วงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลังสำหรับการเตรียมฟิล์มบางบนวัสดุรองรับโดยใช้เทคนิค พัลส์ ดีซี แมกนีตรอน สปัตเตอริ่ง

A Power Electronics Circuit for Thin Films Preparation Using Pulses DC Magnetron Sputtering Technique

โดย

นาย กฤติน สมานวงษ์

นาย กันตภณ อยู่ยืนพัฒนา

นางสาว ทิวาพร ขอพิมาย

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2555

วงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลังสำหรับการเตรียมฟิล์มบางบนวัสดุรองรับโดยใช้เทคนิค พัลส์ ดีซี แมกนีตรอน สปัตเตอริ่ง

A Power Electronics Circuit for Thin Films Preparation Using Pulses DC Magnetron Sputtering Technique

โดย

นาย กฤติน สมานวงษ์
นาย กันตภณ อยู่ยืนพัฒนา
นางสาว ทิวาพร ขอพิมาย

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2555

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A Power Electronics Circuit for Thin Films Preparation Using Pulses DC Magnetron Sputtering Technique

KRITTIN SAMANWONG
KANTAPON YOUYUENPATHANA
TIWAPORN KHOPIMAI

A PAPER SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT FOR
THE DEGREE OF BACHELOR OF ELECTRICAL ENGINEERING

DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2012

วงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลังสำหรับการเตรียมฟิล์มบางบนวัสดุรองรับโดยใช้เทคนิค พัลส์ ดีซี แมกนีตรอน สปัตเตอริ่ง

A Power Electronics Circuit for Thin Films Preparation Using Pulses DC Magnetron Sputtering Technique

โดย

นาย กฤติน สมานวงษ์

นาย กันตภณ อยู่ยืนพัฒนา

นางสาว ทิวาพร ขอพิมาย

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ.ดร. ศิริเดช บุญแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2555

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง วงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลังสำหรับการเตรียมฟิล์มบางบนวัสดุรองรับโดยใช้เทคนิค พัลส์ ดีซี แมกนีตรอน สปัตเตอริ่ง

ผู้จัดทำ

1. นาย กฤติน สมานวงษ์
2. นาย กันตภณ อยู่ยืนพัฒนา
3. นางสาว ทิวาพร ขอพิมาย

.... อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ศิริเดช บุญแสง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลังสำหรับการเตรียมฟิล์มบางบนวัสดุรองรับโดยใช้เทคนิค พัลส์ ดีซี แมกนีตรอน สปัตเตอริ่ง

นาย กฤติน สมานวงษ์
นาย กันตภณ อยู่ยืนพัฒนา
นางสาว ทิวาพร ขอพิมาย
ผศ. ดร. ศิริเดช บุญแสง อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2555

บทคัดย่อ

บทความฉบับนี้เปนรายงานผลการออกแบบสรางแหล่งจ่ายไฟฟ้าดีซีพัลส์ สำหรับประยุกต์ใช้ในเครื่องเคลือบฟิล์มบางชนิดดีซีแมกนีตรอนสปัตเตอริ่ง ออกแบบโดยใชวงจรฟูลบริดจ์อินเวอร์เตอร์เฟสเดียวมาแบ่งจ่ายแยกแต่ละกิ่งด้วยแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูงแบบปรับค่าได้ และนำเสนอการเคลือบฟิล์มบางโดยใช้เทคนิคดีซีพัลส์ สร้างขบวนคลื่นดีซีพัลส์ด้วยการโปรแกรมไมโครคอนโทรลเลอร์และจัดให้สามารถสั่งการควบคุมได้จากหน้าจอคอมพิวเตอร์ ซึ่งขบวนคลื่นแรงดันที่ออกมาจากแหล่งจ่ายไฟฟ้าดีซีพัลส์นั้นจะต้องปรับแรงดันได้ด้วยการปรับแรงดันของชุดแหล่งจ่ายแรงดันปรับค่าได้ และสามารถปรับค่าความกว้างพัลส์ได้ตามต้องการ ทดสอบชิ้นงานด้วยการนำไปเคลือบฟิล์มบางบนวัสดุรองรับด้วยวิธีดีซีพัลส์ จากผลการทดสอบพบวา การเคลือบฟิล์มบางบนผิววัสดุรองรับด้วยเทคนิคดีซีพัลส์นั้นจะไม่ทำให้วัสดุรองรับมีอุณหภูมิสูงเกินไป เหมาะสำหรับใช้เคลือบผิววัสดุที่ทนความร้อนได้ไม่มาก และเหมาะสมกับการนำไปใช้งานจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A Power Electronics Circuit for Thin Films Preparation Using Pulses DC Magnetron Sputtering Technique

