10); check=1;
}
else if (c<10)
{
    printf(lcd_putc,"LIP");
    delay_us(10);
    check=0;
}

delay_ms(1000);
lcd_putc("\f");
adc_v=read_analog(2);
adc_v=(adc_v/32.76)-50;
e=adc_v/100;
f=adc_v%100;
printf(lcd_putc,"Vbat=%d.%dV.",e,f);
delay_us(10);
adc_v=read_analog(3);
adc_v=(adc_v/32.76)-50;
g=adc_v;
delay_us(10);
adc_v=read_analog(4);
adc_v=(adc_v/32.76)-50;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารต้นฉบับที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆก็ตาม หากมีข้อผิดพลาดประการใดขอสงวนสิทธิ์ไว้ และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

h=adc_v;
delay_us(10);
i=(h-g)/0.5;
j=i;
printf(lcd_putc,"\nI=%d mA ",j);
if(e<=8)
{
    printf(lcd_putc,"Empty");
    delay_us(10);
}

else if (e>8&&e<=14)
{
    printf(lcd_putc,"Medium");
    delay_us(10);
}

else if (e>14)
{
    printf(lcd_putc,"Full");
    delay_us(10);
}
delay_ms(1000);
}
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

การทดลองและผลการทดลอง

5.1 การทดสอบคุณสมบัติทางไฟฟ้าของเทอร์โมอิเล็กทริกในกรณีไม่มีโหลด (Open circuit)

I_{sc} (max) จากเทอร์โมอิเล็กทริก = 300mA

V_{in} (max) จากเทอร์โมอิเล็กทริก เข้าสู่วงจร Boost converter = 3.6 V

V_{out} (max) จากวงจร Boost converter = 18.13 V

V_{in} (min) จากเทอร์โมอิเล็กทริก เข้าสู่วงจร Boost converter = 3.3 V

V_{out} (min) จากวงจร Boost converter = 17.98 V

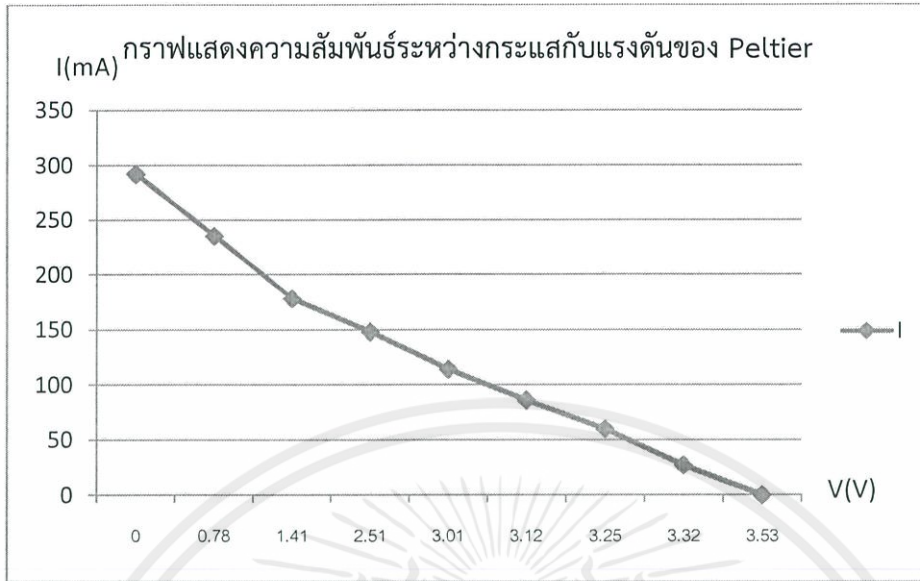
P (max) จากวงจร Boost converter = 5.4 W

5.2 การทดสอบคุณสมบัติทางไฟฟ้าของเทอร์โมอิเล็กทริกในกรณีที่มีโหลด

Voltage (V)	Current (mA)	Power (mW)
0	292	0
0.78	235	183.3
1.41	178	250.98
2.51	148	371.48
3.01	114	343.14
3.12	86	268.32
3.25	60	195
3.32	27	89.64
3.53	0	0

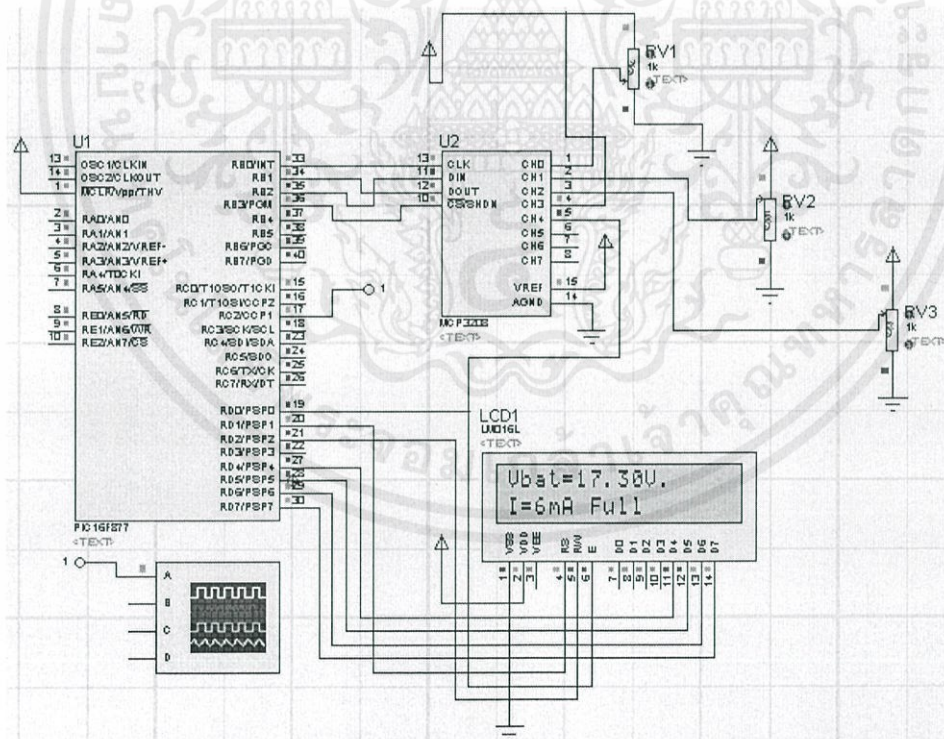
ตารางที่ 5.1 ตารางแสดงผลการทดลองแหล่งจ่ายแรงดันจากเทอร์โมอิเล็กทริกเมื่อมีโหลด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

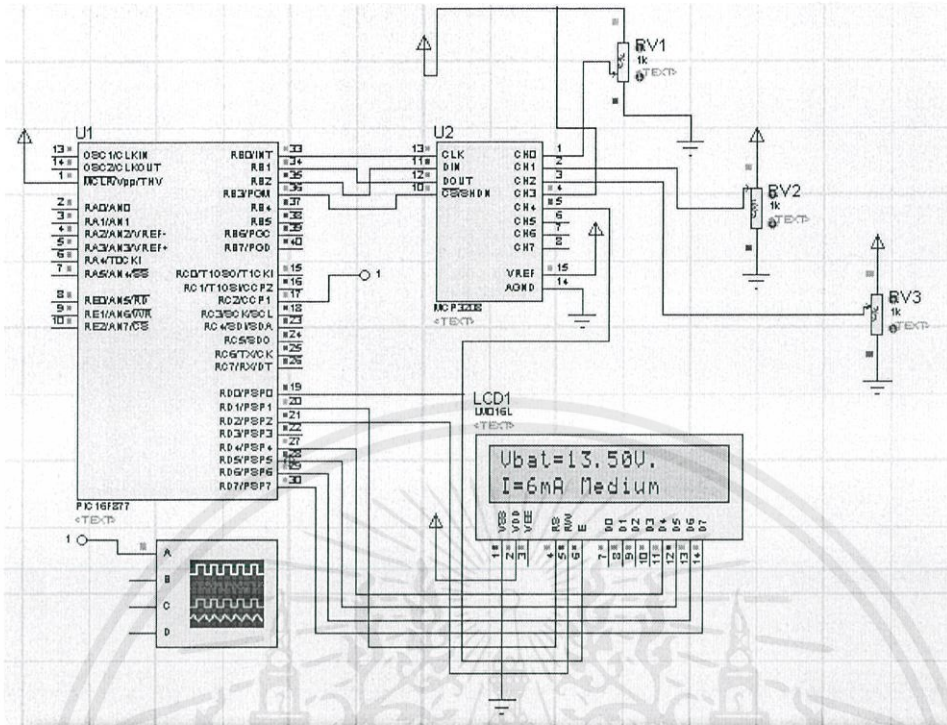


รูปที่ 5.1 กราฟแสดงผลการทดลองแหล่งจ่ายแรงดันจากเทอร์โมอิเล็กทริกเมื่อมีโหลด

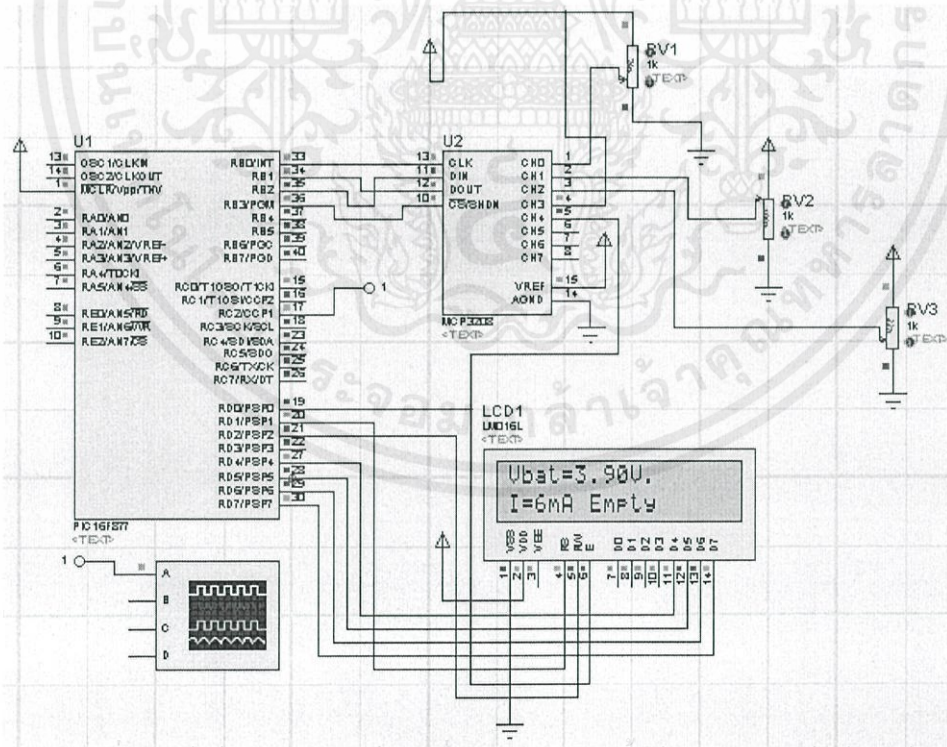
5.3 การทดลองจำลองการทำงาน Code ที่ใช้ใน Microcontroller จากโปรแกรม Proteus



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.3 เมื่อแรงดันในแบตเตอรี่อยู่ในช่วง 8V ถึง 14V จอ LCD จะแสดงผลว่า “Medium”



รูปที่ 5.4 เมื่อแรงดันในแบตเตอรี่น้อยกว่า 8V จอ LCD จะแสดงผลว่า “Empty”

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานานาชาติ โดยปราศจากข้อจำกัดใดๆ
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

สรุปผลการทดลอง

6.1 ส่วนของแหล่งจ่ายจากเทอร์โมอิเล็กทริก (เพลเทียร์)

จากการทดลองพบว่า แหล่งจ่ายแรงดันโดยใช้เทอร์โมอิเล็กทริกสามารถให้แรงดันได้สูงสุด 3.53 โวลต์ เมื่อทำการทาบหม้อน้ำที่มีความร้อนกับแผ่นอะลูมิเนียมที่วางบนด้านร้อนของแผ่นเพลเทียร์และใช้อากาศในการให้ความเย็นกับด้านเย็นของแผ่นเพลเทียร์ที่ติดอยู่กับ Heat sink เมื่อนำมาติงกระแสพบว่าแรงดันขาเข้าของเพลเทียร์ลดลงเหลือ 2.9 โวลต์ ทำให้วงจร Converter LM 2577 ไม่สามารถทำงานได้ มีผลทำให้ไม่สามารถหาพลังงานสูงสุดของวงจรนี้ได้

6.2 Microcontroller

จากการแสดงผลในโปรแกรม Proteus พบว่าการทำงานของแรงดันนั้นเป็นไปตามที่คาดไว้ คือ เมื่อรับอินพุตจากแหล่งจ่ายแรงดันทั้ง 3 คือ ส่วนของแหล่งกำเนิดพลังงานคือ เทอร์โมอิเล็กทริก , ส่วนของวงจรแปลงแรงดัน และส่วนของแบตเตอรี่ จะทำการแปลงแรงดันไฟฟ้าที่เป็นสัญญาณอนาล็อกให้เป็นสัญญาณดิจิตอลเพื่อที่จะแสดงผลบนจอ LCD จากนั้นจะทำการตรวจสอบสถานะของแรงดันจากวงจรแปลงแรงดันโดยแบ่งเป็น 2 เงื่อนไข คือ เงื่อนไขแรก เมื่อมีแรงดันมากกว่า 14 โวลต์ วงจรจะทำการอัดประจุแบตเตอรี่เข้าไปในรูปของ Pulse โดย แรงดันขาออกที่สูงที่สุดจะมีความหน่วงเวลา 1000 ms และแรงดันขาออกที่ต่ำที่สุดจะมีความหน่วงเวลา 1000 ms และอีกเงื่อนไขหนึ่ง คือ เมื่อแรงดันต่ำกว่า 14 โวลต์ จะแสดงผลในจอ LCD ว่าวงจรมีแรงดันไฟเข้าไม่เพียงพอ (Low input) เมื่อตรวจสอบสถานะของแรงดันของวงจรแปลงแรงดันไฟฟ้าเสร็จสิ้น จะเข้าสู่ลำดับต่อไปคือการตรวจสอบสถานะของแรงดันจากแบตเตอรี่ โดยจะแบ่งออกเป็น 3 เงื่อนไข คือ 1) เมื่อแรงดันของแบตเตอรี่น้อยกว่า 8 โวลต์ จะแสดงทางหน้าจอ LCD ว่า “EMPTY” , 2) เมื่อแรงดันอยู่ในช่วง 8-14 โวลต์ จะแสดงผลทางจอ LCD ว่า “MEDIUM” และเมื่อมีแรงดันมากกว่า 14 โวลต์ จะแสดงผลทางจอ LCD ว่า “FULL” โดยเมื่อเสร็จสิ้นการตรวจสอบสถานะของแบตเตอรี่ ก็จะมีการวนลูปกลับไปเช็คสถานะตั้งแต่เริ่มต้นไปเรื่อยๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 7

ข้อเสนอแนะ

7.1 แผ่นเทอร์โมอิเล็กทริก (เพลเทียร์)

- 1) สามารถผลิตพลังงานได้เมื่อมีอุณหภูมิต่างกันมากกว่า 20°C
- 2) ผลิตกระแสต่ำ และมีปัญหาในเรื่องการระบายความร้อนของด้านเย็น เพื่อให้อุณหภูมิทั้งสองฝั่ง ต่
างกันเพียงพอที่จะสามารถผลิตพลังงานได้
- 3) อนาคตข้างหน้าอาจใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม เพื่อนำพลังงานที่สูญเสียจากอุตสาหกรรมในรูปแบบ
ของความร้อนมาใช้ทดแทน ส่งผลให้ลดภาวะโลกร้อน

7.2 ไมโครคอนโทรลเลอร์

- 1) การเขียนโปรแกรมเป็นไปด้วยความลำบาก
- 2) ต้องเลือกโปรแกรมให้เหมาะสมกับการสั่งงาน
- 3) หากเขียนโปรแกรมผิดจะทำให้ไม่สามารถตรวจสอบสถานะของอุปกรณ์ใดๆได้เลย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

- [1] นายปัญญาพล หอระตะ (2545) : “หลักการเขียนโปรแกรมภาษาซี” : โรงพิมพ์คลังนา
วิทยา
- [2] ทีมงานสมาร์ตเลิร์นนิ่ง (2554) : “Advance PIC Microcontroller in C การประยุกต์ใช้
งาน PIC ขั้นสูงด้วยภาษา C” : สำนักพิมพ์สมาร์ตเลิร์นนิ่ง
- [3] นายกฤติน อรรถพฤกษ์, นายศุภกรณ์ รุ่งเมฆารัตน์(2554) : “ระบบอัตโนมัติด้วย
พลังงานจากเทอร์โมอิเล็กทริก” : ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิตสาขาวิชาวิศวกรรม
อิเล็กทรอนิกส์



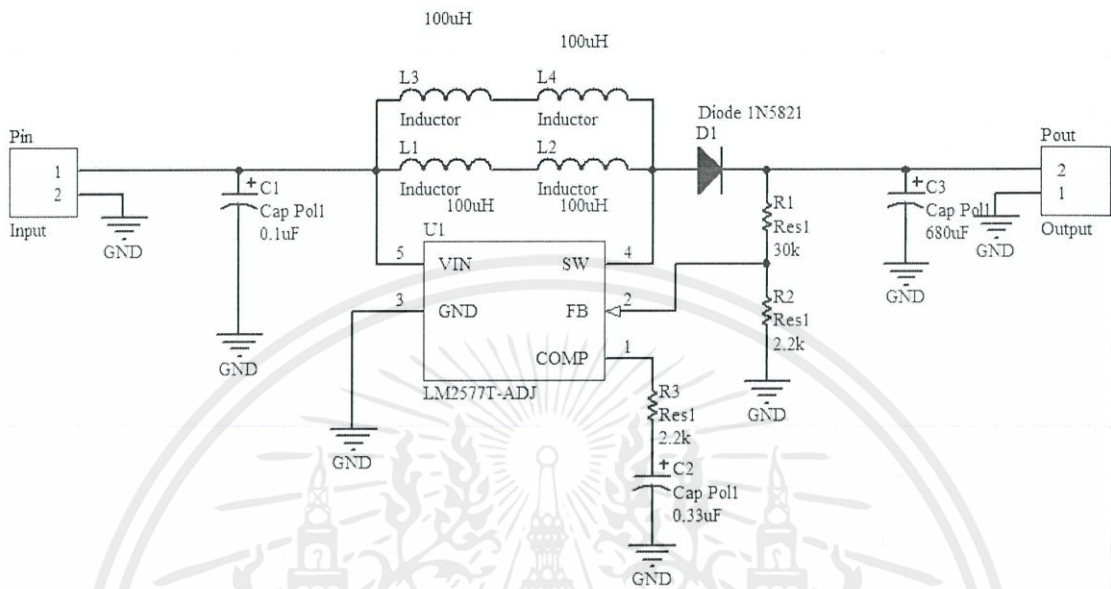
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

