

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การพัฒนาเครื่องกำเนิดไฟฟ้าด้วยเซลล์เชื้อเพลิง ชนิด PEM

Development Of Electric Generator Using PEMFC



T104290



เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 104290
วัน,เดือน,ปี 30 ต.ค. 2552

b. 104290
i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2551

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปีการศึกษา 2551

การพัฒนาเครื่องกำเนิดไฟฟ้าด้วยเซลล์เชื้อเพลิง ชนิด PEM

Development Of Electric Generator Using PEM



อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.ดร. วีระเชษฐ ชันเงิน

อ. วรกัลป์ ลี้มเจริญ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาโทปีการศึกษา 2551

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การพัฒนาเครื่องกำเนิดไฟฟ้าด้วยเซลล์เชื้อเพลิง ชนิด PEM

ผู้จัดทำ



นาย ภาณุวัฒน์
นาย ศิริพงษ์
นาย สุรสิทธิ์
อินทร์จันทร์
กิจวัตร
ละอองไข้ย

.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ ดร. วีระเชษฐ์ ชันเงิน)

.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(อ. วรศิลป์ ลิ้มเจริญ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การพัฒนาเครื่องกำเนิดไฟฟ้าด้วยเซลล์เชื้อเพลิง ชนิด PEM

นาย ภาณุวัฒน์ อินทร์จันทร์
นาย ศิริพงษ์ กิจวัตร
นาย สุรสิทธิ์ ละออบไชย์

รศ.ดร. วีระเชษฐ ชันเงิน อาจารย์ที่ปรึกษา
อ. วรกัลป์ ลิ่มเจริญ อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2551

บทคัดย่อ

การศึกษาค้นคว้าวิจัยนี้เป็นการศึกษาที่เน้นการกำเนิดไฟฟ้าด้วยเซลล์เชื้อเพลิงชนิดเมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตอน (Proton exchange membrane (PEM)) ขนาด 1 กิโลวัตต์ 48 โวลต์ จำนวน 60 เซลล์ โดยทำการศึกษาพฤติกรรมของเซลล์เชื้อเพลิง การศึกษาเรื่องความสัมพันธ์ระหว่างไฮโดรเจน ออกซิเจน ความชื้น และอุณหภูมิในขณะที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากำลังทำงาน เพื่อรักษาเสถียรภาพของเซลล์เชื้อเพลิง ชนิด PEM การพัฒนาศักยภาพของเซลล์เชื้อเพลิง ชนิด PEM ส่วนใหญ่จะเป็นการพัฒนาทางด้านระบบที่ใช้ในการสตาร์ท โดยให้ความสำคัญในเรื่องของฟังก์ชันการทำงานที่สะดวกและง่ายต่อการใช้งาน เริ่มจากการควบคุมการทำงานของไฮโดรเจน ทั้งทางด้านขาเข้า และขาออก ให้สามารถทำงานได้ด้วยระบบอัตโนมัติ รวมทั้งยังสามารถตัดเบตเตอร์ออกจากระบบ หลังจากที่เซลล์เชื้อเพลิง มีระบบการทำงานที่ครบสมบูรณ์ ซึ่งระบบจะนำพลังงานจากเซลล์เชื้อเพลิงมาใช้แทนพลังงานจากเบตเตอร์ ผลการวิจัยแสดงให้เห็นสมรรถนะของเซลล์เชื้อเพลิง จากโพลดิอิเล็กโทรนิกส์ว่าปริมาณก๊าซไฮโดรเจน และออกซิเจนที่เหมาะสม จะทำให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าด้วยเซลล์เชื้อเพลิง ชนิด PEM ได้ประสิทธิภาพสูงสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Development of Electric Generator Using PEMFC

Mr. Panuwat Inchan

Mr. Siripong Kijjawat

Mr. Surasit La-orkhai

Assoc.Prof.Dr. Werachet Khan-ngern Advisor

Ar.Worrakan Limcharoen Advisor

2008

ABSTRACT

According to doing the research about the electric generator powered by Proton Exchange Membrane Fuel Cell (PEMFC) measuring 1 KW 48 V 60 Cells, we have studied about the performance of PEMFC and the relation among Hydrogen, Oxygen, Humidity and Temperature while the electric generator is being in progress for finding out how to keep the stability of PEMFC. After studying, we saw that the start system of PEMFC electric generator has been being mostly developed so we put much emphasis on providing the easy-to-use functions. The development of PEMFC electric generator got started from controlling the performance of Hydrogen both input and output for making it work automatically and then blocking the battery power before switching over to PEMFC so in this progress, The power of PEMFC replaces the battery power driving the system. So, the results of this research indicate that PEMFC can work with high efficiency if the proper quantity of Hydrogen and of Oxygen is equally.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาโทฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ดีด้วยคำแนะนำและปรึกษาของ รศ.ดร. วีระเชษฐ์
ชั้นเงิน ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมปริญญาโท ทางคณะผู้จัดทำรู้สึกซาบซึ้งในความกรุณาจากท่านและ
ขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอบพระคุณ อาจารย์และเจ้าหน้าที่ของภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าที่ให้ความรู้และความช่วยเหลือ
ตลอดมา

ขอขอบพระคุณพี่ๆ ห้องปฏิบัติการทางแม่เหล็กไฟฟ้า (Lab EMC) ที่คอยให้ความช่วยเหลือใน
การวิจัยจนสำเร็จ และขอขอบคุณเพื่อนๆห้อง W ทุกคนที่คอยให้ความช่วยเหลือในการวิจัย

สุดท้ายขอกราบขอบพระคุณบิดามารดาที่เป็นทุกสิ่งทุกอย่างที่เป็นผู้ให้ที่ยิ่งใหญ่และเป็นกำลังใจ
ที่สำคัญของคณะผู้จัดทำ

คณะผู้จัดทำ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ.....	I
ABSTRACT.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญภาพ.....	VII
สารบัญตาราง.....	IX

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์และจุดมุ่งหมายของการวิจัย.....	1
1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดในการวิจัย.....	1
1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน.....	2
1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย.....	3
1.6 แผนการดำเนินงาน.....	3

บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีและหลักการพื้นฐานของเซลล์เชื้อเพลิง.....	4
2.1.1 ชนิดของเซลล์เชื้อเพลิง.....	5
2.1.2 โครงสร้าง Fuel Cell.....	8
2.1.3 การทำงานของเซลล์เชื้อเพลิง.....	9
2.1.4 สรุปข้อดีและข้อเสียของเซลล์เชื้อเพลิง.....	15
2.1.5 ผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม.....	15
2.1.6 คุณสมบัติของก๊าซไฮโดรเจน.....	16
2.1.7 ระดับพลังงานของก๊าซไฮโดรเจน.....	17
2.2 มอสเฟตกำลัง (Power MOSFET).....	20
2.2.1 การทำงานของมอสเฟตกำลัง.....	20
2.2.2 วงจรสมมูลของมอสเฟต.....	21
2.2.3 แรงดันสไปต์.....	22
2.2.4 ข้อดีของการใช้มอสเฟต.....	23
2.3 วงจรบัคคอนเวอร์เตอร์ (Buck Converter).....	23
2.4 TL-494.....	25
2.5 ฟังก์ชันถ่ายโอนของ PWM.....	26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่รวบรวมไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ใด ๆ การค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
2.7 การประมวลผลสัญญาณ.....	30
2.7.1 คุณสมบัติเด่นโดยรวมของ dsPIC	30
2.7.2 แนะนำ dsPIC	31
2.7.3 สถาปัตยกรรมโดยสรุปของ dsPIC30F2010.....	35
2.7.4 โครงสร้างทางโปรแกรมที่ควรทราบ	36
2.7.5 JX-dsPIC3010	39
บทที่ 3 การออกแบบและสร้าง	
3.1 ออกแบบและสร้างกล่องใส่ชิ้นงาน.....	42
3.1.1 ขนาดของอุปกรณ์ต่างๆ.....	42
3.1.2 ออกแบบโครงสร้างตัวยึดอุปกรณ์ต่างๆ.....	44
3.1.3 การประกอบตัวยึดอุปกรณ์ต่างๆเข้ากับกล่องใส่ชิ้นงาน.....	45
3.2 ออกแบบวงจรในการควบคุมของเซลล์เชื้อเพลิง ชนิด PEM.....	46
3.2.1 การออกแบบวงจรควบคุม Buck converter โดยใช้ TL494	46
3.2.1.1 สิ่งที่ต้องพิจารณาในการออกแบบวงจรควบคุมกระแสและแรงดัน.....	46
3.2.2 การออกแบบวงจร Buck Converter เพื่อเป็นแหล่งจ่ายของระบบ ควบคุม.....	47
3.2.3 ตัวเหนี่ยวนำ.....	50
3.2.4 ตัวประเก็บประจุ.....	52
3.2.5 ออกแบบวงจร Start ระบบ PEMFC โดยใช้ Microcontroller	54
3.2.5.1 โครงสร้างของ dsPIC30F2010.....	54
3.2.5.2 ขั้นตอนการทำงานของวงจร Microcontroller ที่ทำการ ออกแบบ.....	54
3.2.5.3 โครงสร้างของ dsPIC30F2010.....	54
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง	
4.1 วัตถุประสงค์.....	59
4.2 เครื่องมือและอุปกรณ์.....	59
4.3 ทำการทดสอบเซลล์เชื้อเพลิง โดยใช้โพลีเอทิลีนทอริกส์.....	59
4.4 ทดสอบชุด Voltage Control DC-DC Buck Converter	67
4.5 การสูญเสียกำลังไฟฟ้าในระบบ.....	68
4.5.1 การสูญเสียกับพัดลมระบายอากาศให้กับตัว PEMFC	68
4.5.2 พัดลมระบายอากาศของชุดวงจร Buck Converter	68

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
4.5.3 มอเตอร์ ดูดอากาศ	68
4.5.3 Solenoid Value 2 ตัว	68
บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ	
5.1 บทสรุป	72
5.2 ข้อเสนอแนะ	72
5.3 สิ่งที่ควรดำเนินงานต่อ	73



สารบัญญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 โครงสร้างของเซลล์เชื้อเพลิง.....	8
2.2 เมื่อส่งผ่านก๊าซไฮโดรเจน	10
2.3 ไฮโดรเจนปล่อยเข้าทางด้านแอโนด	10
2.4 เมื่อก๊าซไปสัมผัสกับตัวเร่งปฏิกิริยาก็จะเกิดการแตกตัวออกเป็นโปรตอนและ อิเล็กตรอน	11
2.5 โดยอิเล็กตรอนจะถูกส่งต่อไปยังวงจรภายนอกส่วนโปรตอนนั้นจะผ่านช่องเมมเบรน.....	11
2.6 อะตอมของออกซิเจนซึ่งแตกตัวโดยการเร่งปฏิกิริยาเกิดเป็นโมเลกุลของน้ำ	12
2.7 โมเลกุลของน้ำและจะเป็นเช่นนี้ไปเรื่อยๆ	12
2.8 กลไกการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงประเภทพอลิเมอร์อิเล็กโทรไลต์เมมเบรน	13
2.9 ถึงความดันสูง	16
2.10 ถึงความดันสูง	17
2.11 การเก็บในลูกแก้ว.....	17
2.12 แสดงการทำงานของมอสเฟต	21
2.13 วงจรสมมูลย์ของมอสเฟต	21
2.14 การป้องกันแรงดันสไปต์คร่อม เกต-ซอร์ต	22
2.15 ก. การป้องกันแรงดันสไปต์คร่อม เดรน-ซอร์ต.....	22
ข. ไม่ได้ต่อคาปาซิเตอร์	
ค. เมื่อต่อคาปาซิเตอร์	
2.16 วงจรบั๊กคอนเวอร์เตอร์	23
2.17 แสดงการทำงานของ TL494	26
2.18 กระบวนการ PWM จะมีค่าแรงดันด้านออก	27
2.19 ก. Type 2 วงจรขยายความผิดพลาด	29
ข. ผลตอบสนองเชิงความถี่	
2.20 ผลตอบสนองเชิงความถี่ของฟังก์ชันถ่ายโอนควบคุม	30
2.21 ไตอะแกรมการทำงานและส่วนประกอบของ dsPIC30F2010	32
2.22 การจัดขาใช้งานของไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F2010.....	32
2.23 โครงสร้างทางโปรแกรม (Program's model)ของไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC	37
3.1 แสดงขนาดของตัวเซลล์เชื้อเพลิง ชนิด PEM 1kW 48 V 60 cells	42
3.2 แสดงขนาดของพัดลมดูดอากาศ 12 VDC ความเร็วรอบสูง.....	42
3.3 แสดงขนาดของพัดลมระบายอากาศ 12 VDC ความเร็วรอบสูง	43
3.4 แสดงขนาดของกล่องอครีลิกใส่ชิ้นงาน	43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

ภาพที่	หน้า
3.5 แสดงการออกแบบโครงสร้างตัวยัดตัวเซลล์เชื้อเพลิง	44
3.6 แสดงการออกแบบโครงสร้างตัวยัดพัดลมดูดอากาศ	44
3.7 แสดงการออกแบบโครงสร้างตัวยัดพัดลมระบายอากาศ.....	44
3.8 แสดงชิ้นงานเมื่อประกอบอุปกรณ์ต่างๆเข้าด้วยกัน.....	45
3.9 กราฟหาความถี่.....	46
3.10 วงจร Buck Converter	48
3.11 วงจร Simulation DC-DC Buck Converter.....	48
3.12 ผลการ Simulation ที่ค่า Duty=0.4, Vout=12V, Vin=48V, L=12 μH , C=2000 μF ...	49
3.13 ผลการ Simulation ที่ค่า Duty=0.4, Vout=12V, Vin=48V, L=15 μH , C=1500 μF ...	49
3.14 ผลการ Simulation ที่ค่า Duty=0.4, Vout=12V, Vin=48V, L=12 μH , C=1500 μF ...	50
3.15 แกนแม่เหล็กแบบทอลอยด์	51
3.16 โครงสร้างของ Microcontroller	54
3.17 โพลีชาร์ทแสดงไหลของ Hydrogen.....	55
3.18 ไดอะแกรม ระบบคอนโทรล	55
3.19 โพลีชาร์ทของระบบควบคุม	56
3.20 ไดอะแกรม ระบบคอนโทรล	56
3.21 วงจรคอนโทรลโดยใช้ Microcontroller	50
4.1 การเชื่อมต่อเซลล์เชื้อเพลิงกับโหลดอิเล็กทรอนิกส์.....	59
4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดัน กระแส และกำลังไฟฟ้า ของตารางที่ 4.1	60
4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดัน กระแส และกำลังไฟฟ้า ของตารางที่ 4.2.....	61
4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดัน กระแส และกำลังไฟฟ้า ของตารางที่ 4.3.....	62
4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดัน กระแส และกำลังไฟฟ้า ของตารางที่ 4.4.....	63
4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดัน กระแส และกำลังไฟฟ้า ของตารางที่ 4.5.....	64
4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดัน กระแส และกำลังไฟฟ้า ของตารางที่ 4.6.....	65
4.8 กราฟแสดงแรงดันตกคร่อมแต่ละเซลล์	66
4.9 วงจร Voltage Control DC-DC Buck Converter	67

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 การเปรียบเทียบพลังงานเซลล์เชื้อเพลิงกับพลังงานจากแหล่งอื่น.....	8
2.2 แสดงระดับพลังงานของก๊าซไฮโดรเจน.....	19
3.1 การเปรียบเทียบ Powder Core	51
3.2 พิกัดและชนิดของตัวเก็บประจุ	52
4.1 ทดสอบกับโพลติอิเล็กทรอนิกส์ ที่แรงดันไฮโดรเจน 0.2bar อุณหภูมิเซลล์ 30°C-37°C	60
4.2 ทดสอบกับโพลติอิเล็กทรอนิกส์ ที่แรงดันไฮโดรเจน 0.3bar อุณหภูมิเซลล์ 30°C-37°C	61
4.3 ทดสอบกับโพลติอิเล็กทรอนิกส์ ที่แรงดันไฮโดรเจน 0.4bar อุณหภูมิเซลล์ 30°C-37°C	62
4.4 ทดสอบกับโพลติอิเล็กทรอนิกส์ ที่แรงดันไฮโดรเจน 0.2bar อุณหภูมิเซลล์ 25°C-29°C	63
4.5 ทดสอบกับโพลติอิเล็กทรอนิกส์ ที่แรงดันไฮโดรเจน 0.3bar อุณหภูมิเซลล์ 25°C-29°C	64
4.6 ทดสอบกับโพลติอิเล็กทรอนิกส์ ที่แรงดันไฮโดรเจน 0.4bar อุณหภูมิเซลล์ 25°C-29°C	65
4.7 เปรียบเทียบระดับแรงดัน Input กับ Output	67
4.8 การสูญเสียกำลังไฟฟารวมในระบบ	68

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

เนื่องมาจากการใช้พลังงานที่เพิ่มขึ้นในปัจจุบัน พลังงานทดแทนแหล่งใหม่ ๆ จึงมีความสำคัญต่อประเทศไทยอย่างยิ่ง เนื่องจากพลังงานส่วนใหญ่เป็นพลังงานที่มีอยู่อย่างจำกัดและส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม แหล่งพลังงานทดแทนต่าง ๆ ดังกล่าว ได้แก่ พลังงานจากชีวมวล พลังน้ำ พลังงานแสงอาทิตย์ และลม ประเทศไทยได้มีการพัฒนาและใช้พลังงานทดแทนมาเป็นเวลานานแล้ว เช่น การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานน้ำ จากพลังงานแสงอาทิตย์ จากแรงลม และจากความร้อนใต้พิภพ รวมทั้งการใช้มูลสัตว์ผลิตก๊าซสำหรับการเผาไหม้ อย่างไรก็ตาม พลังงานทดแทนดังกล่าวที่สามารถผลิตได้เองยังมีปริมาณน้อยมากและมีค่าใช้จ่ายสูง เมื่อเทียบกับพลังงานที่ผลิตได้จากน้ำมัน ถ่านหิน และก๊าซธรรมชาติ

เทคโนโลยีไฮโดรเจนและเซลล์เชื้อเพลิง ชนิด PEM จึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่มีศักยภาพสูงในการนำมาใช้งานอย่างจริงจัง เนื่องจากเป็นพลังงานทดแทนที่สะอาดและไม่มีการปล่อยมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม จึงนับได้ว่าเทคโนโลยีไฮโดรเจนและเซลล์เชื้อเพลิง ชนิด PEM นี้อาจจะเข้ามามีบทบาทอย่างมากในอนาคตต่อการพัฒนาพลังงานรูปแบบใหม่ขึ้นใช้เองภายในประเทศ

1.2 วัตถุประสงค์และจุดมุ่งหมายของการวิจัย

1. เพื่อเป็นการสร้างเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็ก จากเซลล์เชื้อเพลิง ชนิด PEM
2. เพื่อลดปริมาณน้ำเข้าเชื้อเพลิง จำพวกน้ำมันและถ่านหิน จากต่างประเทศ
3. เพื่อเป็นลดปัญหาหมอกควันทางอากาศ น้ำ รวมถึงปรากฏการณ์เรือนกระจก รักษาสิ่งแวดล้อม
4. เพื่อให้เกิดองค์ความรู้ใหม่ และนำไปประยุกต์ใช้งานได้จริงในอนาคต

1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดในการวิจัย

1. ศึกษาและวิจัยหลักการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิง ชนิด PEM ระบายความร้อนด้วยอากาศ
2. ศึกษาและวิจัยแรงดันของก๊าซไฮโดรเจนว่ามีผลกระทบต่อประสิทธิภาพของเซลล์เชื้อเพลิง มากน้อยเพียงใด
3. ศึกษาและวิจัยเกี่ยวกับอุณหภูมิที่เกิดขึ้นขณะเซลล์เชื้อเพลิงทำงานว่ามีผลกระทบกับแรงดันและกระแส output ที่ออกมาจากระบบการแยกไฟฟ้าของเซลล์เชื้อเพลิง ชนิด PEM เป็นอย่างไร
4. ศึกษากระบวนการควบคุม การทำงาน ให้มีประสิทธิภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน

1. ศึกษาค้นคว้าหาข้อมูลจากปริญาณิพนธ์เก่าที่มีมาและจาก Internet
2. ศึกษาการควบคุมสัญญาณ PWM โดยใช้ TL494 และ microcontroller เพื่อนำมาใช้ควบคุมกระแสและแรงดัน
3. ศึกษาโครงสร้างและการทำงานแบบสวิตซ์ซิ่งของมอสเฟตกำลังแบบต่างๆและการทำงานของมอสเฟสในสภาวะต่างๆ
4. ศึกษาการทำงานของ Voltage Control ที่มี output Voltage น้อยกว่า input Voltage โดยมีการควบคุมแรงดันและกระแสด้าน Output เพื่อให้ป้องกันตัวเซลล์เชื้อเพลิง
5. ศึกษาการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิง ชนิด PEM ว่ามีหลักการทำงานอย่างไรและสามารถสร้างพลังงานในรูปแบบไหนได้บ้าง
6. ออกแบบวงจร Start เซลล์เชื้อเพลิง อัตโนมัติโดยใช้ Microcontroller ควบคุม
7. ออกแบบวงจร Buck Converter เพื่อนำมาใช้ควบคุมแรงดันและกระแสเพื่อเป็นแหล่งจ่ายของระบบควบคุม
8. ออกแบบและสร้างโครงสร้างกล่องใส่เซลล์เชื้อเพลิง

1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

1. มีความรู้ความเข้าใจในระบบของเซลล์เชื้อเพลิง ชนิด PEM ว่าทำงานอย่างไรและมีการนำพลังงาน Hydrogen มาประยุกต์ใช้กับงานอื่นได้อย่างไร
2. มีความรู้ความเข้าใจในหลักการทำงานของ Voltage and Current Control แล้วนำมาประยุกต์ใช้กับงานอื่นได้
3. มีความรู้ความเข้าใจหลักการทำงานของ DC-DC Converter แบบ Buck Converter ทั้งแบบ OPEN LOOP และ CLOSE LOOP สามารถบอกถึงความแตกต่างของ OPEN LOOP และ CLOSE LOOP
4. มีความรู้ความเข้าใจในการใช้โปรแกรมต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบวงจรควบคุมแรงดันและกระแส
5. สามารถนำเซลล์เชื้อเพลิง ชนิด PEM มาประกอบกับวงจรควบคุม ทำเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็ก และนำมาใช้ในงานจริงได้

1.6 แผนการดำเนินงาน

หัวข้อการดำเนินงาน	2551							2552		
	มี.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.
1. บทนำ	██████████									
2. ศึกษาข้อมูลเซลล์เชื้อเพลิง	██████████	██████████	██████████							
3. ออกแบบวงจรควบคุม		██████████	██████████	██████████						
4. วิเคราะห์ทดลองและนำมาติดตั้ง				██████████	██████████	██████████	██████████	██████████	██████████	██████████
5. สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง			██████████	██████████	██████████	██████████	██████████	██████████	██████████	██████████

██████████ แผนการดำเนินงานที่กำหนดไว้

██████████ แผนการดำเนินงานจริง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีและหลักการพื้นฐานของเซลล์เชื้อเพลิง

เซลล์เชื้อเพลิง คือ อุปกรณ์ที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมี-ไฟฟ้า ระหว่างออกซิเจนกับไฮโดรเจนซึ่งสามารถเปลี่ยนแปลงพลังงานของเชื้อเพลิง ไปเป็นพลังงานไฟฟ้าโดยตรง ไม่ต้องผ่านการเผาไหม้ ทำให้เครื่องยนต์ที่ใช้เซลล์เชื้อเพลิงนี้ไม่ก่อมลภาวะทางอากาศ ทั้งยังมีประสิทธิภาพสูงกว่า เครื่องยนต์เผาไหม้ 1-3 เท่า ขึ้นอยู่กับชนิดของเซลล์เชื้อเพลิงและชนิดของเชื้อเพลิงที่ใช้ เซลล์เชื้อเพลิงมีหลายแบบขึ้นอยู่กับสารที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงเช่นเซลล์เชื้อเพลิงไฮโดรเจน-ออกซิเจน ไฮโดรเจน-ไฮดราซีน โพรเพน-ออกซิเจน เป็นต้น และชนิดที่เป็นที่นิยมใช้คือ เซลล์เชื้อเพลิงไฮโดรเจน-ออกซิเจน เพราะเมื่อปฏิกิริยาในเซลล์เกิดขึ้นแล้วนอกจากพลังงานจะได้ น้ำบริสุทธิ์และความร้อนไว้ใช้ตามความเหมาะสมด้วยนอกจากนี้เซลล์เชื้อเพลิงชนิดนี้ยังไม่ขึ้นบรรยากาศโอโซนเพราะไม่ก่อให้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เช่นเซลล์เชื้อเพลิงชนิดอื่นๆ เซลล์เชื้อเพลิงมีลักษณะคล้ายกับเซลล์สะสมไฟฟ้าแบบตะกั่วหรือที่เรียกกันโดยทั่วไปว่าแบตเตอรี่ ในด้านที่สามารถอัดประจุใหม่ได้เรื่อยๆ เซลล์เชื้อเพลิงยังไม่เป็นที่นิยมใช้ทั่วไปอย่างแบตเตอรี่ เพราะต้นทุนการผลิตอุปกรณ์ในครั้งแรกสูงและยังมีอันตรายที่ต้องใช้ความรู้เฉพาะควบคุมหลายประการ แต่ในปัจจุบันได้นำมาใช้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าหลายชนิดเช่น โทรศัพท์มือถือ ปาล์ม notebook

ความเป็นมา

เซลล์เชื้อเพลิงถูกประดิษฐ์ขึ้นครั้งแรกในปี ค.ศ. 1839 โดยเซอร์วิลเลียม โรเบิร์ต โกรฟ (Sir William Robert Grove) ผู้พิพากษาชาวเวลส์ที่มีความเป็นนักประดิษฐ์และนักฟิสิกส์ โดยเขามีความเชื่อว่าเมื่อเราสามารถแยกน้ำด้วยไฟฟ้าได้ก๊าซไฮโดรเจนกับก๊าซออกซิเจนในทางกลับกันหากผสมก๊าซไฮโดรเจนและก๊าซออกซิเจนด้วยวิธีที่เหมาะสมก็ควรจะได้พลังงานไฟฟ้าออกมาเช่นกันดังนั้นเขาจึงเริ่มสร้างเครื่องมือทดลองที่เรียกว่า"ก๊าซแบตเตอรี่" ออกมาเครื่องมือของโกรฟถือว่าเป็นต้นแบบของเซลล์เชื้อเพลิงในปัจจุบันหลังจากทดลองอยู่นานหลายปี ในที่สุดเขาได้ทดลองผสมไฮโดรเจน และออกซิเจนในสารละลายเล็กโทรไลต์คือ กรดซัลฟูริกและใช้ขั้วแพลทินัมทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าและน้ำแต่ว่าในขณะนั้นสิ่งประดิษฐ์ของโกรฟยังไม่สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าออกมามากพอที่จะใช้งานได้

คำว่า "fuel cell" ถูกใช้ครั้งแรกในปี ค.ศ. 1889 โดยลูดวิก มอนด์ (Ludwig Mond) และชาร์ลส์ แลงเกอร์ (Charles Langer) ทั้งสองพยายามประดิษฐ์เซลล์เชื้อเพลิงที่ใช้งานได้จริงโดยใช้อากาศและก๊าซถ่านหิน (coal gas) นอกจากนักประดิษฐ์ทั้งสองคนแล้ว วิลเลียม ไวท์ จาคส์ (William White Jaques) ก็เป็นอีกผู้หนึ่งที่ถูกบันทึกว่าเป็นผู้เริ่มใช้คำนี้เช่นกัน โดยจาคส์เป็นนักวิจัยคนแรกที่ใช้กรดฟอสฟอริกเป็นสารละลายเล็กโทรไลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.1 ชนิดของเซลล์เชื้อเพลิง

Fuel Cells มีหลายชนิด แต่ทุกชนิดจะให้กระแสไฟฟ้าออกเป็นไฟฟ้ากระแสตรง (DC) ที่สามารถนำไปขับมอเตอร์ หลอดไฟ หรือเครื่องใช้ไฟฟ้าอื่นๆได้ โดยชนิดของตัว Fuel Cells จะแบ่งโดยถูกจัดแบ่งตามประเภทอิเล็กโทรไลต์ที่ใช้ได้ดังนี้

1. Proton exchange membrane fuel cell (PEMFC) เซลล์เชื้อเพลิงแบบเมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตอน หรือเซลล์เชื้อเพลิงแบบโพลีเมอร์ของแข็ง(Solid polymer fuel cell;SPFC) ระบบเซลล์เชื้อเพลิงแบบ นี้ใช้ซัลโฟเนทโพลีเตตระฟลูออโรเอธิลีน (Sulphonated polytetrafulene, Nafion) เป็นสารอิเล็กโทรไลต์เนื่องจากเมมเบรนที่ใช้มีความหนาเพียง 50um เซลล์เชื้อเพลิงแบบนี้จึงมีขนาดเล็กส่งผลให้มีการสูญเสียแบบโอห์มมีค่าลดลงและสามารถผลิตความหนาแน่นของกระแสสูงได้ ปฏิกริยาที่ขั้วอิเล็กโทรดตรงเป็นคาร์บอนโดยมี Pt เป็นตัวคะตะลิสต์บรรจุอยู่ทั้งสองด้านของเมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตอน แก๊สที่เกิดจากกระบวนการปฏิรูปของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนสามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงได้ แต่แก๊สที่ใช้ไม่ต้องเป็นแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์เพราะแก๊สดังกล่าวเป็นพิษต่อ Pt ความเป็นพิษดังกล่าวสามารถทำให้ลดลงได้โดยการเพิ่มปริมาณของอากาศเพียงเล็กน้อยเข้าไปที่ฝั่งแอโนดหรือโดยการใช้โลหะผสมของ Pt กับโลหะอื่นๆเพื่อความทนทานต่อความเป็นพิษแนวทางแก้ไขอื่นคือการใช้เมมเบรนที่ทำจากโลหะพาราเดียมหรือโลหะผสมระหว่างพาราเดียมกับเงินซึ่งเมมเบรนนี้ยอมให้ไฮโดรเจนผ่านแต่ไม่ยอมให้แก๊สผ่านเป็นเซลล์เชื้อเพลิงที่ใช้อิเล็กโทรไลต์ในรูปแผ่นโพลีเมอร์บาง ทำงานในสภาวะอุณหภูมิต่ำประมาณ 80 องศา มีประสิทธิภาพในการผลิตกระแสไฟฟ้าประมาณ 40-50 % สามารถให้พลังงานไฟฟ้าได้ตั้งแต่ช่วง 50-250 KW ในทางทฤษฎีมันให้แรงดันประมาณ 1.23 โวลต์ต่อเซลล์เป็นที่นิยมใช้และถูกนำไปใช้ในรถยนต์

ข้อดี เนื่องจากเซลล์เชื้อเพลิงนี้ทำงานที่อุณหภูมิต่ำและใช้สารอิเล็กโทรไลต์เป็นของแข็งจึงไม่มีปัญหาการรั่วซึมเกิดการกัดกร่อนน้อยเซลล์แบบนี้จึงเหมาะสำหรับการใช้งานในอาคารบ้านเรือนและยานพาหนะ

ข้อด้อย ต้องใช้เชื้อเพลิงที่มีความบริสุทธิ์สูงเท่านั้นและโลหะแพลทินัมที่เป็นสารเร่งปฏิกิริยามีราคาแพงอีกทั้งแผ่นเมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตอนก็มีราคาสูงอีกด้วย

2. Alkaline fuel cell (AFC) เป็นชนิดแรกที่มีการสร้างขึ้นมา เคยถูกใช้ในโครงการอวกาศของสหรัฐในช่วงปี 1960 แต่เนื่องระบบไวต่อการปนเปื้อนมากจึงต้องใช้ไฮโดรเจนและออกซิเจนบริสุทธิ์เท่านั้นทำให้ระบบมีราคาสูงมากไม่สามารถนำมาขายในท้องตลาดได้เซลล์เชื้อเพลิงชนิดนี้มีประสิทธิภาพในการผลิตกระแสไฟฟ้าสูงถึง 70 เปอร์เซ็นต์ องค์การนาซาใช้เซลล์เชื้อเพลิงชนิดนี้เป็นแหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้าและน้ำให้กับยานอวกาศในโครงการอพอลโลและโครงการเจมินีมาแล้ว เชื้อเพลิงที่ใช้กับเซลล์ชนิดนี้คือ ไฮโดรเจนและออกซิเจนบริสุทธิ์ และใช้สารอิเล็กโทรไลต์ เช่น โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ สภาวะอุณหภูมิที่ใช้ผลิตกระแสไฟฟ้าอยู่ในช่วง 150 - 200 องศาเซลเซียส

ข้อดี มีประสิทธิภาพการผลิตกระแสไฟฟ้าสูง และใช้สารอิเล็กโทรไลต์(เช่น โปตัสเซียมไฮดรอกไซด์)ที่ราคาถูก

ข้อด้อย เซลล์เชื้อเพลิงชนิดนี้จำเป็นต้องใช้ก๊าซไฮโดรเจนและออกซิเจนที่มีความบริสุทธิ์สูงมากซึ่งมีราคาแพงมาก และต้นทุนการผลิตของเซลล์เชื้อเพลิงชนิดนี้มีราคาแพง ทำให้การใช้เซลล์เชื้อเพลิงชนิดนี้จำกัดอยู่เฉพาะงานในด้านอวกาศเท่านั้น

3. Phosphoric-acid fuel cell (PAFC) เป็นระบบที่มีแนวโน้มที่จะถูกนำไปใช้ในสถานีไฟฟ้าขนาดเล็ก เนื่องจากทำงานที่อุณหภูมิสูงกว่าแบบ PEMFC ทำให้ต้องใช้เวลาในการอุ่นระบบที่นานกว่าทำให้มันไม่เสถียรในการนำมาใช้ในรถยนต์ ส่วนประกอบใช้กรดฟอสฟอริกเป็นสารอิเล็กโทรไลต์ โดยปัจจุบันมีการผลิตเซลล์แบบนี้ออกมาเพื่อจำหน่ายในเชิงพาณิชย์ เซลล์แบบกรดฟอสฟอริกทำงานในช่วงอุณหภูมิประมาณ 150 - 200 องศาเซลเซียส ที่อุณหภูมิต่ำกว่านี้กรดฟอสฟอริกจะนำประจุไฟฟ้าได้น้อย เซลล์มีประสิทธิภาพในการผลิตกระแสไฟฟ้าประมาณ 40 เปอร์เซ็นต์ แต่ยังสามารถใช้ประโยชน์จากไอน้ำร้อนที่เกิดขึ้นโดยนำไปใช้ผลิตกระแสไฟฟ้าวร่วม (cogeneration) ต่อได้

ข้อดี เป็นเซลล์ที่สามารถใช้กับเชื้อเพลิงได้หลายชนิดแม้แต่น้ำมันเชื้อเพลิง แต่ต้องกำจัดกำมะถันในน้ำมันออกให้เหลืออยู่น้อยที่สุดก่อน

ข้อด้อย ต้องใช้โลหะแพลทินัมที่มีราคาสูงเป็นสารเร่งปฏิกิริยา เซลล์มีขนาดใหญ่ น้ำหนักมาก มีประสิทธิภาพการผลิตกระแสไฟฟ้าต่ำเมื่อเทียบกับเซลล์ชนิดอื่น ชิ้นส่วนภายในจำเป็นต้องใช้วัสดุที่ทนทานต่อการกัดกร่อนของกรดได้ดี

4. Solid oxide fuel cell (SOFC) เป็นระบบที่เหมาะสมในการนำมาใช้ในสถานีไฟฟ้าขนาดใหญ่เนื่องจากสามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้มากแต่เซลล์ไฟฟ้าชนิดนี้ทำงานที่อุณหภูมิที่สูงมาก (ประมาณ 1,832 F, 1,000 C) ทำให้มีปัญหาเรื่องเสถียรภาพ แต่ก็มีข้อดีตรงที่ว่า ไอน้ำอุณหภูมิสูงที่เป็นผลผลิตจากกระบวนการนี้ สามารถนำไปใช้ปั่นกังหันก๊าซต่อได้ ทำให้ประสิทธิภาพของระบบเพิ่มขึ้นอย่างมาก มีประสิทธิภาพในการผลิตกระแสไฟฟ้าประมาณ 60 เปอร์เซ็นต์ และหากนำมาใช้กับระบบการผลิตกระแสไฟฟ้าแบบความร้อนรวมแล้วจะให้ประสิทธิภาพสูงถึง 85 เปอร์เซ็นต์

ข้อดี เนื่องจากเซลล์เชื้อเพลิงทำงานที่สภาวะอุณหภูมิสูงมาก ดังนั้นจึงไม่จำเป็นต้องใช้โลหะแพลทินัมเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา และไม่ต้องใช้ระบบรีฟอร์มเมอร์ (reformer) ในการเปลี่ยนสภาพเชื้อเพลิงจึงอาจจะช่วยลดต้นทุนในการสร้างระบบรีฟอร์มเมอร์ (reformer) นอกจากนี้ยังสามารถใช้เชื้อเพลิงได้หลากหลายชนิดเพราะเซลล์เชื้อเพลิงชนิดนี้ทนทานต่อคาร์บอนมอนอกไซด์ได้ดี

ข้อด้อย เซลล์ที่ทำงานในสภาวะอุณหภูมิสูงต้องเสียเวลาในการอุ่นเครื่องนาน และจำเป็นต้องสร้างผนังหนาเพื่อป้องกันความร้อนที่แผ่ออกมา

5. Molten carbonate fuel cell (MCFC) เป็นอีกประเภทหนึ่งที่เหมาะสมสำหรับสถานีไฟฟ้าขนาดใหญ่ แต่ชนิดนี้ทำงานที่อุณหภูมิที่ต่ำกว่าคือที่ประมาณ 1,112°F หรือ 600°C และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ยังสามารถให้ไอ้หน้าความดันสูงเพื่อมาช่วยผลิตกระแสไฟฟ้าได้อีกด้วย และเนื่องจากทำงานที่อุณหภูมิที่ต่ำกว่า SOFC ทำให้ไม่ต้องใช้วัสดุพิเศษ จึงทำให้ระบบนี้ใช้งบประมาณที่น้อยเซลล์ชนิดนี้มีประสิทธิภาพในการผลิตกระแสไฟฟ้าประมาณ 60 เเปอร์เซ็นต์ และหากใช้ร่วมกับระบบผลิตกระแสไฟฟ้าความร้อนร่วมแล้วจะมีประสิทธิภาพสูงถึง 85 เเปอร์เซ็นต์

ข้อดี เนื่องจากเซลล์ทำงานที่สภาวะอุณหภูมิต่ำจึงสามารถประยุกต์ใช้เชื้อเพลิงไฮโดรเจนสำหรับผลิตกระแสไฟฟ้าได้หลายชนิด เช่น ก๊าซไฮโดรเจน ก๊าซธรรมชาติ ก๊าซโพเพนน้ำมันดีเซล เป็นต้น

ข้อด้อย ที่สภาวะอุณหภูมิต่ำจะมีการกัดกร่อนค่อนข้างมากจึงไม่เหมาะกับการใช้งานขนาดเล็กกว่าเมกะวัตต์

6. เซลล์เชื้อเพลิงแบบระบบหมุนเวียนน้ำ (Regenerative)

เป็นเซลล์เชื้อเพลิงที่ทำงานแบบหมุนเวียนน้ำในระบบ น้ำจะถูกแยกด้วยไฟฟ้าที่ผลิตจากเซลล์แสงอาทิตย์ได้เป็นไฮโดรเจนและออกซิเจน ก๊าซไฮโดรเจนและก๊าซออกซิเจนที่ได้จะถูกใช้เป็นเชื้อเพลิงป้อนระบบเซลล์เชื้อเพลิงเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าออกมา ซึ่งนอกจากกระแสไฟฟ้าแล้วยังได้ความร้อนและน้ำเป็นผลผลิตร่วมด้วย น้ำที่ได้จะถูกนำไปแยกด้วยกระแสไฟฟ้าอีกครั้ง ดังนั้นน้ำจึงถูกหมุนเวียนอยู่ในระบบปิดตลอด ปัจจุบันเซลล์เชื้อเพลิงแบบนี้ยังอยู่ในขั้นการวิจัยและพัฒนาโดยองค์การนาซาและสถาบันอื่น ๆ ทั่วโลก

7. เซลล์เชื้อเพลิงแบบสังกะสี-อากาศ (Zinc-Air) เซลล์เชื้อเพลิงสังกะสี-อากาศใช้โลหะสังกะสีเป็นขั้วแอโนด เชื้อเพลิงที่ใช้คือ ก๊าซไฮโดรเจนหรือสารประกอบไฮโดรคาร์บอนก็ได้ ขั้วแคโทดเป็นอากาศและใช้แผ่นกรองสำหรับแยกก๊าซออกซิเจนออกมาจากอากาศเพื่อป้อนเข้าระบบ เซลล์ชนิดนี้ใช้สารโปตัสเซียมไฮดรอกไซด์เป็นสารอิเล็กโทรไลต์ อุณหภูมิการทำงานขอระบบอยู่ในช่วงประมาณ 700 องศาเซลเซียส

ข้อดี โลหะสังกะสีที่ใช้ทำขั้วแอโนดมีราคาถูก เซลล์ทำงานได้โดยไม่ต้องใช้สารเร่งปฏิกิริยา และสามารถใช้เชื้อเพลิงได้หลายรูปแบบตั้งแต่ก๊าซไฮโดรเจนบริสุทธิ์จนถึงน้ำมันเชื้อเพลิง

ข้อด้อย หลังจากทำปฏิกิริยาเคมีแล้วโลหะสังกะสีจะเปลี่ยนเป็นซิงค์ออกไซด์ (ZnO) จึงต้องคอยเปลี่ยนแผ่นสังกะสีใหม่เป็นระยะ

8. เซลล์เชื้อเพลิงแบบป้อนสารเมทานอลโดยตรง (Direct Methanol) เป็นเซลล์ที่เพิ่งถูกพัฒนาขึ้นมาจากแบบเมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตอน แต่มีแนวโน้มที่จะพัฒนาให้ใช้กับอุปกรณ์ที่มีขนาดเล็กหรือในรถยนต์ได้ เซลล์เชื้อเพลิงชนิดนี้สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าจากเมทานอลได้โดยไม่ต้องผ่านสารเข้ารระบบรีฟอร์มเมอร์ ซึ่งแตกต่างจากเซลล์เชื้อเพลิงชนิดอื่นที่จะทำงานโดยการป้อนไฮโดรเจนเข้ารระบบโดยตรง เซลล์เชื้อเพลิงแบบป้อนสารเมทานอลโดยตรงมีประสิทธิภาพการผลิตกระแสไฟฟ้าประมาณ 40 เเปอร์เซ็นต์ ทำงานที่สภาวะอุณหภูมิต่ำระหว่าง 50 - 100 องศาเซลเซียสเนื่องจากเซลล์เชื้อเพลิงชนิดนี้ทำงานที่สภาวะอุณหภูมิต่ำจึงเหมาะสมที่จะพัฒนาให้เป็นแหล่งพลังงานในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์แบบพกพา เช่น

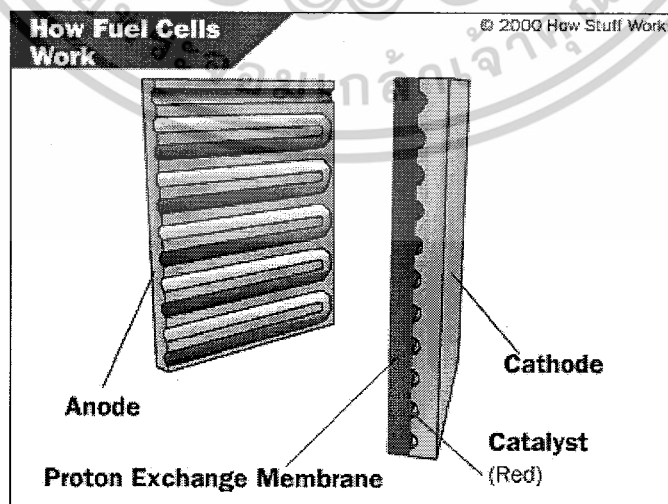
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คอมพิวเตอร์ Laptop โทรศัพท์มือถือ นอกจากนี้ยังเหมาะที่จะนำมาใช้กับรถยนต์ขับเคลื่อนด้วยพลังงานไฟฟ้าแบบเต็มเมทานอลด้วย

ตารางที่ 2.1 การเปรียบเทียบพลังงานเซลล์เชื้อเพลิงกับพลังงานจากแหล่งอื่น

	Type	Size	Efficiency
Fuel Cells	PEMFC(80°C)	1-500 kW	40%
	PAFC(200°C)	5kW-1.2MW	40%
	MCFC(650°C)	1-20MW	55%
	SOFC(1000°C)	1kW-25MW	45-65%
Engines	Diesel	50kW-6MW	33-36%
	Internal combustion	5kW-2MW	33-35%
	Natural gas		
	Stirling cycle	1-25kW	20%
Combustion Turbines	Microturbines	25-500kW	26-30%
	"small "Turbines	1-100MW	33-45%
Renewables	Solar(PV)	1-100kW	10-20%
	Wind		
	Biomass		

2.1.2 โครงสร้างเซลล์เชื้อเพลิง



ภาพที่ 2.1 โครงสร้างของเซลล์เชื้อเพลิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Fuel Cell มีอยู่ด้วยกันหลายประเภทโดยแบ่งตามประเภทของสารพาประจุ (Electrolyte) โดยจะกล่าวถึงการทำงานโดยละเอียดของเซลล์ประเภท proton exchange membrane เซลล์เชื้อเพลิงจะแบ่งโครงสร้างออกเป็น 4 ส่วนใหญ่ๆ ได้แก่

1. ขั้วแอโนด (Anode) เป็นขั้วลบ มีหน้าที่ส่งอิเล็กตรอนออกจากขั้ว โดยอิเล็กตรอนได้จากปฏิกิริยา $H_2 \Rightarrow 2H^+ + 2e^-$ โดยที่ขั้วจะมีช่องที่ติดกับตัวเร่งปฏิกิริยาซึ่งฉาบอยู่บนผิวหน้าของเยื่อแลกเปลี่ยนโปรตอน โดยปฏิกิริยาจะเกิดเมื่อผ่านก๊าซไฮโดรเจนเข้าไป

2. ขั้วแคโทด (Cathode) เป็นขั้วบวก โดยมีช่องติดกับเยื่อแลกเปลี่ยนโปรตอน ทำหน้าที่รับโปรตอนและก๊าซออกซิเจนซึ่งถูกปล่อยออกมาที่ผิวหน้าของเยื่อซึ่งฉาบตัวเร่งปฏิกิริยาเอาไว้ และทำหน้าที่รับอิเล็กตรอนกลับมาจากวงจรภายนอก เพื่อรวมกันเป็นน้ำ ดังปฏิกิริยา $O_2 + 4H^+ + 4e^- \Rightarrow 2H_2O$

3. สารพาประจุ (Electrolyte) เป็นส่วนที่มีความสำคัญ เพราะ เป็นส่วนที่ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของไอออนชนิดต่างๆ และเป็นส่วนที่เซลล์เชื้อเพลิงแต่ละประเภทแตกต่างกัน โดยประเภทที่เรากล่าวถึงอยู่นี้สารพาประจุจะเป็นเพียงเยื่อแลกเปลี่ยนโปรตอน (Proton exchange membrane) เท่านั้น ซึ่งมีลักษณะเหมือนแผ่นพลาสติกในการทำครัวโดยจะให้โปรตอนผ่านได้แต่จะไม่ยอมให้อิเล็กตรอนผ่าน

4. ตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalyst) เป็นวัสดุพิเศษที่ช่วยให้ปฏิกิริยาในขั้นตอนต่างๆ เกิดได้ดี โดยส่วนใหญ่จะเป็นผงแพลทินัมเคลือบอยู่บนเยื่อแลกเปลี่ยนโปรตอน ซึ่งจะมีลักษณะขรุขระเพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวในการสัมผัสกับก๊าซไฮโดรเจน และ ออกซิเจน

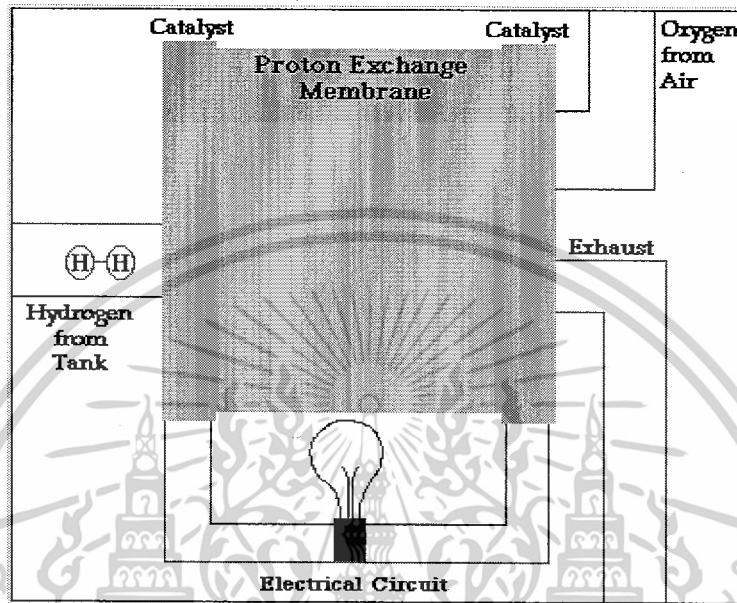
2.1.3 การทำงานของเซลล์เชื้อเพลิง

หลักการทำงาน คือ H_2 จะถูกปล่อยไปในด้านแอโนดโดยใช้ความดัน เมื่อก๊าซไปสัมผัสกับตัวเร่งปฏิกิริยา ก็จะเกิดการแตกตัวออกเป็น โปรตอนและอิเล็กตรอน โดยอิเล็กตรอนจะถูกส่งต่อไปยังวงจรภายนอก ส่วนโปรตอนนั้น จะผ่านช่องของเยื่อแลกเปลี่ยนโปรตอนไปยังขั้วแคโทด ซึ่งจะไปรวมตัวกับอิเล็กตรอนที่รับมาจากวงจรภายนอก รวมไปถึงอะตอมของออกซิเจนซึ่งแตกตัวโดยการเร่งของตัวเร่งปฏิกิริยา เกิดเป็นโมเลกุลของน้ำขึ้นมา ซึ่งการไหลของอิเล็กตรอนนี้ จะนำไปใช้เป็นไฟฟ้ากระแสตรงได้เพื่อประโยชน์ในงานด้านต่างๆ แต่เนื่องจาก H_2 เป็นก๊าซที่อันตราย เนื่องจากติดไฟได้ จึงไม่เหมาะสมในการบรรจุ หรือ เคลื่อนย้ายไปมาและทำให้จึงมีการพัฒนา Fuel Processor ซึ่งมีหลักการทำงานคือ

