

ระบบอัดประจุแบตเตอรี่ด้วยพลังงานความร้อน

Thermoelectric Battery Charger



ฉลองชัย เพชรคำ
CHALONGCHAI PETCHKUM

ดนยา พัฒนวิบูลย์
DANAYA BHATTANAVIBULAYA

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

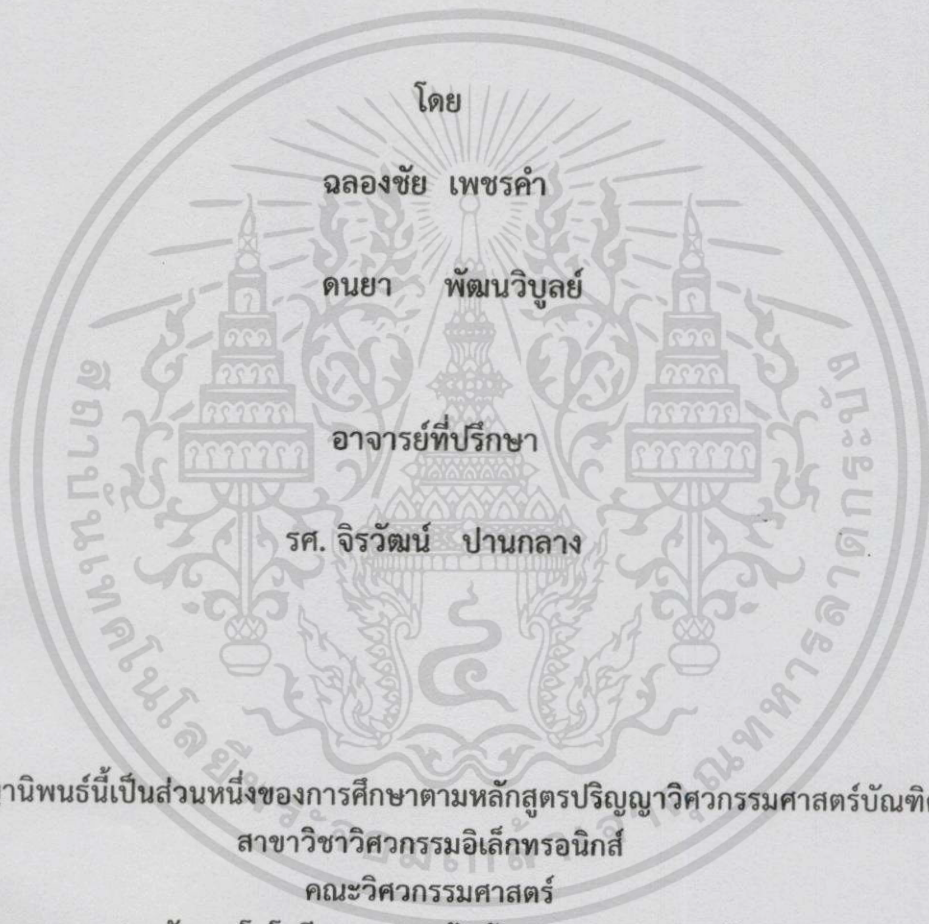
สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2557

ระบบอัดประจุแบตเตอรี่ด้วยพลังงานความร้อน
Thermoelectric Battery Charger



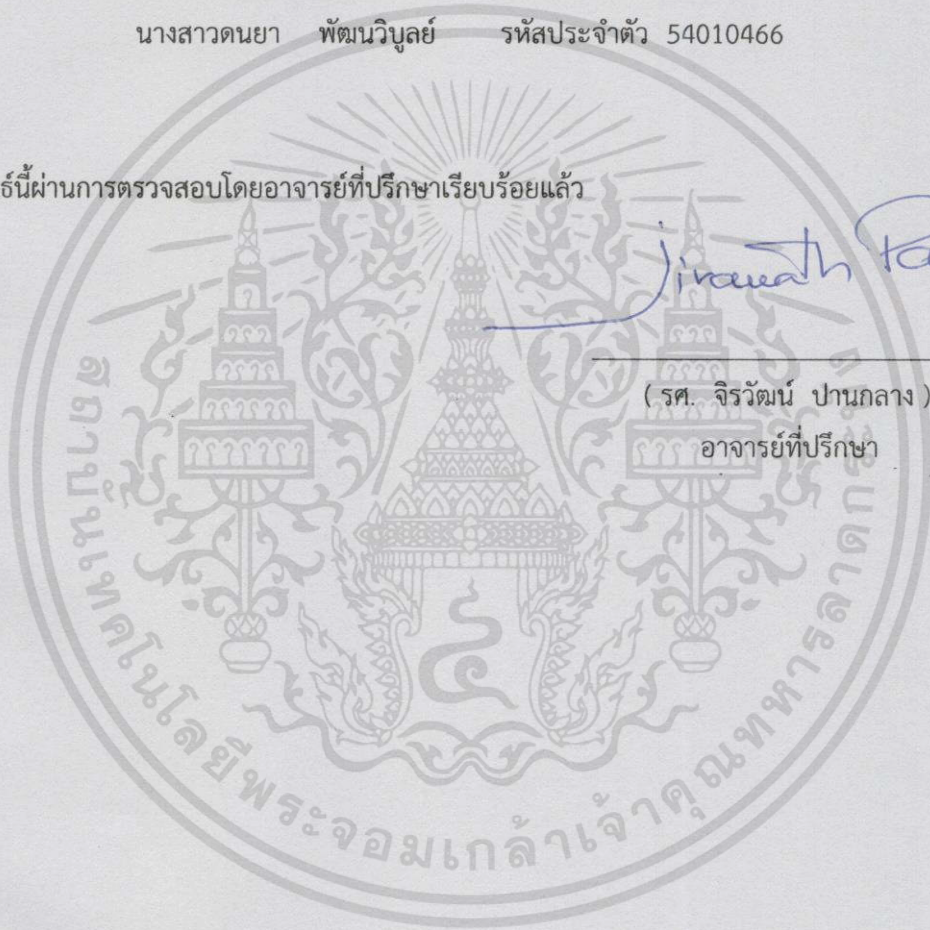
ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์
คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ.2557

ปริญญาานิพนธ์ ปีการศึกษา 2557
สาขาวิชา วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์
คณะ วิศวกรรมศาสตร์
เรื่อง สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ระบบอัดประจุแบตเตอรี่ด้วยพลังงานความร้อน
Thermoelectric Battery Charger

ผู้จัดทำ นายฉลองชัย เพชรคำ รหัสประจำตัว 54010247
 นางสาวตวันยา พัฒนวิบูลย์ รหัสประจำตัว 54010466

ปริญญาานิพนธ์นี้ผ่านการตรวจสอบโดยอาจารย์ที่ปรึกษาเรียบร้อยแล้ว



(รศ. จิรวัดน์ ปานกลาง)
อาจารย์ที่ปรึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์
จัดทำโดย

ระบบอัดประจุแบตเตอรี่ด้วยพลังงานความร้อน
นายฉลองชัย เพชรคำ รหัสประจำตัว 54010247
นางสาวตุนยา พัฒนวิบูลย์ รหัสประจำตัว 54010466

ปริญญา
สาขาวิชา
ปีการศึกษา

วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์
2557

อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์

รศ.จิรวัดน์ ปานกลาง

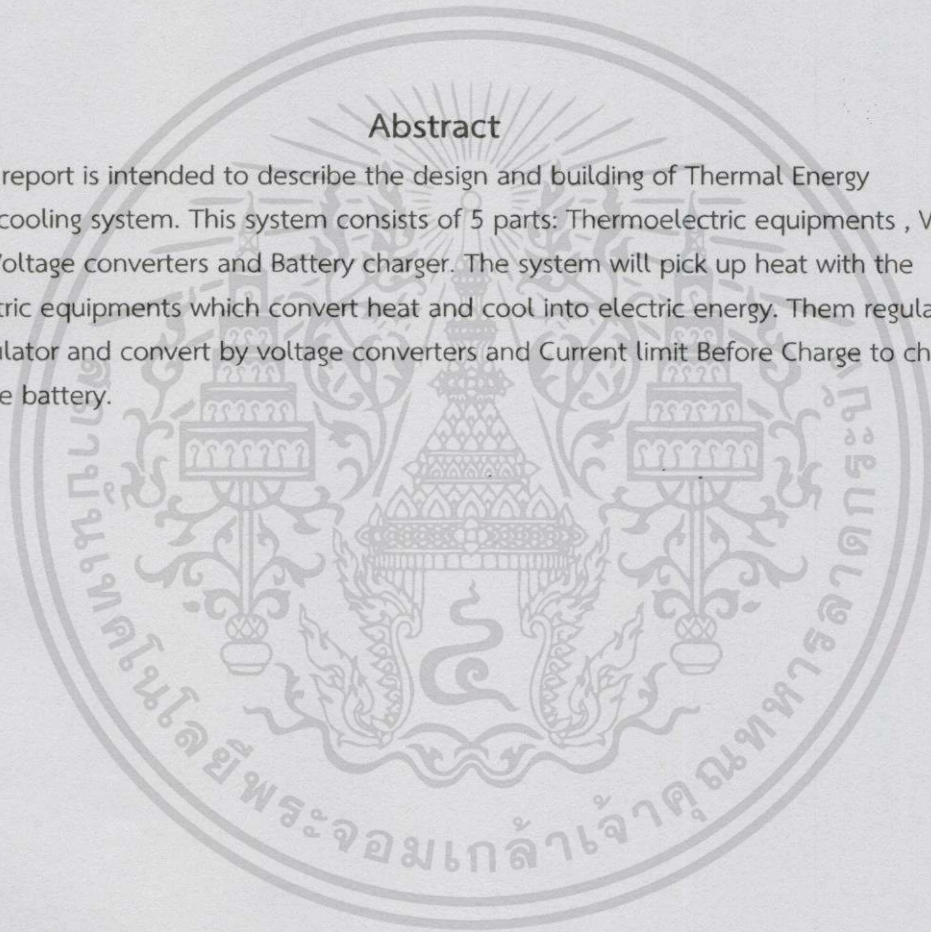
บทคัดย่อ

รายงานฉบับนี้อธิบายถึงการออกแบบ และการสร้างระบบอัดประจุแบตเตอรี่ด้วยพลังงานความร้อนจากเทอร์โมอิเล็กทริก ที่ถูกติดตั้งอยู่บนระบบระบายความร้อนของหม้อน้ำเครื่องยนต์ โดยระบบนี้ประกอบด้วย 5 ส่วน ส่วนแรกคือ คืออุปกรณ์ เทอร์โมอิเล็กทริกที่เป็นแหล่งจ่ายไฟ โดยอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกที่เลือกใช้คือเพลเทียร์ ส่วนที่สองคือ ส่วนของวงจรรักษาระดับแรงดันไฟฟ้า ส่วนถัดมาคือ ส่วนของวงจรแปลงระดับแรงดันไฟฟ้า วงจรจำกัดกระแส และวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ จากนั้นจึงนำไปอัดประจุแบตเตอรี่ต่อไป หลักการทำงานคือ เมื่อมีความแตกต่าง กันระหว่างอุณหภูมิทั้งสองฝั่งของ อุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริก อุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริก จะเปลี่ยนพลังงาน ความร้อน ให้เป็นพลังงานไฟฟ้า ผ่านวงจรรักษาระดับแรงดันและแปลงระดับแรงดันเพื่อนำไปอัดประจุแบตเตอรี่ ตามต้องการ

Thesis title	Thermoelectric battery charger
Student	Mr.Chalongchai Petchkum
	Miss.Danaya Bhattanavibulaya
Degree	Bachelor Engineering
Program	Electronic Engineering
Year	2557
Project advisor	Assoc.Prof. Jirawat Panklang

Abstract

This report is intended to describe the design and building of Thermal Energy from liquid cooling system. This system consists of 5 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 and Current limit Before Charge to charge the desirable battery.



กิตติกรรมประกาศ

ในการจัดทำโครงการนี้ขึ้นมา ถ้าหากผู้จัดทำกระทำใดๆ โดยที่ไม่มีผู้ดูแลและผู้ที่มีพระคุณแล้ว อาจจะต้องใช้เวลาในการทำงาน ศึกษาค้นคว้า การซื้ออุปกรณ์ต่างๆ เพื่อใช้ในการทำโครงการแล้ว อาจต้องใช้ระยะเวลาในการดำเนินงานที่ยาวนานกว่ากำหนด แต่เนื่องจากได้รับความช่วยเหลือจากผู้มีพระคุณหลายๆ ท่าน จึงทำให้ปัญหาที่เกิดขึ้นนั้นสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ถึงแม้จะไม่สามารถแก้ปัญหาเหล่านั้นได้จนบรรลุเป้าหมาย แต่ก็สามารถช่วยเสนอแนะแนวคิดและวิธีในการดำเนินโครงการจนประสบผลสำเร็จ ดังนั้นแล้วผู้จัดทำปริญญานิพนธ์จึงขอขอบพระคุณทุกท่านที่ให้ความร่วมมือให้คำปรึกษาตลอดจนความคิดเห็น และข้อมูลต่างๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อการทำโครงการนี้

ขอขอบพระคุณ อาจารย์จิรวัดน์ ปานกลาง ที่ปรึกษาที่คอยให้คำแนะนำและเสนอแนะเกี่ยวกับโครงการและเกร็ดความรู้ในการทำโครงการนี้ ขอขอบพระคุณรุ่นพี่ และเพื่อน ที่คอยช่วยเหลือและให้คำแนะนำในการตรวจสอบโครงการเพิ่มเติม หากไม่มีผู้มีพระคุณแล้ว โครงการนี้อาจไม่ประสบผลสำเร็จตามเวลาที่กำหนดได้ ทางผู้จัดทำจึงได้นำความรู้จากผู้มีพระคุณที่ช่วยกันถ่ายทอดความรู้กับผู้อ่านมาอ้างอิงในหนังสือเล่มนี้

ฉลองชัย เพชรคำ
ดนยา พัฒนวิบูลย์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญรูปภาพ.....	VII
สารบัญตาราง.....	IX
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญของปริญญาโท.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญาโท.....	1
1.3 ขอบเขตของปริญญาโท.....	1
1.4 ขั้นตอนการศึกษา.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 อุปกรณ์กำเนิดพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานความร้อน.....	3
2.1.1 เทอร์โมอิเล็กทริก.....	3
2.2 วงจรแปลงระดับแรงดันไฟฟ้า.....	6
2.2.1 ฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์.....	6
2.2.2 ฟอร์เวิร์ดคอนเวอร์เตอร์.....	7
2.2.3 พูลคอนเวอร์เตอร์.....	10
2.2.4 ฮาล์ฟบริจคอนเวอร์เตอร์.....	11
2.2.5 ฟูลบริจคอนเวอร์เตอร์.....	13
2.3 ส่วนประกอบของไมโครคอนโทรลเลอร์ (PIC 16F877A).....	14
2.4 ส่วนประกอบของไมโครคอนโทรลเลอร์ (MCP3208).....	20
2.5 อุปกรณ์เชื่อมต่อทางแสง (Opto couplers).....	22
2.6 ชนิดและแบตเตอรี่ที่สามารถอัดประจุได้.....	25
บทที่ 3 การคำนวณและการออกแบบ.....	36
3.1 การประจุแบตเตอรี่ด้วยเทอร์โมอิเล็กทริก (เพลเทียร์).....	36
3.2 วงจรรักษาระดับแรงดันไฟฟ้า (Regulator).....	36
3.2.1 การออกแบบและการทำงาน (LM2576-5).....	37
3.3 การออกแบบวงจร Converter และการคำนวณ (LM2577T-ADJ).....	37
3.3.1 การคำนวณค่าตัวต้านทานที่ใช้ควบคุมขนาดแรงดัน.....	38
3.3.2 การคำนวณค่าคงที่ แรงดันในไมโครวินาที ของขดลวดเหนี่ยวนำ.....	38

สารบัญ(ต่อ)

3.3.3 การเลือกตัวเก็บประจุขาออก.....	39
3.3.4 การเลือกใช้งานไดโอด.....	40
3.4 วงจรจำกัดกระแส	41
3.5 วงจร Opto isolator.....	42
3.6 ซอฟต์แวร์และการเขียนโปรแกรม.....	43
3.7 โปรแกรมภาษา C ที่เขียนลงใน Microcontroller.....	44
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง.....	48
4.1. การทดสอบหาคุณสมบัติของเทอร์โมอิเล็กทริก.....	48
4.1.1 ทดสอบหาแรงดันสูงสุด ที่ความแตกต่างของอุณหภูมิค่าต่างๆ ขณะเปิดวงจร.....	48
4.1.2 ทดสอบหากระแสสูงสุด ที่ความแตกต่างของอุณหภูมิค่าต่างๆ ขณะปิดวงจร.....	48
4.1.3 ทดสอบหาแรงดันและกระแส ที่ความแตกต่างของอุณหภูมิต่างๆ.....	48
4.1.3.1 แรงดันและกระแส เมื่อ $\Delta T = 10\text{ }^{\circ}\text{C}$	48
4.1.3.2 แรงดันและกระแส เมื่อ $\Delta T = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$	48
4.1.3.3 แรงดันและกระแส เมื่อ $\Delta T = 30\text{ }^{\circ}\text{C}$	48
4.1.3.4 แรงดันและกระแส เมื่อ $\Delta T = 40\text{ }^{\circ}\text{C}$	48
4.1.3.5 แรงดันและกระแส เมื่อ $\Delta T = 50\text{ }^{\circ}\text{C}$	48
4.1.3.6 แรงดันและกระแส เมื่อ $\Delta T = 60\text{ }^{\circ}\text{C}$	48
4.2 การทดสอบวงจรแปลงระดับแรงดัน.....	51
4.2.1 ทดสอบแรงดันวงจรแปลงระดับแรงดัน (Step up converter) ขณะเปิดวงจร.....	51
4.2.2 ทดสอบแรงดันและกระแสของวงจรแปลงระดับแรงดัน (Step up converter) ขณะเปิดวงจร.....	52
4.2.3 ทดสอบแรงดันของวงจรแปลงระดับแรงดัน (Step up converter) ขณะตั้งกระแส 100 mA.....	53
4.2.4 ทดสอบแรงดันและกระแสของวงจรแปลงระดับแรงดัน (Step up converter) ขณะตั้งกระแส 100 mA.....	54

สารบัญ(ต่อ)

4.3 การทดสอบวงจรจำกัดกระแส.....	55
4.3.1 การทดสอบวงจรจำกัดกระแส ขณะปัดวงจร (Shot Circuit).....	55
4.3.2 การทดสอบวงจรจำกัดกระแส ขณะ $I_{out} = 0.25 \text{ A}$	56
4.3.3 การทดสอบวงจรจำกัดกระแส ขณะ $I_{out} = 0.5 \text{ A}$	57
4.3.4 การทดสอบวงจรจำกัดกระแส ขณะ $I_{out} = 0.75 \text{ A}$	57
4.3.5 การทดสอบวงจรจำกัดกระแส ขณะ $I_{out} = 1 \text{ A}$	58
4.3.6 การทดสอบวงจรจำกัดกระแส ขณะ $I_{out} = 1.25 \text{ A}$	58
4.3.7 การทดสอบวงจรจำกัดกระแส ขณะ $I_{out} 1.5 \text{ A}$	59
บทที่5 วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง.....	60
5.1 แหล่งจ่ายเทอร์โมอิเล็กทริก.....	60
5.2 วงจรแปลงแรงดัน.....	60
5.3 วงจรจำกัดกระแส.....	60
5.4 Microcontroller.....	60
บรรณานุกรม.....	62
ภาคผนวก.....	63

สารบัญรูปภาพ

	หน้า
บทที่ 2 รูปที่ 2.1 เทอร์โมอิเล็กทริก (Peltier).....	3
รูปที่ 2.2 แสดงการทำงานของเทอร์โมอิเล็กทริก.....	4
รูปที่ 2.3 โครงสร้างของเทอร์โมอิเล็กทริก.....	4
รูปที่ 2.4 วงจรพื้นฐานของฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์.....	6
รูปที่ 2.5 กราฟแสดงลักษณะกระแสและแรงดันในวงจร ฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ขณะทำงาน.....	7
รูปที่ 2.6 วงจรพื้นฐานของฟอร์เวิร์ดคอนเวอร์เตอร์.....	7
รูปที่ 2.7 กราฟแสดงลักษณะกระแสและแรงดัน ในวงจรฟอร์เวิร์ดคอนเวอร์เตอร์ขณะทำงาน.....	9
รูปที่ 2.8 วงจรพื้นฐานของพช-พูลคอนเวอร์เตอร์.....	10
รูปที่ 2.9 วงจรพื้นฐานของฮาล์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์.....	11
รูปที่ 2.10 (บน) ขณะ Q1 นำกระแส (ล่าง) ขณะ Q2 นำกระแส.....	12
รูปที่ 2.11 วงจรพื้นฐานของฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์.....	13
รูปที่ 2.12 แสดงตัวอย่างข้อมูลขีดความสามารถของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F877A แบบ 28 ขา และ 40 ขา.....	15
รูปที่ 2.13 แสดงตำแหน่งขา (PIN Diagram) ของตัวถังแบบต่างๆ.....	16
รูปที่ 2.14 แสดงสถาปัตยกรรมที่เป็นโครงสร้างของ ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877A.....	17
รูปที่ 2.15 โครงสร้างและขาสัญญาณของ MCP3208.....	20
รูปที่ 2.16 ไดอะแกรมแสดงการทำงานของ MCP3208.....	20
รูปที่ 2.17 ไดอะแกรมแสดงการทำงานรับค่าสัญญาณอนาล็อกของ MCP3208.....	21
รูปที่ 2.18 สัญลักษณ์ทางไฟฟ้าของอุปกรณ์เชื่อมต่อทางแสง.....	23
รูปที่ 2.19 สัญลักษณ์ทางไฟฟ้าและตัวถังของ 4N35 แบบ 6ขา.....	24
รูปที่ 2.20 ตัวอย่างอุปกรณ์เชื่อมต่อทางแสงที่ใช้ตัวถังแบบต่างๆ.....	24
รูปที่ 2.21 การต่อแบตเตอรี่แบบอนุกรม.....	25
รูปที่ 2.22 การต่อแบตเตอรี่แบบขนาน.....	25
รูปที่ 2.23 การต่อแบตเตอรี่แบบอนุกรม-ขนาน.....	26
รูปที่ 2.24 แสดงส่วนประกอบของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด (Lead-acid Battery).....	27

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่ 2.25	โครงแผ่นธาตุ.....	28
รูปที่ 2.26	แผ่นกัน.....	28
รูปที่ 2.27	แบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด แบบปิด.....	31
รูปที่ 2.28	โครงสร้างวาล์วละบายแก๊ส.....	31
รูปที่ 2.29	เปรียบเทียบระหว่างแบตเตอรี่ Flooded กับ VRLA.....	32
รูปที่ 2.30	แบตเตอรี่แบบเจล.....	32
รูปที่ 2.31	แบตเตอรี่ แบบ Absorbed Glass Mat (AGM).....	33
บทที่ 3	รูปที่ 3.1 โครงสร้างของระบบ.....	36
	รูปที่ 3.2 วงจร Regulator โดยใช้ LM2576-5.....	37
	รูปที่ 3.3 วงจร step-up converter โดยใช้ LM2577-ADJ.....	37
	รูปที่ 3.4 กราฟความสัมพันธ์ค่า E . T กับค่ากระแสภาระสูงสุด.....	38
	รูปที่ 3.5 ตารางการเลือกใช้ไดโอด.....	40
	รูปที่ 3.6 วงจรจำกัดกระแส โดยใช้ LM2576-adj.....	41
	รูปที่ 3.7 วงจรไดรฟ์กระแสเพื่อใช้ในการประจุแบตเตอรี่.....	42
	รูปที่ 3.8 แสดง Flow Chart ของการเขียนโปรแกรมตรวจสอบสถานะของแบตเตอรี่.....	43
บทที่ 4	รูปที่ 4.1 แสดงกราฟคุณสมบัติของแหล่งจ่ายเทอร์โมอิเล็กทริก.....	50
	รูปที่ 4.2 แสดงการทดสอบแรงดันวงจรแปลงระดับแรงดัน ขณะเปิดวงจร (Open Circuit).....	51
	รูปที่ 4.3 แสดงการทดสอบแรงดันและกระแสของวงจรแปลงแรงดัน ขณะเปิดวงจร (Open Circuit).....	52
	รูปที่ 4.4 ทดสอบแรงดันของวงจรแปลงระดับแรงดัน ขณะตั้งกระแส 100mA.....	53
	รูปที่ 4.5 ทดสอบแรงดันและกระแสของวงจรแปลงระดับแรงดัน ขณะตั้งกระแส 100mA.....	54
	รูปที่ 4.6 เปรียบเทียบกระแสอินพุท ขณะเปิดวงจร และขณะตั้งกระแส 100mA.....	55
	รูปที่ 4.7 แสดงกราฟคุณสมบัติของวงจรจำกัดกระแส.....	59

สารบัญตาราง

	หน้า
บทที่ 4 ตารางที่ 4.1 แรงดันและกระแส เมื่อ $\Delta T = 10\text{ }^{\circ}\text{C}$	48
ตารางที่ 4.2 แรงดันและกระแส เมื่อ $\Delta T = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$	49
ตารางที่ 4.3 แรงดันและกระแส เมื่อ $\Delta T = 30\text{ }^{\circ}\text{C}$	49
ตารางที่ 4.4 แรงดันและกระแส เมื่อ $\Delta T = 40\text{ }^{\circ}\text{C}$	49
ตารางที่ 4.5 แรงดันและกระแส เมื่อ $\Delta T = 50\text{ }^{\circ}\text{C}$	50
ตารางที่ 4.6 แรงดันและกระแส เมื่อ $\Delta T = 60\text{ }^{\circ}\text{C}$	50
ตารางที่ 4.7 ทดสอบแรงดันของวงจรแปลงแรงดัน ขณะเปิดวงจร.....	51
ตารางที่ 4.8 ทดสอบแรงดันและกระแสของวงจรแปลงแรงดัน ขณะเปิดวงจร.....	52
ตารางที่ 4.9 ทดสอบแรงดันและกระแสของวงจรแปลงแรงดัน ขณะตั้งกระแส 100mA.....	53
ตารางที่ 4.10 ทดสอบแรงดันและกระแสขงวงจรแปลงระดับแรงดัน ขณะตั้งกระแส 100mA.....	54
ตารางที่ 4.11 ทดสอบวงจรจำกัดกระแส ขณะปิดวงจร (Shot Circuit).....	55
ตารางที่ 4.12 ทดสอบวงจรจำกัดกระแส ขณะกำหนดให้ $I_{out} = 0.25\text{ A}$	56
ตารางที่ 4.13 ทดสอบวงจรจำกัดกระแส ขณะกำหนดให้ $I_{out} = 0.5\text{ A}$	57
ตารางที่ 4.14 ทดสอบวงจรจำกัดกระแส ขณะกำหนดให้ $I_{out} = 0.75\text{ A}$	57
ตารางที่ 4.15 ทดสอบวงจรจำกัดกระแส ขณะกำหนดให้ $I_{out} = 1\text{ A}$	58
ตารางที่ 4.16 ทดสอบวงจรจำกัดกระแส ขณะกำหนดให้ $I_{out} = 1.25\text{ A}$	58
ตารางที่ 4.17 ทดสอบวงจรจำกัดกระแส ขณะกำหนดให้ $I_{out} = 1.5\text{ A}$	59