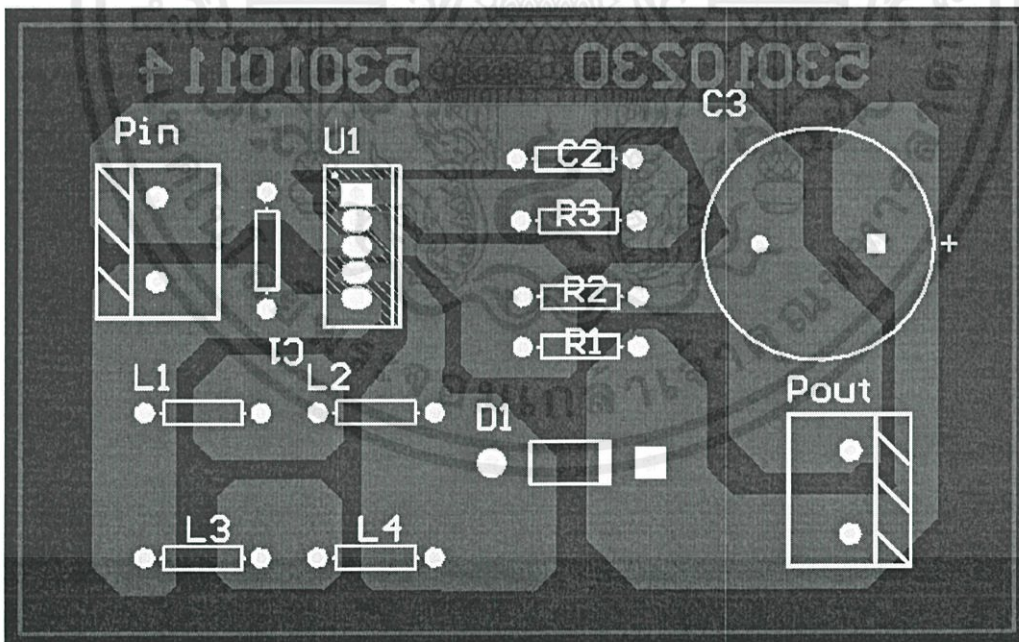
วงจรแปลงระดับแรงดันไฟฟ้า (Boost Converter) LM 2577

$$V_{in(min)} = 3.30 \text{ V } V_{out} = 18.00 \text{ V}$$



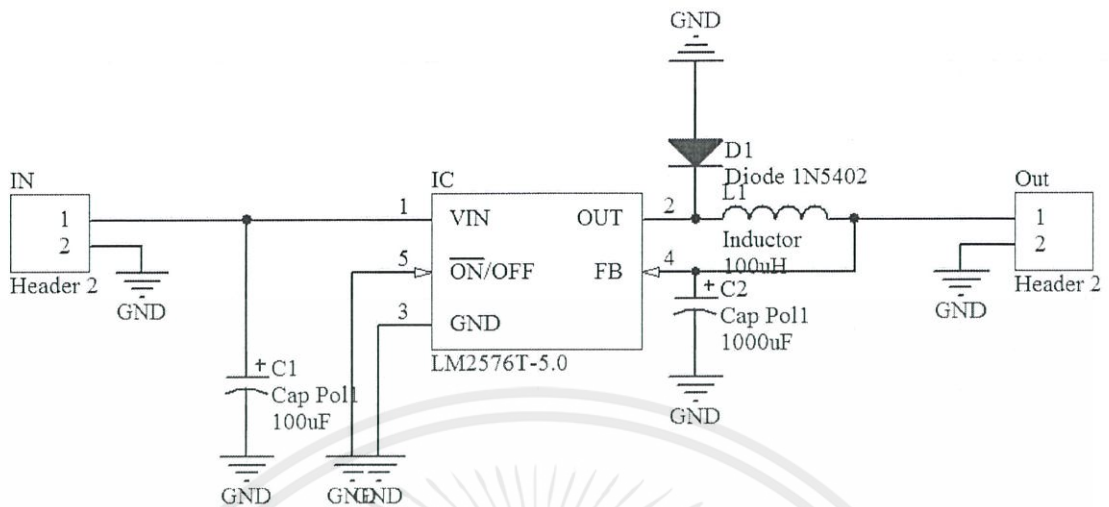
การออกแบบลายวงจรแปลงระดับแรงดันไฟฟ้า (Boost Converter)LM 2577

$$V_{in(min)} = 3.30 \text{ V } V_{out} = 18.00 \text{ V}$$



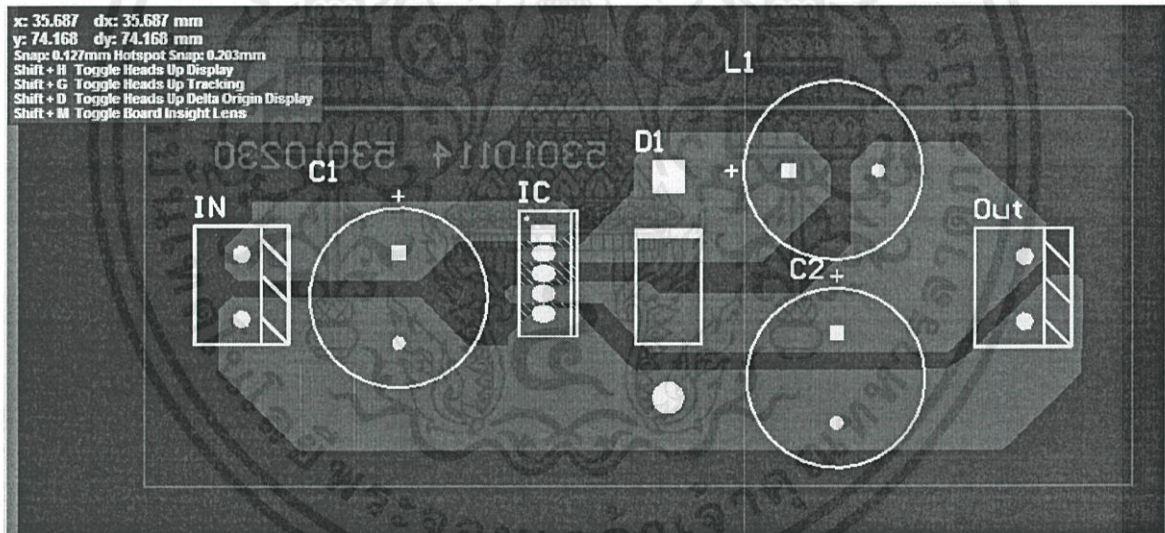
วงจรรักษาระดับแรงดันไฟฟ้า (Regulator) LM 2576

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



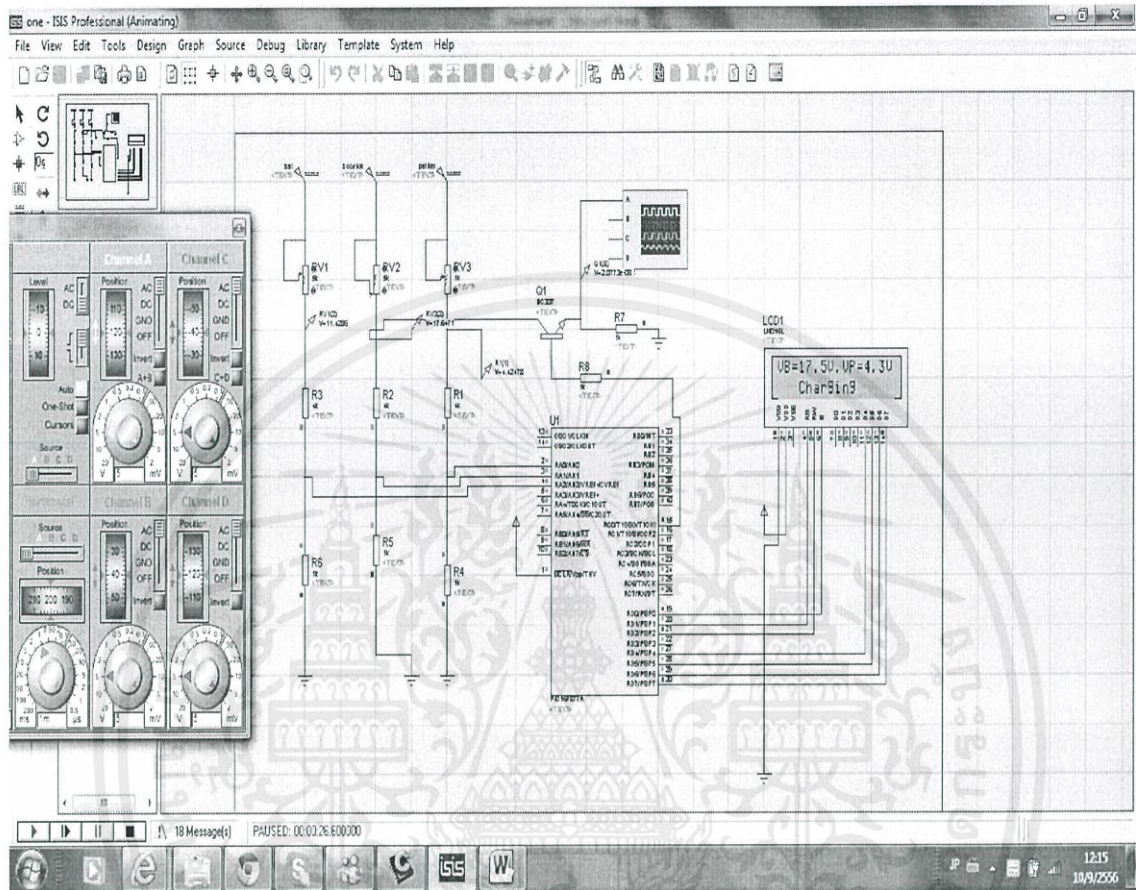
การออกแบบลายวงจรรักษาระดับแรงดันไฟฟ้า (Regulator) LM 2576

$V_{out} = 5.00 \text{ V}$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การ Simulation โดยใช้โปรแกรม Proteus



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



LM2576

Easy Switcher™ 3.0 A Step-Down Voltage Regulator

The LM2576 series of regulators are monolithic integrated circuits ideally suited for easy and convenient design of a step-down switching regulator (buck converter). All circuits of this series are capable of driving a 3.0 A load with excellent line and load regulation. These devices are available in fixed output voltages of 3.3 V, 5.0 V, 12 V, 15 V, and an adjustable output version.

These regulators were designed to minimize the number of external components to simplify the power supply design. Standard series of inductors optimized for use with the LM2576 are offered by several different inductor manufacturers.

Since the LM2576 converter is a switch-mode power supply, its efficiency is significantly higher in comparison with popular three-terminal linear regulators, especially with higher input voltages. In many cases, the power dissipated is so low that no heatsink is required or its size could be reduced dramatically.

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.

The LM2576 features include a guaranteed $\pm 4\%$ tolerance on output voltage within specified input voltages and output load conditions, and $\pm 10\%$ on the oscillator frequency ($\pm 2\%$ over 0°C to 125°C). External shutdown is included, featuring $80\ \mu\text{A}$ (typical) standby current. The output switch includes cycle-by-cycle current limiting, as well as thermal shutdown for full protection under fault conditions.

Features

- 3.3 V, 5.0 V, 12 V, 15 V, and Adjustable Output Versions
- Adjustable Version Output Voltage Range, 1.23 to 37 V $\pm 4\%$ Maximum Over Line and Load Conditions
- Guaranteed 3.0 A Output Current
- Wide Input Voltage Range
- 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

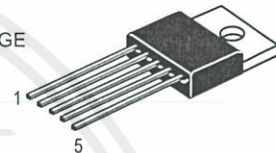
Applications

- Simple High-Efficiency Step-Down (Buck) Regulator
- Efficient Pre-Regulator for Linear Regulators
- On-Card Switching Regulators
- Positive to Negative Converter (Buck-Boost)
- Negative Step-Up Converters
- Power Supply for Battery Chargers

EASY SWITCHER™ 3.0 A STEP-DOWN VOLTAGE REGULATOR

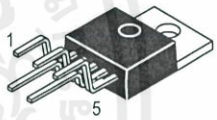
SEMICONDUCTOR
TECHNICAL DATA

T SUFFIX
PLASTIC PACKAGE
CASE 314D




Pin 1. V_{in}
2. Output
3. Ground
4. Feedback
5. ON/OFF

TV SUFFIX
PLASTIC PACKAGE
CASE 314B



Heatsink surface connected to Pin 3.

D2T SUFFIX
PLASTIC PACKAGE
CASE 936A
(D²PAK)



Heatsink surface (shown as terminal 6 in case outline drawing) is connected to Pin 3.

DEVICE TYPE/NOMINAL OUTPUT VOLTAGE	
LM2576-3.3	3.3 V
LM2576-5	5.0 V
LM2576-12	12 V
LM2576-15	15 V
LM2576-ADJ	1.23 V to 37 V

ORDERING INFORMATION		
Device	Operating Temperature Range	Package
LM2576T-XX	$T_J = -40^\circ$ to $+125^\circ\text{C}$	Straight Lead
LM2576TV-XX		Vertical Mount
LM2576D2T-XX		Surface Mount

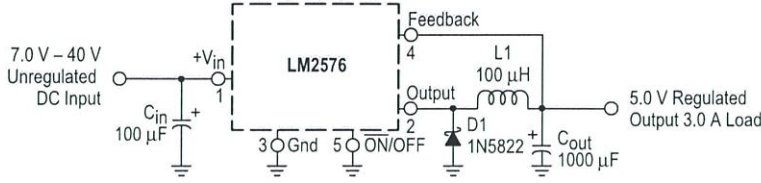
XX = Voltage Option, i.e. 3.3, 5, 12, 15 V; and ADJ for Adjustable Output.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่ควรนำข้อมูลไปใช้เพื่อการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงแหล่งที่มาไว้ด้วย

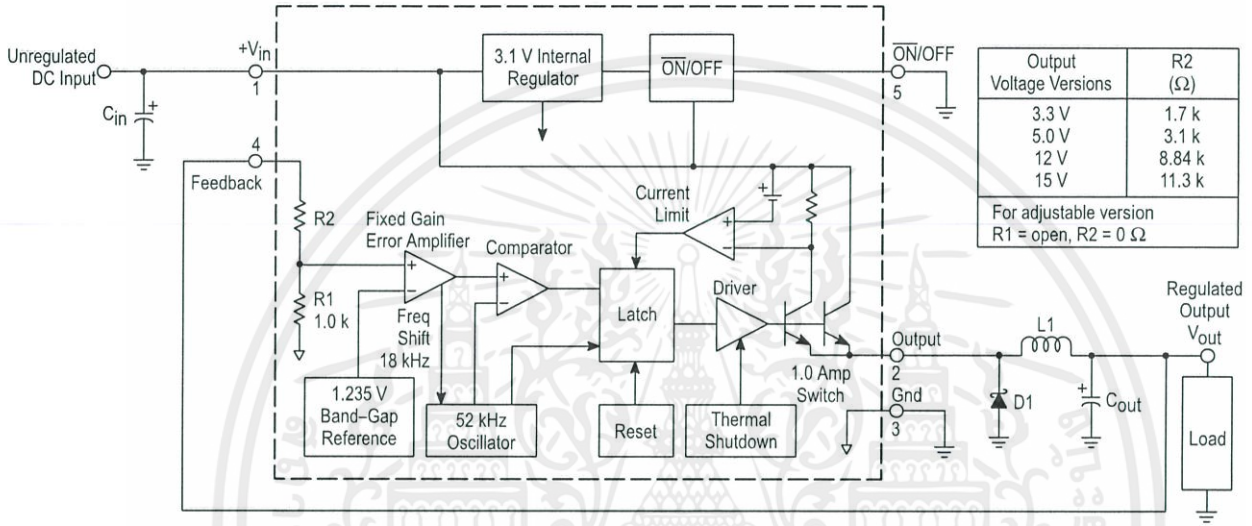
LM2576

Figure 1. Block Diagram and Typical Application

Typical Application (Fixed Output Voltage Versions)



Representative Block Diagram and Typical Application



ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS (Absolute Maximum Ratings indicate limits beyond which damage to the device may occur.)

Rating	Symbol	Value	Unit
Maximum Supply Voltage	V_{in}	45	V
ON/OFF Pin Input Voltage	—	$-0.3 \text{ V} \leq V \leq +V_{in}$	V
Output Voltage to Ground (Steady-State)	—	-1.0	V
Power Dissipation			
Case 314B and 314D (TO-220, 5-Lead)	P_D	Internally Limited	W
Thermal Resistance, Junction-to-Ambient	$R_{\theta JA}$	65	°C/W
Thermal Resistance, Junction-to-Case	$R_{\theta JC}$	5.0	°C/W
Case 936A (D ² PAK)	P_D	Internally Limited	W
Thermal Resistance, Junction-to-Ambient	$R_{\theta JA}$	70	°C/W
Thermal Resistance, Junction-to-Case	$R_{\theta JC}$	5.0	°C/W
Storage Temperature Range	T_{stg}	-65 to +150	°C
Minimum ESD Rating (Human Body Model: C = 100 pF, R = 1.5 kΩ)	—	2.0	kV
Lead Temperature (Soldering, 10 seconds)	—	260	°C
Maximum Junction Temperature	T_J	150	°C

NOTE: ESD data available upon request.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LM2576

OPERATING RATINGS (Operating Ratings indicate conditions for which the device is intended to be functional, but do not guarantee specific performance limits. For guaranteed specifications and test conditions, see the Electrical Characteristics.)

Rating	Symbol	Value	Unit
Operating Junction Temperature Range	T_J	-40 to +125	°C
Supply Voltage	V_{in}	40	V

SYSTEM PARAMETERS ([Note 1] Test Circuit Figure 15)

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (Unless otherwise specified, $V_{in} = 12$ V for the 3.3 V, 5.0 V, and Adjustable version, $V_{in} = 25$ V for the 12 V version, and $V_{in} = 30$ V for the 15 V version. $I_{Load} = 500$ mA. For typical values $T_J = 25^\circ\text{C}$, for min/max values T_J is the operating junction temperature range that applies [Note 2], unless otherwise noted.)

Characteristics	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
-----------------	--------	-----	-----	-----	------

LM2576-3.3 ([Note 1] Test Circuit Figure 15)

Output Voltage ($V_{in} = 12$ V, $I_{Load} = 0.5$ A, $T_J = 25^\circ\text{C}$)	V_{out}	3.234	3.3	3.366	V
Output Voltage (6.0 V $\leq V_{in} \leq 40$ V, 0.5 A $\leq I_{Load} \leq 3.0$ A) $T_J = 25^\circ\text{C}$ $T_J = -40$ to $+125^\circ\text{C}$	V_{out}	3.168 3.135	3.3 -	3.432 3.465	V
Efficiency ($V_{in} = 12$ V, $I_{Load} = 3.0$ A)	η	-	75	-	%

LM2576-5 ([Note 1] Test Circuit Figure 15)

Output Voltage ($V_{in} = 12$ V, $I_{Load} = 0.5$ A, $T_J = 25^\circ\text{C}$)	V_{out}	4.9	5.0	5.1	V
Output Voltage (8.0 V $\leq V_{in} \leq 40$ V, 0.5 A $\leq I_{Load} \leq 3.0$ A) $T_J = 25^\circ\text{C}$ $T_J = -40$ to $+125^\circ\text{C}$	V_{out}	4.8 4.75	5.0 -	5.2 5.25	V
Efficiency ($V_{in} = 12$ V, $I_{Load} = 3.0$ A)	η	-	77	-	%

LM2576-12 ([Note 1] Test Circuit Figure 15)

Output Voltage ($V_{in} = 25$ V, $I_{Load} = 0.5$ A, $T_J = 25^\circ\text{C}$)	V_{out}	11.76	12	12.24	V
Output Voltage (15 V $\leq V_{in} \leq 40$ V, 0.5 A $\leq I_{Load} \leq 3.0$ A) $T_J = 25^\circ\text{C}$ $T_J = -40$ to $+125^\circ\text{C}$	V_{out}	11.52 11.4	12 -	12.48 12.6	V
Efficiency ($V_{in} = 15$ V, $I_{Load} = 3.0$ A)	η	-	88	-	%

LM2576-15 ([Note 1] Test Circuit Figure 15)

Output Voltage ($V_{in} = 30$ V, $I_{Load} = 0.5$ A, $T_J = 25^\circ\text{C}$)	V_{out}	14.7	15	15.3	V
Output Voltage (18 V $\leq V_{in} \leq 40$ V, 0.5 A $\leq I_{Load} \leq 3.0$ A) $T_J = 25^\circ\text{C}$ $T_J = -40$ to $+125^\circ\text{C}$	V_{out}	14.4 14.25	15 -	15.6 15.75	V
Efficiency ($V_{in} = 18$ V, $I_{Load} = 3.0$ A)	η	-	88	-	%

LM2576 ADJUSTABLE VERSION ([Note 1] Test Circuit Figure 15)

Feedback Voltage ($V_{in} = 12$ V, $I_{Load} = 0.5$ A, $V_{out} = 5.0$ V, $T_J = 25^\circ\text{C}$)	V_{out}	1.217	1.23	1.243	V
Feedback Voltage (8.0 V $\leq V_{in} \leq 40$ V, 0.5 A $\leq I_{Load} \leq 3.0$ A, $V_{out} = 5.0$ V) $T_J = 25^\circ\text{C}$ $T_J = -40$ to $+125^\circ\text{C}$	V_{out}	1.193 1.18	1.23 -	1.267 1.28	V
Efficiency ($V_{in} = 12$ V, $I_{Load} = 3.0$ A, $V_{out} = 5.0$ V)	η	-	77	-	%

NOTES: 1. External components such as the catch diode, inductor, input and output capacitors can affect switching regulator system performance. When the LM2576 is used as shown in the Figure 15 test circuit, system performance will be as shown in system parameters section.