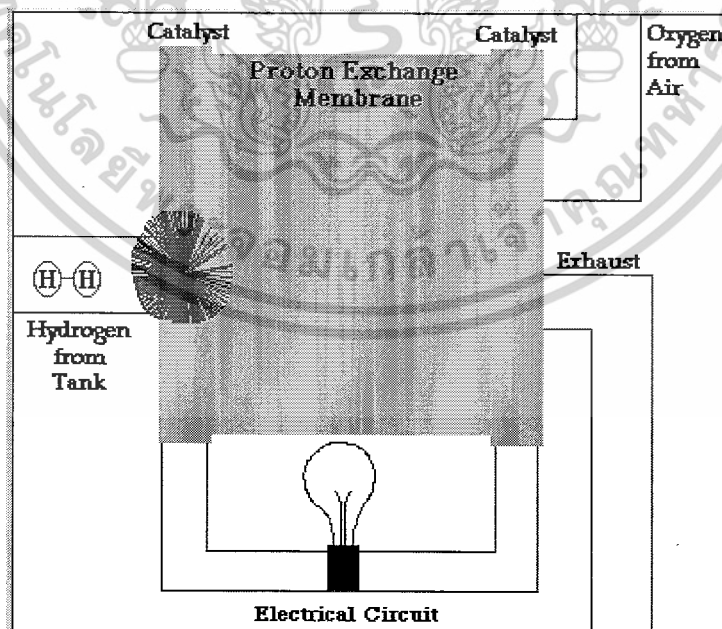
1. ใช้เครื่อง Reformer เปลี่ยนไฮโดรคาร์บอนชนิดต่างๆ, H_2O และ O_2 ให้กลายเป็น H_2 , CO , CO_2
2. ใช้เครื่อง Catalytic Converter เปลี่ยน CO ให้กลายเป็น CO_2
3. จากนั้น ก็นำ H_2 มาใช้ได้ตามต้องการ ส่วน CO_2 ก็ถูกปล่อยสู่อากาศต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีนี้ นอกจากจะเพิ่มความปลอดภัยแล้ว ยังเป็นการประหยัดอีกด้วย เนื่องจากสามารถเปลี่ยนสารอื่นๆมาเป็น H_2 หลักการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิง Fuel cell อธิบายได้ดังรูปตามขั้นตอนต่างๆเพื่อให้เข้าใจหลักการทำงานอย่างชัดเจนดังขั้นตอนต่อไปนี้



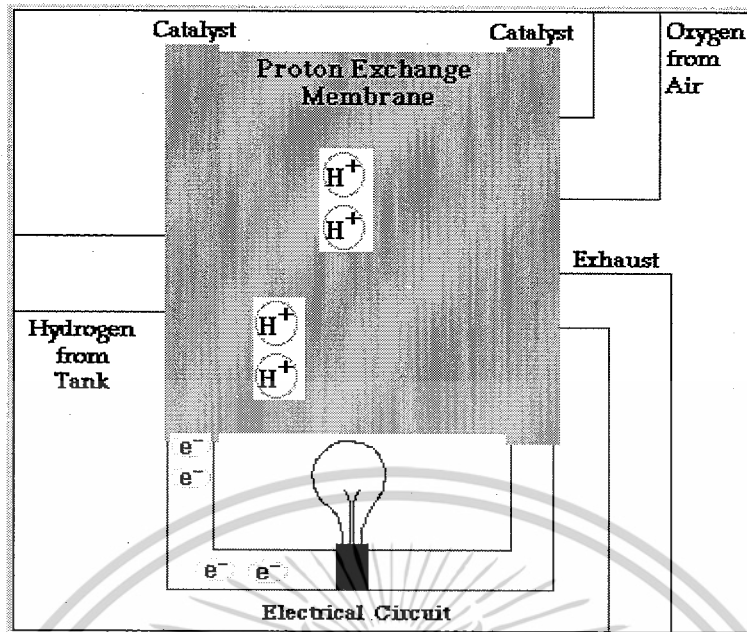
ภาพที่ 2.2 เมื่อส่งผ่านก๊าซไฮโดรเจน เข้ามา



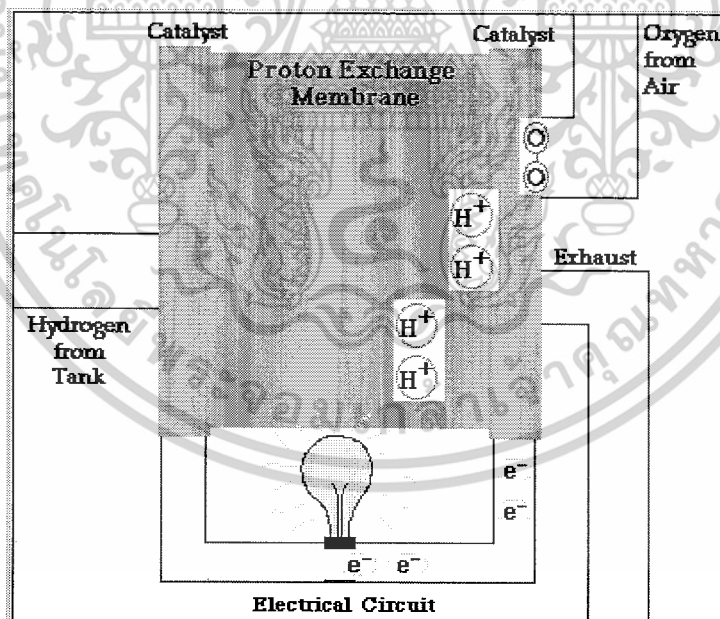
ภาพที่ 2.3 H_2 จะถูกปล่อยไปทางด้านแอโนดโดยใช้ความดันจาก Tank โดยชนแล้วเกิดการ

แตกตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

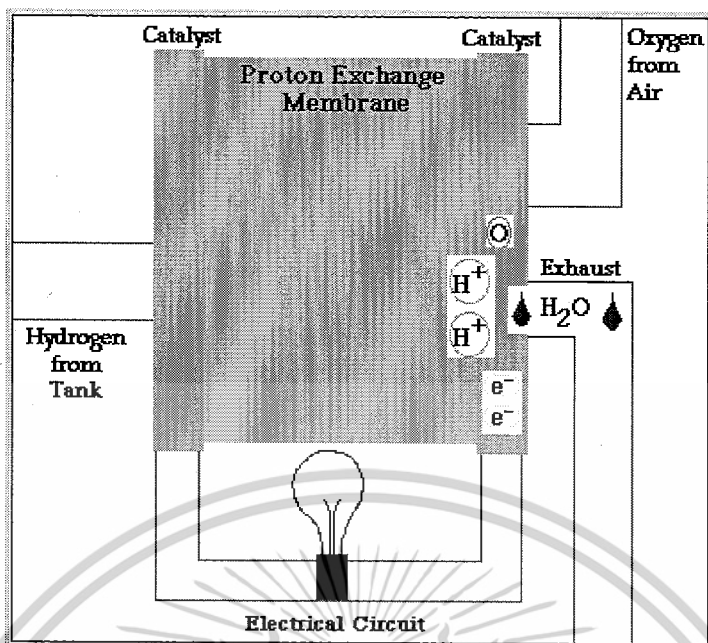


ภาพที่ 2.4 เมื่อก๊าซไปสัมผัสกับตัวเร่งปฏิกิริยา ก็เกิดการแตกตัวออกเป็น โปรตอนและอิเล็กตรอน โดยตัวเร่งปฏิกิริยาจะให้โปรตอนผ่านได้ แต่จะไม่ยอมให้อิเล็กตรอนผ่าน

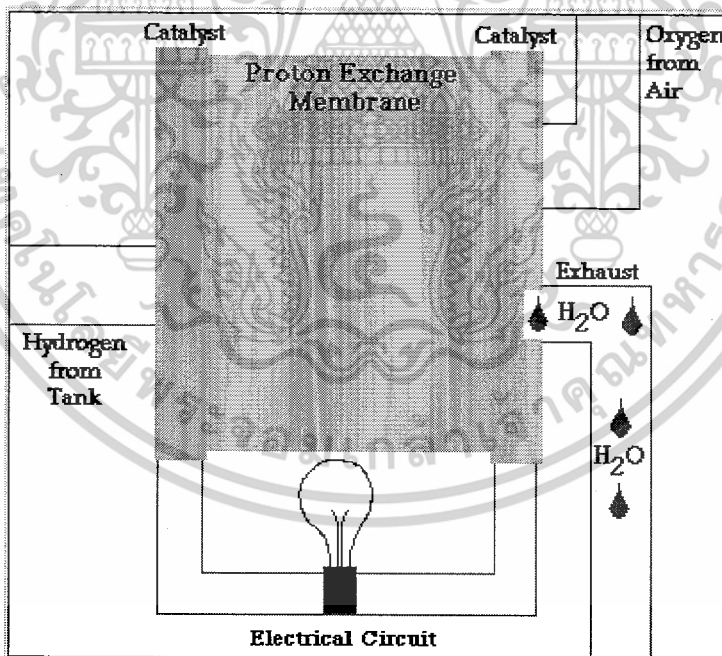


ภาพที่ 2.5 โดยอิเล็กตรอนจะถูกส่งต่อไปยังวงจรภายนอก ส่วนโปรตอนนั้นจะผ่านช่องของเยื่อแลกเปลี่ยนโปรตอนไปยังขั้วแคโทดซึ่งจะไปรวมตัว กับอิเล็กตรอนที่รับมาจากวงจรภายนอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.6 อะตอมของออกซิเจนซึ่งแตกตัวโดยการเร่งของตัวเร่งปฏิกิริยาเกิดเป็นโมเลกุลของน้ำขึ้นมา



ภาพที่ 2.7 โมเลกุลของน้ำและจะเป็นเช่นนี้ไปเรื่อยๆ

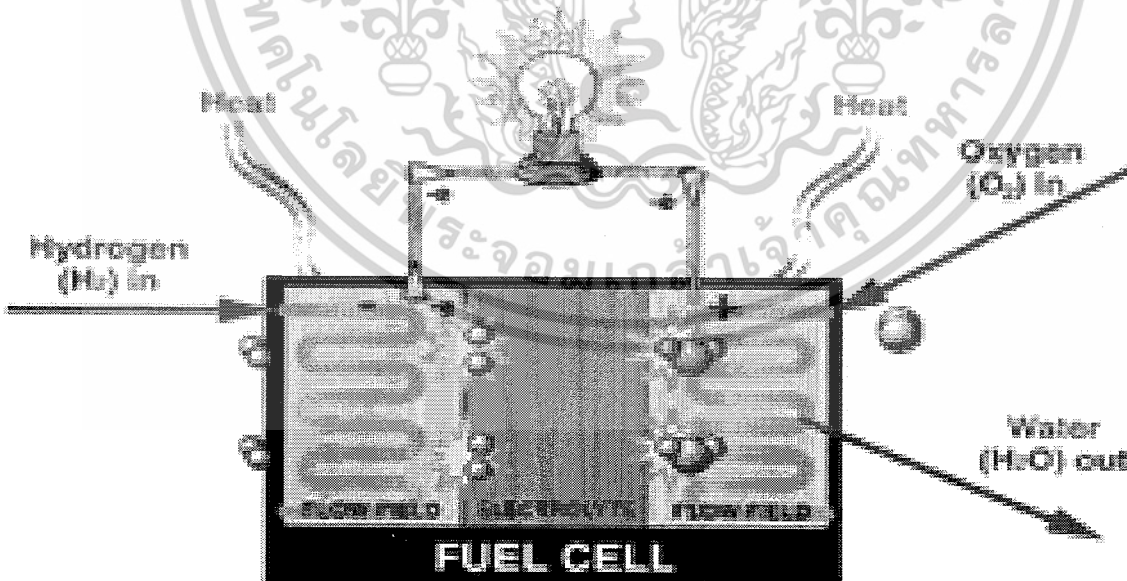
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กลไกการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงประเภทพอลิเมอร์อิเล็กโทรไลต์เมมเบรน(PEMFC)

PEMFC ประกอบด้วยส่วนหลักๆ 3 ส่วน ได้แก่ อิเล็กโทรด 1 คู่ (แคโทด และ แอโนด) พอลิเมอร์อิเล็กโทรไลต์เมมเบรน และตัวเร่งปฏิกิริยา เชื้อเพลิงซึ่งถูกนำมาใช้ในเซลล์เชื้อเพลิง ได้แก่ แก๊สไฮโดรเจนและออกซิเจน โดยแก๊สไฮโดรเจนจะถูกป้อนเข้าไปที่ขั้วแอโนด ปฏิกิริยาออกซิเดชันจะเกิดขึ้นโดยมีแพลทินัมเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา จากนั้นโปรตอนอิเล็กตรอนและความร้อนจะถูกผลิตออกมาตามสมการ



โปรตอนที่เกิดขึ้นจะเคลื่อนที่ผ่านอิเล็กโทรไลต์เมมเบรน ซึ่งมีประสิทธิภาพในการนำโปรตอนสูง (High Proton Conductivity) แต่ไม่สามารถนำอิเล็กตรอนได้ (Electron Barrier) ส่วนอิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่ผ่านวงจรไฟฟ้าภายนอกเพื่อใช้เป็นกระแสไฟฟ้า จากนั้นทั้งโปรตอนและอิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่ไปยังขั้วแคโทดเพื่อทำปฏิกิริยากับแก๊สออกซิเจนที่ถูกป้อนเข้ามายังขั้วดังกล่าว ปฏิกิริยารีดักชันที่เกิดขึ้นจากการที่มีแพลทินัมเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาจะได้นำเป็นผลิตภัณฑ์ตามสมการ



ภาพที่ 2.8 กลไกการทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงประเภทพอลิเมอร์อิเล็กโทรไลต์เมมเบรน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โพลีเมอร์อิเล็กโทรไลต์เมมเบรน (Polymer Electrolyte Membrane)

องค์ประกอบที่สำคัญอีกส่วนหนึ่งของเซลล์เชื้อเพลิงประเภทโพลีเมอร์อิเล็กโทรไลต์เมมเบรนในการขับเคลื่อนให้เซลล์ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ คือ ส่วนของโพลีเมอร์อิเล็กโทรไลต์เมมเบรนที่ยึดติดกับขั้วแพลทินัม ซึ่งโดยทั่วไปแล้วสารอิเล็กโทรไลต์คือสารที่ละลายน้ำแล้วแตกตัวให้อิออนบวกและอิออนลบ แต่สำหรับอิเล็กโทรไลต์เมมเบรนแล้วเมื่อมีการดูดซับน้ำขึ้นก็จะเกิดการแตกตัวเช่นกัน เพียงแต่อิออนลบที่เกิดขึ้นจะอยู่บนเมทริกซ์ของเมมเบรน ดังนั้นถ้าเป็นโพลีเมอร์อิเล็กโทรไลต์เมมเบรนก็มักจะหมายถึง เมมเบรนแลกเปลี่ยนอิออน (Ion-exchange Membrane) นั่นเอง

โพลีเมอร์อิเล็กโทรไลต์เมมเบรนจะทำหน้าที่ป้องกันไม่ให้โมเลกุลไฮโดรเจนสัมผัสกับออกซิเจนเพื่อป้องกันการเกิดปฏิกิริยาขึ้นโดยตรง โพลีเมอร์เมมเบรนจะยอมให้ประจุบวก (ไฮโดรเจนอิออนหรือโปรตอน) บนเมมเบรนเคลื่อนที่ผ่านจากแอโนดไปยังแคโทดเท่านั้น นอกจากนี้โพลีเมอร์อิเล็กโทรไลต์เมมเบรนจะแสดงสมบัติเป็นฉนวนไฟฟ้าเนื่องจากเป็นโพลีเมอร์อินทรีย์ ดังนั้น อิเล็กตรอนที่เกิดขึ้นจะเคลื่อนที่ผ่านเส้นลวดโลหะไปยังอีกด้านหนึ่งของเซลล์เพื่อให้ครบวงจรนั่นเอง สิ่งเจือปนโดยเฉพาะพวกอิออนของโลหะมักจะมีผลต่อการนำไฟฟ้าของเมมเบรน ถ้าอิออนของโลหะเคลื่อนที่ไปยังเมมเบรนมันจะทำหน้าที่เป็นประจุที่เคลื่อนที่แทนโปรตอนมีผลทำให้สภาพนำของเมมเบรนลดลง

ลักษณะทั่วไปของเมมเบรนสำหรับเซลล์เชื้อเพลิงต้องมีสภาพนำที่สูง มีสมบัติขวางกั้น (Barrier Property) ที่ดี มีความแข็งแรงทางกลที่ดี มีความทนทานต่อความร้อนและสารเคมี และเป็นฉนวนทางไฟฟ้า เมมเบรนจะต้องมีอันตรกิริยากับน้ำ และให้เกิดสภาพนำที่ดีในสถานะไฮเดรชัน และต้องยอมให้มีการส่งผ่านน้ำที่เพียงพอเพื่อป้องกันการเกิดโพลาไรเซชันซึ่งเหล่านี้จะมีผลสำหรับในเซลล์เชื้อเพลิง การส่งผ่านของโปรตอนจะเกิดได้อย่างมีประสิทธิภาพด้วยโมเลกุลของน้ำที่ขับเคลื่อนไปในระหว่างสายโซ่ในเมมเบรน ในขณะที่เซลล์เชื้อเพลิงทำงานโมเลกุลของไฮโดรเจนจะถูกทำให้แตกตัวออกที่ขั้วแพลทินัมและทำให้เกิดเป็นโปรตอนและอิเล็กตรอน (ปฏิกิริยาออกซิเดชัน) เมื่อโปรตอนไหลผ่านเมมเบรน และอิเล็กตรอนไหลไปตามวงจรทำให้เกิดความต่างศักย์และนำไปสู่กระแสไฟฟ้าในที่สุด ดังนั้น ในเมมเบรนต้องมีน้ำเพื่อที่จะให้เกิดไฮโดรเจนอิออนในการพาประจุผ่านเมมเบรนไปได้ ข้อจำกัดนี้ทำให้เมมเบรนชนิดนี้ไม่สามารถทำงานได้ที่อุณหภูมิสูงกว่าจุดเดือดของน้ำได้ เนื่องจากน้ำจะระเหยออกไปทำให้สภาพนำของโปรตอนลดลง ในทางตรงกันข้ามถ้ามีน้ำมากเกินไปจะทำให้น้ำท่วมเซลล์ ซึ่งเหล่านี้จะเป็นปัญหาต่อประสิทธิภาพของเซลล์เชื้อเพลิงชนิดนี้

2.1.4 สรุปข้อดีข้อเสียของเซลล์เชื้อเพลิง

1. ประสิทธิภาพ

เซลล์เชื้อเพลิงเปลี่ยนแปลงพลังงานที่สะสมอยู่ในเซลล์เชื้อเพลิงให้เป็นกระแสไฟฟ้าโดยตรง โดยไม่ผ่านกระบวนการเผาไหม้ ทำให้ไม่ถูกจำกัดอยู่กับประสิทธิภาพของการเปลี่ยนพลังงานความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้ให้เป็นไฟฟ้า นอกจากนี้ยังสามารถนำความร้อนที่เกิดขึ้นในเซลล์เชื้อเพลิงมาใช้ผลิตไฟฟ้าเพิ่มเติมในลักษณะของ Cogeneration ได้

2. ให้กระแสไฟฟ้าในปริมาณมาก

เซลล์เชื้อเพลิงสามารถผลิตกระแสไฟฟ้าในปริมาณมาก (ให้ค่าความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าสูง) ทำให้เซลล์เชื้อเพลิงส่วนใหญ่มักมีขนาดกะทัดรัดเมื่อเทียบกับเครื่องผลิตไฟฟ้าชนิดอื่น

3. ทำงานโดยไม่มีเสียงดัง

เซลล์เชื้อเพลิงนั้นไม่มีชิ้นส่วนที่มีการเคลื่อนที่จึงทำงานได้โดยไม่มีเสียง ดังนั้นภายในห้องโดยสารของรถยนต์ที่ใช้เซลล์เชื้อเพลิงจึงเงียบกว่ารถยนต์ทั่วไปมาก

4. ปราศจากมลพิษ

การทำงานของเซลล์เชื้อเพลิงนั้นไม่ทำให้เกิดมลพิษ อย่างเช่นในเครื่องจักรเผาไหม้ เนื่องจากผลิตภัณฑ์ที่ได้ออกมาจากเซลล์เชื้อเพลิงจะเป็นเพียงแค่น้ำเท่านั้น

5. ข้อจำกัดของเซลล์เชื้อเพลิง

ข้อจำกัดหลักของเซลล์เชื้อเพลิงนั้นอยู่ที่ราคาซึ่งค่อนข้างสูงของเซลล์เชื้อเพลิงและการจัดหาก๊าซไฮโดรเจนมาเป็นเชื้อเพลิง

2.1.5 ผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อม

สิ่งที่มักเข้าใจผิดกันอยู่เสมอคือการใช้ธาตุไฮโดรเจนเป็นเชื้อเพลิง ความจริงแล้วไฮโดรเจนไม่ใช่แหล่งพลังงานหลักมันเป็นเพียงตัวเก็บพลังงานและต้องผลิตขึ้นมาจากแหล่งพลังงานอื่นจากหลักการอนุรักษ์พลังงานทำให้ประสิทธิภาพของเซลล์เชื้อเพลิงอาจถูกจำกัดโดยการผลิตงานในขั้นแรก ทำให้ประสิทธิภาพโดยรวมอาจต่ำกว่าเครื่องยนต์เบนซินที่มีประสิทธิภาพ ซึ่งพบได้เมื่อก๊าซไฮโดรเจนต้องถูกอัดภายใต้แรงดันสูงหรือทำให้เป็นของเหลวสำหรับยานยนต์ (การสลายน้ำด้วยไฟฟ้ามีประสิทธิภาพเพียง 50%) อีกทางเลือกหนึ่งของการผลิตไฮโดรเจนโดยการใช้มีเทนซึ่งให้ประสิทธิภาพสูงถึงราว 80% หรือใช้สารประกอบไฮโดรคาร์บอนอื่นๆ ซึ่งมีประสิทธิภาพแตกต่างกันออกไป อย่างไรก็ตามการใช้ไฮโดรคาร์บอนเหล่านี้ทำให้เกิดก๊าซเรือนกระจกได้ อย่างไรก็ตามการหากได้มีการจัดได้ดีภายในโรงงานเราก็สามารถกำจัด CO_2 ได้ง่ายกว่าและดีกว่าปล่อยให้รถยนต์ทุกคันปล่อยก๊าซเสียออกมาโครงการกำจัด CO_2 ปริมาณมากในขั้นตอนนี้ได้ดำเนินการจากบริษัทจากนอร์เวย์ statoil เซลล์เชื้อเพลิงประเภทอื่นๆไม่พบปัญหาเช่นเดียวกันนี้ เช่น เซลล์เชื้อเพลิงทางชีวภาพ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่บนสื่อออนไลน์ใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(biological fuel cells) ใช้กลูโคส และ เมทานอล จากเศษอาหารที่มักด้วยจุลินทรีย์อย่างไรก็ตามปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมอีกอย่างหนึ่งที่นักวิทยาศาสตร์จาก Caltech ได้ตั้งข้อสังเกตขึ้นคือ หากเราเปลี่ยนจากระบบเก่ามาเป็นเซลล์เชื้อเพลิงทั้งหมด ปริมาณไฮโดรเจนเพียงเล็กน้อยที่รั่วไหลจากการเก็บและขนส่งอาจเป็นอันตรายต่อชั้นโอโซนได้ แต่อย่างไรก็ตามปริมาณไฮโดรเจนที่ทางกลุ่มตั้งข้อสังเกตได้ถูกปฏิเสธโดยกลุ่มอุตสาหกรรม ปัจจุบันนี้ 50% ของพลังงานในสหรัฐอเมริกาผลิตมาจากถ่านหิน ซึ่งเป็นเชื้อเพลิงที่ไม่สะอาดถ้าไฮโดรเจนสำหรับเซลล์เชื้อเพลิงมาจากการสลายน้ำด้วยไฟฟ้า ซึ่งยังใช้พลังงานจากโรงไฟฟ้าเหล่านี้ เราก็ไม่อาจปฏิเสธได้เลยว่าปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมก็จะเกิดขึ้นที่โรงงานไฟฟ้านั้นเอง

2.1.6 คุณสมบัติของก๊าซไฮโดรเจน

1. เป็นธาตุที่เบาและเล็กที่สุด เบากว่าอากาศ 14 เท่า น้ำหนัก 1mole เท่ากับ 2.02 กรัม ความหนาแน่น $0.086 \text{ Kg} / \text{m}^3$
 2. จุดเดือดต่ำ -253 องศาเซลเซียส
 3. ติดไฟง่าย ใช้พลังงานจุดไฟน้อย 0.02 mJ มีช่วงการติดไฟกว้าง Avf Ratio=364 ถึง 5
 4. ค่าความร้อนเชื้อเพลิง 120 MJ/kg สูงกว่าน้ำมันประมาณ 3เท่า
- การจัดเก็บเชื้อเพลิงไฮโดรเจนมีหลายวิธี โดยทั่วไปสามารถแบ่งได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่คือ Tmk'g8,u

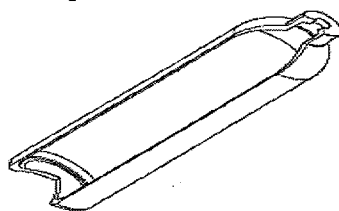
- 1.การจัดเก็บด้วยวิธีทางกายภาพ
- 2.การจัดเก็บด้วยวิธีทางเคมี

การจัดเก็บด้วยวิธีทางกายภาพ

1. การเก็บในรูปก๊าซในถังความดันสูง
2. การเก็บในรูปของเหลวอุณหภูมิต่ำ
3. การเก็บในลูกแก้ว
4. Cryogenic Adsorption

การเก็บในถังความดันสูง

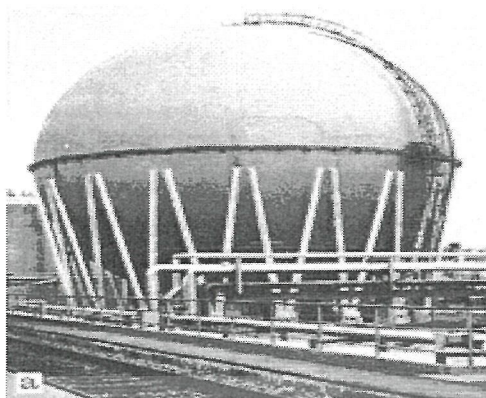
ถังเก็บขนาดใหญ่จะมีรูปทรงเป็นลูกทรงกลมส่วนถังเก็บขนาดเล็กจะเป็นทรงกระบอก



ภาพที่ 2.9 ถังความดันสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

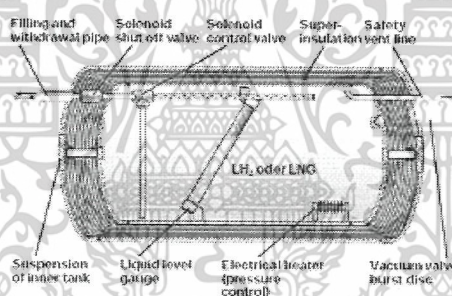
สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง



ภาพที่ 2.10 ถึงความดันสูง

การเก็บในรูปของเหลว

ไฮโดรเจนกลายเป็นของเหลวที่อุณหภูมิ -253°C และต้องเก็บในถังที่มีอุณหภูมิต่ำมาก ความหนาแน่น $70\text{ Kg}/\text{m}^3$ ซึ่งต้องมีปริมาณเชื้อเพลิง จำนวนเท่ากันแล้วถึงเก็บไฮโดรเจน เหลวจะมีขนาดใหญ่กว่าถังเก็บเชื้อเพลิงเบนซินถึง 4 เท่า



ภาพที่ 2.11 การเก็บในลูกแก้ว

การเก็บในลูกแก้ว

วิธีนี้ลูกแก้วขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 10-100 ไมคอน หนาประมาณ 1-10 ไมคอน อาศัยหลักการของการแพร่ของไฮโดรเจนที่อุณหภูมิสูงผ่านผนังของลูกแก้ว โดยลูกแก้ว จะถูกทำให้ความร้อนมีอุณหภูมิอยู่ระหว่าง $300-400^{\circ}\text{C}$ ที่ความดัน 400-500 bar แล้ว ไฮโดรเจนแพร่ผ่านผนังของลูกแก้ว หลังจากทำให้เย็นลงที่อุณหภูมิ 20°C ความเร็วในการ แพร่ของไฮโดรเจนผ่านผนังลูกแก้วจะลดลงและความดันภายในลูกแก้วลดลงเหลือ 200 bar วิธีนี้สามารถเก็บไฮโดรเจนได้ 2.6% โดยปริมาตร แต่เนื่องจากความดันภายในลูกแก้วกับ บรรยากาศภายนอกมีความแตกต่างกันมาก ไฮโดรเจนจะสามารถแพร่หรือรั่วออกมาได้ หลัง บรรจวจึงควรรีบนำมาใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Cryogenic Adsorption

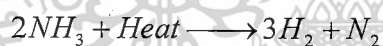
วิธีการจัดเก็บแบบนี้ ไฮโดรเจนเหลวที่อุณหภูมิที่ต่ำมาก Cryogenic (คือไฮโดรเจนที่มีอุณหภูมิ 77K) จะไปเกาะ (adsorb) ที่ถ่านกัมมันต์ (activated carbon) ซึ่งมีรูพรุนอยู่จำนวนมาก การจัดเก็บจะมีความดันและความเย็นโดยไม่มีสารรั่วไหล การจัดเก็บด้วยวิธีนี้เปรียบเทียบกับเสมือนการรวมวิธีการเก็บที่มีความดันสูงกับการเก็บที่อุณหภูมิต่ำเข้าด้วยกัน ซึ่งวิธีการนี้จะเป็นทางเลือกที่น่าสนใจในอนาคต

การจัดเก็บด้วยวิธีทางเคมี

- 1.การจัดเก็บไฮโดรเจนในรูปแอมโมเนีย
- 2.การเก็บในรูปน้ำ
- 3.การเก็บในรูปเมทัลไฮไดรไรด์

การเก็บในรูปไฮโดรเจนในรูปแอมโมเนีย

เป็นปฏิกิริยาดูดความร้อนจึงให้ความร้อนเพื่อให้ได้ไฮโดรเจนออกมา โดยกระบวนการแตกตัวนี้เกิดขึ้นที่อุณหภูมิ 600 °C ในอุปกรณ์แยกก๊าซ ถ้าอุณหภูมิต่ำกว่านี้การแตกตัวจะไม่สมบูรณ์และจะเกิดปฏิกิริยาย้อนกลับ ทำให้ไฮโดรเจนกับไนโตรเจนรวมตัวเป็นแอมโมเนีย (NH₃) ตามเดิม

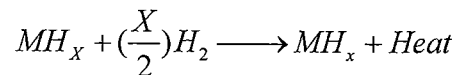
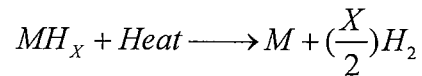


การเก็บในรูปน้ำ

การแยกน้ำออกเป็นไฮโดรเจนกับออกซิเจน จะต้องอาศัยกระบวนการแตกตัวที่อุณหภูมิ 2000°C ซึ่งถ้าต้องการให้ขั้นตอนนี้เกิดขึ้นที่อุณหภูมิต่ำต้องใช้กระบวนการทางเคมีอื่นร่วมด้วยโดยใช้โลหะแอลคาไล เช่นลิเทียม(Li) หรือโซเดียม(Na)ทำปฏิกิริยากับน้ำ เพื่อแยกไฮโดรเจนออกจากน้ำ เป็นต้น น้ำ 18g จะมีไฮโดรเจนเป็นส่วนประกอบอยู่ 2g คิดเป็น 11% โดยน้ำหนักและน้ำจำนวน 160 ลิตรจะมีไฮโดรเจนเป็นส่วนประกอบซึ่งนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงได้เทียบเท่าเบนซิน 65 ลิตร (50 kg)

การเก็บในรูปเมทัลไฮดรายด์

การเก็บในรูปสารประกอบเคมี โดยใช้เมทัลไฮดรายด์ ต้องคำนึงถึงน้ำหนักถังและอุณหภูมิที่เหมาะสม เมทัลไฮดรายด์ สามารถเก็บไฮโดรเจนได้ประมาณ 2-3% ของน้ำหนักถัง



ข้อได้เปรียบการเก็บในรูปเมทัลไฮดรายด์

การเก็บไฮโดรเจนด้วยวิธีการนี้ คือ ไม่จำเป็นต้องใช้ความดันสูงมากหรืออุณหภูมิที่เย็นจัด เนื่องจากการเก็บไฮโดรเจนในรูปของสารประกอบทางเคมีและสามารถคายไฮโดรเจนได้ที่ความดันภายในต่ำ โดยอาศัยอาการควบคุมความร้อนที่ให้กับโลหะไฮดรายด์เพียงอย่างเดียวอีกทั้งโลหะไฮดรายด์ไม่สามารถติดไฟได้ ดังนั้นวิธีการเก็บแบบนี้จึงเป็นวิธีทางธรรมชาติที่มีความปลอดภัยที่สุดในขณะนี้

ข้อเสียเปรียบการเก็บในรูปเมทัลไฮดรายด์

1. มีน้ำหนักมาก
2. ก๊าซไฮโดรเจนต้องมีความบริสุทธิ์สูงโดยเฉพาะการปนเปื้อนของก๊าซออกซิเจน ก๊าซคาบอนมอนอกไซด์และน้ำ

2.1.7 ระดับพลังงานของก๊าซไฮโดรเจน

สถานะ Liquid

1 kg	140.4 MJ
1 litre	9.36 MJ
1 kg	15 litre
1 litre	0.067 kg
1 litre	2.6 kwh
1 kg	39 kwh

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สถานะ Gas (150 bar)

1 kg	140.4 MJ
1 litre	1.46 MJ
1 kg	96.164 litre
1 litre	0.0104 kg
1 litre	0.405 kwh
1 kg	39 kwh

สถานะ Gas (STP)

1 kg	140.4 MJ
1 litre	10.8 MJ
1 kg	1300 litre
1 litre	7.69 kg
1 litre	0.003 kwh
1 kg	39 kwh

ตารางที่ 2.2 แสดงระดับพลังงานของก๊าซไฮโดรเจน

2.2 มอสเฟตกำลัง (Power MOSFET)

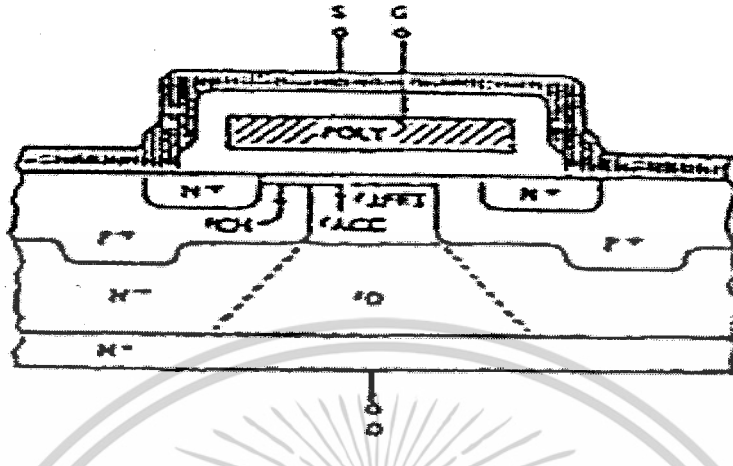
ส่วนที่สำคัญอีกส่วนหนึ่งของวงจรควบคุมความเร็วมอเตอร์แบบบีกอนเวอร์เตอร์ ก็คือ สวิตช์ในโครงงานนี้จะใช้มอสเฟตทำหน้าที่เป็นสวิตช์ ดังนั้นจะต้องให้ความสำคัญเป็นพิเศษในการที่จะนำมอสเฟตมาใช้งานในลักษณะนี้

2.2.1 การทำงานของมอสเฟตกำลัง

เมื่อป้อนแรงดันให้มีขนาดและแรงดันที่เหมาะสม Poll silicon Gate จะเหนี่ยวนำชั้น

ตรงกันข้ามของ Diffuse channel region ซึ่งแสดงโดย r_{CH} ในภาพที่ 2.12 จะทำให้กระแสไหล เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

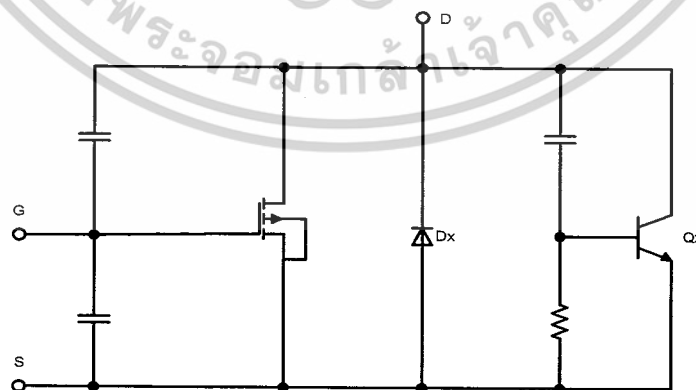
จากเดรนไปยังซอร์สสำหรับแรงดันค่าน้อยๆที่ป้อนให้เดรนและซอร์ส กระแสเดรนจะเพิ่มขึ้นอย่างเป็นเชิงเส้น เมื่อแรงดันเดรนเพิ่มขึ้น กระแสเดรนจะอิ่มตัวเป็นสัดส่วนกำลังสองของแรงดันเกตกับซอร์ส



ภาพที่ 2.12 แสดงการทำงานของมอสเฟต

2.2.2 วงจรสมมูลของมอสเฟต

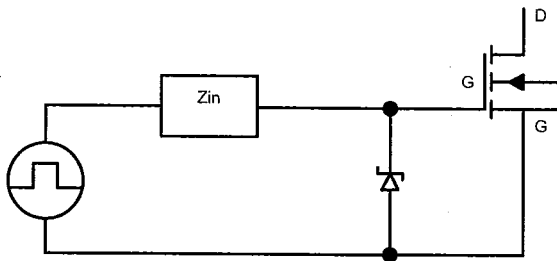
จากโครงสร้างของมอสเฟตสามารถสร้างเป็นวงจรสมมูลซึ่งประกอบไปด้วย ไดโอด (D_x) ,ค่าความจุ, ค่าความต้านทาน (ซึ่งมีค่าน้อยมาก) และทรานซิสเตอร์ชนิด NPN (Q_x) ดังภาพที่ 2.13 การพิจารณาวงจรสมมูลนี้มีความสำคัญมากในการใช้งานมอสเฟตควบคุมความเร็วมอเตอร์แบบ PWM เพราะในขณะที่มอสเฟตกำลังหยุดนำกระแสไฟฟ้าค่าแรงดันระหว่างเดรนกับซอร์สจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว (dv/dt มีค่าสูง) กระแสส่วนหนึ่งจะไหลผ่านค่าความจุที่ต่ออยู่ระหว่างคอลเล็กเตอร์และเบสของทรานซิสเตอร์ Q_x ค่ากระแสนี้ ($i_c = cdv/dt$ จะทำให้เกิดแรงดันที่ความต้านทานของเบสและอิมิตเตอร์ของ Q_x ซึ่งแรงดันนี้อาจทำให้เกิดการลัดวงจรขึ้นได้จุดนี้ต้องได้รับการป้องกันไม่ให้แรงดันระหว่างเดรนและซอร์สเพิ่มขึ้นสูงเกินกว่าพิกัดแรงดันของมอสเฟต



ภาพที่ 2.13 วงจรสมมูลของมอสเฟต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.3 แรงดันสไปต์

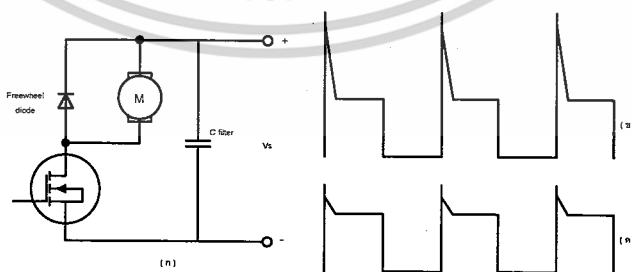


ภาพที่ 2.14 การป้องกันแรงดันสไปต์คร่อม เกต-ซอร์ส

แรงดันสไปต์ (Spike Voltage) ที่เกิดขึ้นส่วนมากจะเกิดมาจากการควายพลังงานของค่าความเหนี่ยวนำที่แฝงอยู่ในระบบแรงดันสไปต์ที่ทำให้มอสเฟตเสียหายอย่างถาวร คือ แรงดันสไปต์คร่อม เกต-ซอร์ส และแรงดันสไปต์คร่อมเดรน-ซอร์ส

แรงดันสไปต์ เกต-ซอร์ส สามารถป้องกันได้โดยใช้ซีเนอร์ไดโอดมาต่อคร่อมเกตซอร์ส ดังภาพที่ 2.14

แรงดันสไปต์คร่อม เกต-ซอร์ส เป็นส่วนที่รุนแรงที่สุด เพราะโหนดเป็นมอเตออร์ นั่นคือเป็นพวกค่าความเหนี่ยวนำในเวลาที่มอสเฟตตัดต่อทำงานจากต่อมาเป็นตัด ทำให้แรงดันตกคร่อมขั้วของมอสเฟตเพิ่มจากศูนย์ (หรือเกือบศูนย์) ไปเป็นแรงดันระดับไฟเลี้ยงในทันที (จากภาพที่ 2.15 ก) แม้ว่าแรงดันไฟเลี้ยงจะมีค่าต่ำกว่าอัตราทอนแรงดันมอสเฟตก็ตาม แต่ด้วยแรงดันที่เกิดจากการเหนี่ยวนำของขดลวดทำให้แรงดันตกคร่อมมอสเฟตสูงขึ้นอย่างมากเป็นแรงดันสไปต์ ถ้ามอสเฟตทำงานตัดต่อเร็วเท่าใด แรงดันนี้ก็ยิ่งสูงขึ้นเท่านั้นวิธีแก้ปัญหานี้โดยทั่วไปจะใช้ฟิรลวีลไดโอด (Freewheel diode) ต่อคร่อมโหนด และไดโอดนี้จะต้องมีคุณสมบัติของการรีคัพเวอรี่ (Recovery) ที่ดีพอ นั่นคือเป็นไดโอดประเภทฟาสต์รีคัพเวอรี่ (Fast recovery) แต่การใช้ไดโอดอาจแก้แรงดันส่วนนี้ได้ไม่ดีพอ จึงต้องมีคาปาซิเตอร์ (Capacitor) ต่อคร่อม แหล่งจ่ายไฟอีกส่วนหนึ่ง



ภาพที่ 2.15 ก. การป้องกันแรงดันสไปต์คร่อม เดรน-ซอร์ส

ข. ไม่ได้ต่อคาปาซิเตอร์

ค. เมื่อต่อคาปาซิเตอร์และไดโอด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.4 ข้อดีของการใช้มอสเฟต

1. ความเร็ว

มอสเฟตมีความสามารถในการสวิตช์ด้วยความเร็วโดยปราศจากการสะสมประจุอย่างไบโพลาร์ทรานซิสเตอร์ดังนั้นจึงไม่คิดช่วงเวลาสะสมจึงทำให้มอสเฟตมีความเร็วกว่าทรานซิสเตอร์ในการสวิตช์ซึ่งความเร็วของมอสเฟตขึ้นอยู่กับการอัดและคายประจุของตัวเก็บประจุภายใน

2. อินพุต

ขาเกตของมอสเฟตนั้นถูกแยก (Isolate) จากแหล่งจ่ายด้วยชั้นออกไซด์ที่ทำให้เกิดความต้านทานกระแสตรงสูงมากมอสเฟตสามารถถูกไบอัสด้วยแรงดัน ประมาณ 10 Volt ด้วยค่าแรงดันขนาดนี้จึงสามารถทำการขับมอสเฟตได้ด้วย IC, TTL, CMOS ได้โดยตรงทำให้ลดความยุ่งยากของวงจร

3. ย่านความปลอดภัย

ของเขตย่านปลอดภัยของมอสเฟตได้ถูกกำหนดด้วยพิกัดกระแสสูงสุดแรงดันเบรกดาวน์ขอบเขตของย่านความปลอดภัยจะกว้างเนื่องจากไม่เกิดการเบรกดาวน์ทางด้าน (Breakdown Secondary) ซึ่งบางที่อาจจะไม่จำเป็นต้องใช้วงจรสนับเบอร์ก็ได้

4. อุณหภูมิ

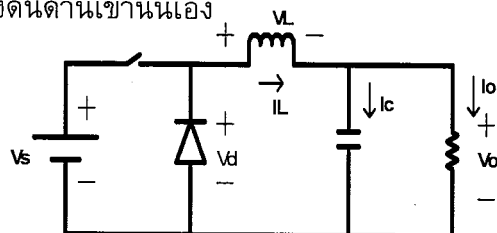
สัมประสิทธิ์ทางอุณหภูมิของมอสเฟตมีค่าตรงข้ามกับทรานซิสเตอร์ กล่าวคือเมื่ออุณหภูมิ ในตัวมอสเฟตสูงขึ้นกระแสเดรนจะมีค่าน้อยลง ดังนั้นการทำงานของมอสเฟตจึงไม่มีเหตุเกิดขึ้นเนื่องจากการเพิ่มหนีของอุณหภูมิ

5. แรงดัน

แรงดันต่ำสุดของมอสเฟตกำลังหาได้จากความต้านทานของอุปกรณ์ R_{DS} สำหรับอุปกรณ์แรงดันต่ำค่าของ R_{DS} จะต้องมีค่าต่ำสุดสำหรับแรงดันสูงค่า R_{DS} ต้องมีค่าสูงขึ้นเนื่องจากสัมประสิทธิ์อุณหภูมิของ R_{DS} เป็นบวกเพิ่มกำลังได้

2.3 วงจรบ็ีกคอนเวอร์เตอร์ (Buck converter)

วงจรทอนระดับหรือวงจรบ็ีกคอนเวอร์เตอร์ คือวงจรที่ทำการลดระดับแรงดันไฟฟ้าทางด้าออกให้ต่ำกว่าแรงดันไฟฟ้าด้านเข้า ที่เรียกววงจรบ็ีกคอนเวอร์เตอร์ (Buck Converter) ก็เพราะด้าออกต่ำกว่าแรงดันด้านเข้านั่นเอง



ภาพที่ 2.16 วงจรบ็ีกคอนเวอร์เตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำงานของวงจรจะแบ่งการทำงานออกเป็น 2 ส่วน โดยแบ่งตามการทำงานของมอสเฟตโดยแบ่งได้ดังนี้

กรณีสวิตช์ปิด (มอสเฟตนำกระแส)

เมื่อมอสเฟตนำกระแสทำให้ไดโอดได้รับการรีเวอร์สไบอัส จากกฎของเคอร์ชอฟท์สามารถเขียนสมการได้ดังนี้

$$V_L = V_i - V_o \quad (2.7)$$

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{V_i - V_o}{L} \quad (2.8)$$

$$(\Delta i_L)_{closed} = \frac{(V_i - V_o)DT}{L} \quad (2.9)$$

กรณีสวิตช์เปิด (มอสเฟตหยุดนำกระแส)

เมื่อมอสเฟตหยุดนำกระแส กระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ (i_2) ไม่สามารถเปลี่ยนทิศการไหลอย่างทันทีทันใดได้ ดังนั้นไดโอดจึงได้รับ Forward Bias จึงทำให้

$$V_L = -V_i \quad (2.10)$$

$$V_L = -V_o = \frac{L di_L}{dt} \quad (2.11)$$

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{\Delta i_{L,open}}{\Delta T} = \frac{V_o}{L} \quad (2.12)$$

$$\Delta i_{L(open)} = -\left(\frac{V_o}{L}\right)(1-D)T \quad (2.13)$$

ในการทำงานที่สภาวะคงตัว กระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำมีค่าเป็นศูนย์ ดังนั้น จากสมการ (2.9) กับ (2.13)

$$(\Delta i_L)_{closed} + \Delta i_{L(open)} = 0 \quad (2.14)$$

$$\frac{(V_i - V_o)DT}{L} - \left(\frac{V_o}{L}\right)(1-D)T = 0 \quad (2.15)$$

$$(V_i - V_o)D - V_o(1-D) = 0 \quad (2.16)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\frac{V_o}{V_i} = D \quad (2.17)$$

การหาค่าตัวเหนี่ยวนำที่เล็กที่สุดของวงจรบีกคอนเวอร์เตอร์

$$I_L = I_0 = \frac{V_o}{R} \quad (2.18)$$

$$I_{\max} = I_L + \frac{\Delta I_L}{2} = \frac{V_o}{R} + \frac{(1-D)V_o}{2Lf} \quad (2.19)$$

$$I_{\min} = I_L - \frac{\Delta I_L}{2} = \frac{V_o}{R} - \frac{(1-D)V_o}{2Lf} \quad (2.20)$$

ค่าตัวเหนี่ยวนำที่น้อยที่สุดและความถี่ของการสวิตช์สำหรับโหมดกระแสต่อเนื่องของวงจรบีกคอนเวอร์เตอร์

$$(LF)_{\min} = \frac{(1-D)R}{2} \quad (2.21)$$

$$L_{\min} = \frac{(1-D)R}{2f} \quad (2.22)$$

หาค่ากระแสคลื่นแรงดันไฟฟ้าต้านออกของวงจรบีกคอนเวอร์เตอร์

$$|\Delta Q| = \frac{T\Delta i_L}{8} \quad (2.23)$$

$$\Delta V_o = \frac{T\Delta i_L}{8C} \quad (2.24)$$

$$\Delta i_{L(open)} = \left(\frac{V_o}{L}\right)(1-D)T \quad (2.25)$$

$$\frac{\Delta V_o}{V_o} = \frac{1-D}{8LCf^2} \quad (2.26)$$

2.4 TL-494

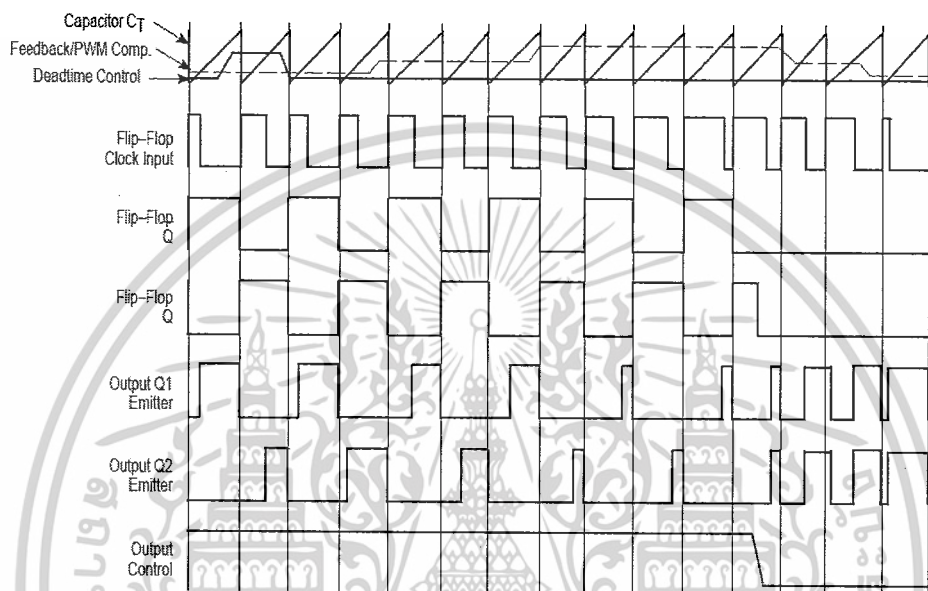
เป็นอุปกรณ์ Switch mode Pulse Width Modulation Control Circuits ใช้ในการออกแบบขับ Switching Mode Power ด้านขาออก สามารถกำหนดความถี่ของ สัญญาณ Pulse ได้ โดยการปรับค่าของ R_T และ C_T จากสมการ

$$f_{osc} = \frac{1.1}{R_T \cdot C_T} \quad (2.27)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และสามารถปรับค่าการ On Duty มากน้อยโดยขึ้นอยู่กับ แรงดันไฟฟ้าที่นำไปตัดผ่าน Saw tooth โดยใช้หลักการของ PWM ภายในของ TL 494 นั้นมี Flip Flop อยู่ 1 ตัว และมี $V_{Re\ ferrent}$ จำนวน 1 ตัว คือ ขา 14 สามารถนำแรงดันออกไปเปรียบเทียบกับได้ 5 V DC โดยการทำงานของ TL 494 ดังภาพที่ 2.17