บทที่ 1

บทนำ

1.1. ความสำคัญของปริญญานิพนธ์

ปัจจุบัน ประเทศไทยมีความต้องการในการใช้พลังงานไฟฟ้าที่เพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว พลังงานไฟฟ้านั้นมีความสำคัญเป็นอย่างมากในวันที่ประเทศไทยเจริญรุ่งเรืองเฉกเช่นปัจจุบันนี้ แต่ทว่า ความต้องการที่สูงขึ้นของประชากรไทย ส่งผลให้พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตในแต่ละวัน มีแนวโน้มว่าจะไม่เพียงพอต่อความต้องการในอนาคตของผู้บริโภค หน่วยงานต่างๆทั้งทางภาครัฐและเอกชน หันมาให้ความสำคัญเกี่ยวกับเรื่องดังกล่าวมากขึ้น ละมีนโยบายในการสนับสนุนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการเก็บเกี่ยวพลังงาน(Energy Harvesting) กล่าวคือ พลังงานเพียงเล็กน้อยหากรู้จักเก็บเกี่ยว ก็สามารถที่จะนำมาใช้ให้เกิดประโยชน์ได้ นอกจากนี้ เรื่องของพลังงานทดแทนยังถูกเขียนไว้ในแผนพัฒนาเศรษฐกิจแห่งชาติอีกด้วย

พลังงานทดแทน เช่น พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานน้ำ พลังงานลม ซึ่งเป็นที่นิยม แต่ก็มีข้อจำกัดในการใช้งานและเกี่ยวเนื่องกับภูมิประเทศและสภาพอากาศ เทอร์โมอิเล็กทริก สามารถเปลี่ยนพลังงานความร้อนเป็นพลังงานไฟฟ้าได้โดยตรง พลังงานจากแหล่งจ่าย เทอร์โมอิเล็กทริกได้เปรียบตรงที่บำรุงรักษาง่าย ไม่มีเสียงรบกวนขณะอุปกรณ์ทำงานอีกด้วย

1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์

1. ออกแบบระบบอัดประจุแบตเตอรี่ด้วยพลังงานจากอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริก อย่างมีประสิทธิภาพ
2. ตระหนักถึงหลักการการเก็บเกี่ยวพลังงานที่ถึงแม้ว่าจะเป็นพลังงานเพียงเล็กน้อย ก็ต้องถูกนำมาใช้ให้ได้ประโยชน์มากที่สุด
3. เพื่อเป็นทางเลือกในการเก็บเกี่ยวพลังงาน และเป็นแบบแผนสำหรับผู้ที่ต้องการศึกษาและพัฒนาในอนาคต

1.3. ขอบเขตของปริญญานิพนธ์

1. สามารถนำพลังงานความร้อนจากระบบระบายความร้อนเครื่องยนต์ แปลงเป็นพลังงานไฟฟ้าได้อย่างเหมาะสมกับแบตเตอรี่
2. สามารถควบคุมปริมาณการไหลของกระแสที่อัดประจุแบตเตอรี่ได้
3. สามารถนำพลังงานที่อัดประจุแบตเตอรี่ข้างต้น ไปใช้ให้เกิดประโยชน์ได้

1.4. ขั้นตอนการศึกษา

1. ศึกษาค้นคว้าหาข้อมูลเกี่ยวกับแบตเตอรี่ตะกั่วกรด ในส่วนของ โครงสร้างภายในของแบตเตอรี่ หลักการทำงาน สถานะการอัดประจุ
2. ออกแบบวงจรเพิ่มระดับแรงดัน วงจรรักษาแรงดันคงที่ วงจรควบคุมกระแส เพื่อให้ได้แรงดันและกระแสที่เหมาะสมในการอัดประจุแบตเตอรี่
3. นำองค์ความรู้ต่าง ๆ มาประยุกต์เพื่อประจุแบตเตอรี่ซึ่งควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์
4. ประกอบเป็นระบบเพื่อสร้างเป็นชิ้นงานที่เสร็จสมบูรณ์



บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

2.1 อุปกรณ์กำเนิดพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานความร้อน

2.1.1 เทอร์โมอิเล็กทริก

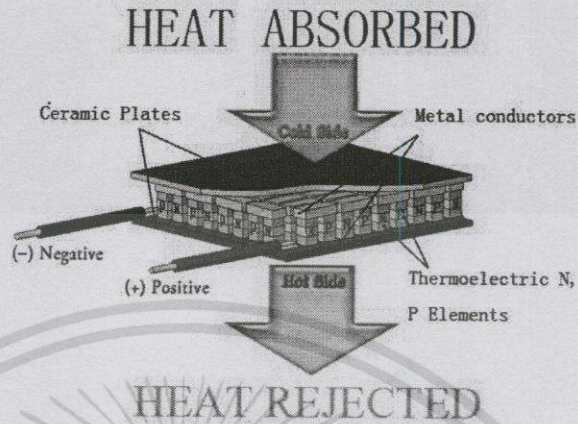
ในส่วนของการจ่ายพลังงานนี้ ในวงจรประจุแบตเตอรี่ด้วยพลังงานความร้อนจากระบบระบายความร้อนเครื่องยนต์จะเลือกใช้ "เทอร์โมอิเล็กทริก" ในการจ่ายพลังงาน ไฟฟ้า ซึ่งจะนำแผ่นเทอร์โมอิเล็กทริกด้านร้อนประกบกับหม้อน้ำของรถจักรยานยนต์ และส่วนของ ด้านเย็นจะประกบกับ Heat sink เพื่อระบายความร้อนส่วนเกินออกไป

โครงสร้างและหลักการการทำงานของเพลเทียร์ (Peltier) โครงสร้างเบื้องต้นของอุปกรณ์เพลเทียร์ประกอบด้วยสารชนิดเอ็น (N-type) และ (P-type) ของบิสมัทเทลลูไรด์ (สร้าง มาจากสารผสมบิสมัท (Bi) กับเทลลูเรียม (Te) วางลงบนฐานรองเซรามิก) ที่สร้างเป็นรูปลูกเต๋าเล็กๆจำนวนมากแล้วนำเอาแผ่นเซรามิกมาประกบไว้ทั้งสองด้านในขณะที่สารพีและเอ็นซึ่งทำเป็นเนื้ออัลลอยส์ระหว่างบิสมัท (Bismuth) และเทลลูเรียม (Tellurium) ทั้งสองมีความต่างในความหนาแน่น ของอิเล็กตรอนอิสระที่อุณหภูมิเท่ากันลูกเต๋าด้านชนิดพีเป็นโลหะที่มีอิเล็กตรอนไม่พอเพียง (Deficiency of electrons) ในขณะที่ลูกเต๋าด้านชนิดเอ็นเป็นโลหะที่มีอิเล็กตรอนหนาแน่นมากจนเหลือเพื่อ (Excess of electrons)

รูปที่ 2.1 เทอร์โมอิเล็กทริก (Peltier)

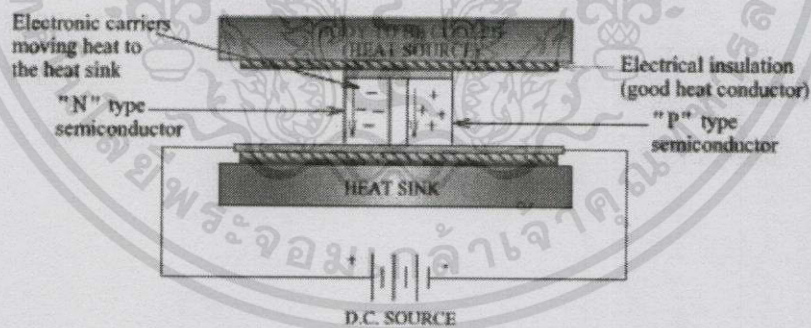
เมื่อกระแสไหลผ่านตัวโมดูลมันจะพยายามสร้างดุลภาพ (Attempts to establish) ขึ้นในมวลภายในกระแสที่กระทำกับสารชนิดพีทำให้จังก์ชันเกิดความร้อนขึ้นต้องการทำให้เกิดความเย็นและสารชนิดเอ็นเกิดความร้อนขึ้นต้องการทำให้เกิดความร้อนทั้งนี้เพื่อดำรงดุลภาพตัวเองไว้ให้ได้เมื่ออุปกรณ์นี้ทำงานในระดับอุณหภูมิเดียวกันทำให้ด้านที่เกิดความร้อนเพิ่มขึ้นและด้านที่เกิดความเย็นมีความเย็นมากขึ้น

โดยทั่วไปเพลเทียร์ทำงานด้วยกระแส 4-10 แอมป์ที่แรงดันไฟ 12 โวลต์ แต่ในการผลิตเพื่องานอุตสาหกรรมผลิตเพลเทียร์ให้ทำงานด้วยกระแส 100 แอมป์ หรือมากกว่านี้



รูปที่ 2.2 แสดงการทำงานของเทอร์โมอิเล็กทริก

จากคุณสมบัติข้างต้น เทอร์โมอิเล็กทริกประกอบด้วยสารกึ่งตัวนำสองชนิดคือสาร N-Type และสาร P-Type ซึ่งต่อกันทางไฟฟ้าและต่อขนานกันทางความร้อน ดังนั้น การผลิตพลังงานไฟฟ้า จะเกิดขึ้นเมื่อป้อนพลังงานความร้อนเข้าที่ด้านหนึ่งของเทอร์โมอิเล็กทริกและควบคุมอุณหภูมิอีกด้านหนึ่งไว้ที่ระดับต่ำกว่าโดยใช้ตัวระบายความร้อน ผลของอุณหภูมิที่แตกต่างกันจะทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าไหลได้ถ้ามีภาระทางไฟฟ้าต่ออยู่นอกทำให้วงจรสมบูรณ์ แรงดันและกำลังงานที่เทอร์โมอิเล็กทริกผลิตได้นั้นจะขึ้นอยู่กับพลังงานความร้อนที่ได้รับ ระบบระบายความร้อน และจำนวนของโมดูลที่นำมาต่อรวมกัน



รูปที่ 2.3 โครงสร้างของเทอร์โมอิเล็กทริก

เมื่อต่อกันครบวงจร ดังรูปที่ P-type จะดูดอิเล็กตรอนเข้ามาทางขวา ซึ่งมีอยู่ตรงรอยต่อ (Junction) ทำให้ด้านขวามือเป็นเมื่อโปรตอนจากความร้อนมากระทบ จะทำให้ประจุบวกลบ ซึ่งเป็นกลางแยกออกจากกัน เรียกว่า Hole-Pair ทำให้ประจุลบจากขวาวิ่งผ่านรอยต่อไปทางซ้าย เป็นการเคลื่อนที่ของประจุลบ (ทวนเข็มนาฬิกา) ทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าเคลื่อนที่ไปในทิศสวนกลับ คือ ตามเข็มนาฬิกา

เทอร์โมอิเล็กทริกสามารถเปลี่ยนพลังงานความร้อนให้เป็นพลังงานไฟฟ้าได้โดย
สมการการถ่ายเทความร้อนที่ด้านเย็นหรือด้านร้อนตามสมการที่ 3.1

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

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)
Kt	คือ	ค่าสภาพนำความร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริก (Watt/cm-K)

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

โดยที่ R_L คือ ความต้านทานโหลดไฟฟ้า

และจะได้ค่าแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุต คือ

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

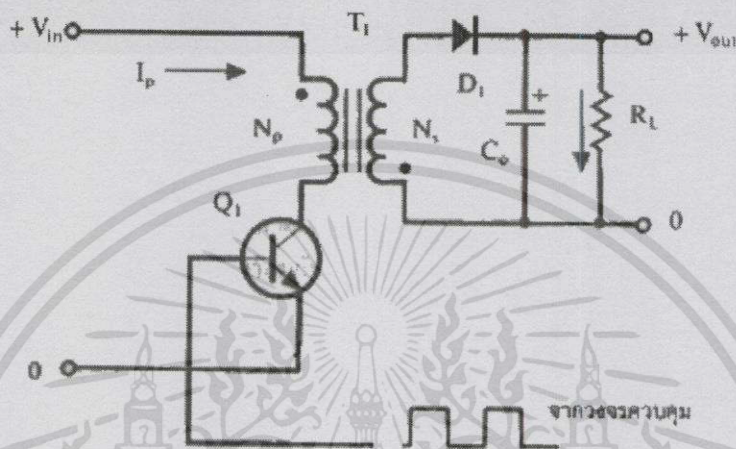
$$I = \alpha \Delta T / (R + R_L) \quad (3.4)$$

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

2.2 วงจรแปลงระดับแรงดันไฟฟ้า (Converter)

คอนเวอร์เตอร์ทั้ง 5 แบบนี้ มีลักษณะการทำงานที่ไม่แตกต่างกันจนเกินไปนัก และค่อนข้างง่ายต่อการทำความเข้าใจและศึกษา คอนเวอร์เตอร์เหล่านี้ยังสามารถแบ่งย่อยได้อีกหลายประเภทโดยการเพิ่มเทคนิคบางประการให้กับคอนเวอร์เตอร์ ในที่นี้จะกล่าวถึงแต่เพียงการทำงานพื้นฐานเท่านั้น

2.2.1 ฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์



รูปที่ 2.4 วงจรพื้นฐานของฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์

จากรูปที่ 2.4 เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ Q1 ในฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์จะทำงานในลักษณะ เป็นสวิตช์ และจะนำกระแสตามคำสั่งของพัลส์สี่เหลี่ยมที่ป้อนให้ทางขาเบส เนื่องจากหม้อแปลง T1 จะกำหนดขดไพรมารีและขดเซคันดารีให้มีลักษณะกลับเฟสกันอยู่ ดังนั้นเมื่อ Q1 นำกระแส ไดโอด D1 จึงอยู่ในลักษณะถูกไบแอสกลับและไม่นำกระแส จึงมีการสะสมพลังงานที่ขดไพรมารี ของหม้อแปลง T1 แทน เมื่อ Q1 หยุดนำกระแส สนามแม่เหล็ก T1 ยุบตัวทำให้เกิดการกลับขั้ว แรงดันที่ขดไพรมารีและเซคันดารี D1 ก็จะถูกไบแอสตรง พลังงานที่สะสมในขดไพรมารี ของหม้อแปลง ก็จะถูกถ่ายเทออกไปยังขดเซคันดารี และมีกระแสไหลผ่านไดโอด D1 ไปยังตัวเก็บประจุเอาต์พุต C_o และโหลดได้ ค่าของแรงดันที่เอาต์พุตของคอนเวอร์เตอร์ จะขึ้นอยู่กับค่าความถี่ การทำงานของ Q1 ช่วงเวลานำกระแสของ Q1 อัตราส่วนจำนวนรอบของหม้อแปลง และค่าของ แรงดันที่อินพุต เมื่อวงจรทำงานอยู่ในสภาวะคงที่ ค่าแรงดันเอาต์พุตที่ได้จากคอนเวอร์เตอร์ จะเป็นไปตามสมการ

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

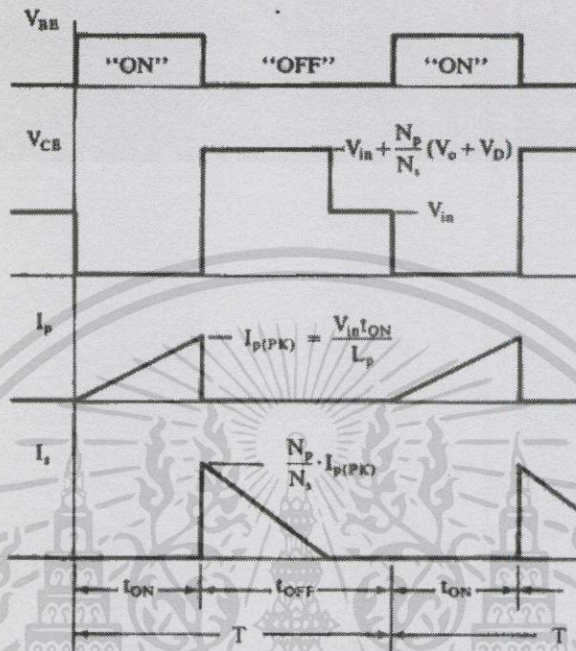
T คือ คาบเวลาการทำงานของ Q1 เป็นวินาที

t_{ON} คือ ช่วงเวลา

N_p คือ จำนวนรอบของขดไพรมารี

N_s คือ จำนวนรอบของขดเซคันดารี

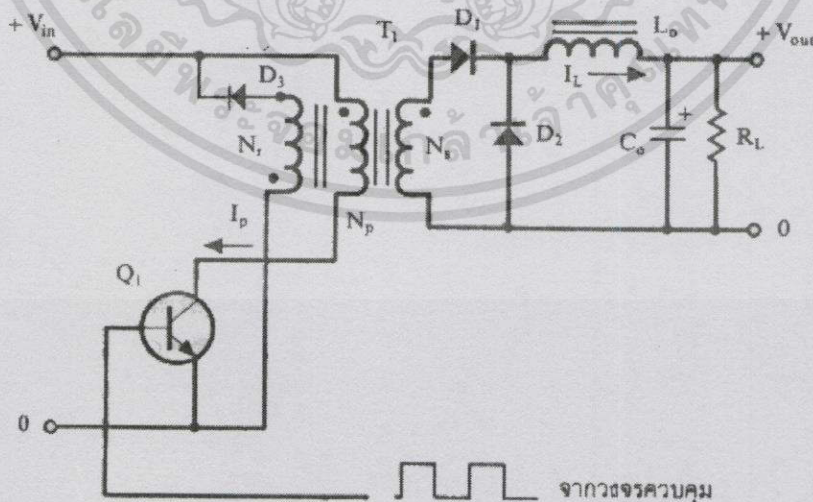
V_{out} คือ แรงดันที่เอาต์พุตของคอนเวอร์เตอร์ เป็นโวลต์
 V_{in} คือ แรงดันที่อินพุตของคอนเวอร์เตอร์ เป็นโวลต์
 $V_{ce(sat)}$ คือ แรงดันตกคร่อม Q1 ขณะนำกระแสที่จุดอิ่มตัว เป็นโวลต์
 V_D คือ แรงดันตกคร่อมไดโอด D1 ขณะนำกระแส เป็นโวลต์



รูปที่ 2.5 กราฟแสดงลักษณะกระแสและแรงดันในวงจรฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ขณะทำงาน

ฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์เป็นคอนเวอร์เตอร์ที่ให้กำลังงานได้ไม่สูงนัก โดยอยู่ในช่วงไม่เกิน 150 วัตต์ และให้ค่าสัญญาณรบกวน RFI/EMI ค่อนข้างสูง แต่ใช้อุปกรณ์น้อยและมีราคาถูก

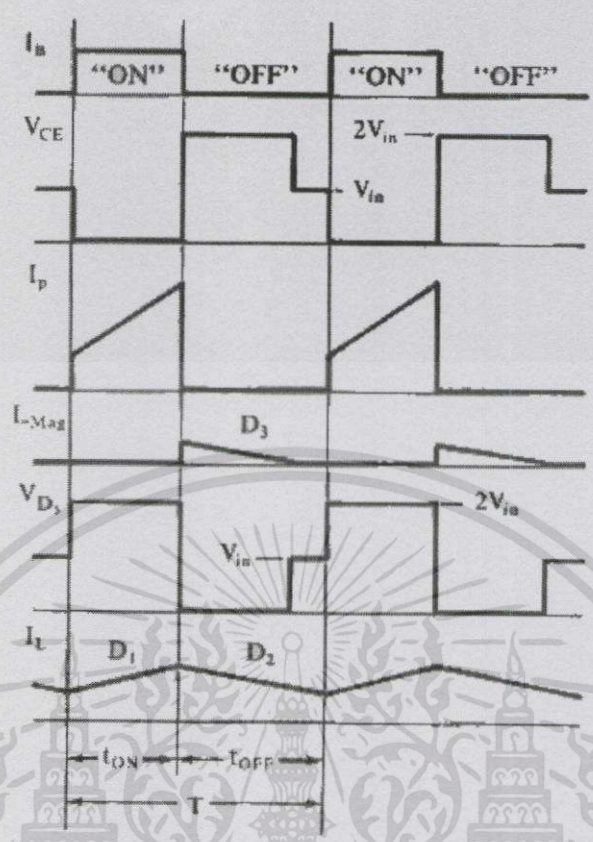
2.2.2 ฟอร์เวิร์ดคอนเวอร์เตอร์



รูปที่ 2.6 วงจรพื้นฐานของฟอร์เวิร์ดคอนเวอร์เตอร์

วงจรมูลฐานของฟอร์เวิร์ดคอนเวอร์เตอร์แสดงไว้ในรูปที่ 3.7 จะเห็นได้ว่าฟอร์เวิร์ดคอนเวอร์เตอร์มีลักษณะใกล้เคียงกับฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์แต่พื้นฐานการทำงานจะแตกต่างกันคือหม้อแปลงในฟอร์เวิร์ดคอนเวอร์เตอร์จะทำหน้าที่ส่งผ่านพลังงานในช่วงที่เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์นำกระแสแตกต่างจากฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ซึ่งหม้อแปลงจะสะสมพลังงานในช่วงที่เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์นำกระแสแล้วจึงถ่ายเทพลังงานออกไปขณะที่เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์หยุดนำกระแส การทำงานของ วงจรจะเป็นดังนี้

เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ Q1 จะทำงานโดยนำกระแสและหยุดนำกระแสสลับกันไป เมื่อ Q1 นำกระแส จะมีกระแสไหลผ่านขดไพรimary N_p และตัวมันเนื่องจากหม้อแปลง T1 ในฟอร์เวิร์ดคอนเวอร์เตอร์จำกัดขดไพรimary และเซคันดารีให้มีเฟสตรงกัน ดังนั้นไดโอด D1 จึงถูกไบแอสตรงทำให้มีกระแสไหลที่เซคันดารี N_s ผ่านตัวเหนี่ยวนำ L_o ไปยังตัวเก็บประจุเอาต์พุต C_o และโหลดได้ขณะที่มีกระแสไหลผ่าน L_o จะมีการสะสมพลังงานไว้ในตัวมันด้วยส่วนไดโอด D2 จะอยู่ในลักษณะไบแอสกลับจึงไม่มีการนำกระแสเช่นเดียวกันไดโอด D3 เนื่องจากขดตีแมกเนตซึ่ง N_r ถูกพันไว้ในทิศตรงข้ามกับขดไพรimary N_p ไดโอด D3 จึงอยู่ในลักษณะไบแอสกลับและไม่มีกระแสไหลเมื่อ Q1 หยุดนำกระแสไดโอด D1 จะถูกไบแอสกลับและไม่มีกระแสไหลจากขดเซคันดารี N_s แต่ในขณะที่ขดตีแมกเนตที่เกิดขึ้นใน L_o ยุบตัวทำให้มีการกลับขั้วแรงดันที่ L_o ไดโอด D2 จึงถูกไบแอสตรงพลังงานที่ถูกสะสมไว้ใน L_o จะถูกถ่ายเทออกมาทำให้มีกระแสไหลผ่านไดโอด D2 ไปยังตัวเก็บประจุ C_o และโหลดได้กระแสที่ไหลผ่านโหลดจึงมี ลักษณะต่อเนื่อง ทั้งในช่วงที่ Q1 นำกระแสและหยุดนำกระแสทำให้มีการระเหิมของแรงดันที่ เอาต์พุตต่ำกว่า ฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ ในขณะที่ Q1 หยุดนำกระแส สนามแม่เหล็กที่ตกค้างภายในหม้อแปลง จะมีการยุบตัวและกลับขั้วแรงดันที่ขด N_p, N_s และ N_r ไดโอด D3 จะอยู่ในลักษณะถูกไบแอสตรง ทำให้มีการถ่ายเทพลังงานที่เหลือค้างนี้ออกไปได้ชัดเจนตีแมกเนตซึ่ง N_r และไดโอด D3 นี้ มีความสำคัญมากเพราะถ้าไม่มีการถ่ายเทพลังงานที่ตกค้างออกไปจากขดไพรimary ในขณะ Q1 หยุดนำกระแส เมื่อ Q1 เริ่มนำกระแสอีกครั้ง สนามแม่เหล็กที่หลงเหลืออยู่จะทำให้ Q1 เป็นอันตรายได้



รูปที่ 2.7 กราฟแสดงลักษณะกระแสและแรงดันในวงจรฟอร์เวิร์ดคอนเวอร์เตอร์ขณะทำงาน

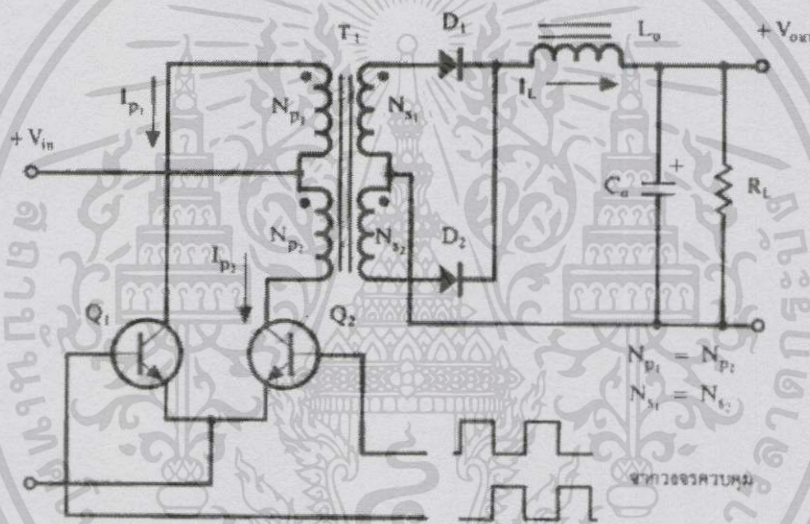
สำหรับฟอร์เวิร์ดคอนเวอร์เตอร์ เมื่อวงจรทำงานอยู่ในสภาวะคงที่ ค่าแรงดันเอาต์พุตที่ได้จาก คอนเวอร์เตอร์จะเป็นไปตามสมการ

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

ฟอร์เวิร์ดคอนเวอร์เตอร์ให้กำลังงานได้ในช่วงเดียวกับฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ (ในช่วง 100 - 200 วัตต์) แต่กระแสที่ได้จะมีการกระเพื่อมต่ำกว่า อย่างไรก็ตาม ตัวอุปกรณ์ที่เพิ่มเข้ามาจะให้มึราคาสูงกว่า