2. Tested junction temperature range for the LM2576: $T_{low} = -40^\circ\text{C}$ $T_{high} = +125^\circ\text{C}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LM2576

DEVICE PARAMETERS

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (Unless otherwise specified, $V_{in} = 12\text{ V}$ for the 3.3 V, 5.0 V, and Adjustable version, $V_{in} = 25\text{ V}$ for the 12 V version, and $V_{in} = 30\text{ V}$ for the 15 V version. $I_{Load} = 500\text{ mA}$. For typical values $T_J = 25^\circ\text{C}$, for min/max values T_J is the operating junction temperature range that applies [Note 2], unless otherwise noted.)

Characteristics	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
ALL OUTPUT VOLTAGE VERSIONS					
Feedback Bias Current ($V_{out} = 5.0\text{ V}$ [Adjustable Version Only]) $T_J = 25^\circ\text{C}$ $T_J = -40\text{ to }+125^\circ\text{C}$	I_b	– –	25 –	100 200	nA
Oscillator Frequency [Note 3] $T_J = 25^\circ\text{C}$ $T_J = 0\text{ to }+125^\circ\text{C}$ $T_J = -40\text{ to }+125^\circ\text{C}$	f_{osc}	– 47 42	52 – –	– 58 63	kHz
Saturation Voltage ($I_{out} = 3.0\text{ A}$ [Note 4]) $T_J = 25^\circ\text{C}$ $T_J = -40\text{ to }+125^\circ\text{C}$	V_{sat}	– –	1.5 –	1.8 2.0	V
Max Duty Cycle ("on") [Note 5]	DC	94	98	–	%
Current Limit (Peak Current [Notes 3 and 4]) $T_J = 25^\circ\text{C}$ $T_J = -40\text{ to }+125^\circ\text{C}$	I_{CL}	4.2 3.5	5.8 –	6.9 7.5	A
Output Leakage Current [Notes 6 and 7], $T_J = 25^\circ\text{C}$ Output = 0 V Output = -1.0 V	I_L	– –	0.8 6.0	2.0 20	mA
Quiescent Current [Note 6] $T_J = 25^\circ\text{C}$ $T_J = -40\text{ to }+125^\circ\text{C}$	I_Q	– –	5.0 –	9.0 11	mA
Standby Quiescent Current ($\overline{\text{ON}}/\text{OFF}$ Pin = 5.0 V ("off")) $T_J = 25^\circ\text{C}$ $T_J = -40\text{ to }+125^\circ\text{C}$	I_{stby}	– –	80 –	200 400	μA
$\overline{\text{ON}}/\text{OFF}$ Pin Logic Input Level (Test Circuit Figure 15) $V_{out} = 0\text{ V}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$ $T_J = -40\text{ to }+125^\circ\text{C}$ $V_{out} = \text{Nominal Output Voltage}$ $T_J = 25^\circ\text{C}$ $T_J = -40\text{ to }+125^\circ\text{C}$	V_{IH} V_{IL}	2.2 2.4 – –	1.4 – 1.2 –	– – 1.0 0.8	V
$\overline{\text{ON}}/\text{OFF}$ Pin Input Current (Test Circuit Figure 15) $\overline{\text{ON}}/\text{OFF}$ Pin = 5.0 V ("off"), $T_J = 25^\circ\text{C}$ $\overline{\text{ON}}/\text{OFF}$ Pin = 0 V ("on"), $T_J = 25^\circ\text{C}$	I_{IH} I_{IL}	– –	15 0	30 5.0	μA

NOTES: 3. The oscillator frequency reduces to approximately 18 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 dissipation of the IC by lowering the minimum duty cycle from 5% down to approximately 2%.

4. Output (Pin 2) sourcing current. No diode, inductor or capacitor connected to output pin.

5. Feedback (Pin 4) removed from output and connected to 0 V.

6. Feedback (Pin 4) removed from output and connected to +12 V for the Adjustable, 3.3 V, and 5.0 V versions, and +25 V for the 12 V and 15 V versions, to force the output transistor "off".

7. $V_{in} = 40\text{ V}$.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LM2576

TYPICAL PERFORMANCE CHARACTERISTICS (Circuit of Figure 15)

Figure 2. Normalized Output Voltage

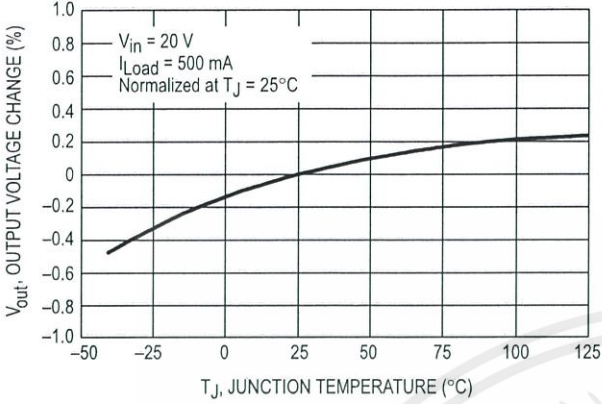


Figure 3. Line Regulation

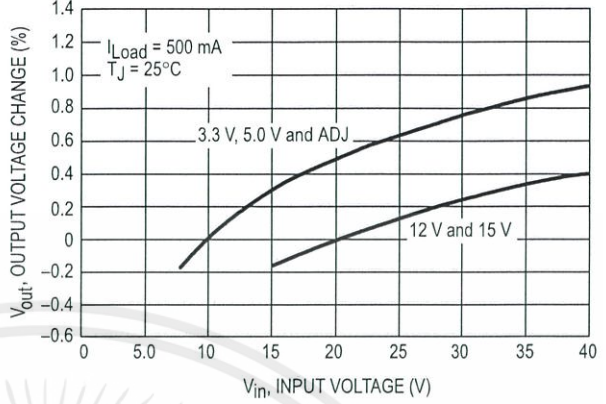


Figure 4. Dropout Voltage

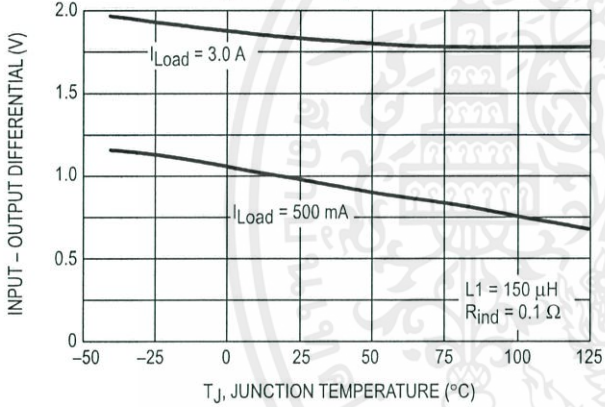


Figure 5. Current Limit

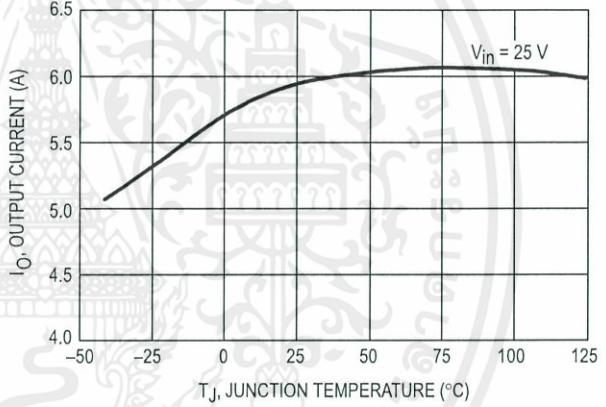


Figure 6. Quiescent Current

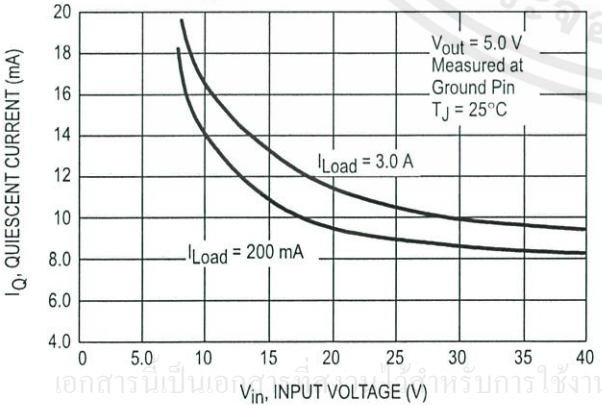
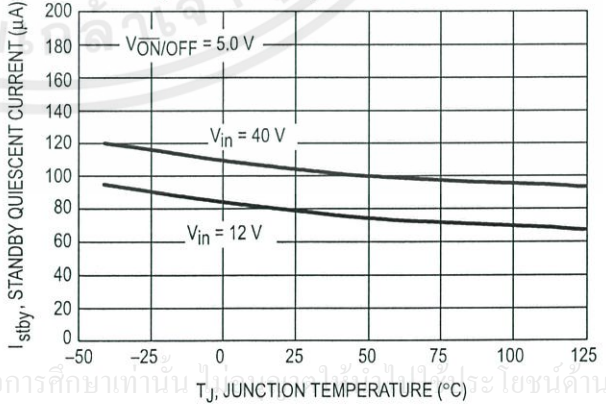


Figure 7. Standby Quiescent Current



เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของ Motorola สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่สามารถนำข้อมูลไปใช้เพื่อประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LM2576

TYPICAL PERFORMANCE CHARACTERISTICS (Circuit of Figure 15)

Figure 8. Standby Quiescent Current

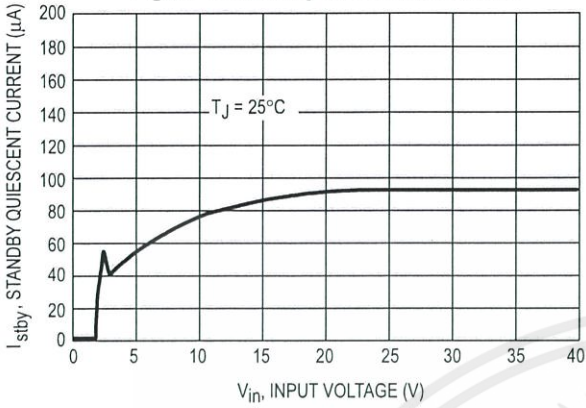


Figure 9. Switch Saturation Voltage

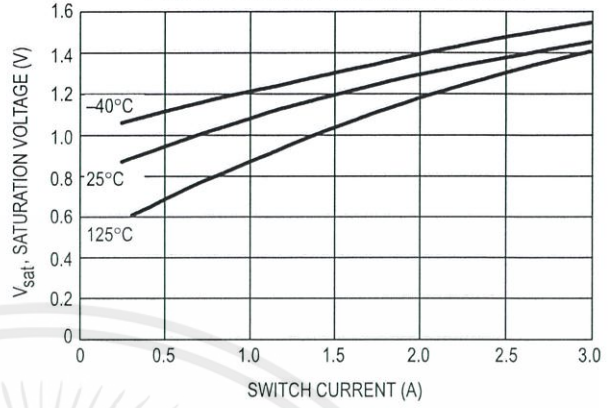


Figure 10. Oscillator Frequency

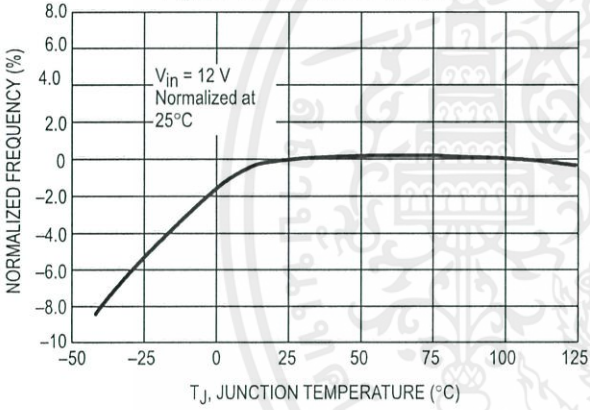


Figure 11. Minimum Operating Voltage

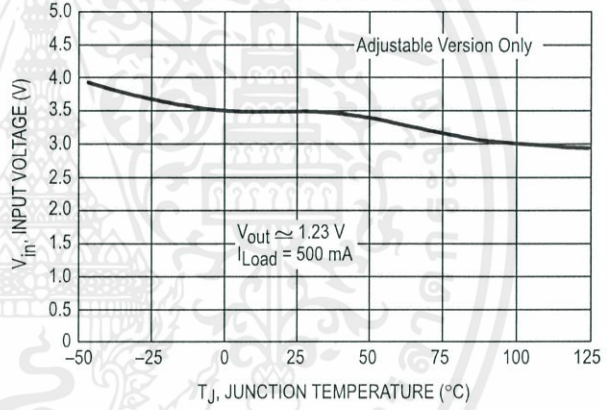
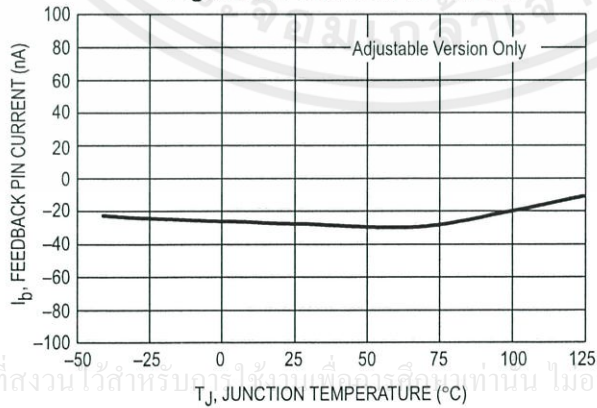


Figure 12. Feedback Pin Current



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับอ้างอิงเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LM2576

TYPICAL PERFORMANCE CHARACTERISTICS (Circuit of Figure 15)

Figure 13. Switching Waveforms

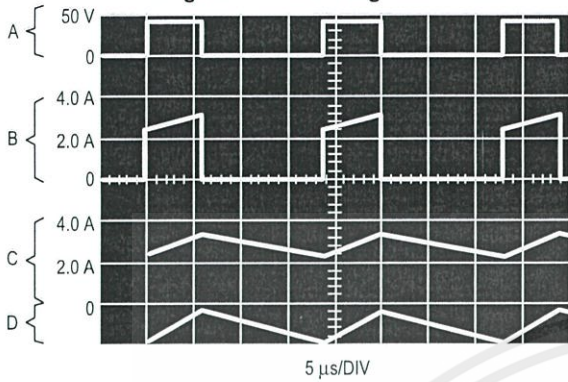
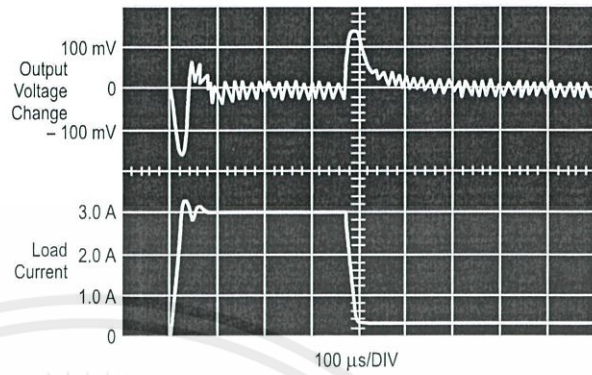


Figure 14. Load Transient Response



$V_{out} = 15\text{ V}$

A: Output Pin Voltage, 10 V/DIV

B: Inductor Current, 2.0 A/DIV

C: Inductor Current, 2.0 A/DIV, AC-Coupled

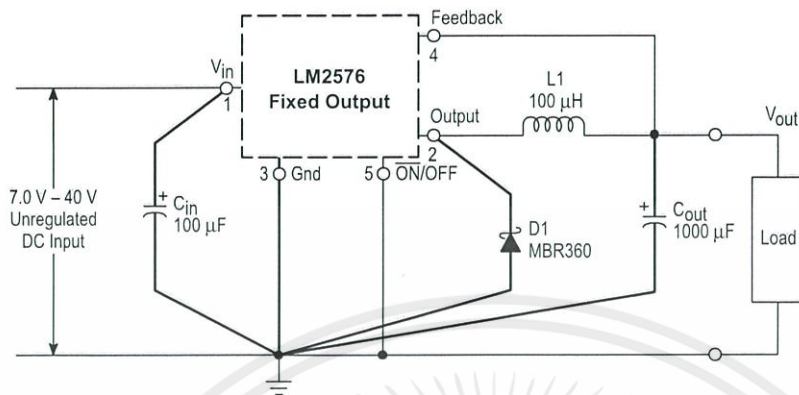
D: Output Ripple Voltage, 50mV/dDIV, AC-Coupled

Horizontal Time Base: 5 μs /DIV

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

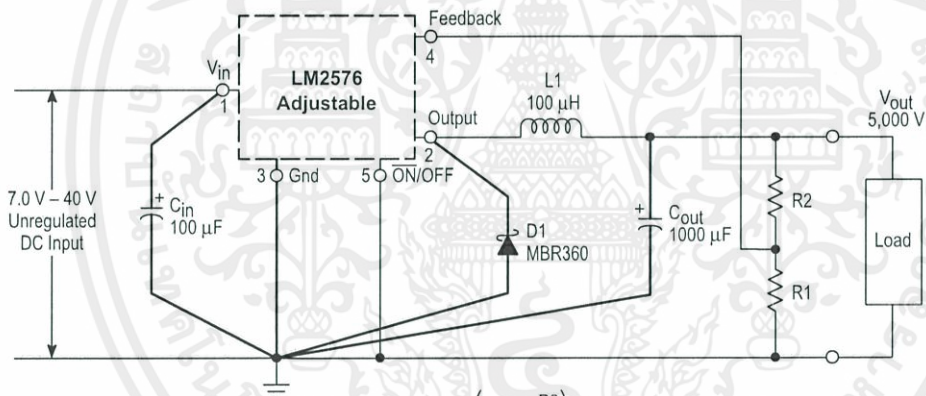
LM2576

Figure 15. Typical Test Circuit
Fixed Output Voltage Versions



- C_{in} - 100 μF , 75 V, Aluminium Electrolytic
- C_{out} - 1000 μF , 25 V, Aluminium Electrolytic
- D1 - Schottky, MBR360
- L1 - 100 μH , Pulse Eng. PE-92108
- R1 - 2.0 k, 0.1%
- R2 - 6.12 k, 0.1%

Adjustable Output Voltage Versions



$$V_{out} = V_{ref} \left(1.0 + \frac{R2}{R1} \right)$$

$$R2 = R1 \left(\frac{V_{out}}{V_{ref}} - 1.0 \right)$$

Where $V_{ref} = 1.23 \text{ V}$, $R1$
between 1.0 k and 5.0 k

PCB LAYOUT GUIDELINES

As in any switching regulator, the layout of the printed circuit board is very important. Rapidly switching currents associated with wiring inductance, stray capacitance and parasitic inductance of the printed circuit board traces can generate voltage transients which can generate electromagnetic interferences (EMI) and affect the desired operation. As indicated in the Figure 15, to minimize inductance and ground loops, the length of the leads indicated by heavy lines should be kept as short as possible.

For best results, single-point grounding (as indicated) or ground plane construction should be used.

On the other hand, the PCB area connected to the Pin 2 (emitter of the internal switch) of the LM2576 should be kept to a minimum in order to minimize coupling to sensitive circuitry.

Another sensitive part of the circuit is the feedback. It is important to keep the sensitive feedback wiring short. To assure this, physically locate the programming resistors near to the regulator, when using the adjustable version of the LM2576 regulator.

LM2576

Procedure (Fixed Output Voltage Version) In order to simplify the switching regulator design, a step-by-step design procedure and some examples are provided.