โดย Saw tooth ลูกคลื่นจะอยู่ในทิศทางบวก และนอกจากนั้นยังมีอุปกรณ์ NOR Gates ซึ่งเอาไว้อับ Output ของ Transistor Q1 และ Q2 ซึ่งจะมีทิศทางเป็นบวกเสมอ



ภาพที่ 2.17 แสดงแบบการทำงานของ TL-494

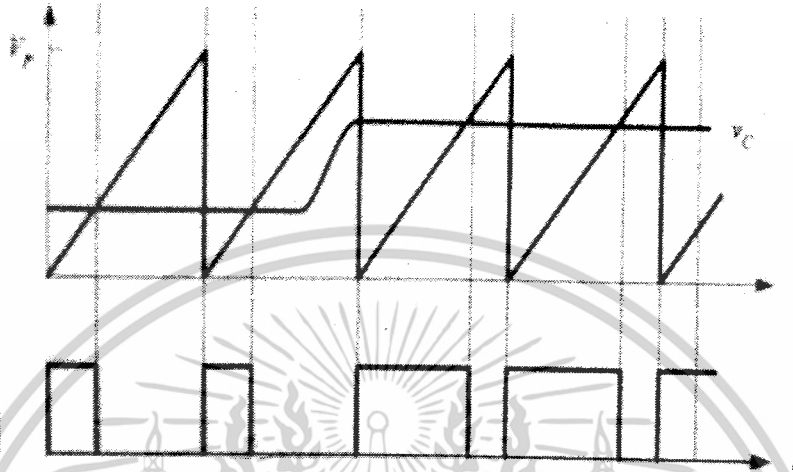
2.5 ฟังก์ชันถ่ายโอนของ PWM

หน้าที่ของวงจร Pulse width modulation (PWM) ก็คือทำการเปลี่ยนค่าแรงดันไฟฟ้า ด้านออกของวงจรขยายความคลาดเคลื่อนที่ถูกชดเชย (วงจรขยายความผิดพลาดที่ได้ชดเชย แล้ว) ให้กลายเป็นค่าตัวชี้เข้เคล็ดเพื่อไปขับขาเกตของสวิตซ์ แรงดันไฟฟ้าด้านออกของวงจร (V_c) จะถูกนำไปเปรียบเทียบกับสัญญาณรูปคลื่นฟันเลื่อย (Saw tooth waveform) ที่มีขนาด เท่ากับ V_p ดังแสดงในภาพที่ 2.18 แรงดันไฟฟ้าด้านออกมีวงจร PWM เมื่อแรงดันไฟฟ้า V_c มีค่ามากกว่าแรงดันไฟฟ้าของสัญญาณรูปคลื่นฟันเลื่อย และจะมีค่าเท่ากับศูนย์เมื่อแรงดันไฟฟ้า V_c มีค่าน้อยกว่าแรงดันไฟฟ้าของสัญญาณรูปคลื่นฟันเลื่อย

ในกรณีที่แรงดันไฟฟ้าด้านออกของวงจรคอนเวอร์เตอร์ มีค่าลดต่ำกว่าแรงดันไฟฟ้าอ้างอิง แรงดันไฟฟ้าคลาดเคลื่อนที่ฟ้าจากการเปรียบเทียบระหว่างแรงดันไฟฟ้าทั้งสองค่าจะมีค่า เพิ่มขึ้น เป็นผลทำให้แรงดันไฟฟ้า V_c มีค่าเพิ่มขึ้นทำให้ได้ค่าตัวชี้เข้เคล็ดมีค่าเพิ่มขึ้น และด้วยค่า Duty cycle ที่เพิ่มขึ้นจะส่งผลทำให้ค่าแรงดันไฟฟ้าด้านขาออกของวงจรคอนเวอร์เตอร์มีค่า เพิ่มขึ้น จนกระทั่งได้ค่าแรงดันคลาดเคลื่อนเท่ากับที่ออกแบบและในทำนองกลับกัน กรณีที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แรงดันไฟฟ้าต้านออกของวงจรคอนเวอร์เตอร์มีค่าเพิ่มขึ้น จะเป็นผลทำให้ค่าตัวชี้โวลเทจเคิลจะมีค่าลดลง สำหรับฟังก์ชันถ่ายโอนของวงจร PWM จะหาได้จากความสัมพันธ์เชิงเส้น (linear relation) ดังนี้



ภาพที่ 2.18 กระบวนการ PWM จะมีค่าแรงดันต้านออกก็ต่อเมื่อ แรงดัน V_c ที่ออกจากวงจร ความคลาดเคลื่อนที่ถูกชดเชยมีค่าสูงกว่าค่าของสัญญาณรูปสามเหลี่ยม

$$d = \frac{V_c}{V_p} \quad (2.29)$$

ฟังก์ชันโอนของวงจร PWM จะเท่ากับ

$$\frac{d(s)}{V_s(s)} = \frac{1}{V_p} \quad (2.30)$$

2.6 วงจรขยายความผิดพลาดที่มีการชดเชย (Error Amplifier with Compensation)

วงจรขยายความผิดพลาดที่มีการชดเชย หรือ (Error amplifier with compensation) ที่ต้องการความจะมีคุณลักษณะดังนี้

1. ควรจะมีวงจรมินทิเกรต (Integrator) เพื่อให้อัตราขยายที่ความถี่ต่ำมีค่าสูง ควรจะมีซีโรสองตัวที่ความถี่ต่ำกว่าจุดตัดเปลี่ยนความถี่ f เพื่อชดเชยเฟสที่มีค่าล้าหลังมากเกินไปเนื่องจากผลของวงจรมินทิเกรตและคู่โพลเชิงซ้อน (Complex pole pair) ของวงจรคอนเวอร์เตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ควรจะมีโพลสองตัวที่ความถี่สูง เพื่อให้ให้ขนาดของวงรอบอัตราขยาย (Loop Gain) มีค่าลดลงอย่างต่อเนื่องเมื่อความถี่มีค่าสูงกว่า f และลดผลของสัญญาณรบกวนความถี่สวิตชิง (Switching frequency noise)

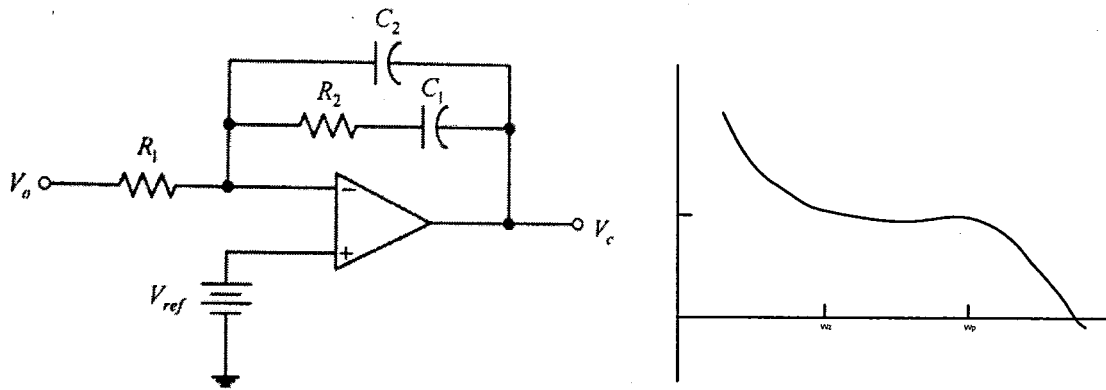
โดยวงจร Error amplifier จะทำการเปรียบเทียบแรงดันไฟฟ้าด้านออกของคอนเวอร์เตอร์กับแรงดันไฟฟ้าอ้างอิงผลลัพธ์ที่ได้คือผลต่างระหว่างแรงดันไฟฟ้าทั้งสองค่า ซึ่งนิยามว่าหมายถึง ค่าแรงดันไฟฟ้าคลาดเคลื่อน ซึ่งจะนำไปใช้ในการปรับเปลี่ยนดิวิตีไซเคิลในการควบคุมการทำงานของสวิตช์ นอกจากนี้ การรวมวงจร Compensated ร่วมกับวงจร Error Amplifier จะมีผลทำให้ระบบมีเสถียรภาพ สำหรับฟังก์ชันถ่ายโอนสัญญาณขนาดเล็ก (กำหนดให้องค์ประกอบไฟฟ้ากระแสเท่ากับศูนย์) ของวงจร Amplifier จะหาได้จากอิมพีแดนซ์ด้านเข้า Z_i และอิมพีแดนซ์ป้อนกลับ (Feedback impedance) Z_f อย่างไรก็ตามสำหรับวงจรขยายความผิดพลาดที่ได้ชดเชยแล้วที่นิยมใช้สำหรับวงจรถักจะได้แก่ วงจร Type 2 วงจรขยายความผิดพลาดที่ได้ชดเชยแล้ว ซึ่งสามารถค่า

$$Z_i = R_1 \quad (2.31)$$

$$Z_f = \left(R_2 + \frac{1}{sC_1} \right) // \frac{1}{sC_2} \quad (2.32)$$

จะได้ค่าฟังก์ชันถ่ายโอนเท่ากับ

$$\frac{v_c(s)}{v_o(s)} = \frac{Z_f}{Z_i} = \frac{\left(R_2 + \frac{1}{sC_1} \right) \frac{1}{sC_2}}{R_1 \left(R_2 + \frac{1}{sC_1} + \frac{1}{sC_2} \right)} \quad (2.33)$$



(ก) Type2 วงจรขยายความผิดพลาดที่ได้ชดเชยแล้ว (ข) ผลตอบสนองเชิงความถี่

ภาพที่ 2.19 (ก) Type 2 วงจรขยายความผิดพลาดที่ได้ชดเชยแล้ว

(ข) ผลตอบสนองเชิงความถี่จุดเทอมใหม่โดยกำหนดให้ $C_2 \ll C_1$

$$\frac{\overline{V_c}(s)}{V_c(s)} = \frac{s + \frac{1}{R_2 C_2}}{s R_1 C_2 \left(s + \frac{C_1 + C_2}{R_2 C_1 C_2} \right)} \approx \frac{s + \frac{1}{R_2 C_1}}{s R_1 C_2 \left(s + \frac{1}{R_2 C_2} \right)} \quad (2.33)$$

ค่าโพล(Pole) และซีโร (Zero) ของฟังก์ชันถ่ายโอนในสมการที่ (2.41) จะมีค่าเท่ากับ

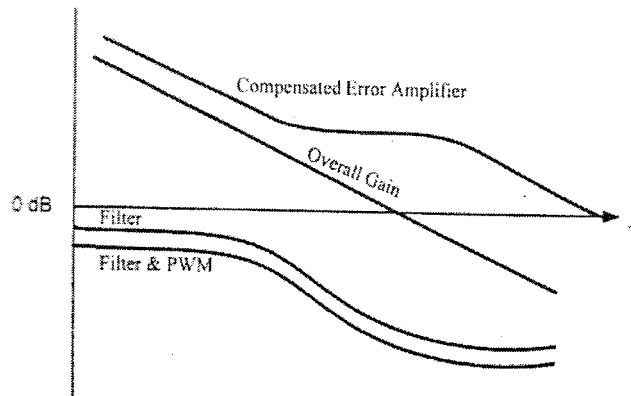
$$\omega_s = \frac{1}{R_2 C_1} \quad (2.34)$$

$$\omega_p = \frac{C_1 + C_2}{R_2 C_1 C_2} \approx \frac{1}{R_2 C_2} \quad (2.35)$$

ภาพที่ 2.19 (ข) แสดงผลตอบสนองเชิงความถี่ (Frequency response) ของวงจรวางขยายความผิดพลาดที่ได้ชดเชยแล้ว ผลตอบสนองความถี่รวมของระบบที่ต้องการ (Overall control system) จะสามารถกำหนดได้ด้วยการเลือกค่าพารามิเตอร์ R_1, R_2, C_1 และ C_2 ให้เหมาะสม

ภาพที่ 2.20 ตัวอย่างผลรวมผลตอบสนองความถี่ของฟังก์ชันถ่ายโอนของวงจจาก PWM สวิตช์และวงจรงัดดันออก สำหรับวงจรฟอร์เวิร์ดคอนเวอร์เตอร์ โดยผลกระทบที่เกิดจากตัวต้านทานแฝงในตัวเก็บประจุ (ESR) จะทำให้เกิดจุดซีโรที่ความถี่ ($\omega = 1/r_c C$) นอกจากนี้ในการหาผลตอบสนองเชิงความถี่จะสามารถหาได้ด้วยการใช้โปรแกรม Pspice หรืออาจจะหาได้จากการคำนวณด้วยการแทนค่า $s = j\omega$ ในฟังก์ชันถ่ายโอนที่ต้องการทราบผลตอบสนองเชิงความถี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.20 ผลตอบสนองเชิงความถี่ของฟังก์ชันถ่ายโอนของวงจรวควบคุม

2.7 การประมวลผลสัญญาณ

การประมวลผลสัญญาณจะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ที่ประมวลผลโดยสัญญาณดิจิทัล ซึ่งมีให้เลือกหลายชนิด เช่น DSP(TI) dsPIC(MICROCHIP)

dsPIC คือ ชื่อของไมโครคอนโทรลเลอร์ 16 บิตจาก Microchip Technology inc. ผู้ผลิตไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC ซึ่งรู้จักกันเป็นอย่างดีในแวดวงนักพัฒนาระบบไมโครคอนโทรลเลอร์ โดย Microchip Technology ได้กำหนดชื่ออย่างเป็นทางการสำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์อนุกรมใหม่นี้ว่า Digital Signal Controller หรือ DSC นั้นหมายความว่า dsPIC เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ได้รับการออกแบบมาเป็นพิเศษเพื่องานประมวลผลสัญญาณดิจิทัลสำหรับสร้างระบบควบคุมอัตโนมัติที่มีความสามารถสูง

2.7.1 คุณสมบัติเด่นโดยรวมของ dsPIC

1. คุณสมบัติของซีพียู

- เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้ซีพียูแบบ RISC
- ความเร็วในการทำงานสูงถึง 30 ล้านคำสั่งต่อวินาที
- มี 84 คำสั่งภาษาแอสเซมบลีมาตรฐาน รองรับรูปแบบการอ้างแอดเดรสได้

อย่างอิสระ

-ชุดคำสั่งมีขนาด 24 บิต สามารถประมวลผลข้อมูลได้ 16 บิต

-มีหน่วยความจำโปรแกรมเป็นแบบแฟลช สามารถลบและเขียนใหม่ได้ไม่น้อยกว่า 100,000 ครั้ง สามารถป้องกันการอ่านได้ และสามารถโปรแกรมตัวเอง โดยใช้กระบวนการทางซอฟต์แวร์

-มีหน่วยความจำข้อมูลอีอีพรอมที่สามารถลบและเขียนใหม่ได้ไม่น้อยกว่า 1,000,000 ครั้ง

-มีอินเตอร์รัปต์เวกเตอร์จำนวนมาก จึงรองรับการตอบสนองสัญญาณอินเตอร์รัปต์ได้ดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- มีวงจรตรวจจับแรงดันไฟเลี้ยงต่ำกว่ากำหนดแบบโปรแกรมได้
- มีเพาเวอร์-อนรีเซต, เพาเวอร์-อัปเดตไทมเมอร์ และออสซิลเลเตอร์สตาร์ท-อัปเดตไทมเมอร์
- มีวอตช์ด็อกไทมเมอร์แบบโปรแกรมได้
- มีวงจรตรวจสอบการทำงานของวงจรถ้าเกิดสัญญาณนาฬิกา
- รองรับการโปรแกรมในวงจรแบบอนุกรม (ICSP : In-Circuit Serial Programming)

-สามารถเลือกโหมดการใช้พลังงานได้

2. คุณสมบัติด้านการประมวลสัญญาณดิจิทัล

-มีแอกคิวมูลเตอร์ขนาด 40 บิต 2 ตัว รองรับการประมวลผลทางคณิตศาสตร์ได้เป็นอย่างดี

-มีหน่วยประมวลผลด้านการคูณและหารเลข 17 บิตในรูปของฮาร์ดแวร์จึงทำให้สามารถคูณและหารเลขได้อย่างรวดเร็ว

-ทำการคูณเลข 16 บิตได้ภายในสัญญาณนาฬิกาเพียง 1 ไซเคิล

- มีตัวเลื่อนข้อมูลบิต 40 สเตจ ช่วยให้การประมวลผลข้อมูลที่จำนวนบิตมากมาย สามารถทำได้อย่างรวดเร็ว

- มีวงจรเพดซ์ข้อมูลคู่ จึงทำให้สามารถประมวลผลข้อมูลได้อย่างรวดเร็ว

3. คุณสมบัติของโมดูลฟังก์ชันพิเศษ

- สามารถจ่ายกระแสออกทางขาพอร์ตได้ 25 mA ทั้งแบบกระแสซิงก์และซอร์ส

- ไทมเมอร์/เคาน์เตอร์มีขนาด 16 บิต ไม่น้อยกว่า 3 ตัว ต่อใช้งานร่วมกันเป็นไทมเมอร์ 32 บิตได้

- มีโมดูลตรวจจับและเปรียบเทียบสัญญาณดิจิทัล

- มีส่วนเชื่อมต่ออุปกรณ์อนุกรมทั้งแบบ SPI และผ่านระบบบัส I2C

- มีโมดูลสื่อสารข้อมูลอนุกรม UART พร้อมบัฟเฟอร์แบบ FIFO

- มีวงจรแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิทัล ความละเอียด 10 หรือ 12 บิต*

- มีโมดูลสร้างสัญญาณ PWM สำหรับการควบคุมมอเตอร์*

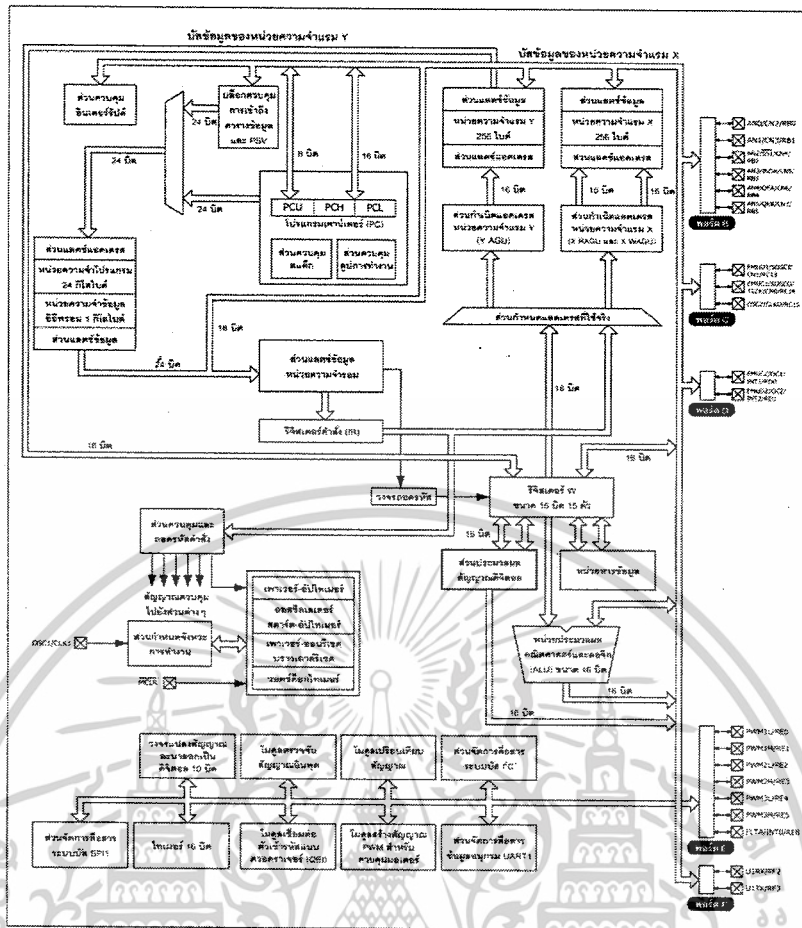
- มีโมดูลเชื่อมต่อตัวเข้ารหัสแบบควอดตราเจอร์*

* เป็นคุณสมบัติที่มีในบางเบอร์

2.7.2 แนะนำ dsPIC30F2010

สำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC ที่นำมาใช้ในการเรียนรู้และทดลองของโปรเจกต์นี้คือเบอร์ dsPIC30F2010 ซึ่งมีขาต่อใช้งาน 28 ขา ในภาพที่ 2.25 แสดงไดอะแกรมการทำงานและส่วนประกอบทั้งหมดของ dsPIC30F2010 และการจัดขา สำหรับหน้าที่ของแต่ละขาได้อธิบายโดยสรุปไว้ในตาราง คุณสมบัติทางเทคนิคของ dsPIC30F2010 มีดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.21 ไดอะแกรมการทำงานและส่วนประกอบทั้งหมดของ dsPIC30F2010 [2]

28-Pin SDIP and SOIC

MCLR	1	28	AVDD
EMUD3/AN0/REF+/CN2/RB0	2	27	AVSS
EMUC3/AN1/REF-/CN3/RB1	3	26	PWM1/URE0
AN2/SST/LVDIN/CN4/RB2	4	25	PWM1H/RE1
AN3/INDX/CN5/RB3	5	24	PWM2/URE2
AN4/QEA/IC7/CN6/RB4	6	23	PWM2H/RE3
AN5/QEB/IC8/CN7/RB5	7	22	PWM3/URE4
VSS	8	21	PWM3H/RE5
OSC1/CLKI	9	20	VDD
OSC2/CLKO/RC15	10	19	VSS
EMUD1/SOSC/T2CK/U1ATX/CN1/RC13	11	18	PGC/EMUC/U1RX/SD1/SDA/RF2
EMUC1/SOSCO/T1CK/U1ARX/CN0/RC14	12	17	PGD/EMUC/U1TX/SD01/SCL/RF3
VDD	13	16	FLT#/INT0/SCK1/OCFA/RE8
EMUD2/OC2/IC2/INT2/RD1	14	15	EMUC2/OC1/IC1/INT1/RD0

ภาพที่ 2.22 การจัดขาใช้งานของไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F2010 [2]

1. คุณสมบัติของซีพียู

- มี 84 คำสั่งมาตรฐาน สามารถรองรับรูปแบบการอ้างแอดเดรสได้อย่างอิสระ
- ชุดคำสั่งมีขนาด 24 บิต สามารถประมวลผลข้อมูลได้ 16 บิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- มีหน่วยความจำโปรแกรมแบบแฟลช ความจุ 12 กิโลไบต์ ลบและเขียนใหม่ได้ไม่น้อยกว่า 100,000 ครั้ง สามารถป้องกันการอ่านได้
 - สามารถโปรแกรมหน่วยความจำโปรแกรมได้ด้วยตัวเอง โดยใช้กระบวนการทางซอฟต์แวร์
 - มีหน่วยความจำข้อมูลอีอีพรอม 1 กิโลไบต์ ลบและเขียนใหม่ได้ไม่น้อยกว่า 1,000,000 ครั้ง
 - มีหน่วยความจำข้อมูลแรม 512 ไบต์
 - รีจิสเตอร์ W จัดในรูปของอะเรย์ มีขนาด 16 บิต จำนวน 16 ตัว
 - ความเร็วในการทำงานสูงถึง 30 ล้านคำสั่งต่อวินาที
 - ความถี่สัญญาณนาฬิกาจากภายนอก ตั้งแต่ย่านไฟตรงจนถึง 40 MHz
 - ความถี่สัญญาณนาฬิกาในกรณีใช้งานร่วมกับวงจรเฟสล็อกภายใน ตั้งแต่ 4 MHz ถึง 10 MHz เลือกได้ 3 ระดับ คือ 4, 8 หรือ 16 เท่า
 - รองรับแหล่งกำเนิดสัญญาณอินเตอร์รัปต์ได้สูงสุด 62 แหล่ง รวมทั้งการอินเตอร์รัปต์จากภายนอก 3 แหล่ง
 - สามารถกำหนดระดับความสำคัญในการตอบสนองอินเตอร์รัปต์ได้ 8 ระดับ
 - มีอินเตอร์รัปต์เวกเตอร์ 48 ตำแหน่ง
 - มีวงจรตรวจจับแรงดันไฟเลี้ยงต่ำกว่ากำหนดแบบโปรแกรมได้
 - มีเพาเวอร์-อนรีเซต, เพาเวอร์-อัปไทมเมอร์ และออสซิลเลเตอร์สตาร์ท-อัปไทมเมอร์
 - มีวอตช์ด็อกไทมเมอร์แบบโปรแกรมได้
 - มีวงจรตรวจสอบการทำงานของวงจรมกำเนิดสัญญาณนาฬิกา หากผิดพลาดจะเข้าสู่โหมดสัญญาณนาฬิกา RC พลังงานต่ำทันที
 - รองรับการโปรแกรมในวงจรแบบอนุกรม (ICSP : In-Circuit Serial Programming)
 - สามารถเลือกโหมดการใช้พลังงานได้
 - ย่านไฟเลี้ยง 2.5 ถึง 5.5V กระแสไฟฟ้า 2.6 ถึง 44mA ที่ไฟเลี้ยง +5V ขึ้นอยู่กับการกำหนดความเร็วในการทำงาน
2. คุณสมบัติด้านการประมวลสัญญาณดิจิทัล
- มีแอดคิวิตูเลเตอร์ขนาด 40 บิต 2 ตัว รองรับการประมวลทางคณิตศาสตร์ดีเป็นอย่างดี
 - มีหน่วยประมวลผลด้านการคูณและการหารเลข 17 บิตในรูปของฮาร์ดแวร์ จึงทำให้สามารถทำการคูณและหารเลขได้อย่างรวดเร็ว
 - ทำการคูณเลข 16 บิตได้ภายในสัญญาณนาฬิกาเพียง 1 ไชเกิล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- มีตัวเลื่อนข้อมูลบาร์เรล 40 สเตจ ช่วยให้ประมวลผลข้อมูลที่จำนวนบิตมากๆ ทำได้รวดเร็ว
- มีวงจรเฟตช์ข้อมูลคู่ จึงทำให้สามารถประมวลผลข้อมูลได้อย่างรวดเร็ว

3. คุณสมบัติของไมโครพังก์ชันพิเศษ

- สามารถจ่ายกระแสออกทางขาพอร์ตได้ 25 mA ทั้งแบบกระแสซิงก์และซอร์ส
- ไทเมอร์/เคาน์เตอร์ 16 บิต 3 ตัว สามารถต่อใช้งานร่วมกันเป็นไทเมอร์/เคาน์เตอร์ 32 บิตได้

- มีไมโครตรวจจับสัญญาณดิจิตอลขนาด 16 บิต 4 ชุด
- มีไมโครเปรียบเทียบข้อมูลและกำเนิดสัญญาณ PWM ความละเอียด 16 บิต 2 ชุด
 - ในการเปรียบเทียบข้อมูลสามารถเลือกการทำงานได้ 2 โหมด
- มีส่วนเชื่อมต่ออุปกรณ์อนุกรมแบบSPI
- มีส่วนเชื่อมต่ออุปกรณ์ผ่านระบบบัส I2C ทั้งแบบ 7 และ 10 บิต กำหนดเป็นมาสเตอร์หรือสลาฟได้
- มีไมโครสื่อสารข้อมูลอนุกรม UART พร้อมบัฟเฟอร์แบบ FIFO
- มีไมโครสร้างสัญญาณ PWM สำหรับควบคุมมอเตอร์ 6 ช่อง
 - เลือกรูปแบบเอาต์พุตได้ทั้งแบบคอมพลีเมนต์และแบบอิสระ
 - มีโหมดปรับตำแหน่งการหมุนทั้งแบบปรับขอบสัญญาณและแบบกึ่งกลาง
 - มีส่วนกำเนิดดีวีดีไซเกิล 4 ชุด
 - กำหนดฐานเวลาได้ 4 โหมด
 - สามารถเลือกขั้วของสัญญาณทางเอาต์พุตได้
 - มีสัญญาณกระตุ้นเพื่อให้ทำงานสัมพันธ์กับวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอลภายในไมโครคอนโทรลเลอร์
 - สามารถควบคุมสัญญาณเอาต์พุตได้
- มีไมโครเชื่อมต่อตัวเข้ารหัสแบบควอดราเจอร์
 - มีอินพุต Phase A, Phase B และรับสัญญาณพัลส์เพื่อกำหนดตำแหน่ง
 - มีตัวนับตำแหน่งขนาด 16 บิต นับได้ทั้งขึ้นและลง
 - แสดงสถานะของทิศทางการนับได้
 - กำหนดโหมดของการวัดตำแหน่งได้ 2 โหมดคือ x2 และx4
 - มีวงจรกรองสัญญาณรบกวนแบบดิจิตอลจากอินพุตแบบโปรแกรมได้
 - สำหรับกำหนดให้ทำงานเป็นไทเมอร์/เคาน์เตอร์ขนาด 16 บิตได้
 - กำเนิดสัญญาณอินเทอร์รัปต์จากตำแหน่งที่นับเกิน (rollover) หรือนับขาด (underflow)
- มีวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล ความละเอียด 10 บิต 6 ช่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- อัตราการสุ่มและแปลงสัญญาณ 500 กิโลแซมเปิลต่อวินาที
- สามารถแปลงสัญญาณเมื่อไมโครคอนโทรลเลอร์ทำงานในโหมดสลีปและโอเดิล ได้

2.7.3 สถาปัตยกรรมโดยสรุปของ dsPIC30F2010

1. หน่วยประมวลผลกลาง

หน่วยประมวลผลของ dsPIC30F2010 ใช้คำสั่งที่ความยาว 1 เวิร์ด ขนาด 24 บิต โดยมีโปรแกรมเคาน์เตอร์ขนาด 23 บิต (จริงๆ แล้วโดยโครงสร้างมี 24 บิต แต่ไม่สนใจบิต MSB ซึ่งก็คือบิต 23 และบิต LSB หรือบิต 0 กำหนดเป็น "0" จึงทำให้สามารถติดต่อหน่วยความจำโปรแกรมได้สูงสุด 4 เมกะเวิร์ด) เพื่อแจ้งแอดเดรสของหน่วยความจำโปรแกรมที่เข้าไปประมวลผล dsPIC30F2010 มีความจุของหน่วยความจำโปรแกรม 12 กิโลไบต์ เมื่อคำสั่งมีความยาว 24 บิต จึงบรรจุคำสั่งได้จริง 4 กิโลเวิร์ด

รีจิสเตอร์หลักที่ใช้ในการทำงานคือ รีจิสเตอร์ W (Working register) สำหรับใน dsPIC จะแตกต่างจากไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC อย่างมากโดยรีจิสเตอร์ W ได้รับการจัดโครงสร้างเป็นอาร์เรย์ขนาด 16 บิต จึงทำให้สามารถรองรับทั้งข้อมูล, ค่าแอดเดรส หรือค่าของรีจิสเตอร์ใดๆ ที่ต้องนำมาประมวลผลโดยใน dsPIC มีรีจิสเตอร์ W ให้ใช้งานถึง 16 ตัว ส่วนใหญ่ใช้ในการประมวลผลหลัก ส่วนอีกตัวหนึ่งก็คือ รีจิสเตอร์ W15 จะใช้ทำงานร่วมกับตัวชี้สแต็กในการทำงานของโปรแกรมย่อยและบริการอินเตอร์รัปต์

ด้านการตอบสนองอินเตอร์รัปต์นั้น dsPIC30F2010 มีการจัดสรรพื้นที่เก็บค่าอินเตอร์รัปต์เวกเตอร์ไว้มากถึง 54 ตำแหน่ง และยังสามารถกำหนดระดับความสำคัญได้อีก 8 ระดับ อีกด้วย

2. หน่วยความจำ

dsPIC30F2010 มีหน่วยความจำโปรแกรม 4 กิโลเวิร์ด แอดเดรสอยู่ในช่วง 0x000100 ถึง 0x001FFE สามารถโปรแกรมหรือเขียนข้อมูลลงไปได้ 2 วิธี คือ

1. โดยใช้การโปรแกรมในวงจรแบบอนุกรมหรือ ICSP ผ่านทางขา PGD และ PGC (ขาที่ 17 และ 18) แล้วป้อนสัญญาณพัลส์แรงดันสูงสำหรับโปรแกรมผ่านเข้ามาทางขา MCLR
2. โปรแกรมตัวเองในขณะที่ทำงานหรือ RTSP (Run Time Self-Programming)

ส่วนหน่วยความจำข้อมูลแรมนั้น dsPIC30F2010 ได้จัดสรรเป็น 2 ส่วนคือ หน่วยความจำข้อมูลแรม X และ Y แต่ละส่วนมีขนาด 16 บิต ความจุ 256 ไบต์ รวมเป็น 512 ไบต์ โดยในแต่ละส่วนจะมีตัวกำหนดแอดเดรสแยกออกจากกัน เรียกว่า AGU (Address Generation Unit)

ในขณะที่หน่วยความจำข้อมูลออีพรอม dsPIC30F2010 จัดสรรไว้ที่แอดเดรส 0x7FFC00 ถึง 0x7FFFE มีความจุ 1 กิโลไบต์

3. ส่วนประมวลผลสัญญาณดิจิทัล (DSP Engine)

นับเป็นส่วนประกอบที่สำคัญอย่างยิ่งของ dsPIC เนื่องจาก dsPIC ได้รับการออกแบบมาให้ทำงานในด้านการประมวลผลสัญญาณดิจิทัลเป็นหลัก ดังนั้นจึงต้องมีการเพิ่มความสามารถในหน่วยคำนวณทางคณิตศาสตร์และลอจิกอย่างมาก โดยในส่วนประมวลผลสัญญาณดิจิทัลมีหน่วยจัดการคุณเลขขนาด 17x17 บิตความเร็วสูง, หน่วยประมวลผลทางคณิตศาสตร์และลอจิกหรือ ALU ขนาด 40 บิต อีก 2 ตัว และตัวเลื่อนข้อมูล 2 ทิศทางแบบบาเรล (barrel shifter) ขนาด 40 บิต จึงทำให้สามารถจัดการข้อมูลขนาด 16 บิต ได้เสร็จสิ้นภายในสัญญาณนาฬิกาเพียงไซเคิลเดียว

4. โมดูลฟังก์ชันพิเศษ

dsPIC30F2010 ได้รวมเอาโมดูลสำหรับทำงานเฉพาะทางไว้อย่างมากมาย ไม่ว่าจะเป็นโมดูลแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิทัล ความละเอียด 10 บิต, โมดูลเชื่อมต่ออุปกรณ์อนุกรมหรือ SPI, โมดูลสื่อสารข้อมูลบนระบบบัส I2C, โมดูลสื่อสารข้อมูลผ่านพอร์ตอนุกรมหรือ UART, ไทเมอร์ขนาด 16 บิตถึง 3 ตัว และที่เป็นพิเศษอีก 2 โมดูลคือ โมดูลสร้างสัญญาณ PWM เพื่อการควบคุมมอเตอร์และโมดูลเข้ารหัสแบบควอดราเจอร์ โดยสามารถใช้งานร่วมกันเพื่อสร้างระบบควบคุมมอเตอร์แบบปิดประสิทธิภาพสูง

5. พอร์ตอินพุตเอาต์พุต

dsPIC30F2010 มีพอร์ตให้ใช้งานมากถึง 5 พอร์ต รวม 40 ขา ดังนี้

พอร์ต B มี 9 ขา คือ RB0-RB8

พอร์ต C มี 2 ขา คือ RC13-RC14

พอร์ต D มี 3 ขา คือ RD0-RD3

พอร์ต E มี 7 ขา คือ RE0-RE5, RE8

พอร์ต F มี 7 ขา คือ RF0-RF6

2.7.4 โครงสร้างทางโปรแกรมที่ควรทราบ

ในภาพที่ 2.30 แสดงโครงสร้างทางโปรแกรมหรือ Programmer's model ของ dsPIC ที่นักพัฒนาต้องทราบ ซึ่งประกอบไปด้วย

- (ก) รีจิสเตอร์ W ขนาด 16 บิตมากถึง 16 ตัว โดยตัวที่ใช้งานเป็นหลักคือ W0 ส่วนตัวที่ถูกนำไปใช้ในส่วนประมวลผลสัญญาณดิจิทัลมี 10 ตัว คือ W4-W13 ส่วน W14 ถูกนำไปใช้ร่วมเป็นตัวชี้เฟรม และ W15 ถูกนำไปใช้ร่วมเป็นตัวชี้สแต็ก
- (ข) แอควิวมูลเตอร์ 40 บิต จำนวน 2 ตัว ใช้ในงานประมวลผลสัญญาณดิจิทัลเป็นหลัก
- (ค) โปรแกรมเคาน์เตอร์ ขนาด 24 บิต นำมาใช้ในการแจ้งแอดเดรส 24 บิต โดยไม่สนใจบิต MSB และบิต LSB ต้องเป็น "0"
- (ง) รีจิสเตอร์หลัก อันประกอบไปด้วย

STATUS ซึ่งใช้แสดงสถานการณ์ทำงาน มีขนาด 16 บิต

CORCON ใช้ควบคุมการทำงานของหน่วยประมวลผลกลาง มีขนาด 16 บิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TBLPAG เป็นรีจิสเตอร์กำหนดเพจของตารางข้อมูลในหน่วยความจำโปรแกรม มีขนาด 8 บิต

PAVPAG เป็นรีจิสเตอร์แสดงแอดเดรสของพื้นที่โปรแกรม มีขนาด 8 บิต

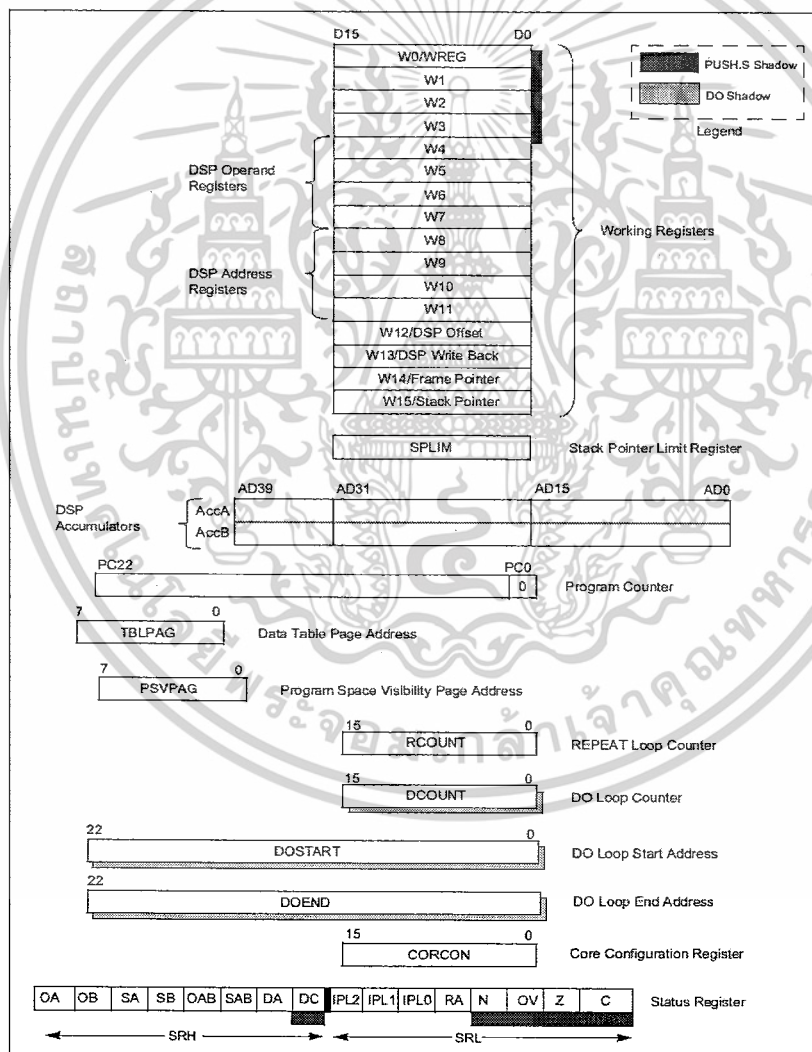
RCOUNT เป็นรีจิสเตอร์เก็บค่าตัวนับจำนวนรอบของลูปที่ทำซ้ำ

DCOUNT เป็นรีจิสเตอร์เก็บค่าตัวนับจำนวนรอบของลูปที่ทำงาน

DOSTART เป็นรีจิสเตอร์กำหนดแอดเดรสเริ่มต้นทำงานของโปรแกรมลูป

DOEND เป็นรีจิสเตอร์กำหนดแอดเดรสปลายทางที่ต้องการทำโปรแกรมลูป

สำหรับรีจิสเตอร์ DCOUNT, DOSTART และ DOEND เป็นรีจิสเตอร์เงา (shadow register) หมายความว่า เป็นรีจิสเตอร์ที่ถูกสร้างขึ้นชั่วคราวเพื่อเก็บค่าก่อนที่จะมีการถ่ายทอดออกไปทำงาน จึงไม่สามารถเข้าถึงรีจิสเตอร์เหล่านี้ได้โดยตรง



ภาพที่ 2.23 โครงสร้างทางโปรแกรม (Program's model)ของไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC [2]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. สแต็กพอยน์เตอร์และเฟรมพอยน์เตอร์ทางซอฟต์แวร์

ใน dsPIC ได้บรรจุสแต็กทางซอฟต์แวร์ขึ้นมา โดยใช้รีจิสเตอร์ W15 เป็นตัวชี้ตำแหน่งของสแต็กหรือสแต็กพอยน์เตอร์ (software stack pointer) ซึ่งค่าของ W15 จะเปลี่ยนแปลงอัตโนมัติตามการกระโดดไปทำงานหรือออกจากโปรแกรมย่อย อย่างไรก็ตาม ก็ยังสามารถใช้งาน W15 เหมือนกับรีจิสเตอร์ W ตัวหนึ่งได้ด้วย แต่ถ้าไม่จำเป็นจริงๆ แนะนำให้สงวนรีจิสเตอร์ W15 นี้ไว้เพื่อทำหน้าที่เป็นตัวชี้สแต็กหรือสแต็กพอยน์เตอร์จะเหมาะสมกว่า

W15 จะมีค่าเท่ากับ 0x0800 หลังจากการรีเซ็ต ผู้พัฒนาสามารถกำหนดค่าใหม่ได้ตามต้องการภายในขอบเขตของหน่วยความจำข้อมูล

นอกจากนั้นใน dsPIC ยังมีตัวชี้กรอบหรือขอบเขตของสแต็กหรือเรียกว่า เฟรมพอยน์เตอร์ (software frame pointer) ด้วย โดยใช้รีจิสเตอร์ W14 ทำหน้าที่นี้ โดยการกำหนดค่าของ W14 สามารถกระทำผ่านคำสั่ง LNK และ ULNK (คำสั่งภาษาแอสเซมบลี) เช่นเดียวกันก็ยังสามารถใช้งาน W14 นี้ไว้เพื่อทำหน้าที่เป็นเฟรมพอยน์เตอร์จะเหมาะสมกว่า

2. รีจิสเตอร์ STATUS

ใน dsPIC รีจิสเตอร์ตัวนี้มีความสำคัญมาก เพราะใช้ในการแสดงสถานะการทำงานของซีพียู โดยรีจิสเตอร์ STATUS (SR) มีขนาด 16 บิต แบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ SRH (บิต 8 ถึง 15) และ SRL (บิต 0 ถึง 7)

โดยใน SRH บรรจุสถานะการนับวงและลบค่าของข้อมูลในส่วนประมวลผลสัญญาณดิจิทัลเป็นหลักที่ 6 บิตบน ส่วนบิต DA ใช้แสดงสถานะการทำงานของกระบวนการวนทำงานหรือทำลูป (DO loop active) สุดท้ายเป็นบิตเฟล็กแสดงการทดข้ามหลักหรือ Digit Carry (DC)

ส่วน SRL บรรจุสถานะการทำงาน of หน่วยประมวลผลทางคณิตศาสตร์และลอจิกหรือ ALU โดยแสดงในรูปของแฟล็ก (flag) ที่บิต C (เกิดการทด), Z (ค่าเป็นศูนย์), OV (ค่าเกิน), N (เกิดค่าลบ) นอกจากนี้ยังเก็บค่าของการจัดลำดับความสำคัญของการตอบสนองอินเทอร์รัปต์ไว้ที่บิต IPL0-IPL2 สุดท้ายมีบิตแสดงสถานะการทำงาน of กระบวนการ REPEAT ซึ่งแสดงที่บิต RA

3. CORCON รีจิสเตอร์ควบคุมการทำงานของหน่วยประมวลผลกลาง

เป็นรีจิสเตอร์ขนาด 16 บิตที่บรรจุบิตที่ควบคุมการทำงานของหน่วยประมวลผลสัญญาณดิจิทัลและส่วนทำงานโปรแกรมลูปทางฮาร์ดแวร์ นอกจากนี้ยังบรรจุบิตข้อมูลที่ทำงานร่วมกับการอินเทอร์รัปต์

4. รีจิสเตอร์ควบคุมเพิ่มเติมที่เกี่ยวข้องกับการทำงานของหน่วยประมวลผลกลางของ dsPIC

ประกอบด้วย

(1) MODCON (Modulo Control Register) : เป็นรีจิสเตอร์ที่ใช้เอ็นเอเบิลและกำหนดการเข้าถึงหน่วยความจำข้อมูลแบบโมดูล (modulo)

(2) XMODSRT และ XMODEND (X Modulo Start Address Register และ X Modulo End Address Register) : เป็นรีจิสเตอร์ใช้เก็บค่าแอดเดรสตั้งต้น (XMODSRT) และปลายทาง (XMODEND) ของหน่วยความจำข้อมูล Y ที่ใช้การเข้าถึงแบบโมดูล

(3) YMODSRT และ YMODEND (Y Modulo Start Address Register และ Y Modulo End Address Register) : เป็นรีจิสเตอร์ที่ใช้เก็บค่าแอดเดรสตั้งต้น (YMODSRT) และปลายทาง (YMODEND) ของหน่วยความจำข้อมูล Y ที่ใช้การเข้าถึงแบบโมดูล

(4) XBREV (X Modulo Bit-Reverse Register) : เป็นรีจิสเตอร์ที่ใช้กำหนดขนาดของบัพเฟอร์หรือหน่วยความจำข้อมูลชั่วคราวเพื่อใช้ในการเข้าถึงหน่วยความจำข้อมูลแบบกลับบิต

(5) DISICNT (Disable Interrupts Count Register) : เป็นรีจิสเตอร์ที่ถูกใช้ในการทำงานของคำสั่ง DISI เพื่อติสเอเบิลการอินเตอร์รัปต์ที่มีระดับความสำคัญในระดับ 1 ถึง 6

2.7.5 JX-dsPIC40

40-pin dsPIC microcontroller Project board

บอร์ดพัฒนาโครงการสำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC รุ่น 40 ขา

1. คุณสมบัติทางเทคนิค

- ใช้ได้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC ตัวถึง DIP 40 ขา บนบอร์ดใช้เบอร์ dsPIC30F2010 สัญญาณาฬิกา

- ทำการใช้โปรแกรมและดีบั๊กได้ด้วย ICDX-30 หรือ ICD2 ของ Microchip (จัดซื้อแยก)

- เลือกโหมดการโปรแกรมและรันด้วยสวิทช์กดเพียงตัวเดียว พร้อมไฟแสดงสถานะ

- มีจุดต่อขาพอร์ตสำหรับทดลองและใช้งาน 5 พอร์ตคือ

RB0-RB8 9 ขา

RC13-RC14 2 ขา

RD0-RD3 4 ขา

RE0-RE5,RE8 7 ขา

RF0-RF6 7 ขา

- มีภาคจ่ายไฟ +5V 800 mA บนบอร์ด -มีสวิทช์ RESET สำหรับรีเซตการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์

- จุดต่อโมดูล LCD โดยต่อขา D4-D7 กับพอร์ต RD0-RD3, ขา RS ต่อกับพอร์ต RF และขา E ต่อกับพอร์ต RF1

- วงจรเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ผ่านพอร์ตอนุกรม RS-232 จำนวน 2 ชุด

UART1 ต่อกับพอร์ต RC13และRC14 เลือกด้วยจัมป์เปอร์

UART2 ต่อกับพอร์ต RF4และRF5 เลือกด้วยจัมป์เปอร์

- LED แสดงผลพร้อมตัวต้านทานจำกัดกระแส ทำงานที่ลอจิก "1" 4 ช่อง - ลำโพงเปียโซ

- สวิทช์กดติดปล่อยดับ 4 ช่อง พร้อมตัวต้านทานพูลอัป

- เทอร์มินอลบล็อก 4 ช่องสำหรับต่อกับโมดูล QEI (Quadrature Encoder Input)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- วงจรจ่ายแรงดัน 0-5V สำหรับทดลอง A/D ผ่านตัวต้านทานปรับค่าได้
- พื้นที่สำหรับสร้างวงจรหรือ Proto area 3X2.5 นิ้ว จุดบัดกรี 170 จุด สามารถติดตั้งแผงต่อวงจรขนาดกลางได้

- ใช้ไฟเลี้ยงจากภายนอกผ่านแจ๊คอะแดปเตอร์หรือเทอร์มินอลบล็อก +9V ถึง +16V

2.ICDX-30 บอร์ดดีบั๊กเกอร์และโปรแกรมเมอร์ในวงจรสำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC และ dsPIC มีคุณสมบัติทางเทคนิคมีดังนี้

- เชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ทางพอร์ตอนุกรม RS-232
- ดีบั๊กเพื่อตรวจสอบการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC แบบเฟลช และ dsPIC ได้
- ใช้เป็นเครื่องโปรแกรมไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC แบบเฟลช และ dsPIC ได้
- ใช้งานร่วมกับ MPLAB IDE V6.2 ขึ้นไป
- มีฟังก์ชันทั้งหมดที่ต้องใช้ในการดีบั๊ก ไม่ว่าจะเป็นการกำหนดจุดหยุดการตรวจสอบหรือ break point, การรันโปรแกรมแบบ Single step หรือแบบเต็ม พร้อมทั้งแสดงผลการทำงานด้วย
 - สามารถอัปเดตเพื่อเพิ่มเบอร์ของไมโครคอนโทรลเลอร์ได้ด้วยตนเองผ่านทางคอมพิวเตอร์
 - มีLED แสดงผลการทำงาน POWER (แสดงการจ่ายไฟเลี้ยง) BUSY (แจ้งความพร้อมในการทำงาน) และ ERROR (แจ้งสถานะความผิดพลาด)
 - สามารถอ่านและเขียนข้อมูลในหน่วยความจำข้อมูลอีอีพรอมภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ได้
 - สามารถโปรแกรมบิตกำหนดการทำงานทางฮาร์ดแวร์หรือ configuration bit ได้
 - ใช้ไฟเลี้ยงจากภายนอก +9 ถึง +16V
 - ใช้แจ๊คแบบโมดูลาร์ 6 ขา (modular jack) สำหรับต่อสายสัญญาณเพื่อติดต่อกับบอร์ดเป้าหมาย (target board) โดยมีการจัดขาตรงกับแจ๊ค ICD ของ ICD2 ของ Microchip
 - ใช้งานได้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC แบบเฟลช (อนุกรม PIC12F/16F/18F) และ dsPIC ทุกเบอร์ที่รองรับการดีบั๊กในวงจรและการโปรแกรมแบบ ICSP และสามารถเพิ่มเติมได้ในอนาคต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุป

ทฤษฎีที่ใช้ในการออกแบบนั้นต้องใช้ความรู้หลายด้านนำมาประกอบกันเพื่อทำให้เกิดความเข้าใจที่ถูกต้องที่จะนำมาประกอบในการวิจัยซึ่งองค์ความรู้ต่างๆเหล่านี้ เราจะสามารถที่จะสืบค้นข้อมูลได้จากหนังสือและปริยญาธิพันธ์ต่างๆ และอีกส่วนหนึ่งก็คือการสืบค้นข้อมูลทางอินเทอร์เน็ต ข้อมูลเหล่านี้จะเป็นพื้นฐานในการดำเนินการเพื่อใช้ในการปฏิบัติงานนั้นมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นโดยจะส่งผลต่อความเข้าใจในเรื่องที่ทำอยู่

ในบทนี้ได้กล่าวถึง ทฤษฎีต่างๆด้วยกันหลายส่วนได้แก่ เซลล์เชื้อเพลิง มอสเฟตกำลัง ฟังก์ชันถ่ายโอน PWM ซึ่งข้อมูลเหล่านี้เป็นส่วนสำคัญในการออกแบบโปรแกรม



บทที่ 3

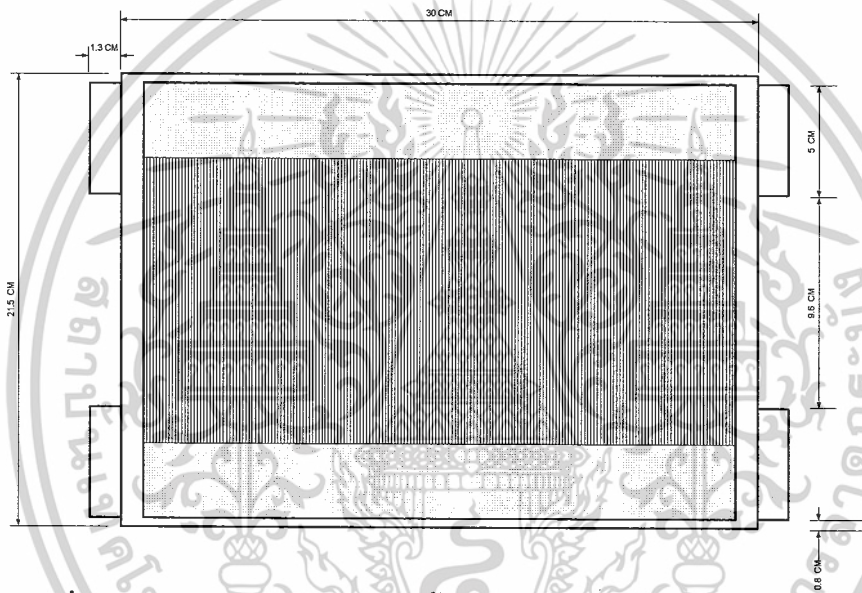
การออกแบบและสร้าง

การออกแบบและสร้างมี 2 ส่วนด้วยกัน

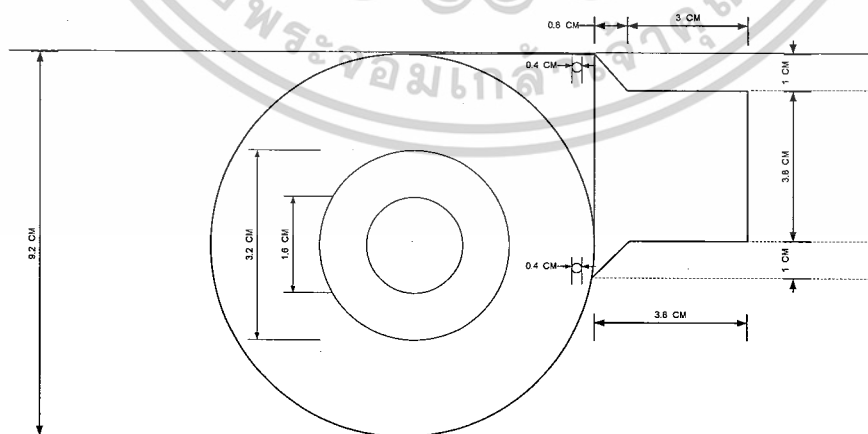
1. ออกแบบและสร้างกล่องใส่ชิ้นงาน
2. ออกแบบวงจรในการควบคุมของเซลล์เชื้อเพลิง ชนิด PEM

3.1 ออกแบบและสร้างกล่องใส่ชิ้นงาน

3.1.1 ขนาดของอุปกรณ์ต่างๆ

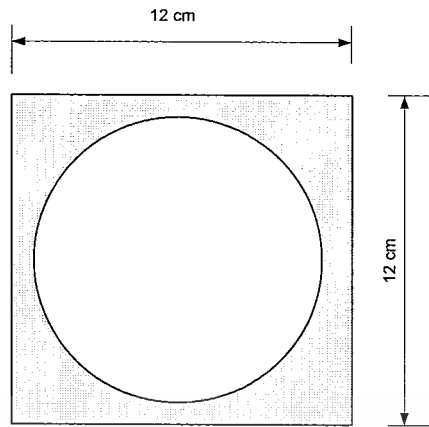


ภาพที่ 3.1 แสดงขนาดของตัวเซลล์เชื้อเพลิง ชนิด PEM 1kW 48 V 60 ells

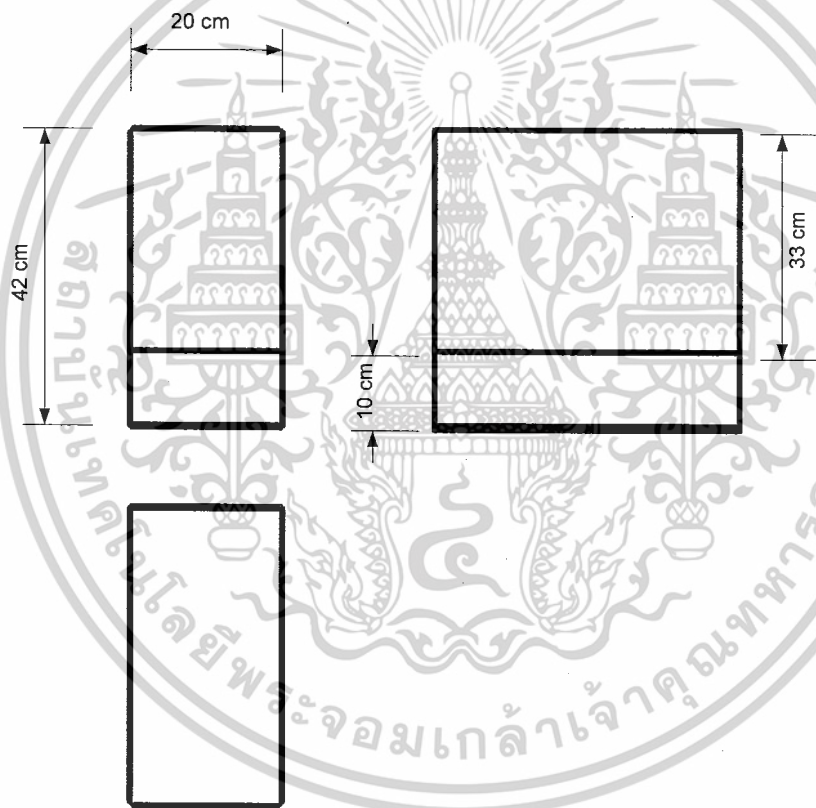


ภาพที่ 3.2 แสดงขนาดของพัดลมดูดอากาศ 12 VDC ความเร็วรอบสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.3 แสดงขนาดของพัดลมระบายอากาศ 12 VDC ความเร็วรอบสูง



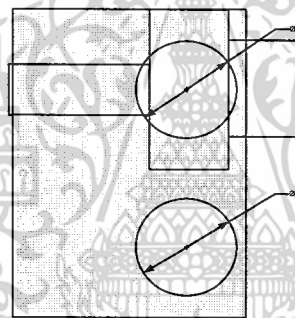
ภาพที่ 3.4 แสดงขนาดของกล่องอครีลิคใส่ชิ้นงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

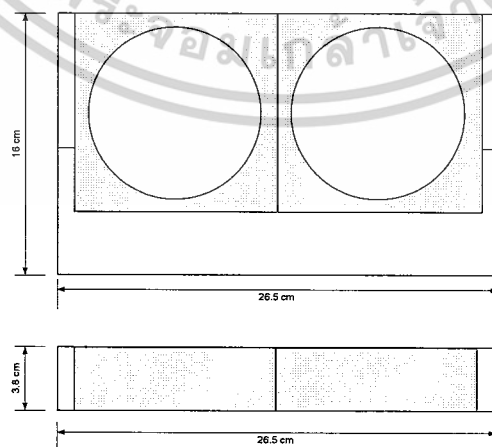
3.1.2 ออกแบบโครงสร้างตัวยึดอุปกรณ์ต่างๆ



ภาพที่ 3.5 แสดงการออกแบบโครงสร้างตัวยึดตัวเซลล์เชื้อเพลิง



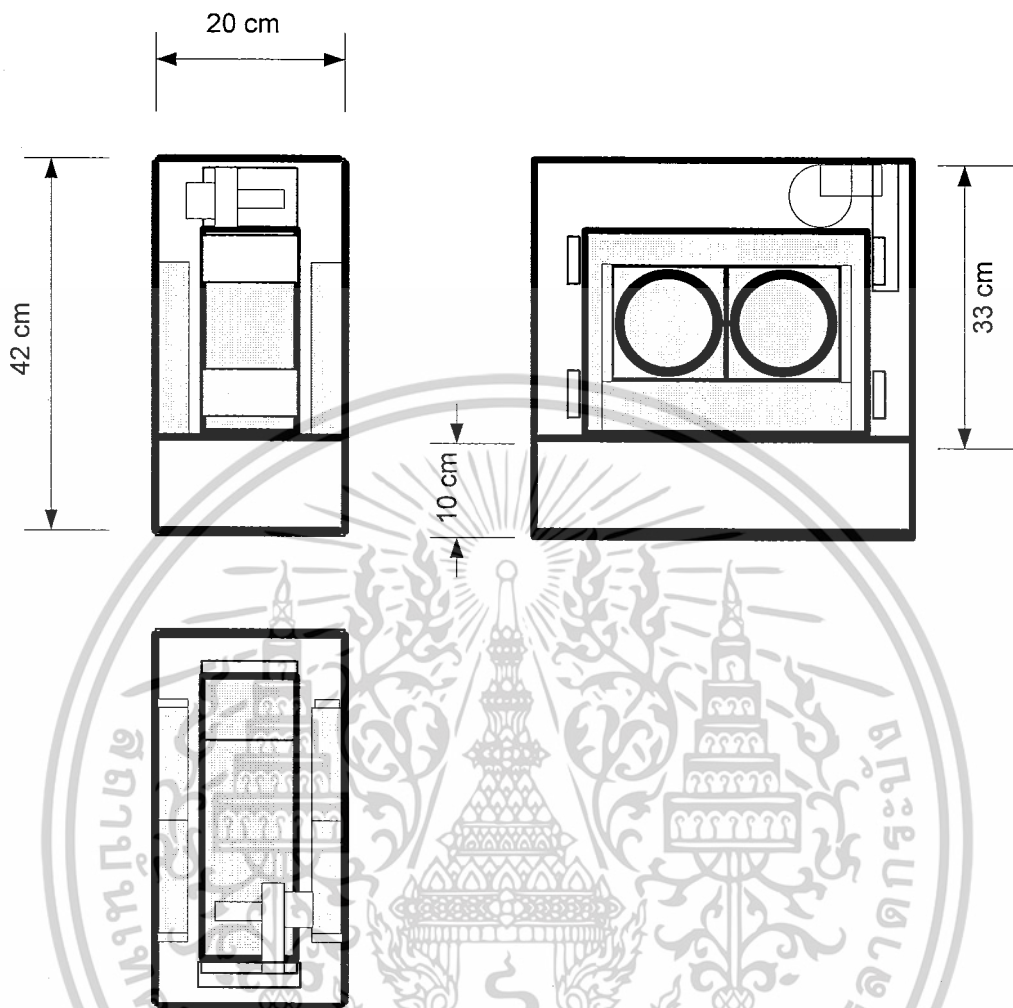
ภาพที่ 3.6 แสดงการออกแบบโครงสร้างตัวยึดพัดลมดูดอากาศ



ภาพที่ 3.7 แสดงการออกแบบโครงสร้างตัวยึดพัดลมระบายอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.3 การประกอบตัวยัดอุปกรณ์ต่างๆเข้ากับกล่องใส่ชิ้นงาน



ภาพที่ 3.8 แสดงชิ้นงานเมื่อประกอบอุปกรณ์ต่างๆเข้าด้วยกัน

สรุปการออกแบบและสร้างกล่องใส่ชิ้นงาน

การออกแบบและสร้างกล่องใส่ชิ้นงานรวมถึงการออกแบบโครงสร้างของตัวยัดอุปกรณ์ต่างๆ มีความสำคัญมากเนื่องจากการทดสอบเกี่ยวกับเซลล์เชื้อเพลิงชนิด PEM นั้น เราให้ความสำคัญเกี่ยวกับเรื่องความปลอดภัยของตัวเซลล์เชื้อเพลิงเป็นหลัก เพราะฉะนั้นเราจึงทำการออกแบบระบบระบายความร้อนให้กับตัวเซลล์เชื้อเพลิงและโครงสร้างของตัวยัดอุปกรณ์ต่างๆ รวมทั้งออกแบบโครงสร้างของตัวยัดตัวเซลล์เชื้อเพลิงให้มีความมั่นคงและแข็งแรง เพื่อให้มีความคงทน และปลอดภัยในการนำไปใช้งานต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 ออกแบบวงจรในการควบคุมของเซลล์เชื้อเพลิง ชนิด PEM

3.2.1 การออกแบบวงจรควบคุม Buck converter โดยใช้ TL494

3.2.1.1 สิ่งที่สำคัญในการออกแบบวงจรควบคุมกระแสและแรงดัน

คือ อุปกรณ์ในการขับ Switching หรือ อุปกรณ์ Switch โดยทั่วไปแล้ว การเลือกใช้ อุปกรณ์ ทุกชนิดที่จะนำมาใช้ในวงจรมีความสำคัญมาก เนื่องจากอุปกรณ์ทุกชนิดมีผลต่อการ ควบคุม กระแสและแรงดันแทบทั้งสิ้น

การออกแบบอุปกรณ์ที่ใช้ในการขับเกดมีให้เราเลือกใช้หลายชนิดหลายแบบ เช่น การใช้ Microcontroller การใช้ IC ที่มีคุณสมบัติในการขับขาเกดต่างๆ ในการออกแบบวงจร Voltage Current Control นี้ใช้ IC เบอร์ TL 494 เนื่องจาก IC TL 494 มีคุณสมบัติสามารถที่จะ เปรียบเทียบค่าสัญญาณของแรงดันได้ 2 ชุด โดยมีแรงดันในการเปรียบเทียบหรือ V_{REF} ที่ขา 14 มีแรงดัน +5 V แล้วเมื่อมีการนำแรงดันต่างๆ มาเปรียบเทียบก็จำเป็นที่จะต้องใช้ Voltage Divider ในการลดระดับแรงดันที่จะนำมาใช้ในการเปรียบเทียบ

การกำหนดความถี่ของ TL 494 ก็สามารถที่จะหาค่าได้ 2 ลักษณะ คือ จากการคำนวณ และจากกราฟ

1. การหาค่าความถี่ของ TL 494 จากการคำนวณโดยใช้สมการ

$$f_{osc} = \frac{1.1}{RT \cdot CT}$$

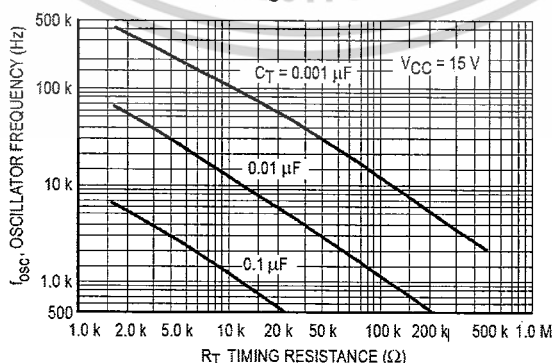
RT = ค่าความต้านทานที่อยู่ที่ขา RT ของ TL 494 เพื่อสร้างความถี่ Oscillator

CT = ค่าของ Capacitor แบบ ไม่มีขั้วใช้เพื่อการสร้างความถี่ Oscillator

F_{osc} = ความถี่ Oscillator ที่จะนำไปใช้สร้างสัญญาณต่างๆ

2. การหาค่าความถี่ของ TL 494 โดยใช้กราฟในการหาสามารถหาได้สะดวกและรวดเร็ว ยิ่งขึ้น

Figure 3. Oscillator Frequency versus Timing Resistance



ภาพที่ 3.9 กราฟหาความถี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2 การออกแบบวงจร Buck Converter เพื่อเป็นแหล่งจ่ายของระบบควบคุม

หลักการการทำงานของ Buck Converter เพื่อที่จะออกแบบให้ได้แรงดันไฟฟ้าด้านออกตามที่ต้องการ เงื่อนไขที่สำคัญสำหรับการทำงานในโหมดกระแสต่อเนื่องคือกระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำจะต้องเป็นบวกเสมอ สามารถนำมาใช้ในการหาค่าความเหนี่ยวนำและความถี่สวิตชิ่งในขั้นต้นได้ สิ่งที่น่าสนใจอย่างหนึ่งคือวงจร Buck Converter สามารถทำหน้าที่เหมือนหม้อแปลง เราจึงทำการออกแบบวงจร Buck Converter เพื่อเป็นแหล่งจ่ายของระบบควบคุมการคำนวณหาค่าต่าง ๆ ดังนี้

กำหนดให้ $V_i = 48 \text{ V}$, $V_o = 12$, $R = 0.8$, $f = 20 \text{ kHz}$

หา Duty ratio

$$\frac{V_o}{V_s} = D$$

$$\frac{12\text{V}}{48\text{V}} = D$$

$$D = 0.4$$

หาตัวเหนี่ยวนำที่มีขนาดเล็กที่สุดของวงจรบักคอนเวอร์เตอร์ที่โหมดการทำงานกระแส

$$L_{min} = \frac{(1-D)R}{2f}$$

$$L_{min} = \frac{(1-0.4) \times 1.7}{(2 \times 20 \times 10^3)}$$

$$L_{min} = 12 \mu\text{H}$$

หาตัวเก็บประจุที่ทำให้อัตราระลอกคลื่นเท่ากับ 1 %

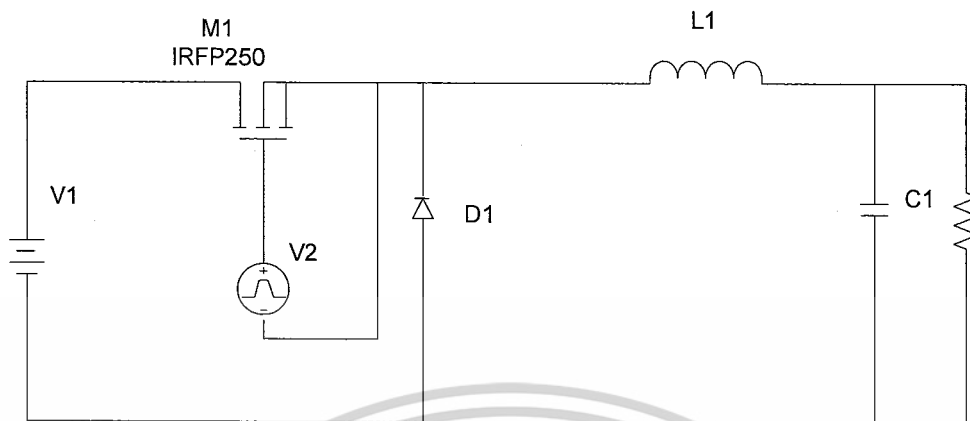
$$\frac{\Delta V_o}{V_o} = \frac{1-D}{8LCf^2}$$

$$C = \frac{1-0.4}{(8 \times 36 \times 10^{-6} \times 20000^2 \times 0.01)}$$

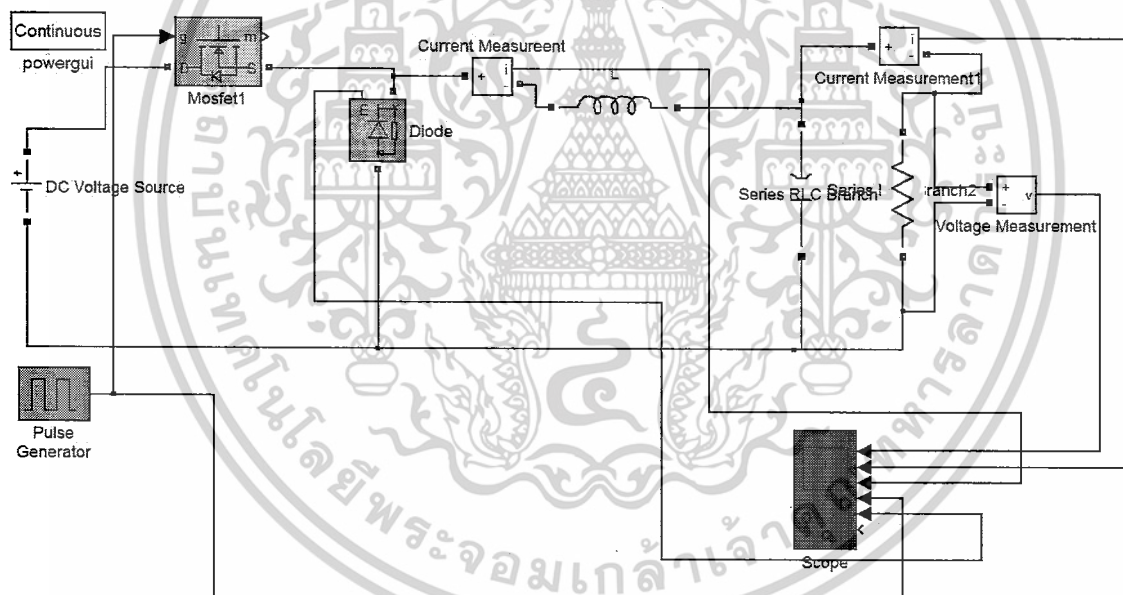
$$C = 1562.5 \mu\text{F}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรกำลัง

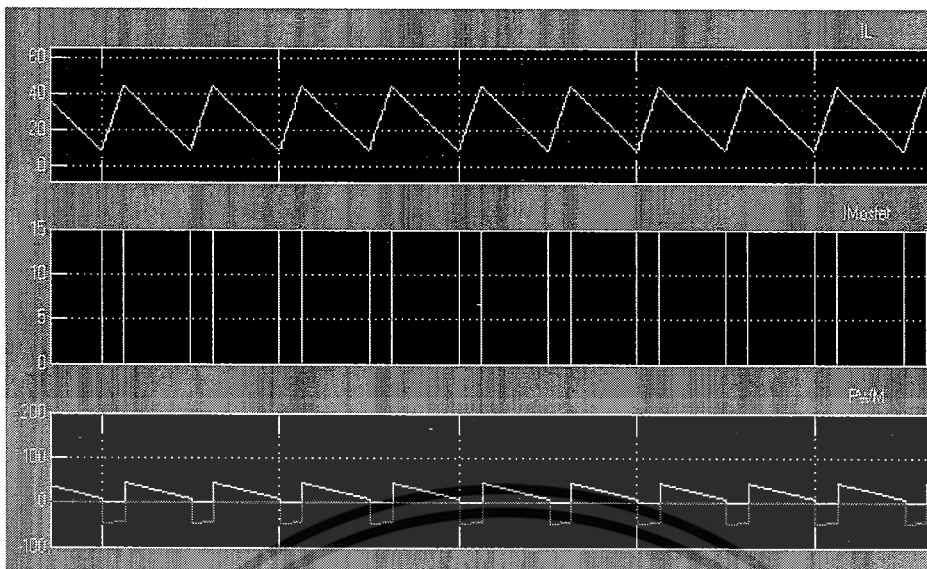


ภาพที่ 3.10 วงจร Buck Converter

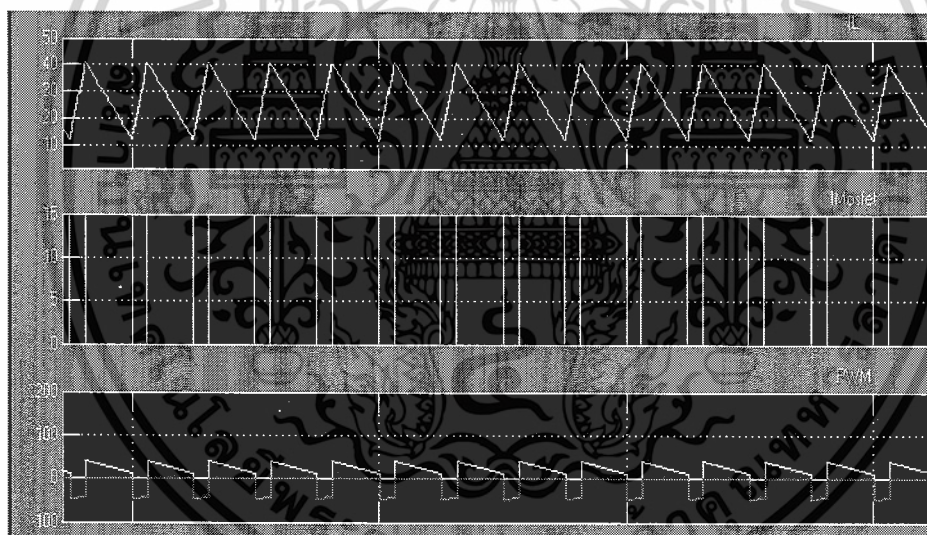


ภาพที่ 3.11 วงจร Simulation DC-DC Buck Converter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

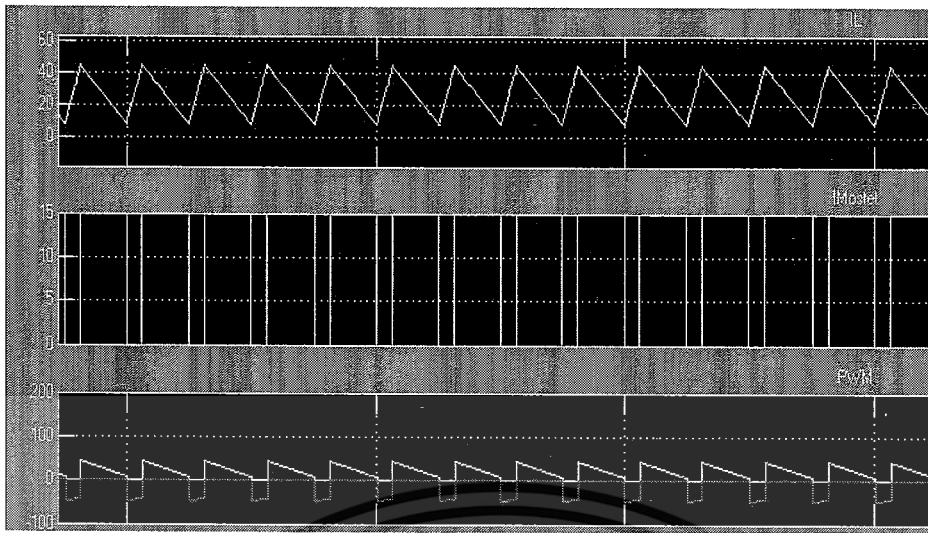


ภาพที่ 3.12 ผลการ Simulation ที่ค่า Duty=0.4, $V_{out}=12V$, $V_{in}=48V$, $L=12 \mu H$, $C=2000 \mu F$



ภาพที่ 3.13 ผลการ Simulation ที่ค่า Duty=0.4, $V_{out}=12V$, $V_{in}=48V$, $L=15 \mu H$, $C=1500 \mu F$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.14 ผลการ Simulation ที่ค่า Duty=0.4, $V_{out}=12V$, $V_{in}=48V$, $L=12\ \mu H$, $C=1500\ \mu F$

สรุปการออกแบบวงจร Buck Converter

จากการ Simulation ด้วยโปรแกรม matlab พบว่าค่า ตัวเก็บประจุที่ได้ควรจะเป็น 1500 μF และ L ควรจะมีค่า 12 μH เนื่องจากว่าค่าตัวเก็บประจุตามท้องตลาดที่มีขายไม่มีเบอร์ 1562.5 μF และค่า L ที่ได้จากการ Simulation เมื่อใช้ค่า $L_{min} = 15\ \mu H$ Duty = 0.25 พบว่า กระแส I_{Lmin} ไม่ต่อเนื่องและยิ่งปรับ Duty ลดลง ก็จะทำให้กระแสไม่ต่อเนื่องเช่นกัน แต่เมื่อใช้ค่า $L_{min} = 12\ \mu H$ จะเห็นว่าที่ Duty = 0.4-0.9 กระแสยังอยู่ในโหมดต่อเนื่องและมีขนาดเล็กกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับที่ค่า $L = 17\ \mu H$ จะมีขนาดใหญ่กว่า และตรงไปตามแรงดัน Output ที่เราต้องการซึ่งเราต้องการ แรงดัน Output อยู่ในช่วง 10-15V Duty ที่สามารถปรับได้ของวงจรนี้จะอยู่ในช่วง 0.4-0.9 ซึ่งกระแสยังจะอยู่ในโหมดต่อเนื่อง

3.2.3 ตัวเหนี่ยวนำ (L) ทำหน้าที่เป็นแหล่งจ่ายไฟให้กับโหลด ช่วยและป้องกันการกระชากของกระแส ในช่วงที่ MOSFET off ในที่นี้จึงเลือกใช้ L ขนาด 12 μH

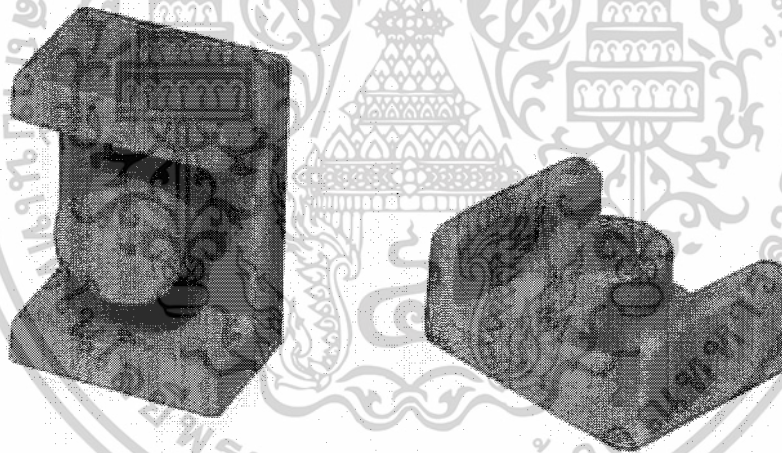
แกนแม่เหล็กชนิดผงโลหะอัด

กรรมวิธีการผลิตผงโลหะอัด จะเกิดจากสารอัลลอยด์ (alloy material) เป็นหลักในการทำเป็นผงแป้งละเอียด (fine powder) จากนั้นนำผงแป้งดังกล่าวผสมกับสารที่มีคุณสมบัติเป็นฉนวนซึ่งทำหน้าที่ในการแยกอนุภาค (particle) ต่างๆออกจากกัน ซึ่งจะเปรียบเสมือนกับเป็นการเพิ่มความต้านทานไฟฟ้านั่นเอง จากนั้นจะนำมาขึ้นรูปแกนแม่เหล็ก ซึ่งโดยมากรูปทรงของแกนแม่เหล็กชนิดผงโลหะอัด มักจะอยู่ในรูปทรงทอลอยด์ (toroidal shape) เป็นส่วนใหญ่ นอกจากนี้แกนแม่เหล็กแบบผงโลหะอัด จะมีคุณสมบัติในการสะสมพลังงานได้ดีจึงนิยมใช้ทำเป็นตัวเหนี่ยวนำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และหม้อแปลงไฟฟ้าของวงจรฟลายแบ็ก อย่างไรก็ตาม พลังงานไม่ได้สะสมอยู่ในส่วนที่มีค่าความซาบซึ่มได้สูงๆ แต่จะสะสมอยู่ในย่านที่ไม่เป็นแม่เหล็ก (non-magnetic) หรือในย่านที่มีค่าความซาบซึ่มได้ต่ำๆ ซึ่งกระจายอยู่ทั่วไปภายในแกนแม่เหล็กชนิดผงโลหะอัด โดยที่การแบ่งประเภทของแกนแม่เหล็กชนิดผงโลหะอัดจะแบ่งออกตามค่าความซาบซึ่มได้ซึ่งจะอยู่ในย่าน $\mu_r = 15 \square 200$ ซึ่งจะขึ้นอยู่กับเปลี่ยนแปลงขนาดของอนุภาคหรือส่วนผสมต่างๆ นอกจากนั้น แกนแม่เหล็กชนิดผงโลหะอัด ยังไม่นิยมใช้ทำเป็นหม้อแปลงไฟฟ้าในวงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลัง (หม้อแปลงไฟฟ้าของวงจรฟลายแบ็กจริงๆ แล้วจัดได้ว่าเป็นตัวเหนี่ยวนำ) เพราะมีค่าความซาบซึ่มได้สัมพัทธ์ต่ำ เป็นผลทำให้ค่ากระแสทำแม่เหล็กจะมีค่าสูงและมีคุณสมบัติในการสะสมพลังงาน (energy storage) ซึ่งหม้อแปลงไฟฟ้าไม่ต้องการคุณสมบัติดังกล่าว เพราะเมื่อค่ากระแสทำแม่เหล็กสูงหมายถึงกำลังไฟฟ้าสูญเสียจะมีค่าสูง และหน้าที่หลักของหม้อแปลงไฟฟ้าคือถ่ายเทพลังงาน (energy transfer) ไม่ใช่สะสมพลังงาน

แม่เหล็กชนิดผงโลหะอัดจะแบ่งออกเป็นสามชนิด ได้แก่ Molypermalloy, High Flux และ Kool Mu[®] ซึ่งจะสามารถเปรียบเทียบในตาราง



ภาพที่ 3.15 แกนแม่เหล็กแบบทอลอยด์

ตารางที่ 3.1 การเปรียบเทียบ powder core แบบต่างๆ

	MPP	High Flux	Kool Mu
ค่าความสูญเสียในแกน	ต่ำที่สุด	ปานกลาง	ต่ำ
ความซาบซึ่มได้และไบอัสกระแสตรง	สูงมาก	สูงที่สุด	สูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็ก (เกาส์)	7,500	15,000	10,500
ส่วนประกอบนิเกิล	80%	50%	0%
ราคา	สูง	ปานกลาง	ต่ำ

ทางแม่เหล็กไฟฟ้านี้ จะเลือกใช้ในรูปแบบวงแหวนเพื่อสร้างตัวเหนี่ยวนำสองตัวร่วมแกนเดียวกันสามารถจะคำนวณเพื่อเลือกใช้แกนดังสมการ $L = A_p N^2$ เมื่อพิจารณาจากสูตรเมื่อทราบค่าความเหนี่ยวนำที่ต้องการใช้ในวงจรกรองสามารถค่าและได้ AI และนำค่าที่ได้เปรียบเทียบกับข้อมูลแกนจากผู้ผลิตและเลือกใช้แกนที่เหมาะสม การเลือกใช้ลวดที่จะมาทำการพันตัวเหนี่ยวนำสิ่งที่จะต้องพิจารณาเป็นพิเศษ คือ ขนาดของกระแสที่วงจรกรองรองรับและขนาดหน้าตัดของแกนสำหรับพันลวดได้สูงสุด

3.2.4 ตัวเก็บประจุ (C) เป็นตัวกรองแรงดันขาออกของวงจรกำลังวงจรบีกคอนเวอร์เตอร์เพื่อช่วยให้ค่า ripple voltage มีค่าน้อย นอกจากนี้ยังทำหน้าที่จ่ายกระแสให้กับโหลดอีกด้วย ในที่นี้ใช้ C ขนาด $1000\mu\text{F}$ 100V

ตารางที่ 3.2 พิกัดและชนิดของตัวเก็บประจุที่ใช้โดยทั่วไป

ชนิด	ความจุไฟฟ้า	พิกัดแรงดัน	การประยุกต์ใช้งาน	ย่านความถี่
เซรามิก (Ceramic)	10pF – 1 μF	50V – 30kV	ราคาไม่แพงและใช้กับงานทั่วๆไป	500Hz – 500 MHz
สองชั้น (Dubble layer)	0.1 – 1F	1.5 – 6 V	สำรองสำหรับหน่วยเก็บความจำ(memory backup)	ต่ำกว่า 1 kHz
อิเล็กโทรไลติก (Electrolytic)	0.1 μF – 1.6 μF	3 – 600 V	วงจรกรองแหล่งจ่ายกำลัง สวิตซิ่ง	ต่ำกว่า 1 kHz
แก้ว (glass)	10-1000 pF	100-600 V	วงจรความถี่สูง	1 kHz – 5 GHz

ไมก้า(Mica)	1 pF – 0.01 μ F	100-600V	วงจรความถี่สูง	1 kHz – 5 GHz
ไมลาร์ (Milar)	1nF - 50 μ F	50-600 V	ราคาไม่แพงและใช้กับ งานทั่วไป	500 Hz- 500 MHz
น้ำมัน(Oil)	0.1 – 20 μ F	200v – 10 kV	วงจรกรองแรงดันสูง	ต่ำกว่า 1 kHz
โพลีเอทิลีน	10pF – 2.7	100 – 600 V	วงจรกรองสัญญาณขนาด เล็กมีคุณภาพสูง และ ขนาดใหญ่	Dc – 1000MHz
โพลีเอทิลีน	10pF – 2.7	100 – 600 V	วงจรกรองสัญญาณขนาด เล็กมีคุณภาพสูง และ ขนาดใหญ่	Dc – 1000MHz
เปอร์ซีเลน (Porcelain)	100pF – 0.1 μ F	50 – 400V	ใช้งานได้นาน	500Hz – 500 MHz
แทนทาลัม (Tantalim)	0.1- 500 μ F	6 - 100 V	ความจุไฟฟ้าสูง	ต่ำกว่า 1 kHz
เทฟลอน (Teflon)	1nF – 2 μ F	50 - 200V	คุณภาพและ Dielectric	Dc – 1000MHz
สุญญากาศ (Vacuum)	1-5000 μ F	2- 36 kV	เครื่องส่งสัญญาณ	500Hz- 500MHz

3. มอสเฟต (MOSFET) ทำหน้าที่ในการสวิตชิงไฟเข้าสู่โหลดโดยได้รับสัญญาณควบคุมจากส่วนขยายสัญญาณ โดยในที่นี้จะเลือกใช้ Power MOSFET เบอร์ IRFP 4710

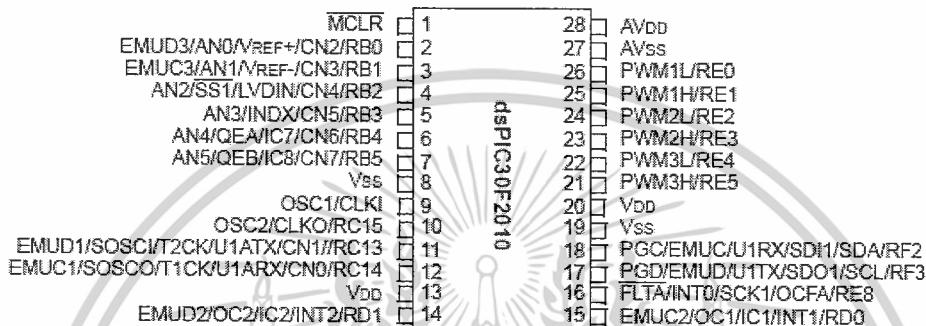
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ไดโอด (Diode) ทำหน้าที่เป็น Free Wheeling Diode ในช่วงที่ MOSFET หยุดนำกระแส ทำให้กระแสไหลผ่านได้อย่างต่อเนื่อง โดยในที่นี้จะเลือกใช้ Ultra fast diode เบอร์ MUR 3060 PT

3.2.5 ออกแบบวงจร Start ระบบ PEMFC โดยใช้ Microcontroller

3.2.5.1 โครงสร้างของ dsPIC30F2010

28-Pin SDIP and SOIC

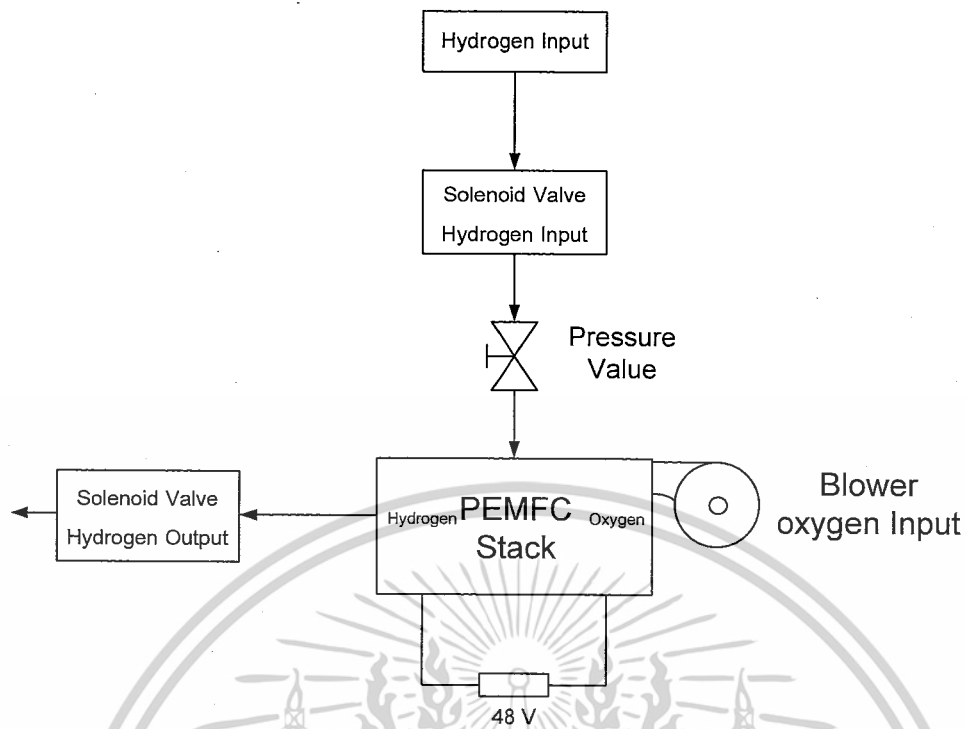


ภาพที่ 3.16 โครงสร้างของ Microcontroller

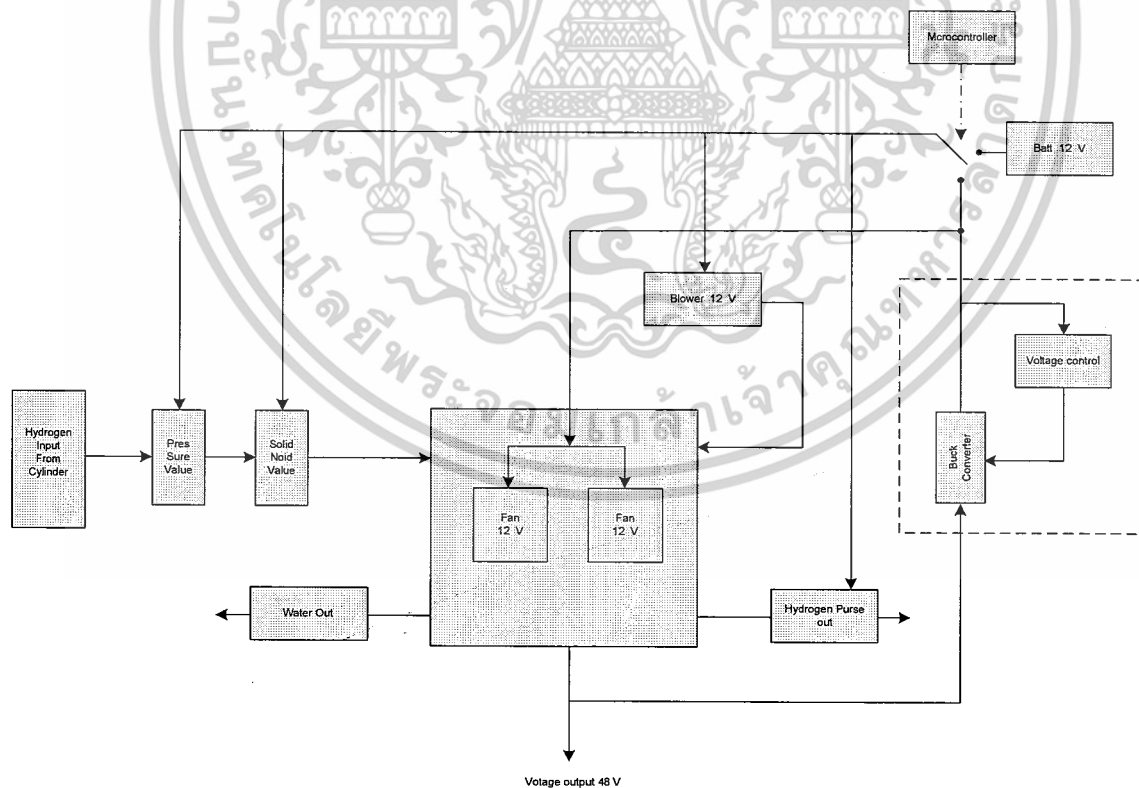
เหตุที่เลือกใช้ Microcontroller เบอร์นี้มีการประมวลผลค่อนข้างเร็วและมีคุณสมบัติตรงตามที่เรากำลังต้องการคุณสมบัติเพิ่มเติมสามารถดูได้จาก datasheet ภาคผนวก

3.2.5.2 ขั้นตอนการทำงานของวงจร Microcontroller ที่ทำการออกแบบ

เมื่อทำการ ON main switch จะทำให้ Microcontroller เริ่มทำงานโดย Microcontroller จะไปสั่งให้ Solenoid valve Hydrogen Input ON (Relay NO 2) ทำงานทำให้ Hydrogen ไหลเข้าไปยังตัว เซลล์เชื้อเพลิงโดยจะทำงานอยู่ตลอดเวลาจะทำการ OFF ก็ต่อเมื่อ OFF main switch ในขณะเดียวกัน Solenoid valve Hydrogen output ON 6 s(Relay NO 3) เหตุที่ต้องทำงานที่ 6 sก็เพื่อเป็นการเริ่ม start โดยให้ Hydrogen Flow ออกทางด้าน output และจะเกิดอิเล็กทรอนิกส์ขึ้นที่ขั้ว คาโทด และ อาโนด หลังจากนั้นก็จะทำงานอีก 1 S และ Microcontroller จะสั่งให้ Solenoid valve Control Battery OFF(Relay NC 1) เพื่อที่จะตัดการจ่ายไฟของ Battery ออกจากระบบ โดย Battery จะทำหน้าที่ start เท่านั้น หลังจากนั้นระบบก็จะทำการปล่อย Flow ออก 1 s เพื่อเป็นการ Flow hydrogen นั้นเอง โดยมีรูป Flow Chart ดังภาพที่ 3.9

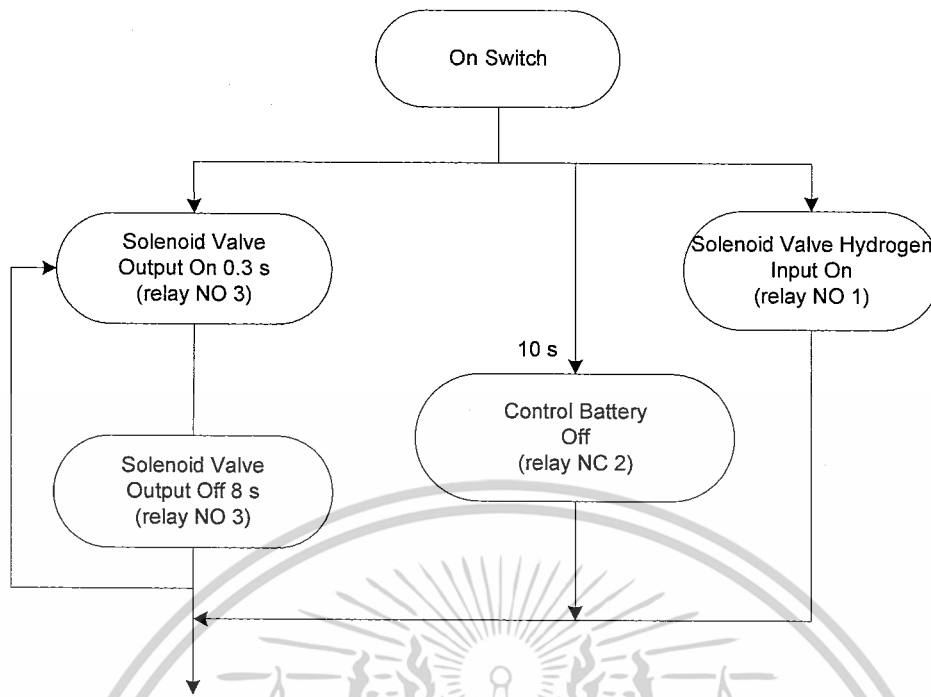


ภาพที่ 3.17 โพลีชาร์กแสดงไหลของ Hydrogen



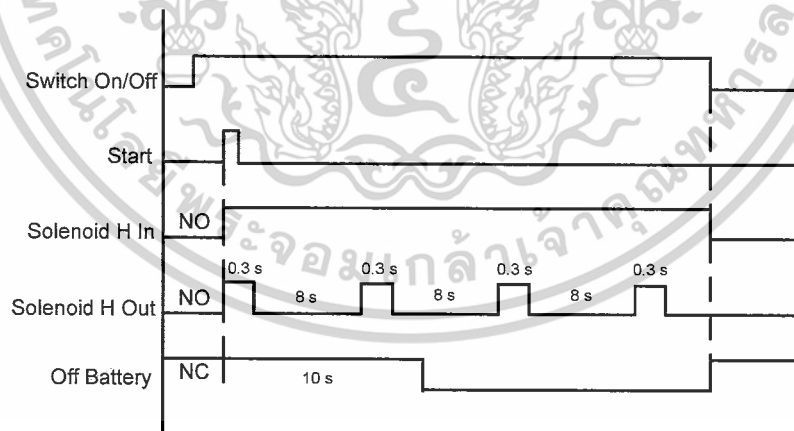
ภาพที่ 3.18 ไตอะแกรม ระบบคอนโทรล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