2.2.3 พุช-พูลคอนเวอร์เตอร์

พุชพูลคอนเวอร์เตอร์เป็นคอนเวอร์เตอร์ที่จ่ายกำลังได้สูงในช่วง 200-1000 วัตต์ แต่มีข้อเสียคือมักเกิดการไม่สมมาตรของฟลักซ์แม่เหล็กของแกนหม้อแปลงซึ่งจะมีผลต่อการพังเสียหายของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ได้ง่ายในปัจจุบันเทคนิคการควบคุมแบบควบคุมกระแสช่วยลดปัญหานี้ลงได้ดังนั้น พุชพูลคอนเวอร์เตอร์จึงเป็นคอนเวอร์เตอร์ที่น่าสนใจสำหรับสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลายที่ต้องการกำลังสูงการทำงานของพุช-พูลคอนเวอร์เตอร์เปรียบเสมือนการนำฟอว์เวิร์ดคอนเวอร์เตอร์สองชุดมา ทำงานร่วมกันโดยผลัดกันทำงานในแต่ละครึ่งคาบเวลาในลักษณะกลับเฟสทำให้จ่ายกำลังได้สูงเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ในวงจรยังคงมีแรงดันตกคร่อมในขณะที่หยุดนำกระแสค่อนข้างสูงเช่นเดียวกับฟลายแบคและฟอว์เวิร์ดคอนเวอร์เตอร์รวมทั้งปัญหาการเกิดฟลักซ์ไม่สมมาตรในแกนเฟอร์ไรต์ของวงจรทำให้เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์พังเสียหายง่ายพุชพูลคอนเวอร์เตอร์เป็นพื้นฐานของฮาล์ฟบริดจ์และฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ซึ่งมีการทำงานคล้ายกัน แต่มีข้อบกพร่องน้อยกว่า

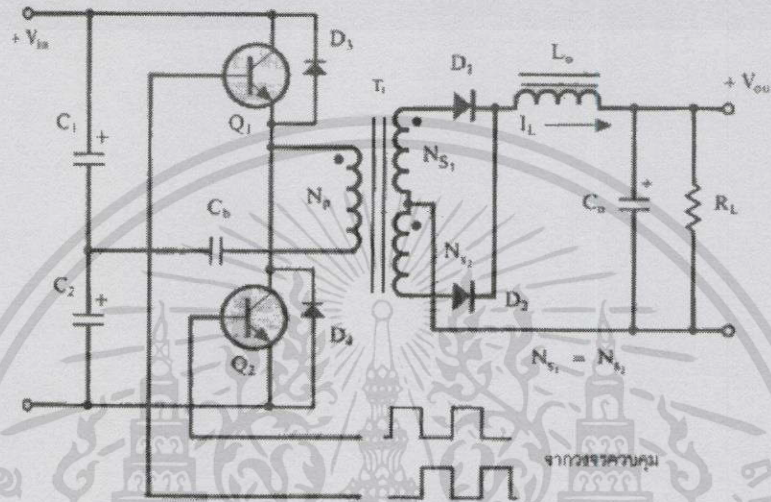


รูปที่ 2.8 วงจรพื้นฐานของพุช-พูลคอนเวอร์เตอร์

วงจรพื้นฐานของพุช-พูลคอนเวอร์เตอร์ แสดงไว้ในรูปที่ 2.8 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 และโหลดในจังหวะนี้แรงดันตกคร่อม 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 และโหลดจะเห็นว่าในหนึ่งคาบเวลาการทำงานขดเซคันดารีจะให้กระแสไหลผ่าน L_o ได้ถึงสองครั้งพุชพูลคอนเวอร์เตอร์จึงสามารถจ่ายกำลังงานได้มากเป็นสองเท่าของฟอว์เวิร์ดคอนเวอร์เตอร์ที่ค่ากระแสสูงสุดด้านไพรมารีมีค่าเท่ากันและโหลดมีกระแสไหลต่อเนื่องตลอดเวลากระแสที่ได้ทางเอาต์พุตจึงค่อนข้าง เรียบ

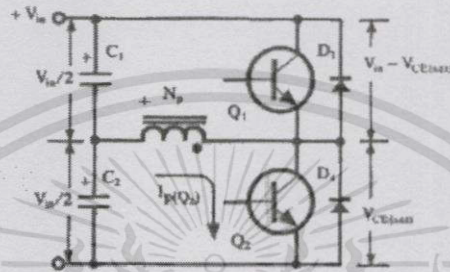
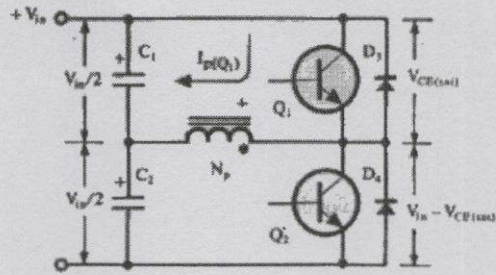
2.2.4 ฮาล์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์

ฮาล์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์จัดอยู่ในตระกูลเดียวกับพุกูลคอนเวอร์เตอร์แต่ลักษณะการจัดวงจรจะทำให้เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ในวงจรมีแรงดันตกคร่อมขณะหยุดนำกระแสเพียงค่าแรงดันอินพุตเท่านั้นทำให้เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ที่ใช้มีราคาถูกและหาได้ง่ายกว่าและลดข้อจำกัดเมื่อใช้กับระบบแรงดันไฟสูงได้มากกว่ารวมทั้งยังไม่มีปัญหาการไม่สมมาตรของฟลักซ์ในแกนเฟอร์ไรต์ของหม้อแปลงได้ด้วย



รูปที่ 2.9 วงจรพื้นฐานของฮาล์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์

วงจรพื้นฐานของฮาล์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์แสดงไว้ในรูปที่ 2.9 การทำงานเป็นดังต่อไปนี้ตัวเก็บประจุ C_1 และ C_2 ถูกกำหนดให้มีค่าเท่ากัน ต่ออนุกรมกันอยู่ทางด้านอินพุตเพื่อแบ่งครึ่งแรงดัน แรงดันตกคร่อม C_1 และ C_2 จึงมีค่าเท่ากับครึ่งหนึ่งของแรงดันที่อินพุต เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ Q_1 และ Q_2 จะสลับกันทำงานคนละครึ่งคาบเวลา เช่นเดียวกับพุกูลคอนเวอร์เตอร์เพื่อให้ง่ายต่อการพิจารณาวจร จะพิจารณาในกรณีที่ไม่มีตัวเก็บประจุ C_b อยู่ในวงจร โดยให้ปลายของขดไพรมารี N_p ที่ต่ออยู่กับ C_b นั้นต่อโดยตรงเข้ากับจุดต่อระหว่างตัวเก็บประจุ C_1 และ C_2

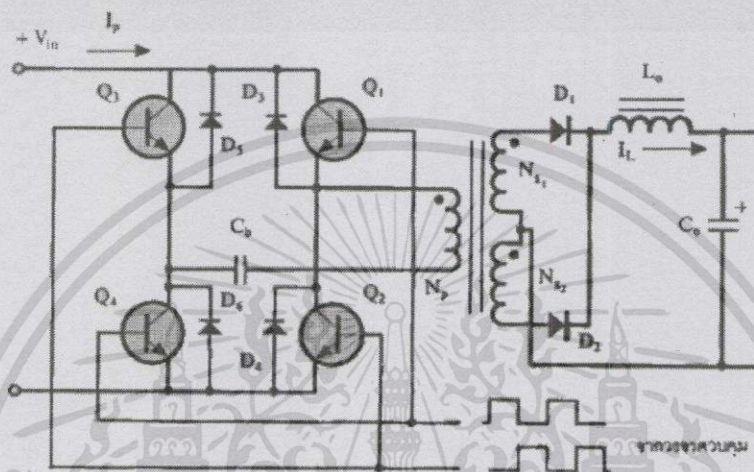


รูปที่ 2.10 (บน) ขณะ Q1 นำกระแส (ล่าง) ขณะ Q2 นำกระแส

เมื่อ Q1 เริ่มนำกระแส และ Q2 ไม่นำกระแส แรงดันตกคร่อม Q2 จะมีค่าเท่ากับ $V_{in} - V_{ce(sat)}$ ส่วนแรงดันตกคร่อมของไทรมารี N_p จะมีค่าเท่ากับ $V_{c1} - V_{ce(sat)}$ หรือมีค่าเท่ากับ $V_{in}/2 - V_{ce(sat)}$ นั่นเอง ในทำนองเดียวกัน เมื่อ Q2 นำกระแส และ Q1 ไม่นำกระแส แรงดันตกคร่อม Q1 จะมีค่าเท่ากับ $V_{in} - V_{ce(sat)}$ เช่นเดียวกัน แรงดันตกคร่อมที่ขดไทรมารี N_p ก็ยังคงมีค่าเท่ากับ $V_{in}/2 - V_{ce(sat)}$ เนื่องจาก $V_{ce(sat)}$ มีค่าประมาณ 0.51 โวลต์ ดังนั้น จะเห็นได้ว่าแรงดันตกคร่อม Q1 และ Q2 ขณะหยุดนำกระแสจะมีค่าเพียงแรงดันอินพุตเท่านั้น ผลของการทำงานของ Q1 และ Q2 ที่ด้านเซคันดารีจะมีลักษณะเดียวกันกับฟิว-ฟูลคอนเวอร์เตอร์

3.3.5 ฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์

ฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ ขณะทำงานจะมีแรงดันตกคร่อมขดไพรมารีเท่ากับแรงดันอินพุต แต่แรงดันตกคร่อมเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์มีค่าเพียงครึ่งหนึ่ง ของแรงดันอินพุตเท่านั้น และค่า กระแสสูงสุดที่เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์แต่ละตัวนั้น มีค่าเป็นครึ่งหนึ่งของค่ากระแสสูงสุด ในฮาล์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ที่กำลังขาออกเท่ากัน เนื่องจากข้อจำกัดด้านเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ ลดน้อยลงไป กำลังงานสูงสุดที่ได้จากฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์จึงมีค่าสูง ตั้งแต่ 500 - 1000 วัตต์



รูปที่ 2.11 วงจรพื้นฐานของฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์

วงจรพื้นฐานของฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์แสดงในรูป CNV6 เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ทั้ง 4 ตัวจะทำงานโดยนำกระแสและหยุดนำกระแสสลับกันเป็นคู่ๆ ในแต่ละครึ่งคาบเวลา Q1 และ Q4 จะนำกระแสพร้อมกันในครึ่งคาบเวลา และเมื่อหยุดนำกระแส Q2 และ Q3 จะนำกระแสพร้อมกันในครึ่งคาบเวลาที่เหลือสลับกันเช่นนี้เรื่อยไป ลักษณะการทำงานของวงจรที่ได้จึงเป็นเช่นเดียวกับฮาล์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ ยกเว้นแรงดันตกคร่อมขดไพรมารีจะมีค่าเท่ากับ $V_{in} - 2V_{ce(sat)}$ ดังนั้นผลการทำงานของวงจรจึงเหมือนกับผลที่ได้จากฟูลคอนเวอร์เตอร์นั่นเอง ส่วนตัวเก็บประจุลือกัก C_b จะมีผลเช่นเดียวกับวงจรฮาล์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ จะเห็นได้ว่าแรงดันที่ตกคร่อม Q1 และ Q4 ขณะหยุดนำกระแสจะมีค่าเท่ากับ $V_{in} - V_{ceq2(sat)}$ และ $V_{in} - V_{ceq3(sat)}$ ตามลำดับ ส่วนแรงดันที่ตกคร่อม Q2 และ Q3 ขณะหยุดนำกระแสก็มีค่า $V_{in} - V_{ceq1(sat)}$ และ $V_{in} - V_{ceq4(sat)}$ ตามลำดับเช่นเดียวกัน ส่วนไดโอด D3-D6 ทำหน้าที่เป็นคอมมิวเตตติ้งไดโอดให้กับวงจรเพื่อป้องกัน Q1-Q4 เช่นเดียวกับฮาล์ฟบริดจ์คอนเวอร์เตอร์

2.3 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 นอกจากนี้ในตัวโครงสร้างยังประกอบด้วย ฮาร์ดแวร์ฟังก์ชันโมดูลสำหรับใช้งานพิเศษต่างๆมากมาย ได้แก่ โมดูล Analog to Digital Converter, USART, Time/Counter. SPI, Compare/Capture/PWM, I²C เป็นต้น โมดูลเหล่านี้ล้วนเพิ่มขีดความสามารถให้นำไปใช้งานได้หลากหลาย ประกอบกับมีเครื่องมือในการพัฒนาที่เทียบพร้อมคุณสมบัติของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F877A ดังนี้

- มีคำสั่งในภาษา Assembly 35 คำสั่ง
- ใช้ความถี่ออสซิลเลเตอร์ได้สูงสุด 20 MHz
- มีหน่วยความจำโปรแกรม Flash Memory ขนาด 8 K word (14 - bit words)
- มีหน่วยความจำข้อมูลแบบ RAM 368 Bytes
- มีหน่วยความจำข้อมูลแบบ EEPROM 256 Bytes
- มีการตอบสนองอินเทอร์รัพท์ทั้งหมด 14 แหล่ง
- สามารถเลือกกระดัดการป้องกันข้อมูล (Code Protection) ได้
- มีโหมดประหยัดพลังงาน (Sleep Mode)
- สามารถเลือกแหล่งสัญญาณนาฬิกาได้หลายโหมด XT RC และออสซิลเลเตอร์พลังงานต่ำ
- มีฟังก์ชันการรักษาเสถียรภาพการทำงาน ได้แก่ POR, PWRT, OST, BOR และ WDT
- การโปรแกรมตัวชิพ ICSP (ICSP : In-Circuit Serial Programming)
- สามารถทำงานที่ไฟเลี้ยงวงจรตั้งแต่ 2.0 V ถึง 5.5 V
- 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

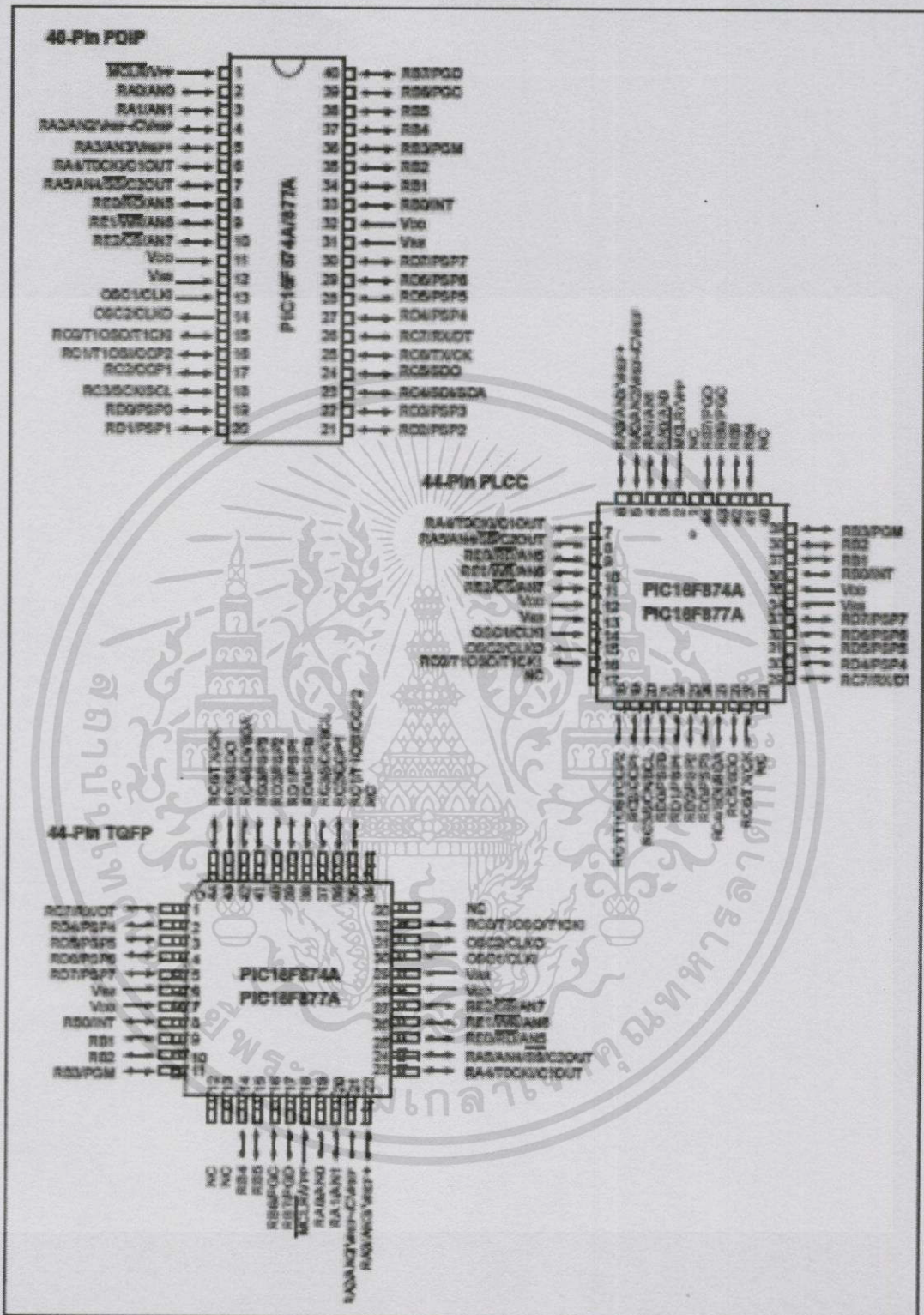
PORTA	มี 5 ขา RA0 ถึง RA5
PORTB	มี 8 ขา RB0 ถึง RB7
PORTC	มี 8 ขา RC0 ถึง RC7
PORTD	มี 8 ขา RD0 ถึง RD7

PORTE มี 3 ขา RE0 ถึง RE2

Devices Included in this Data Sheet:	Analog Features:
<ul style="list-style-type: none"> • PIC16F873A • PIC16F874A • PIC16F876A • PIC16F877A 	<ul style="list-style-type: none"> • 10-bit, up to 8-channel Analog-to-Digital Converter (A/D) • Brown-out Reset (BOR) • Analog Comparator module with: <ul style="list-style-type: none"> - 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
High-Performance RISC CPU:	Special Microcontroller Features:
<ul style="list-style-type: none"> • 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 	<ul style="list-style-type: none"> • 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
Peripheral Features:	CMOS Technology:
<ul style="list-style-type: none"> • 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 <ul style="list-style-type: none"> - 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) – 9 bits wide with external RD, WR and CS controls (40/44-pin only) • Brown-out detection circuitry for Brown-out Reset (BOR) 	<ul style="list-style-type: none"> • 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

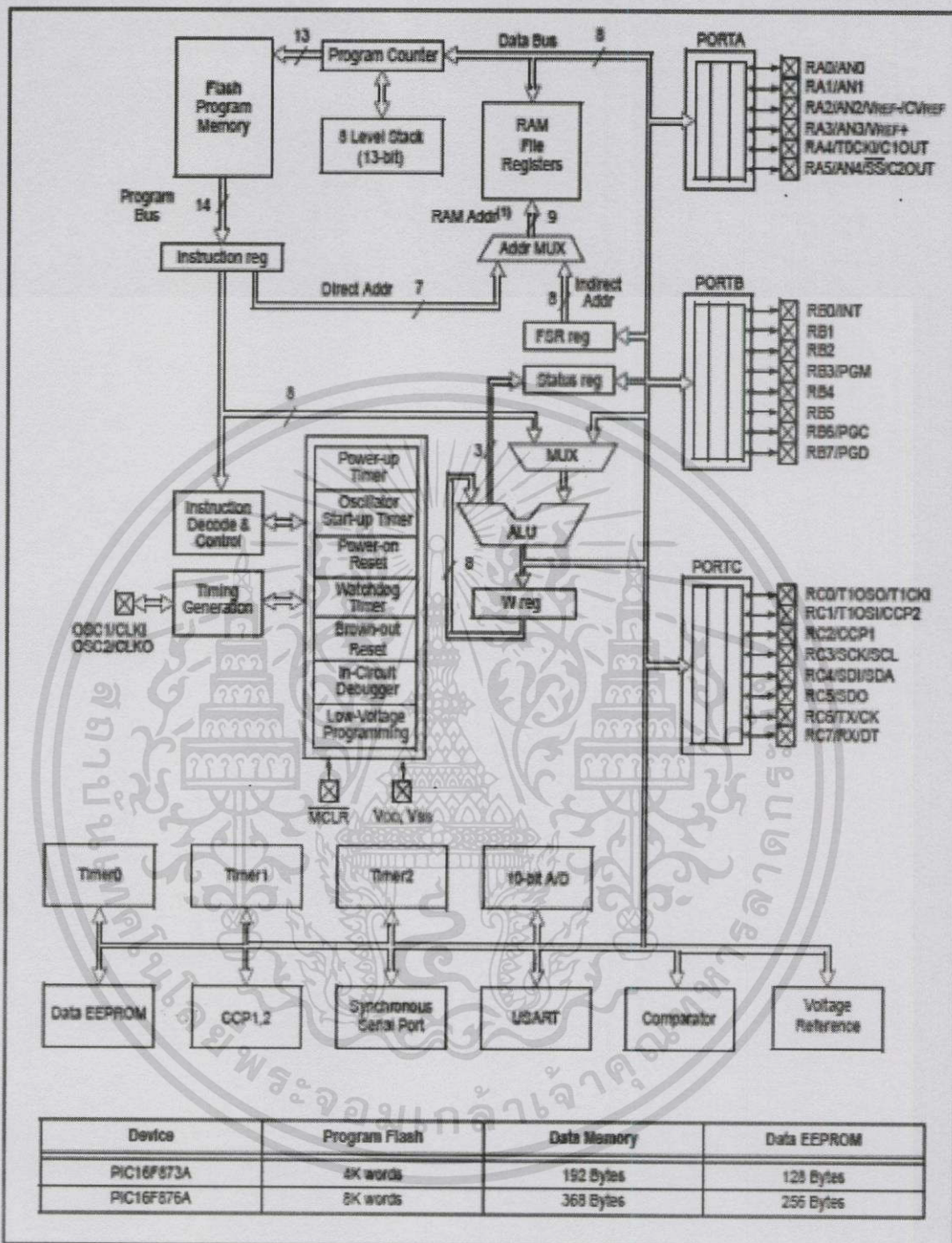
รูปที่ 2.12 แสดงตัวอย่างข้อมูลขีดความสามารถของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F877A แบบ 28 ขา และ 40 ขา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.13 แสดงตำแหน่งขา (PIN Diagram) ของตัวถังแบบต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.14 แสดงสถาปัตยกรรมที่เป็นโครงสร้างของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา 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	388	388
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

ตารางที่ 2.1 ตารางเปรียบเทียบรายละเอียดขีดความสามารถของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F87XA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Pin Name	PDP 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*	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.
RADIAN0 RA0 AN0	2	3	19	19	I/O 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	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	6	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/AN5/C2OUT RA5 AN5 C2OUT	7	8	24	24	I/O I I O	TTL	Digital I/O. Analog input 4. SPI slave select input. Comparator 2 output.

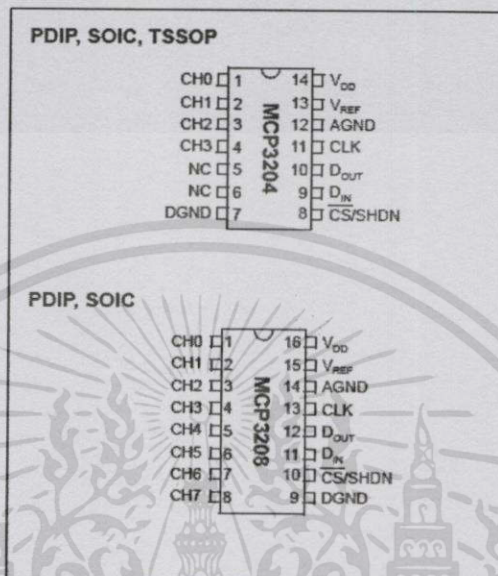
Legend: I = input O = output I/O = input/output P = power
 --- = Not used TTL = TTL input ST = Schmitt Trigger input

ตารางที่ 2.2 แสดงรายละเอียดและตำแหน่งขาของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F87XA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

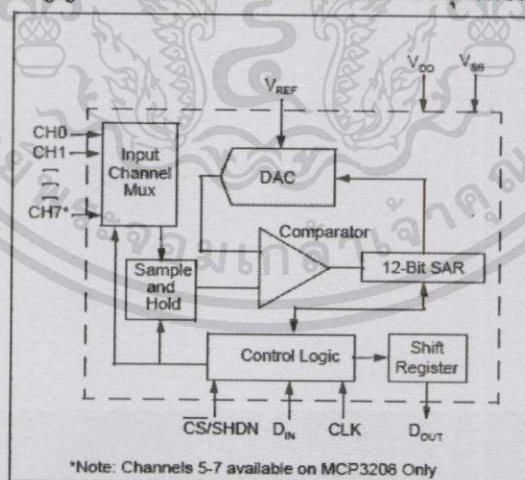
2.4 ส่วนประกอบของไมโครคอนโทรลเลอร์ (MCP3208)

MCP3204/3208 เป็น IC ที่ใช้ในการแปลงสัญญาณไฟฟ้าอนาล็อกให้เป็นสัญญาณดิจิทัลที่มีความละเอียดขนาด 12 บิต โดยมีช่องสัญญาณ 8 ช่องในรุ่น MCP3208 ซึ่งโครงสร้างและขาสัญญาณมีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.15 โครงสร้างและขาสัญญาณของ MCP3208

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



รูปที่ 2.16 ไดอะแกรมแสดงการทำงานของ MCP3208

การติดต่อแบบอนุกรม

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

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+

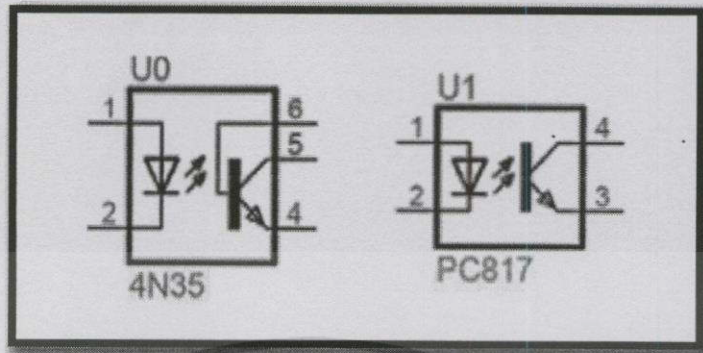
*D2 is don't care for MCP3204

ตารางที่ 2.3 แสดงสัญญาณที่ใช้ตั้งค่าการติดต่อกับ MCP3204/3208

2.5 อุปกรณ์เชื่อมต่อทางแสง (Optocouplers)