KRITTIN SAMANWONG
KANTAPON YOUYUENPATHANA
TIWAPORN KHOPIMAI
ASST.PROF. SIRIDECH BOONSAENG Supervisor
Year 2012

ABSTRACT

This paper presents a design and construction of a DC Pulse Power Supply for DC magnetron sputtering thin film coating applications. The power electronics part is designed and constructed by using two variable voltage power supply feed on single phase full bridge inverter separately each branch. The technique presented for thin film coating is DC pulse technique. The DC pulse controlled signal is generated by digital signal peripheral interface controller and provided the computer LCD as control panel. The well designed DC pulse power supply must have voltage and period adjustable. The performance of the DC pulse power supply has been examined by real thin film coating with DC Pulse technique. The test results show that the DC pulse technique gave a better thermal characteristic of coating. So the DC pulse technique is more suitable for the substrate that cannot bared high temperature and it is the most suitable technique for all thin film coating application today.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ได้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี คณะผู้จัดทำได้ศึกษาค้นคว้าอย่างทุ่มเท และรู้สึกภาคภูมิใจกับความสำเร็จ หากแต่ความสำเร็จไม่ได้ลุล่วงมาด้วยตัวคนเดียว ทางผู้จัดทำจึงขอขอบพระคุณบุคคลเหล่านี้เพื่อตอบแทนความเมตตา ความช่วยเหลือ และความรู้ที่ได้จากบุคคลเหล่านี้

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าทุกท่านที่เอื้อเฟื้อเผื่อแผ่อุปกรณ์การทดลองต่างๆ

ขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ศิริเดช บุญแสง อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ซึ่งประสิทธ์ประสาทวิชาให้ความรู้ คำแนะนำ และแง่คิดในการทำงาน ตลอดจนให้ความช่วยเหลือในด้านต่างๆ จนโครงงานวิจัยสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบคุณ คุณศิวพล จันทร์คุณาภาส (พี่ปาล์ม) และ คุณหทัยจิต อิสระบุตร (พี่โบว์) ที่ให้ความช่วยเหลืออย่างเต็มที่ถึงขั้นหามรุ่งหามค่ำ

ขอขอบคุณเพื่อนร่วมกลุ่มคณะผู้จัดทำทุกคน มิตรภาพของเพื่อนทำให้พวกเราทำสำเร็จได้ในวันนี้ เมื่อแยกย้ายกันไป เราจะไม่ลืมกัน

ขอขอบคุณ ดร.ราชศักดิ์ (อาจารย์ฉิน) และ คุณพิจิตร (พี่ยอ) ที่สละเวลาและเอื้อเฟื้ออุปกรณ์การทดลองพร้อมคำแนะนำต่างๆ ซึ่งเป็นพระคุณกับผู้จัดทำอย่างมาก

สุดท้าย ขอขอบพระคุณ บิดา มารดา ผู้ให้กำเนิด ที่คอยให้คำปรึกษา คำแนะนำต่างๆ และให้กำลังใจอยู่ไม่ห่างทำให้ลูกต่อสู้กับปัญหาและอุปสรรคต่างๆได้โดยไม่ย่อท้อ วันนี้ลูกสำเร็จแล้ว ลูกจะไม่ทำให้ท่านผิดหวัง ลูกจะตอบแทนพระคุณให้ถึงที่สุด

คุณค่า คุณประโยชน์ที่มีจากปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ ขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

คณะผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
ABSTRACT	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญรูป	VI
สารบัญตาราง	VIII
บทที่ 1 บทนำ	**1**
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	1
1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงงาน	1
1.4 วิธีการที่ใช้ในโครงงาน	1
1.5 แผนการดำเนินโครงงาน	2
1.6 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย	2
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	**3**
2.1 ทฤษฎีและหลักการพื้นฐานของการเคลือบผิวด้วยฟิล์มบาง	3
2.1.1 สปัตเตอริ่ง	3
2.1.2 ทฤษฎีการสปัตเตอริ่ง	3
2.1.3 Precursor Gas	3
2.1.4 กลไกการเกิดการสปัตเตอริ่ง (Sputtering Mechanism)	3
2.1.5 อัตราการเกิดสปัตเตอริ่ง (Sputtering Rate)	4
2.1.6 แมกนีตรอน สปัตเตอริ่ง (Magnetron Sputtering)	5
2.1.7 การก่อตัวของฟิล์มบางบนวัสดุรองรับ (Thin Film Growth)	5
2.1.8 พัลส์ดีซี สปัตเตอริ่ง	6
2.2 แหล่งจ่ายไฟฟ้าดีซีพัลส์ (DC Pulses Power Supply)	6
2.2.1 อุปกรณ์สวิตซ์ (MOSFET)	7
2.2.2 แหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงปรับค่าได้ (High Voltage Variable Power Supply)	10
2.2.3 ห้องสุญญากาศ (Vacuum Chamber)	11
2.2.4 ขบวนรูปคลื่น ดีซี พัลส์ (DC Pulses Train)	11
2.2.5 การสวิตชิ่งของวงจร H-Bridge	15
2.3 ไมโครคอนโทรลเลอร์ (dsPIC30F4011)	15
2.3.1 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับไมโครคอนโทรลเลอร์	15
2.3.2 สถาปัตยกรรมของไมโครคอนโทรลเลอร์	16
2.3.3 หน่วยประมวลผลกลาง หรือซีพียู	17
2.3.4 หน่วยความจำ	17
2.3.5 หน่วยความจำพิเศษ	18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวน ... นั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้าม ... หา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.3.6 การทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์	19
2.4 โครงสร้างและสถาปัตยกรรมของ dsPIC30F4011	20
2.5 พอร์ตอนุกรม	21
บทที่ 3 การออกแบบและสร้างวงจรดีซีพัลส์เพาเวอร์ซัพพลาย	**23**
3.1 การจำลองวงจร (Simulation)	23
3.2 การสร้างวงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าดีซีพัลส์	24
3.2.1 การสร้างวงจรกำลัง	24
3.2.2 การสร้างวงจรควบคุม	26
3.2.3 การสร้างสัญญาณขับเกตดีซีพัลส์ด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์	29
3.3 การสร้างการควบคุมผ่านคอมพิวเตอร์ (Computer Control Panel)	35
3.4 ลายปริ้นของวงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าดีซีพัลส์	38
บทที่ 4 ผลการทดลอง	**42**