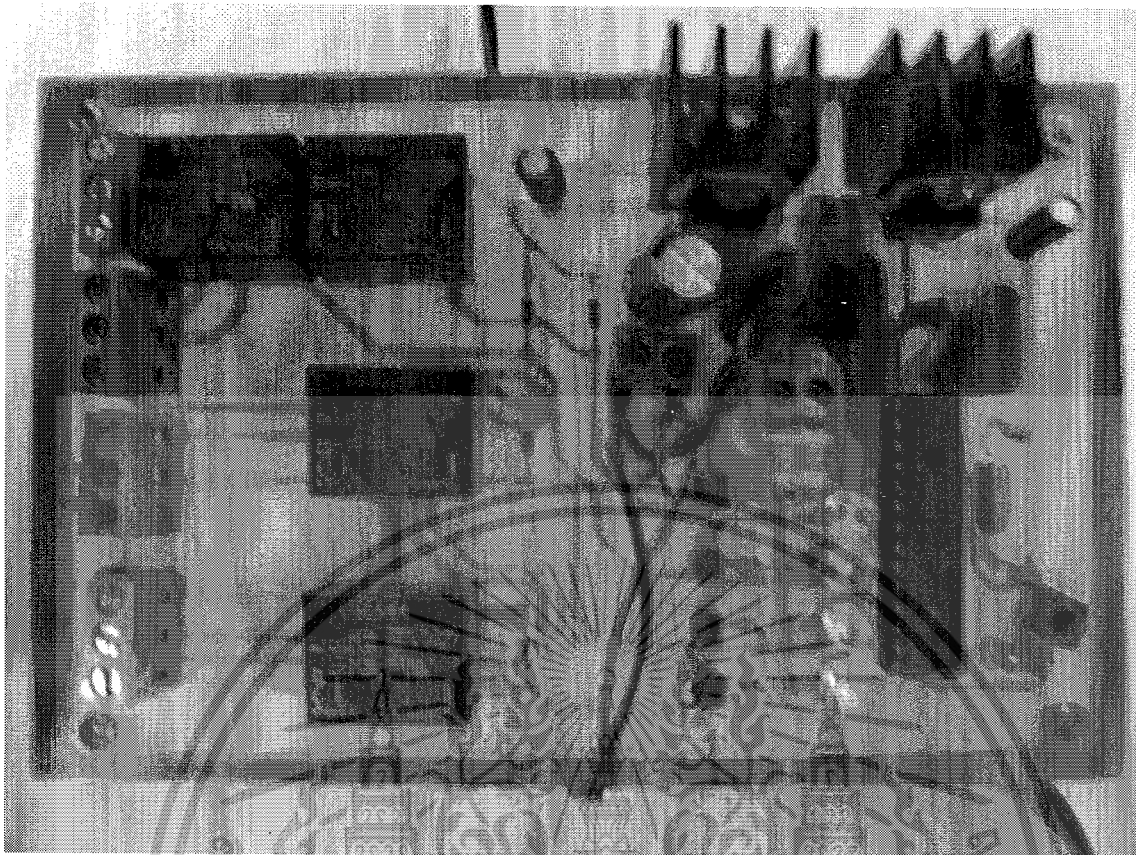
ภาพที่ 3.19 โฟลว์ชาร์ทของระบบควบคุม

เมื่อ Start ระบบ Solenoid Hydrogen input ทำงานตลอด Solenoid Hydrogen output ON 0.3 วินาที OFF 8 วินาที แล้ววนกลับไป ON จะทำการวนสถานะเรื่อยๆ เพื่อ ทำการคลาย ก๊าซออกจากตัวเซลล์เชื้อเพลิง หลังจากเริ่มระบบ จะเริ่มนับเวลา 10 วินาที เพื่อให้เซลล์เชื้อเพลิง ทำงานอย่างสมบูรณ์ จากนั้นจะตัดแบตเตอรี่ออกจากระบบ การหยุดการทำงานให้ OFF Switch



ภาพที่ 3.20 ไทม์มิ่งไดอะแกรมของระบบควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.21 วงจรคอนโทรลโดยใช้ Microcontroller

สรุปการออกแบบวงจรควบคุมของเซลล์เชื้อเพลิง ชนิด PEM

การออกแบบวงจรควบคุมของเซลล์เชื้อเพลิงนี้ สามารถทำให้ระบบมีเสถียรภาพมากขึ้น ด้วย เนื่องจากการมีการกำหนดช่วงเวลาการทำงานที่ชัดเจนซึ่งถ้าเกิดข้อผิดพลาดขึ้นในวงจรควบคุมนี้ก็จะสามารถแก้ไขได้อย่างรวดเร็วและถูกต้องมากขึ้น และทำให้การควบคุมในส่วนของการเริ่มการทำงานและจบการทำงานของระบบทำได้โดยง่าย

สรุป

จากการออกแบบในบทนี้ได้มีการออกแบบในหลายส่วนของวงจร โดยแบ่งได้เป็น 3 ส่วนใหญ่ๆได้ดังนี้ คือ

1. ออกแบบวงจรควบคุมเป็นการออกแบบการควบคุม Duty มีหลักการการทำงานคือสามารถปรับลดหรือเพิ่ม Duty ได้โดยอัตโนมัติโดยขึ้นอยู่กับ แรงดันที่แปรเปลี่ยนไปด้วยในกรณีต่างๆ เช่นแรงดันตกก็จะทำให้ Duty มีช่วง on ที่มากขึ้นทำให้คงที่แรงดันไว้ได้ตามที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ออกแบบวงจรกำลัง หรือเรียกอีกอย่างว่า Buck converter ออกแบบให้สามารถทนกระแสไฟฟ้าได้ที่ 3 A และสามารถทนแรงดันให้ได้อยู่ที่ 100 V

จากการออกแบบเราต้องใช้ความรู้พื้นฐานในวิชา Power Electronic เข้ามาช่วยในการออกแบบซึ่งมีความจำเป็นอย่างมากที่จะต้องมีความรู้ความเข้าใจเรื่องนี้ โดยเฉพาะวงจร Buck Converter และ PWM

ในการออกแบบนี้มีความสำคัญเป็นอย่างมากเพื่อเป็นพื้นฐานในการสร้างวงจร Voltage control หากไม่มีการคำนวณและการออกแบบที่ถูกต้อง หรือออกแบบผิดการดำเนินงานนั้น ก็จะทำให้เกิดอุปสรรคหรือปัญหาตามมาภายหลังหรืออาจแก้ไขได้ยุ่งยาก

3. การออกแบบวงจร Start for PEMFC ก็เพื่อเป็นการทำให้ระบบตอนเริ่ม Start ง่ายต่อผู้ใช้งานเพราะเนื่องจากได้พัฒนามาจาก Project ของปริญญาโทที่มีมาโดย ได้พัฒนาในส่วนของการควบคุมระบบของ PEMFC แต่การพัฒนาจะต้องมีส่วนที่ปรับปรุงคือเมื่อมีการดึงโหลดที่สูงขึ้นไม่สามารถที่จะควบคุมอัตราการไหลของปริมาณ ออกซิเจน และ ไฮโดรเจนได้ เพราะว่าเมื่อดึงโหลดเพิ่มขึ้นก็ต้องจ่ายปริมาณ ออกซิเจน และ ไฮโดรเจนที่เพิ่มขึ้นเช่นเดียวกันเปรียบเสมือนเมื่อมนุษย์ได้มีการออกกำลังกายก็ต้องใช้พลังงานมากขึ้นเพื่อมาทดแทนร่างกาย อีกอย่างหนึ่งคือการทำหนดเวลาในการ Flow Hydrogen นั้นยังเป็นเวลาที่ยังไม่ดีที่สุด ต้องมีการปรับปรุงต่อไป

บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

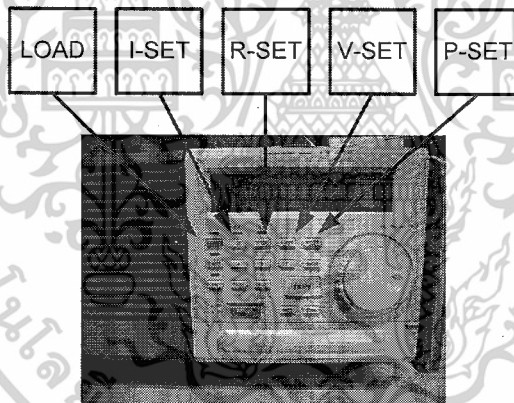
4.1 วัตถุประสงค์

1. ศึกษาแรงดันของ Hydrogen และ อุณหภูมิ ว่ามีผลต่อกำลังไฟฟ้าอย่างไร
2. ทดสอบประสิทธิภาพของ DC-DC Buck Converter ว่ารักษาระดับแรงดันได้คงที่หรือไม่
3. หาค่าการสูญเสียกำลังไฟฟ้าภายในระบบ

4.2 เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เซลล์เชื้อเพลิงขนาด 1kW ชุดควบคุมทั้งระบบ
2. โหลดอิเล็กทรอนิกส์ขนาด 500V 600W 30A
3. ดิจิตอลมิเตอร์
4. ออสซิลโลสโคป
5. ชุดวงจร DC-DC Buck Converter

4.3 ทำการทดสอบเซลล์เชื้อเพลิง โดยใช้โหลดอิเล็กทรอนิกส์



ภาพที่ 4.1 การเชื่อมต่อเซลล์เชื้อเพลิงกับโหลดอิเล็กทรอนิกส์
เอกสารนี้เป็นเอกสารทรัพย์สินทางปัญญาของบริษัทฯ เพื่อใช้ประโยชน์ในการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

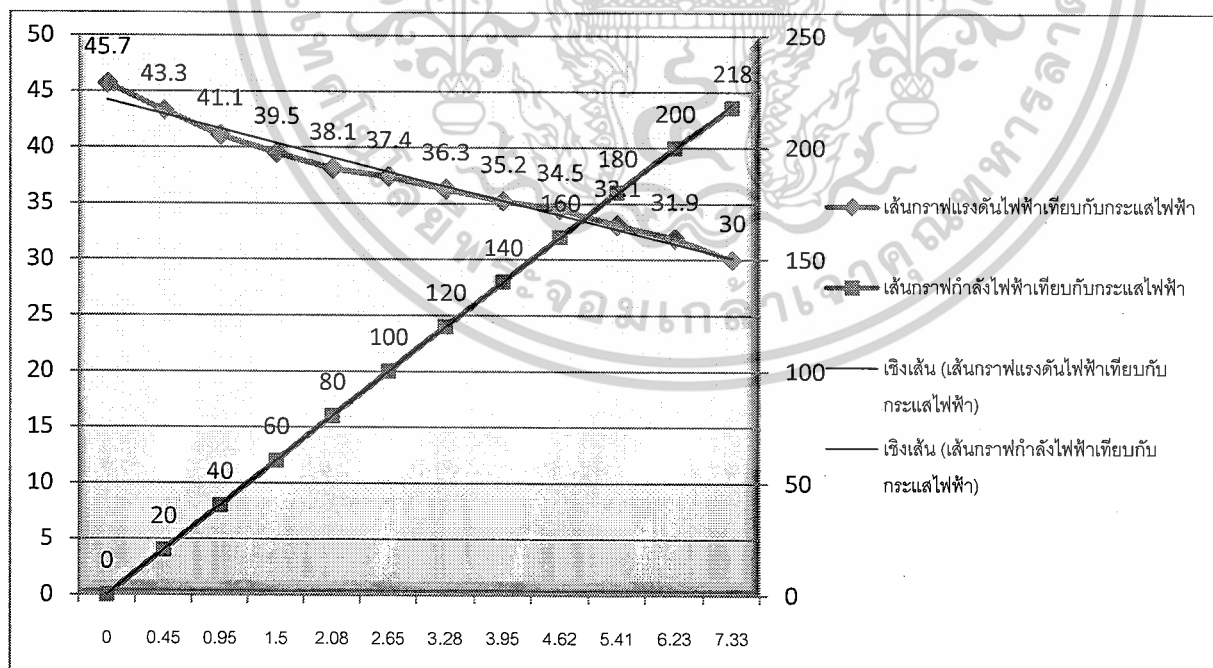
จากภาพที่ 4.1 เป็นการเชื่อมต่อเซลล์เชื้อเพลิงกับโหลดอิเล็กทรอนิกส์ โดยจะหาค่ากำลังไฟฟ้าเอาต์พุตสูงสุดของเซลล์เชื้อเพลิง โดยกำหนดแรงดัน และอุณหภูมิที่ค่าต่างๆ เพื่อศึกษาว่าเซลล์เชื้อเพลิงต้องการปริมาณไฮโดรเจนเท่าไร และทำงานได้ดีในช่วงอุณหภูมิเท่าไร มอเตอร์ดูดออกซิเจนถูกตั้งไว้ที่ 12 V คงที่

ช่วงที่ 1

ตารางที่ 4.1 ทดสอบกับโหลดอิเล็กทรอนิกส์ ที่แรงดันไฮโดรเจน 0.2bar อุณหภูมิเซลล์ 30°C-37°C

P set (W)	แรงดัน (V)	กระแส (A)	Pout (W)
20	43.3	0.45	19.4
60	39.5	1.50	59.2
100	37.4	2.65	99.1
140	35.2	3.95	139.0
180	33.1	5.41	179.0
220	30.0	7.33	219.9

ภาพที่ 4.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดัน กระแส และกำลังไฟฟ้า

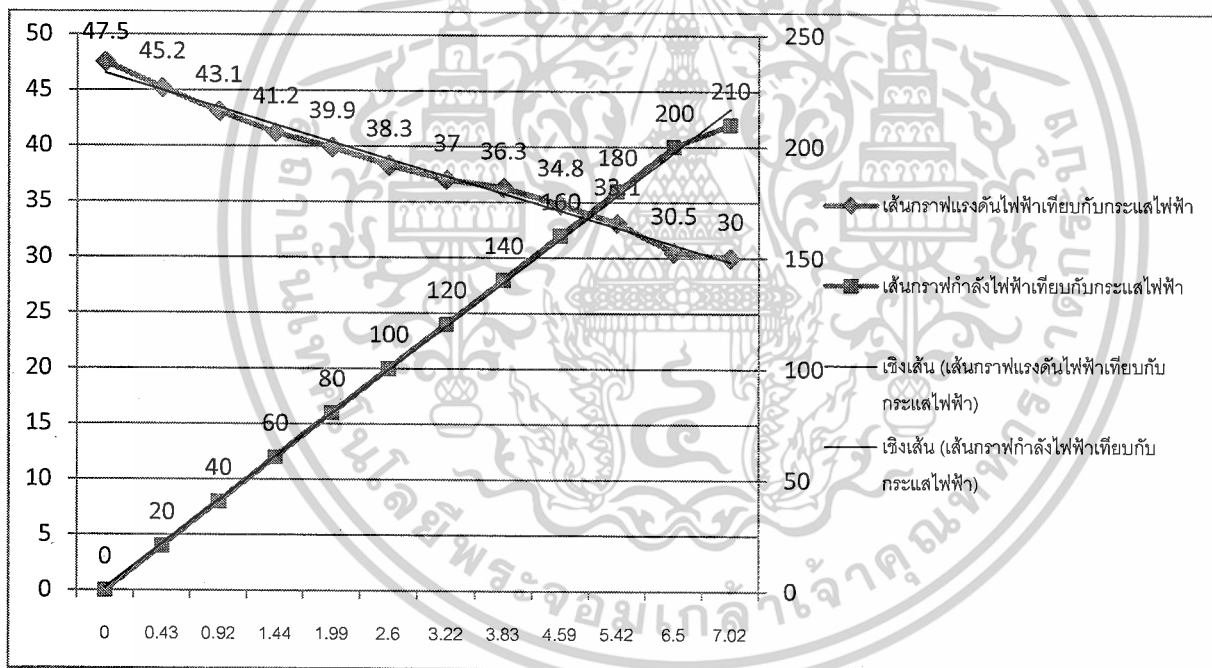


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 ทดสอบกับโหลดอิเล็กทรอนิกส์ ที่แรงดันไฮโดรเจน 0.3bar อุณหภูมิเซลล์ 30°C-37°C

P set (W)	แรงดัน (V)	กระแส (A)	Pout (W)
20	45.2	0.43	19.4
60	41.2	1.44	59.3
100	38.3	2.60	99.5
140	36.3	3.83	139.0
180	33.1	5.42	179.4
220	30.0	7.02	210.6

ภาพที่ 4.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดัน กระแส และกำลังไฟฟ้า

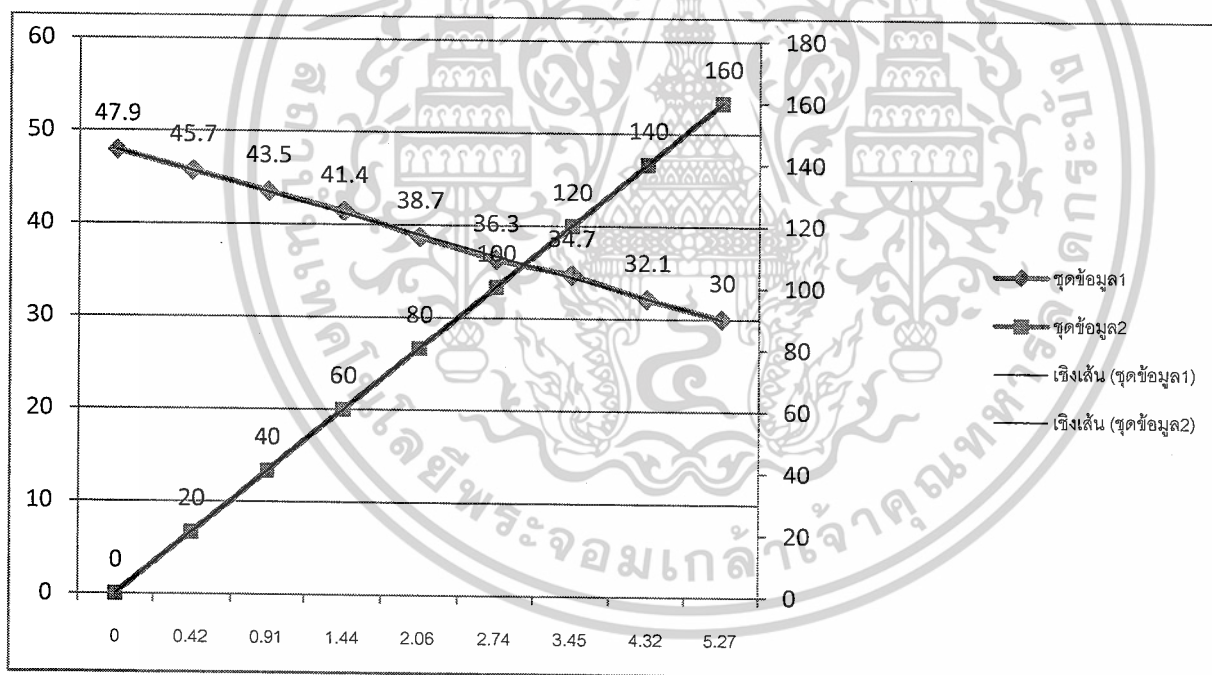


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 ทดสอบกับโหลดอิเล็กทรอนิกส์ ที่แรงดันไฮโดรเจน 0.4bar อุณหภูมิเซลล์ 30°C-37°C

P set (W)	แรงดัน (V)	กระแส (A)	Pout (W)
20	46.0	0.42	19.3
60	41.5	1.43	59.3
100	38.7	2.57	99.4
140	36.0	3.89	140.0
180	31.4	5.71	19.2
220	30.0	6.49	194.7

ภาพที่ 4.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดัน กระแส และกำลังไฟฟ้า

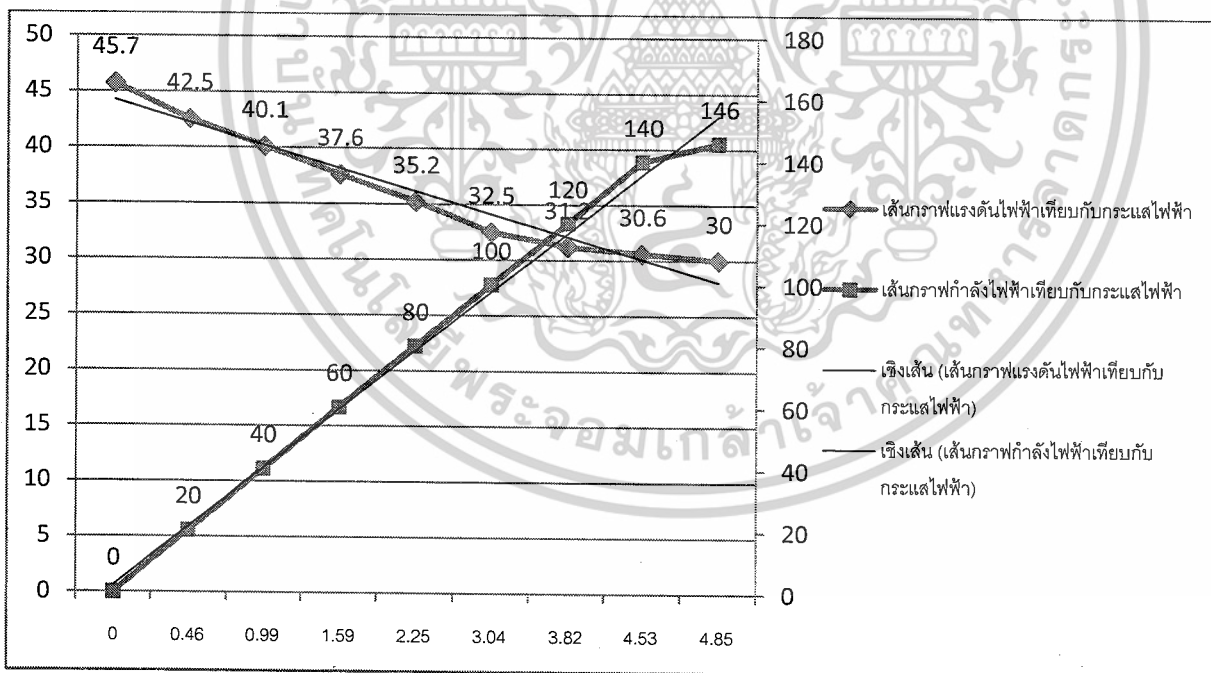


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ช่วงที่ 2 เป็นการลดอุณหภูมิภายในห้องทดสอบโดยการเปิดแอร์ เพื่อศึกษากำลังไฟฟ้าเอาท์พุท
ตารางที่ 4.4 ทดสอบกับโหลดอิเล็กทรอนิกส์ ที่แรงดันไฮโดรเจน 0.2bar อุณหภูมิเซลล์ 25°C-29°C

P set (W)	แรงดัน (V)	กระแส (A)	Pout (W)
20	42.5	0.46	19.5
40	40.1	0.99	39.7
60	37.6	1.59	59.7
80	35.2	2.25	79.2
100	31.2	3.04	94.8
120	30.6	3.82	116.8
140	30.6	4.53	138.6
160	30.0	4.85	145.5

ภาพที่ 4.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดัน กระแส และกำลังไฟฟ้า

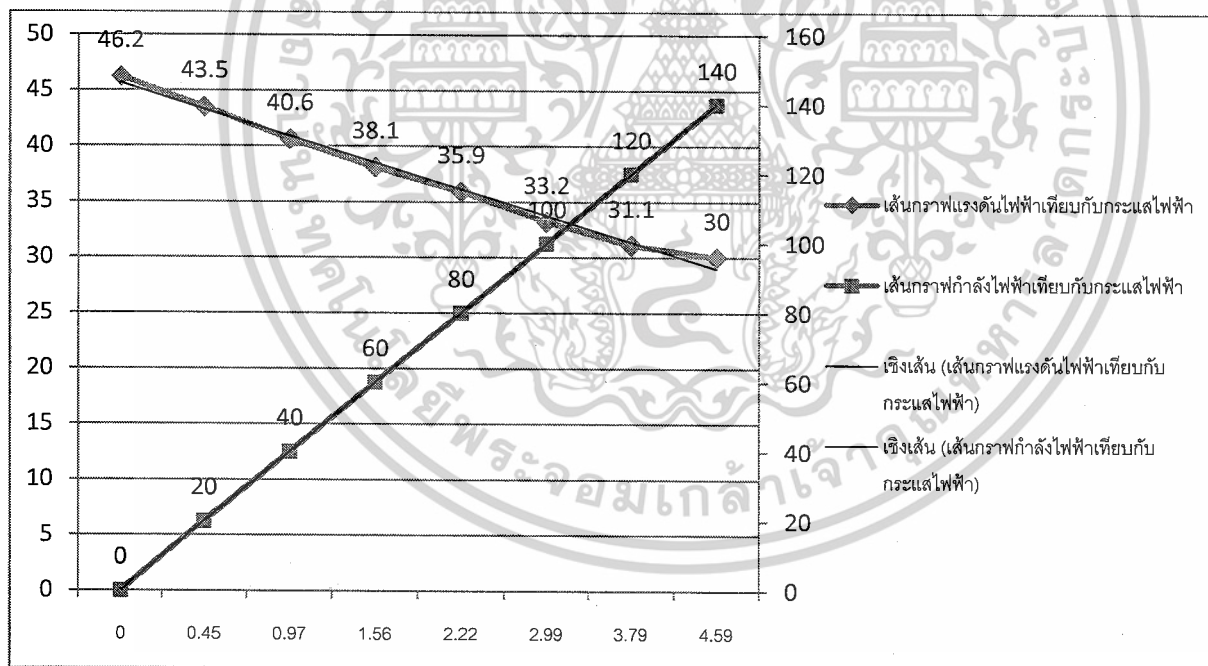


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 ทดสอบกับโหลดอิเล็กทรอนิกส์ ที่แรงดันไฮโดรเจน 0.3bar อุณหภูมิเซลล์ 25°C-29°C

P set (W)	แรงดัน (V)	กระแส (A)	Pout (W)
20	43.5	0.45	19.5
40	40.6	0.97	39.3
60	38.1	1.56	59.4
80	35.9	2.22	79.6
100	33.2	2.99	99.2
120	31.1	3.79	117.8
140	30.0	4.59	137.7

ภาพที่ 4.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดัน กระแส และกำลังไฟฟ้า

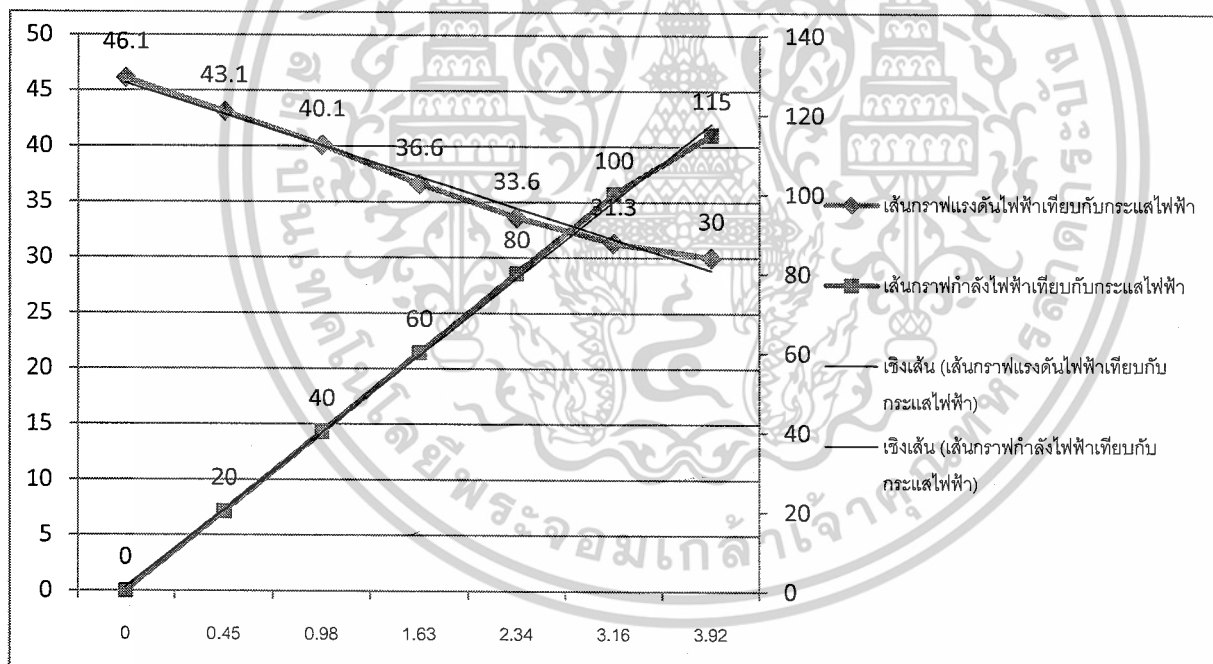


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 ทดสอบกับโพลีอิเล็กโทรไลต์ ที่แรงดันไฮโดรเจน 0.4bar อุณหภูมิเซลล์ 25°C-29°C

P set (W)	แรงดัน (V)	กระแส (A)	Pout (W)
20	43.1	0.45	19.3
40	40.1	0.98	39.2
60	36.6	1.63	59.6
80	33.6	2.34	78.6
100	31.3	3.16	98.9
120	30.0	3.92	117.6

ภาพที่ 4.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดัน กระแส และกำลังไฟฟ้า



สรุปผลการทดลอง

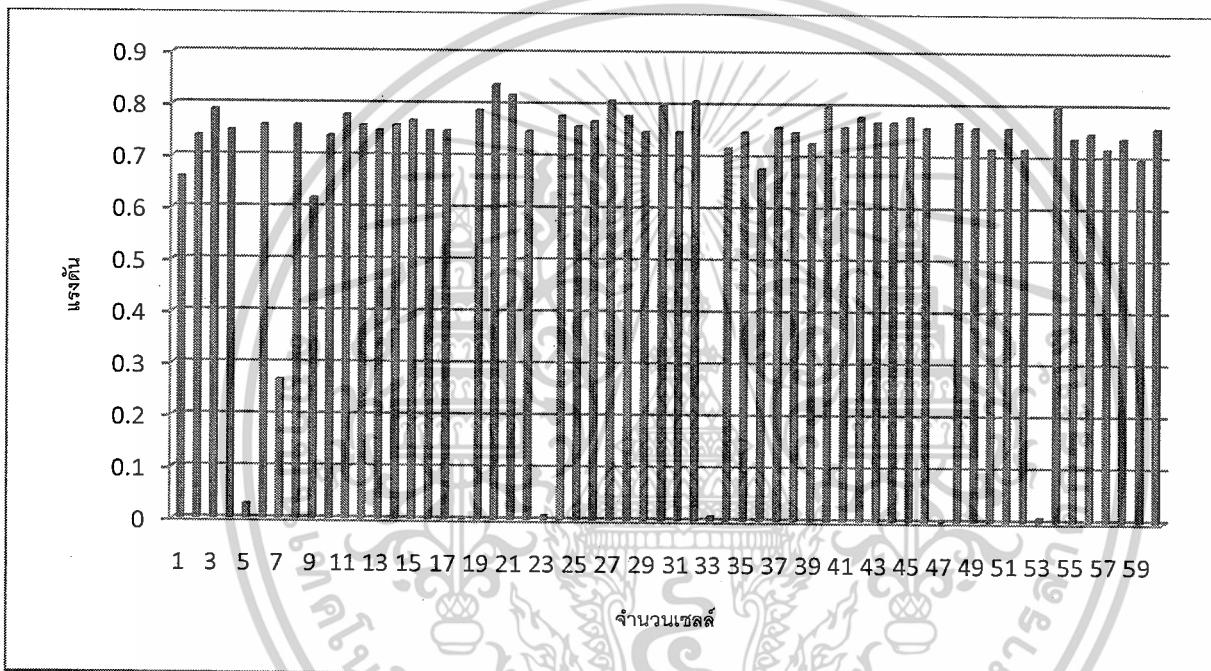
จากกราฟจะเห็นว่ามีความแตกต่างของกำลังไฟฟ้าเกิดขึ้นเมื่อเพิ่มแรงดันของไฮโดรเจนจาก 0.2 bar, 0.3 bar, 0.4 bar โดยปรับมอเตอร์ Flow Oxygen ไว้คงที่ที่ 12 V จะได้กำลังไฟฟ้า 218 W, 210 W, 190 W ตามลำดับ ทดลองที่อุณหภูมิห้อง 30-37 องศาเซลเซียส แต่เมื่อทำการลดอุณหภูมิห้องลง เป็น 25-29 องศาเซลเซียส ทดลองที่แรงดันของไฮโดรเจนเดียวกัน กำลังไฟฟ้าจะได้เพียงแค่ว่า 146 W, 140 W, 115 W ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าอุณหภูมิมีผลต่อ Output ของ PEMFC ด้วยเช่นกัน และถึงแม้จะ

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพิ่มอุณหภูมิขึ้นไปใกล้เคียงกับช่วงแรกก็ไม่สามารถทำให้เซลล์เชื้อเพลิงขับกำลังไฟฟ้าได้เหมือนช่วงแรก เพราะว่าภายในเซลล์ยังเกิดความชื้นสะสมอยู่

จากการศึกษาและทดลอง ทำให้ทราบว่า เซลล์เชื้อเพลิงชนิด Proton exchange membrane fuel cell; PEMFC นั้นมีข้อจำกัดในการทำงานหลายประการคือ

1. อุณหภูมิของเซลล์ ทั้งภายนอกและภายใน ไม่ควรสูงเกิน 50°C
2. โวลต์ต่อเซลล์ ไม่ควรต่ำกว่า 0.6V
3. ความดันของไฮโดรเจน ไม่ควรเกิน 1bar

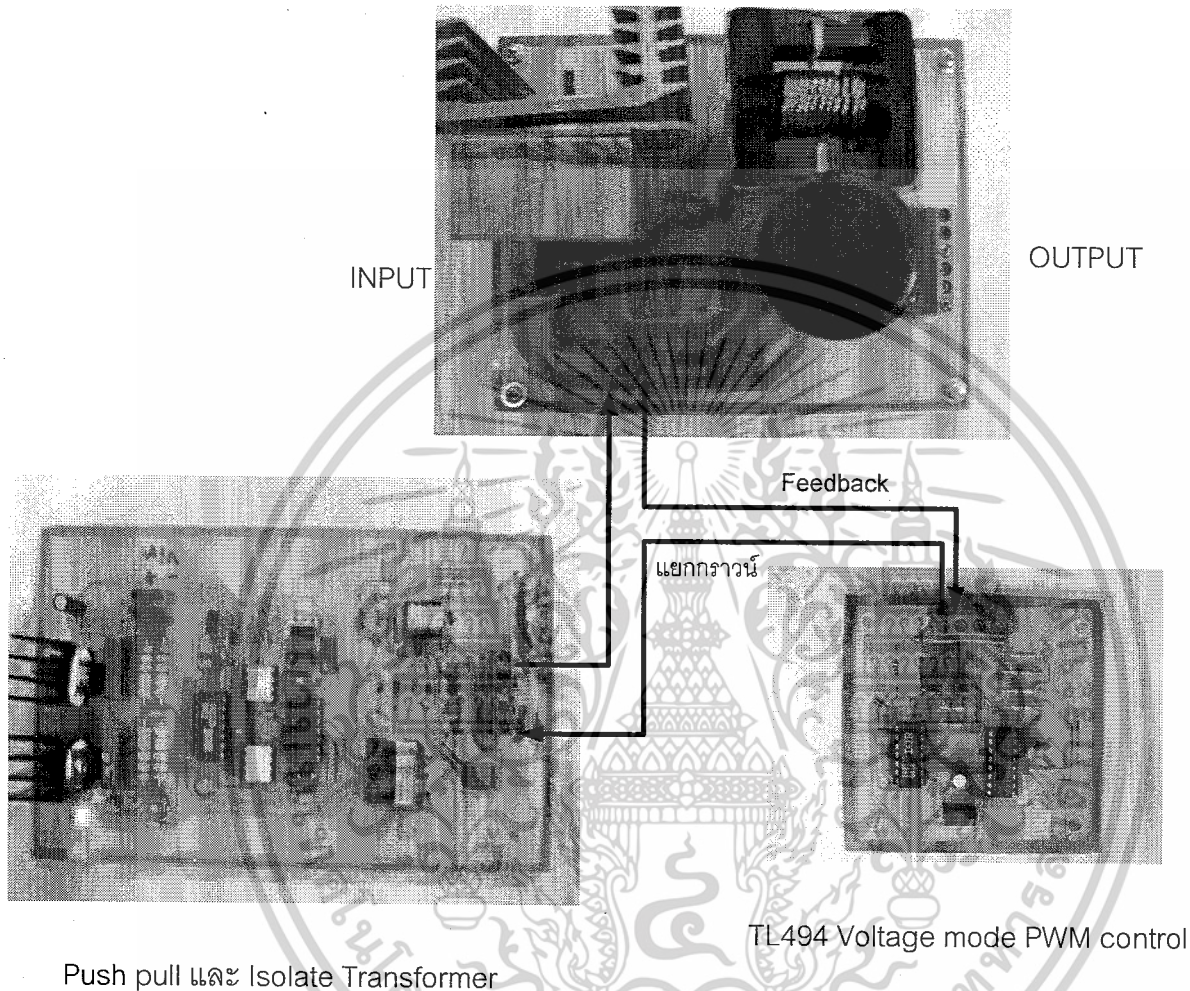


ภาพที่ 4.8 แสดงแรงดันตกรวมของแต่ละเซลล์

จากกราฟสังเกตเห็นได้ว่าแรงดันตกรวมของแต่ละเซลล์ไม่เท่ากัน และบางเซลล์ไม่สามารถให้พลังงานได้เลยเนื่องจากหลายสาเหตุ เช่นเกิดรอยร้าวบริเวณ Gasket มีน้ำขังภายในเซลล์จนเกิดความชื้น และเซลล์ตันทำให้ไฮโดรเจนและออกซิเจนกระจายไปไม่ทั่วถึง และทำให้เซลล์นั้นเป็น Loss ของระบบ จึงเป็นสาเหตุให้เซลล์เชื้อเพลิงมีประสิทธิภาพต่ำกว่าปกติมาก

4.4 ทดสอบชุด Voltage Control DC-DC Buck Converter

DC-DC Buck Converter



ภาพที่ 4.9 วงจร Voltage Control DC-DC Buck Converter

ทดสอบวงจร Voltage Control DC-DC Buck Converter ที่ใช้ขับพัดลมระบายอากาศและจ่ายชุดคอนโทรลหลักแทนแบตเตอรี่ แรงดันอินพุต 30-50 V แรงดันเอาต์พุต 12 V

ตารางที่ 4.7 เปรียบเทียบระดับแรงดัน Input กับ Output

แรงดัน Input (V)	แรงดัน Output (V)
50	12.34
48	12.34
46	12.33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ 44 นวัตกรรมใหม่แก่โลก เพื่อการศึกษาเท่านั้น 12:32 อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

42	12.32
40	12.32
38	12.30
36	12.29
34	12.29
32	12.27
30	12.28

สรุปผลการทดลอง

จากการทดลอง ปรับแรงดัน Input ลดลงเรื่อยๆ ตามพฤติกรรมของเซลล์เชื้อเพลิงที่กำลังจ่าย โหลด แรงดันจะลดลงเป็น Step วงจร Voltage Control Buck Converter จะทำหน้าที่ปรับค่า Duty ให้กว้างขึ้น เพื่อรักษาระดับแรงดัน Output ให้คงที่ได้ที่ 12.3 V

4.5 ค่าการสูญเสียกำลังไฟฟ้าภายในระบบ

4.5.1 การสูญเสียกับพัดลมระบายอากาศให้กับตัว PEMFC

- ซึ่งทำการทดลองซึ่งป้อนแรงดัน 12.3 V และวัดกระแสได้ 0.35 A ซึ่งจะได้จำนวนวัตต์เท่ากับ

17.22 W

4.5.2 พัดลมระบายอากาศของชุดวงจร Buck Converter

- ซึ่งทำการทดลองซึ่งป้อนแรงดัน 12.3 V และวัดกระแสได้ 0.23 A ซึ่งจะได้จำนวนวัตต์เท่ากับ

2.829 W

4.5.3 มอเตอร์ ดูดอากาศ

- ทำการทดลองป้อนแรงดัน 12 V วัดกระแสได้ 0.8 A ซึ่งจะได้จำนวนวัตต์เท่ากับ 9.6 W

4.5.4 Solenoid Valve 2 ตัว

- ทำการทดลองป้อนแรงดัน 12 V วัดกระแสได้ 0.7 A ซึ่งจะได้จำนวนวัตต์เท่ากับ 16.8 W

รวมวัตต์ที่สูญเสียไปทั้งหมด = 46.449 W

ตารางที่ 4.8 การสูญเสียกำลังไฟฟ้ารวมในระบบ

อุปกรณ์ โหลดภายในระบบ	กำลังที่สูญเสีย (W)
พัดลมระบายอากาศPEMFC	17.22
พัดลมระบายอากาศชุดBuck converter	2.829
Solenoid จำนวน 2 ตัว	9.6
มอเตอร์ Flow ออกซิเจน	16.8
รวมการสูญเสียทั้งหมด	46.449

เอกสารนี้เป็นการร่วมการสูญเสียทั้งหมดสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่ต่อสาธารณะและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปผลการทดลอง

ในการทดลองจ่ายโหลดอิเล็กทรอนิกส์ในค่าต่างๆ ทำให้ทราบว่า แรงดันไฮโดรเจน มีผลต่อแรงดัน Output ไม่มาก แต่ที่มีผลโดยตรงคือ อุณหภูมิ และความชื้น จะเห็นได้ว่าเซลล์เชื้อเพลิงจ่ายกำลังไฟฟ้าได้น้อยมาก เมื่อภายในเซลล์เกิดความชื้น และอีกจุดหนึ่งที่เป็นผลทำให้จ่ายกำลังไฟฟ้าได้ไม่เต็มพิกัดคือ ภายในเซลล์เชื้อเพลิงทั้ง stack จะมีบางเซลล์ (6-8เซลล์) ไม่สามารถขับเคลื่อนกำลังไฟฟ้าได้ อีกทั้งตัวมันเองยังกลายเป็นโหลดของระบบ ส่วนใน DC-DC Buck Converter ก็มีประสิทธิภาพพอสมควร สามารถจ่ายโหลดได้ 100 W ซึ่ง โหลดรวมภายในระบบได้เท่ากับ 46.49 W เพียงพอต่อความต้องการ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 บทสรุป

การดำเนินงานเรื่องการพัฒนาเครื่องกำเนิดไฟฟ้าด้วยเซลล์เชื้อเพลิง ชนิด PEM

ได้มีการดำเนินงานตามขอบเขตและข้อกำหนดของการวิจัยที่วางไว้ โดยส่วนที่ดำเนินงานไปแล้วคือ

1. ส่วนการออกแบบและสร้างกล่องใส่เซลล์เชื้อเพลิง ซึ่งได้ทำการออกแบบตั้งแต่กล่องใส่เซลล์เชื้อเพลิงและโครงสร้างตัวยึดอุปกรณ์ต่างๆ ไปจนถึงติดตั้งเซลล์เชื้อเพลิงเข้ากับตัวยึดอุปกรณ์ต่างๆ มีความสำคัญมากเนื่องจากการทดสอบเกี่ยวกับเซลล์เชื้อเพลิงชนิด PEM นั้น เราให้ความสำคัญเกี่ยวกับเรื่องความปลอดภัยของตัวเซลล์เชื้อเพลิงเป็นหลัก

2. ส่วนการออกแบบวงจรในการควบคุมของเซลล์เชื้อเพลิง ได้แก่ การออกแบบวงจรควบคุม Buck converter โดยใช้ TL494 , การออกแบบวงจร Buck Converter เพื่อเป็นแหล่งจ่ายของระบบควบคุม , วงจร Microcontroller เพื่อใช้ในการควบคุมซึ่งในการออกแบบวงจรควบคุมของเซลล์เชื้อเพลิงนี้ สามารถทำให้ระบบมีเสถียรภาพมากขึ้นด้วย เนื่องจากเรามีการกำหนดช่วงเวลาการทำงานที่ชัดเจนซึ่งถ้าเกิดข้อผิดพลาดขึ้นในวงจรควบคุมนี้ก็จะสามารถแก้ไขได้อย่างรวดเร็วและถูกต้องมากขึ้น และทำให้การควบคุมในส่วนของการเริ่มการทำงานและจบการทำงานของระบบทำได้โดยง่าย

5.2 ข้อเสนอแนะ

เมื่อภายในเซลล์เกิดความชื้นจะเห็นได้ว่าเซลล์เชื้อเพลิงจ่ายกำลังไฟฟ้าได้น้อยมากและจากการทดสอบจะเห็นว่าแรงดันตกคร่อมของแต่ละเซลล์ไม่เท่ากัน และบางเซลล์ไม่สามารถให้พลังงานได้เลยเนื่องจากหลายสาเหตุ เช่น เกิดรอยร้าวบริเวณ Gasket มีน้ำขังภายในเซลล์จนเกิดความชื้น และเซลล์ตันทำให้ไฮโดรเจนและออกซิเจนกระจายไปไม่ทั่วถึง และทำให้เซลล์นั้นเป็น Loss ของระบบ จึงเป็นสาเหตุให้เซลล์เชื้อเพลิงมีประสิทธิภาพต่ำกว่าที่คิดมาก

5.3 สิ่งที่ต้องดำเนินงานต่อ

1. ทำการออกแบบวงจรควบคุมปริมาณของออกซิเจนและอัตราการไหลไฮโดรเจนโดยมีอัตราส่วนที่เหมาะสมเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด

2. พัฒนา เซลล์เชื้อเพลิงให้มีการนำไปใช้เป็นพลังงานทดแทนในทางอุตสาหกรรม เช่น นำไปใช้ในอุปกรณ์ใน UPS เป็นต้น

เอกสารอ้างอิง

- [1] รศ.ดร. วีระเชษฐ ชันเงิน และ วุฒิพล ชาราธิ์เรษฐ, **อิเล็กทรอนิกส์กำลัง Power Electronics**, พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ : ห้างหุ้นส่วนจำกัด วี เจ พรินติ้ง. 2548
- [2] นคร ภักดีชาติ และ ชัยวัฒน์ ลิ้มพรจิตรวิไล, **คู่มือการทดลอง dsPIC Microcontroller เบื้องต้น**, บริษัท อินโนเวตีฟ แอ็กเพอริเม้นต์ จำกัด.พิมพ์ครั้งที่ 1
- [3] วรวุฒิ โพธิ์พรม, วานิช นุชบาง, นรุตว์ ศรีสวัสดิ์พงษ์, อาคม ชัยศิริรินทร์, " รถไฟฟ้าพลังงานผสมผสานอัจฉริยะ" **ปฏิญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต**, สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2549
- [4] เฉลิม แสงภูเขียว, มาโนช เพชรแอน, วินัย กล้าเกิดผล, อิศรา วงษ์เทศ, " รถไฟฟ้าเซลล์เชื้อเพลิง" **ปฏิญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต**, สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2550
- [5] Mohan , Undeland and Robins, **Power Electronic** .New York .John Wiley and Son. Inc .2nd Edition.1995
- [6] N. Mohan, T .M. Underland, and W.P. Robins, **Power Electronic converter Application and Design**, John Wiley & Sons, Inc., 1989
- [7] Wolf Vielstich, Around Lamm and Hubert A. Gasteiger , **Hand book of Fuel**, John Wiley & Sons, Inc.2nd Edition.
- [8] Wolf Vielstich, Around Lamm and Hubert A. Gasteiger , **Hand book of Fuel**, John Wiley & Sons, Inc.4th Edition.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