Procedure	Example
Given Parameters: V_{out} = Regulated Output Voltage (3.3 V, 5.0 V, 12 V or 15 V) $V_{in(max)}$ = Maximum Input Voltage $I_{Load(max)}$ = Maximum Load Current	Given Parameters: V_{out} = 5.0 V $V_{in(max)}$ = 15 V $I_{Load(max)}$ = 3.0 A
1. Controller IC Selection According to the required input voltage, output voltage and current, select the appropriate type of the controller IC output voltage version.	1. Controller IC Selection According to the required input voltage, output voltage, current polarity and current value, use the LM2576-5 controller IC
2. Input Capacitor Selection (C_{in}) To prevent large voltage transients from appearing at the input and for stable operation of the converter, an aluminium or tantalum electrolytic bypass capacitor is needed between the input pin + V_{in} and ground pin Gnd. This capacitor should be located close to the IC using short leads. This capacitor should have a low ESR (Equivalent Series Resistance) value.	2. Input Capacitor Selection (C_{in}) A 100 μ F, 25 V aluminium electrolytic capacitor located near to the input and ground pins provides sufficient bypassing.
3. Catch Diode Selection (D1) A. Since the diode maximum peak current exceeds the regulator maximum load current the catch diode current rating must be at least 1.2 times greater than the maximum load current. For a robust design the diode should have a current rating equal to the maximum current limit of the LM2576 to be able to withstand a continuous output short B. The reverse voltage rating of the diode should be at least 1.25 times the maximum input voltage.	3. Catch Diode Selection (D1) A. For this example the current rating of the diode is 3.0 A. B. Use a 20 V 1N5820 Schottky diode, or any of the suggested fast recovery diodes shown in Table 1.
4. Inductor Selection (L1) A. According to the required working conditions, select the correct inductor value using the selection guide from Figures 18 to 22. B. From the appropriate inductor selection guide, identify the inductance region intersected by the Maximum Input Voltage line and the Maximum Load Current line. Each region is identified by an inductance value and an inductor code. C. Select an appropriate inductor from the several different manufacturers part numbers listed in Table 2. The designer must realize that the inductor current rating must be higher than the maximum peak current flowing through the inductor. This maximum peak current can be calculated as follows: $I_{p(max)} = I_{Load(max)} + \frac{(V_{in} - V_{out}) t_{on}}{2L}$ where t_{on} is the "on" time of the power switch and $t_{on} = \frac{V_{out}}{V_{in}} \times \frac{1.0}{f_{osc}}$ For additional information about the inductor, see the inductor section in the "Application Hints" section of this data sheet.	4. Inductor Selection (L1) A. Use the inductor selection guide shown in Figures 19. B. From the selection guide, the inductance area intersected by the 15 V line and 3.0 A line is L100. C. Inductor value required is 100 μ H. From Table 2, choose an inductor from any of the listed manufacturers.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LM2576

Procedure (Fixed Output Voltage Version) (continued) In order to simplify the switching regulator design, a step-by-step design procedure and some examples are provided.

Procedure	Example
<p>5. Output Capacitor Selection (C_{out})</p> <p>A. Since the LM2576 is a forward-mode switching regulator with voltage mode control, its open loop 2-pole-1-zero frequency characteristic has the dominant pole-pair determined by the output capacitor and inductor values. For stable operation and an acceptable ripple voltage, (approximately 1% of the output voltage) a value between 680 μF and 2000 μF is recommended.</p> <p>B. Due to the fact that the higher voltage electrolytic capacitors generally have lower ESR (Equivalent Series Resistance) numbers, the output capacitor's voltage rating should be at least 1.5 times greater than the output voltage. For a 5.0 V regulator, a rating at least 8.0 V is appropriate, and a 10 V or 16 V rating is recommended.</p>	<p>5. Output Capacitor Selection (C_{out})</p> <p>A. $C_{out} = 680 \mu\text{F}$ to 2000 μF standard aluminium electrolytic.</p> <p>B. Capacitor voltage rating = 20 V.</p>

Procedure (Adjustable Output Version: LM2576-ADJ)

Procedure	Example
<p>Given Parameters: V_{out} = Regulated Output Voltage $V_{in(max)}$ = Maximum DC Input Voltage $I_{Load(max)}$ = Maximum Load Current</p>	<p>Given Parameters: $V_{out} = 8.0 \text{ V}$ $V_{in(max)} = 25 \text{ V}$ $I_{Load(max)} = 2.5 \text{ A}$</p>
<p>1. Programming Output Voltage To select the right programming resistor R1 and R2 value (see Figure 2) use the following formula:</p> $V_{out} = V_{ref} \left(1.0 + \frac{R2}{R1} \right) \text{ where } V_{ref} = 1.23 \text{ V}$ <p>Resistor R1 can be between 1.0 k and 5.0 kΩ. (For best temperature coefficient and stability with time, use 1% metal film resistors).</p> $R2 = R1 \left(\frac{V_{out}}{V_{ref}} - 1.0 \right)$	<p>1. Programming Output Voltage (selecting R1 and R2) Select R1 and R2:</p> $V_{out} = 1.23 \left(1.0 + \frac{R2}{R1} \right) \text{ Select } R1 = 1.8 \text{ k}\Omega$ $R2 = R1 \left(\frac{V_{out}}{V_{ref}} - 1.0 \right) = 1.8 \text{ k} \left(\frac{8.0 \text{ V}}{1.23 \text{ V}} - 1.0 \right)$ <p>$R2 = 9.91 \text{ k}\Omega$, choose a 9.88 k metal film resistor.</p>
<p>2. Input Capacitor Selection (C_{in}) To prevent large voltage transients from appearing at the input and for stable operation of the converter, an aluminium or tantalum electrolytic bypass capacitor is needed between the input pin +V_{in} and ground pin Gnd. This capacitor should be located close to the IC using short leads. This capacitor should have a low ESR (Equivalent Series Resistance) value.</p> <p>For additional information see input capacitor section in the "Application Hints" section of this data sheet.</p>	<p>2. Input Capacitor Selection (C_{in}) A 100 μF, 150 V aluminium electrolytic capacitor located near the input and ground pin provides sufficient bypassing.</p>
<p>3. Catch Diode Selection (D1)</p> <p>A. Since the diode maximum peak current exceeds the regulator maximum load current the catch diode current rating must be at least 1.2 times greater than the maximum load current. For a robust design, the diode should have a current rating equal to the maximum current limit of the LM2576 to be able to withstand a continuous output short.</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 3.0 A current rating is adequate.</p> <p>B. Use a 30 V 1N5821 Schottky diode or any suggested fast recovery diode in the Table 1.</p>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LM2576

Procedure (Adjustable Output Version: LM2576-ADJ) (continued)

Procedure	Example
<p>4. Inductor Selection (L1)</p> <p>A. Use the following formula to calculate the inductor Volt x microsecond [V x μs] constant:</p> $E \times T = (V_{in} - V_{out}) \frac{V_{out}}{V_{in}} \times \frac{10^6}{F[\text{Hz}]} \quad [\text{V} \times \mu\text{s}]$ <p>B. Match the calculated E x T value with the corresponding number on the vertical axis of the Inductor Value Selection Guide shown in Figure 22. This E x T 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.</p> <p>C. Next step is to identify the inductance region intersected by the E x T value and the maximum load current value on the horizontal axis shown in Figure 25.</p> <p>D. From the inductor code, identify the inductor value. Then select an appropriate inductor from Table 2. The inductor chosen must be rated for a switching frequency of 52 kHz and for a current rating of 1.15 x I_{Load}. The inductor current rating can also be determined by calculating the inductor peak current:</p> $I_{p(\text{max})} = I_{\text{Load}(\text{max})} + \frac{(V_{in} - V_{out}) t_{\text{on}}}{2L}$ <p>where t_{on} is the "on" time of the power switch and</p> $t_{\text{on}} = \frac{V_{\text{out}}}{V_{in}} \times \frac{1.0}{f_{\text{osc}}}$ <p>For additional information about the inductor, see the inductor section in the "External Components" section of this data sheet.</p>	<p>4. Inductor Selection (L1)</p> <p>A. Calculate E x T [V x μs] constant:</p> $E \times T = (25 - 8.0) \times \frac{8.0}{25} \times \frac{1000}{52} = 80 \quad [\text{V} \times \mu\text{s}]$ <p>B. E x T = 80 [V x μs]</p> <p>C. I_{Load(max)} = 2.5 A Inductance Region = H150</p> <p>D. Proper inductor value = 150 μH Choose the inductor from Table 2.</p>
<p>5. Output Capacitor Selection (C_{out})</p> <p>A. Since the LM2576 is a forward-mode switching regulator with voltage mode control, its open loop 2-pole-1-zero frequency characteristic has the dominant pole-pair determined by the output capacitor and inductor values. For stable operation, the capacitor must satisfy the following requirement:</p> $C_{\text{out}} \geq 13,300 \frac{V_{in(\text{max})}}{V_{\text{out}} \times L [\mu\text{H}]} \quad [\mu\text{F}]$ <p>B. Capacitor values between 10 μF and 2000 μF will satisfy the loop requirements for stable operation. To achieve an acceptable output ripple voltage and transient response, the output capacitor may need to be several times larger than the above formula yields.</p> <p>C. Due to the fact that the higher voltage electrolytic capacitors generally have lower ESR (Equivalent Series Resistance) numbers, the output capacitor's voltage rating should be at least 1.5 times greater than the output voltage. For a 5.0 V regulator, a rating of at least 8.0 V is appropriate, and a 10 V or 16 V rating is recommended.</p>	<p>5. Output Capacitor Selection (C_{out})</p> <p>A.</p> $C_{\text{out}} \geq 13,300 \times \frac{25}{8 \times 150} = 332.5 \mu\text{F}$ <p>To achieve an acceptable ripple voltage, select C_{out} = 680 μF electrolytic capacitor.</p>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



MICROCHIP

MCP3204/3208

2.7V 4-Channel/8-Channel 12-Bit A/D Converters with SPI® Serial Interface

FEATURES

- 12-bit resolution
- ± 1 LSB max DNL
- ± 1 LSB max INL (MCP3204/3208-B)
- ± 2 LSB max INL (MCP3204/3208-C)
- 4 (MCP3204) or 8 (MCP3208) input channels
- Analog inputs programmable as single-ended or pseudo differential pairs
- On-chip sample and hold
- SPI® serial interface (modes 0,0 and 1,1)
- Single supply operation: 2.7V - 5.5V
- 100kps max. sampling rate at $V_{DD} = 5V$
- 50kps max. sampling rate at $V_{DD} = 2.7V$
- Low power CMOS technology
 - 500 nA typical standby current, 2 μ A max.
 - 400 μ A max. active current at 5V
- Industrial temp range: -40°C to +85°C
- Available in PDIP, SOIC and TSSOP packages

APPLICATIONS

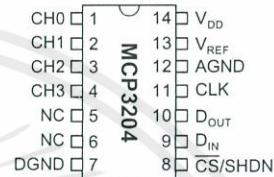
- Sensor Interface
- Process Control
- Data Acquisition
- Battery Operated Systems

DESCRIPTION

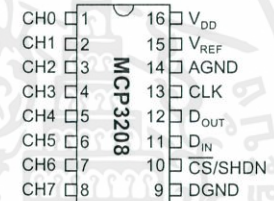
The Microchip Technology Inc. MCP3204/3208 devices are successive approximation 12-bit Analog-to-Digital (A/D) Converters with on-board sample and hold circuitry. The MCP3204 is programmable to provide two pseudo-differential input pairs or four single-ended inputs. The MCP3208 is programmable to provide four pseudo-differential input pairs or eight single-ended inputs. Differential Nonlinearity (DNL) is specified at ± 1 LSB, and Integral Nonlinearity (INL) is offered in ± 1 LSB (MCP3204/3208-B) and ± 2 LSB (MCP3204/3208-C) versions. Communication with the devices is done using a simple serial interface compatible with the SPI protocol. The devices are capable of conversion rates of up to 100kps. The MCP3204/3208 devices operate over a broad voltage range (2.7V - 5.5V). Low current design permits operation with typical standby and active currents of only 500nA and 320 μ A, respectively. The MCP3204 is offered in 14-pin PDIP, 150mil SOIC and TSSOP packages, and the MCP3208 is offered in 16-pin PDIP and SOIC packages.

PACKAGE TYPES

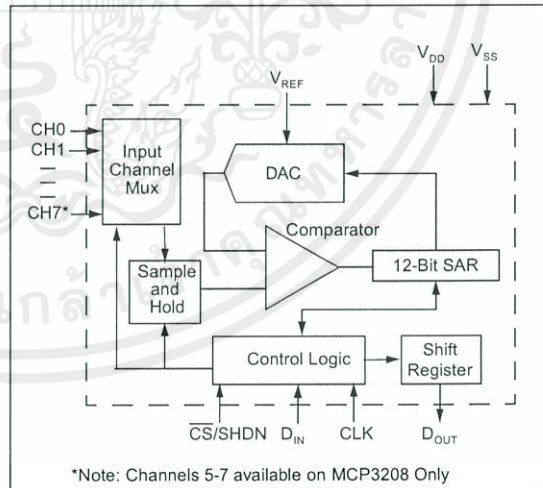
PDIP, SOIC, TSSOP



PDIP, SOIC



FUNCTIONAL BLOCK DIAGRAM



MCP3204/3208

1.0 ELECTRICAL CHARACTERISTICS

1.1 Maximum Ratings*

V_{DD} 7.0V
 All inputs and outputs w.r.t. V_{SS} -0.6V to V_{DD} +0.6V
 Storage temperature -65°C to +150°C
 Ambient temp. with power applied..... -65°C to +125°C
 Soldering temperature of leads (10 seconds) .. +300°C
 ESD protection on all pins..... > 4kV

*Notice: Stresses above those listed under "Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. This is a stress rating only and functional operation of the device at those or any other conditions above those indicated in the operational listings of this specification is not implied. Exposure to maximum rating conditions for extended periods may affect device reliability.

PIN FUNCTION TABLE

NAME	FUNCTION
V_{DD}	+2.7V to 5.5V Power Supply
DGND	Digital Ground
AGND	Analog Ground
CH0-CH7	Analog Inputs
CLK	Serial Clock
D_{IN}	Serial Data In
D_{OUT}	Serial Data Out
CS/SHDN	Chip Select/Shutdown Input
V_{REF}	Reference Voltage Input

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

All parameters apply at $V_{DD} = 5V$, $V_{SS} = 0V$, $V_{REF} = 5V$, $T_{AMB} = -40^{\circ}C$ to $+85^{\circ}C$, $f_{SAMPLE} = 100ksps$ and $f_{CLK} = 20 * f_{SAMPLE}$, unless otherwise noted.

PARAMETER	SYMBOL	MIN.	TYP.	MAX.	UNITS	CONDITIONS
Conversion Rate						
Conversion Time	t_{CONV}			12	clock cycles	
Analog Input Sample Time	t_{SAMPLE}		1.5		clock cycles	
Throughput Rate	f_{SAMPLE}			100 50	ksps ksps	$V_{DD} = V_{REF} = 5V$ $V_{DD} = V_{REF} = 2.7V$
DC Accuracy						
Resolution			12		bits	
Integral Nonlinearity	INL		± 0.75 ± 1	± 1 ± 2	LSB	MCP3204/3208-B MCP3204/3208-C
Differential Nonlinearity	DNL		± 0.5	± 1	LSB	No missing codes over temperature
Offset Error			± 1.25	± 3	LSB	
Gain Error			± 1.25	± 5	LSB	
Dynamic Performance						
Total Harmonic Distortion			-82		dB	$V_{IN} = 0.1V$ to $4.9V@1kHz$
Signal to Noise and Distortion (SINAD)			72		dB	$V_{IN} = 0.1V$ to $4.9V@1kHz$
Spurious Free Dynamic Range			86		dB	$V_{IN} = 0.1V$ to $4.9V@1kHz$
Reference Input						
Voltage Range		0.25		V_{DD}	V	Note 2
Current Drain			100 0.001	150 3	μA μA	$\overline{CS} = V_{DD} = 5V$
Analog Inputs						
Input Voltage Range for CH0-CH7 in Single-Ended Mode		V_{SS}		V_{REF}	V	
Input Voltage Range for IN+ In pseudo-differential Mode		IN-		$V_{REF}+IN-$		
Input Voltage Range for IN- In pseudo-differential Mode		$V_{SS}-100$		$V_{SS}+100$	mV	
Leakage Current			0.001	± 1	μA	

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (CONTINUED)

All parameters apply at $V_{DD} = 5V$, $V_{SS} = 0V$, $V_{REF} = 5V$, $T_{AMB} = -40^{\circ}C$ to $+85^{\circ}C$, $f_{SAMPLE} = 100ksps$ and $f_{CLK} = 20 \cdot f_{SAMPLE}$, unless otherwise noted.

PARAMETER	SYMBOL	MIN.	TYP.	MAX.	UNITS	CONDITIONS
Analog Inputs (Continued)						
Switch Resistance			1K		Ω	See Figure 4-1
Sample Capacitor			20		pF	See Figure 4-1
Digital Input/Output						
Data Coding Format		Straight Binary				
High Level Input Voltage	V_{IH}	$0.7 V_{DD}$			V	
Low Level Input Voltage	V_{IL}			$0.3 V_{DD}$	V	
High Level Output Voltage	V_{OH}	4.1			V	$I_{OH} = -1mA$, $V_{DD} = 4.5V$
Low Level Output Voltage	V_{OL}			0.4	V	$I_{OL} = 1mA$, $V_{DD} = 4.5V$
Input Leakage Current	I_{LI}	-10		10	μA	$V_{IN} = V_{SS}$ or V_{DD}
Output Leakage Current	I_{LO}	-10		10	μA	$V_{OUT} = V_{SS}$ or V_{DD}
Pin Capacitance (All Inputs/Outputs)	C_{IN} , C_{OUT}			10	pF	$V_{DD} = 5.0V$ (Note 1) $T_{AMB} = 25^{\circ}C$, $f = 1 MHz$
Timing Parameters						
Clock Frequency	f_{CLK}			2.0 1.0	MHz MHz	$V_{DD} = 5V$ (Note 3) $V_{DD} = 2.7V$ (Note 3)
Clock High Time	t_{HI}	250			ns	
Clock Low Time	t_{LO}	250			ns	
CS Fall To First Rising CLK Edge	t_{SUCS}	100			ns	
Data Input Setup Time	t_{SU}			50	ns	
Data Input Hold Time	t_{HD}			50	ns	
CLK Fall To Output Data Valid	t_{DO}			200	ns	See Test Circuits, Figure 1-2
CLK Fall To Output Enable	t_{EN}			200	ns	See Test Circuits, Figure 1-2
CS Rise To Output Disable	t_{DIS}			100	ns	See Test Circuits, Figure 1-2
CS Disable Time	t_{CSH}	500			ns	
D_{OUT} Rise Time	t_R			100	ns	See Test Circuits, Figure 1-2 (Note 1)
D_{OUT} Fall Time	t_F			100	ns	See Test Circuits, Figure 1-2 (Note 1)
Power Requirements						
Operating Voltage	V_{DD}	2.7		5.5	V	
Operating Current	I_{DD}		320 225	400	μA	$V_{DD} = V_{REF} = 5V$, D_{OUT} unloaded $V_{DD} = V_{REF} = 2.7V$, D_{OUT} unloaded
Standby Current	I_{DSS}		0.5	2	μA	$\overline{CS} = V_{DD} = 5.0V$

Note 1: This parameter is guaranteed by characterization and not 100% tested.

Note 2: See graphs that relate linearity performance to V_{REF} levels.

Note 3: Because the sample cap will eventually lose charge, effective clock rates below 10kHz can affect linearity performance, especially at elevated temperatures. See Section 6.2 for more information.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MCP3204/3208

3.0 PIN DESCRIPTIONS

3.1 CH0 - CH7

Analog inputs for channels 0 - 7 respectively for the multiplexed inputs. Each pair of channels can be programmed to be used as two independent channels in single ended-mode or as a single pseudo-differential input where one channel is IN+ and one channel is IN-. See Section 4.1 and Section 5.0 for information on programming the channel configuration.

3.2 $\overline{\text{CS}}/\text{SHDN}$ (Chip Select/Shutdown)

The $\overline{\text{CS}}/\text{SHDN}$ pin is used to initiate communication with the device when pulled low and will end a conversion and put the device in low power standby when pulled high. The $\overline{\text{CS}}/\text{SHDN}$ pin must be pulled high between conversions.

3.3 CLK (Serial Clock)

The SPI clock pin is used to initiate a conversion and to clock out each bit of the conversion as it takes place. See Section 6.2 for constraints on clock speed.

3.4 DIN (Serial Data Input)

The SPI port serial data input pin is used to load channel configuration data into the device.

3.5 DOUT (Serial Data output)

The SPI serial data output pin is used to shift out the results of the A/D conversion. Data will always change on the falling edge of each clock as the conversion takes place.

3.6 AGND

Analog ground connection to internal analog circuitry.