อุปกรณ์เชื่อมต่อทางแสง หรือที่เรียกว่า “ออปโตคัปเปิลเลอร์” (Opto-Coupler) หรือบางทีก็เรียกว่า อุปกรณ์แยกสัญญาณทางแสง (Opto-Isolator) เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์สำหรับการเชื่อมต่อทางแสง โดยการเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าให้เป็นแสงแล้วเปลี่ยนกลับเป็นสัญญาณไฟฟ้าตามเดิม นิยมใช้สำหรับการเชื่อมต่อสัญญาณระหว่างสองวงจร และต้องการแยกกันทางไฟฟ้าโดยเด็ดขาด เพื่อป้องกันการรบกวนกันทางไฟฟ้าระหว่างสองวงจร ภายในของอุปกรณ์ประเภทนี้ประกอบด้วยไดโอดเปล่งแสง (LED) ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวส่งแสง (Optical Transmitter) เช่น แสงอินฟราเรด (Infrared) และสำหรับตัวรับแสง (Optical Receiver) ซึ่งมักนิยมใช้โฟโตทรานซิสเตอร์ (Phototransistor) เป็นตัวรับโดยจะถูกผลิตรวมอยู่ในตัวถังเดียวกัน

โฟโตทรานซิสเตอร์ ทำงานได้ในลักษณะเดียวกับทรานซิสเตอร์รอยต่อคู่แบบ NPN แต่ไม่มีขาเบส (B) และถูกแทนที่ด้วยส่วนรับแสง เมื่อได้รับแสงหรืออนุภาคของแสง หรือที่เรียกว่า โฟตอน (Photons) ในปริมาณมากพอ จะทำให้เกิดอนุภาคอิสระที่มีประจุในบริเวณรอยต่อระหว่างเบสและคอลเลคเตอร์ (Base-Collector Region) และให้ผลเหมือนมีกระแสไหลเข้าที่ขาเบส รูปที่ 2.18 แสดงสัญลักษณ์ของอุปกรณ์เชื่อมต่อทางแสง แบบ 4 ขา (เบอร์ PC817) และ 6 ขา (เบอร์ 4N35)

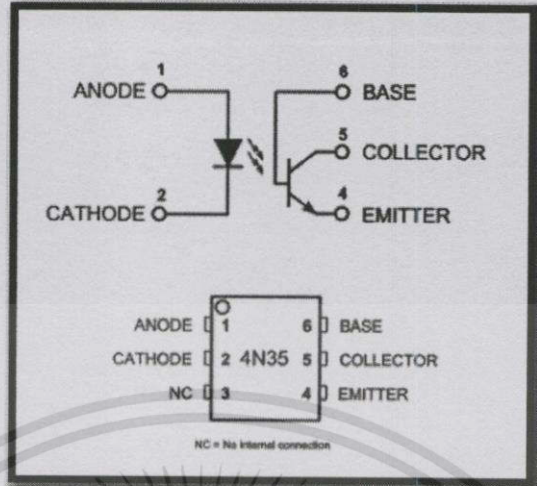


รูปที่ 2.18 สัญลักษณ์ทางไฟฟ้าของอุปกรณ์เชื่อมต่อทางแสง

อุปกรณ์เชื่อมต่อทางแสงสามารถรับสัญญาณอินพุต (ดิจิทัล) เช่น จากไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อใช้เปิด-ปิด ไดโอดเปล่งแสงที่อยู่ภายในตัวอุปกรณ์ (ทำให้มีกระแสไหลผ่านไดโอดเปล่งแสง) และทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของโฟโตทรานซิสเตอร์ด้วยแสง ดังนั้นจึงนำไปใช้ในลักษณะเป็น อุปกรณ์สวิตช์ เปิด-ปิด หรือนำไปต่อกับวงจรทรานซิสเตอร์ภายนอกเพื่อให้สามารถขับกระแสได้ในปริมาณที่สูงขึ้น

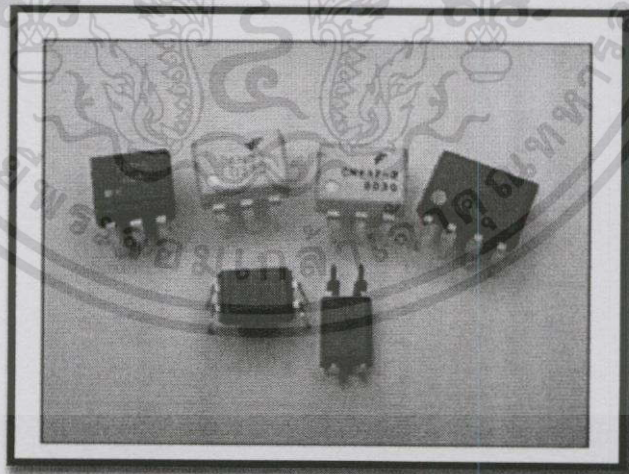
เมื่อแรงดันอินพุตอยู่ในระดับที่สูงกว่าแรงดันไบอัสตรงของไดโอดเปล่งแสง (V_F) จะทำให้เกิดกระแสไหล หรือที่เรียกว่า กระแสอินพุต หรือ กระแสไบอัสตรง (I_F) ทำให้ไดโอดเปล่งแสงตามปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ไหล ในการต่อวงจรจะต้องมีตัวต้านทานต่ออนุกรมอยู่ด้วย เพื่อจำกัดปริมาณของกระแสที่ไหลไม่ให้สูงเกิน ซึ่งขึ้นอยู่กับอุปกรณ์แต่ละตัวที่ใช้ แต่โดยทั่วไปแล้ว ควรจะให้อยู่ในช่วง 5-50 มิลลิแอมป์ (mA) เมื่อโฟโตทรานซิสเตอร์ได้รับแสงจะทำให้สามารถนำไฟฟ้าได้ระหว่างขา C และ E ซึ่งให้ผลเหมือนในกรณีที่จ่ายกระแส เข้าที่ขาเบส (B) ของทรานซิสเตอร์รอยต่อคู่แบบ NPN และถ้ามีแรงดันตกคร่อมที่ขา C และขา E ($V_{CE} > 0V$) ก็จะทำให้มีกระแสเอาต์พุตไหล

ตัวถังของอุปกรณ์เชื่อมต่อทางแสงที่พบเห็นได้บ่อย คือ ตัวถังแบบ 4 ขา และตัวถังแบบ 6 ขา แต่มีไดโอดเปล่งแสงและโฟโตทรานซิสเตอร์เพียงหนึ่งคู่ อุปกรณ์เชื่อมต่อทางแสงในตัวถังแบบ 6 ขา ตามตัวอย่าง ในรูปที่ 1.2 จะมีขาเบส (Base Connection Pin) ที่เชื่อมต่อมาจากบริเวณเบสของโฟโตทรานซิสเตอร์ที่อยู่ภายใน และใช้ในการปรับความไวในการตอบสนองเชิงเวลาของสัญญาณไฟฟ้า (หรือกล่าวได้ว่า สามารถเปิด-ปิดสวิตช์ไฟฟ้าได้เร็วขึ้น) โดยการนำขาเบสไปต่อกับตัวต้านทานที่มีค่าอยู่ในช่วง $200k\Omega$ ถึง $1M\Omega$ ไปยัง GND ของวงจรเอาต์พุต แต่ถ้าไม่สนใจเรื่องความไวในการตอบสนองก็ไม่จำเป็นต้องต่อขอเบส



รูปที่ 2.19 สัญลักษณ์ทางไฟฟ้าและตัวถังของ 4N35 แบบ 6 ขา

รูปที่ 2.19 แสดงตัวอย่างของอุปกรณ์เชื่อมต่อทางแสงที่นิยมใช้ (เฉพาะตัวถังแบบ Through-Hole Mount) ได้แก่เบอร์ PC817 CNY13-7 4N25 4N33 4N35 เป็นต้น อุปกรณ์บางตัว เช่น เบอร์ TLP250 (ตัวถังแบบ PDIP-8) เหมาะสำหรับควบคุมการเปิด-ปิดที่ขาเกต ของมอสเฟตกำลัง (Power MOSFET) อุปกรณ์เชื่อมต่อทางแสงบางตัว มีไดโอดเปล่งแสงและไฟโอดีทรานซิสเตอร์มากกว่าหนึ่งคู่ อยู่ในในตัวถังเดียวกัน เช่น 2 หรือ 4 คู่ สำหรับเชื่อมต่อสัญญาณได้ 2 หรือ 4 ช่องตามลำดับ อุปกรณ์เชื่อมต่อทางแสงบางชนิด มีการต่อวงจรไฟโอดีทรานซิสเตอร์กับ ทรานซิสเตอร์ NPN อีกหนึ่งตัวเป็นคู่ในลักษณะที่เรียกว่า ทรานซิสเตอร์คาร์ลิงตัน (Darlington Transistor) ทำให้มีอัตราส่วนการขยายกระแสได้มากขึ้น



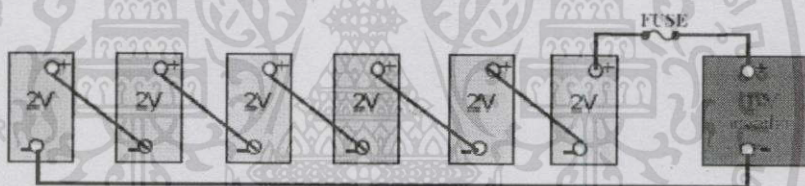
รูปที่ 2.20 ตัวอย่างอุปกรณ์เชื่อมต่อทางแสงที่ใช้ตัวถังแบบต่างๆ

2.6 ชนิดและแบตเตอรี่ที่สามารถอัดประจุได้

แบตเตอรี่ (Battery) เป็นอุปกรณ์ที่สามารถแปลงพลังงานเคมีให้เป็นพลังงานไฟฟ้าได้โดยตรง โดยการใช้เซลล์กัลวานิก (Galvanic Cell) ที่ประกอบด้วยขั้วบวกและขั้วลบ พร้อมกับสารละลายอิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte Solution) ซึ่งแบตเตอรี่อาจประกอบด้วยเซลล์กัลวานิกเพียง 1 เซลล์หรือมากกว่าก็ได้ เป็นเซลล์พื้นฐาน ของแบตเตอรี่ที่ประกอบด้วยขั้วบวก ขั้วลบ มีสารอิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte) และมีแผ่นกั้น เพื่อป้องกันไม่ให้ขั้วบวกและขั้วลบสัมผัสกัน โดยตรง โดยที่แต่ละเซลล์ของแบตเตอรี่มีแรงดันเท่ากับ 2 V ดังนั้นแบตเตอรี่ 12 V จึงประกอบด้วย 6 เซลล์ต่อกันแบบอนุกรมเซลล์ทั้งหมดอาจบรรจุ อยู่ในในกล่องเดียวหรือแยกกล่องก็ได้ซึ่งการต่อแบตเตอรี่มีดังต่อไปนี้

2.6.1 การต่อแบตเตอรี่แบบอนุกรม

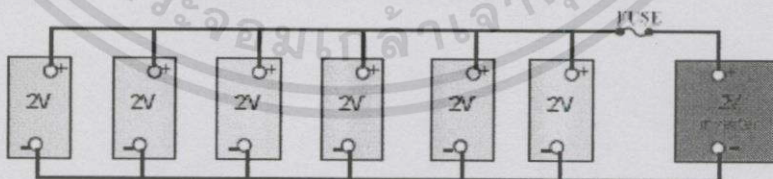
การต่อแบตเตอรี่แบบนี้แบตเตอรี่ถูกเชื่อมต่อกันโดยขั้วบวกต่อเข้ากับขั้วลบของตัวถัดไปใน การต่อแบบอนุกรมความจุที่ได้จะเท่ากับแบตเตอรี่แบบเดียว แรงดันไฟฟ้าจะเท่ากับผลรวมแรงดันของแบตเตอรี่แต่ละตัว ซึ่งแสดงไว้ในรูปที่ 2.18 ในการต่อแบตเตอรี่แบบอนุกรมที่จะนำมาต่อ ควรมีความจุเท่ากัน เพราะว่าแบตเตอรี่ที่ความจุน้อยจะเกิดการคายประจุแบบลึก Deep Discharge ได้ง่ายกว่าแบตเตอรี่ที่ความจุสูงกว่า



รูปที่ 2.21 การต่อแบตเตอรี่แบบอนุกรม

2.6.2 การต่อแบตเตอรี่แบบขนาน

แบตเตอรี่ที่ต่อแบบขนานเข้ากัน จะต้องนำขั้วบวกทั้งหมดต่อรวมกันและขั้วลบทั้งหมดต่อกันโดยที่แรงดันไฟฟ้าที่ได้ของแบตเตอรี่แต่ละตัวจะมีขนาดเท่ากัน ดังรูปที่ 2.19

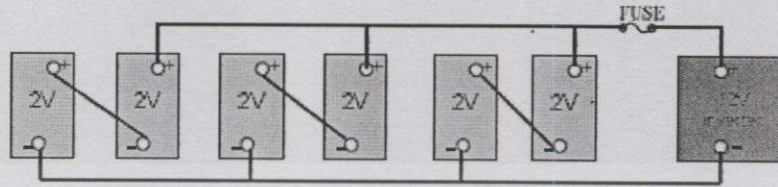


รูปที่ 2.22 การต่อแบตเตอรี่แบบขนาน

ดังนั้นถ้ามีความต้องการกระแสที่มากขึ้นทำได้โดยนำแบตเตอรี่ 2 ลูกหรือมากกว่านั้นต่อกันแบบขนานจนได้กระแสที่ต้องการการต่อแบตเตอรี่แบบขนานควรมีอัตราแรงดันเท่ากัน เพราะแบตเตอรี่ที่อัตราแรงดันสูงกว่าจะจ่ายกระแสให้กับตัวที่อัตราต่ำกว่าจะทำให้เกิดความเสียหายได้

2.6.3 การต่อแบตเตอรี่แบบผสม

เป็นการนำแบบอนุกรมและแบบขนานมารวมกันทำให้ได้แรงดันและความจุเพิ่มขึ้น
ดังรูปที่ 2.20

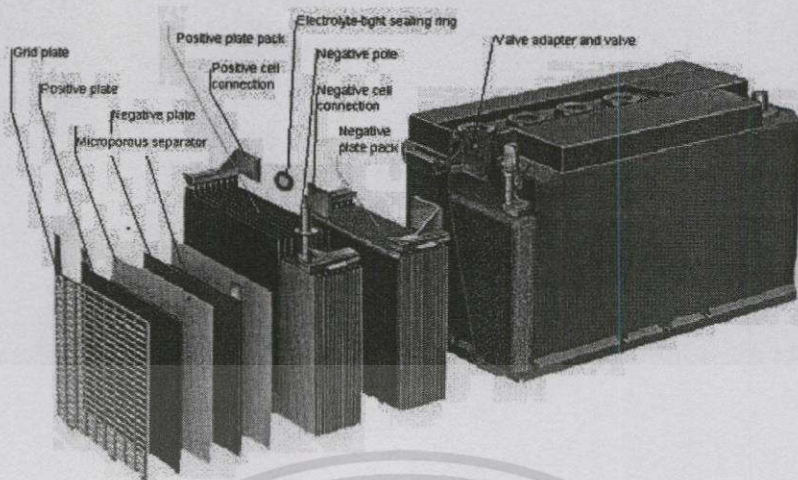


รูปที่ 2.23 การต่อแบตเตอรี่แบบอนุกรม-ขนาน

การผลิตแบตเตอรี่ในระดับอุตสาหกรรมเป็นลักษณะอุตสาหกรรมที่ใช้วัสดุที่เป็นพิษและมีของเสียที่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อมโดยทั่วไปแล้วจะเป็นลักษณะผลิตเชิงปริมาณที่ประกอบด้วยกระบวนการต่างๆ หลังจากประกอบเป็นแบตเตอรี่แล้วยังต้องทำการประจุและคายประจุก่อนที่จะส่งแบตเตอรี่ถึงลูกค้าโดยที่โรงงานผลิตแบตเตอรี่จะมีรายละเอียดของโครงสร้างแบตเตอรี่มากมายแตกต่างกันแต่จะมีลักษณะส่วนประกอบพื้นฐานที่เหมือนกันโดยทั่วไปเรียกว่าแบตเตอรี่น้ำ (Storage Battery) ประกอบด้วย เซลล์ 6 เซลล์ต่อกันแบบอนุกรมซึ่งแต่ละเซลล์จะมีแรงดัน 2V จึงจ่ายแรงดันได้ 12V มีคุณสมบัติในการเปลี่ยนพลังงานเคมีแล้วจ่ายเป็นพลังงานไฟฟ้าชนิดกระแสตรงแบตเตอรี่ประเภทนี้ใช้งานจนไฟหมด หรือเลิกใช้งานแล้วสามารถนำไปประจุไฟเพิ่มได้เป็นการปรับสภาพทางเคมีให้กลับสู่สภาพพร้อมใช้ งานเหมือนเดิมได้คือสามารถใช้หมุนเวียนได้จนกว่าแบตเตอรี่นั้นจะเสื่อมสภาพ แบตเตอรี่ชนิดนี้ส่วนมากทำจาก ตะกั่ว-กรด ใช้ในรถยนต์และในการใช้พลังงานไฟฟ้าสำรองในระบบต่างๆ

2.6.4 แบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด

แบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด มีส่วนประกอบสำคัญภายในดังรูปที่ 2.21 ประกอบไปด้วยแผ่นตะกั่วที่เป็นขั้วบวก และลบจุ่มอยู่ในสารละลายกรดซัลฟูริกหรือเรียกว่าสารละลายอิเล็กโทรไลต์ เมื่อเซลล์มีการจ่ายประจุโมเลกุลของซัลเฟอร์จากสารละลายอิเล็กโทรไลต์จะติดอยู่กับแผ่นตะกั่วและปล่อยอิเล็กตรอนออกมามากมายเมื่อเซลล์มีการประจุไฟฟ้าเข้าไปใหม่อิเล็กตรอนจำนวนมากจะกลับเข้าไปในสารละลายอิเล็กโทรไลต์แบตเตอรี่จึงเกิดแรงดันได้จากปฏิกิริยาเคมีนี้เองและไฟฟ้าเกิดขึ้นได้จากการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนภายในแต่ละเซลล์ขอแบตเตอรี่ให้แรงดัน 2 โวลต์ต่อเซลล์แบตเตอรี่ 12V จึงมี 6 เซลล์ต่อกันแบบอนุกรมเซลล์ทั้งหมดอาจบรรจุอยู่ในกล่องเดียวหรือแยกกล่องก็ได้



รูปที่ 2.24 แสดงส่วนประกอบของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด (Lead-acid Battery)

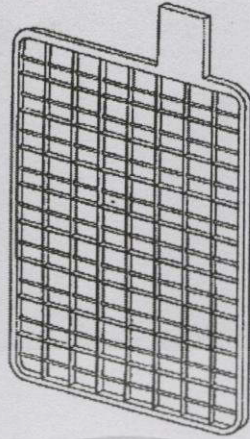
ส่วนประกอบของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด วัสดุภายในที่นำมาให้อาจแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับประเภทงานที่นำไปใช้งาน และการออกแบบของผู้ผลิต แต่จะมีส่วนประกอบหลักที่เหมือนกัน ดังนี้

2.6.4.1. วัสดุทำปฏิกิริยา (Active Material)

ในเซลล์ไฟฟ้าเคมีนั้นจะประกอบด้วยขั้วบวกและขั้วลบซึ่งเป็นวัสดุต่างชนิดกันเป็นผลให้เกิดความต่างศักย์ระหว่างขั้วทั้งสอง สำหรับแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรดนั้น แผ่นธาตุบวกจะเป็น PbO_2 ผงตะกั่วออกไซด์มีสีน้ำตาลฉาบอยู่ในโครงแผ่นธาตุ ในขณะที่ขั้วลบจะเป็น Pb ผงตะกั่วมีสีเทาฉาบบนโครงแผ่นธาตุเช่นกันเพื่อเพิ่มความแข็งแรง และผิวสัมผัสระหว่างอิเล็กโทรไลต์กับวัสดุทำปฏิกิริยาและลดการตกลงของแรงดันอันเนื่องมาจากปรากฏการณ์ Polarisation

2.5.4.2. โครงแผ่นธาตุ (Support Grids)

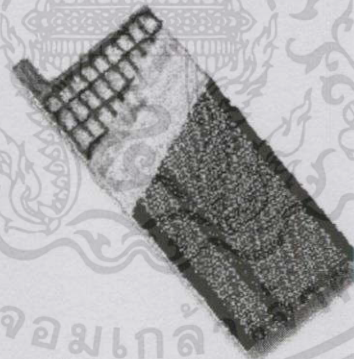
โครงแผ่นธาตุ ดังรูปที่ 2.22 จะทำจาก ตะกั่วผสมอาจเป็น พลวง (Antimony) ดีบุก (Tin) บิสมัท (Bismuth) แคลเซียม (Calcium) ซีลีเนียม (Selenium) ซึ่งตะกั่ว-พลวง เป็นโลหะผสมที่ใช้กับแบตเตอรี่ ชนิดแรกเพื่อปรับปรุง คุณสมบัติทางกลของตะกั่วโดยใช้ประมาณ 1.5 – 1.8 % เพอร์เซ็นต์ แต่ทำให้เกิดผลเสีย คือเพิ่มความต้านทานในเซลล์ทำให้เกิดการคาย ประจุในตัวเองเร็วขึ้น และอายุการใช้งานสั้น ในระหว่างการประจุใหม่จะทำให้ เกิดการก่อตัวของแก๊สพิษ SbH_3 จากการค้นคว้าทำให้ ทราบว่า ตะกั่ว-แคลเซียม มีข้อได้เปรียบมากกว่า ตะกั่ว-พลวงในกรณีแผ่นธาตุชนิดพลวง จะเจือซีลีเนียม เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติทางกลเช่นกัน



รูปที่ 2.25 โครงแผ่นธาตุ

2.6.4.3. แผ่นกั้น (Separator)

แผ่นกั้นดังรูปที่ 2.25 มีหน้าที่ป้องกันการสัมผัสกันโดยตรงของขั้วอิเล็กโทรดทั้งสอง คุณสมบัติที่ดีของแผ่นกั้นนั้นจะต้องมีความต้านทานการไหลของไอออนในสารละลาย ดังนั้นก็หมายถึงต้องมีความพรุนให้อิออนผ่านได้สะดวกและไม่ทำปฏิกิริยากับกรดหรือแผ่นธาตุในระบบด้วย ในช่วงแรกนั้นแผ่นกั้นจะทำจากวัสดุจำพวกไม้ fir และ Cedar โดยนำยางไม้ ออกก่อนต่อมาก็คือยางตามธรรมชาติอบซึ่งให้ความพรุนมากกว่า แต่ในปัจจุบันนิยมใช้ยางสังเคราะห์ที่เป็นรูพรุนอันเนื่องมาจากกรรมวิธีการผลิตจำพวกโพลีไวนิลคลอไรด์หรือโพลีเอทิลีนแต่แบตเตอรี่ที่มีอายุการใช้งานสั้นเช่นแบตเตอรี่รถยนต์การใช้แผ่นกั้นที่เป็นกระดาษจะคุ้มทุนกว่า



รูปที่ 2.26 แผ่นกั้น (Separator)

2.6.4.4. สารละลายอิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte)

สารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่ใช้ในแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด เป็นกรดซัลฟูริก ซึ่งค่าความถ่วงจำเพาะ จะมีค่าอยู่ที่ประมาณ 1.210 -1.300 แต่จะขึ้นอยู่กับการออกแบบและประเภทการใช้งานและสภาพภูมิอากาศถ้าใช้สารละลายที่มีค่าความถ่วงจำเพาะมากเกินไปจะทำให้เกิดผลเสียหลายอย่างเช่นการคายประจุในตัวเองและการฟุกร่อนของแผ่นธาตุแต่จะมีประโยชน์สำหรับภูมิประเทศเขตกึ่งหนาวเนื่องจากจะทำให้จุดเยือกแข็งของสารละลายลดต่ำลง

ปกติถ้าเป็นแบตเตอรี่ที่ใช้กระแสสูงได้แก่แบตเตอรี่รถยนต์จะใช้กรดที่มีความถ่วงจำเพาะสูงไม่ว่าจะใช้ค่าความถ่วงจำเพาะสูงหรือต่ำแต่ปริมาณอ็อกซิเจนที่อยู่ในสารละลายก็ต้องเพียงพอที่จะทำปฏิกิริยาในสารละลายนอกจากจะมีกรดซัลฟูริกแล้วยังมีสารอื่นเจือปนอยู่ด้วยเช่น แมงกานีส เหล็ก สารหนู คลอไรด์ ไนโตรเจนออกไซด์ โดยที่มีปริมาณมากน้อยจะขึ้นอยู่กับเกรดของน้ำกรด ถ้าเป็นน้ำกรดเกรดเอ จะมีสารเจือปนไม่เกิน 0.03665 %

3.5.4.5. หม้อแบตเตอรี่ (Container)

หม้อแบตเตอรี่มีวิวัฒนาการอย่างต่อเนื่องจากไม้ แก้ว เซรามิก พลาสติก ซึ่งปัจจุบันนิยมทำมาจากพลาสติกจำพวก PVC หรือไมก้าโพลีเอทิลีน และแบ่งออกเป็นช่องๆ ขึ้นกับการออกแบบโดยกำหนดให้หนึ่งช่องเซลล์ มีความต่างศักย์ประมาณ 2 V และต่ออนุกรมกัน

ในการเลือกวัสดุนั้นจะต้องเลือกวัสดุที่ทนต่อการกัดกร่อนของกรดและไม่มีผลต่อปฏิกิริยาในระบบ ดังนั้นจึงไม่นิยมใช้โลหะแต่สำหรับในแบตเตอรี่รถยนต์ / รถยนต์ จะใช้โลหะด้านนอกเพื่อความแข็งแรงแต่ด้านในจะเป็นพลาสติก แบตเตอรี่ต่างชนิดกันแม้จะมีความจุเท่ากันก็อาจมีขนาดตัวถังต่างกันเนื่องด้วยปริมาณสารละลายต่างกัน

2.6.5 ชนิดแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด

ปัจจุบันมีแบตเตอรี่ชนิดเติมสารละลายหรือแบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรดผลิตออกมาจำหน่ายหลายชนิดที่จะกล่าวต่อไปนี้เป็นชนิดที่มีการนำมาประยุกต์ใช้กับระบบเซลล์แสงอาทิตย์โดยจะมี 3 ชนิด คือ

- ก) แบบเติมสารละลาย (Flooded Lead Acid Battery)
- ข) แบบสารละลายอิเล็กโทรไลต์(VRLA Battery)
- ค) นิกเกิล-แคดเมียม

1) แบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-แอนติโมนีเป็นแบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรดแบบหนึ่งที่ใช้สารแอนติโมนี (Sb) ผสมกับตะกั่วในกริดเพลทการใช้สารแอนติโมนีผสมกับตะกั่วในเพลทมีทั้งข้อดี และข้อเสีย

ข้อดีคือการเพิ่มความแข็งแรงทนทานของแผ่นกริดเพลทให้มากกว่าใช้ตะกั่วธรรมดาและทำให้สามารถใช้ในงานคายประจุมากหรือที่เรียกว่าประจวบลึกและงานที่มีอัตราการคายประจุสูงได้เป็นอย่างดีกริดแบบตะกั่ว-แอนติโมนียังจำกัดการปลดปล่อยตัวของสารทำปฏิกิริยา ทำให้มีอายุการใช้งานมากกว่า แบตเตอรี่แบบตะกั่ว-แคลเซียมเมื่อใช้งานในสภาพแวดล้อม อุณหภูมิสูง