โปรแกรมที่ใช้ในการควบคุม dsPIC30F2010

```
#include<p30F2010.h>

#include<ports.h>

#include<stdio.h>

#include<dsp.h>

#include<timer.h>

#define sw_start PORTFbits.RF2

#define Relay1 LATEbits.LATE0

#define Relay2 LATEbits.LATE1

#define Relay3 LATEbits.LATE2

#define Relay4 LATEbits.LATE4

_FOSC(CSW_FSCM_ON & XT_PLL4);

_FGS(CODE_PROT_OFF);

_FWDT(WDT_OFF);

unsigned long t1s,t7s,t10s,ss,

t1s_count,t7s_count,t10s_count;

void delay_ms(unsigned int ms)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

{

    unsigned int x,a;

    for(x=0;x<ms;x++)

    {

        for(a=0;a<816;a++);

    }

}

void int_t1_init()
{

    IEC0bits.T1IE = 1;

    unsigned long match_value;

    ConfigIntTimer1(T1_INT_PRIOR_7 &

                    T1_INT_ON);

    WriteTimer1(0);

    match_value = 7373; // at 1mS

    OpenTimer1(T1_ON &

                T1_GATE_OFF &

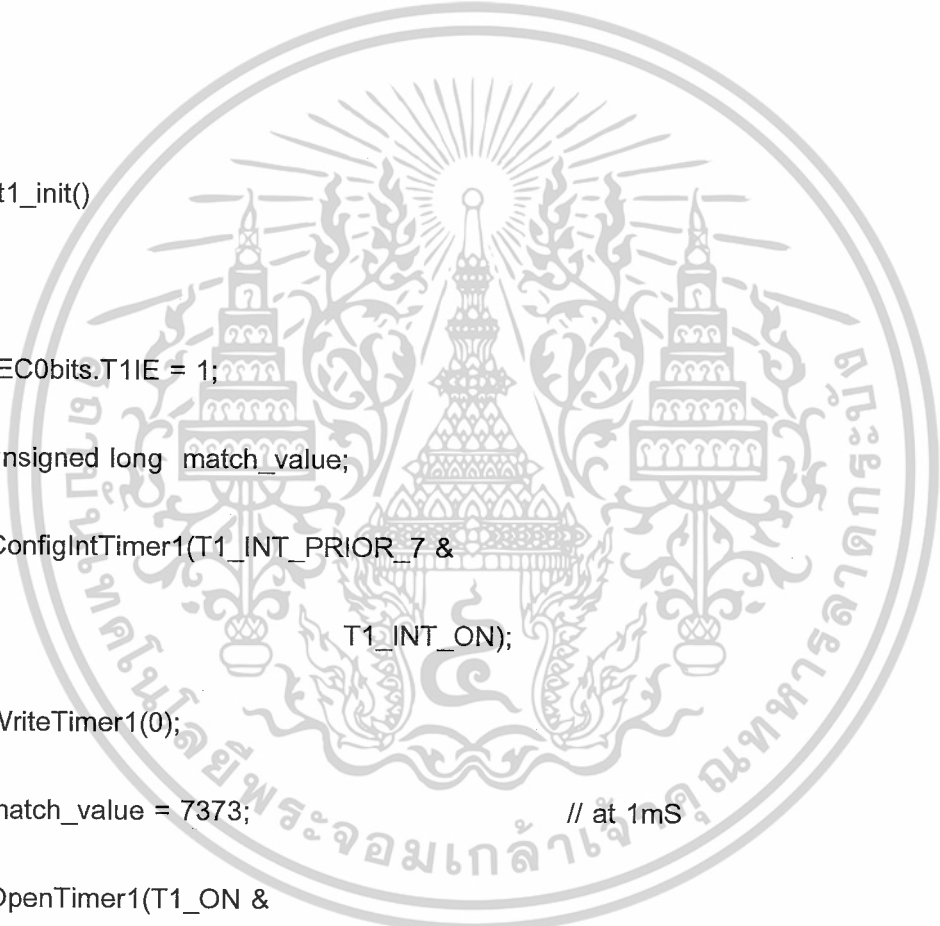
                T1_IDLE_STOP &

                T1_PS_1_1 &

                T1_SYNC_EXT_OFF &

                T1_SOURCE_INT, match_value);

```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
}  
  
void _ISR_T1Interrupt(void)
```

```
{  
  
    IFS0bits.T1IF = 0;
```

```
    WriteTimer1(0);
```

```
    t10s_count++;
```

```
    if (t10s_count >= 10000)
```

```
    {
```

```
        RE2();
```

```
        t10s_count = 0;
```

```
    }
```

```
}
```

```
void RE2()
```

```
{
```

```
    Relay2 = 1;
```

```
}
```

```
void RE3()
```

```
{
```

```
    while(sw_start)
```

```
    {
```

```
        Relay3 = 1;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        delay_ms(200);

        Relay3 = 0;

        delay_ms(8000);

    }

}

int main(void)

{

    TRISFbits.TRISF2 = 1;

    TRISEbits.TRISE0 = 0;

    TRISEbits.TRISE1 = 0;

    TRISEbits.TRISE2 = 0;

    TRISEbits.TRISE4 = 0;

    Relay1 = 0;

    Relay2 = 0;

    Relay3 = 0;

    while (1)

    {

        if(sw_start == 0)

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
{  
  
    while(!sw_start)  
  
        int_t1_init();  
  
        Relay1 = 1;  
  
        RE3();  
  