3.7 DGND

Digital ground connection to internal digital circuitry.

4.0 DEVICE OPERATION

The MCP3204/3208 A/D Converters employ a conventional SAR architecture. With this architecture, a sample is acquired on an internal sample/hold capacitor for 1.5 clock cycles starting on the fourth rising edge of the serial clock after the start bit has been received. Following this sample time, the device uses the collected charge on the internal sample and hold capacitor to produce a serial 12-bit digital output code. Conversion rates of 100kSPS are possible on the MCP3204/3208. See Section 6.2 for information on minimum clock rates. Communication with the device is done using a 4-wire SPI-compatible interface.

4.1 Analog Inputs

The MCP3204/3208 devices offer the choice of using the analog input channels configured as single-ended inputs or pseudo-differential pairs. The MCP3204 can be configured to provide two pseudo-differential input pairs or four single-ended inputs. The MCP3208 can be configured to provide four pseudo-differential input pairs or eight single-ended inputs. Configuration is done as part of the serial command before each conversion begins. When used in the pseudo-differential mode, each channel pair (i.e., CH0 and CH1, CH2 and CH3 etc.) are programmed as the IN+ and IN- inputs as part of the command string transmitted to the device. The IN+ input can range from IN- to ($V_{REF} + \text{IN-}$). The IN- input is limited to $\pm 100\text{mV}$ from the V_{SS} rail. The IN- input can be used to cancel small signal common-mode noise which is present on both the IN+ and IN- inputs.

When operating in the pseudo-differential mode, if the voltage level of IN+ is equal to or less than IN-, the resultant code will be 000h. If the voltage at IN+ is equal to or greater than $\{[V_{REF} + (\text{IN-})] - 1 \text{ LSB}\}$, then the output code will be FFFh. If the voltage level at IN- is more than 1 LSB below V_{SS} , then the voltage level at the IN+ input will have to go below V_{SS} to see the 000h output code. Conversely, if IN- is more than 1 LSB above V_{SS} , then the FFFh code will not be seen unless the IN+ input level goes above V_{REF} level.

For the A/D Converter to meet specification, the charge holding capacitor, (C_{SAMPLE}) must be given enough time to acquire a 12-bit accurate voltage level during the 1.5 clock cycle sampling period. The analog input model is shown in Figure 4-1.

In this diagram it is shown that the source impedance (R_S) adds to the internal sampling switch (R_{SS}) impedance, directly affecting the time that is required to charge the capacitor, C_{SAMPLE} . Consequently, larger source impedances increase the offset, gain, and integral linearity errors of the conversion. See Figure 4-2.

4.2 Reference Input

For each device in the family, the reference input (V_{REF}) determines the analog input voltage range. As the reference input is reduced, the LSB size is reduced accordingly. The theoretical digital output code produced by the A/D Converter is a function of the analog input signal and the reference input as shown below.

$$\text{Digital Output Code} = \frac{4096 * V_{IN}}{V_{REF}}$$

where:

V_{IN} = analog input voltage

V_{REF} = reference voltage

When using an external voltage reference device, the system designer should always refer to the manufacturer's recommendations for circuit layout. Any instability in the operation of the reference device will have a direct effect on the operation of the A/D Converter.

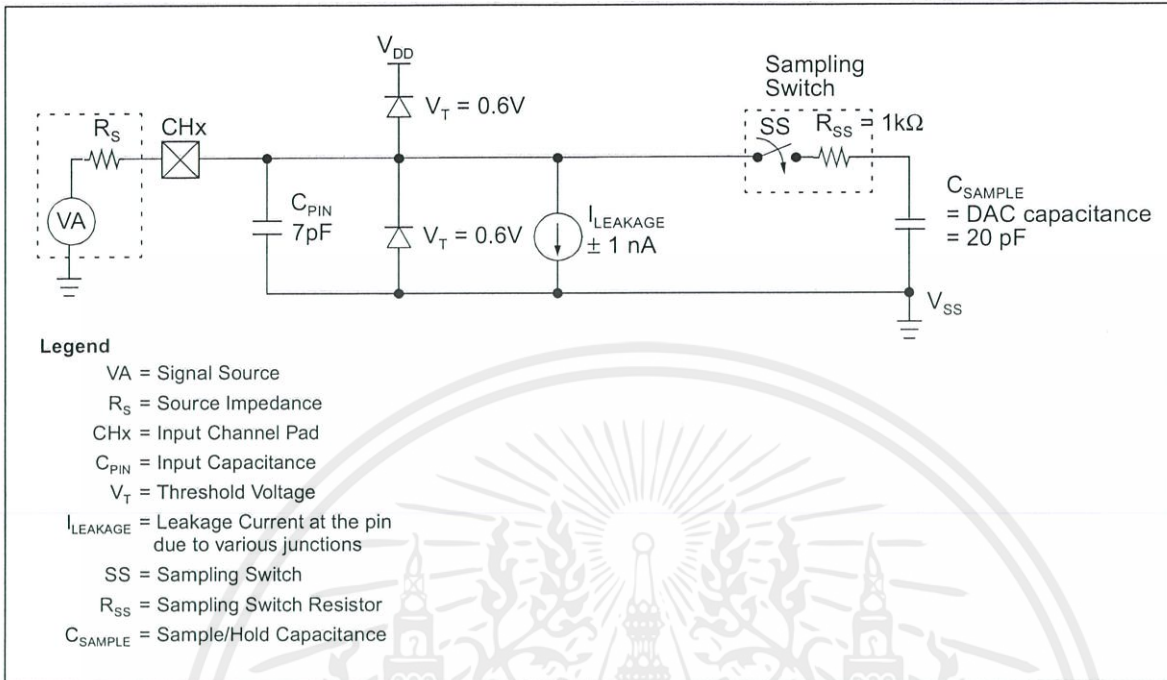


FIGURE 4-1: Analog Input Model

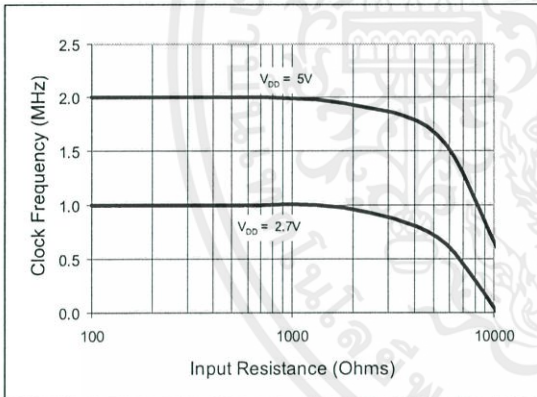


FIGURE 4-2: Maximum Clock Frequency vs. Input resistance (R_S) to maintain less than a 0.1LSB deviation in INL from nominal conditions.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MCP3204/3208

5.0 SERIAL COMMUNICATIONS

Communication with the MCP3204/3208 devices is done using a standard SPI-compatible serial interface. Initiating communication with either device is done by bringing the CS line low. See Figure 5-1. If the device was powered up with the CS pin low, it must be brought high and back low to initiate communication. The first clock received with CS low and D_{IN} high will constitute a start bit. The SGL/DIFF bit follows the start bit and will determine if the conversion will be done using single ended or differential input mode. The next three bits (D0, D1 and D2) are used to select the input channel configuration. Table 5-1 and Table 5-2 show the configuration bits for the MCP3204 and MCP3208, respectively. The device will begin to sample the analog input on the fourth rising edge of the clock after the start bit has been received. The sample period will end on the falling edge of the fifth clock following the start bit.

After the D0 bit is input, one more clock is required to complete the sample and hold period (D_{IN} is a don't care for this clock). On the falling edge of the next clock, the device will output a low null bit. The next 12 clocks will output the result of the conversion with MSB first as shown in Figure 5-1. Data is always output from the device on the falling edge of the clock. If all 12 data bits have been transmitted and the device continues to receive clocks while the CS is held low, the device will output the conversion result LSB first as shown in Figure 5-2. If more clocks are provided to the device while CS is still low (after the LSB first data has been transmitted), the device will clock out zeros indefinitely.

If necessary, it is possible to bring CS low and clock in leading zeros on the D_{IN} line before the start bit. This is often done when dealing with microcontroller-based SPI ports that must send 8 bits at a time. Refer to Section 6.1 for more details on using the MCP3204/3208 devices with hardware SPI ports.

CONTROL BIT SELECTIONS				INPUT CONFIGURATION	CHANNEL SELECTION
SINGLE/DIFF	D2*	D1	D0		
1	X	0	0	single ended	CH0
1	X	0	1	single ended	CH1
1	X	1	0	single ended	CH2
1	X	1	1	single ended	CH3
0	X	0	0	differential	CH0 = IN+ CH1 = IN-
0	X	0	1	differential	CH0 = IN- CH1 = IN+
0	X	1	0	differential	CH2 = IN+ CH3 = IN-
0	X	1	1	differential	CH2 = IN- CH3 = IN+

*D2 is don't care for MCP3204

TABLE 5-1: Configuration Bits for the MCP3204.

CONTROL BIT SELECTIONS				INPUT CONFIGURATION	CHANNEL SELECTION
SINGLE/DIFF	D2	D1	D0		
1	0	0	0	single ended	CH0
1	0	0	1	single ended	CH1
1	0	1	0	single ended	CH2
1	0	1	1	single ended	CH3
1	1	0	0	single ended	CH4
1	1	0	1	single ended	CH5
1	1	1	0	single ended	CH6
1	1	1	1	single ended	CH7
0	0	0	0	differential	CH0 = IN+ CH1 = IN-
0	0	0	1	differential	CH0 = IN- CH1 = IN+
0	0	1	0	differential	CH2 = IN+ CH3 = IN-
0	0	1	1	differential	CH2 = IN- CH3 = IN+
0	1	0	0	differential	CH4 = IN+ CH5 = IN-
0	1	0	1	differential	CH4 = IN- CH5 = IN+
0	1	1	0	differential	CH6 = IN+ CH7 = IN-
0	1	1	1	differential	CH6 = IN- CH7 = IN+

TABLE 5-2: Configuration Bits for the MCP3208.

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.

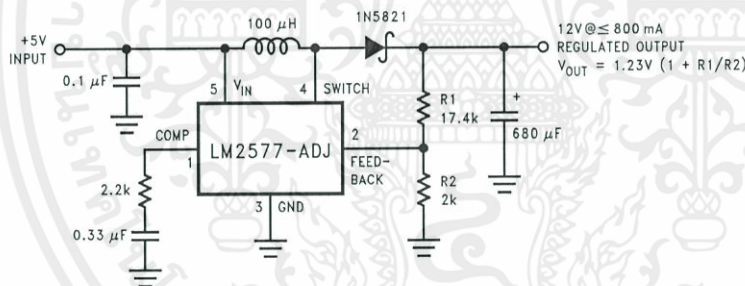
Features

- 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.

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	LM2577T-15	LM2577T-ADJ	T05D	TO-220
	Flow LB03	Flow LB03	Flow LB03			
-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.

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)
		$I_{SWITCH} = 2.0\text{A}$	25			mA
		$V_{COMP} = 2.0\text{V}$ (Max Duty Cycle)		50/85	50/85	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			kHz
		$I_{SWITCH} = 100\text{ mA}$		48/42 56/62	48/42 56/62	kHz(min) kHz(max)
V_{REF}	Reference Voltage	Measured at Feedback Pin				V
		$V_{IN} = 3.5\text{V to }40\text{V}$	1.230	1.214/1.206 1.246/1.254	1.214/1.206 1.246/1.254	V(min) V(max)
		$V_{COMP} = 1.0\text{V}$				
$\Delta V_{REF}/\Delta V_{IN}$	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	$I_{COMP} = -30\text{ }\mu\text{A to }+30\text{ }\mu\text{A}$	3700	2400/1600 4800/5800	2400/1600 4800/5800	μmho $\mu\text{mho}(min)$ $\mu\text{mho}(max)$
		$V_{COMP} = 1.0\text{V}$				
A_{VOL}	Error Amp Voltage Gain	$V_{COMP} = 1.1\text{V to }1.9\text{V}$	800	500/250	500/250	V/V V/V(min)
		$R_{COMP} = 1.0\text{ M}\Omega$ (Note 7)				
	Error Amplifier Output Swing	Upper Limit	2.4	2.2/2.0	2.2/2.0	V V(min)
		Lower Limit	0.3	0.40/0.55	0.40/0.55	V V(max)
	Error Amp Output Current	$V_{FEEDBACK} = 1.0\text{V to }1.5\text{V}$	± 200	$\pm 130/\pm 90$ $\pm 300/\pm 400$	$\pm 130/\pm 90$ $\pm 300/\pm 400$	μA $\mu\text{A}(min)$ $\mu\text{A}(max)$
		$V_{COMP} = 1.0\text{V}$				
I_{SS}	Soft Start Current	$V_{FEEDBACK} = 1.0\text{V}$	5.0	2.5/1.5 7.5/9.5	2.5/1.5 7.5/9.5	μA $\mu\text{A}(min)$ $\mu\text{A}(max)$
		$V_{COMP} = 0\text{V}$				
D	Maximum Duty Cycle	$V_{COMP} = 1.5\text{V}$	95	93/90	93/90	% %(min)
		$I_{SWITCH} = 100\text{ mA}$				
$\Delta I_{SWITCH}/\Delta V_{COMP}$	Switch Transconductance		12.5			A/V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ 5 ในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ใช้ประโยชน์ด้านการค้า

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
		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
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				

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.

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.

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.

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.

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.

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.

Note 7: A 1.0 M Ω 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.

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.

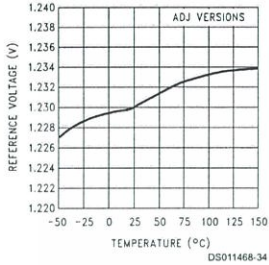
Note 9: If the TO-263 package is used, the thermal resistance can be reduced by increasing the PC board copper area thermally connected to the package. Using 0.5 square inches of copper area, θ_{JA} is 50°C/W; with 1 square inch of copper area, θ_{JA} is 37°C/W; and with 1.6 or more square inches of copper area, θ_{JA} is 32°C/W.

เอกสาร www.national.com ที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

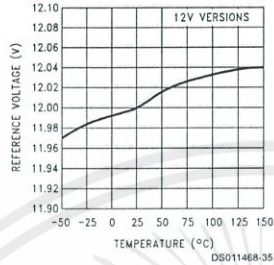
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Performance Characteristics

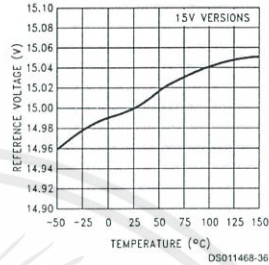
Reference Voltage vs Temperature



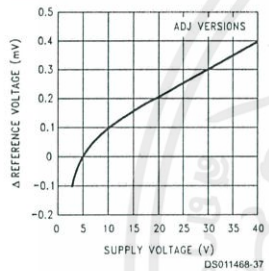
Reference Voltage vs Temperature



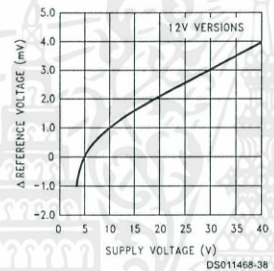
Reference Voltage vs Temperature



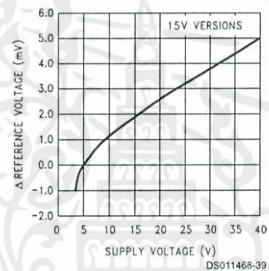
Δ Reference Voltage vs Supply Voltage



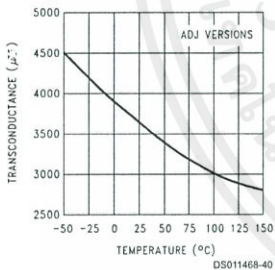
Δ Reference Voltage vs Supply Voltage



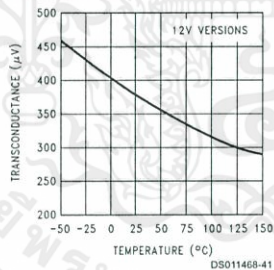
Δ Reference Voltage vs Supply Voltage



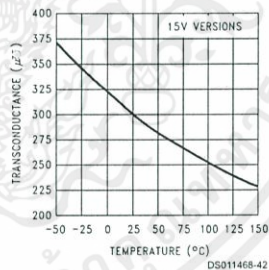
Error Amp Transconductance vs Temperature



Error Amp Transconductance vs Temperature



Error Amp Transconductance vs Temperature

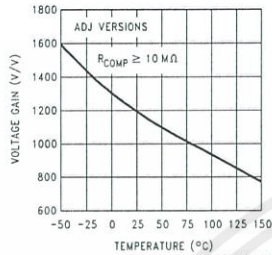


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ 7 านเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาตจากทางบริษัทฯ

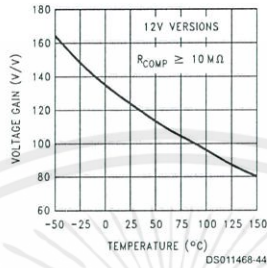
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Performance Characteristics (Continued)

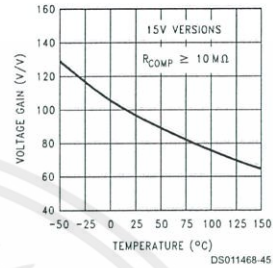
Error Amp Voltage Gain vs Temperature



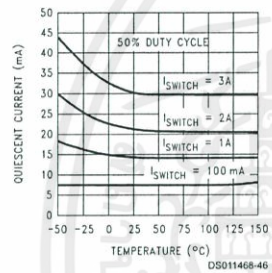
Error Amp Voltage Gain vs Temperature



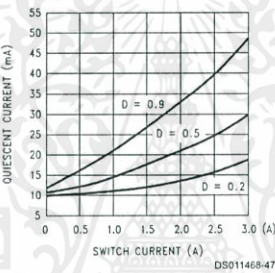
Error Amp Voltage Gain vs Temperature



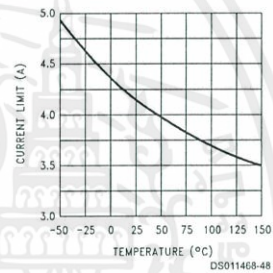
Quiescent Current vs Temperature



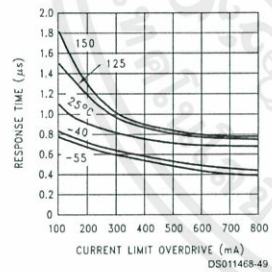
Quiescent Current vs Switch Current



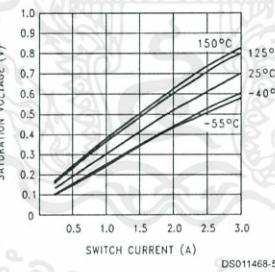
Current Limit vs Temperature



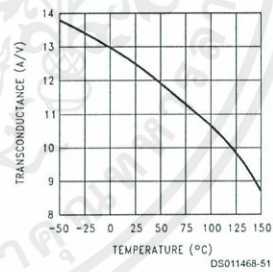
Current Limit Response Time vs Overdrive



Switch Saturation Voltage vs Switch Current

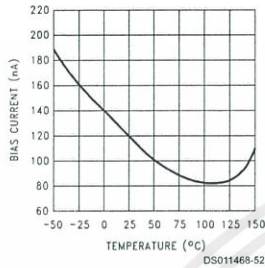


Switch Transconductance vs Temperature

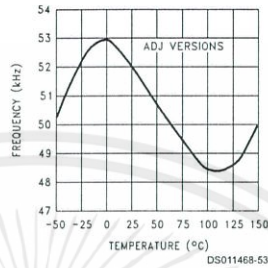


Typical Performance Characteristics (Continued)

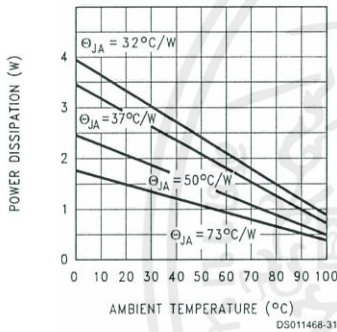
Feedback Pin Bias Current vs Temperature