ข้อเสียของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่วแอนติโมนีคือการมีอัตราการคายประจุในตัวเองสูง และจากที่ต้องการการประจุเกินบ่อยทำให้ต้องเติมน้ำกลั่นบ่อยๆขึ้นกับอุณหภูมิและจำนวนครั้งของการ ประจุเกิน

แบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-แอนติโมนี ส่วนใหญ่แล้วเป็นแบบเติมสารละลายมีช่องระบายก๊าซ เป็นเกลียวเปิดสำหรับเปิดเติมน้ำแบตเตอรี่แบบนี้เหมาะสมกับระบบเซลล์แสงอาทิตย์เนื่องจากความสามารถในการคายประจุมากและความสามารถในการใช้ด้านอื่นๆแต่อย่างไรก็ตามแบตเตอรี่ชนิดนี้ต้องการการเติมน้ำเป็นระยะเวลาที่แน่นอนการลดความถี่ของการเติมน้ำอาจจะโดยการใส่ฝาปิดที่ดักจับน้ำที่ระเหยไปกลับหรือการออกแบบแบตเตอรี่ที่มีการแลกเปลี่ยนสารละลายจากด้านบนการเช็ควัดความผิดปกติของแบตเตอรี่ชนิดนี้ทำได้โดยการวัดความถ่วงจำเพาะของสารละลายโดยใช้ไฮโดรมิเตอร์

แบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-แอนติโมนี แบบเพลทหนาและการออกแบบที่แข็งแรงส่วนใหญ่แล้วจะถูกจัดอยู่ในกลุ่มแบตเตอรี่สำหรับรถไฟฟ้าเพราะเป็นลักษณะการใช้งานที่ต้องการลักษณะการคายประจุสูงและอายุการใช้งานนาน

แบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-แคลเซียมเป็นแบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรดแบบหนึ่งที่ใช้สารแคลเซียม (Ca) ผสมกับตะกั่วในกริดเพลทเหมือนแบบตะกั่ว-แอนติโมนี เช่นเดียวกับการใช้ส่วนผสมแคลเซียมในเพลทตะกั่วมีทั้งประโยชน์และข้อเสียส่วนที่เป็นข้อดี คือการเพิ่มความแข็งแรงของแผ่นกริดเพลทมีอัตราการคายประจุในตัวเองต่ำและลดผลการเกิดก๊าซซึ่งทำให้มีการสูญเสียเล็กน้อยลงการบำรุงรักษาที่ลดลงด้วยข้อเสียของการผสมแคลเซียมคือมีคุณสมบัติการประจุที่ไม่ดีในสภาวะที่คายประจุมากๆและเมื่อนำไปใช้งานในสภาวะอุณหภูมิสูงหรือใช้งานคายประจุมากกว่า 25 % DOD บ่อยๆ อายุการใช้งานจะสั้นลงมี 3 ชนิด

- แบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-แคลเซียม Open Vent แบตเตอรี่ชนิดนี้มักจัดอยู่ในชนิดใช้สำหรับระบบไฟฟ้าส่วนใหญ่แล้วจะมีขนาดลูกกลม 2 โวลต์มีความจุหลายขนาดและมากถึง 1000 แอมแปร์-ชั่วโมงแบตเตอรี่ชนิดนี้มีข้อดีที่มีอัตราการคายประจุด้วยตัวเองต่ำและมีการสูญเสียเล็กน้อยและอาจมีอายุการใช้งานนานถึง 20 ปีถ้าใช้ในโหมดไฟฟ้าสำรองสำหรับการประยุกต์ใช้กับระบบเซลล์แสงอาทิตย์ยังมีประสบการณ์ไม่มากนักเนื่องจากปัญหาเรื่องปรากฏการณ์เซลล์เฟชันและปรากฏการณ์แบ่งชั้นของสารละลาย (Stratification)
- แบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-แคลเซียม Sealed Ventการพัฒนาแบตเตอรี่ชนิดนี้เริ่มต้นใช้ชื่อ Maintenance Free ใช้กับรถยนต์มีความจุในช่วง 50 แอมแปร์-ชั่วโมงถึง 200 แอมแปร์-ชั่วโมงขนาด 12 V และมีคุณสมบัติเหมือนกับแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-แคลเซียม ธรรมดา คือทนต่อการประจุเกินสภาวะแวดล้อมอุณหภูมิสูงและการทำงานในลักษณะการคายประจุมาก ความหมายของการไม่มีการบำรุงรักษาคือการไม่ต้องเติมน้ำกลั่นซึ่งมีผลต่ออายุการใช้งานของแบตเตอรี่ ดังนั้นการออกแบบแบตเตอรี่จะมีการสำรองสารอิเล็กโทรไลต์เพื่อให้แบตเตอรี่ทำงานได้ตลอดอายุการใช้งาน แบตเตอรี่ชนิดนี้มีการนำมาใช้กับระบบโซลาร์เซลล์ขนาดเล็กเช่นระบบที่ใช้ในบ้านระบบแสงสว่าง แต่ต้องระมัดระวังในการประจุเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพของแบตเตอรี่สูงสุดและอายุงานที่สุดถึงแม้จะมีราคาถูกแต่แบตเตอรี่ชนิดนี้ได้รับการออกแบบสำหรับการคายประจุน้อย(Shallow Cycle) และจะมีอายุการใช้งานสั้นเมื่อนำมาใช้กับระบบเซลล์แสงอาทิตย์

• แบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-แอนติโมนี/แคลเซียม ไฮบริดแบตเตอรี่ชนิดนี้ส่วนใหญ่จะเป็นชนิดเติมน้ำกลั่นมีความจุถึง 200 แอมแปร์-ชั่วโมงลักษณะการออกแบบที่สำคัญของแบตเตอรี่ชนิดนี้คือการใช้ตะกั่ว-แคลเซียมเป็นกริดแบบแท่งในขั้วบวกและใช้ตะกั่ว-แอนติโมนีในขั้วลบการออกแบบนี้ได้รับข้อดีของแบตเตอรี่ทั้งสองชนิดคือมีประสิทธิภาพดีที่การคายประจุมากมีการสูญเสียเล็กน้อยและอายุการใช้งานนานปัญหาปรากฏการณ์เซลล์เฟชันและปรากฏการณ์แบ่งชั้นของสูญเสียเล็กน้อยและอายุการใช้งานนานปัญหาปรากฏการณ์เซลล์เฟชันและปรากฏการณ์แบ่ง

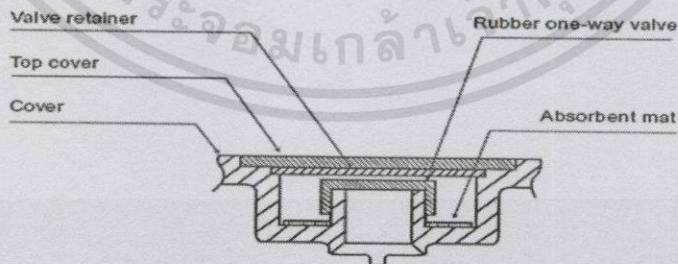
ชั้นของสารละลายยังคงมีอยู่แบตเตอรี่ชนิดนี้มีการนำมาใช้งานกับระบบเซลล์แสงอาทิตย์ในระบบขนาดใหญ่

2) แบตเตอรี่ชนิด Captive Electrolyte Lead-Acid (VRLA) ดังรูปที่ 3.23 เป็นแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด อีกชนิดหนึ่งโดยสารอิเล็กโทรไลต์จะถูกอิมโมบิลิซ (Immobilized) และปิดผนึกในภาชนะบรรจุถ้าเกิดสภาวะประจุเกินช่องระบายอากาศจะเปิดโดยแรงดันอากาศภายใน ดังรูปที่ 3.24 แบตเตอรี่ส่วนใหญ่แล้วจะเรียกแบตเตอรี่ชนิดนี้ว่า Valve Regulated Lead-Acid (VRLA) สารอิเล็กโทรไลต์จะไม่สามารถเติมได้ในแบตเตอรี่ชนิดนี้ ดังนั้นในการใช้แบตเตอรี่ชนิดนี้ต้องไม่ทำการประจุเกินแบตเตอรี่ชนิดนี้เป็นที่นิยมนำมาใช้กับระบบเซลล์แสงอาทิตย์และกักเก็บผลผลิตไฟฟ้าเพราะได้รับการพิสูจน์ใช้งานแล้วและสะดวกต่อการขนส่งและที่สำคัญคือไม่ต้องเติมน้ำกลั่นซึ่งเป็นแบตเตอรี่ในอุดมคติของระบบเซลล์แสงอาทิตย์และกักเก็บผลผลิตไฟฟ้าในพื้นที่ห่างไกลแต่อย่างไรก็ตามสาเหตุที่จะทำให้แบตเตอรี่ชนิดนี้เกิดการเสียหายได้ในระบบเซลล์แสงอาทิตย์คือการประจุเกินทำให้สูญเสียสารอิเล็กโทรไลต์ซึ่งมักเกิดในสภาวะอุณหภูมิสูง ดังนั้นสำหรับกรณีนี้อุปกรณ์ควบคุมการประจุแบตเตอรี่จะต้องตั้งจุดควบคุมไม่ให้มีสภาวะประจุเกิน (Over Charging)

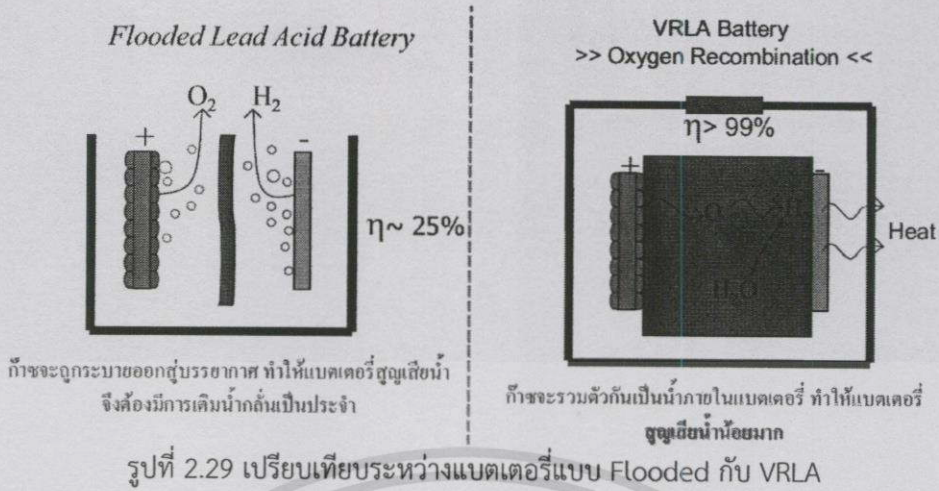


รูปที่ 2.27 แบตเตอรี่ตะกั่ว - กรด แบบปิด (Valve Regulated Lead-Acid ,VRLA)

เป็นแบตเตอรี่ที่ปิดผนึกโดยรอบยกเว้นวาล์ว (วาล์วทางเดียว) ที่จะเปิดออกเองในบางครั้ง เพื่อลดความดันในแบตเตอรี่ ในกรณีที่เกิดการชาร์จแบตเตอรี่ด้วยแรงดันที่เกินกว่าค่าที่แนะนำของบริษัทผู้ผลิต หรืออุณหภูมิที่ใช้งานสูงผิดปกติ โดยแก๊สที่ระบายออกมานั้นจะมีส่วนของไฮโดรเจน และออกซิเจน



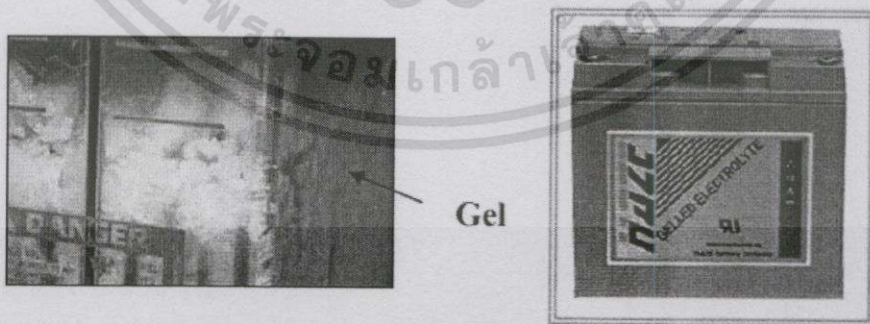
รูปที่ 2.28 โครงสร้างวาล์วระบายแก๊ส



จากรูปที่ 2.29 ได้ทำการเปรียบเทียบลักษณะการทำงานภายในของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดชนิดเติมสารละลาย (Flooded) กับแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดชนิดแห้ง (VRLA) ขณะเกิดการสูญเสียน้ำภายในขณะเกิดปฏิกิริยาทางเคมีทางกายภาพ

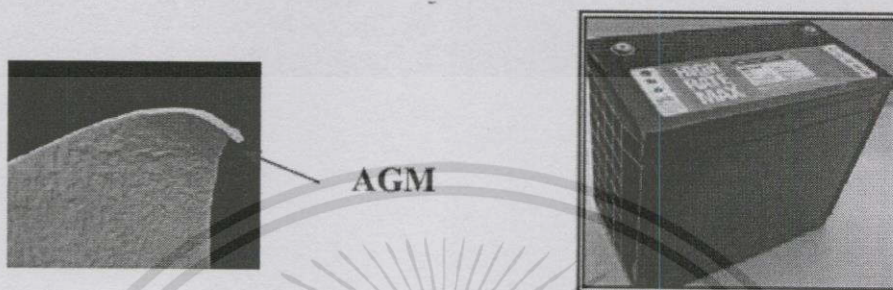
เทคโนโลยีของแบตเตอรี่ชนิดนี้มีผลกระทบเร็วมากต่อสถานะการประจุโดยเฉพาะข้อจำกัดระดับแรงดันและอุณหภูมิการประจุแบตเตอรี่ชนิดนี้จะต้องปฏิบัติตามข้อกำหนดของผู้ผลิตถ้าไม่มีข้อมูลไม่ควรประจุเกิน 14.2 V ที่ 25°C สำหรับแบตเตอรี่ 12V ข้อแนะนำสำหรับการประจุแบตเตอรี่ชนิดนี้คือให้ทำการประจุที่ระดับแรงดันและอุณหภูมิกงที่เพื่อป้องกันการประจุเกินยังแบ่งได้อีก 2 ชนิดคือ

- แบตเตอรี่แบบเจล (Gelled battery) ดังรูปที่ 2.29 แบตเตอรี่ชนิดนี้ออกแบบสำหรับใช้ในงานเครื่องมือวัดและอุปกรณ์ไฟฟ้าทั่วไปส่วนใหญ่ใช้กรดแบบตะกั่ว-แคลเซียม แบตเตอรี่ชนิดนี้มีการเติมซิลิกอนไดออกไซด์เข้าไปในสารอิเล็กโทรไลต์ก่อนที่จะทำให้เป็นเจลปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นปฏิกิริยารวมกันภายในเพื่อลดการเกิดก๊าซและลดการสูญเสียน้ำ แบตเตอรี่แบบเจลบางชนิดมีการผสมกรดฟอสฟอริกในสารละลายอิเล็กโทรไลต์เพื่อปรับปรุงความสามารถในการคายประจุมากของแบตเตอรี่



รูปที่ 2.30 แบตเตอรี่แบบเจล (Gelled Battery)

- แบตเตอรี่ Absorbed Glass Mat (AGM) ดังรูปที่ 2.30 แบตเตอรี่ชนิดนี้แตกต่างจากแบบเจลคือสารอิเล็กโทรไลต์จะซับด้วย glass mats และวางเป็นชั้นๆ ระหว่างเพลท แต่มีลักษณะทางกายภาพเหมือนกับเจล การพัฒนาแบตเตอรี่ชนิดนี้ทำให้สามารถใช้งานในสภาวะประจุเกินและสภาพแวดล้อมอุณหภูมิสูงได้ ดังนั้นข้อแนะนำในการประจุสำหรับแบตเตอรี่ชนิดนี้จะกำหนดแรงดันคงที่สูงกว่าแบตเตอรี่แบบเจลได้



รูปที่ 2.31 แบตเตอรี่ Absorbed Glass Mat (AGM)

ลักษณะเด่นของแบตเตอรี่แบบ AGM คือปรากฏการณ์การรวมตัวของก๊าซภายใน เมื่อเราทำการประจุแบตเตอรี่แบบตะกั่วกรดใกล้ถึงสภาวะประจุเต็มจะเกิดก๊าซไฮโดรเจนและออกซิเจนจากปฏิกิริยาในขั้วบวกและลบถ้าเป็นแบตเตอรี่แบบเติมน้ำกลั่นก๊าซที่เกิดขึ้นจะระบายออกมาภายนอกทำให้ต้องเติมน้ำกลั่นเข้าไปทดแทนแต่ใน AGM แบตเตอรี่โมเลกุลออกซิเจนที่เกิดขึ้นในเพลทบวกสามารถเคลื่อนที่ไปรวมกับโมเลกุลของก๊าซไฮโดรเจนที่เพลทลบและรวมตัวกลับเป็นน้ำอีกครั้ง ดังนั้นแบตเตอรี่ชนิดนี้จะปิดสนิทเพื่อป้องกันการสูญเสียน้ำและก๊าซที่เกิดขึ้นภายใน

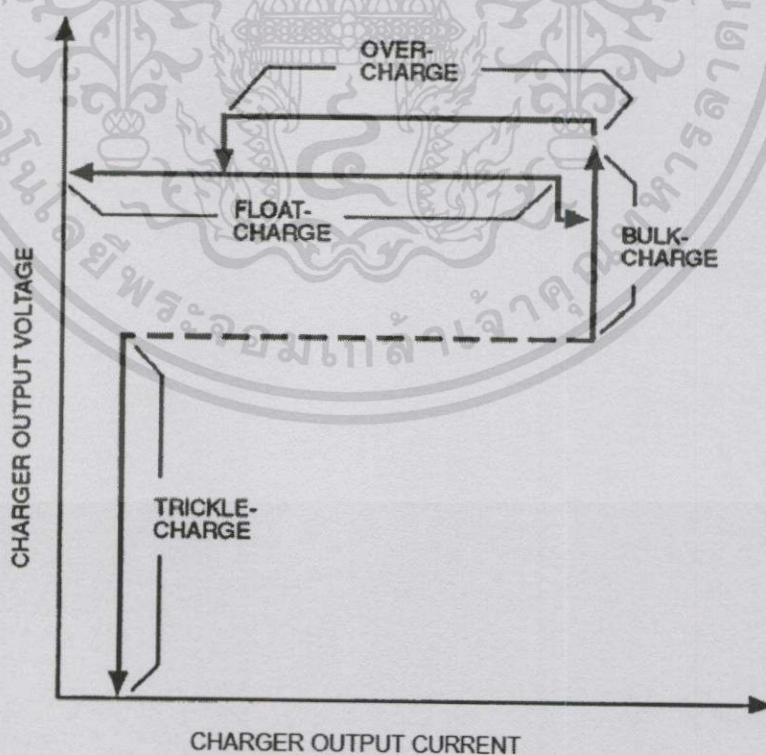
- แบตเตอรี่นิเกิล-แคดเมียม แบตเตอรี่นิเกิล-แคดเมียมเป็นแบตเตอรี่แบบทุติยภูมิสามารถนำมาประจุใหม่ได้และมีการนำไปใช้ประโยชน์ในวงกว้างมากกว่าแบตเตอรี่แบบตะกั่วกรดทำให้เป็นที่น่าสนใจที่จะนำมาใช้กับระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์และกังหันลมผลิตไฟฟ้าแบบอิสระ ข้อดีของแบตเตอรี่ชนิดนี้คือมีอายุการใช้งานนานบำรุงรักษาน้อยสามารถทนการประจุที่ผิดปกติได้ ทำงานได้ดีที่อุณหภูมิต่ำไม่มีข้อจำกัดที่ต้องควบคุมแรงดันให้คงที่ขณะประจุข้อเสียคือราคาแพงและมีขนาดให้เลือกใช้งานน้อย

ชนิดของแบตเตอรี่ตะกั่วกรด (Lead-Acid Battery)	ราคา	คุณสมบัติการคายประจุแบบลึก (Deep cycle)	การบำรุงรักษา
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
5. เจลแบตเตอรี่(Gelled)	ปานกลาง	มาก	ต่ำ
6. Absorbed Glass Mat(AGM)	ปานกลาง	มาก	ต่ำ
นิเกิล-แคดเมียม			
1. ชนิดเพลทแบบ Sintered	สูง	ดี	ไม่มี
2. ชนิดเพลทแบบ Pocket	สูง	ดี	ปานกลาง

ตารางที่ 2.4 ตารางเปรียบเทียบคุณสมบัติของแบตเตอรี่ชนิดต่างๆ

2.6.6. ขั้นตอนการอัดประจุแบตเตอรี่

ขั้นตอนในการอัดประจุแบตเตอรี่ สามารถแบ่งออกเป็น 4 สภาวะ ดังนี้



รูปที่ 2.32 ขั้นตอนการอัดประจุแบตเตอรี่ทั้ง 4 สภาวะ

2.6.6.1. Trickle-Charge - ถ้าแรงดันของแบตเตอรี่ ต่ำกว่าขีดที่ตั้งไว้ บ่งบอกถึงแบตเตอรี่นั้น ถูกทำการคายประจุไปมาก กระแส trickle นี้ จะถูกนำมาใช้ในการเพิ่มระดับแรงดันของแบตเตอรี่จนเข้าใกล้ 0 (โดยทั่วไปแล้ว ประมาณ 1.7 โวลต์/เซลล์ ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส) การ Trickle Charge ในขณะที่แบตเตอรี่มีความจุต่ำๆ นี้ จะช่วยป้องกันกระแสสูงๆ ที่อาจเกิดจากการชอตที่ถูกส่งมาหากเกิดการปลดปล่อยก๊าซ (Out-Gassing) ที่มากเกินไปเมื่อเกิดการ shot cell ขึ้น (Note: เมื่อแรงดันของแบตเตอรี่เพิ่มขึ้น การตรวจจับการชอตของเซลล์จะยากขึ้นด้วย) ดังนั้น หากแบตเตอรี่มีระดับแรงดันเข้าใกล้ 0 เราควรทำการ Trickle-Charge กล่าวคือ การป้อนกระแสให้แก่แบตเตอรี่ค่าสูงๆ เพื่อกระตุ้นให้แบตเตอรี่ทำงาน

2.6.6.2. Bulk-Charge - เมื่อทำการ Trickle-Charge จนสูงกว่าค่าขีดเริ่ม(Threshold)แล้ว การอัดประจุจะเปลี่ยนแปลงเข้าสู่สภาวะ Bulk-Charge กระแสจะถูกส่งเข้าสู่แบตเตอรี่โดยตรง ในสภาวะนี้แบตเตอรี่จะทำการเก็บประจุและซ่อมแซมตัวเองจากการถูกคายประจุออกไปก่อนหน้านี้

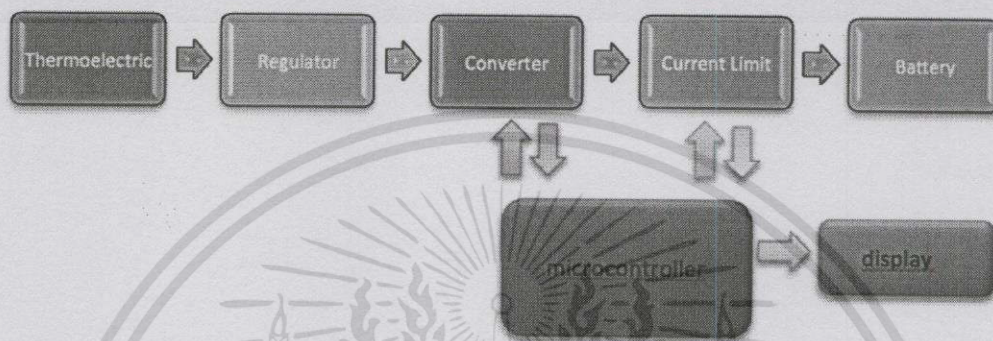
2.6.6.3. Over-Charge - สภาวะ Over-Charge นี้เป็นผลมาจากสภาวะ Bulk-Charge ที่เกิดขึ้นต่อเนื่องจนเต็มความจุ สภาวะนี้จะเกิดในช่วงเวลาสั้นๆ ซึ่งแรงดัน Over-charge ขึ้นอยู่กับอัตราการ Bulk-Charge (Note: แบตเตอรี่ที่ถูกปิดผนึกไว้ไม่ดี สภาวะ Over-Charge นี้จะมีการปลดปล่อยก๊าซจนเหลือน้อยที่สุด ซึ่งอาจเกิดการคายน้ำตามมาได้) การ Over-Charge จะสิ้นสุดลง เมื่อกระแสลดลง โดยทั่วไปแล้วประมาณ 1 ใน 10 ของอัตราการ Bulk-Charge

2.6.6.4. Float-Charge - เพื่อที่จะดูแลให้ความจุของแบตเตอรี่เต็ม และมีแรงดันคงที่ เพื่อที่จะนำมาใช้ ในการอัดประจุต้องยอมสละกระแสอย่างเสถียรไม่ได้เพื่อรักษาแรงดันไว้ และชดเชยการรั่วไหลของกระแส หากโหลดของแบตเตอรี่ทำงานหนัก charger จะส่งกระแสที่เพิ่มขึ้นนั้นไปที่ระดับ Bulk-Charge ซึ่งจะพักอยู่ที่สภาวะ Float state ก่อนที่แบตเตอรี่จะมีการ dropout ที่ 90% ของ แรงดัน Float state จุดนี้เองที่จะกลับเข้าสู่สถานะ Bulk Charge อีกครั้ง

บทที่ 3

การคำนวณและการออกแบบ

ในส่วนของการคำนวณและการออกแบบนั้น โครงสร้างของระบบประกอบด้วย 6 องค์ประกอบ กล่าวคือ เทลเทียร์ วงจรรักษาระดับแรงดัน วงจรแปลงระดับแรงดัน วงจรจำกัดกระแส วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ และ แบตเตอรี่ ซึ่งสามารถเขียนโครงสร้างของโครงการได้ ดังนี้



รูปที่ 3.1 โครงสร้างของระบบ

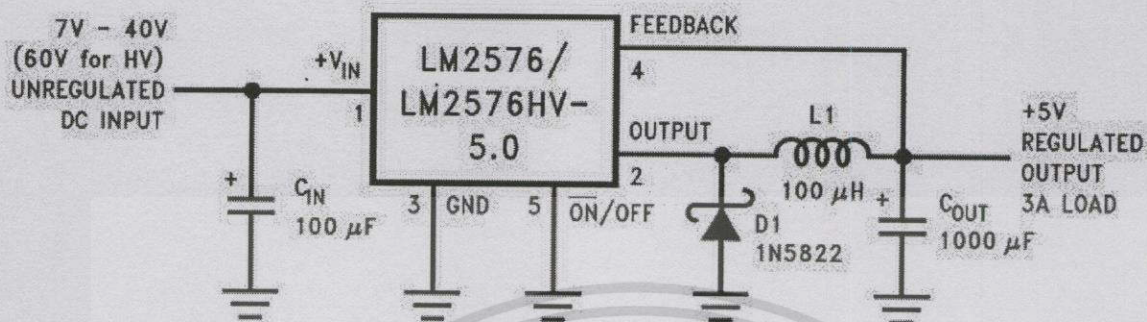
3.1 การประจุแบตเตอรี่ด้วยเทอร์โมอิเล็กทริก (เทลเทียร์)