}  
  
}  
  
}
```



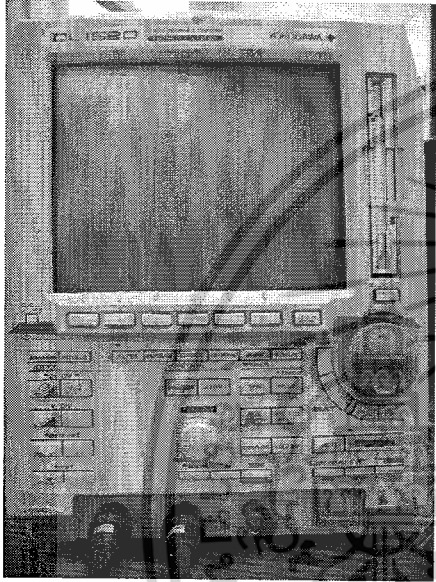
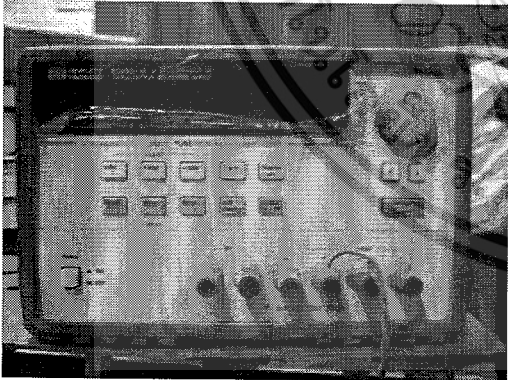
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



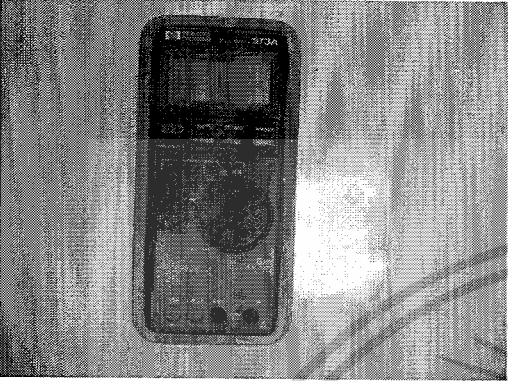

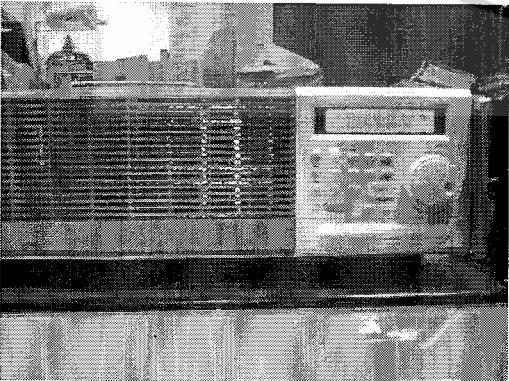
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.


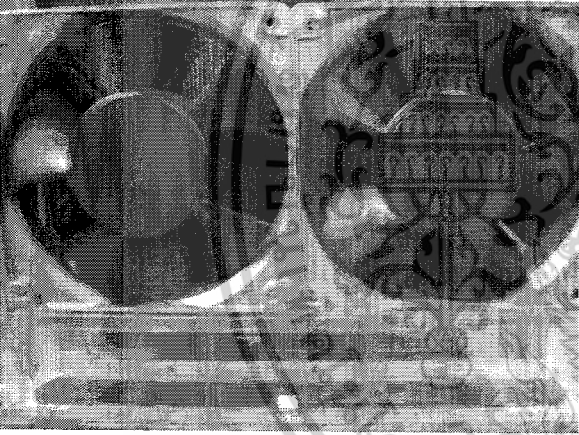

ข้อมูลอุปกรณ์ที่ใช้ในการปฏิบัติและทดสอบ

รูปถ่าย	รายละเอียด
	<p>Ocilascob Digital Storage Sope DL-1520 YOGOGAWA</p>
	<p>Power Supply HEWLETTE 3631A 0-6V,5A/0- 25V,1A Output Dc Power Supply</p>


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปถ่าย	รายละเอียด
	<p>ดิจิตอลมิเตอร์ HEWLETT PACKARD MULTIMETER 973A</p>
	<p>THERMOMETER FLUKE 65 INFRARED</p>
	<p>Electronic Load PLZ603WH 5-500V/0-30A,DC,600W</p>

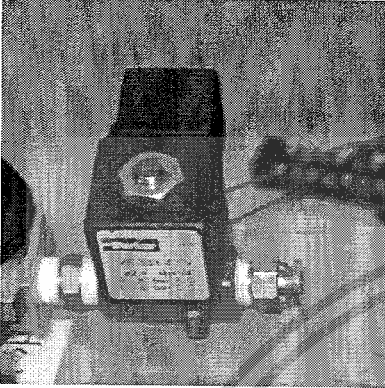
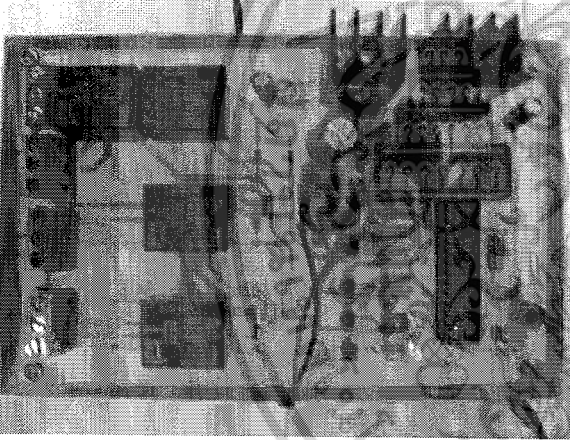
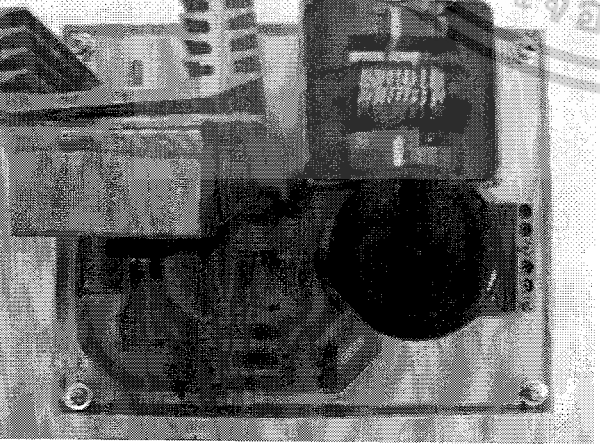
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปถ่าย	รายละเอียด
	<p>Sealed Rechargeable Battery (12V 1.3AH/20HR)</p>
	<p>พัดลมระบายอากาศ 12V</p>
	<p>Blower Oxygen input</p>

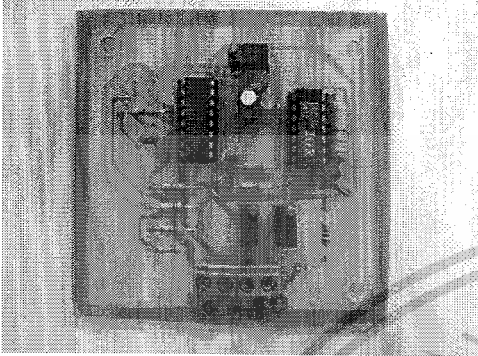
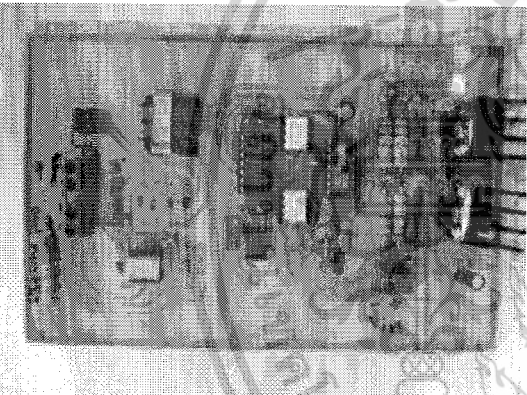
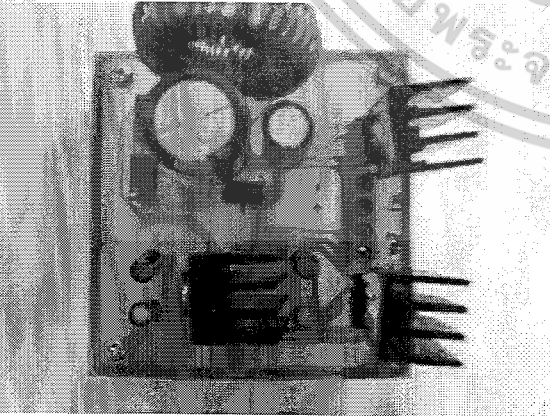
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปถ่าย	รายละเอียด
	<p>ถังใส่ไฮโดรเจน ปริมาณ 700 ลิตร</p>
	<p>วาล์วควบคุมแรงดัน</p>
	<p>วาล์วปรับแรงดัน</p>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปถ่าย	รายละเอียด
	<p>โซลีนอยล์วาล์ว</p>
	<p>วงจรควบคุม</p>
	<p>DC-DC Buck Converter</p>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปถ่าย	รายละเอียด
	<p>TL494 Voltage mode PWM control</p>
	<p>Push pull และ Isolate Transformer</p>
	<p>วงจร Step-Down Voltage Regulator 48V to 15V</p>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปถ่าย	รายละเอียด
	<p>เครสเปล่า</p>
	<p>เซลล์เชื้อเพลิง ขนาด1KW 48V 60เซลล์</p>
	<p>แผ่นไบโพลาร์เพจ ทำหน้าที่กระจาย Hydrogen</p>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.

ข้อมูลอุปกรณ์ที่ใช้ในโครงการ



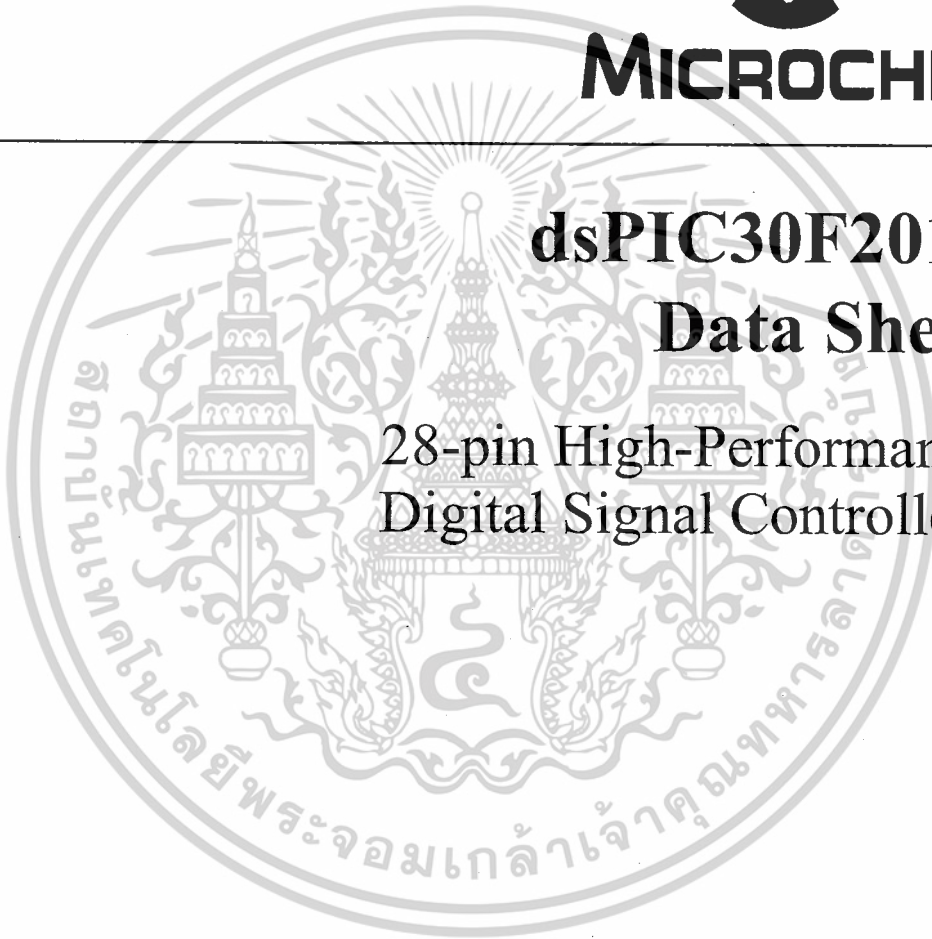
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



MICROCHIP

dsPIC30F2010 Data Sheet

28-pin High-Performance
Digital Signal Controllers



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

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

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

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

Trademarks

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

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

Analog-for-the-Digital Age, Application Maestro, dsPICDEM, dsPICDEM.net, dsPICworks, ECAN, ECONOMONITOR, FanSense, FlexROM, fuzzyLAB, In-Circuit Serial Programming, ICSP, ICEPIC, MPASM, MPLIB, MPLINK, MPSIM, PCKit, PICDEM, PICDEM.net, PICLAB, PICtail, PowerCal, PowerInfo, PowerMate, PowerTool, rLAB, rfPICDEM, Select Mode, Smart Serial, SmartTel and Total Endurance are trademarks of Microchip Technology Incorporated in the U.S.A. and other countries.

SQTP is a service mark of Microchip Technology Incorporated in the U.S.A.

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

© 2004, Microchip Technology Incorporated, Printed in the U.S.A., All Rights Reserved.

 Printed on recycled paper. 11/12/04

**QUALITY MANAGEMENT SYSTEM
CERTIFIED BY DNV
== ISO/TS 16949:2002 ==**

Microchip received ISO/TS-16949:2002 quality system certification for its worldwide headquarters, design and wafer fabrication facilities in Chandler and Tempe, Arizona and Mountain View, California in October 2003. The Company's quality system processes and procedures are for its PICmicro® 8-bit MCUs, KEELOQ® code hopping devices, Serial EEPROMs, microperipherals, non-volatile memory and analog products. In addition, Microchip's quality system for the design and manufacture of development systems is ISO 9001:2000 certified.



dsPIC30F2010

28-pin dsPIC30F2010 Enhanced Flash 16-bit Digital Signal Controller

Note: This data sheet summarizes features of this group of dsPIC30F devices and is not intended to be a complete reference source. For more information on the CPU, peripherals, register descriptions and general device functionality, refer to the *dsPIC30F Family Reference Manual* (DS70046). For more information on the device instruction set and programming, refer to the *dsPIC30F Programmer's Reference Manual* (DS70030).

High-Performance Modified RISC CPU:

- Modified Harvard architecture
- C compiler optimized instruction set architecture
- 84 base instructions with flexible addressing modes
- 24-bit wide instructions, 16-bit wide data path
- 12 Kbytes on-chip Flash program space
- 512 bytes on-chip data RAM
- 1 Kbyte non-volatile data EEPROM
- 16 x 16-bit working register array
- Up to 30 MIPs operation:
 - DC to 40 MHz external clock input
 - 4 MHz-10 MHz oscillator input with PLL active (4x, 8x, 16x)
- 27 interrupt sources
- Three external interrupt sources
- 8 user selectable priority levels for each interrupt
- 4 processor exceptions and software traps

DSP Engine Features:

- Modulo and Bit-Reversed modes
- Two, 40-bit wide accumulators with optional saturation logic
- 17-bit x 17-bit single cycle hardware fractional/integer multiplier
- Single cycle Multiply-Accumulate (MAC) operation
- 40-stage Barrel Shifter
- Dual data fetch

Peripheral Features:

- High current sink/source I/O pins: 25 mA/25 mA
- Three 16-bit timers/counters; optionally pair up 16-bit timers into 32-bit timer modules
- Four 16-bit Capture input functions
- Two 16-bit Compare/PWM output functions
 - Dual Compare mode available
- 3-wire SPI™ modules (supports 4 Frame modes)
- I²C™ module supports Multi-Master/Slave mode and 7-bit/10-bit addressing
- Addressable UART modules with FIFO buffers

Motor Control PWM Module Features:

- 6 PWM output channels
 - Complementary or Independent Output modes
 - Edge and Center Aligned modes
- 4 duty cycle generators
- Dedicated time base with 4 modes
- Programmable output polarity
- Dead time control for Complementary mode
- Manual output control
- Trigger for synchronized A/D conversions

Quadrature Encoder Interface Module Features:

- Phase A, Phase B and Index Pulse input
- 16-bit up/down position counter
- Count direction status
- Position Measurement (x2 and x4) mode
- Programmable digital noise filters on inputs
- Alternate 16-bit Timer/Counter mode
- Interrupt on position counter rollover/underflow

Analog Features:

- 10-bit Analog-to-Digital Converter (A/D) with:
 - 500 Ksps (for 10-bit A/D) conversion rate
 - Six input channels
 - Conversion available during Sleep and Idle
- Programmable Brown-out Detection and Reset generation

dsPIC30F2010

Special Microcontroller Features:

- Enhanced Flash program memory:
 - 10,000 erase/write cycle (min.) for industrial temperature range, 100K (typical)
- Data EEPROM memory:
 - 100,000 erase/write cycle (min.) for industrial temperature range, 1M (typical)
- Self-reprogrammable under software control
- Power-on Reset (POR), Power-up Timer (PWRT) and Oscillator Start-up Timer (OST)
- Flexible Watchdog Timer (WDT) with on-chip low power RC oscillator for reliable operation
- Fail-Safe clock monitor operation

- Detects clock failure and switches to on-chip low power RC oscillator
- Programmable code protection
- In-Circuit Serial Programming™ (ICSP™)
- Selectable Power Management modes
 - Sleep, Idle and Alternate Clock modes

CMOS Technology:

- Low power, high speed Flash technology
- Wide operating voltage range (2.5V to 5.5V)
- Industrial and Extended temperature ranges
- Low power consumption

dsPIC30F Motor Control and Power Conversion Family*

Device	Pins	Program Mem. Bytes/Instructions	SRAM Bytes	EEPROM Bytes	Timer 16-bit	Input Cap	Output Comp/Std PWM	Motor Control PWM	A/D 10-bit 500 Ksps	Quad Enc	UART	SPI™	I ² C™	CAN
dsPIC30F2010	28	12K/4K	512	1024	3	4	2	6 ch	6 ch	Yes	1	1	1	–
dsPIC30F3010	28	24K/8K	1024	1024	5	4	2	6 ch	6 ch	Yes	1	1	1	–
dsPIC30F4012	28	48K/16K	2048	1024	5	4	2	6 ch	6 ch	Yes	1	1	1	1
dsPIC30F3011	40/44	24K/8K	1024	1024	5	4	4	6 ch	9 ch	Yes	2	1	1	–
dsPIC30F4011	40/44	48K/16K	2048	1024	5	4	4	6 ch	9 ch	Yes	2	1	1	1
dsPIC30F5015	64	66K/22K	2048	1024	5	4	4	8 ch	16 ch	Yes	1	2	1	1
dsPIC30F6010	80	144K/48K	8192	4096	5	8	8	8 ch	16 ch	Yes	2	2	1	2

* This table provides a summary of the dsPIC30F2010 peripheral features. Other available devices in the dsPIC30F Motor Control and Power Conversion Family are shown for feature comparison.

Régulateur de pression miniature
G $\frac{1}{8}$ et G $\frac{1}{4}$

- **Bouton de réglage à faible couple, verrouillable par enfouissement**
Avec condamnation de sécurité en option
- **Plein débit sur les orifices pour manomètres, en standard**
- **Montage sur panneau ou par équerre de fixation.**
- **Soupape de décharge intégrée permettant de régler la pression secondaire, même en cas de circuit sans consommation d'air.**


Caractéristiques techniques
Fluide :

Air comprimé

Orifices :

 G $\frac{1}{8}$ - G $\frac{1}{4}$
Pression primaire maxi :

2000 kPa (20 bar)

Température d'utilisation :

maxi + 65°C

Pression de sortie :

30 à 700 kPa (0,3 à 7 bar) standard

10 à 70 kPa (0,1 à 0,7 bar) en option

30 à 350 kPa (0,3 à 3,5 bar) en option

30 à 1000 kPa (0,3 à 10 bar) en option

Réglage :

Par bouton avec blocage.

Orifices pour manomètre :

 Rc $\frac{1}{8}$

Manomètre toujours à commander séparément, voir dernière page

**Débit maxi pour une pression d'entrée de 1000 kPa (10 bar),
une pression de sortie de 630 kPa (6,3 bar) et une chute de
pression de 100 kPa (1 bar) :**

 7,5 dm³/s

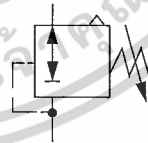
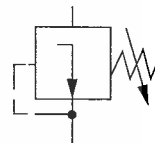
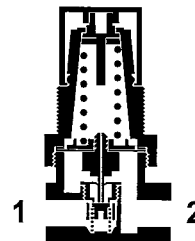
Matériaux :

 Corps en zamak. Bouton de réglage en résine acétal. Joints
en caoutchouc synthétique.

Pour commander

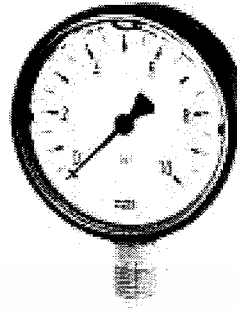
 Pour un appareil standard, indiquer la référence
sélectionnée dans le tableau au verso.

 Pour un appareil non standard remplacer les
caractères de la référence suivant les indica-
tions des modèles en option.

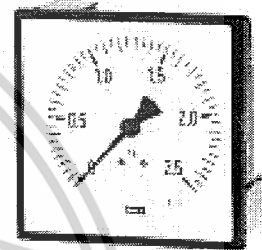
Symboles ISO

 Avec soupape
de décharge

 Sans soupape
de décharge


MANOMETRES STANDARD
Type B: manomètres de base

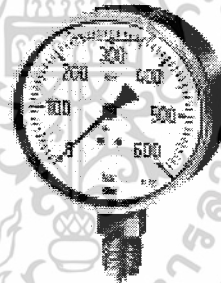
- Modèles disponibles:
- **G1B:** raccordement à l'arrière Ø 40, 50, 63
- **G2B:** raccordement en dessous Ø 40, 50, 63
- **G3B:** montage sur panneau par étrier Ø 50, 63
- **G7B:** montage sur panneau par colerette Ø 50, 63


Type M: manomètres en métal

- Modèles disponibles:
- **G1M:** raccordement à l'arrière Ø 100
- **G2M:** raccordement en dessous Ø 100
- **G3M:** montage sur panneau par étrier Ø 100
- **G7M:** montage sur panneau par colerette Ø 100


Type G: manomètres à glycérine

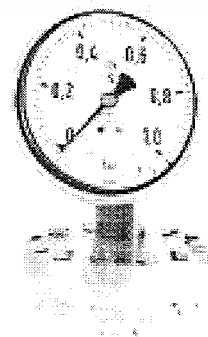
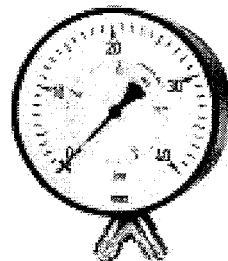
- Modèles disponibles:
- **G1G:** raccordement à l'arrière Ø 63, 100
- **G2G:** raccordement en dessous Ø 63, 100
- **G3G:** montage sur panneau par étrier Ø 63, 100
- **G7G:** montage sur panneau par colerette Ø 63, 100


Type R: manomètres en acier inoxydable

Exécutions entièrement en acier inoxydable Ø 63, 100 ou 160 mm disponibles avec différents raccordements et pressions. Quelques modèles en stock, veuillez nous consulter.

EXECUTIONS SPECIALES

- En métal ou à la glycérine, avec un ou plusieurs contacts électriques
- De très grande précision
- Pour très basses ou très hautes pressions
- A différentiel
- Etanches
- A membrane, capsule ou soufflet
- Electroniques de précision



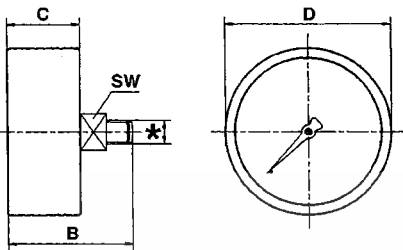


Manomètres

Données techniques, numéros de type et dimensions

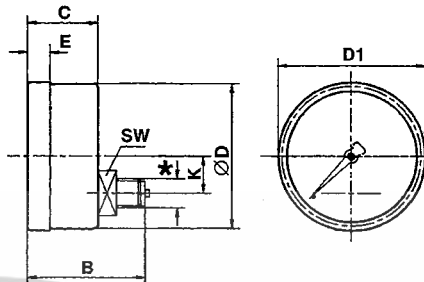
G1

Type **B**: \varnothing 40, 50 ou 63
Type **G**: \varnothing 63



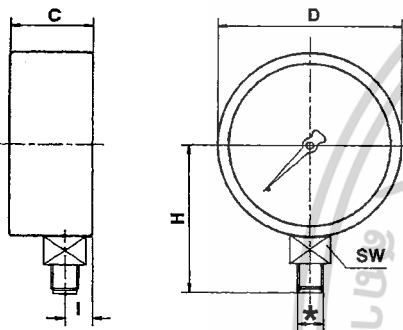
G1

Type **M**: \varnothing 100
Type **G**: \varnothing 100



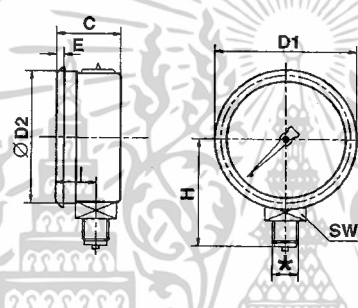
G2

Type **B**: \varnothing 40, 50 ou 63



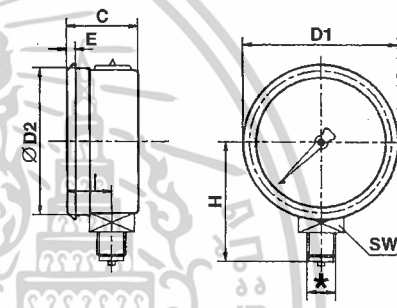
G2

Type **G**: \varnothing 63



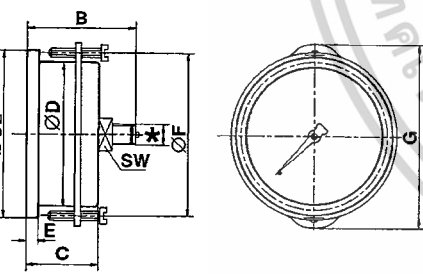
G2

Type **M**: \varnothing 100
Type **G**: \varnothing 100



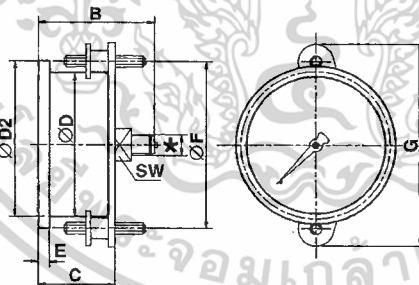
G3

Type **B**: \varnothing 50 ou 63
Type **M**: \varnothing 63



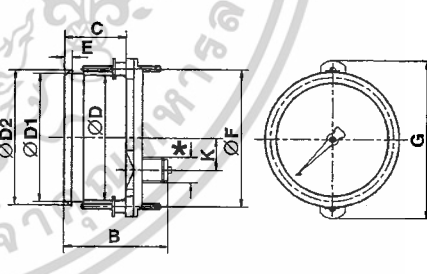
G3

Type **G**: \varnothing 63



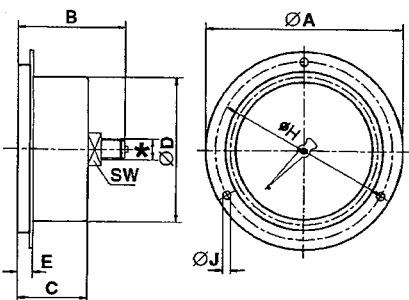
G3

Type **M**: \varnothing 100
Type **G**: \varnothing 100



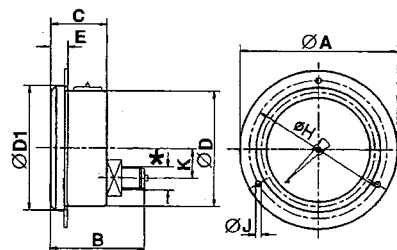
G7

Type **B**: \varnothing 50 ou 63
Type **G**: \varnothing 63



G7

Type **M**: \varnothing 100
Type **G**: \varnothing 100



Voir tableau des types disponibles page 10.3.001-04

เอ็กสาร์ทเป็นบริษัทที่ผลิตสินค้าสำหรับผู้ใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้วยวิธีการ

0.3.001.02
4.9.080-2
4.4.1-2

Dimensions en mm - Sous réserve de modifications

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอ็กสาร์ททุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SOFT.03/98



Données techniques, numéros de type et dimensions

Graduations disponibles: voir tableau page 10.3.001.04

B = MANOMETRES DE BASE

- **Matériaux utilisés:**
raccord en laiton
* 1/8" BSP pour Ø 40 et 50 mm
* 1/4" BSP pour Ø 63 mm
sur demande pour quantités "NPT"
- tube manométrique en bronze
- boîtier et cadran en ABS
- **Répétitivité:**
± 1,6% classe suivant DIN 16005
- **Applications:**
pour tous fluides non-corrosifs
entre -20°C et +60°C (fluide max. +60°C)

M = MANOMETRES EN METAL

- **Matériaux utilisés:**
raccord en laiton 1/8" BSP
(sur demande NPT)
- tube manométrique en bronze
- voyant en PMMA plastique
- boîtier acier inoxydable
(AISI 304)
- **Répétitivité:**
± 1% classe suivant DIN 16005
- **Applications:**
pour tous fluides non-corrosifs
entre -20°C et +60°C (fluide max. +60°C)

G = MANOMETRES A GLYCERINE

- **Matériaux utilisés:**
raccord en laiton
* 1/4" BSP ou NPT pour Ø 63 mm
* 1/2" BSP ou NPT pour Ø 100 mm
- boîtier et cadran en ABS pour Ø 63 mm
- boîtier en acier inoxydable (AISI 304) pour Ø 100 mm
- voyant en PMMA plastique pour Ø 100 mm
- tube manométrique en bronze
- **Répétitivité:**
± 1,6% classe suivant DIN 16005 pour Ø 63 mm
± 1% classe suivant DIN 16005 pour Ø 100 mm
- **Applications:**
en cas de vibrations, pulsations et chocs pour
tous fluides non-corrosifs entre -20°C et +60°C
(fluide max. +60°C)

Dimensions type B

Type	Ø	A	B	C	D	D1	D2	E	F	G*	H	I	J	K	SW
G1B43	40		44	26	41										14
G2B43	40			23	41						36	8			12
G1B53	50		48	27	50										14
G2B53	50			27	50										14
G1B63	63		49	28	63						45	10			14
G2B63	63			28	63										14
G3B50	50		49	27	50		54	4,5	57	66	54	10			14
G7B50	50	71	49	27	50			6			60		3,5		14
G3B63	63		47	29	63		68	4,5	70	79					14
G7B63	63	85	47	29	63			6					3,5		14

Dimensions type M

Type	Ø	A	B	C	D	D1	D2	E	F	G*	H	I	J	K	SW
G1M100	100		82	48	99	101		17						30	22
G2M100	100			50	99	101	99	17			118	16			22
G3M100	100		82	50	99	101	107	5	109	125				30	22
G7M100	100	132	82	50	99			8			116		5	30	22

Dimensions type G

Type	Ø	A	B	C	D	D1	D2	E	F	G*	H	I	J	K	SW
G1G63	63		54	30	63										14
G2G63	63			27	63	68	63	5			54	12			14
G3G63	63		54	33	63	68		5	72	87					14
G7G63	63	85	54	30	63			9					3,5		14
G1G100	100		81	48	99	107		9						30	14
G2G100	100			48	99	107	100	8			87	16			22
G3G100	100		81	48	99	99	107	9	109	125				30	22
G7G100	100	132	81	48	99			10			116		5	30	22

* Raccordement: voir tableau des types disponibles page 10.3.001.04

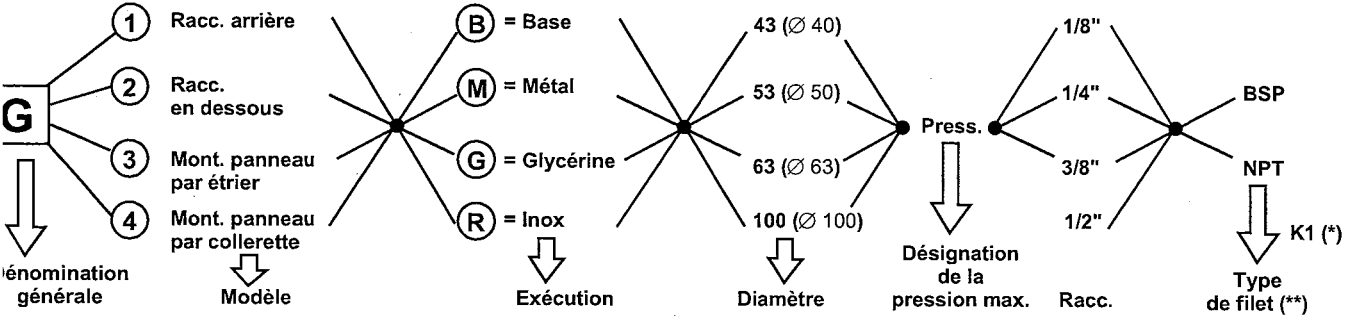
Remarque générale: Exécutions spéciales (pour grandes quantités):
- personnalisées au nom de firme, marque, logo
- possibilité d'impression jusqu'à 5 couleurs
- échelles avec indication mini-maxi.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้วยการค้า



Manomètres

Code des numéros de types:



(*) K1 = désignation spéciale Classe 1 uniquement pour Ø 100.

(**) Sans aucune mention, nous fournissons en BSP.

Pour les modèles standard (voir tableau des types disponibles ci-dessous) l'indication "raccordement en BSP" tombe dans le n° de type. Mentionner "K1" uniquement pour les Ø 100 mm.

Remarque: Toutes les combinaisons mentionnées ci-dessus ne sont pas possibles, voir d'abord le tableau ci-dessous pour les manomètres en stock ou consultez-nous pour les exécutions spéciales.

- Ex. de commande:
- 1) Manomètre standard Ø 40 mm, pression 0 à 10 bar, raccordement 1/8" BSP: **G1B4310**
 - 2) Manomètre à glycérine, Ø 100 mm, pression 0 à 60 bar, raccordement 1/2" BSP pour montage sur panneau: **G3G10060K1**
 - 3) Manomètre en inox Ø 63 mm, pression 0 à 10 bar, raccordement 1/4" NPT pour montage sur panneau: **G7R63101/4NPT**

Tableau des types disponibles (autres modèles sur demande)

Code: = en stock = sur demande (avec délai)

Type	Pression en bar	Pression en bar																									
		-1 à 0	-1 à +1,5	-1 à +3	-1 à +5	0 à 2	0 à 7	1000 kPa	0 à 0,6	0 à 1	0 à 1,6	0 à 2,5	0 à 4	0 à 6	0 à 10	0 à 16	0 à 25	0 à 40	0 à 60	0 à 100	0 à 160	0 à 250	0 à 400	0 à 600	0 à 1000		
G1B43	1/8"																										
G1B53	1/8"																										
G1G63	1/4"																										
G1G100	1/2"																										
G1B63	1/4"																										
G1M100	1/2"																										
G2B43	1/8"																										
G2B53	1/8"																										
G2G63	1/4"																										
G2G100	1/2"																										
G2B63	1/4"																										
G2M100	1/2"																										
G3G63	1/4"																										
G3G100	1/2"																										
G3B63*	1/4"																										
G3M100	1/2"																										
G7B50	1/8"																										
G7B50	1/8"																										
G7G63	1/4"																										
G7B63*	1/4"																										
G7G100	1/2"																										
G7M100	1/2"																										

Pour autres échelles, nous consulter.

* Exceptionnellement en 1/8" jusqu'à épaisseur du stock.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

**NOT RECOMMENDED FOR NEW DESIGNS
POSSIBLE SUBSTITUTE PRODUCT
IRFP150N**

40A, 100V, 0.055 Ohm, N-Channel Power MOSFET

This N-Channel enhancement mode silicon gate power field effect transistor is an advanced power MOSFET designed, tested, and guaranteed to withstand a specified level of energy in the breakdown avalanche mode of operation. All of these power MOSFETs are designed for applications such as switching regulators, switching converters, motor drivers, relay drivers, and drivers for high power bipolar switching transistors requiring high speed and low gate drive power. These types can be operated directly from integrated circuits.

Formerly developmental type TA17431.

Ordering Information

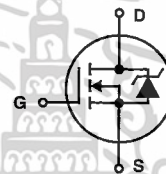
PART NUMBER	PACKAGE	BRAND
IRFP150	TO-247	IRFP150

NOTE: When ordering, include the entire part number.

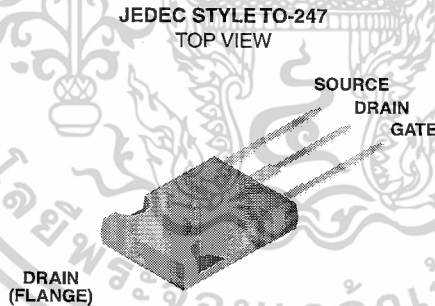
Features

- 40A, 100V
- $r_{DS(ON)} = 0.055\Omega$
- Single Pulse Avalanche Energy Rated
- SOA is Power Dissipation Limited
- Nanosecond Switching Speeds
- Linear Transfer Characteristics
- High Input Impedance
- Related Literature
 - TB334 "Guidelines for Soldering Surface Mount Components to PC Boards"

Symbol



Packaging



IRFP150

Absolute Maximum Ratings $T_C = 25^\circ\text{C}$, Unless Otherwise Specified

	IRFP150	UNITS
Drain to Source Voltage (Note 1)	V_{DS}	100 V
Drain to Gate Voltage ($R_{GS} = 20k\Omega$) (Note 1)	V_{DGR}	100 V
Continuous Drain Current	I_D	40 A
$T_C = 100^\circ\text{C}$	I_D	26 A
Pulsed Drain Current (Note 3)	I_{DM}	160 A
Gate to Source Voltage	V_{GS}	± 20 V
Maximum Power Dissipation	P_D	180 W
Linear Derating Factor		1.44 $W/^\circ\text{C}$
Single Pulse Avalanche Energy Rating (Note 4)	E_{AS}	150 mJ
Operating and Storage Temperature	T_J, T_{STG}	-55 to 150 $^\circ\text{C}$
Maximum Temperature for Soldering		
Leads at 0.063in (1.6mm) from Case for 10s	T_L	300 $^\circ\text{C}$
Package Body for 10s, See Techbrief 334	T_{pkg}	260 $^\circ\text{C}$

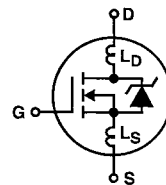
CAUTION: Stresses above those listed in "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. This is a stress only rating and operation of the device at these or any other conditions above those indicated in the operational sections of this specification is not implied.

NOTE:

- $T_J = 25^\circ\text{C}$ to 125°C .

Electrical Specifications $T_C = 25^\circ\text{C}$, Unless Otherwise Specified

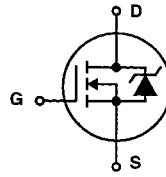
PARAMETER	SYMBOL	TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
Drain to Source Breakdown Voltage	BV_{DSS}	$V_{GS} = 0V, I_D = 250\mu\text{A}$ (Figure 10)	100	-	-	V
Gate to Threshold Voltage	$V_{GS(TH)}$	$V_{GS} = V_{DS}, I_D = 250\mu\text{A}$	2.0	-	4.0	V
Zero-Gate Voltage Drain Current	I_{DSS}	$V_{DS} = \text{Rated } BV_{DSS}, V_{GS} = 0V$	-	-	25	μA
		$V_{DS} > 0.8 \times \text{Rated } BV_{DSS}, V_{GS} = 0V, T_J = 125^\circ\text{C}$	-	-	250	μA
On-State Drain Current (Note 2)	$I_{D(ON)}$	$V_{DS} > I_{D(ON)} \times t_{DS(ON)MAX}, V_{GS} = 10V$	40	-	-	A
Gate to Source Leakage	I_{GSS}	$V_{GS} = \pm 20V$	-	-	± 100	nA
Drain to Source On Resistance (Note 2)	$r_{DS(ON)}$	$V_{GS} = 10V, I_D = 22A$ (Figures 8, 9)	-	0.045	0.055	Ω
Forward Transconductance (Note 2)	g_{fs}	$V_{DS} \geq 20V, I_D = 20A$ (Figure 12)	13	20	-	S
Turn-On Delay Time	$t_{D(ON)}$	$V_{DD} = 50V, I_D = 40A, R_{GS} = 6.8\Omega, R_L = 1.2\Omega$	-	15	24	ns
Rise Time	t_r	MOSFET Switching Times are Essentially Independent of Operating Temperature	-	140	210	ns
Turn-Off Delay Time	$t_{D(OFF)}$		-	60	89	ns
Fall Time	t_f		-	90	140	ns
Total Gate Charge (Gate to Source + Gate to Drain)	$Q_g(TOT)$	$V_{GS} = 10V, I_D = 40A, V_{DS} = 0.8 \times \text{Rated } BV_{DSS}, I_{g(REF)} = 1.5mA$ (Figure 14)	-	70	110	nC
Gate to Source Charge	Q_{gs}	Gate Charge is Essentially Independent of Operating Temperature	-	20	-	nC
Gate to Drain "Miller" Charge	Q_{gd}		-	30	-	nC
Input Capacitance	C_{ISS}	$V_{GS} = 0V, V_{DS} = 25V, f = 1.0MHz$ (Figure 11)	-	2000	-	pF
Output Capacitance	C_{OSS}		-	1000	-	pF
Reverse-Transfer Capacitance	C_{RSS}		-	350	-	pF
Internal Drain Inductance	L_D	Measured from the Drain Lead, 6mm (0.25in) from the Package to the Center of the Die	-	5.0	-	nH
Internal Source Inductance	L_S	Measured from the Source Lead, 6mm (0.25in) from the Header to the Source Bonding Pad	-	12.5	-	nH
Junction to Case	$R_{\theta JC}$		-	-	0.70	$^\circ\text{C/W}$
Junction to Ambient	$R_{\theta JA}$	Free Air Operation	-	-	30	$^\circ\text{C/W}$



IRFP150

Source to Drain Diode Specifications

PARAMETER	SYMBOL	TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
Continuous Source to Drain Current	I_{SD}	Modified MOSFET	-	-	40	A
Pulse Source to Drain Current (Note 3)	I_{SDM}	Symbol Showing the Integral Reverse P-N Junction Diode	-	-	170	A
Source to Drain Diode Voltage (Note 2)	V_{SD}	$T_J = 25^\circ\text{C}$, $I_{SD} = 40\text{A}$, $V_{GS} = 0\text{V}$ (Figure 13)	-	-	2.5	V
Reverse Recovery Time	t_{rr}	$T_J = 25^\circ\text{C}$, $I_{SD} = 40\text{A}$, $dI_{SD}/dt = 100\text{A}/\mu\text{s}$	98	-	530	ns
Reverse Recovered Charge	Q_{RR}	$T_J = 25^\circ\text{C}$, $I_{SD} = 40\text{A}$, $dI_{SD}/dt = 100\text{A}/\mu\text{s}$	0.41	-	2.5	μC



NOTES:

2. Pulse Test: Pulse width $\leq 300\mu\text{s}$, duty cycle $\leq 2\%$.
3. Repetitive Rating: Pulse width limited by Max junction temperature. See Transient Thermal Impedance curve (Figure 3).
4. $V_{DD} = 10\text{V}$, starting $T_J = 25^\circ\text{C}$, $L = 170\mu\text{H}$, $R_G = 50\Omega$, Peak $I_{AS} = 40\text{A}$.

Typical Performance Curves Unless Otherwise Specified

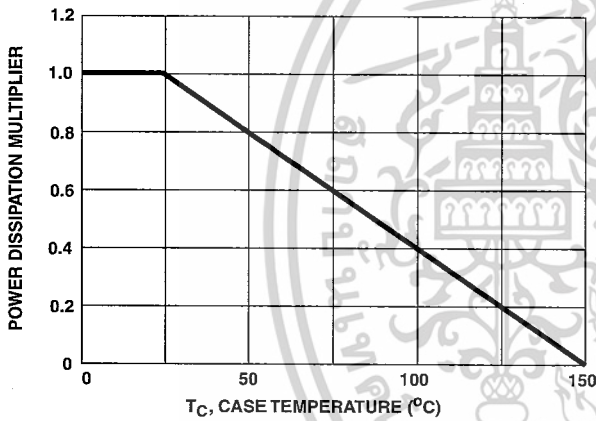


FIGURE 1. NORMALIZED POWER DISSIPATION vs CASE TEMPERATURE

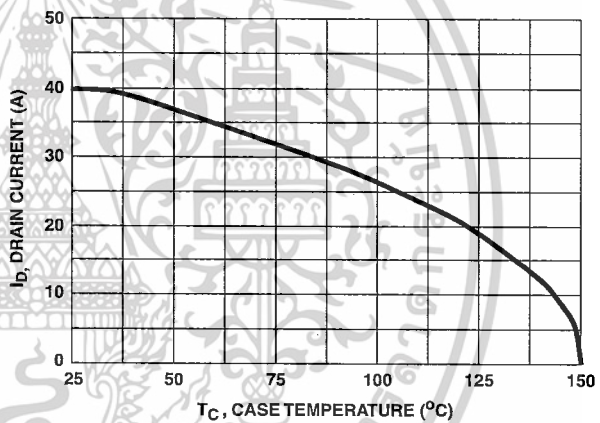


FIGURE 2. MAXIMUM CONTINUOUS DRAIN CURRENT vs CASE TEMPERATURE

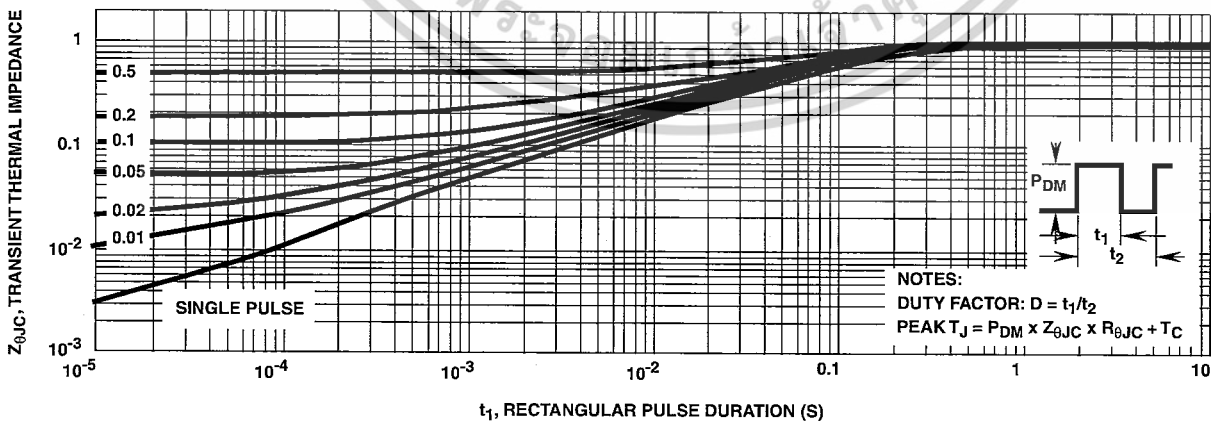


FIGURE 3. NORMALIZED MAXIMUM TRANSIENT THERMAL IMPEDANCE

Typical Performance Curves Unless Otherwise Specified (Continued)

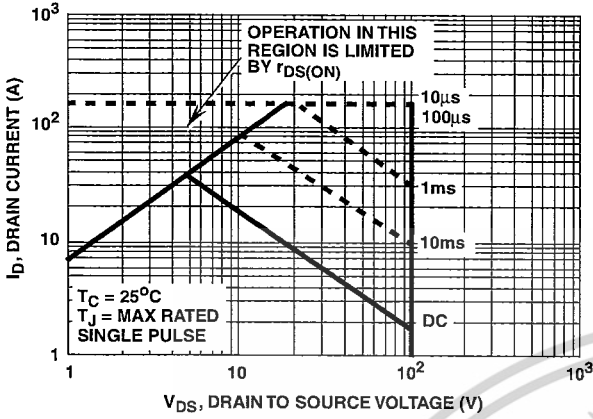


FIGURE 4. FORWARD BIAS SAFE OPERATING AREA

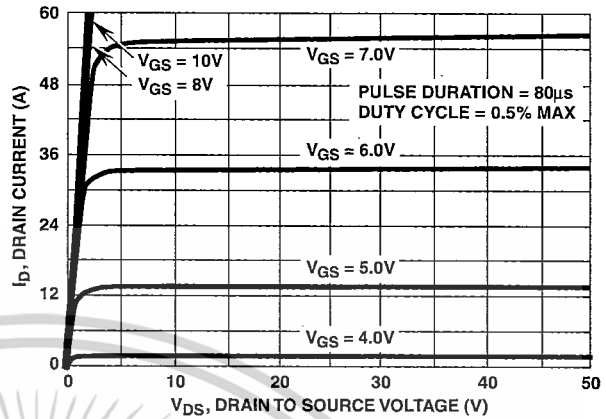


FIGURE 5. OUTPUT CHARACTERISTICS

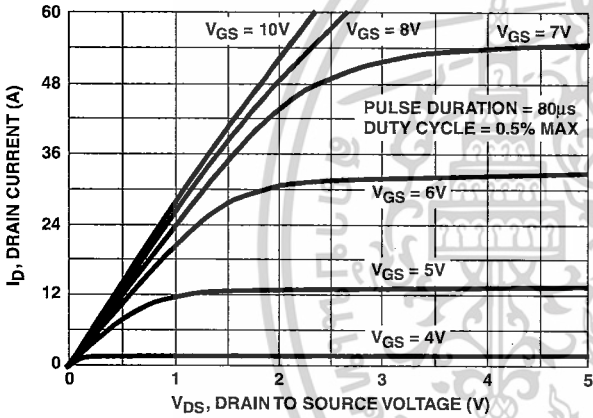


FIGURE 6. SATURATION CHARACTERISTICS

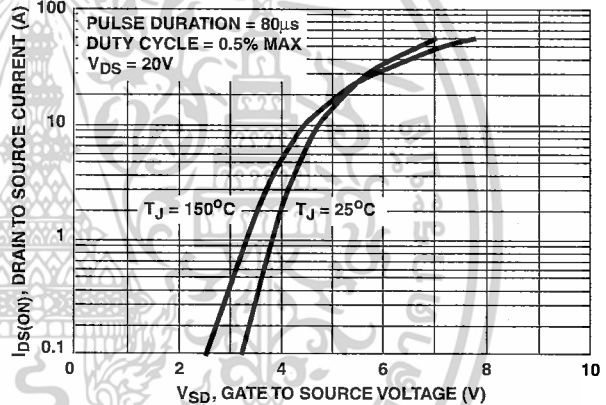


FIGURE 7. TRANSFER CHARACTERISTICS

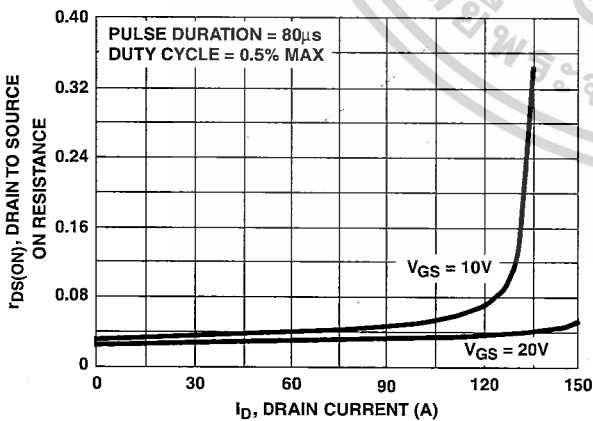


FIGURE 8. DRAIN TO SOURCE ON RESISTANCE vs GATE VOLTAGE AND DRAIN CURRENT

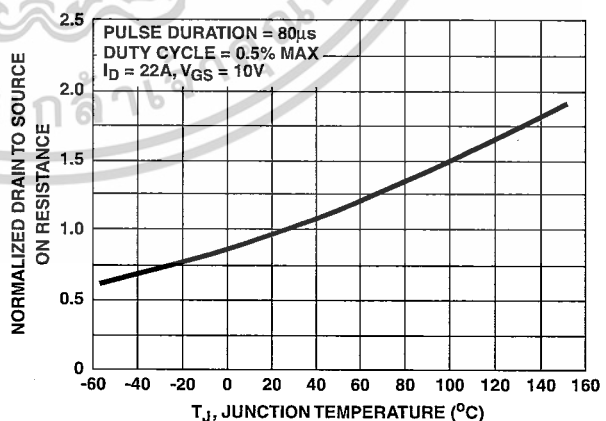


FIGURE 9. NORMALIZED DRAIN TO SOURCE ON RESISTANCE vs JUNCTION TEMPERATURE

IRFP150

Typical Performance Curves Unless Otherwise Specified (Continued)

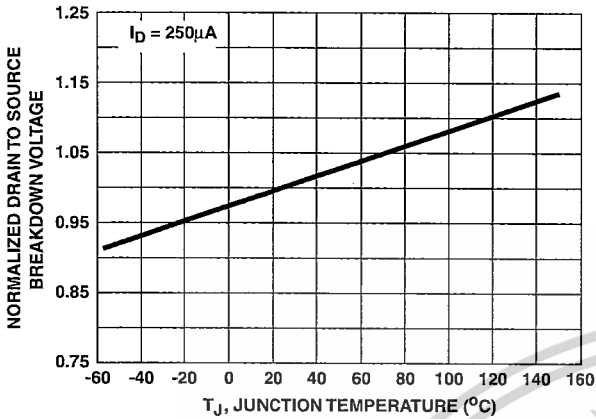


FIGURE 10. NORMALIZED DRAIN TO SOURCE BREAKDOWN VOLTAGE vs JUNCTION TEMPERATURE

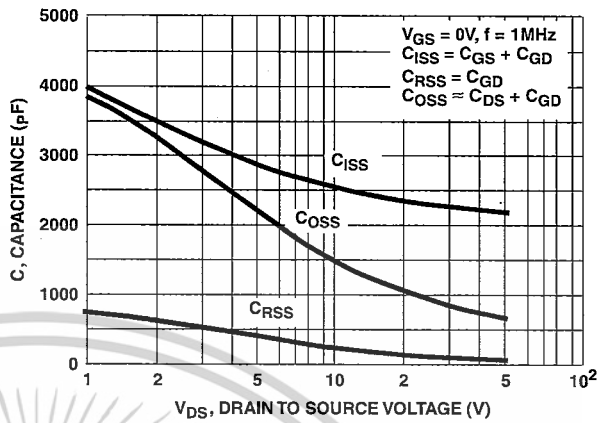


FIGURE 11. CAPACITANCE vs DRAIN TO SOURCE VOLTAGE

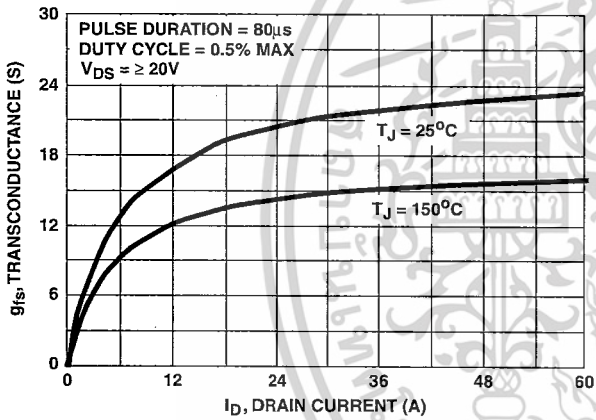


FIGURE 12. TRANSCONDUCTANCE vs DRAIN CURRENT

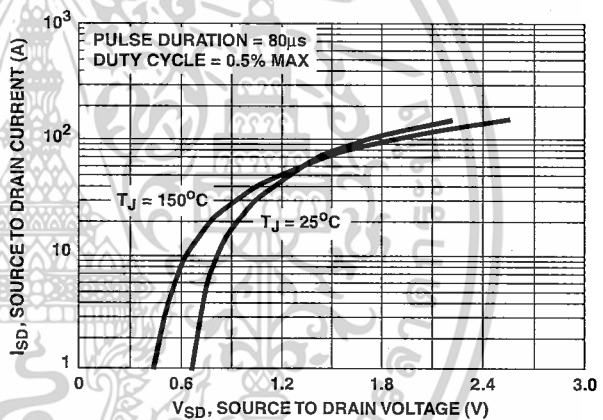


FIGURE 13. SOURCE TO DRAIN DIODE VOLTAGE

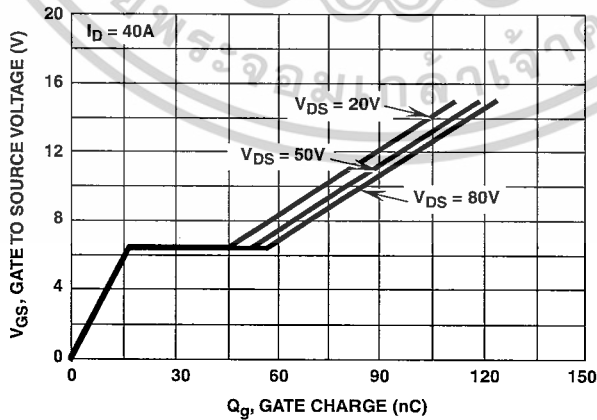


FIGURE 14. GATE TO SOURCE VOLTAGE vs GATE CHARGE

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)

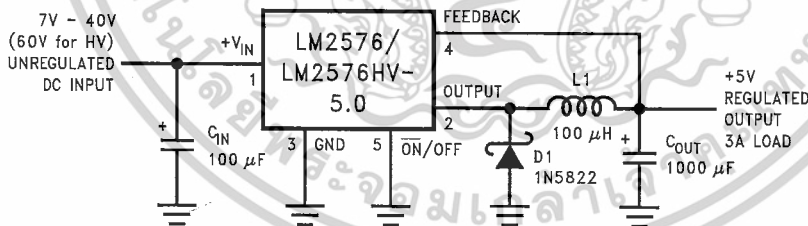
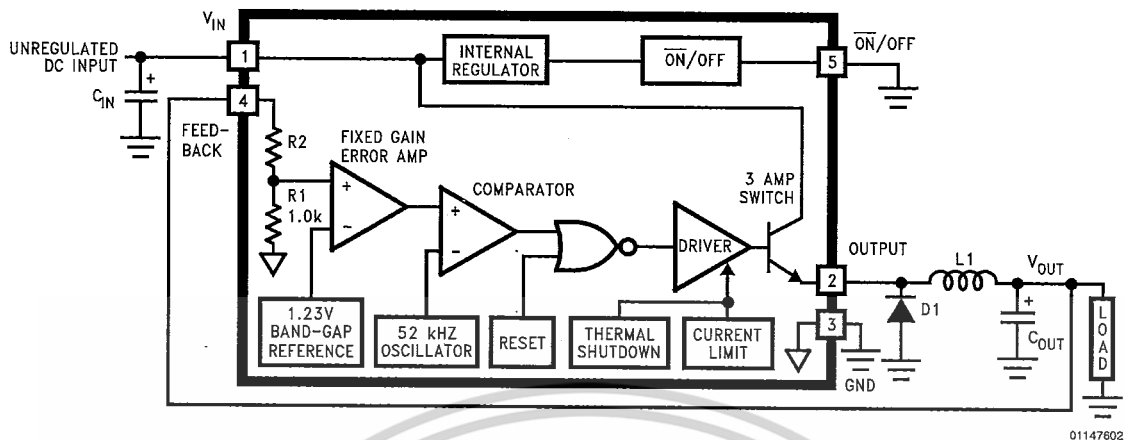


FIGURE 1.

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	Tape & Reel	
	LM2576SX-3.3	LM2576SX-5.0	LM2576SX-12	LM2576SX-15	LM2576SX-ADJ		
	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	Flow LB03			

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

Minimum ESD Rating

(C = 100 pF, R = 1.5 k Ω)

2 kV

Lead Temperature

(Soldering, 10 Seconds)

260°C

Operating Ratings

Temperature Range

LM2576/LM2576HV

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

Supply Voltage

LM2576

40V

LM2576HV

60V

LM2576-3.3, LM2576HV-3.3**Electrical Characteristics**

Specifications with standard type face are for $T_{\text{J}} = 25^{\circ}\text{C}$, 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	$V_{\text{IN}} = 12\text{V}$, $I_{\text{LOAD}} = 0.5\text{A}$ Circuit of <i>Figure 2</i>	3.3	3.234 3.366	V V(Min) V(Max)
V_{OUT}	Output Voltage LM2576	$6\text{V} \leq V_{\text{IN}} \leq 40\text{V}$, $0.5\text{A} \leq I_{\text{LOAD}} \leq 3\text{A}$ 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	$6\text{V} \leq V_{\text{IN}} \leq 60\text{V}$, $0.5\text{A} \leq I_{\text{LOAD}} \leq 3\text{A}$ Circuit of <i>Figure 2</i>	3.3	3.168/ 3.135 3.450/ 3.482	V V(Min) V(Max)
η	Efficiency	$V_{\text{IN}} = 12\text{V}$, $I_{\text{LOAD}} = 3\text{A}$	75		%

LM2576-5.0, LM2576HV-5.0**Electrical Characteristics**

Specifications with standard type face are for $T_{\text{J}} = 25^{\circ}\text{C}$, 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	$V_{\text{IN}} = 12\text{V}$, $I_{\text{LOAD}} = 0.5\text{A}$ Circuit of <i>Figure 2</i>	5.0	4.900 5.100	V V(Min) V(Max)
V_{OUT}	Output Voltage LM2576	$0.5\text{A} \leq I_{\text{LOAD}} \leq 3\text{A}$, $8\text{V} \leq V_{\text{IN}} \leq 40\text{V}$ Circuit of <i>Figure 2</i>	5.0	4.800/ 4.750 5.200/ 5.250	V V(Min) V(Max)
V_{OUT}	Output Voltage LM2576HV	$0.5\text{A} \leq I_{\text{LOAD}} \leq 3\text{A}$, $8\text{V} \leq V_{\text{IN}} \leq 60\text{V}$ 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	ON /OFF Pin = 5V (OFF)	50	200	μA $\mu\text{A}(\text{Max})$

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	30	μA
I_{IL}		ON /OFF Pin = 0V (ON)	0	10	μA

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 1/2 inch leads in a socket, or on a PC board with minimum copper area.

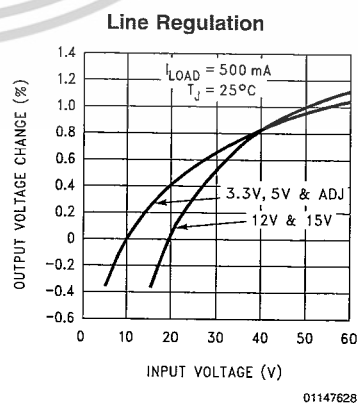
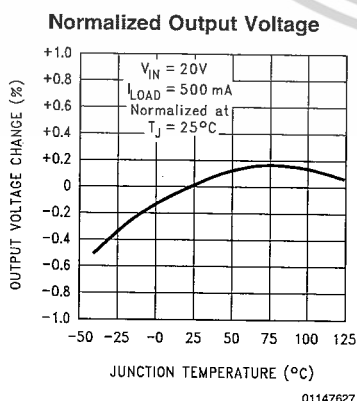
Note 9: Junction to ambient thermal resistance (no external heat sink) for the 5 lead TO-220 package mounted vertically, with 1/4 inch leads soldered to a PC board containing approximately 4 square inches of copper area surrounding the leads.

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)



MC78XX/LM78XX/MC78XXA

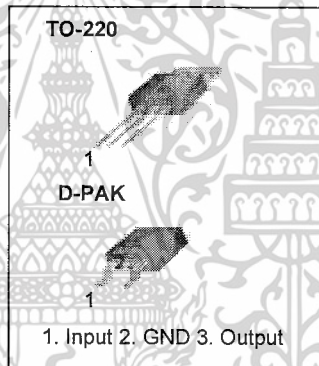
3-Terminal 1A Positive Voltage Regulator

Features

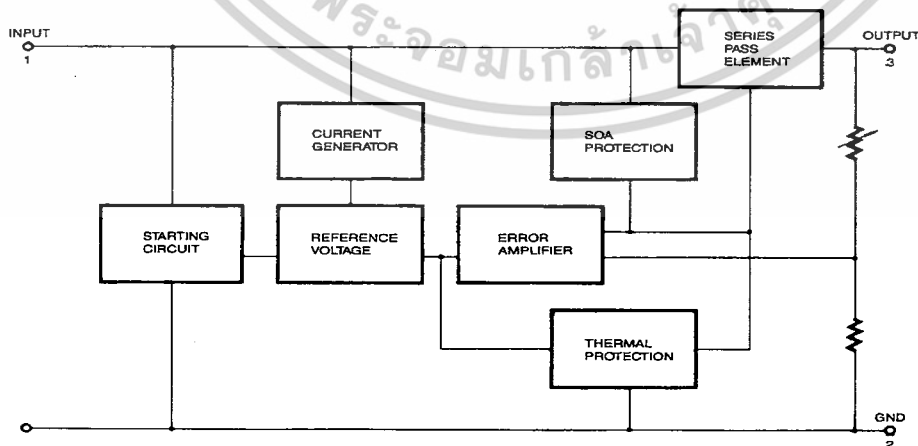
- Output Current up to 1A
- Output Voltages of 5, 6, 8, 9, 10, 12, 15, 18, 24V
- Thermal Overload Protection
- Short Circuit Protection
- Output Transistor Safe Operating Area Protection

Description

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



Internal Block Diagram



Rev. 1.0.1

Absolute Maximum Ratings

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

Electrical Characteristics (MC7805/LM7805)

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

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

Note:

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

Electrical Characteristics (MC7806)

(Refer to test circuit ,0°C < T_J < 125°C, I_O = 500mA, V_I = 11V, C_I = 0.33μF, C_O = 0.1μF, unless otherwise specified)

Parameter	Symbol	Conditions	MC7806			Unit	
			Min.	Typ.	Max.		
Output Voltage	V _O	T _J = +25 °C	5.75	6.0	6.25	V	
		5.0mA ≤ I _O ≤ 1.0A, P _O ≤ 15W V _I = 8.0V to 21V	5.7	6.0	6.3		
Line Regulation (Note1)	Regline	T _J = +25 °C	V _I = 8V to 25V	-	5	120	mV
			V _I = 9V to 13V	-	1.5	60	
Load Regulation (Note1)	Regload	T _J = +25 °C	I _O = 5mA to 1.5A	-	9	120	mV
			I _O = 250mA to 750A	-	3	60	
Quiescent Current	I _Q	T _J = +25 °C	-	5.0	8.0	mA	
Quiescent Current Change	ΔI _Q	I _O = 5mA to 1A V _I = 8V to 25V	-	-	0.5	mA	
			-	-	1.3		
Output Voltage Drift	ΔV _O /ΔT	I _O = 5mA	-	-0.8	-	mV/°C	
Output Noise Voltage	V _N	f = 10Hz to 100KHz, T _A = +25 °C	-	45	-	μV/V _O	
Ripple Rejection	RR	f = 120Hz V _I = 9V to 19V	59	75	-	dB	
Dropout Voltage	V _{Drop}	I _O = 1A, T _J = +25 °C	-	2	-	V	
Output Resistance	r _O	f = 1KHz	-	19	-	mΩ	
Short Circuit Current	I _{SC}	V _I = 35V, T _A = +25 °C	-	250	-	mA	
Peak Current	I _{PK}	T _J = +25 °C	-	2.2	-	A	

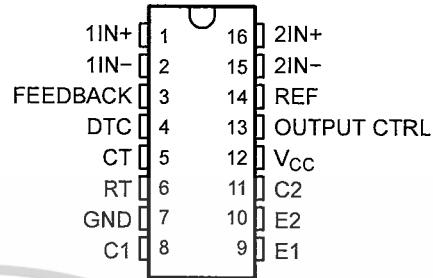
Note:

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

FEATURES

- Complete PWM Power-Control Circuitry
- Uncommitted Outputs for 200-mA Sink or Source Current
- Output Control Selects Single-Ended or Push-Pull Operation
- Internal Circuitry Prohibits Double Pulse at Either Output
- Variable Dead Time Provides Control Over Total Range
- Internal Regulator Provides a Stable 5-V Reference Supply With 5% Tolerance
- Circuit Architecture Allows Easy Synchronization

D, DB, N, NS, OR PW PACKAGE
(TOP VIEW)



DESCRIPTION

The TL494 incorporates all the functions required in the construction of a pulse-width-modulation (PWM) control circuit on a single chip. Designed primarily for power-supply control, this device offers the flexibility to tailor the power-supply control circuitry to a specific application.

The TL494 contains two error amplifiers, an on-chip adjustable oscillator, a dead-time control (DTC) comparator, a pulse-steering control flip-flop, a 5-V, 5%-precision regulator, and output-control circuits.

The error amplifiers exhibit a common-mode voltage range from -0.3 V to $V_{CC} - 2\text{ V}$. The dead-time control comparator has a fixed offset that provides approximately 5% dead time. The on-chip oscillator can be bypassed by terminating RT to the reference output and providing a sawtooth input to CT, or it can drive the common circuits in synchronous multiple-rail power supplies.

The uncommitted output transistors provide either common-emitter or emitter-follower output capability. The TL494 provides for push-pull or single-ended output operation, which can be selected through the output-control function. The architecture of this device prohibits the possibility of either output being pulsed twice during push-pull operation.

The TL494C is characterized for operation from 0°C to 70°C . The TL494I is characterized for operation from -40°C to 85°C .

AVAILABLE OPTIONS

T_A	PACKAGED DEVICES ⁽¹⁾				
	SMALL OUTLINE (D)	PLASTIC DIP (N)	SMALL OUTLINE (NS)	SHRINK SMALL OUTLINE (DB)	THIN SHRINK SMALL OUTLINE (PW)
0°C to 70°C	TL494CD	TL494CN	TL494CNS	TL494CDB	TL494CPW
-40°C to 85°C	TL494ID	TL494IN	—	—	—

(1) The D, DB, NS, and PW packages are available taped and reeled. Add the suffix R to device type (e.g., TL494CDR).



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

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

Copyright © 1983–2005, Texas Instruments Incorporated

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

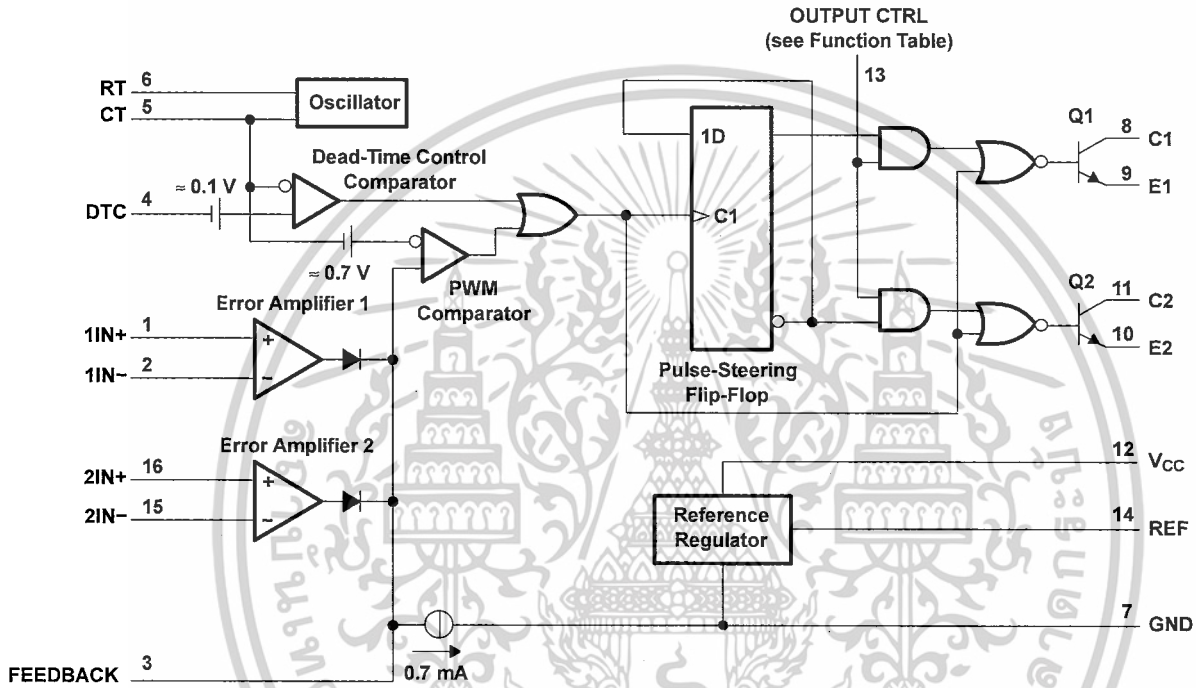
TL494
PULSE-WIDTH-MODULATION CONTROL CIRCUITS

SLVS074E—JANUARY 1983—REVISED FEBRUARY 2005

FUNCTION TABLE

INPUT TO OUTPUT CTRL	OUTPUT FUNCTION
$V_I = \text{GND}$	Single-ended or parallel output
$V_I = V_{\text{ref}}$	Normal push-pull operation

FUNCTIONAL BLOCK DIAGRAM



Absolute Maximum Ratings⁽¹⁾

over operating free-air temperature range (unless otherwise noted)

		MIN	MAX	UNIT
V _{CC}	Supply voltage ⁽²⁾		41	V
V _I	Amplifier input voltage		V _{CC} + 0.3	V
V _O	Collector output voltage		41	V
I _O	Collector output current		250	mA
θ _{JA}	Package thermal impedance ⁽³⁾⁽⁴⁾	D package	73	°C/W
		DB package	82	
		N package	67	
		NS package	64	
		PW package	108	
Lead temperature 1,6 mm (1/16 inch) from case for 10 seconds			260	°C
T _{stg}	Storage temperature range	-65	150	°C

- (1) Stresses beyond those listed under "absolute maximum ratings" may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only, and functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated under "recommended operating conditions" is not implied. Exposure to absolute-maximum-rated conditions for extended periods may affect device reliability.
- (2) All voltages are with respect to the network ground terminal.
- (3) Maximum power dissipation is a function of T_{J(max)}, θ_{JA}, and T_A. The maximum allowable power dissipation at any allowable ambient temperature is P_D = (T_{J(max)} - T_A)/θ_{JA}. Operating at the absolute maximum T_J of 150°C can affect reliability.
- (4) The package thermal impedance is calculated in accordance with JESD 51-7.

Recommended Operating Conditions

		MIN	MAX	UNIT	
V _{CC}	Supply voltage	7	40	V	
V _I	Amplifier input voltage	-0.3	V _{CC} - 2	V	
V _O	Collector output voltage		40	V	
	Collector output current (each transistor)		200	mA	
	Current into feedback terminal		0.3	mA	
f _{OSC}	Oscillator frequency	1	300	kHz	
C _T	Timing capacitor	0.47	10000	nF	
R _T	Timing resistor	1.8	500	kΩ	
T _A	Operating free-air temperature	TL494C	0	70	°C
		TL494I	-40	85	

TL494 PULSE-WIDTH-MODULATION CONTROL CIRCUITS

SLVS074E—JANUARY 1983—REVISED FEBRUARY 2005



Electrical Characteristics

over recommended operating free-air temperature range, $V_{CC} = 15\text{ V}$, $f = 10\text{ kHz}$ (unless otherwise noted)

Reference Section

PARAMETER	TEST CONDITIONS ⁽¹⁾	TL494C, TL494I			UNIT
		MIN	TYP ⁽²⁾	MAX	
Output voltage (REF)	$I_O = 1\text{ mA}$	4.75	5	5.25	V
Input regulation	$V_{CC} = 7\text{ V to }40\text{ V}$		2	25	mV
Output regulation	$I_O = 1\text{ mA to }10\text{ mA}$		1	15	mV
Output voltage change with temperature	$\Delta T_A = \text{MIN to MAX}$		2	10	mV/V
Short-circuit output current ⁽³⁾	REF = 0 V		25		mA

- (1) For conditions shown as MIN or MAX, use the appropriate value specified under recommended operating conditions.
 (2) All typical values, except for parameter changes with temperature, are at $T_A = 25^\circ\text{C}$.
 (3) Duration of short circuit should not exceed one second.

Oscillator Section

$C_T = 0.01\text{ }\mu\text{F}$, $R_T = 12\text{ k}\Omega$ (see Figure 1)

PARAMETER	TEST CONDITIONS ⁽¹⁾	TL494C, TL494I			UNIT
		MIN	TYP ⁽²⁾	MAX	
Frequency			10		kHz
Standard deviation of frequency ⁽³⁾	All values of V_{CC} , C_T , R_T , and T_A constant		100		Hz/kHz