Oscillator Frequency vs Temperature



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



Connection Diagrams

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



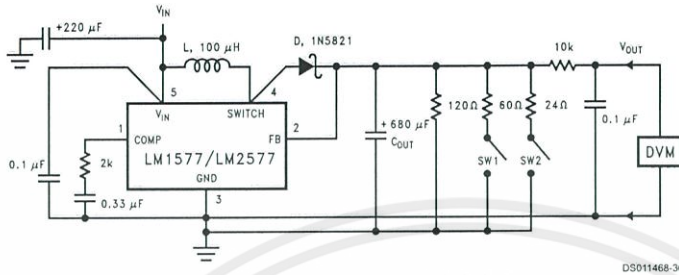
Top View
Order Number LM2577T-12, LM2577T-15,
or LM2577T-ADJ
See NS Package Number T05A

**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

LM1577-12, LM2577-12 Test Circuit



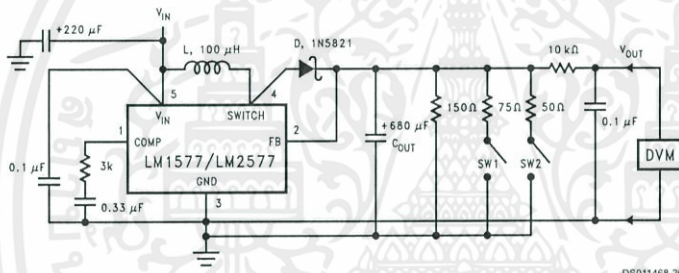
DS011468-30

L = 415-0930 (AIE)
 D = any manufacturer
 C_{OUT} = Sprague Type 673D
 Electrolytic 680 µF, 20V

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

FIGURE 1. Circuit Used to Specify System Parameters for 12V Versions

LM1577-15, LM2577-15 Test Circuit



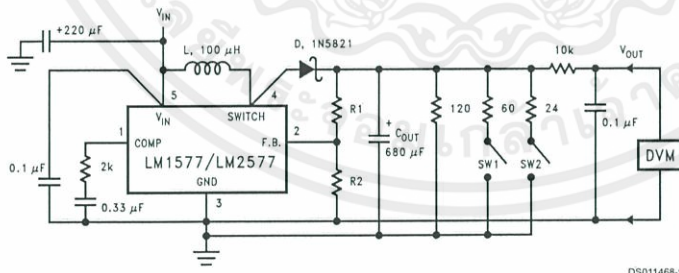
DS011468-26

L = 415-0930 (AIE)
 D = any manufacturer
 C_{OUT} = Sprague Type 673D
 Electrolytic 680 µF, 20V

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

FIGURE 2. Circuit Used to Specify System Parameters for 15V Versions

LM1577-ADJ, LM2577-ADJ Test Circuit



DS011468-9

L = 415-0930 (AIE)
 D = any manufacturer
 C_{OUT} = Sprague Type 673D
 Electrolytic 680 µF, 20V

R1 = 48.7k in series with 511Ω (1%)
 R2 = 5.62k (1%)

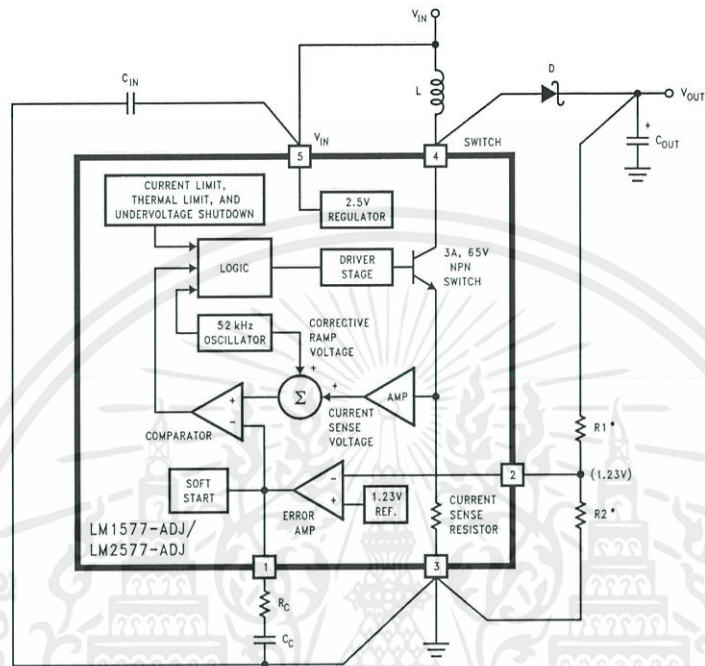
Note: Pin numbers shown are for TO-220 (T) package

FIGURE 3. Circuit Used to Specify System Parameters for ADJ Versions

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ 11 ในการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Application Hints



DS011468-10

Note: Pin numbers shown are for TO-220 (T) package
 *Resistors are internal to LM1577/LM2577 for 12V and 15V versions.

FIGURE 4. LM1577/LM2577 Block Diagram and Boost Regulator Application

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Application Hints (Continued)

STEP-UP (BOOST) REGULATOR

Figure 4 shows the LM1577-ADJ/LM2577-ADJ used as a Step-Up Regulator. This is a switching regulator used for producing an output voltage greater than the input supply voltage. The LM1577-12/LM2577-12 and LM1577-15/LM2577-15 can also be used for step-up regulators with 12V or 15V outputs (respectively), by tying the feedback pin directly to the regulator output.

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

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

Voltage and current waveforms for this circuit are shown in Figure 5, and formulas for calculating them are given in Figure 6.

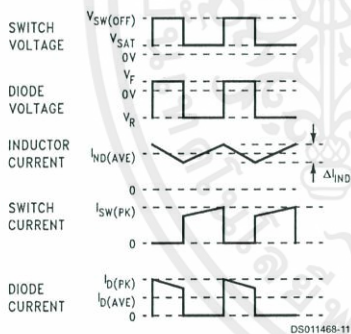


FIGURE 5. Step-Up Regulator Waveforms

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

V_F = Forward Biased Diode Voltage
 I_{LOAD} = Output Load Current

FIGURE 6. Step-Up Regulator Formulas

STEP-UP REGULATOR DESIGN PROCEDURE

The following design procedure can be used to select the appropriate external components for the circuit in Figure 4, based on these system requirements.

Given:

$V_{IN(min)}$ = Minimum input supply voltage

V_{OUT} = Regulated output voltage

$I_{LOAD(max)}$ = Maximum output load current

Before proceeding any further, determine if the LM1577/LM2577 can provide these values of V_{OUT} and $I_{LOAD(max)}$ when operating with the minimum value of V_{IN} . The upper limits for V_{OUT} and $I_{LOAD(max)}$ are given by the following equations.

$$V_{OUT} \leq 60V$$

$$\text{and } V_{OUT} \leq 10 \times V_{IN(min)}$$

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

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

1. Inductor Selection (L)

A. Voltage Options:

1. For 12V or 15V output

Application Hints (Continued)

From Figure 7 (for 12V output) or Figure 8 (for 15V output), identify inductor code for region indicated by $V_{IN(min)}$ and $I_{LOAD(max)}$. The shaded region indicates conditions for which the LM1577/LM2577 output switch would be operating beyond its switch current rating. The minimum operating voltage for the LM1577/LM2577 is 3.5V.

From here, proceed to step C.

2. For Adjustable version

Preliminary calculations:

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

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

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

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

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

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

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

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

B. Identify Inductor Value:

1. From Figure 9, identify the inductor code for the region indicated by the intersection of $E \cdot T$ and $I_{IND,DC}$. This code gives the inductor value in microhenries. The L or H prefix signifies whether the inductor is rated for a maximum $E \cdot T$ of $90 V \cdot \mu s$ (L) or $250 V \cdot \mu s$ (H).

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

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

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

1. Find the lowest value inductor that is greater than L_{MIN} .
2. Find where $E \cdot T$ intersects this inductor value to determine if it has an L or H prefix. If $E \cdot T$ intersects both the L and H regions, select the inductor with an H prefix.

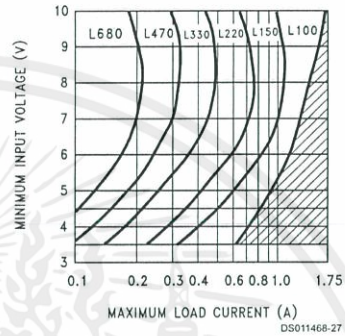


FIGURE 7. LM2577-12 Inductor Selection Guide

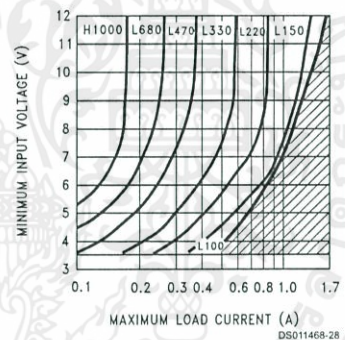
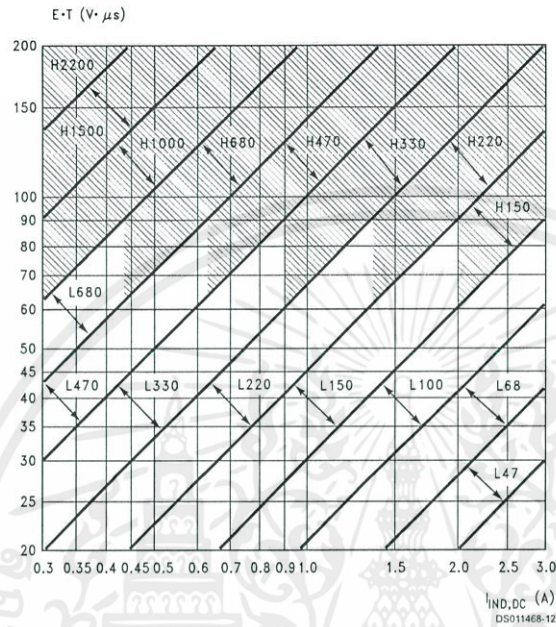


FIGURE 8. LM2577-15 Inductor Selection Guide

Application Hints (Continued)



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

FIGURE 9. LM1577-ADJ/LM2577-ADJ Inductor Selection Graph

- C. Select an inductor from the table of Figure 10 which cross-references the inductor codes to the part numbers of three different manufacturers. Complete specifications for these inductors are available from the respective manufacturers. The inductors listed in this table have the following characteristics:

AIE: ferrite, pot-core inductors; Benefits of this type are low electro-magnetic interference (EMI), small physical size, and very low power dissipation (core loss). Be careful not to operate these inductors too far beyond their maximum ratings for E·T and peak current, as this will saturate the core.

Pulse: powdered iron, toroid core inductors; Benefits are low EMI and ability to withstand E·T and peak current above rated value better than ferrite cores.

Renco: ferrite, bobbin-core inductors; Benefits are low cost and best ability to withstand E·T and peak current above rated value. Be aware that these inductors generate more EMI than the other types, and this may interfere with signals sensitive to noise.

Application Hints (Continued)

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

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

FIGURE 10. Table of Standardized Inductors and Manufacturer's Part Numbers

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

R_C and C_C form a pole-zero compensation network that stabilizes the regulator. The values of R_C and C_C are mainly dependant on the regulator voltage gain, $I_{LOAD(max)}$, L and C_{OUT} . The following procedure calculates values for R_C , C_C , and C_{OUT} that ensure regulator stability. Be aware that this procedure doesn't necessarily result in R_C and C_C that provide optimum compensation. In order to guarantee optimum compensation, one of the standard procedures for testing loop stability must be used, such as measuring V_{OUT} transient response when pulsing I_{LOAD} (see Figure 15).

A. First, calculate the maximum value for R_C .

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

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

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

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

and

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

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

C. Calculate the minimum value of C_C .

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

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

The value of the output filter capacitor is normally large enough to require the use of aluminum electrolytic capacitors. Figure 11 lists several different types that are recommended for switching regulators, and the following parameters are used to select the proper capacitor.

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

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

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

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

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

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

where

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

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

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

Application Hints (Continued)

3. Output Voltage Selection (R1 and R2)

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

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

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

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

$$\frac{R1}{R2} = \frac{V_{OUT}}{1.23V} - 1$$

4. Input Capacitor Selection (C_{IN})

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

Cornell Dublier — Types 239, 250, 251, UFT, 300, or 350

P.O. Box 128, Pickens, SC 29671
(803) 878-6311

Nichicon — Types PF, PX, or PZ

927 East Parkway,
Schaumburg, IL 60173
(708) 843-7500

Sprague — Types 672D, 673D, or 674D

Box 1, Sprague Road,
Lansing, NC 28643
(919) 384-2551

United Chemi-Con — Types LX, SXF, or SXJ

9801 West Higgins Road,
Rosemont, IL 60018
(708) 696-2000

FIGURE 11. Aluminum Electrolytic Capacitors Recommended for Switching Regulators

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

5. Diode Selection (D)

The switching diode used in the boost regulator must withstand a reverse voltage equal to the circuit output voltage, and must conduct the peak output current of the LM2577. A suitable diode must have a minimum reverse breakdown voltage greater than the circuit output voltage, and should be rated for average and peak current greater than $I_{LOAD(max)}$ and $I_{D(PK)}$. Schottky barrier diodes are often favored for use in switching regulators. Their low forward voltage drop allows higher regulator efficiency than if a (less expensive) fast recovery diode was used. See *Figure 12* for recommended part numbers and voltage ratings of 1A and 3A diodes.

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

FIGURE 12. Diode Selection Chart

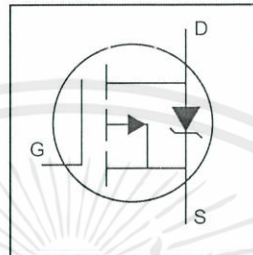
BOOST REGULATOR CIRCUIT EXAMPLE

By adding a few external components (as shown in *Figure 13*), the LM2577 can be used to produce a regulated output voltage that is greater than the applied input voltage. Typical performance of this regulator is shown in *Figure 14* and *Figure 15*. The switching waveforms observed during the operation of this circuit are shown in *Figure 16*.

IRF9540N

HEXFET® Power MOSFET

- Advanced Process Technology
- Dynamic dv/dt Rating
- 175°C Operating Temperature
- Fast Switching
- P-Channel
- Fully Avalanche Rated

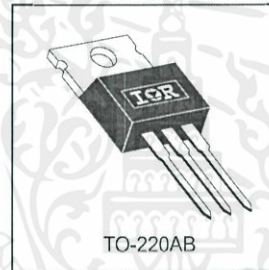


$V_{DSS} = -100V$
$R_{DS(on)} = 0.117\Omega$
$I_D = -23A$

Description

Fifth Generation HEXFETs from International Rectifier utilize advanced processing techniques to achieve extremely low on-resistance per silicon area. This benefit, combined with the fast switching speed and ruggedized device design that HEXFET Power MOSFETs are well known for, provides the designer with an extremely efficient and reliable device for use in a wide variety of applications.

The TO-220 package is universally preferred for all commercial-industrial applications at power dissipation levels to approximately 50 watts. The low thermal resistance and low package cost of the TO-220 contribute to its wide acceptance throughout the industry.



Absolute Maximum Ratings

	Parameter	Max.	Units
$I_D @ T_C = 25^\circ C$	Continuous Drain Current, $V_{GS} @ -10V$	-23	A
$I_D @ T_C = 100^\circ C$	Continuous Drain Current, $V_{GS} @ -10V$	-16	
I_{DM}	Pulsed Drain Current ①	-76	
$P_D @ T_C = 25^\circ C$	Power Dissipation	140	W
	Linear Derating Factor	0.91	W/°C
V_{GS}	Gate-to-Source Voltage	± 20	V
E_{AS}	Single Pulse Avalanche Energy ②	430	mJ
I_{AR}	Avalanche Current ③	-11	A
E_{AR}	Repetitive Avalanche Energy ①	14	mJ
dv/dt	Peak Diode Recovery dv/dt ③	-5.0	V/ns
T_J	Operating Junction and	-55 to + 175	°C
T_{STG}	Storage Temperature Range		
	Soldering Temperature, for 10 seconds	300 (1.6mm from case)	
	Mounting torque, 6-32 or M3 screw	10 lbf•in (1.1N•m)	

Thermal Resistance

	Parameter	Typ.	Max.	Units
$R_{\theta JC}$	Junction-to-Case	—	1.1	°C/W
$R_{\theta CS}$	Case-to-Sink, Flat, Greased Surface	0.50	—	
$R_{\theta JA}$	Junction-to-Ambient	—	62	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IRF9540N



Electrical Characteristics @ T_J = 25°C (unless otherwise specified)

	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units	Conditions
V _{(BR)DSS}	Drain-to-Source Breakdown Voltage	-100	—	—	V	V _{GS} = 0V, I _D = -250μA
ΔV _{(BR)DSS/ΔT_J}	Breakdown Voltage Temp. Coefficient	—	-0.11	—	V/°C	Reference to 25°C, I _D = -1mA
R _{DS(on)}	Static Drain-to-Source On-Resistance	—	—	0.117	Ω	V _{GS} = -10V, I _D = -11A ③
V _{GS(th)}	Gate Threshold Voltage	-2.0	—	-4.0	V	V _{DS} = V _{GS} , I _D = -250μA
g _{fs}	Forward Transconductance	5.3	—	—	S	V _{DS} = -50V, I _D = -11A
I _{DSS}	Drain-to-Source Leakage Current	—	—	-25	μA	V _{DS} = -100V, V _{GS} = 0V
		—	—	-250		V _{DS} = -80V, V _{GS} = 0V, T _J = 150°C
I _{GSS}	Gate-to-Source Forward Leakage	—	—	100	nA	V _{GS} = 20V
	Gate-to-Source Reverse Leakage	—	—	-100		V _{GS} = -20V
Q _g	Total Gate Charge	—	—	97	nC	I _D = -11A
Q _{gs}	Gate-to-Source Charge	—	—	15		V _{DS} = -80V
Q _{gd}	Gate-to-Drain ("Miller") Charge	—	—	51		V _{GS} = -10V, See Fig. 6 and 13 ③
t _{d(on)}	Turn-On Delay Time	—	15	—	ns	V _{DD} = -50V
t _r	Rise Time	—	67	—		I _D = -11A
t _{d(off)}	Turn-Off Delay Time	—	51	—		R _G = 5.1Ω
t _f	Fall Time	—	51	—		R _D = 4.2Ω, See Fig. 10 ④
L _D	Internal Drain Inductance	—	4.5	—	nH	Between lead, 6mm (0.25in.) from package and center of die contact
L _S	Internal Source Inductance	—	7.5	—		
C _{iss}	Input Capacitance	—	1300	—	pF	V _{GS} = 0V
C _{oss}	Output Capacitance	—	400	—		V _{DS} = -25V
C _{rss}	Reverse Transfer Capacitance	—	240	—		f = 1.0MHz, See Fig. 5

Source-Drain Ratings and Characteristics

	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units	Conditions
I _S	Continuous Source Current (Body Diode)	—	—	-23	A	MOSFET symbol showing the integral reverse p-n junction diode.
I _{SM}	Pulsed Source Current (Body Diode) ①	—	—	-76		
V _{SD}	Diode Forward Voltage	—	—	-1.6	V	T _J = 25°C, I _S = -11A, V _{GS} = 0V ④
t _{rr}	Reverse Recovery Time	—	150	220	ns	T _J = 25°C, I _F = -11A
Q _{rr}	Reverse Recovery Charge	—	830	1200	nC	di/dt = -100A/μs ⑤
t _{on}	Forward Turn-On Time	Intrinsic turn-on time is negligible (turn-on is dominated by L _S +L _D)				

Notes:

① Repetitive rating; pulse width limited by max. junction temperature. (See fig. 11)

② Starting T_J = 25°C, L = 7.1mH
R_G = 25Ω, I_{AS} = -11A. (See Figure 12)

③ I_{SD} ≤ -11A, di/dt ≤ -470A/μs, V_{DD} ≤ V_{(BR)DSS},
T_J ≤ 175°C

④ Pulse width ≤ 300μs; duty cycle ≤ 2%.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