ในส่วนนี้จะใช้อุปกรณ์ที่ชื่อว่าเทลเทียร์ เป็นอุปกรณ์ที่ใช้คุณสมบัติการ “Heat Pump” ซึ่งสามารถปั๊มความร้อนได้ โดยไม่มีชิ้นส่วนหรือของเหลวใดๆเคลื่อนที่ ไม่เป็นพิษภัยต่อสิ่งแวดล้อม กล่าวคือ เมื่อทำการป้อนแรงดันที่เทลเทียร์ เทลเทียร์จะแสดงคุณสมบัติในการปั๊มความร้อน จากด้านหนึ่งไปสู่อีกด้านหนึ่งได้อย่างรวดเร็ว ส่งผลให้อุณหภูมิทั้งสองด้านมีความแตกต่างกัน กล่าวคือ ด้านที่ปั๊มความร้อนจะมีอุณหภูมิต่ำกว่า ด้านที่ถูกปั๊มความร้อน ดังนั้น พลังงานไฟฟ้าจะเกิดขึ้นได้ เมื่อออกแบบให้อุณหภูมิของเทลเทียร์ทั้งสองด้าน มีความแตกต่างกัน ซึ่งขึ้นอยู่กับโมดูลที่นำมาต่อรวมกัน โดยการทำงานนี้ ใช้เทอร์โมอิเล็กทริกต่ออนุกรมร่วมกันทั้งสิ้น 6 โมดูล

3.2 วงจรรักษาระดับแรงดันไฟฟ้า (Regulator)

เป็นส่วนที่ช่วยให้ระดับแรงดันไฟฟ้าที่ระบบได้รับมีความคงที่ โดยจะทำหน้าที่กำจัดแรงดันกระเพื่อมที่ยังหลงเหลืออยู่เล็กน้อยให้หมดไป เพื่อให้เหมาะกับการควบคุมการนำพลังงานไปอัดประจุแบตเตอรี่ต่อไป

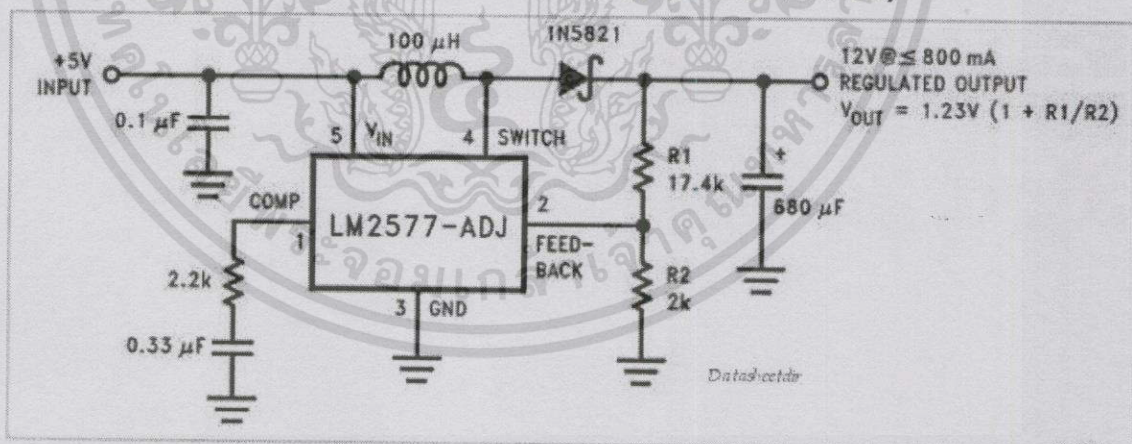
3.2.1 การออกแบบและการทำงาน (LM2576-5)



รูปที่ 3.2 วงจร Regulator โดยใช้ LM2576-5

การทำงานของวงจรของวงจร Regulator โดยใช้ LM2576-5 มีหลักการทำงานดังนี้ คือ เมื่อมีแรงดันที่ทางเข้า ซึ่งมีค่าประมาณ 7-40 โวลต์ แรงดันที่ทางออกที่ได้จะมีค่า 5 โวลต์เสมอ นอกจากนี้กระแสที่ทางออก จะมีค่าเท่ากับกระแสที่ทางเข้าทุกประการ จึงเรียกวจรดังกล่าวนี้ว่า “วงจรรักษาระดับแรงดันไฟฟ้า” ซึ่งแรงดันที่ทางออกของวงจรรักษาระดับแรงดันไฟฟ้าง่ายๆ ดังกล่าวนี้ จะถูกนำไปใช้เป็นไฟเลี้ยงวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ต่อไป

3.3 การออกแบบวงจร Converter และการคำนวณ (LM2577T-ADJ)



รูปที่ 3.3 วงจร step-up converter โดยใช้ LM2577-ADJ

การเลือกใช้ LM2577T-ADJ เนื่องจากสามารถนำไปสร้างวงจรได้ง่าย มีขนาดกระทัดรัด ประสิทธิภาพสูง สามารถใช้ปรับแรงดันขาออกได้ตามแรงดันของแบตเตอรี่ที่ต้องการที่จะอัดประจุ โดยกำหนดความต้องการดังนี้

แรงดันขาออกของวงจร (Vout)	=	18	V
แรงดันขาเข้า (Vin)	=	5 - 21	V
กระแสภาระ (I Load)	=	700	mA
ความถี่ใช้งานซึ่งเป็นความถี่การ Switch ของ LM2577 (F)	=	52	KHz

3.3.1 การคำนวณค่าตัวต้านทานที่ใช้ควบคุมขนาดแรงดัน

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

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

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

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

$$R2 = 13.63R1$$

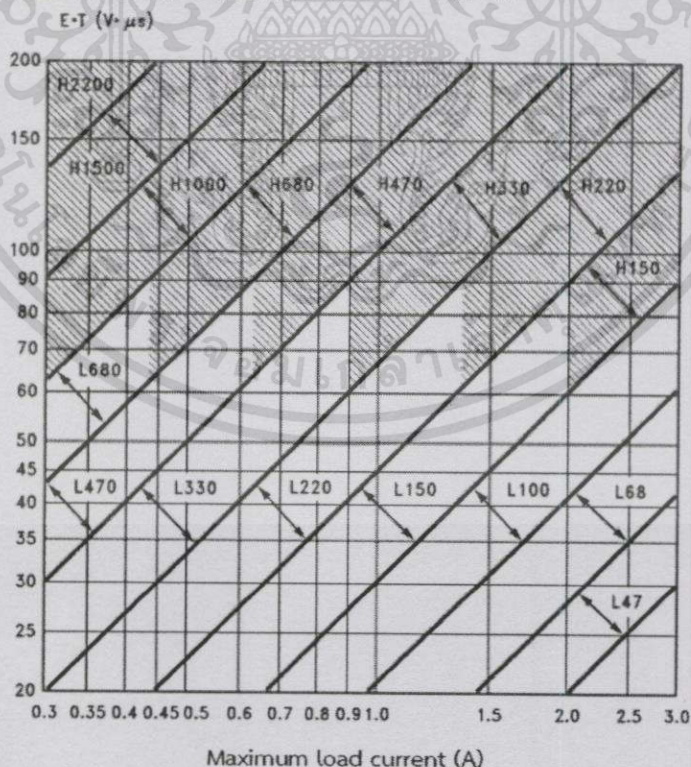
นั่นคือ R2 ต้องมีค่าเป็น 13.63 เท่าตัวของ R1 จึงจะได้ แรงดันขาออกตามต้องการ แต่ในที่นี้สามารถเลือกใช้ตัวต้านทานแบบปรับค่าได้ เพื่อปรับแรงดันขาออกได้ตามต้องการ

3.3.2 การคำนวณค่าคงที่ แรงดันในไมโครวินาที ของขดลวดเหนี่ยวนำ

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

$$E \cdot T = \frac{0.67 \times (6 - 0.6)10^6}{52,000} = 69.58 \text{ V} \cdot \mu s$$

นำค่าที่ได้ไปหาค่า L จาก Datasheet ได้ค่า L = 100 uH



รูปที่ 3.4 ความสัมพันธ์ค่า E . T กับค่ากระแสสูงสุด

3.3.3 การเลือกตัวเก็บประจุขาออก

ค่าตัวเก็บประจุขาออกและค่าความเหนี่ยวนำขดลวดขาออกจากคู่ pole ที่ dominate ในรอบการ switch ของ regulator เพื่อให้วงจรสามารถทำงานได้อย่างเสถียร คำนวณได้ตามสมการ

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

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

โดยที่

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

และ

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

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

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

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

$$C_{out} \geq 581.875 \mu F$$

ดังนั้น จึงเลือกใช้ C_{out} ขนาด 680 μF

3.3.4 การเลือกใช้งานไดโอด

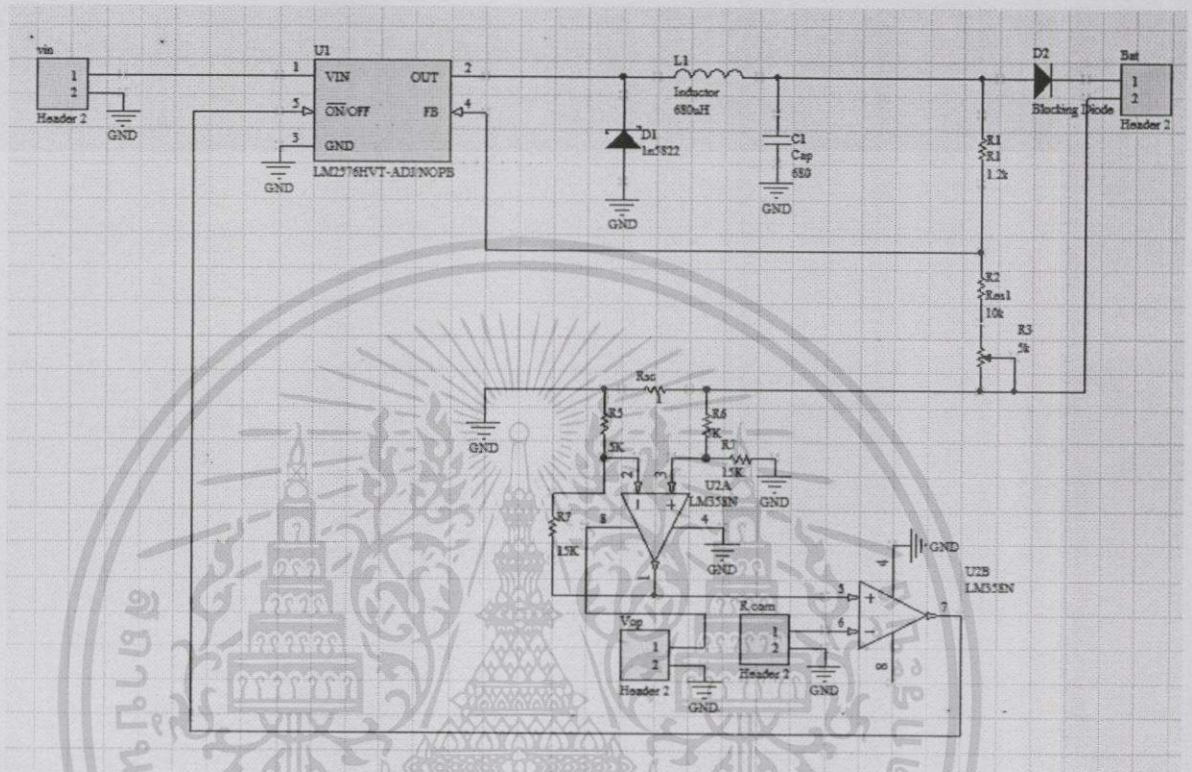
การเลือกใช้ Catch Diode ควรเลือกไดโอดที่ทนกระแสมากกว่า 1.2

เท่าของกระแสกระแสสูงสุด 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 3.5 ตารางการเลือกใช้ไดโอด

3.4 วงจรจำกัดกระแส (Current Limit)



รูปที่ 3.6 วงจรจำกัดกระแส โดยใช้ LM2576-adj

วงจรอัดประจุแบตเตอรี่นี้ ออกแบบโดยใช้ LM2576-adj โดยแรงดัน input ของวงจรมีค่าคงที่ที่ 18 V โดยวงจรที่ออกแบบ ต้องการแรงดันที่ทางออก $V_{out} = 14.4V$ และกระแส $I_{out} = 0 - 1.5 A$

หลักการการทำงานคือ เมื่อมี แรงดัน input เข้ามา LM2576-adj ทำงานในโหมดสวิตชิ่งเพื่อควบคุมแรงดันและกระแสที่เหมาะสมในการชาร์จแบตเตอรี่ มีช็อตกี้ไดโอดซึ่งมีคุณสมบัติในการสวิตช์ได้เร็วในการทำงานแบบสวิตชิ่ง และขดลวดเหนี่ยวนำทำหน้าที่ทดแทนแรงดันที่สูงหายไปขณะทำการสวิตช์ โดยแรงดันที่ทางออกสามารถควบคุมได้จากอัตราส่วนของความต้านทานที่ขา feedback ดังนี้

$$\text{เนื่องจาก} \quad V_{out} = V_{ref} \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)$$

$$14.4 = 1.23 \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)$$

$$\text{จะได้} \quad \frac{R_2}{R_1} = 10.5 \text{ เท่า}$$

จึงเลือกใช้ $R_2 = 10k\Omega$ นำมาต่ออนุกรมกับความต้านทานปรับค่าได้ $5k\Omega$ และใช้ $R_1 = 1.2k\Omega$

กระแสที่ทางออกถูกควบคุมโดย R_{sc} อันเนื่องมาจากกฎของโอมท์
 เมื่อมีแรงดันมาตกคร่อม R_{sc} กระแสที่ไหลผ่าน R_{sc} คำนวณได้จาก $V=IR$ เมื่อออกแบบให้ $R_{sc} = 1\Omega$
 ดังนั้น กระแสที่ไหลผ่าน R_{sc} จะถูกกำหนดด้วยค่าแรงดันที่ตกคร่อม R_{sc} เท่านั้น

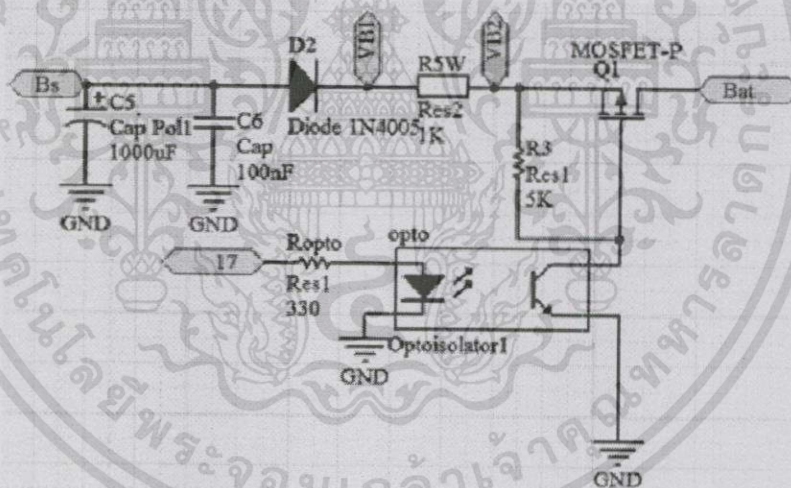
ค่าแรงดันที่ตกคร่อม R_{sc} สามารถควบคุมได้โดยทำการเพิ่ม LM358
 ซึ่งเป็นออปแอมป์ทำหน้าที่เป็น Differential Amplifier และ Comparator ได้ โดย Differential
 Amplifier ทำหน้าที่ขยายแรงดันเป็น 3 เท่า ซึ่งถูกกำหนดด้วยอัตราส่วนของความต้านทานที่ขาลบ
 และความต้านทานที่ต่อแบบ Non-inverting เมื่อทำการขยายแรงดันเป็น 3 เท่าแล้ว จะนำมาเข้า
 Comparator โดยทำการเทียบแรงดันกับขาลบซึ่งมี R ปรับค่าได้คอยปรับโวลต์ที่เข้าขาลบของ
 Comparator ซึ่งเมื่อเทียบแรงดันที่ขาบวก

ถ้าแรงดันที่ขาลบ \leq แรงดันที่ขาบวก แล้ว แรงดันที่ทางออกจะให้ค่าแรงดันต่ำสุด (Low)

ถ้าแรงดันที่ขาลบ $>$ แรงดันที่ขาบวก แล้ว แรงดันที่ทางออกจะให้ค่าแรงดันสูงสุด (High)

จากนั้น นำค่าแรงดัน Output นี้ ไปเชื่อมต่อกับขา \overline{ON}/OFF ของ LM2576-adj
 ซึ่งจะทำงานเมื่อขา \overline{ON}/OFF นี้ อยู่ในสถานะ Low ดังนั้น เมื่อทำการปรับแรงดันที่ขาลบของ
 Comparator จะทำให้สามารถควบคุมแรงดันที่ตกคร่อม R_{sc} ได้ ส่งผลให้สามารถควบคุมกระแสที่
 ไหลเข้าแบตเตอรี่ได้ด้วย

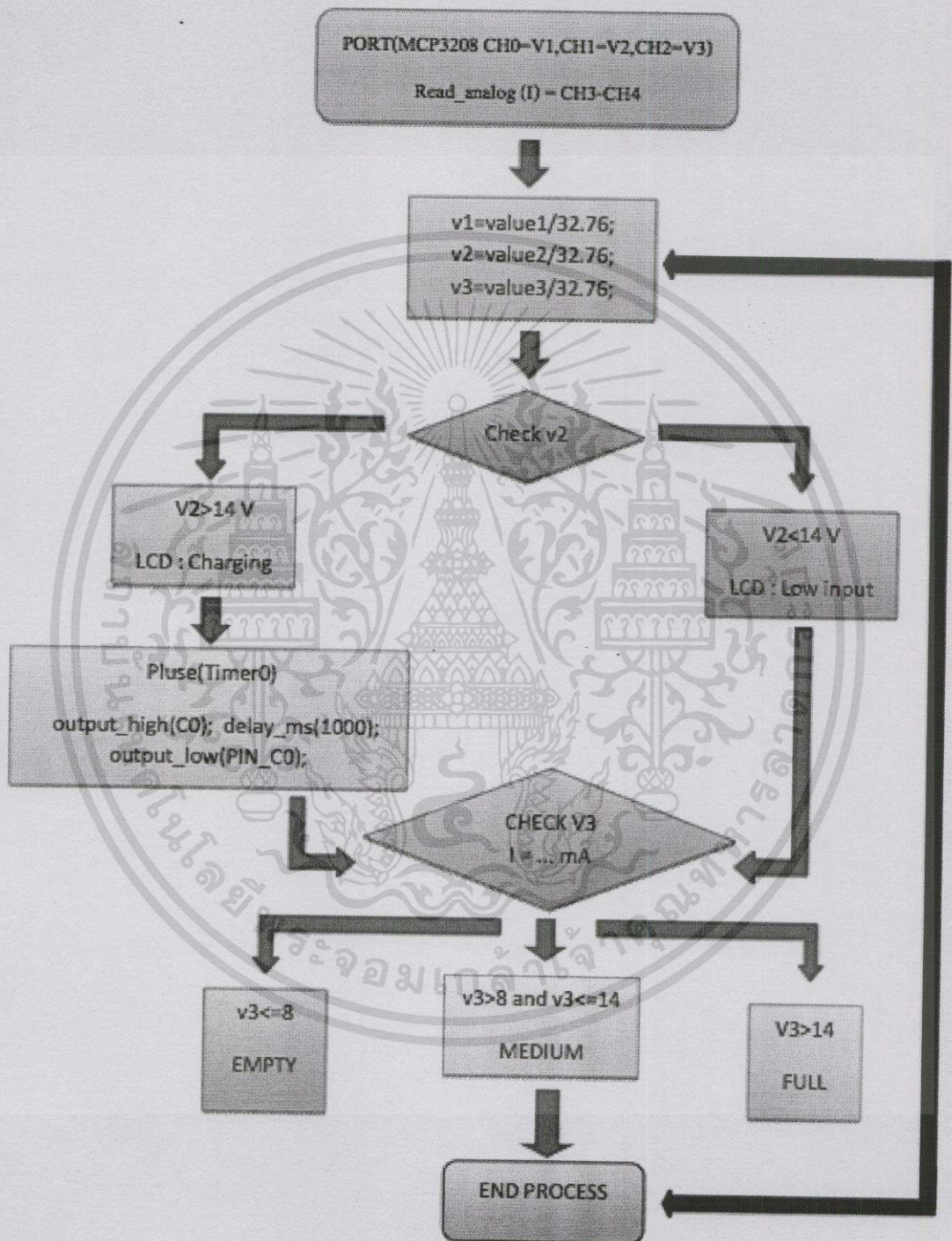
3.5 วงจร opto isolator



รูปที่ 3.7 วงจรไครฟ์กระแสเพื่อใช้ในการประจุแบตเตอรี่

หลักการทำงานคือ เมื่อมีสัญญาณพัลส์จากไมโครคอนโทรลเลอร์ ออปโตไอโซเลเตอร์
 จะทำหน้าที่เป็นสวิตช์เปิดปิดให้กับขาเกตของมอสเฟตเพื่อขับกระแส ก่อนอัดประจุแบตเตอรี่
 โดยกระแสดังกล่าว ถูกควบคุมจากตัวต้านทานจำกัดกระแสจากวงจรจำกัดกระแส ดังรูปที่ 3.6
 เมื่อทำการวัดแรงดันของ VB1 และ VB2 ด้วยวงจรวัดแรงดัน/ดิจิตอล แล้ว จึงเข้าสู่ขั้นตอนการ
 เขียนโปรแกรมเพื่อแสดงผลค่าของกระแสที่เข้าแบตเตอรี่ ซึ่งจะกล่าวต่อไป

3.6 ซอฟต์แวร์และการเขียนโปรแกรม



รูปที่ 3.8 Flow Chart ของการเขียนโปรแกรมตรวจสอบสถานะของแบตเตอรี่

แผนผังแสดงขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมที่ใช้ในไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยใช้ วงจรรวมอนาล็อก/ดิจิทัล MCP3208 ซึ่งกำหนดค่าตัวแปรต่างๆดังนี้

Port CH0 = V1 = แรงดันที่เป็นค่าอนาล็อกจากเทอร์โมอิเล็กทริก

Port CH1 = V2 = แรงดันที่เป็นค่าอนาล็อกจากวงจรแปลงแรงดัน

Port CH2 = V3 = แรงดันที่เป็นค่าอนาล็อกจากแบตเตอรี่

โดย แสดงผลของค่ากระแสโดยใช้ Port CH3-CH4

เมื่อรับแรงดันจากทั้ง 3 พอร์ท จะทำการเปลี่ยนแรงดันสัญญาณอนาล็อกให้เป็นแรงดัน สัญญาณแบบดิจิทัลเพื่อแสดงผลทางจอ LCD จากนั้นทำการตรวจสอบสถานะของแรงดัน จากวงจรแปลงแรงดันโดยแบ่งเป็น 2 เงื่อนไข ดังนี้

3.7.1 เมื่อมีแรงดันมากกว่า 14 โวลต์ วงจรจะทำการอัดประจุแบตเตอรี่เข้าไปในรูปของ Pulse(Timer0) โดย แรงดันขาออกที่สูงที่สุด จะมีความหน่วงเวลา 1000 ms และแรงดันขาออก ที่ต่ำที่สุดจะมีความหน่วงเวลา 1000 ms

3.7.2 เมื่อแรงดันต่ำกว่า 14 โวลต์ จะแสดงผลในจอ LCD ว่าวงจรมีแรงดันไฟเข้าไม่เพียงพอ (Low input) เมื่อตรวจสอบสถานะของแรงดันของวงจรแปลงแรงดันไฟฟ้าเสร็จสิ้น จะเข้าสู่ลำดับ ต่อไปคือการตรวจสอบสถานะของแรงดันจากแบตเตอรี่ โดยจะแบ่งออกเป็น 3 เงื่อนไข คือ

3.7.2.1 เมื่อแรงดันของแบตเตอรี่น้อยกว่าหรือเท่ากับ 8 โวลต์ จะแสดงผลทางหน้าจอ LCD ว่า "EMPTY"

3.7.2.2 เมื่อแรงดันอยู่ในช่วง 8 โวลต์ แต่น้อยกว่าหรือเท่ากับ 14 โวลต์ จะแสดงผลทางจอ LCD ว่า "MEDIUM"

3.7.2.3 เมื่อมีแรงดันมากกว่า 14 โวลต์ จะแสดงผลทางจอ LCD ว่า "FULL" เขียนโปรแกรมแสดงผลกระแสที่เข้าแบตเตอรี่ โดยเก็บค่า VB1 จากวงจรจำกัดกระแสไว้ที่ CH3 และเก็บค่า VB2 จากวงจรจำกัดกระแสไว้ที่ CH4 จากนั้นทำการคำนวณจากกฎของโอห์ม $I = VB2 - VB1 / 1$ และทำการแสดงผลทางหน้าจอ LCD