Frequency change with voltage	$V_{CC} = 7\text{ V to }40\text{ V}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$		1		Hz/kHz
Frequency change with temperature ⁽⁴⁾	$\Delta T_A = \text{MIN to MAX}$			10	Hz/kHz

- (1) For conditions shown as MIN or MAX, use the appropriate value specified under recommended operating conditions.
 (2) All typical values, except for parameter changes with temperature, are at $T_A = 25^\circ\text{C}$.
 (3) Standard deviation is a measure of the statistical distribution about the mean as derived from the formula:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{n=1}^N (x_n - \bar{X})^2}{N - 1}}$$

- (4) Temperature coefficient of timing capacitor and timing resistor are not taken into account.

Error-Amplifier Section

See Figure 2

PARAMETER	TEST CONDITIONS	TL494C, TL494I			UNIT
		MIN	TYP ⁽¹⁾	MAX	
Input offset voltage	V_O (FEEDBACK) = 2.5 V		2	10	mV
Input offset current	V_O (FEEDBACK) = 2.5 V		25	250	nA
Input bias current	V_O (FEEDBACK) = 2.5 V		0.2	1	μA
Common-mode input voltage range	$V_{CC} = 7\text{ V to }40\text{ V}$	-0.3 to $V_{CC} - 2$			V
Open-loop voltage amplification	$\Delta V_O = 3\text{ V}$, $V_O = 0.5\text{ V to }3.5\text{ V}$, $R_L = 2\text{ k}\Omega$		70	95	dB
Unity-gain bandwidth	$V_O = 0.5\text{ V to }3.5\text{ V}$, $R_L = 2\text{ k}\Omega$		800		kHz
Common-mode rejection ratio	$\Delta V_O = 40\text{ V}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$		65	80	dB
Output sink current (FEEDBACK)	$V_{ID} = -15\text{ mV to }-5\text{ V}$, V (FEEDBACK) = 0.7 V		0.3	0.7	mA
Output source current (FEEDBACK)	$V_{ID} = 15\text{ mV to }5\text{ V}$, V (FEEDBACK) = 3.5 V		-2		mA

- (1) All typical values, except for parameter changes with temperature, are at $T_A = 25^\circ\text{C}$.

Electrical Characteristics

over recommended operating free-air temperature range, $V_{CC} = 15\text{ V}$, $f = 10\text{ kHz}$ (unless otherwise noted)

Output Section

PARAMETER		TEST CONDITIONS	MIN	TYP ⁽¹⁾	MAX	UNIT
Collector off-state current		$V_{CE} = 40\text{ V}$, $V_{CC} = 40\text{ V}$		2	100	μA
Emitter off-state current		$V_{CC} = V_C = 40\text{ V}$, $V_E = 0$			-100	μA
Collector-emitter saturation voltage	Common emitter	$V_E = 0$, $I_C = 200\text{ mA}$		1.1	1.3	V
	Emitter follower	$V_{O(C1\text{ or }C2)} = 15\text{ V}$, $I_E = -200\text{ mA}$		1.5	2.5	
Output control input current		$V_I = V_{ref}$			3.5	mA

(1) All typical values, except for temperature coefficient, are at $T_A = 25^\circ\text{C}$.

Dead-Time Control Section

See Figure 1

PARAMETER		TEST CONDITIONS	MIN	TYP ⁽¹⁾	MAX	UNIT
Input bias current (DEAD-TIME CTRL)		$V_I = 0\text{ to }5.25\text{ V}$		-2	-10	μA
Maximum duty cycle, each output		V_I (DEAD-TIME CTRL) = 0, $C_T = 0.01\text{ }\mu\text{F}$, $R_T = 12\text{ k}\Omega$		45		%
Input threshold voltage (DEAD-TIME CTRL)	Zero duty cycle			3	3.3	V
	Maximum duty cycle		0			

(1) All typical values, except for temperature coefficient, are at $T_A = 25^\circ\text{C}$.

PWM Comparator Section

See Figure 1

PARAMETER		TEST CONDITIONS	MIN	TYP ⁽¹⁾	MAX	UNIT
Input threshold voltage (FEEDBACK)		Zero duty cycle		4	4.5	V
Input sink current (FEEDBACK)		V (FEEDBACK) = 0.7 V	0.3	0.7		mA

(1) All typical values, except for temperature coefficient, are at $T_A = 25^\circ\text{C}$.

Total Device

PARAMETER		TEST CONDITIONS	MIN	TYP ⁽¹⁾	MAX	UNIT
Standby supply current	$R_T = V_{ref}$, All other inputs and outputs open	$V_{CC} = 15\text{ V}$		6	10	mA
		$V_{CC} = 40\text{ V}$		9	15	
Average supply current		V_I (DEAD-TIME CTRL) = 2 V, See Figure 1		7.5		mA

(1) All typical values, except for temperature coefficient, are at $T_A = 25^\circ\text{C}$.

Switching Characteristics

$T_A = 25^\circ\text{C}$

PARAMETER		TEST CONDITIONS	MIN	TYP ⁽¹⁾	MAX	UNIT
Rise time	Common-emitter configuration, See Figure 3			100	200	ns
Fall time				25	100	
Rise time	Emitter-follower configuration, See Figure 4			100	200	ns
Fall time				40	100	

(1) All typical values, except for temperature coefficient, are at $T_A = 25^\circ\text{C}$.

PARAMETER MEASUREMENT INFORMATION

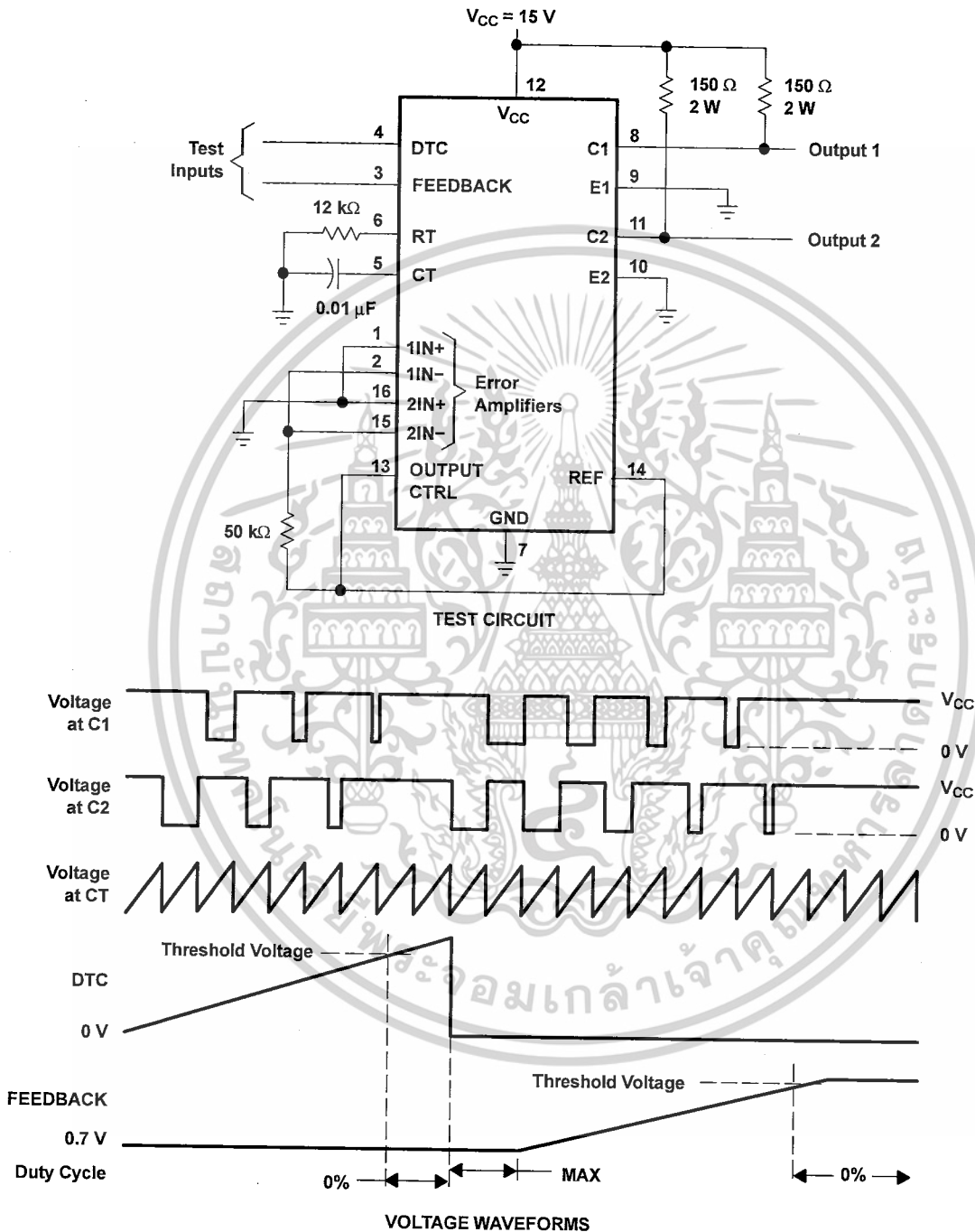


Figure 1. Operational Test Circuit and Waveforms

CD4047BC

Low Power Monostable/Astable Multivibrator

General Description

The CD4047B is capable of operating in either the monostable or astable mode. It requires an external capacitor (between pins 1 and 3) and an external resistor (between pins 2 and 3) to determine the output pulse width in the monostable mode, and the output frequency in the astable mode.

Astable operation is enabled by a high level on the astable input or low level on the $\overline{\text{astable}}$ input. The output frequency (at 50% duty cycle) at Q and \overline{Q} outputs is determined by the timing components. A frequency twice that of Q is available at the Oscillator Output; a 50% duty cycle is not guaranteed.

Monostable operation is obtained when the device is triggered by LOW-to-HIGH transition at + trigger input or HIGH-to-LOW transition at - trigger input. The device can be retriggered by applying a simultaneous LOW-to-HIGH transition to both the + trigger and retrigger inputs.

A high level on Reset input resets the outputs Q to LOW, \overline{Q} to HIGH.

Features

- Wide supply voltage range: 3.0V to 15V
- High noise immunity: $0.45 V_{DD}$ (typ.)
- Low power TTL compatibility: Fan out of 2 driving 74L or 1 driving 74LS

SPECIAL FEATURES

- Low power consumption: special CMOS oscillator configuration
- Monostable (one-shot) or astable (free-running) operation

- True and complemented buffered outputs
- Only one external R and C required

MONOSTABLE MULTIVIBRATOR FEATURES

- Positive- or negative-edge trigger
- Output pulse width independent of trigger pulse duration
- Retriggerable option for pulse width expansion
- Long pulse widths possible using small RC components by means of external counter provision
- Fast recovery time essentially independent of pulse width
- Pulse-width accuracy maintained at duty cycles approaching 100%

ASTABLE MULTIVIBRATOR FEATURES

- Free-running or gatable operating modes
- 50% duty cycle
- Oscillator output available
- Good astable frequency stability
typical = $\pm 2\% + 0.03\%/^{\circ}\text{C}$ @ 100 kHz
frequency = $\pm 0.5\% + 0.015\%/^{\circ}\text{C}$ @ 10 kHz
deviation (circuits trimmed to frequency $V_{DD} = 10\text{V}$ $\pm 10\%$)

Applications

- Frequency discriminators
- Timing circuits
- Time-delay applications
- Envelope detection
- Frequency multiplication
- Frequency division

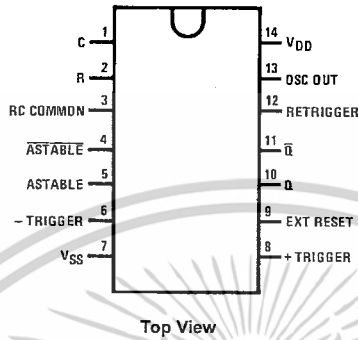
Ordering Code:

Order Number	Package Number	Package Description
CD4047BCM	M14A	14-Lead Small Outline Integrated Circuit (SOIC), JEDEC MS-120, 0.150" Narrow
CD4047BCN	N14A	14-Lead Plastic Dual-In-Line Package (PDIP), JEDEC MS-001, 0.300" Wide

Devices also available in Tape and Reel. Specify by appending the suffix letter "X" to the ordering code.

Connection Diagram

Pin Assignments for SOIC and DIP



Function Table

Function	Terminal Connections			Output Pulse From	Typical Output Period or Pulse Width
	To V _{DD}	To V _{SS}	Input Pulse To		
Astable Multivibrator					
Free-Running	4, 5, 6, 14	7, 8, 9, 12		10, 11, 13	$t_A(10, 11) = 4.40 RC$
True Gating	4, 6, 14	7, 8, 9, 12	5	10, 11, 13	$t_A(13) = 2.20 RC$
Complement Gating	6, 14	5, 7, 8, 9, 12	4	10, 11, 13	
Monostable Multivibrator					
Positive-Edge Trigger	4, 14	5, 6, 7, 9, 12	8	10, 11	
Negative-Edge Trigger	4, 8, 14	5, 7, 9, 12	6	10, 11	$t_M(10, 11) = 2.48 RC$
Retriggerable	4, 14	5, 6, 7, 9	8, 12	10, 11	
External Countdown (Note 1)	14	5, 6, 7, 8, 9, 12	Figure 1	Figure 1	Figure 1

Note 1: External resistor between terminals 2 and 3. External capacitor between terminals 1 and 3.

Typical Implementation of External Countdown Option

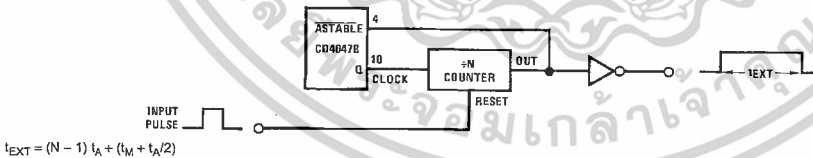
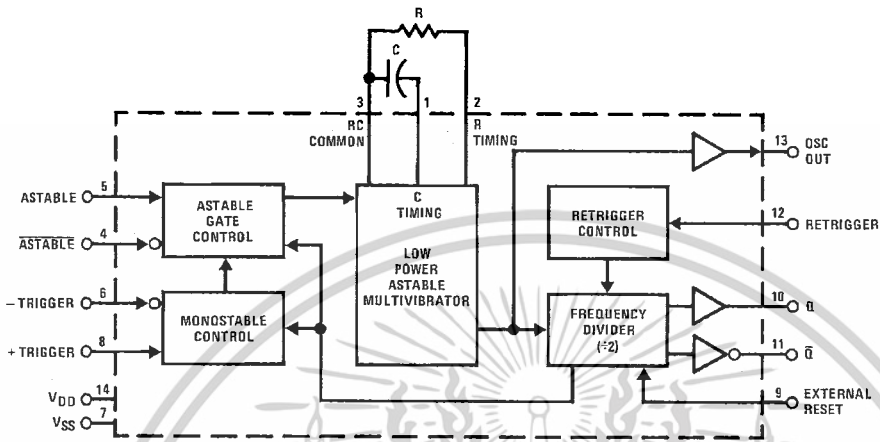
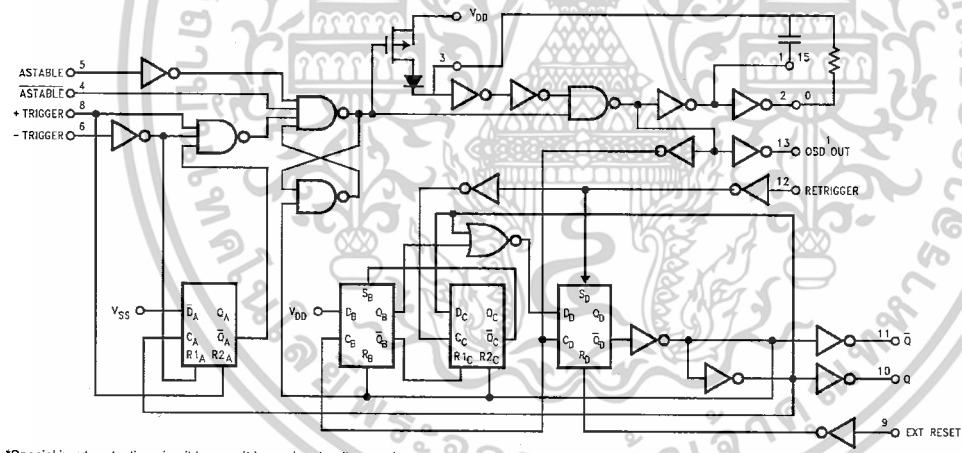


FIGURE 1.

Block Diagram



Logic Diagram



*Special input protection circuit to permit larger input-voltage swings.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Absolute Maximum Ratings(Note 2)

(Note 3)

DC Supply Voltage (V_{DD})	-0.5V to +18V _{DC}
Input Voltage (V_{IN})	-0.5V to V_{DD} +0.5V _{DC}
Storage Temperature Range (T_S)	-65°C to +150°C
Power Dissipation (P_D)	
Dual-In-Line	700 mW
Small Outline	500 mW
Lead Temperature (T_L)	
(Soldering, 10 seconds)	260°C

Recommended Operating Conditions (Note 3)

DC Supply Voltage (V_{DD})	3V to 15V _{DC}
Input Voltage (V_{IN})	0 to V_{DD} V _{DC}
Operating Temperature Range (T_A)	-40°C to +85°C

Note 2: "Absolute Maximum Ratings" are those values beyond which the safety of the device cannot be guaranteed. They are not meant to imply that the devices should be operated at these limits. The table of "Recommended Operating Conditions" and "Electrical Characteristics" provides conditions for actual device operation.

Note 3: V_{SS} = 0V unless otherwise specified.

DC Electrical Characteristics (Note 3)

Symbol	Parameter	Conditions	-40°C		25°C			85°C		Units
			Min	Max	Min	Typ	Max	Min	Max	
I_{DD}	Quiescent Device Current	$V_{DD} = 5V$		20			20		150	μA
		$V_{DD} = 10V$		40			40		300	μA
		$V_{DD} = 15V$		80			80		600	μA
V_{OL}	LOW Level Output Voltage	$ I_{OL} < 1 \mu A$								
		$V_{DD} = 5V$		0.05		0	0.05		0.05	V
		$V_{DD} = 10V$		0.05		0	0.05		0.05	V
V_{OH}	HIGH Level Output Voltage	$ I_{OL} < 1 \mu A$								
		$V_{DD} = 5V$	4.95		4.95	5		4.95		V
		$V_{DD} = 10V$	9.95		9.95	10		9.95		V
V_{IL}	LOW Level Input Voltage	$V_{DD} = 5V, V_O = 0.5V$ or 4.5V		1.5		2.25	1.5		1.5	V
		$V_{DD} = 10V, V_O = 1V$ or 9V		3.0		4.5	3.0		3.0	V
		$V_{DD} = 15V, V_O = 1.5V$ or 13.5V		4.0		6.75	4.0		4.0	V
V_{IH}	HIGH Level Input Voltage	$V_{DD} = 5V, V_O = 0.5V$ or 4.5V	3.5		3.5	2.75		3.5		V
		$V_{DD} = 10V, V_O = 1V$ or 9V	7.0		7.0	5.5		7.0		V
		$V_{DD} = 15V, V_O = 1.5V$ or 13.5V	11.0		11.0	8.25		11.0		V
I_{OL}	LOW Level Output Current (Note 4)	$V_{DD} = 5V, V_O = 0.4V$	0.52		0.44	0.88		0.36		mA
		$V_{DD} = 10V, V_O = 0.5V$	1.3		1.1	2.25		0.9		mA
		$V_{DD} = 15V, V_O = 1.5V$	3.6		3.0	8.8		2.4		mA
I_{OH}	HIGH Level Output Current (Note 4)	$V_{DD} = 5V, V_O = 4.6V$	-0.52		-0.44	-0.88		-0.36		mA
		$V_{DD} = 10V, V_O = 9.5V$	-1.3		-1.1	-2.25		-0.9		mA
		$V_{DD} = 15V, V_O = 13.5V$	-3.6		-3.0	-8.8		-2.4		mA
I_{IN}	Input Current	$V_{DD} = 15V, V_{IN} = 0V$		-0.3		10^{-5}		-0.3		μA
		$V_{DD} = 15V, V_{IN} = 15V$		0.3		10^{-5}		0.3		μA

Note 4: I_{OH} and I_{OL} are tested one output at a time.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

AC Electrical Characteristics (Note 5)

$T_A = 25^\circ\text{C}$, $C_L = 50\text{ pF}$, $R_L = 200\text{ k}$, input $t_r = t_f = 20\text{ ns}$, unless otherwise specified.

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units
t_{PHL} , t_{PLH}	Propagation Delay Time Astable, Astable to Osc Out	$V_{DD} = 5\text{V}$		200	400	ns
		$V_{DD} = 10\text{V}$		100	200	ns
		$V_{DD} = 15\text{V}$		80	160	ns
t_{PHL} , t_{PLH}	Astable, Astable to Q, \bar{Q}	$V_{DD} = 5\text{V}$		550	900	ns
		$V_{DD} = 10\text{V}$		250	500	ns
		$V_{DD} = 15\text{V}$		200	400	ns
t_{PHL} , t_{PLH}	+ Trigger, - Trigger to \bar{Q}	$V_{DD} = 5\text{V}$		700	1200	ns
		$V_{DD} = 10\text{V}$		300	600	ns
		$V_{DD} = 15\text{V}$		240	480	ns
t_{PHL} , t_{PLH}	+ Trigger, Retrigger to \bar{Q}	$V_{DD} = 5\text{V}$		300	600	ns
		$V_{DD} = 10\text{V}$		175	300	ns
		$V_{DD} = 15\text{V}$		150	250	ns
t_{PHL} , t_{PLH}	Reset to Q, \bar{Q}	$V_{DD} = 5\text{V}$		300	600	ns
		$V_{DD} = 10\text{V}$		125	250	ns
		$V_{DD} = 15\text{V}$		100	200	ns
t_{THL} , t_{TLH}	Transition Time Q, \bar{Q} , Osc Out	$V_{DD} = 5\text{V}$		100	200	ns
		$V_{DD} = 10\text{V}$		50	100	ns
		$V_{DD} = 15\text{V}$		40	80	ns
t_{WL} , t_{WH}	Minimum Input Pulse Duration	Any Input				
		$V_{DD} = 5\text{V}$		500	1000	ns
		$V_{DD} = 10\text{V}$		200	400	ns
		$V_{DD} = 15\text{V}$		160	320	ns
t_{RCL} , t_{FCL}	+ Trigger, Retrigger, Rise and Fall Time	$V_{DD} = 5\text{V}$			15	μs
		$V_{DD} = 10\text{V}$			5	μs
		$V_{DD} = 15\text{V}$			5	μs
C_{IN}	Average Input Capacitance	Any Input		5	7.5	pF

Note 5: AC Parameters are guaranteed by DC correlated testing.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IR2110(-1-2)(S)PbF/IR2113(-1-2)(S)PbF

HIGH AND LOW SIDE DRIVER

Features

- Floating channel designed for bootstrap operation
Fully operational to +500V or +600V
Tolerant to negative transient voltage
dV/dt immune
- Gate drive supply range from 10 to 20V
- Undervoltage lockout for both channels
- 3.3V logic compatible
Separate logic supply range from 3.3V to 20V
Logic and power ground $\pm 5V$ offset
- CMOS Schmitt-triggered inputs with pull-down
- Cycle by cycle edge-triggered shutdown logic
- Matched propagation delay for both channels
- Outputs in phase with inputs

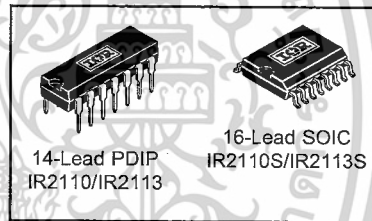
Product Summary

V_{OFFSET} (IR2110)	500V max.
(IR2113)	600V max.
$I_{O+/-}$	2A / 2A
V_{OUT}	10 - 20V
$t_{on/off}$ (typ.)	120 & 94 ns
Delay Matching (IR2110)	10 ns max.
(IR2113)	20ns max.

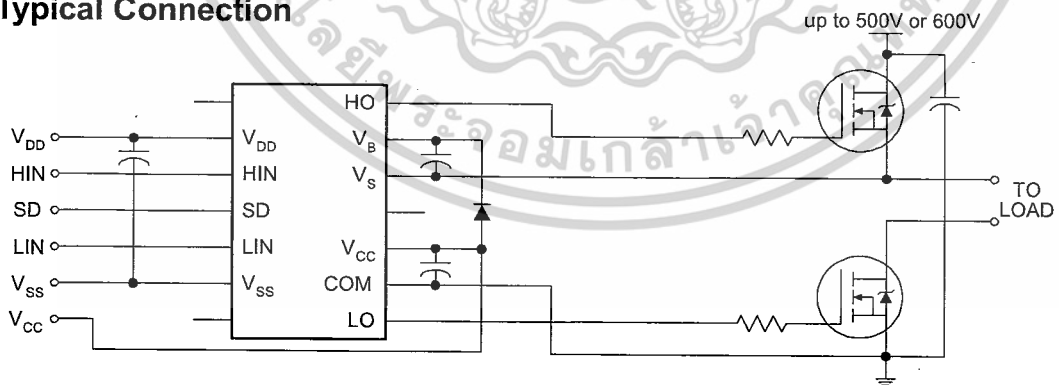
Description

The IR2110/IR2113 are high voltage, high speed power MOSFET and IGBT drivers with independent high and low side referenced output channels. Proprietary HVIC and latch immune CMOS technologies enable ruggedized monolithic construction. Logic inputs are compatible with standard CMOS or LSTTL output, down to 3.3V logic. The output drivers feature a high pulse current buffer stage designed for minimum driver cross-conduction. Propagation delays are matched to simplify use in high frequency applications. The floating channel can be used to drive an N-channel power MOSFET or IGBT in the high side configuration which operates up to 500 or 600 volts.

Packages



Typical Connection



(Refer to Lead Assignments for correct pin configuration). This/These diagram(s) show electrical connections only. Please refer to our Application Notes and Design Tips for proper circuit board layout.

Absolute Maximum Ratings

Absolute maximum ratings indicate sustained limits beyond which damage to the device may occur. All voltage parameters are absolute voltages referenced to COM. The thermal resistance and power dissipation ratings are measured under board mounted and still air conditions. Additional information is shown in Figures 28 through 35.

Symbol	Definition	Min.	Max.	Units	
V _B	High side floating supply voltage (IR2110)	-0.3	525	V	
	(IR2113)	-0.3	625		
V _S	High side floating supply offset voltage	V _B - 25	V _B + 0.3		
V _{HO}	High side floating output voltage	V _S - 0.3	V _B + 0.3		
V _{CC}	Low side fixed supply voltage	-0.3	25		
V _{LO}	Low side output voltage	-0.3	V _{CC} + 0.3		
V _{DD}	Logic supply voltage	-0.3	V _{SS} + 25		
V _{SS}	Logic supply offset voltage	V _{CC} - 25	V _{CC} + 0.3		
V _{IN}	Logic input voltage (HIN, LIN & SD)	V _{SS} - 0.3	V _{DD} + 0.3		
dV _S /dt	Allowable offset supply voltage transient (figure 2)	—	50	V/ns	
P _D	Package power dissipation @ T _A ≤ +25°C	(14 lead DIP)	—	1.6	W
		(16 lead SOIC)	—	1.25	
R _{THJA}	Thermal resistance, junction to ambient	(14 lead DIP)	—	75	°C/W
		(16 lead SOIC)	—	100	
T _J	Junction temperature	—	150	°C	
T _S	Storage temperature	-55	150		
T _L	Lead temperature (soldering, 10 seconds)	—	300		

Recommended Operating Conditions

The input/output logic timing diagram is shown in figure 1. For proper operation the device should be used within the recommended conditions. The V_S and V_{SS} offset ratings are tested with all supplies biased at 15V differential. Typical ratings at other bias conditions are shown in figures 36 and 37.

Symbol	Definition	Min.	Max.	Units
V _B	High side floating supply absolute voltage	V _S + 10	V _S + 20	V
V _S	High side floating supply offset voltage (IR2110)	Note 1	500	
	(IR2113)	Note 1	600	
V _{HO}	High side floating output voltage	V _S	V _B	
V _{CC}	Low side fixed supply voltage	10	20	
V _{LO}	Low side output voltage	0	V _{CC}	
V _{DD}	Logic supply voltage	V _{SS} + 3	V _{SS} + 20	
V _{SS}	Logic supply offset voltage	-5 (Note 2)	5	
V _{IN}	Logic input voltage (HIN, LIN & SD)	V _{SS}	V _{DD}	
T _A	Ambient temperature	-40	125	°C

Note 1: Logic operational for V_S of -4 to +500V. Logic state held for V_S of -4V to -V_{BS}. (Please refer to the Design Tip DT97-3 for more details).

Note 2: When V_{DD} < 5V, the minimum V_{SS} offset is limited to -V_{DD}.

Dynamic Electrical Characteristics

V_{BIAS} (V_{CC} , V_{BS} , V_{DD}) = 15V, C_L = 1000 pF, T_A = 25°C and V_{SS} = COM unless otherwise specified. The dynamic electrical characteristics are measured using the test circuit shown in Figure 3.

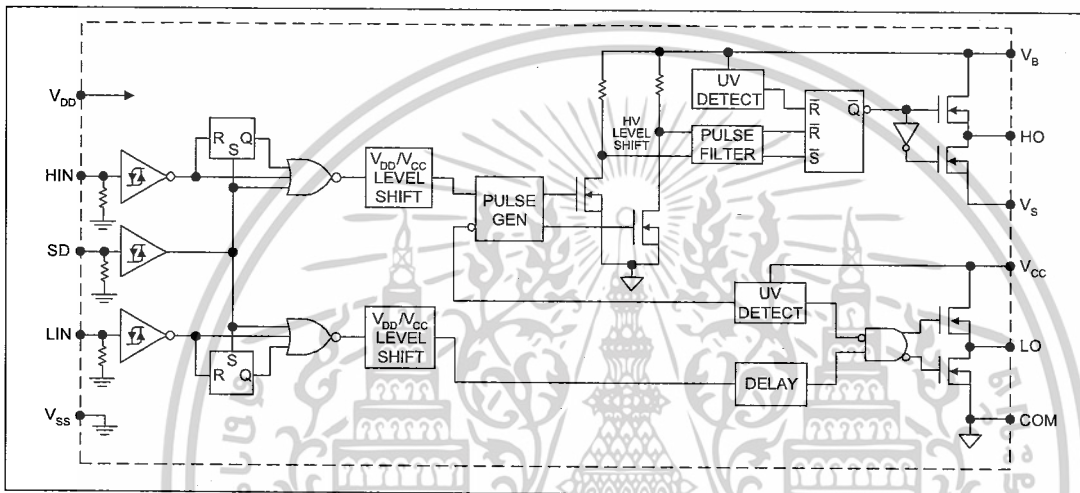
Symbol	Definition	Figure	Min.	Typ.	Max.	Units	Test Conditions
t_{on}	Turn-on propagation delay	7	—	120	150	ns	$V_S = 0V$
t_{off}	Turn-off propagation delay	8	—	94	125		$V_S = 500V/600V$
t_{sd}	Shutdown propagation delay	9	—	110	140		$V_S = 500V/600V$
t_r	Turn-on rise time	10	—	25	35		
t_f	Turn-off fall time	11	—	17	25		
MT	Delay matching, HS & LS turn-on/off	(IR2110) (IR2113)	—	—	—		10 20

Static Electrical Characteristics

V_{BIAS} (V_{CC} , V_{BS} , V_{DD}) = 15V, T_A = 25°C and V_{SS} = COM unless otherwise specified. The V_{IH} , V_{TH} and I_{IN} parameters are referenced to V_{SS} and are applicable to all three logic input leads: HIN, LIN and SD. The V_O and I_O parameters are referenced to COM and are applicable to the respective output leads: HO or LO.

Symbol	Definition	Figure	Min.	Typ.	Max.	Units	Test Conditions
V_{IH}	Logic "1" input voltage	12	9.5	—	—	V	
V_{IL}	Logic "0" input voltage	13	—	—	6.0		
V_{OH}	High level output voltage, $V_{BIAS} - V_O$	14	—	—	1.2		$I_O = 0A$
V_{OL}	Low level output voltage, V_O	15	—	—	0.1		$I_O = 0A$
I_{LK}	Offset supply leakage current	16	—	—	50	μA	$V_B = V_S = 500V/600V$
I_{QBS}	Quiescent V_{BS} supply current	17	—	125	230		$V_{IN} = 0V$ or V_{DD}
I_{QCC}	Quiescent V_{CC} supply current	18	—	180	340		$V_{IN} = 0V$ or V_{DD}
I_{QDD}	Quiescent V_{DD} supply current	19	—	15	30		$V_{IN} = 0V$ or V_{DD}
I_{IN+}	Logic "1" input bias current	20	—	20	40	μA	$V_{IN} = V_{DD}$
I_{IN-}	Logic "0" input bias current	21	—	—	1.0		$V_{IN} = 0V$
V_{BSUV+}	V_{BS} supply undervoltage positive going threshold	22	7.5	8.6	9.7	V	
V_{BSUV-}	V_{BS} supply undervoltage negative going threshold	23	7.0	8.2	9.4		
V_{CCUV+}	V_{CC} supply undervoltage positive going threshold	24	7.4	8.5	9.6		
V_{CCUV-}	V_{CC} supply undervoltage negative going threshold	25	7.0	8.2	9.4		
I_{O+}	Output high short circuit pulsed current	26	2.0	2.5	—	A	$V_O = 0V$, $V_{IN} = V_{DD}$ $PW \leq 10 \mu s$
I_{O-}	Output low short circuit pulsed current	27	2.0	2.5	—		$V_O = 15V$, $V_{IN} = 0V$ $PW \leq 10 \mu s$

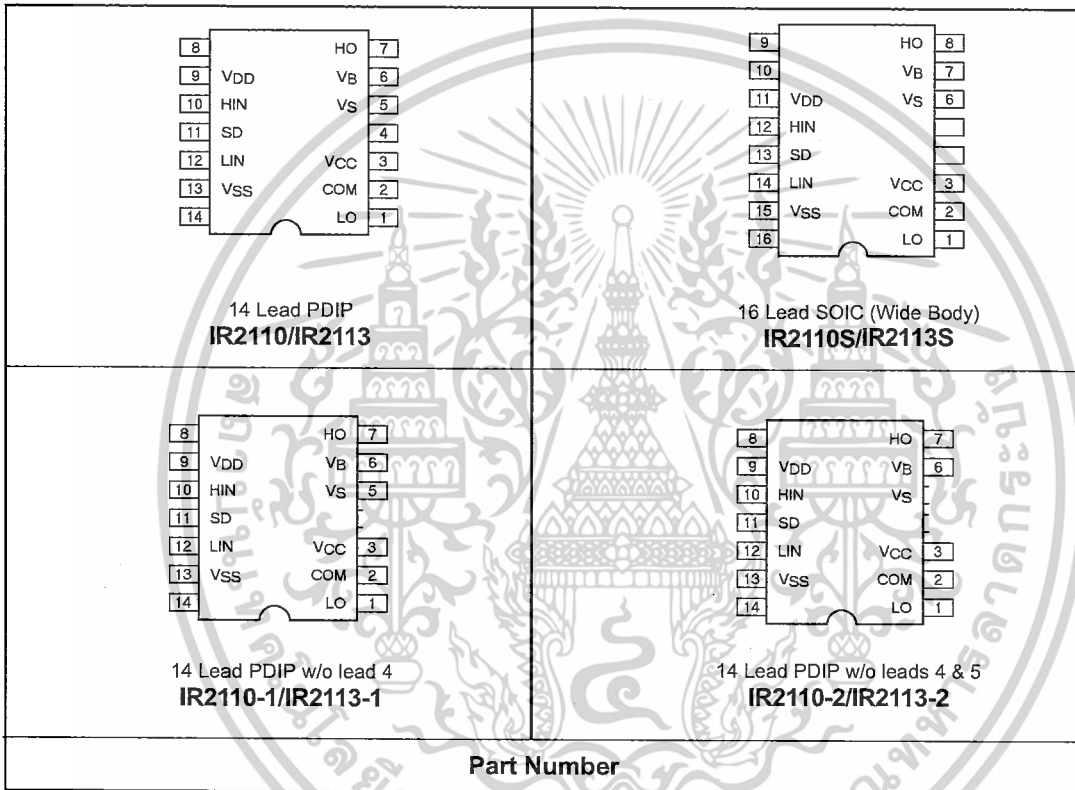
Functional Block Diagram



Lead Definitions

Symbol	Description
VDD	Logic supply
HIN	Logic input for high side gate driver output (HO), in phase
SD	Logic input for shutdown
LIN	Logic input for low side gate driver output (LO), in phase
VSS	Logic ground
VB	High side floating supply
HO	High side gate drive output
VS	High side floating supply return
VCC	Low side supply
LO	Low side gate drive output
COM	Low side return

Lead Assignments



IR2110(-1-2)(S)PbF/IR2113(-1-2)(S)PbF

International
IR Rectifier

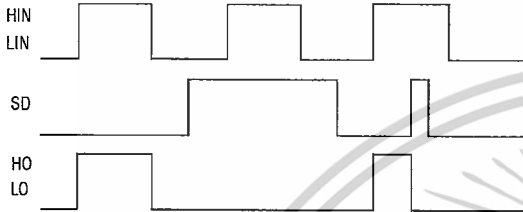


Figure 1. Input/Output Timing Diagram

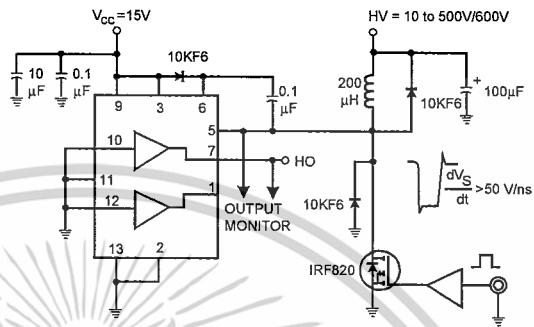


Figure 2. Floating Supply Voltage Transient Test Circuit

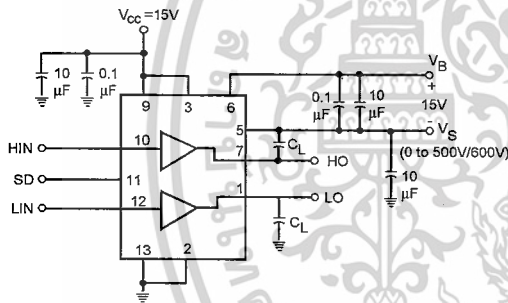


Figure 3. Switching Time Test Circuit

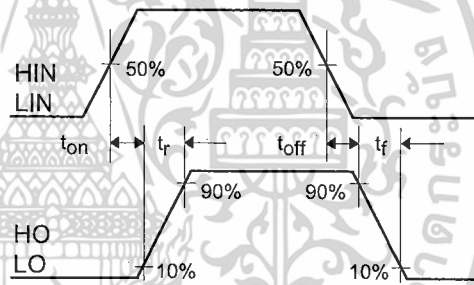


Figure 4. Switching Time Waveform Definition

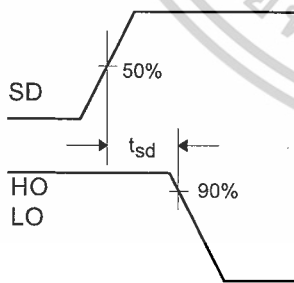


Figure 5. Shutdown Waveform Definitions

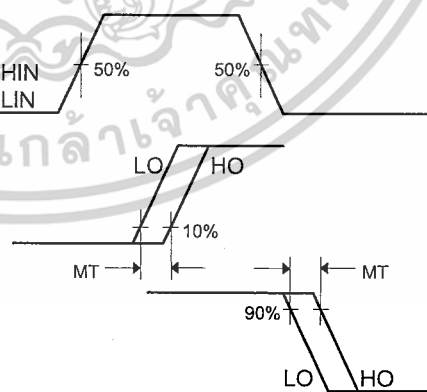


Figure 6. Delay Matching Waveform Definitions

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

International IOR Rectifier

60EPU04
60APU04

Ultrafast Soft Recovery Diode

Features

- Ultrafast Recovery
- 175°C Operating Junction Temperature

Benefits

- Reduced RFI and EMI
- Higher Frequency Operation
- Reduced Snubbing
- Reduced Parts Count

$$t_{rr} = 50\text{ns (typ)}$$

$$I_{F(AV)} = 60\text{Amp}$$

$$V_R = 400\text{V}$$

Description/ Applications

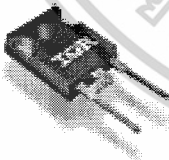
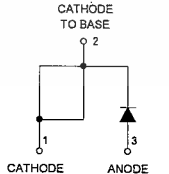
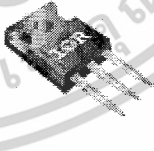
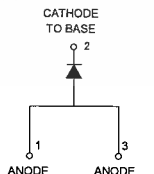
These diodes are optimized to reduce losses and EMI/ RFI in high frequency power conditioning systems. The softness of the recovery eliminates the need for a snubber in most applications. These devices are ideally suited for HF welding, power converters and other applications where switching losses are not significant portion of the total losses.

Absolute Maximum Ratings

Parameters	Max	Units
V_R Cathode to Anode Voltage	400	V
$I_{F(AV)}$ Continuous Forward Current, $T_C = 127^\circ\text{C}$	60	A
I_{FSM} Single Pulse Forward Current, $T_C = 25^\circ\text{C}$	600	
I_{FRM} ① Maximum Repetitive Forward Current	120	
T_J, T_{STG} Operating Junction and Storage Temperatures	- 55 to 175	$^\circ\text{C}$

① Square Wave, 20kHz

Case Styles

<p>60EPU04</p>  <p>CATHODE TO BASE</p>  <p>CATHODE ANODE</p> <p>TO-247AC (Modified)</p>	<p>60APU04</p>  <p>CATHODE TO BASE</p>  <p>ANODE ANODE</p> <p>TO-247AC</p>
---	--

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

Parameters	Min	Typ	Max	Units	Test Conditions
V _{BR} , V _r Breakdown Voltage, Blocking Voltage	400	-	-	V	I _R = 100μA
V _F Forward Voltage	-	1.05	1.25	V	I _F = 60A
	-	0.87	1.03	V	I _F = 60A, T _J = 175°C
	-	0.93	1.10	V	I _F = 60A, T _J = 125°C
I _R Reverse Leakage Current	-	-	50	μA	V _R = V _R Rated
	-	-	2	mA	T _J = 150°C, V _R = V _R Rated
C _T Junction Capacitance	-	50	-	pF	V _R = 400V
L _S Series Inductance	-	3.5	-	nH	Measured lead to lead 5mm from package body

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

Parameters	Min	Typ	Max	Units	Test Conditions
t _{rr} Reverse Recovery Time	-	50	60	ns	I _F = 1A, di _F /dt = 200A/μs, V _R = 30V
	-	85	-	-	T _J = 25°C
	-	145	-	-	T _J = 125°C
I _{RRM} Peak Recovery Current	-	8.8	-	A	T _J = 25°C
	-	15.4	-	-	T _J = 125°C
Q _{rr} Reverse Recovery Charge	-	375	-	nC	T _J = 25°C
	-	1120	-	-	T _J = 125°C

Thermal - Mechanical Characteristics

Parameters	Min	Typ	Max	Units
R _{thJC} Thermal Resistance, Junction to Case			0.70	K/W
R _{thCS} ② Thermal Resistance, Case to Heatsink		0.2		
Wt Weight		5.5		g
		0.2		(oz)
T Mounting Torque	1.2		2.4	N * m
	10		20	lbf.in

② Mounting Surface, Flat, Smooth and Greased

TLP250

Transistor Inverter
 Inverter For Air Conditionor
 IGBT Gate Drive
 Power MOS FET Gate Drive

The TOSHIBA TLP250 consists of a GaAIAs light emitting diode and a integrated photodetector.

This unit is 8-lead DIP package.

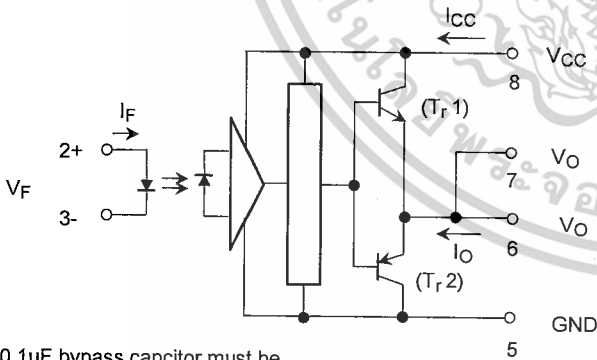
TLP250 is suitable for gate driving circuit of IGBT or power MOS FET.

- Input threshold current: $I_F=5\text{mA}(\text{max.})$
- Supply current (I_{CC}): $11\text{mA}(\text{max.})$
- Supply voltage (V_{CC}): $10\text{--}35\text{V}$
- Output current (I_O): $\pm 1.5\text{A}(\text{max.})$
- Switching time (t_{pLH}/t_{pHL}): $1.5\mu\text{s}(\text{max.})$
- Isolation voltage: $2500V_{\text{rms}}(\text{min.})$
- UL recognized: UL1577, file No.E67349
- Option (D4) type
 VDE approved: DIN VDE0884/06.92,certificate No.76823
 Maximum operating insulation voltage: 630V_{PK}
 Highest permissible over voltage: 4000V_{PK}

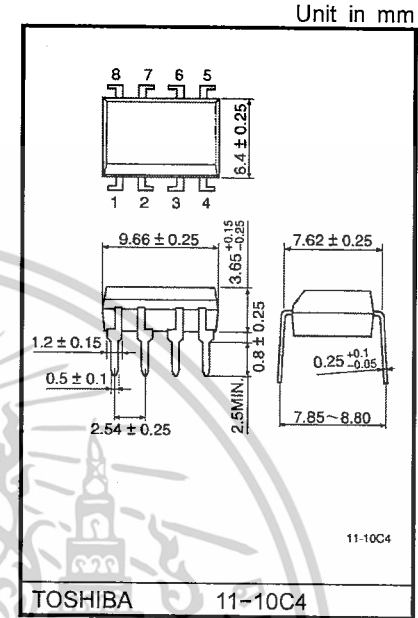
(Note) When a VDE0884 approved type is needed, please designate the "option (D4)"

- Creepage distance: $6.4\text{mm}(\text{min.})$
- Clearance: $6.4\text{mm}(\text{min.})$

Schematic

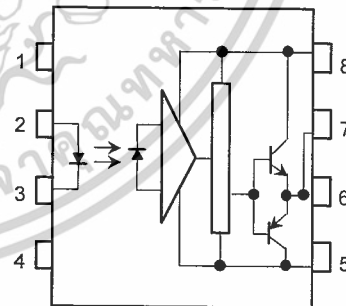


A $0.1\mu\text{F}$ bypass capacitor must be connected between pin 8 and 5 (See Note 5).



Weight: 0.54 g

Pin Configuration (top view)



- 1 : N.C.
- 2 : Anode
- 3 : Cathode
- 4 : N.C.
- 5 : GND
- 6 : V_O (Output)
- 7 : V_O
- 8 : V_{CC}

Truth Table

		Tr1	Tr2
Input LED	On	On	Off
	Off	Off	On

Absolute Maximum Ratings (Ta = 25°C)

Characteristic		Symbol	Rating	Unit	
LED	Forward current	I _F	20	mA	
	Forward current derating (Ta ≥ 70°C)	ΔI _F / ΔTa	-0.36	mA / °C	
	Peak transient forward current (Note 1)	I _{FPT}	1	A	
	Reverse voltage	V _R	5	V	
	Junction temperature	T _J	125	°C	
Detector	"H" peak output current (P _W ≤ 2.5μs, f ≤ 15kHz) (Note 2)	I _{OPH}	-1.5	A	
	"L" peak output current (P _W ≤ 2.5μs, f ≤ 15kHz) (Note 2)	I _{OPL}	+1.5	A	
	Output voltage	V _O	(Ta ≤ 70°C)	35	V
			(Ta = 85°C)	24	
	Supply voltage	V _{CC}	(Ta ≤ 70°C)	35	V
			(Ta = 85°C)	24	
	Output voltage derating (Ta ≥ 70°C)	ΔV _O / ΔTa	-0.73	V / °C	
	Supply voltage derating (Ta ≥ 70°C)	ΔV _{CC} / ΔTa	-0.73	V / °C	
	Junction temperature	T _J	125	°C	
	Operating frequency (Note 3)	f	25	kHz	
Operating temperature range	T _{opr}	-20~85	°C		
Storage temperature range	T _{stg}	-55~125	°C		
Lead soldering temperature (10 s)	T _{sol}	260	°C		
Isolation voltage (AC, 1 min., R.H. ≤ 60%) (Note 4)	BV _S	2500	V _{rms}		

(Note 1) Pulse width P_W ≤ 1μs, 300pps

(Note 2) Exponential waveform

(Note 3) Exponential waveform, I_{OPH} ≤ -1.0A (≤ 2.5μs), I_{OPL} ≤ +1.0A (≤ 2.5μs)

(Note 4) Device considered a two terminal device: Pins 1, 2, 3 and 4 shorted together, and pins 5, 6, 7 and 8 shorted together.

(Note 5) A ceramic capacitor(0.1μF) should be connected from pin 8 to pin 5 to stabilize the operation of the high gain linear amplifier. Failure to provide the bypassing may impair the switching property. The total lead length between capacitor and coupler should not exceed 1cm.

Recommended Operating Conditions

Characteristic	Symbol	Min.	Typ.	Max.	Unit
Input current, on	I _{F(ON)}	7	8	10	mA
Input voltage, off	V _{F(OFF)}	0	—	0.8	V
Supply voltage	V _{CC}	15	—	30 20	V
Peak output current	I _{OPH} /I _{OPL}	—	—	±0.5	A
Operating temperature	T _{opr}	-20	25	70 85	°C

Electrical Characteristics (Ta = -20~70°C, unless otherwise specified)

Characteristic	Symbol	Test Circuit	Test Condition	Min.	Typ.*	Max.	Unit
Input forward voltage	V _F	—	I _F = 10 mA, Ta = 25°C		1.6	1.8	V
Temperature coefficient of forward voltage	ΔV _F / ΔTa	—	I _F = 10 mA	—	-2.0	—	mV / °C
Input reverse current	I _R	—	V _R = 5V, Ta = 25°C		—	10	μA
Input capacitance	C _T	—	V = 0, f = 1MHz, Ta = 25°C	—	45	250	pF
Output current	"H" level	I _{OPH}	V _{CC} = 30V (*1) I _F = 10 mA V ₈₋₆ = 4V	-0.5	-1.5	—	A
	"L" level	I _{OPL}		2	0.5	2	
Output voltage	"H" level	V _{OH}	V _{CC1} = +15V, V _{EE1} = -15V R _L = 200Ω, I _F = 5mA	11	12.8	—	V
	"L" level	V _{OL}		5	—	-14.2	
Supply current	"H" level	I _{CCH}	V _{CC} = 30V, I _F = 10mA Ta = 25°C	—	7	—	mA
			V _{CC} = 30V, I _F = 10mA	—	—	11	
	"L" level	I _{CCL}	V _{CC} = 30V, I _F = 0mA Ta = 25°C	—	7.5	—	
			V _{CC} = 30V, I _F = 0mA	—	—	11	
Threshold input current	"Output L→H"	I _{FLH}	V _{CC1} = +15V, V _{EE1} = -15V R _L = 200Ω, V _O > 0V	—	1.2	5	mA
Threshold input voltage	"Output H→L"	I _{FHL}	V _{CC1} = +15V, V _{EE1} = -15V R _L = 200Ω, V _O < 0V	0.8	—	—	V
Supply voltage	V _{CC}	—		10	—	35	V
Capacitance (input-output)	C _S	—	V _S = 0, f = 1MHz Ta = 25°C	—	1.0	2.0	pF
Resistance(input-output)	R _S	—	V _S = 500V, Ta = 25°C R.H. ≤ 60%	1×10 ¹²	10 ¹⁴	—	Ω

* All typical values are at Ta = 25°C (*1): Duration of I_O time ≤ 50μs

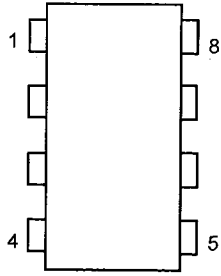
Switching Characteristics (Ta = -20~70°C , unless otherwise specified)

Characteristic	Symbol	Test Circuit	Test Condition	Min.	Typ.*	Max.	Unit
Propagation delay time	L→H	6	I _F = 8mA V _{CC1} = +15V, V _{EE1} = -15V R _L = 200Ω	—	0.15	0.5	μs
	H→L			—	0.15	0.5	
Output rise time	t _r			—	—	—	
Output fall time	t _f			—	—	—	
Common mode transient immunity at high level output	C _{MH}	7	V _{CM} = 600V, I _F = 8mA V _{CC} = 30V, Ta = 25°C	-5000	—	—	V / μs
Common mode transient immunity at low level output	C _{ML}	7	V _{CM} = 600V, I _F = 0mA V _{CC} = 30V, Ta = 25°C	5000	—	—	V / μs

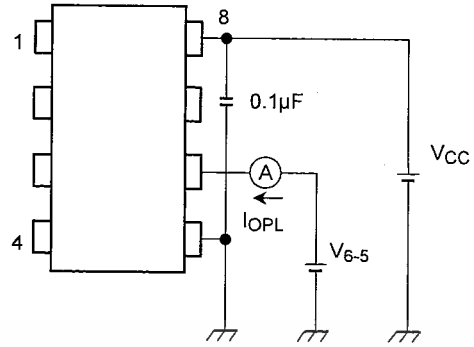
* All typical values are at Ta = 25°C



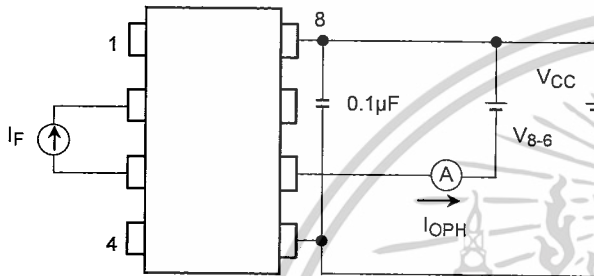
Test Circuit 1 :



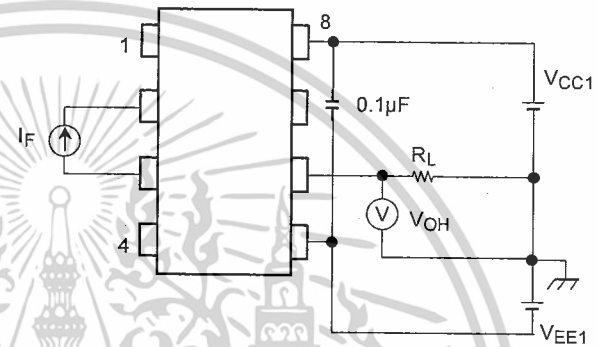
Test Circuit 2 : IOPL



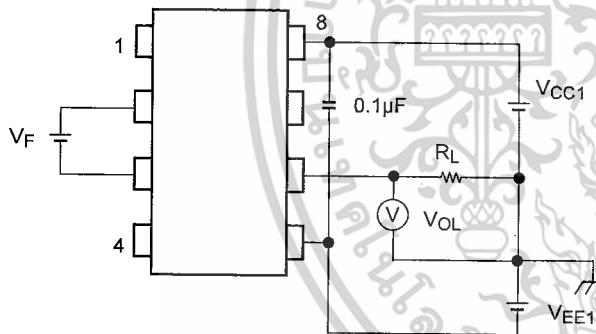
Test Circuit 3 : IOPH



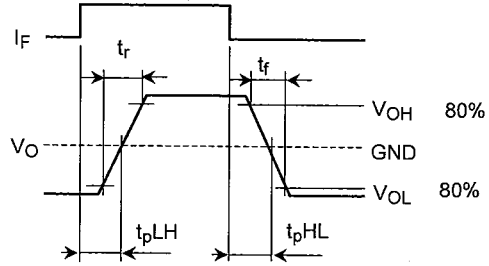
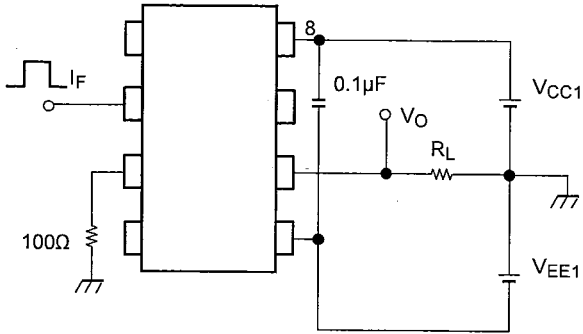
Test Circuit 4 : VOH



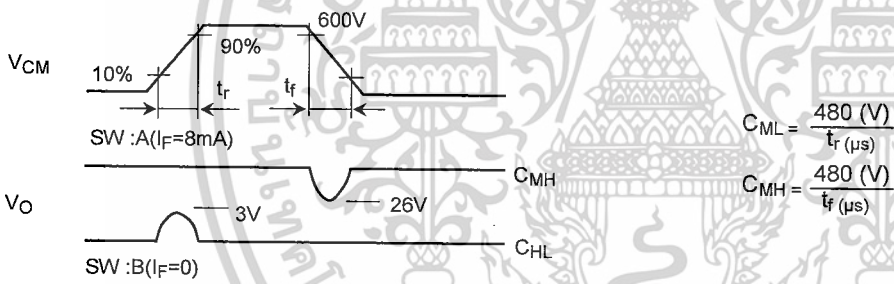
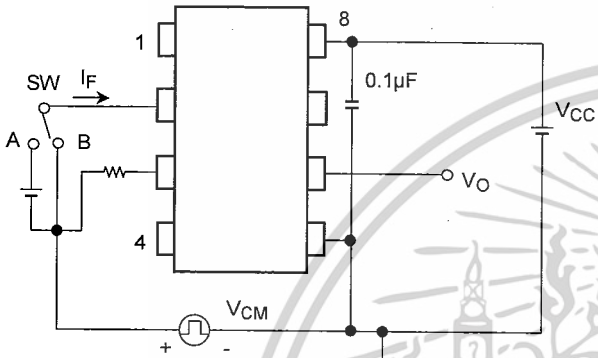
Test Circuit 5 : VOL



Test Circuit 6: t_{pLH} , t_{pHL} , t_r , t_f



Test Circuit 7: C_{MH} , C_{ML}



$C_{ML}(C_{MH})$ is the maximum rate of rise (fall) of the common mode voltage that can be sustained with the output voltage in the low (high) state.

MBR350, MBR360

MBR360 is a Preferred Device

Axial Lead Rectifiers

These devices employ the Schottky Barrier principle in a large area metal-to-silicon power diode. State-of-the-art geometry features epitaxial construction with oxide passivation and metal overlap contact. Ideally suited for use as rectifiers in low-voltage, high-frequency inverters, free wheeling diodes, and polarity protection diodes.

Features

- Extremely Low v_f
- Low Power Loss/High Efficiency
- Highly Stable Oxide Passivated Junction
- Low Stored Charge, Majority Carrier Conduction
- Pb-Free Packages are Available*

Mechanical Characteristics:

- Case: Epoxy, Molded
- Weight: 1.1 Gram (Approximately)
- Finish: All External Surfaces Corrosion Resistant and Terminal Leads are Readily Solderable
- Lead Temperature for Soldering Purposes: 260°C Max. for 10 Seconds
- Polarity: Cathode indicated by Polarity Band

MAXIMUM RATINGS

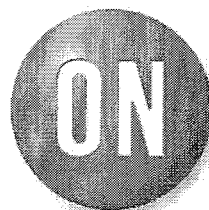
Rating	Symbol	Max	Unit
Peak Repetitive Reverse Voltage Working Peak Reverse Voltage DC Blocking Voltage	V_{RRM} V_{RWM} V_R	50 60	V
Average Rectified Forward Current $T_A = 65^\circ\text{C}$ ($R_{\theta JA} = 28^\circ\text{C/W}$, P.C. Board Mounting)	I_O	3.0	A
Non-Repetitive Peak Surge Current (Note 1) (Surge Applied at Rated Load Conditions Halfwave, Single Phase, 60 Hz, $T_L = 75^\circ\text{C}$)	I_{FSM}	80	A
Operating and Storage Junction Temperature Range (Reverse Voltage Applied)	T_J, T_{stg}	-65 to +150	$^\circ\text{C}$

THERMAL CHARACTERISTICS

Thermal Resistance, Junction-to-Ambient (see Note 4 - Mounting Data, Mounting Method 3)	$R_{\theta JA}$	28	$^\circ\text{C/W}$
--	-----------------	----	--------------------

Stresses exceeding Maximum Ratings may damage the device. Maximum Ratings are stress ratings only. Functional operation above the Recommended Operating Conditions is not implied. Extended exposure to stresses above the Recommended Operating Conditions may affect device reliability.

1. Lead Temperature reference is cathode lead 1/32 in from case.



ON Semiconductor®

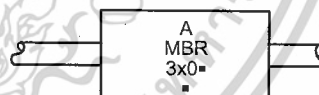
<http://onsemi.com>

**SCHOTTKY BARRIER
RECTIFIERS
3.0 AMPERES
50, 60 VOLTS**



AXIAL LEAD
CASE 267-05
(DO-201AD)
STYLE 1

MARKING DIAGRAM



A = Assembly Location
x = 5 or 6
■ = Pb-Free Package
(Note: Microdot may be in either location)

ORDERING INFORMATION

See detailed ordering and shipping information in the package dimensions section on page 3 of this data sheet.

Preferred devices are recommended choices for future use and best overall value.

*For additional information on our Pb-Free strategy and soldering details, please download the ON Semiconductor Soldering and Mounting Techniques Reference Manual, SOLDERRM/D.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MBR350, MBR360

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($T_L = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted) (Note 2)

Characteristic	Symbol	Max	Unit
Maximum Instantaneous Forward Voltage (Note 3) ($i_F = 1.0$ Amp) ($i_F = 3.0$ Amp) ($i_F = 9.4$ Amp)	V_F	0.600 0.740 1.080	V
Maximum Instantaneous Reverse Current @ Rated DC Voltage (Note 3) $T_L = 25^\circ\text{C}$ $T_L = 100^\circ\text{C}$	i_R	0.60 20	mA

- Lead Temperature reference is cathode lead 1/32 in from case.
- Pulse Test: Pulse Width = 300 μs , Duty Cycle = 2.0%.

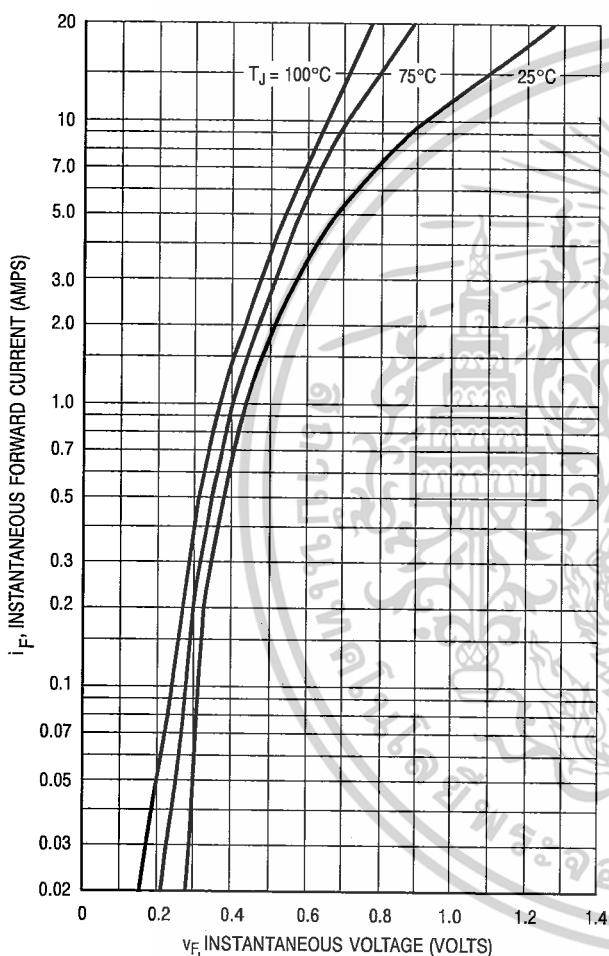


Figure 1. Typical Forward Voltage

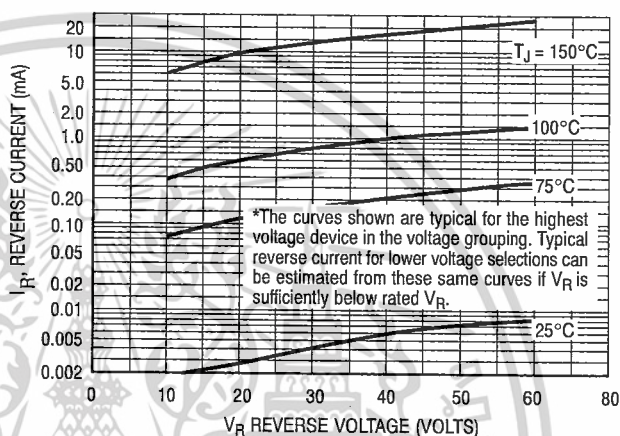


Figure 2. Typical Reverse Current*

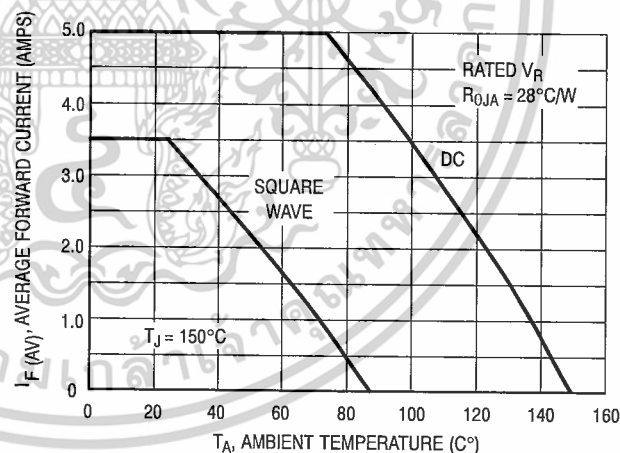
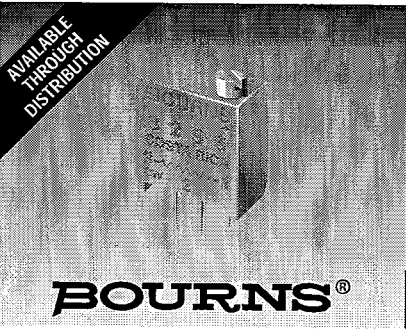


Figure 3. Current Derating Ambient
(Mounting Method 3 per Note 4)

AVAILABLE THROUGH DISTRIBUTION



BOURNS®

Features

- Multiturn / Cermet / Industrial / Sealed
- 5 terminal styles
- Tape and reel packaging available
- Chevron seal design
- Listed on the QPL for style RJ24 per MIL-R-22097 and RJ24 per High-Rel Mil-R-39035
- Mounting hardware available (H-117P)

3296 - 3/8 " Square Trimming Potentiometer

Electrical Characteristics

Standard Resistance Range10 to 5 megohms
 (see standard resistance table)
 Resistance Tolerance±10 % std.
 (tighter tolerance available)
 Absolute Minimum Resistance1 % or 2 ohms max.
 (whichever is greater)
 Contact Resistance Variation1.0 % or 3 ohms max.
 (whichever is greater)
 Adjustability
 Voltage±0.01 %
 Resistance±0.05 %
 ResolutionInfinite
 Insulation Resistance500 vdc.
 1,000 megohms min.
 Dielectric Strength
 Sea Level900 vac
 70,000 Feet350 vac
 Effective Travel25 turns nom.

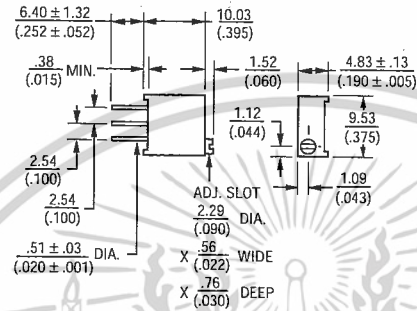
Environmental Characteristics

Power Rating (300 volts max.)
 70 °C0.5 watt
 125 °C0 watt
 Temperature Range-55 °C to +150 °C
 Temperature Coefficient±100 ppm/°C
 Seal Test85 °C Fluorinert*
 HumidityMIL-STD-202 Method 103
 96 hours
 (2 % ΔTR, 10 Megohms IR)
 Vibration20 G (1 % ΔTR; 1 % ΔVR)
 Shock100 G (1 % ΔTR; 1 % ΔVR)
 Load Life1,000 hours 0.5 watt @ 70 °C
 (3 % ΔTR; 3 % or 3 ohms, whichever is greater, CRV)
 Rotational Life200 cycles
 (4 % ΔTR; 3 % or 3 ohms, whichever is greater, CRV)

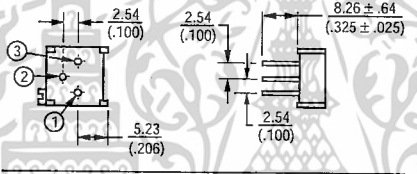
Physical Characteristics

Torque3.0 oz-in. max.
 Mechanical StopsWiper idles
 TerminalsSolderable pins
 Weight0.03 oz.
 MarkingManufacturer's trademark, resistance code, wiring diagram, date code, manufacturer's model number and style
 WiperPositioned at 50 % nominal
 FlammabilityU.L. 94V-0
 Standard Packaging50 pcs. per tube
 Adjustment ToolH-90

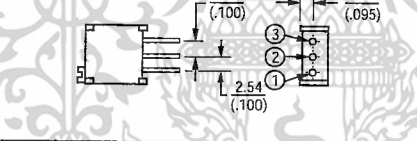
Common Dimensions



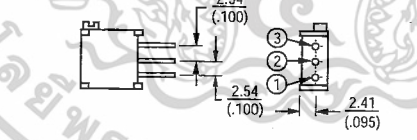
3296P



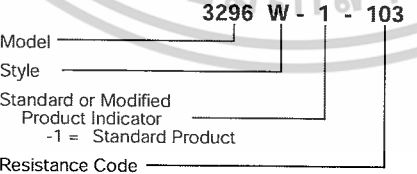
3296W



3296X

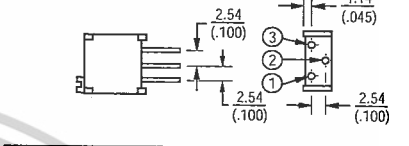


How To Order

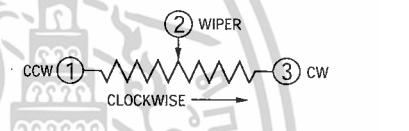
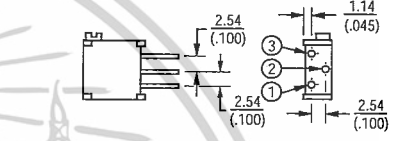


Consult factory for other available options.

3296Y (Commercial Only)



3296Z (Commercial Only)



TOLERANCES: ± 0.25 (.010) EXCEPT WHERE NOTED
 DIMENSIONS ARE: MM (INCHES)

Standard Resistance Table

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

Popular values listed in boldface. Special resistances available.

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

ประวัติผู้เขียน



นายภาณุวัฒน์ อินทร์จันทร์

เกิดวันที่ 21 กุมภาพันธ์ 2528

สัญชาติ ไทย ศาสนาพุทธ

ที่อยู่ 37/18 ม.6 ต.ทับมา อ.เมือง จ.ระยอง 21000

เบอร์โทรศัพท์มือถือ 087-3344988

อีเมล : J_K111@hotmail.com



นายศิริพงษ์ กิจวัตร์

เกิดวันที่ 5 มิถุนายน 2528

สัญชาติ ไทย ศาสนาพุทธ

ที่อยู่ 745 ซ.จรัญสนิทวงศ์ 79 แขวงบางพลัด เขตบางพลัด กรุงเทพฯ 10700

เบอร์โทรศัพท์มือถือ 087-6551680

อีเมล : blaze_over@hotmail.com



นายสุรสิทธิ์ ละออไชย์

เกิดวันที่ 16 เมษายน 2526

สัญชาติ ไทย ศาสนาพุทธ

ที่อยู่ 35 ม.3 ต.เมืองปัก อ.ปักธงชัย จ.นครราชสีมา 30150

หมายเลขโทรศัพท์มือถือ 084-1111955

อีเมล : nobitez16@hotmail.com

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้