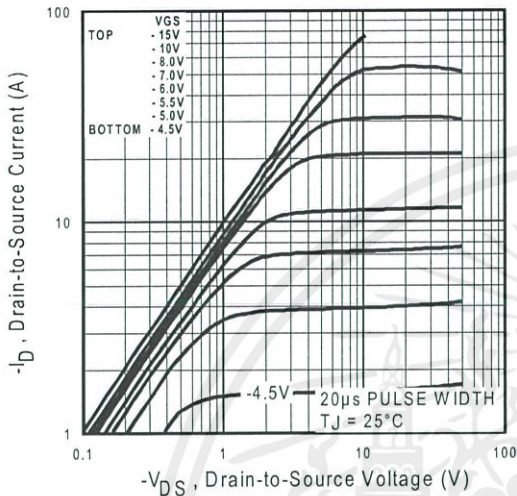


Fig 1. Typical Output Characteristics

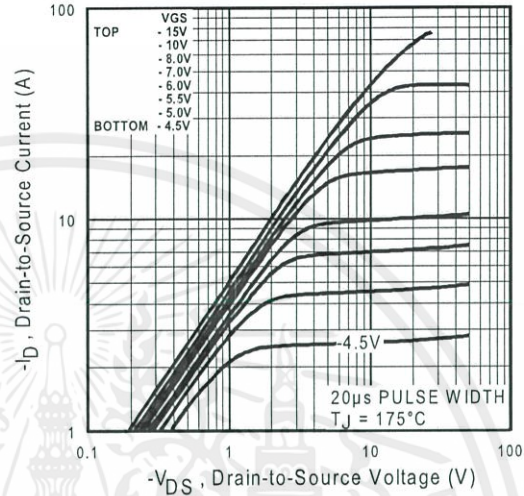


Fig 2. Typical Output Characteristics

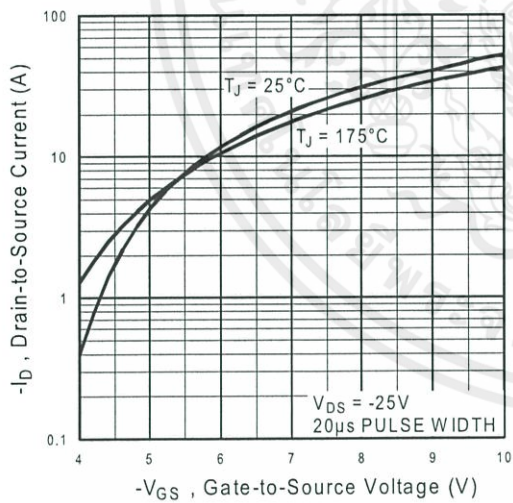


Fig 3. Typical Transfer Characteristics

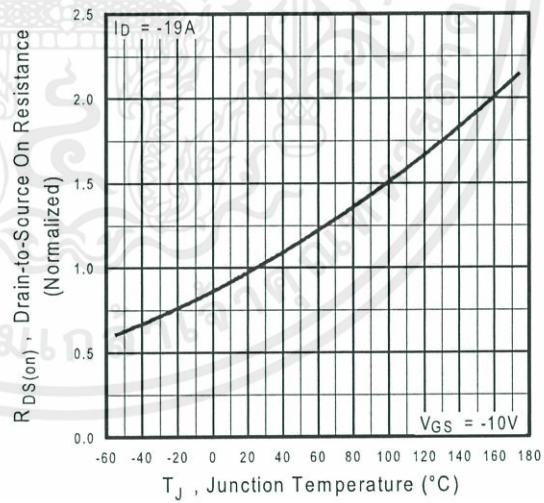


Fig 4. Normalized On-Resistance Vs. Temperature

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

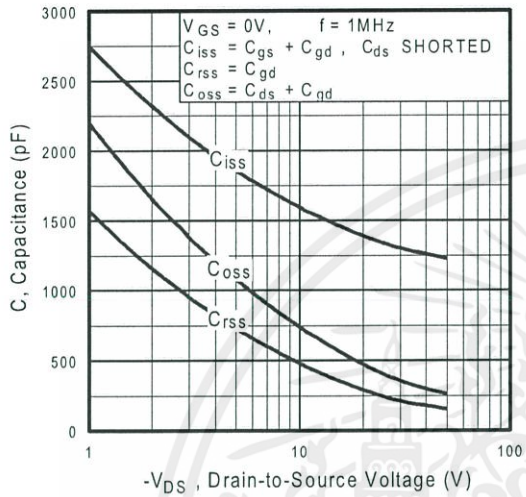


Fig 5. Typical Capacitance Vs. Drain-to-Source Voltage

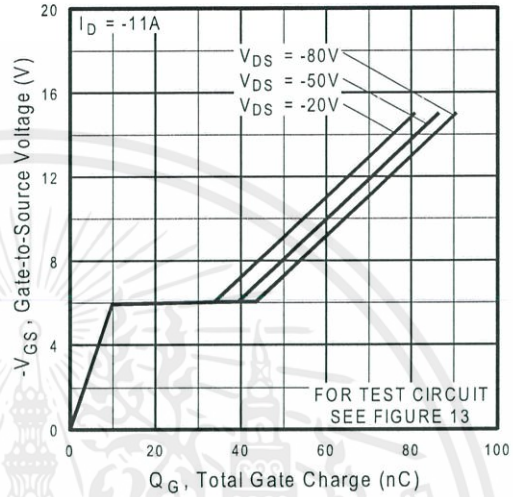


Fig 6. Typical Gate Charge Vs. Gate-to-Source Voltage

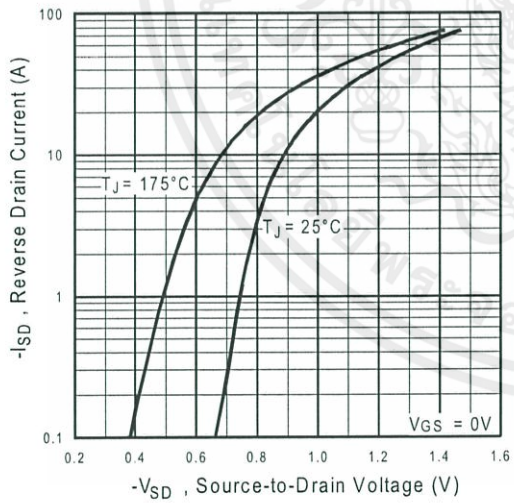


Fig 7. Typical Source-Drain Diode Forward Voltage

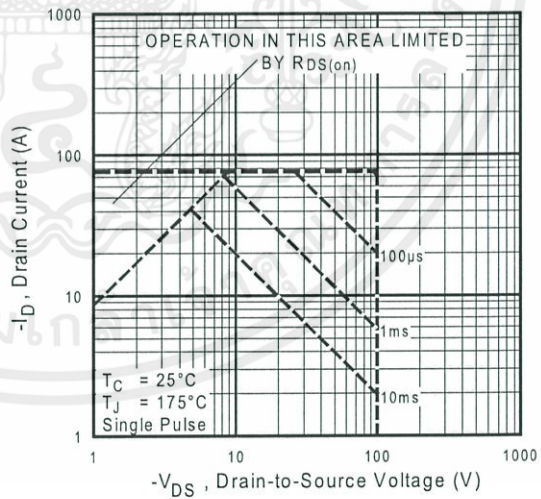


Fig 8. Maximum Safe Operating Area

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

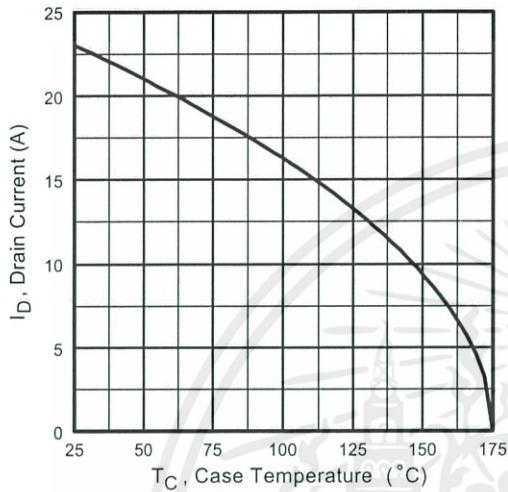


Fig 9. Maximum Drain Current Vs. Case Temperature

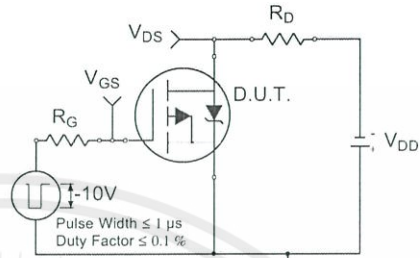


Fig 10a. Switching Time Test Circuit

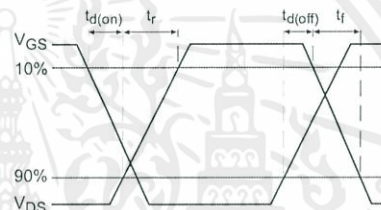


Fig 10b. Switching Time Waveforms

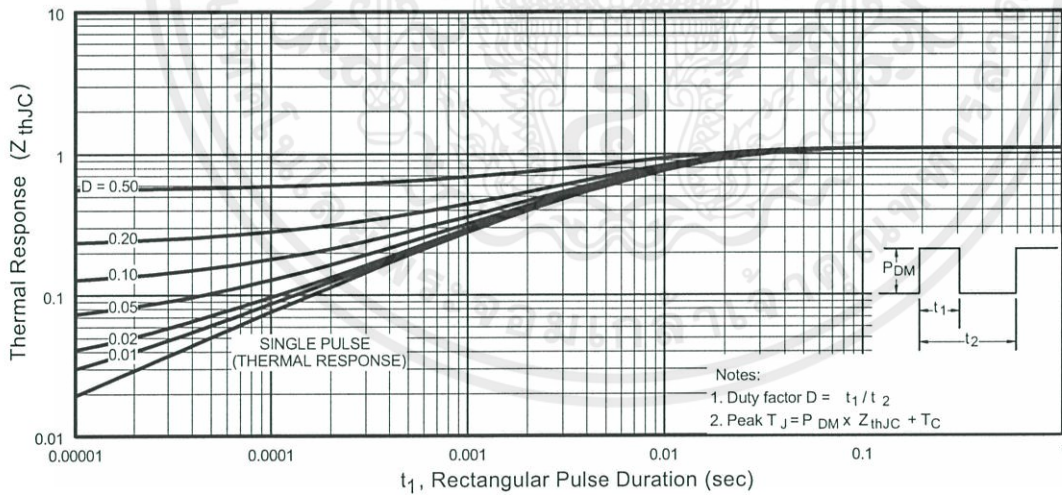


Fig 11. Maximum Effective Transient Thermal Impedance, Junction-to-Case

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



MICROCHIP

PIC16F87XA
Data Sheet

28/40/44-Pin Enhanced Flash
Microcontrollers

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Note the following details of the code protection feature on Microchip devices:

- Microchip products meet the specification contained in their particular Microchip Data Sheet.
- Microchip believes that its family of products is one of the most secure families of its kind on the market today, when used in the intended manner and under normal conditions.
- There are dishonest and possibly illegal methods used to breach the code protection feature. All of these methods, to our knowledge, require using the Microchip products in a manner outside the operating specifications contained in Microchip's Data Sheets. Most likely, the person doing so is engaged in theft of intellectual property.
- Microchip is willing to work with the customer who is concerned about the integrity of their code.
- Neither Microchip nor any other semiconductor manufacturer can guarantee the security of their code. Code protection does not mean that we are guaranteeing the product as "unbreakable."

Code protection is constantly evolving. We at Microchip are committed to continuously improving the code protection features of our products. Attempts to break microchip's code protection feature may be a violation of the Digital Millennium Copyright Act. If such acts allow unauthorized access to your software or other copyrighted work, you may have a right to sue for relief under that Act.

Information contained in this publication regarding device applications and the like is intended through suggestion only and may be superseded by updates. It is your responsibility to ensure that your application meets with your specifications. No representation or warranty is given and no liability is assumed by Microchip Technology Incorporated with respect to the accuracy or use of such information, or infringement of patents or other intellectual property rights arising from such use or otherwise. Use of Microchip's products as critical components in life support systems is not authorized except with express written approval by Microchip. No licenses are conveyed, implicitly or otherwise, under any intellectual property rights.

Trademarks

The Microchip name and logo, the Microchip logo, Accuron, dsPIC, KEELoq, MPLAB, PIC, PICmicro, PICSTART, PRO MATE and PowerSmart are registered trademarks of Microchip Technology Incorporated in the U.S.A. and other countries.

AmpLab, FilterLab, microID, MXDEV, MXLAB, PICMASTER, SEEVAL and The Embedded Control Solutions Company are registered trademarks of Microchip Technology Incorporated in the U.S.A.

Application Maestro, dsPICDEM, dsPICDEM.net, ECAN, ECONOMONITOR, FanSense, FlexROM, fuzzyLAB, In-Circuit Serial Programming, ICSP, ICEPIC, microPort, Migratable Memory, MPASM, MPLIB, MPLINK, MPSIM, PICkit, PICDEM, PICDEM.net, PowerCal, PowerInfo, PowerMate, PowerTool, rLAB, rPIC, Select Mode, SmartSensor, SmartShunt, SmartTel and Total Endurance are trademarks of Microchip Technology Incorporated in the U.S.A. and other countries.

Serialized Quick Turn Programming (SQTP) is a service mark of Microchip Technology Incorporated in the U.S.A.

All other trademarks mentioned herein are property of their respective companies.

© 2003, Microchip Technology Incorporated, Printed in the U.S.A., All Rights Reserved.

 Printed on recycled paper.

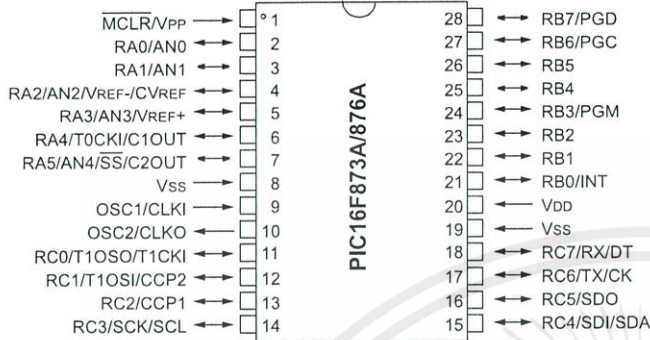


Microchip received QS-9000 quality system certification for its worldwide headquarters, design and wafer fabrication facilities in Chandler and Tempe, Arizona in July 1999 and Mountain View, California in March 2002. The Company's quality system processes and procedures are QS-9000 compliant for its PICmicro® 8-bit MCUs, KEELoq® code hopping devices, Serial EEPROMs, microperipherals, non-volatile memory and analog products. In addition, Microchip's quality system for the design and manufacture of development systems is ISO 9001 certified.

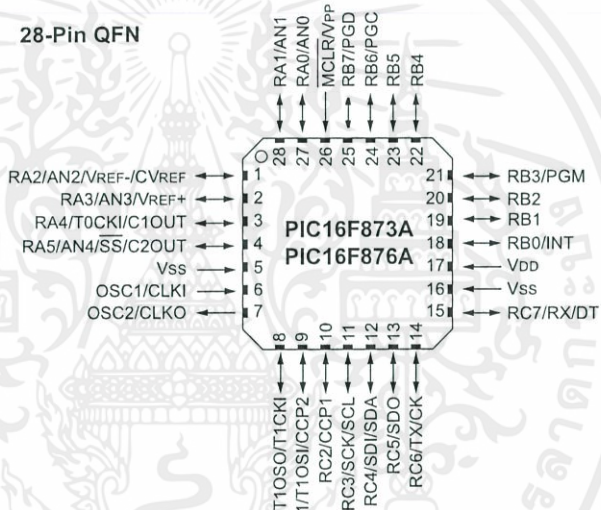
PIC16F87XA

Pin Diagrams

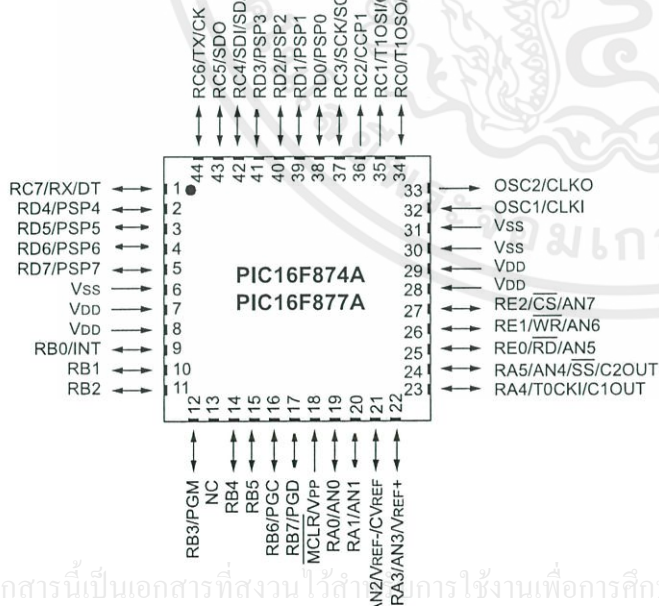
28-Pin PDIP, SOIC, SSOP



28-Pin QFN



44-Pin QFN



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิได้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



MICROCHIP

PIC16F87XA

Data Sheet

28/40/44-Pin Enhanced Flash
Microcontrollers

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Note the following details of the code protection feature on Microchip devices:

- Microchip products meet the specification contained in their particular Microchip Data Sheet.
- Microchip believes that its family of products is one of the most secure families of its kind on the market today, when used in the intended manner and under normal conditions.
- There are dishonest and possibly illegal methods used to breach the code protection feature. All of these methods, to our knowledge, require using the Microchip products in a manner outside the operating specifications contained in Microchip's Data Sheets. Most likely, the person doing so is engaged in theft of intellectual property.
- Microchip is willing to work with the customer who is concerned about the integrity of their code.
- Neither Microchip nor any other semiconductor manufacturer can guarantee the security of their code. Code protection does not mean that we are guaranteeing the product as "unbreakable."

Code protection is constantly evolving. We at Microchip are committed to continuously improving the code protection features of our products. Attempts to break microchip's code protection feature may be a violation of the Digital Millennium Copyright Act. If such acts allow unauthorized access to your software or other copyrighted work, you may have a right to sue for relief under that Act.

Information contained in this publication regarding device applications and the like is intended through suggestion only and may be superseded by updates. It is your responsibility to ensure that your application meets with your specifications. No representation or warranty is given and no liability is assumed by Microchip Technology Incorporated with respect to the accuracy or use of such information, or infringement of patents or other intellectual property rights arising from such use or otherwise. Use of Microchip's products as critical components in life support systems is not authorized except with express written approval by Microchip. No licenses are conveyed, implicitly or otherwise, under any intellectual property rights.

Trademarks

The Microchip name and logo, the Microchip logo, Accuron, dsPIC, KEELoQ, MPLAB, PIC, PICmicro, PICSTART, PRO MATE and PowerSmart are registered trademarks of Microchip Technology Incorporated in the U.S.A. and other countries.

AmpLab, FilterLab, microID, MXDEV, MXLAB, PICMASTER, SEEVAL and The Embedded Control Solutions Company are registered trademarks of Microchip Technology Incorporated in the U.S.A.

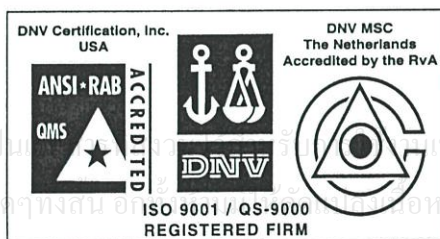
Application Maestro, dsPICDEM, dsPICDEM.net, ECAN, ECONOMONITOR, FanSense, FlexROM, fuzzyLAB, In-Circuit Serial Programming, ICSP, ICEPIC, microPort, Migratable Memory, MPASM, MPLIB, MPLINK, MPSIM, PICkit, PICDEM, PICDEM.net, PowerCal, PowerInfo, PowerMate, PowerTool, rLAB, rPIC, Select Mode, SmartSensor, SmartShunt, SmartTel and Total Endurance are trademarks of Microchip Technology Incorporated in the U.S.A. and other countries.

Serialized Quick Turn Programming (SQTP) is a service mark of Microchip Technology Incorporated in the U.S.A.

All other trademarks mentioned herein are property of their respective companies.

© 2003, Microchip Technology Incorporated, Printed in the U.S.A., All Rights Reserved.

 Printed on recycled paper.



Microchip received QS-9000 quality system certification for its worldwide headquarters, design and wafer fabrication facilities in Chandler and Tempe, Arizona in July 1999 and Mountain View, California in March 2002. The Company's quality system processes and procedures are QS-9000 compliant for its PICmicro® 8-bit MCUs, KEELoQ® code hopping devices, Serial EEPROMs, microperipherals, non-volatile memory and analog products. In addition, Microchip's quality system for the design and manufacture of development systems is ISO 9001 certified.