3.7 โปรแกรมภาษา C ที่เขียนลงใน Microcontroller

```
#include <16f877a.h>
#include HS,NOWDT,NOPROTECT
#include <MCP3208.c>
#include <LCD.c>
unsigned int tick=0;
int 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(;;)
    {
        lcd_putc("\r");
        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>=14) { printf(lcd_putc,"Charging");
delay_us(10); check=1;
}

else if (c<14)
{
printf(lcd_putc,"Low input");
delay_us(10);
check=0;
}

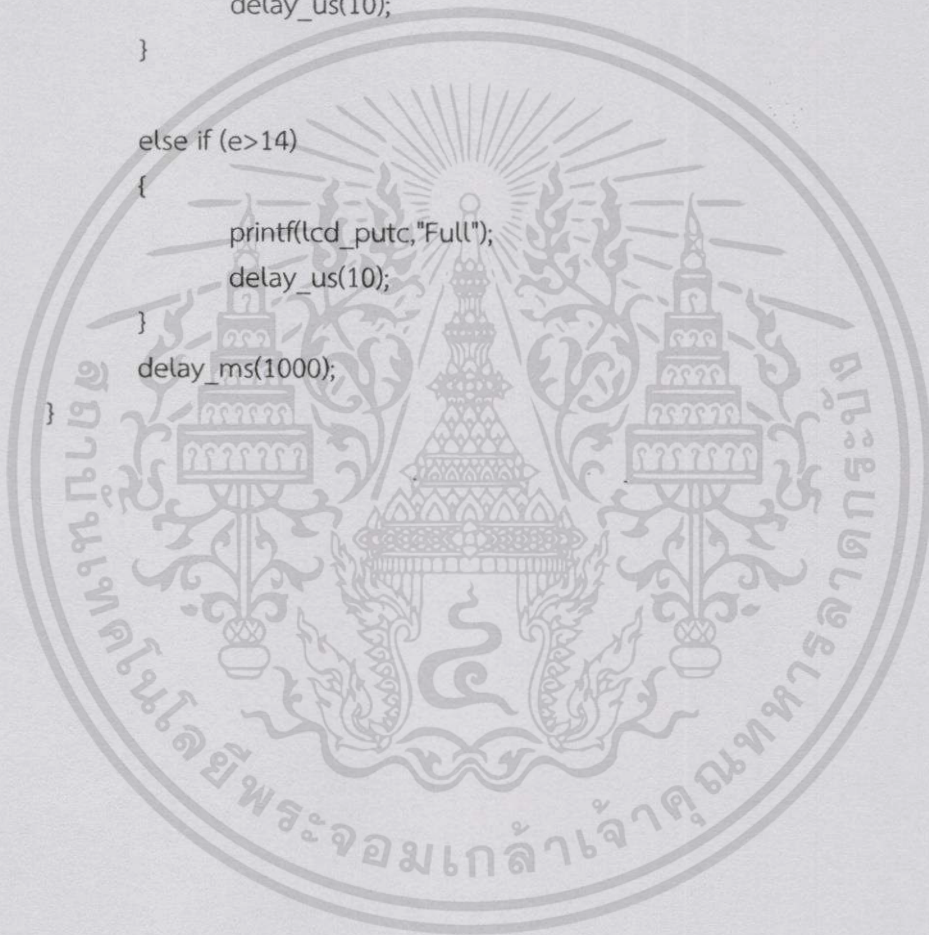
delay_ms(1000);
lcd_putc("\n");
adc_v=read_analog(2);
adc_v=(adc_v/32.76)-50;
e=adc_v/100;
f=adc_v%100;
printf(lcd_putc,"Vbat=%d.%dV.",e,f);
delay_us(10);
adc_v=read_analog(3);
adc_v=(adc_v/32.76)-50;
g=adc_v;
delay_us(10);
adc_v=read_analog(4);
adc_v=(adc_v/32.76)-50;
h=adc_v;
delay_us(10);
i=(h-g)/1;
j=i;
printf(lcd_putc,"\nI=%dmA ",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);
}
```



บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

4.1 การทดสอบหาคุณสมบัติของเทอร์โมอิเล็กทริก (เพลเทียร์)

4.1.1 ทดสอบหาแรงดันสูงสุด ที่ความแตกต่างของอุณหภูมิค่าต่างๆ ขณะเปิดวงจร

ที่ $\Delta T = 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ จะได้ แรงดัน $V = 2.61\text{ V}$

ที่ $\Delta T = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ จะได้ แรงดัน $V = 2.75\text{ V}$

ที่ $\Delta T = 30\text{ }^{\circ}\text{C}$ จะได้ แรงดัน $V = 3.57\text{ V}$

ที่ $\Delta T = 40\text{ }^{\circ}\text{C}$ จะได้ แรงดัน $V = 4.66\text{ V}$

ที่ $\Delta T = 50\text{ }^{\circ}\text{C}$ จะได้ แรงดัน $V = 5.82\text{ V}$

ที่ $\Delta T = 60\text{ }^{\circ}\text{C}$ จะได้ แรงดัน $V = 7.35\text{ V}$

4.1.2 ทดสอบหากระแสสูงสุด ที่ความแตกต่างของอุณหภูมิค่าต่างๆ ขณะปิดวงจร

ที่ $\Delta T = 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ จะได้ กระแส $I = 182\text{ mA}$

ที่ $\Delta T = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ จะได้ กระแส $I = 227\text{ mA}$

ที่ $\Delta T = 30\text{ }^{\circ}\text{C}$ จะได้ กระแส $I = 273\text{ mA}$

ที่ $\Delta T = 40\text{ }^{\circ}\text{C}$ จะได้ กระแส $I = 361\text{ mA}$

ที่ $\Delta T = 50\text{ }^{\circ}\text{C}$ จะได้ กระแส $I = 472\text{ mA}$

ที่ $\Delta T = 60\text{ }^{\circ}\text{C}$ จะได้ กระแส $I = 688\text{ mA}$

4.1.3 ทดสอบหาแรงดันและกระแส ที่ความแตกต่างของอุณหภูมิต่างๆ

4.1.3.1 แรงดันและกระแส เมื่อ $\Delta T = 10\text{ }^{\circ}\text{C}$

V (V)	I (mA)	P(W)
2.61	0	0
1.87	75	0.140
1.14	128	0.145
0.45	161	0.072
0	182	0

ตารางที่ 4.1 แรงดันและกระแส เมื่อ $\Delta T = 10\text{ }^{\circ}\text{C}$

4.1.3.2 แรงดันและกระแส เมื่อ $\Delta T = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$

V (V)	I (mA)	P (W)
2.75	0	0
2.35	60	0.141
1.68	135	0.226
0.56	203	0.107
0	227	0

ตารางที่ 4.2 แรงดันและกระแส เมื่อ $\Delta T = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 4.1.3.3 แรงดันและกระแส เมื่อ $\Delta T = 30\text{ }^{\circ}\text{C}$

V (V)	I (mA)	P (W)
3.57	0	0
3.01	110	0.331
2.17	157	0.340
0.87	215	0.187
0	273	0

ตารางที่ 4.3 แรงดันและกระแส เมื่อ $\Delta T = 30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 4.1.3.4 แรงดันและกระแส เมื่อ $\Delta T = 40\text{ }^{\circ}\text{C}$

V (V)	I (mA)	P (W)
4.66	0	0
3.76	143	0.537
2.12	257	0.544
0.87	315	0.274
0	361	0

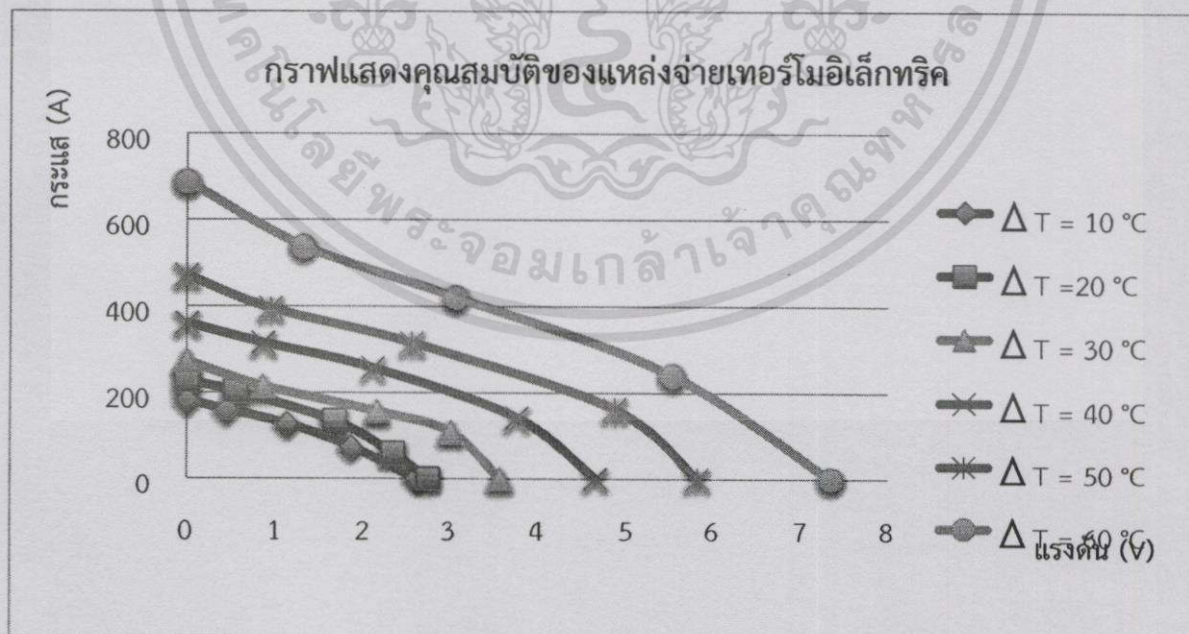
ตารางที่ 4.4 แรงดันและกระแส เมื่อ $\Delta T = 40\text{ }^{\circ}\text{C}$

4.1.3.5 แรงดันและกระแส เมื่อ $\Delta T = 50\text{ }^{\circ}\text{C}$

V (V)	I (mA)	P(W)
5.82	0	0
4.87	163	0.793
2.56	315	0.806
0.95	395	0.387
0	472	0

ตารางที่ 4.5 แรงดันและกระแส เมื่อ $\Delta T = 50\text{ }^{\circ}\text{C}$ 4.1.3.6 แรงดันและกระแส เมื่อ $\Delta T = 60\text{ }^{\circ}\text{C}$

V (V)	I (mA)	P (W)
7.35	0	0
5.53	241	1.332
3.07	421	1.292
1.32	539	0.711
0	688	0

ตารางที่ 4.6 แรงดันและกระแส เมื่อ $\Delta T = 60\text{ }^{\circ}\text{C}$ 

รูปที่ 4.1 คุณสมบัติของแหล่งจ่ายเทอร์โมอิเล็กทริก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

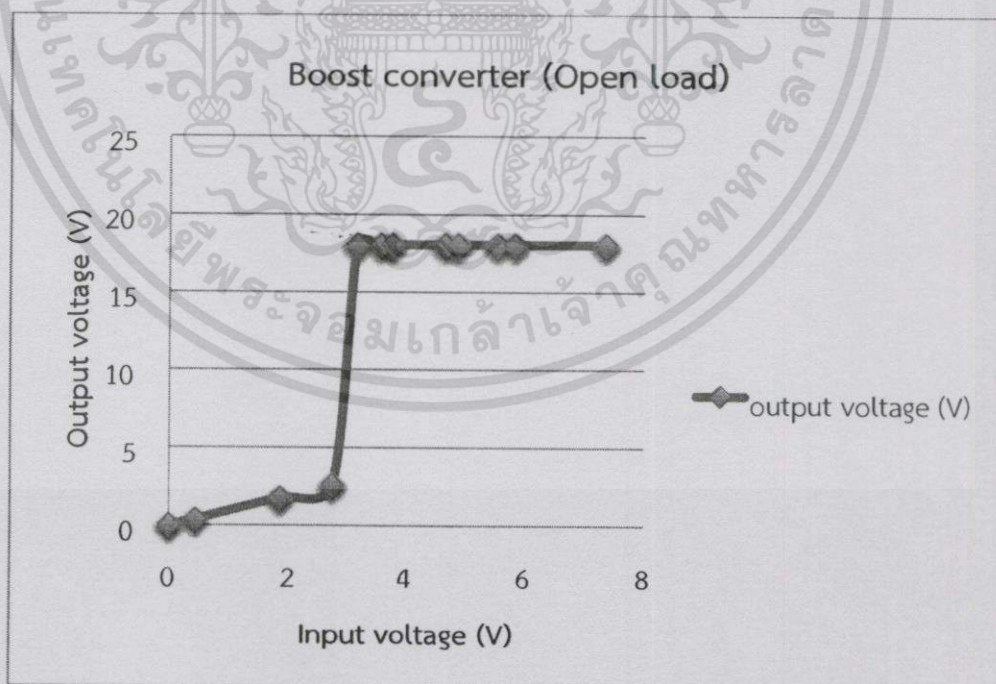
4.2 การทดสอบวงจรแปลงระดับแรงดัน (Step up converter)

4.2.1 ทดสอบแรงดันวงจรแปลงระดับแรงดัน (Step up converter)

ขณะเปิดวงจร

input voltage (V)	output voltage (V)
0	0
0.45	0.38
1.87	1.79
2.75	2.63
3.16	18.05
3.57	18.05
3.76	18.05
4.66	18.05
4.87	18.05
5.53	18.05
5.82	18.05
7.35	18.05

ตารางที่ 4.7- ทดสอบแรงดันวงจรแปลงระดับแรงดัน (Step up converter) ขณะเปิดวงจร

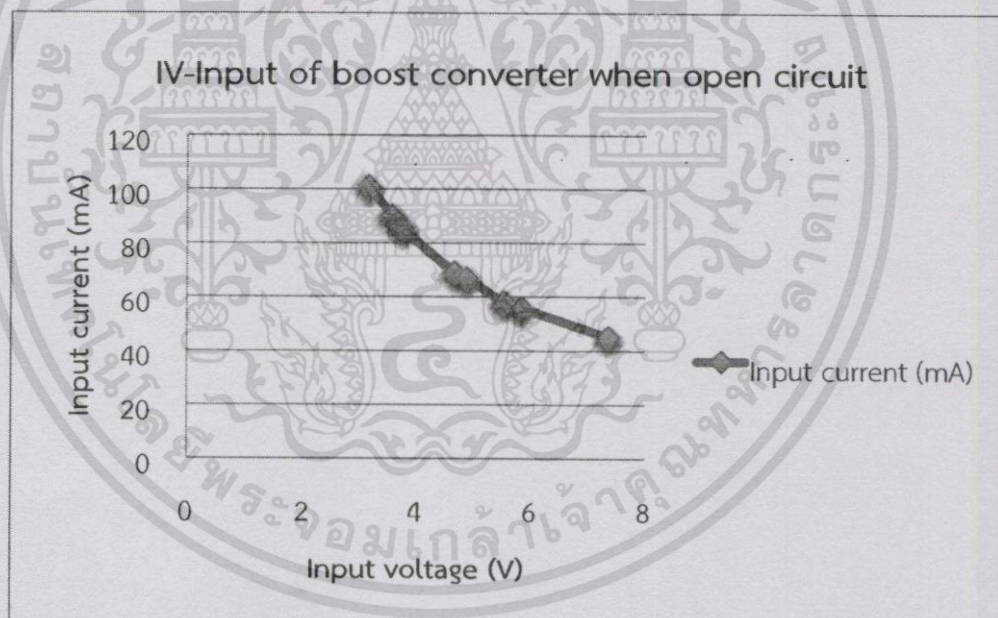


รูปที่ 4.2 ทดสอบแรงดันวงจรแปลงระดับแรงดัน (Step up converter) ขณะเปิดวงจร

4.2.2 ทดสอบแรงดันและกระแสของวงจรแปลงระดับแรงดัน (Step up converter) ขณะเปิดวงจร

Input voltage (V)	Input current (mA)	Input power (mW)	Output voltage (V)
3.16	101	320.1	18.08
3.57	90	321.3	18.05
3.76	85	320.8	18.05
4.66	69	320.6	18.05
4.87	67	321.1	18.05
5.53	58	321.7	18.03
	56	322.1	18.01
7.35	45	327.2	18.01

ตารางที่ 4.8 ทดสอบแรงดันและกระแสของวงจรแปลงระดับแรงดัน (Step up converter) ขณะเปิดวงจร

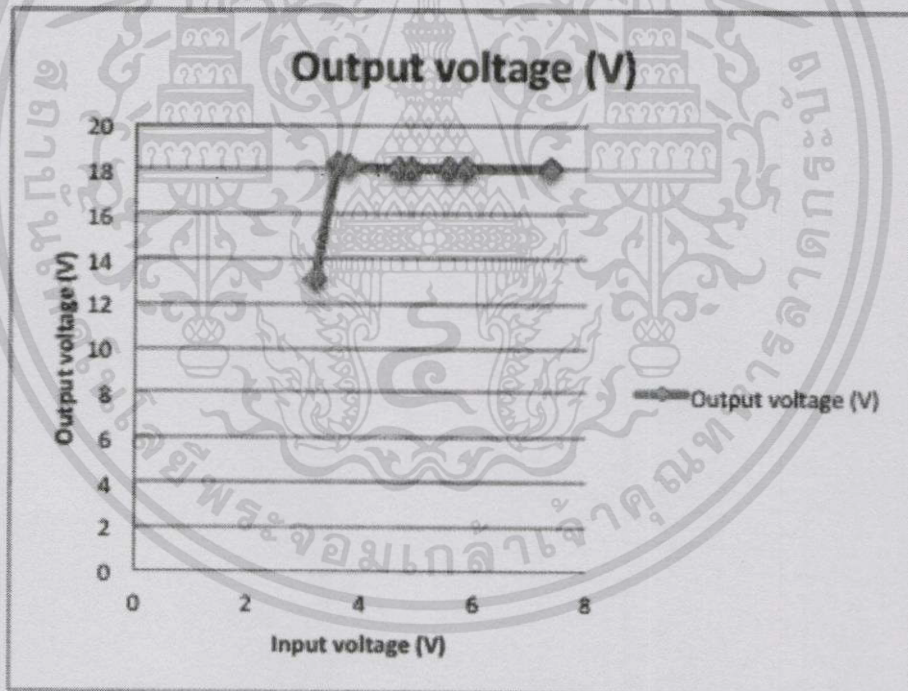


รูปที่ 4.3 ทดสอบแรงดันและกระแสของวงจรแปลงระดับแรงดัน (Step up converter) ขณะเปิดวงจร

4.2.3 ทดสอบแรงดันของวงจรแปลงระดับแรงดัน (Step up converter)
ขณะดึงกระแส 100 mA

Input voltage (V)	Output voltage (V)
3.16	13.15
3.57	18.27
3.76	18.13
4.66	18.05
4.87	18.05
5.53	18.03
5.82	18.05
7.35	18.05

ตารางที่ 4.9 ทดสอบแรงดันและกระแสของวงจรแปลงระดับแรงดัน (Step up converter)
ขณะดึงกระแส 100 mA

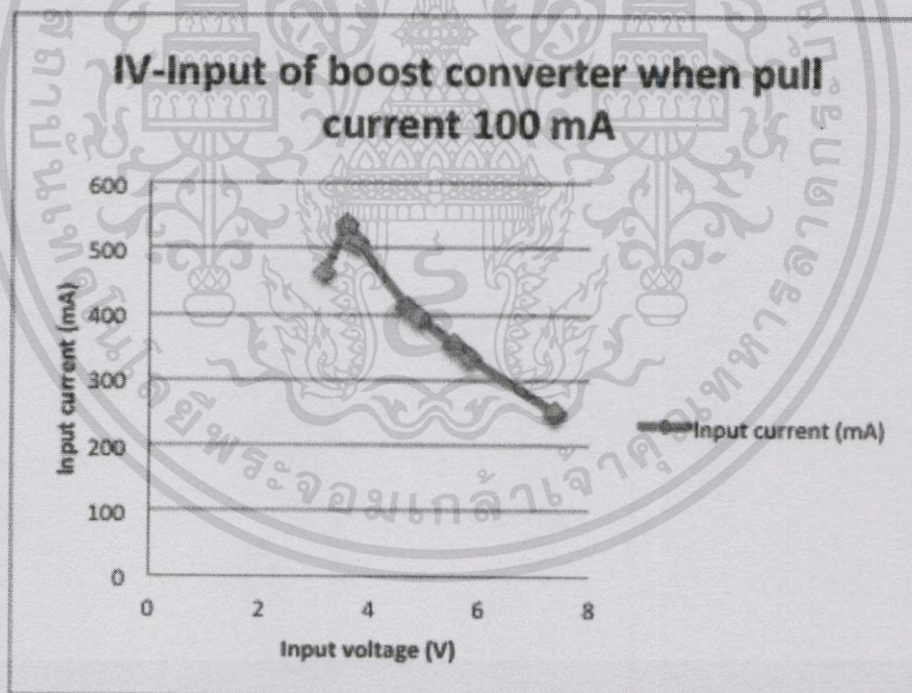


รูปที่ 4.4 ทดสอบแรงดันของวงจรแปลงระดับแรงดัน (Step up converter)
ขณะดึงกระแส 100 mA

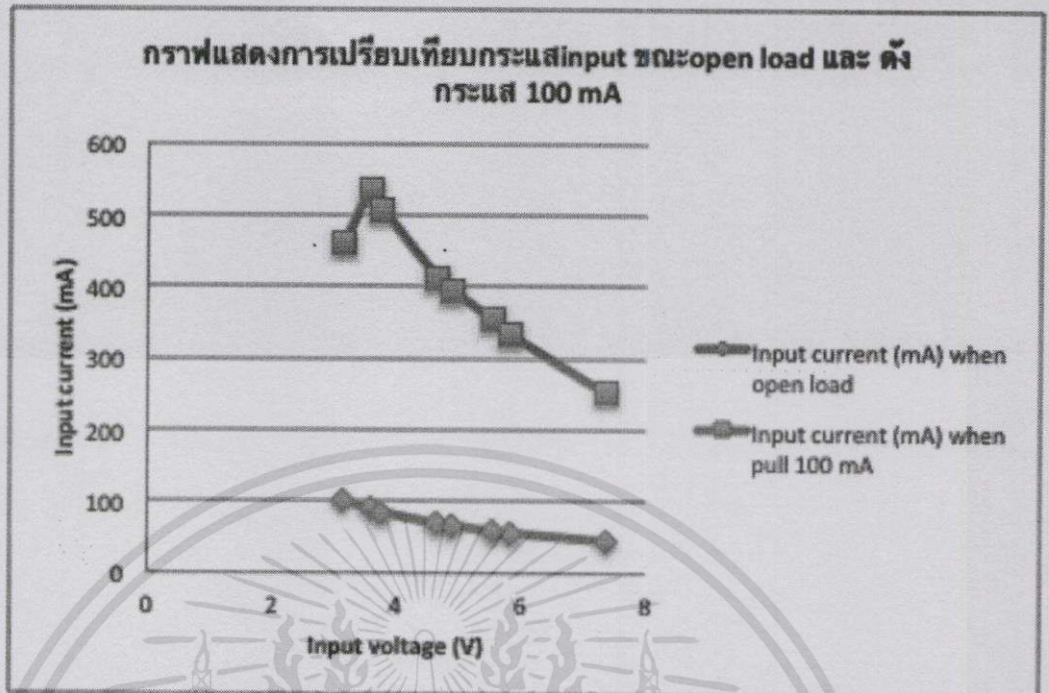
4.2.4 ทดสอบแรงดันและกระแสของวงจรแปลงระดับแรงดัน (Step up converter) ขณะดึงกระแส 100 mA

Input voltage (V)	Input current (mA)	Input power (mW)	Output voltage (V)
3.16	462	1459.92	13.15
3.57	535	1909.95	18.27
3.76	509	1913.84	18.13
4.66	412	1919.92	18.05
4.87	396	1928.52	18.05
5.53	354	1957.62	18.03
5.82	333	1938.06	18.05
7.35	252	1852.2	18.05

ตารางที่ 4.10 ทดสอบแรงดันและกระแสของวงจรแปลงระดับแรงดัน (Step up converter) ขณะดึงกระแส 100 mA



รูปที่ 4.5 ทดสอบแรงดันและกระแสของวงจรแปลงระดับแรงดัน (Step up converter) ขณะดึงกระแส 100 mA



รูปที่ 4.6 เปรียบเทียบกระแสอินพุท ขณะเปิดวงจร และ ขณะดึงกระแส 100 mA

4.3 การทดสอบวงจรจำกัดกระแส

4.3.1 ทดสอบวงจรจำกัดกระแส ขณะปิดวงจร (Shot Circuit)

แรงดันที่ขาลบของ comparator (V)	แรงดันที่ขาบวกของ Comparator (V)	แรงดัน Rsc (V)	ค่านวนกระแส (A)
0	0	0	0
0.5	0.523	0.195	0.195
1	1.001	0.373	0.373
1.5	1.503	0.495	0.495
2	2.007	0.662	0.662
2.5	2.498	0.787	0.787
3	3.021	0.959	0.959
3.5	3.512	1.168	1.168
4	4.006	1.312	1.312
4.5	4.499	1.492	1.492

ตารางที่ 4.11 ทดสอบวงจรจำกัดกระแส ขณะปิดวงจร (Shot Circuit)

4.3.2 ทดสอบวงจรจำกัดกระแส ขณะ $I_{out} = 0.25 \text{ A}$

แรงดันที่ขาลบของ comparator (V)	แรงดันที่ขาบวกของ Comparator (V)	แรงดัน Rsc (V)	ค่านวมกระแส (A)
0	0	0	0
0.125	0.128	0.041	0.041
0.25	0.242	0.082	0.082
0.325	0.322	0.108	0.108
0.5	0.498	0.169	0.169
0.625	0.622	0.207	0.207
0.75	0.753	0.249	0.249
1	1.005	0.249	0.249
1.5	0.753	0.249	0.249
2	0.753	0.249	0.249
3	0.753	0.249	0.249
4.5	0.753	0.249	0.249

ตารางที่ 4.12 ทดสอบวงจรจำกัดกระแส ขณะกำหนดให้ $I_{out} = 0.25 \text{ A}$

4.3.3 ทดสอบวงจรจำกัดกระแส ขณะ $I_{out} = 0.5 \text{ A}$

แรงดันที่ขาลบของ comparator (V)	แรงดันที่ขาบวกของ Comparator (V)	แรงดัน Rsc (V)	จำนวนกระแส (A)
0	0	0	0
0.125	0.125	0.042	0.021
0.25	0.242	0.08	0.08
0.325	0.325	0.106	0.106
0.5	0.498	0.167	0.167
0.625	0.624	0.205	0.205
0.75	0.751	0.248	0.248
1	1.005	0.327	0.327
1.5	1.5	0.498	0.498
2	2	0.498	0.498
3	3	0.498	0.498
4.5	4.5	0.498	0.498

ตารางที่ 4.13 ทดสอบวงจรจำกัดกระแส ขณะกำหนดให้ $I_{out} = 0.5 \text{ A}$ 4.3.4 ทดสอบวงจรจำกัดกระแส ขณะ $I_{out} = 0.75 \text{ A}$

แรงดันที่ขาลบของ comparator (V)	แรงดันที่ขาบวกของ Comparator (V)	กระแส (A)	จำนวนกระแส (A)
0	0	0	0
0.5	0.523	0.195	0.195
1	1.001	0.373	0.373
1.5	1.503	0.495	0.495
2	2.007	0.662	0.662
2.5	2.498	0.749	0.749
3	3.021	0.749	0.749
3.5	3.512	0.749	0.749
4	4.006	0.749	0.749
4.5	4.499	0.749	0.749

ตารางที่ 4.14 ทดสอบวงจรจำกัดกระแส ขณะกำหนดให้ $I_{out} = 0.75 \text{ A}$

4.3.5 ทดสอบวงจรจำกัดกระแส ขณะ $I_{out} = 1 \text{ A}$

แรงดันที่ขาลบของ comparator (V)	แรงดันที่ขาบวกของ Comparator (V)	กระแส (A)	จำนวนกระแส (A)
0	0	0	0
0.5	0.523	0.195	0.195
1	1.001	0.373	0.373
1.5	1.503	0.495	0.495
2	2.007	0.662	0.662
2.5	2.498	0.831	0.831
3	3.021	1.002	1.002
3.5	3.512	1.002	1.002
4	4.006	1.002	1.002
4.5	4.499	1.002	1.002