4.1 ผลการทดสอบแหล่งจ่ายไฟฟ้าดีซีพัลส์	42
4.2 ผลการทดสอบแหล่งจ่ายไฟฟ้าดีซีพัลส์เมื่อทดลองเคลือบฟิล์มบาง	45
4.3 สรุปผลการทดลอง	48
บทที่ 5 บทสรุปผลการทดลอง ข้อเสนอแนะ และแนวทางการพัฒนา	**49**
5.1 บทสรุป	49
5.2 ข้อเสนอแนะและข้อควรระวัง	49
5.3 ปัญหาที่พบในการทำโครงงาน	49
5.4 แนวทางการพัฒนาโครงงาน	50
เอกสารอ้างอิง	51
ภาคผนวก	**54**
ประวัติผู้เขียน	**66**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ภายในห้องสุญญากาศเมื่อเตรียมการสปัตเตอริ่ง	3
2.2 อัตราการเกิดสปัตเตอริ่ง	4
2.3 แมกนีตรอนสปัตเตอริ่ง	5
2.4 การก่อตัวของฟิล์มบางบนผิววัสดุรองรับ	5
2.5 วงจร DC Pulses Power Supply	7
2.6 โครงสร้างของมอสเฟตแบบ N และ P ชนิดดีพลีชั่น	8
2.7 โครงสร้างของมอสเฟตแบบ N และ P ชนิดเอนฮานซ์เมนต์	9
2.8 กราฟคุณลักษณะในการถ่ายโอนของอีมอสเฟตแบบแชลแนล N และคุณลักษณะเอาท์พุตของอีมอสเฟตแบบแชลแนล N	9
2.9 รูปคลื่นแรงดันในการสวิตช์ของแรงดันเกท	10
2.10 โหมดการทำงานแบบ Asymmetric Bipolar	13
2.11 รูปคลื่นแรงดันขาออกแบบอะซิมเมตริกไบโพล่า	13
2.12 รูปคลื่นขาออกแบบอะซิมเมตริกไบโพล่าที่มีหลายพัลส์ต่อขั้ว	14
2.13 โครงสร้างและส่วนประกอบหลักเบื้องต้นของไมโครคอนโทรลเลอร์	15
2.14 โครงสร้างสถาปัตยกรรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ แบบพรินซ์ตัน หรือ ฟอน นิวแมน	16
2.15 โครงสร้างสถาปัตยกรรมของไมโครคอนโทรลเลอร์แบบฮาร์วาร์ด	16
2.16 ส่วนประกอบหลักของซีพียูในไมโครคอนโทรลเลอร์	17
2.17 ตัวถังของ dsPIC30F4011 และตำแหน่งขาสัญญาณต่างๆ	20
2.18 การเชื่อมต่ออุปกรณ์อุปกรณ์ภายนอกเข้ากับคอมพิวเตอร์ด้วยสาย DB9	21
2.19 การต่ออุปกรณ์ภายนอกผ่าน DB9 แบบ 3 เส้น	22
3.1 Block Diagram ของระบบ	23
3.2 การจำลองแหล่งจ่ายไฟฟ้าดีซีพัลส์ด้วยโปรแกรม MATLAB Simulink	23
3.3 แรงดันขาออกจากวงจรที่ได้จากการจำลองด้วยโปรแกรม MATLAB Simulink	24
3.4 รูปแบบวงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าดีซีพัลส์	25
3.5 วงจรกำลังที่สร้างขึ้นจริง	25
3.6 มอสเฟตกำลัง 2SK1317	25
3.7 แหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงปรับค่าได้ที่ใช้ในการทำการทดลอง	26
3.8 วงจรไฟเลี้ยงกระแสตรง 15 V เพื่อเป็นไฟเลี้ยงบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์	26
3.9 วงจรไฟเลี้ยงที่สร้างขึ้นจริง	26
3.10 บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ รุ่น dsPIC30F4011	27
3.11 หลักการทำงานของออปโต้คับเปิ้ล	27
3.12 วงจรขับเกตและแยกกราวด์	28
3.13 ภาพรวมของวงจรควบคุม	28
3.14 รูปวงจรขับเกตและวงจรออปโต้ไอโซเลเตอร์ที่สร้างขึ้นจริง	29