PIC16F87XA

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:

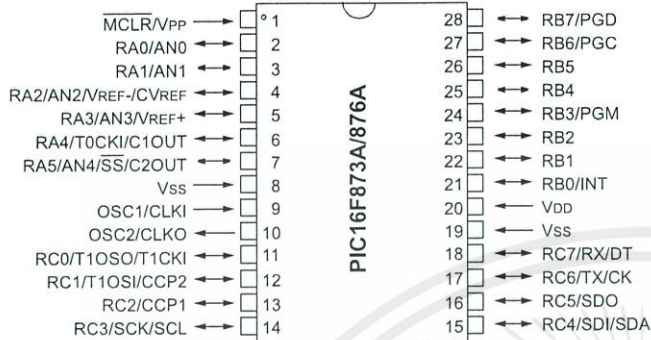
- Low-power, high-speed Flash/EEPROM technology
- Fully static design
- Wide operating voltage range (2.0V to 5.5V)
- Commercial and Industrial temperature ranges
- Low-power consumption

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

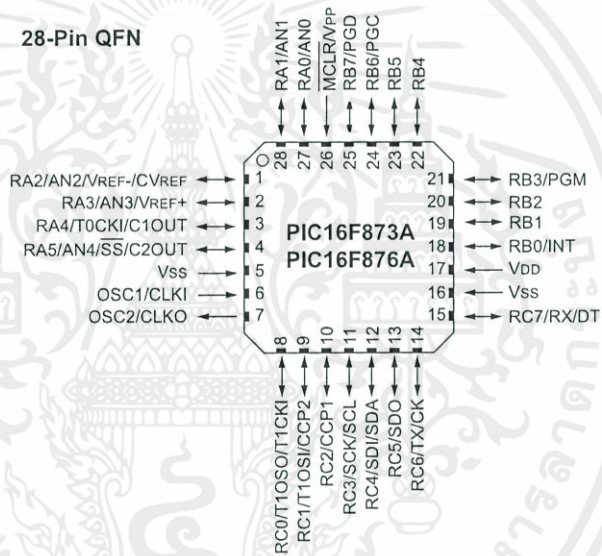
PIC16F87XA

Pin Diagrams

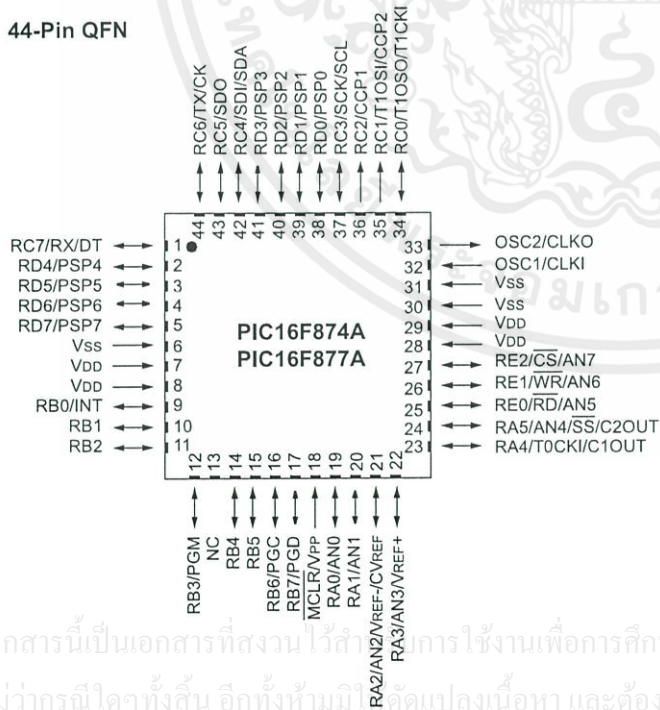
28-Pin PDIP, SOIC, SSOP



28-Pin QFN



44-Pin QFN

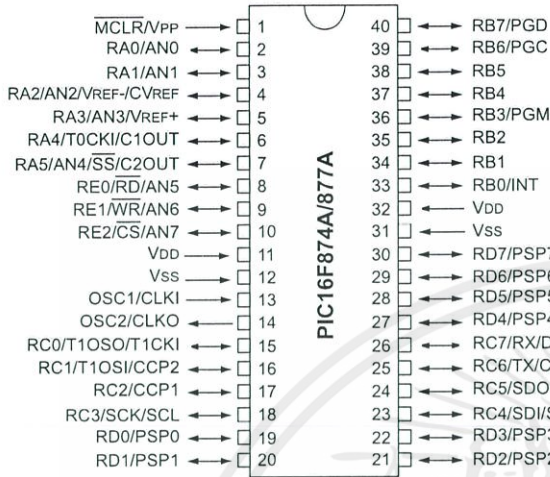


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิได้เปลี่ยนแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

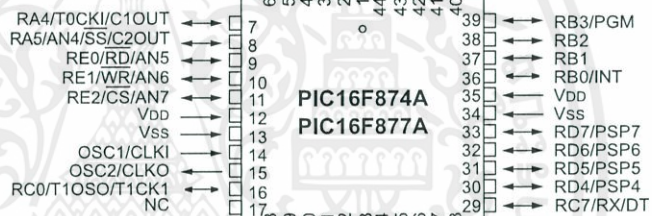
PIC16F87XA

Pin Diagrams (Continued)

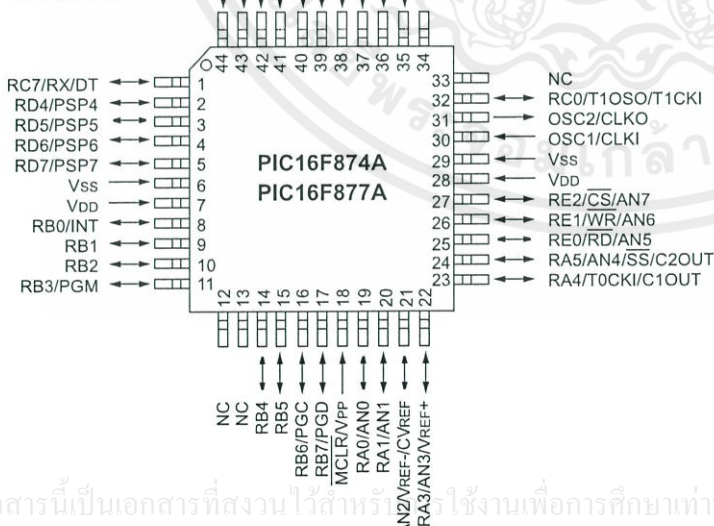
40-Pin PDIP



44-Pin PLCC



44-Pin TQFP



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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	209
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.

PIC16F87XA

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 PICmicro® 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.

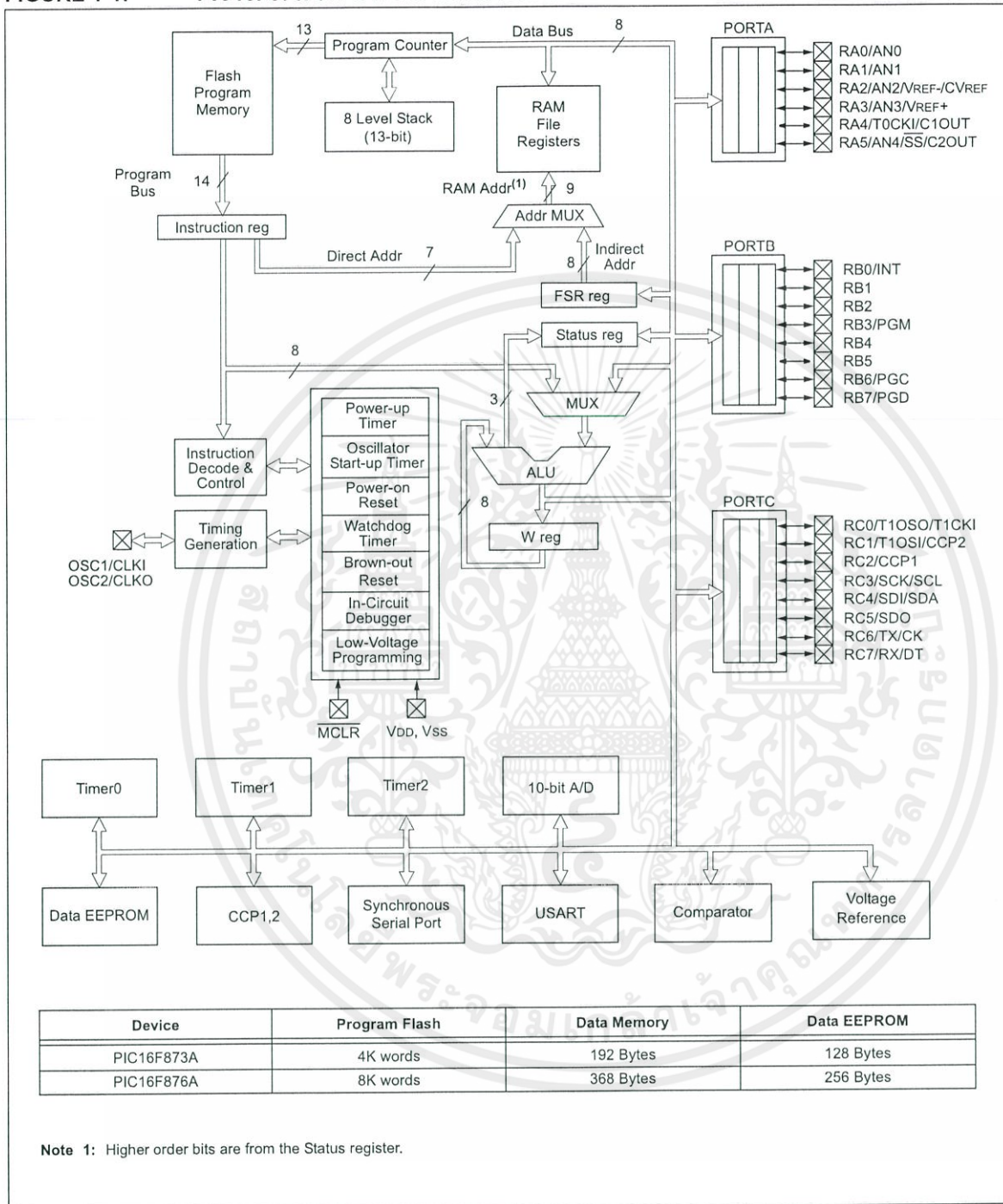
TABLE 1-1: PIC16F87XA DEVICE FEATURES

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PIC16F87XA

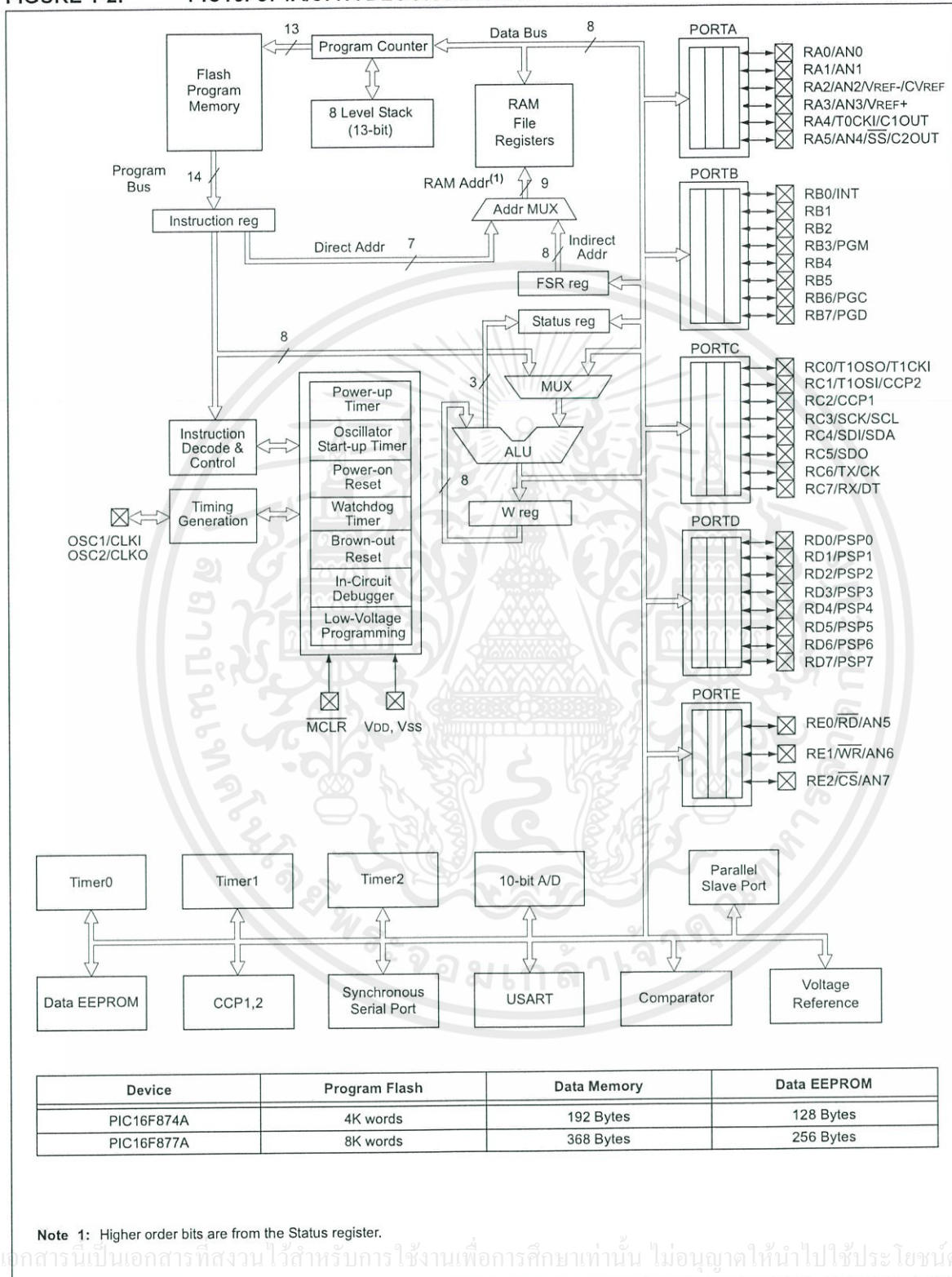
FIGURE 1-1: PIC16F873A/876A BLOCK DIAGRAM



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PIC16F87XA

FIGURE 1-2: PIC16F874A/877A BLOCK DIAGRAM



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
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PIC16F87XA

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.

PIC16F87XA

TABLE 1-3: PIC16F874A/877A PINOUT DESCRIPTION

Pin Name	PDIP Pin#	PLCC Pin#	TQFP 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/AN4/SS/C2OUT RA5 AN4 SS C2OUT	2 3 4 5 6 7	3 4 5 6 7 8	19 20 21 22 23 24	19 20 21 22 23 24	I/O I I/O I I/O I I O I/O I I I O	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

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
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PIC16F87XA

TABLE 1-3: PIC16F874A/877A PINOUT DESCRIPTION (CONTINUED)

Pin Name	PDIP Pin#	PLCC Pin#	TQFP Pin#	QFN Pin#	I/O/P Type	Buffer Type	Description
RB0/INT RB0 INT	33	36	8	9	I/O I	TTL/ST ⁽¹⁾	PORTB is a bidirectional I/O port. PORTB can be software programmed for internal weak pull-up on all inputs. Digital I/O. External interrupt.
RB1	34	37	9	10	I/O	TTL	Digital I/O.
RB2	35	38	10	11	I/O	TTL	Digital I/O.
RB3/PGM RB3 PGM	36	39	11	12	I/O I	TTL	Digital I/O. Low-voltage ICSP programming enable pin.
RB4	37	41	14	14	I/O	TTL	Digital I/O.
RB5	38	42	15	15	I/O	TTL	Digital I/O.
RB6/PGC RB6 PGC	39	43	16	16	I/O I	TTL/ST ⁽²⁾	Digital I/O. In-circuit debugger and ICSP programming clock.
RB7/PGD RB7 PGD	40	44	17	17	I/O I/O	TTL/ST ⁽²⁾	Digital I/O. In-circuit debugger and ICSP programming data.

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
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PIC16F87XA

TABLE 1-3: PIC16F874A/877A PINOUT DESCRIPTION (CONTINUED)

Pin Name	PDIP Pin#	PLCC Pin#	TQFP Pin#	QFN Pin#	I/O/P Type	Buffer Type	Description
RC0/T1OSO/T1CKI RC0 T1OSO T1CKI	15	16	32	34	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	16	18	35	35	I/O I I/O	ST	Digital I/O. Timer1 oscillator input. Capture2 input, Compare2 output, PWM2 output.
RC2/CCP1 RC2 CCP1	17	19	36	36	I/O I/O	ST	Digital I/O. Capture1 input, Compare1 output, PWM1 output.
RC3/SCK/SCL RC3 SCK SCL	18	20	37	37	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	23	25	42	42	I/O I I/O	ST	Digital I/O. SPI data in. I ² C data I/O.
RC5/SDO RC5 SDO	24	26	43	43	I/O O	ST	Digital I/O. SPI data out.
RC6/TX/CK RC6 TX CK	25	27	44	44	I/O O I/O	ST	Digital I/O. USART asynchronous transmit. USART1 synchronous clock.
RC7/RX/DT RC7 RX DT	26	29	1	1	I/O I I/O	ST	Digital I/O. USART asynchronous receive. USART synchronous data.

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
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PIC16F87XA

TABLE 1-3: PIC16F874A/877A PINOUT DESCRIPTION (CONTINUED)

Pin Name	PDIP Pin#	PLCC Pin#	TQFP Pin#	QFN Pin#	I/O/P Type	Buffer Type	Description
RD0/PSP0 RD0 PSP0	19	21	38	38	I/O I/O	ST/TTL ⁽³⁾	PORTD is a bidirectional I/O port or Parallel Slave Port when interfacing to a microprocessor bus. Digital I/O. Parallel Slave Port data.
RD1/PSP1 RD1 PSP1	20	22	39	39	I/O I/O	ST/TTL ⁽³⁾	Digital I/O. Parallel Slave Port data.
RD2/PSP2 RD2 PSP2	21	23	40	40	I/O I/O	ST/TTL ⁽³⁾	Digital I/O. Parallel Slave Port data.
RD3/PSP3 RD3 PSP3	22	24	41	41	I/O I/O	ST/TTL ⁽³⁾	Digital I/O. Parallel Slave Port data.
RD4/PSP4 RD4 PSP4	27	30	2	2	I/O I/O	ST/TTL ⁽³⁾	Digital I/O. Parallel Slave Port data.
RD5/PSP5 RD5 PSP5	28	31	3	3	I/O I/O	ST/TTL ⁽³⁾	Digital I/O. Parallel Slave Port data.
RD6/PSP6 RD6 PSP6	29	32	4	4	I/O I/O	ST/TTL ⁽³⁾	Digital I/O. Parallel Slave Port data.
RD7/PSP7 RD7 PSP7	30	33	5	5	I/O I/O	ST/TTL ⁽³⁾	Digital I/O. Parallel Slave Port data.
RE0/ $\overline{\text{RD}}$ /AN5 RE0 RD AN5	8	9	25	25	I/O I I	ST/TTL ⁽³⁾	PORTE is a bidirectional I/O port. Digital I/O. Read control for Parallel Slave Port. Analog input 5.
RE1/ $\overline{\text{WR}}$ /AN6 RE1 WR AN6	9	10	26	26	I/O I I	ST/TTL ⁽³⁾	Digital I/O. Write control for Parallel Slave Port. Analog input 6.
RE2/ $\overline{\text{CS}}$ /AN7 RE2 CS AN7	10	11	27	27	I/O I I	ST/TTL ⁽³⁾	Digital I/O. Chip select control for Parallel Slave Port. Analog input 7.
Vss	12, 31	13, 34	6, 29	6, 30, 31	P	—	Ground reference for logic and I/O pins.
VDD	11, 32	12, 35	7, 28	7, 8, 28, 29	P	—	Positive supply for logic and I/O pins.
NC	—	1, 17, 28, 40	12, 13, 33, 34	13	—	—	These pins are not internally connected. These pins should be left unconnected.

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

Note 1: This buffer is a Schmitt Trigger input when configured as 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
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้