ตารางที่ 4.15 ทดสอบวงจรจำกัดกระแส ขณะกำหนดให้ $I_{out} = 1 \text{ A}$

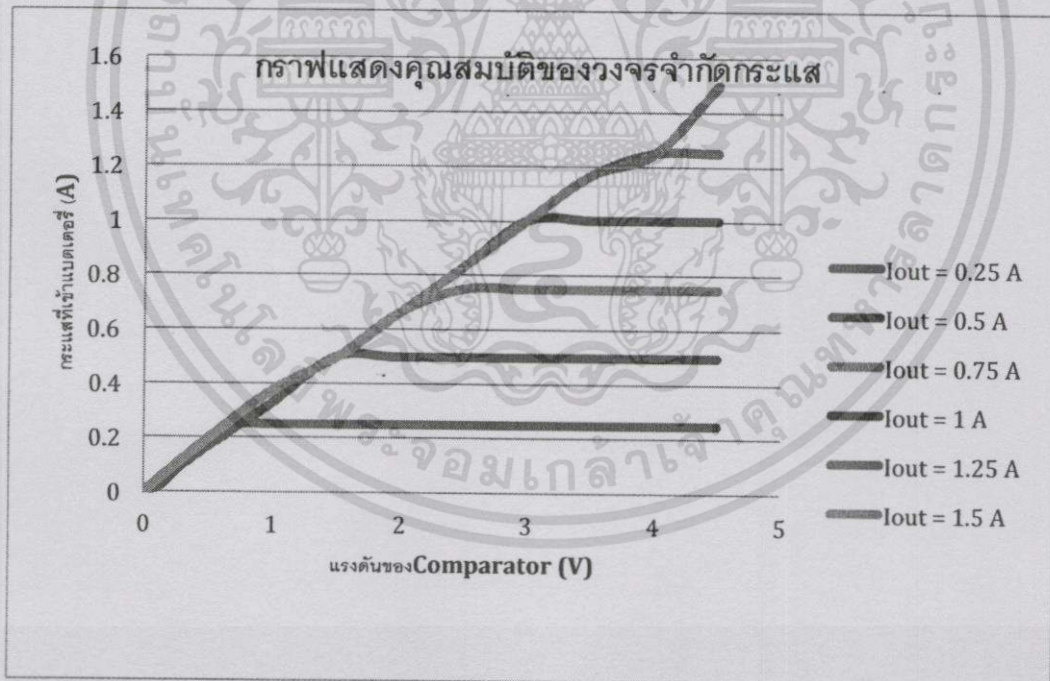
4.3.6 ทดสอบวงจรจำกัดกระแส ขณะ $I_{out} = 1.25 \text{ A}$

แรงดันที่ขาลบของ comparator (V)	แรงดันที่ขาบวกของ Comparator (V)	กระแส (A)	จำนวนกระแส (A)
0	0	0	0
0.5	0.523	0.195	0.195
1	1.001	0.373	0.373
1.5	1.503	0.495	0.495
2	2.007	0.662	0.662
2.5	2.498	0.831	0.831
3	3.021	1.002	1.002
3.5	3.512	1.169	1.169
4	4.006	1.25	1.25
4.5	4.499	1.25	1.25

ตารางที่ 4.16 ทดสอบวงจรจำกัดกระแส ขณะกำหนดให้ $I_{out} = 1.25 \text{ A}$

4.3.7 ทดสอบวงจรจำกัดกระแส ขณะ $I_{out} = 1.5 \text{ A}$

แรงดันที่ขาลบของ comparator (V)	แรงดันที่ขาบวกของ Comparator (V)	กระแส (A)	จำนวนกระแส (A)
0	0	0	0
0.5	0.523	0.195	0.195
1	1.001	0.373	0.373
1.5	1.503	0.495	0.495
2	2.007	0.662	0.662
2.5	2.498	0.831	0.831
3	3.021	1.002	1.002
3.5	3.512	1.169	1.169
4	4.006	1.25	1.25
4.5	4.499	1.499	1.499

ตารางที่ 4.17 ทดสอบวงจรจำกัดกระแส ขณะกำหนดให้ $I_{out} = 1.5 \text{ A}$ 

รูปที่ 4.7 คุณสมบัติของวงจรจำกัดกระแส

บทที่ 5

วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

5.1 แหล่งจ่ายเทอร์โมอิเล็กทริก

ประสิทธิภาพในการทำงานของแหล่งจ่ายเทอร์โมอิเล็กทริก ขึ้นอยู่กับความแตกต่างของอุณหภูมิสองด้าน ทั้งด้านร้อน (Hot Side) และด้านเย็น (Cold side) สามารถให้แรงดันสูงสุดขณะทำการทดลองอยู่ที่ 7.35 V และสามารถจ่ายกระแสได้สูงสุดถึง 788 mA ขณะทำการทดลอง แหล่งจ่ายเทอร์โมอิเล็กทริกสามารถให้กำลังไฟฟ้าได้สูงถึง 1.332 W ซึ่งในขณะที่แหล่งจ่ายเทอร์โมอิเล็กทริกมีกำลังไฟฟ้าเป็น 1.332 W นี้ มีแรงดันเท่ากับ 5.53 V กระแสเท่ากับ 241 mA และมีความแตกต่างของอุณหภูมิเท่ากับ 60 องศาเซลเซียส

5.2 วงจรแปลงระดับแรงดัน

วงจรแปลงระดับแรงดัน จะเริ่มทำงาน เมื่อมีกำลังไฟฟ้าทางด้านอินพุตประมาณ 320 mW ขณะเปิดวงจร และ ประมาณ 1900 mW ขณะดึงกระแส 100 mA

5.3 วงจรจำกัดกระแส

จากการทดลองพบว่า เมื่อทำการปรับแรงดันที่ขาลบของ Comparator ไปที่แรงดันค่าต่างๆ และทำการคำนวณกระแสที่เข้าแบตเตอรี่ พบว่า กระแสที่เข้าแบตเตอรี่จะมีค่าเป็น 1 ใน 3 ของแรงดันที่ขาลบของ Comparator เสมอ จากนั้น กำหนด Iout เป็นค่าต่างๆ แล้วทำการ ปรับแรงดันที่ขาลบของ Comparator พบว่าสามารถจ่ายกระแสได้สูงสุดเท่ากับ Iout ที่กำหนดไว้เท่านั้น

5.4 Microcontroller

เมื่อรับอินพุตจากแหล่งจ่ายแรงดันทั้ง 3 คือ ส่วนของแหล่งกำเนิดพลังงานคือ เทอร์โมอิเล็กทริก , ส่วนของวงจรแปลงแรงดัน และส่วนของแบตเตอรี่ จะทำการแปลงแรงดันไฟฟ้าที่เป็นสัญญาณ อนุาล็อกให้เป็นสัญญาณดิจิทัลเพื่อที่จะแสดงผลบนจอ LCD จากนั้นจะทำการตรวจสอบ สถานะของแรงดันจากวงจรแปลงแรงดันโดยแบ่งเป็น 2 เงื่อนไข คือ เงื่อนไขแรก เมื่อมีแรงดัน มากกว่า 14 โวลต์ วงจรจะทำการอัดประจุแบตเตอรี่เข้าไปในรูปของ Pulse โดย แรงดันขาออกที่สูงที่สุดจะมีความหน่วงเวลา 1000 ms และแรงดันขาออกที่ต่ำที่สุดจะมีความหน่วงเวลา 1000 ms และอีกเงื่อนไขหนึ่ง คือ เมื่อแรงดันต่ำกว่า 14 โวลต์ จะแสดงผลในจอ LCD ว่าวงจรมีแรงดันไฟเข้าไม่เพียงพอ (Low input) เมื่อตรวจสอบสถานะของแรงดันของวงจรแปลงแรงดันไฟฟ้าเสร็จจน จะเข้าสู่ลำดับต่อไปคือการตรวจสอบสถานะของแรงดันจากแบตเตอรี่ โดยจะแบ่งออกเป็น 3 เงื่อนไข คือ 1) เมื่อแรงดันของแบตเตอรี่น้อยกว่า 8 โวลต์

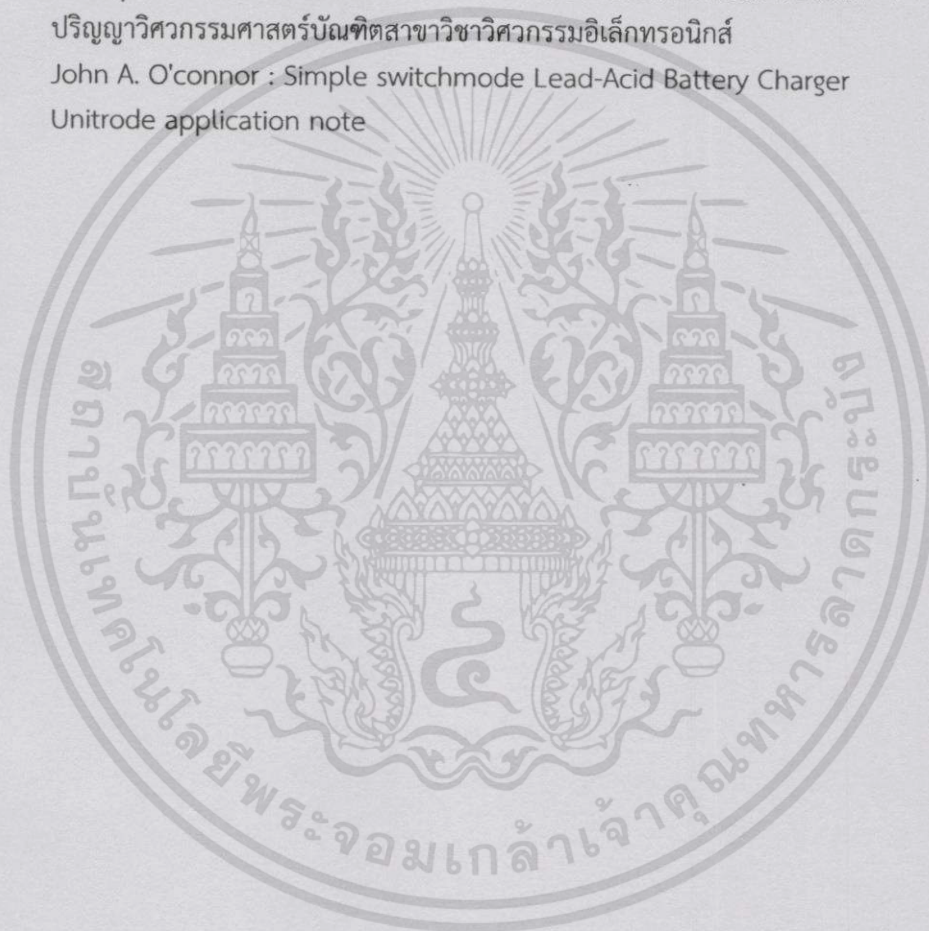
จะแสดงทางหน้าจอ LCD ว่า “EMPTY” , 2) เมื่อแรงดันอยู่ในช่วง 8-14 โวลต์ จะแสดงผลทางจอ LCD ว่า “MEDIUM” และเมื่อมีแรงดันมากกว่า 14 โวลต์ จะแสดงผลทางจอ LCD ว่า “FULL” โดยเมื่อเสร็จสิ้นการตรวจสอบสถานะของแบตเตอรี่ ก็จะทำการวนลูกลับไปที่เช็คสถานะ ตั้งแต่เริ่มต้นไปเรื่อยๆ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

- [1] สำนักงานนโยบายและแผนพลังงานกระทรวงพลังงาน :
แผนปฏิบัติราชการสี่ปีและแผนปฏิบัติราชการประจำปีงบประมาณ 2558
- [2] นายกฤติน อรรถฤกษ์, นายศุภกรณ์ รุ่งเมฆารัตน์(2554) :
“ระบบอัดประจุแบตเตอรี่ด้วยพลังงานจากเทอร์โมอิเล็กทริก” :
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิตสาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์
- [3] นายกิตติพงศ์ นิธิพรเดชะ, นางสาวจิราภรณ์ ร่ำเรียนกิจ(2556) :
“ประจุแบตเตอรี่ด้วยพลังงานความร้อน จากระบบระบายความร้อนเครื่องยนต์” :
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิตสาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์
- [4] John A. O'connor : Simple switchmode Lead-Acid Battery Charger
Unitrode application note



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

General Description

The LM2576 series of regulators are monolithic integrated circuits that provide all the active functions for a step-down (buck) switching regulator, capable of driving 3A load with excellent line and load regulation. These devices are available in fixed output voltages of 3.3V, 5V, 12V, 15V, and an adjustable output version.

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

The LM2576 series offers a high-efficiency replacement for popular three-terminal linear regulators. It substantially reduces the size of the heat sink, and in some cases no heat sink is required.

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

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

Features

- 3.3V, 5V, 12V, 15V, and adjustable output versions
- Adjustable version output voltage range, 1.23V to 37V (57V for HV version) $\pm 4\%$ max over line and load conditions
- Guaranteed 3A output current
- Wide input voltage range, 40V up to 60V for HV version
- Requires only 4 external components
- 52 kHz fixed frequency internal oscillator
- TTL shutdown capability, low power standby mode
- High efficiency
- Uses readily available standard inductors
- Thermal shutdown and current limit protection
- P+ Product Enhancement tested

Applications

- Simple high-efficiency step-down (buck) regulator
- Efficient pre-regulator for linear regulators
- On-card switching regulators
- Positive to negative converter (Buck-Boost)

Typical Application (Fixed Output Voltage

Versions)

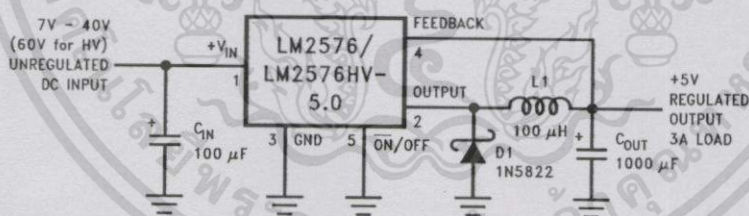
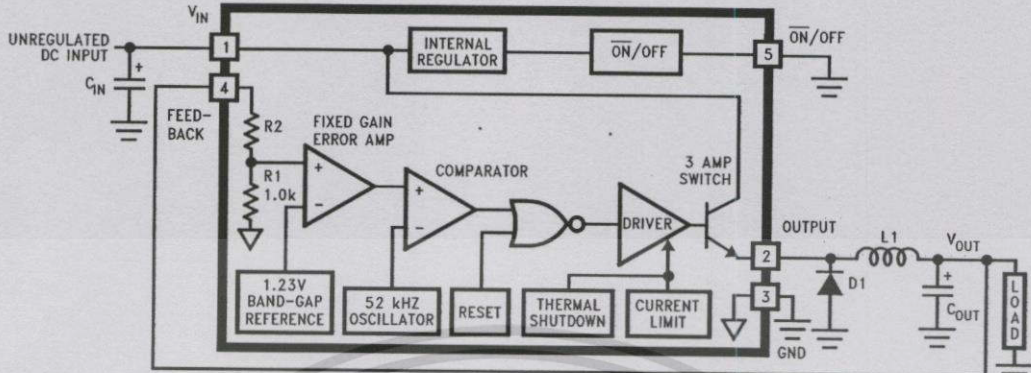


FIGURE 1.

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

Block Diagram



01147602

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

Ordering Information

Temperature Range	Output Voltage					NS Package Number	Package Type
	3.3	5.0	12	15	ADJ		
-40°C ≤ T _A ≤ 125°C	LM2576HVS-3.3	LM2576HVS-5.0	LM2576HVS-12	LM2576HVS-15	LM2576HVS-ADJ	TS5B	TO-263
	LM2576S-3.3	LM2576S-5.0	LM2576S-12	LM2576S-15	LM2576S-ADJ		
	LM2576HVSX-3.3	LM2576HVSX-5.0	LM2576HVSX-12	LM2576HVSX-15	LM2576HVSX-ADJ	TS5B	
	LM2576SX-3.3	LM2576SX-5.0	LM2576SX-12	LM2576SX-15	LM2576SX-ADJ	Tape & Reel	
	LM2576HVT-3.3	LM2576HVT-5.0	LM2576HVT-12	LM2576HVT-15	LM2576HVT-ADJ	T05A	TO-220
	LM2576T-3.3	LM2576T-5.0	LM2576T-12	LM2576T-15	LM2576T-ADJ		
	LM2576HVT-3.3	LM2576HVT-5.0	LM2576HVT-12	LM2576HVT-15	LM2576HVT-ADJ	T05D	
	Flow LB03	Flow LB03	Flow LB03	Flow LB03	Flow LB03		
	LM2576T-3.3	LM2576T-5.0	LM2576T-12	LM2576T-15	LM2576T-ADJ		
	Flow LB03	Flow LB03	Flow LB03	Flow LB03	Flow LB03		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Absolute Maximum Ratings (Note 1)

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

Maximum Supply Voltage	
LM2576	45V
LM2576HV	63V
ON/OFF Pin Input Voltage	$-0.3V \leq V \leq +V_{IN}$
Output Voltage to Ground (Steady State)	-1V
Power Dissipation	Internally Limited
Storage Temperature Range	-65°C to +150°C
Maximum Junction Temperature	150°C

Minimum ESD Rating

(C = 100 pF, R = 1.5 kΩ)

2 kV

Lead Temperature

(Soldering, 10 Seconds)

260°C

Operating Ratings

Temperature Range

LM2576/LM2576HV

 $-40^\circ\text{C} \leq T_J \leq +125^\circ\text{C}$

Supply Voltage

LM2576

40V

LM2576HV

60V

LM2576-3.3, LM2576HV-3.3
Electrical Characteristics

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

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

LM2576-5.0, LM2576HV-5.0
Electrical Characteristics

Specifications with standard type face are for $T_J = 25^\circ\text{C}$, and those with **Figure 2 boldface type** apply over full Operating Temperature Range.

Symbol	Parameter	Conditions	LM2576-5.0 LM2576HV-5.0		Units (Limits)
			Typ	Limit (Note 2)	
SYSTEM PARAMETERS (Note 3) Test Circuit <i>Figure 2</i>					
V_{OUT}	Output Voltage	$V_{IN} = 12V, I_{LOAD} = 0.5A$ Circuit of <i>Figure 2</i>	5.0	4.900 5.100	V V(Min) V(Max)
V_{OUT}	Output Voltage LM2576	$0.5A \leq I_{LOAD} \leq 3A,$ $8V \leq V_{IN} \leq 40V$ Circuit of <i>Figure 2</i>	5.0	4.800/4.750 5.200/5.250	V V(Min) V(Max)
V_{OUT}	Output Voltage LM2576HV	$0.5A \leq I_{LOAD} \leq 3A,$ $8V \leq V_{IN} \leq 60V$ Circuit of <i>Figure 2</i>	5.0	4.800/4.750 5.225/5.275	V V(Min) V(Max)

LM2576-5.0, LM2576HV-5.0**Electrical Characteristics** (Continued)

Specifications with standard type face are for $T_J = 25^\circ\text{C}$, and those with **Figure 2 boldface type** apply over full Operating Temperature Range.

Symbol	Parameter	Conditions	LM2576-5.0 LM2576HV-5.0		Units (Limits)
			Typ	Limit (Note 2)	

SYSTEM PARAMETERS (Note 3) Test Circuit Figure 2

η	Efficiency	$V_{IN} = 12\text{V}, I_{LOAD} = 3\text{A}$	77		%
--------	------------	---	----	--	---

LM2576-12, LM2576HV-12**Electrical Characteristics**

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

Symbol	Parameter	Conditions	LM2576-12 LM2576HV-12		Units (Limits)
			Typ	Limit (Note 2)	

SYSTEM PARAMETERS (Note 3) Test Circuit Figure 2

V_{OUT}	Output Voltage	$V_{IN} = 25\text{V}, I_{LOAD} = 0.5\text{A}$ Circuit of <i>Figure 2</i>	12	11.76 12.24	V V(Min) V(Max)
V_{OUT}	Output Voltage LM2576	$0.5\text{A} \leq I_{LOAD} \leq 3\text{A},$ $15\text{V} \leq V_{IN} \leq 40\text{V}$ Circuit of <i>Figure 2</i>	12	11.52/11.40 12.48/12.60	V V(Min) V(Max)
V_{OUT}	Output Voltage LM2576HV	$0.5\text{A} \leq I_{LOAD} \leq 3\text{A},$ $15\text{V} \leq V_{IN} \leq 60\text{V}$ Circuit of <i>Figure 2</i>	12	11.52/11.40 12.54/12.66	V V(Min) V(Max)
η	Efficiency	$V_{IN} = 15\text{V}, I_{LOAD} = 3\text{A}$	88		%

LM2576-15, LM2576HV-15**Electrical Characteristics**

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

Symbol	Parameter	Conditions	LM2576-15 LM2576HV-15		Units (Limits)
			Typ	Limit (Note 2)	

SYSTEM PARAMETERS (Note 3) Test Circuit Figure 2

V_{OUT}	Output Voltage	$V_{IN} = 25\text{V}, I_{LOAD} = 0.5\text{A}$ Circuit of <i>Figure 2</i>	15	14.70 15.30	V V(Min) V(Max)
V_{OUT}	Output Voltage LM2576	$0.5\text{A} \leq I_{LOAD} \leq 3\text{A},$ $18\text{V} \leq V_{IN} \leq 40\text{V}$ Circuit of <i>Figure 2</i>	15	14.40/14.25 15.60/15.75	V V(Min) V(Max)
V_{OUT}	Output Voltage LM2576HV	$0.5\text{A} \leq I_{LOAD} \leq 3\text{A},$ $18\text{V} \leq V_{IN} \leq 60\text{V}$ Circuit of <i>Figure 2</i>	15	14.40/14.25 15.68/15.83	V V(Min) V(Max)
η	Efficiency	$V_{IN} = 18\text{V}, I_{LOAD} = 3\text{A}$	88		%

LM2576-ADJ, LM2576HV-ADJ Electrical Characteristics

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

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

All Output Voltage Versions Electrical Characteristics

Specifications with standard type face are for $T_J = 25^\circ\text{C}$, and those with **boldface type** apply over full Operating Temperature Range. Unless otherwise specified, $V_{IN} = 12\text{V}$ for the 3.3V, 5V, and Adjustable version, $V_{IN} = 25\text{V}$ for the 12V version, and $V_{IN} = 30\text{V}$ for the 15V version. $I_{LOAD} = 500\text{mA}$.

Symbol	Parameter	Conditions	LM2576-XX LM2576HV-XX		Units (Limits)
			Typ	Limit (Note 2)	
DEVICE PARAMETERS					
I_b	Feedback Bias Current	$V_{OUT} = 5\text{V}$ (Adjustable Version Only)	50	100/500	nA
f_o	Oscillator Frequency	(Note 11)	52	47/42 58/63	kHz kHz (Min) kHz (Max)
V_{SAT}	Saturation Voltage	$I_{OUT} = 3\text{A}$ (Note 4)	1.4	1.8/2.0	V V(Max)
DC	Max Duty Cycle (ON)	(Note 5)	98	93	% %(Min)
I_{CL}	Current Limit	(Notes 4, 11)	5.8	4.2/3.5 6.9/7.5	A A(Min) A(Max)
I_L	Output Leakage Current	(Notes 6, 7): Output = 0V Output = -1V Output = -1V	7.5	2 30	mA(Max) mA mA(Max)
I_Q	Quiescent Current	(Note 6)	5	10	mA mA(Max)
I_{STBY}	Standby Quiescent Current	$\overline{\text{ON}} / \text{OFF Pin} = 5\text{V}$ (OFF)	50	200	μA $\mu\text{A}(\text{Max})$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

All Output Voltage Versions Electrical Characteristics (Continued)

Specifications with standard type face are for $T_J = 25^\circ\text{C}$, and those with **boldface type** apply over full Operating Temperature Range. Unless otherwise specified, $V_{IN} = 12\text{V}$ for the 3.3V, 5V, and Adjustable version, $V_{IN} = 25\text{V}$ for the 12V version, and $V_{IN} = 30\text{V}$ for the 15V version. $I_{LOAD} = 500\text{ mA}$.

Symbol	Parameter	Conditions	LM2576-XX LM2576HV-XX		Units (Limits)
			Typ	Limit (Note 2)	
DEVICE PARAMETERS					
θ_{JA}	Thermal Resistance	T Package, Junction to Ambient (Note 8)	65		$^\circ\text{C/W}$
θ_{JA}		T Package, Junction to Ambient (Note 9)	45		
θ_{JC}		T Package, Junction to Case	2		
θ_{JA}		S Package, Junction to Ambient (Note 10)	50		
ON /OFF CONTROL Test Circuit Figure 2					
V_{IH}	ON /OFF Pin	$V_{OUT} = 0\text{V}$	1.4	2.2/2.4	V(Min)
V_{IL}	Logic Input Level	$V_{OUT} = \text{Nominal Output Voltage}$	1.2	1.0/0.8	V(Max)
I_{IH}	ON /OFF Pin Input Current	ON /OFF Pin = 5V (OFF)	12		μA
				30	$\mu\text{A}(\text{Max})$
I_{IL}		ON /OFF Pin = 0V (ON)	0		μA
				10	$\mu\text{A}(\text{Max})$

Note 1: Absolute Maximum Ratings indicate limits beyond which damage to the device may occur. Operating Ratings indicate conditions for which the device is intended to be functional, but do not guarantee specific performance limits. For guaranteed specifications and test conditions, see the Electrical Characteristics.

Note 2: All limits guaranteed at room temperature (standard type face) and at temperature extremes (bold type face). All room temperature limits are 100% production tested. All limits at temperature extremes are guaranteed via correlation using standard Statistical Quality Control (SQC) methods.

Note 3: External components such as the catch diode, inductor, input and output capacitors can affect switching regulator system performance. When the LM2576/LM2576HV is used as shown in the Figure 2 test circuit, system performance will be as shown in system parameters section of Electrical Characteristics.

Note 4: Output pin sourcing current. No diode, inductor or capacitor connected to output.

Note 5: Feedback pin removed from output and connected to 0V.

Note 6: Feedback pin removed from output and connected to +12V for the Adjustable, 3.3V, and 5V versions, and +25V for the 12V and 15V versions, to force the output transistor OFF.

Note 7: $V_{IN} = 40\text{V}$ (60V for high voltage version).

Note 8: Junction to ambient thermal resistance (no external heat sink) for the 5 lead TO-220 package mounted vertically, with 1/4 inch leads in a socket, or on a PC board with minimum copper area.

Note 9: Junction to ambient thermal resistance (no external heat sink) for the 5 lead TO-220 package mounted vertically, with 1/4 inch leads soldered to a PC board containing approximately 4 square inches of copper area surrounding the leads.

Note 10: 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 $^\circ\text{C/W}$, with 1 square inch of copper area, θ_{JA} is 37 $^\circ\text{C/W}$, and with 1.6 or more square inches of copper area, θ_{JA} is 32 $^\circ\text{C/W}$.

Note 11: The oscillator frequency reduces to approximately 11 kHz in the event of an output short or an overload which causes the regulated output voltage to drop approximately 40% from the nominal output voltage. This self protection feature lowers the average power dissipation of the IC by lowering the minimum duty cycle from 5% down to approximately 2%.

Typical Performance Characteristics

(Circuit of Figure 2)