เอกสารนี้เป็น... ใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ... เนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.15 วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าดีซีพัลส์ต้นแบบที่สร้างขึ้นจริง	29
3.16 โฟลวชาร์ตของโปรแกรมหลัก	30
3.17 โฟลวชาร์ตของวงจรย่อย	31
3.18 สัญญาณขับขาเกตของมอสเฟต S1 (บน) และมอสเฟต S2 (ล่าง)	32
3.19 สัญญาณขับขาเกตของมอสเฟต S3 (บน) และมอสเฟต S4 (ล่าง)	32
3.20 สัญญาณขับขาเกตของมอสเฟต S2 (บน) และมอสเฟต S3 (ล่าง)	33
3.21 สัญญาณขับขาเกตของมอสเฟต S1 (บน) และมอสเฟต S3 (ล่าง)	33
3.22 สัญญาณขับขาเกตของมอสเฟต S2 (บน) และมอสเฟต S4 (ล่าง)	34
3.23 สัญญาณแรงดันขาออกของวงจรกำลังแบบซิมเมตริกไบโพล่า	34
3.24 พอร์ตอนุกรมของบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์	35
3.25 การเชื่อมพอร์ตอนุกรมระหว่างคอมพิวเตอร์และไมโครคอนโทรลเลอร์	35
3.26 อินเตอร์เฟสเพื่อควบคุมแหล่งจ่ายไฟฟ้าดีซีพัลส์	37
3.27 รูปคลื่นพัลส์ที่ถูกควบคุมผ่านโปรแกรม Visual Basic 6.0	37
3.28 ก) ลายวงจร H-Bridge ด้านบน ข) ลายวงจร H-Bridge ด้านล่าง	38
3.29 ก) ลายวงจรขับเกตด้านบน ข) ลายวงจรขับเกตด้านล่าง	39
3.30 ก) ลายวงจรไฟเลี้ยงด้านบน ข) ลายวงจรไฟเลี้ยงด้านล่าง	40
4.1 แรงดันขาออกในโหมด Positive DC	42
4.2 แรงดันขาออกในโหมด Negative DC	42
4.3 แรงดันขาออกในโหมด Positive Unipolar	43
4.4 แรงดันขาออกในโหมด Negative Unipolar	43
4.5 แรงดันขาออกในโหมด Symmetric Bipolar	44
4.6 แรงดันขาออกในโหมด Asymmetric Bipolar	44
4.7 ชิ้นงานที่ต้องการจะเคลือบภายในห้องสุญญากาศก่อนทำการเคลือบ	45
4.8 ตู้ควบคุมห้องสุญญากาศ	46
4.9 ต่อแหล่งจ่าย Pinnacle 2/2 kW เข้ากับแหล่งจ่ายไฟฟ้าดีซีพัลส์	46
4.10 รูปคลื่นอะซิมเมตริกไบโพล่าที่ใช้ในการเคลือบฟิล์มบาง	47
4.11 ภายในห้องสุญญากาศขณะเกิดปฏิกิริยาสปัตเตอริ่ง	47
4.12 ชิ้นงานที่ถูกเคลือบฟิล์มอะลูมินัมเรียบร้อยแล้ว	48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 แผนการดำเนินโครงงาน	2
2.1 โหมดการทำงานของวงจร H-Bridge ในแหล่งจ่ายไฟฟ้าดีซีพัลส์	11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ฟิล์มบางสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้มากมาย เช่น ฟิล์มบางชนิด อินเดียมทินออกไซด์ ถูกนำมาใช้ประโยชน์มากมาย ไม่ว่าจะเป็นขั้วไฟฟ้าโปร่งแสงสำหรับจอภาพแสดงผล เซลล์แสงอาทิตย์ อุปกรณ์อิเล็กโตรโครมิกส์ และอื่นๆอีกมากมาย ฟิล์มที่ดีจะต้องมีค่าสภาพต้านทานต่ำ ในปัจจุบันได้มีการเตรียมฟิล์มบางลงบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ที่มีน้ำหนักเบา และจอภาพ (Touch Panel Display) อย่างไรก็ตามวัสดุรองรับที่เป็นพลาสติกจะทนความร้อนได้ไม่สูง และเทคนิคในการเตรียมฟิล์มบางที่เรียกว่า ดีซี แมกนีตรอน สปัตเตอริ่ง (DC Magnetron Sputtering) หรือ ดีซี สมูท (DC Smooth) นั้นจะทำให้เกิดความร้อนสูงบนวัสดุรองรับ ซึ่งส่งผลเสียต่อวัสดุรองรับ ในปริญญานิพนธ์นี้จึงได้นำเสนอเทคนิคการเคลือบฟิล์มบางที่เรียกว่า ดีซี พัลส์ (DC Pulses) ซึ่งเทคนิคนี้นั้นสามารถจะควบคุมกำลังไฟฟ้าขาออกที่จ่ายไปยังห้องเคลือบฟิล์มได้ ซึ่งเราสามารถกำหนดค่ากำลังไฟฟ้าที่เหมาะสมต่อการเคลือบฟิล์มบางได้

เทคนิคดีซีสมูทและดีซีพัลส์นั้นให้คุณลักษณะการเคลือบวัสดุรองรับต่างกัน เช่น แรงดันการเคลือบกระแสพลาสม่า เป็นต้น การใช้เทคนิคดีซีพัลส์เหมาะกับวัสดุรองรับที่ทนอุณหภูมิได้ไม่สูงนัก เนื่องจากการเคลือบนั้นไม่มีความต่อเนื่อง และผลของความต่างศักย์ในการเคลือบนั้นต่ำกว่าเทคนิคดีซีสมูทถึง 160 ถึง 170 โวลต์ ซึ่งส่งผลต่อพลังงานในการสปัตเตอร์อะตอมและอุณหภูมิของวัสดุรองรับ

ดังนั้น ปริญญานิพนธ์เล่มนี้จึงได้นำเสนอการเคลือบฟิล์มบางบนวัสดุรองรับด้วยเทคนิคดีซีพัลส์เพื่อนำเสนอการศึกษา การทดลองซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อการวิจัยต่อไปในอนาคต

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลังที่เหมาะสมสำหรับการเคลือบฟิล์มบาง
2. เพื่อศึกษาคุณลักษณะของการเคลือบฟิล์มบางด้วยเทคนิคดีซีพัลส์
3. เพื่อศึกษาวิธีการเคลือบฟิล์มบางด้วยเทคนิคดีซีพัลส์
4. เพื่อส่งเสริมให้เกิดการพัฒนาเทคโนโลยีด้านการเคลือบฟิล์มบาง

1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงงาน

1. ออกแบบสร้างวงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลังสำหรับการเคลือบฟิล์มบาง
2. ศึกษาผลของการเคลือบฟิล์มบางด้วยเทคนิคดีซีพัลส์
3. ออกแบบสร้างระบบควบคุมที่เหมาะสมสำหรับการเคลือบฟิล์มบาง

1.4 วิธีการที่ใช้ในโครงงาน

1. ออกแบบและสร้างวงจรอินเวอร์เตอร์เฟสเดียวแบบฟูลบริดจ์เพื่อใช้เป็นวงจรที่ส่งผ่านกำลังไฟฟ้าเข้าสู่ห้องเคลือบฟิล์มบาง
2. ออกแบบการควบคุมแหล่งจ่ายไฟฟ้าดีซีพัลส์โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์
3. ควบคุมกระบวนการทั้งหมดโดยใช้การควบคุมผ่านพอร์ตอนุกรม

เอกสารนี้เป็น...เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีก...การนำไปใช้

1.5 แผนการดำเนินโครงงาน

แผนดำเนินโครงงาน / เดือน พ.ศ. 2555	ก.ค	ส.ค	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.
1) ศึกษาทำความเข้าใจวิธีการเคลือบฟิล์มบางด้วยวิธีแมกนีตรอนสปัตเตอริ่ง	↔							
2) ออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลังสำหรับการเคลือบฟิล์มบาง		↔						
3) สร้างวงจรตามที่ได้ออกแบบไว้			↔					
4) สร้างรูปขบวนคลื่นดีซีพัลส์ด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ และทำให้สามารถควบคุมพารามิเตอร์ได้ด้วยคอมพิวเตอร์			↔	↔	↔			
5) นำ Hardware และ Software ที่สำเร็จแล้วไปทดลองเคลือบแผ่นฟิล์มบาง					↔	↔	↔	
6) บันทึกและสรุปผลการทดลอง							↔	↔
7) สำเร็จปริญญานิพนธ์								↔

ตารางที่ 1.1 แผนการดำเนินโครงงาน

1.6 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

1. ได้ศึกษาเทคนิคการเคลือบฟิล์มบางด้วยเทคนิคดีซีพัลส์
2. ได้ค้นคว้างานวิจัยต่างๆที่เกี่ยวข้องจนสามารถคิดค้น สร้าง และควบคุมการเคลือบผิววัสดุด้วยฟิล์มบาง
3. การวิจัยก่อให้เกิดความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมได้
4. การวิจัยก่อให้เกิดการพัฒนาบุคลากรที่มีความสามารถให้มีความสามารถและทักษะมากยิ่งขึ้นเพื่อป้อนเข้าสู่อุตสาหกรรมการเคลือบฟิล์มบาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีและหลักการพื้นฐานของการเคลือบผิวด้วยฟิล์มบาง

การเคลือบฟิล์มบางด้วยวิธีแมกนีตรอนสปัตเตอริ่งเป็นวิธีที่ใช้กันอย่างแพร่หลายมานานมากแล้ว นักวิจัยในยุคสมัยต่างๆ ต่างเห็นพ้องต้องกันว่าวิธีการเคลือบฟิล์มบางด้วยวิธีแมกนีตรอนสปัตเตอริ่งนั้นเป็นวิธีที่เหมาะสมทั้งทางทฤษฎีและปฏิบัติมากที่สุด

2.1.1 สปัตเตอริ่ง คือ การทำให้อะตอมแตกตัวออกจากผิวด้วยพลังงานจากไอออน ปรากฏการณ์สปัตเตอริ่งนั้นถูกค้นพบครั้งแรกโดย เซอร์ วิลเลี่ยม โรเบิร์ต โกรฟ (Sir William Robert Grove) ผู้ซึ่งสร้างเซลล์เชื้อเพลิง

2.1.2 ทฤษฎีการสปัตเตอริ่ง การสปัตเตอริ่งนั้นคือกระบวนการที่เรียกว่า "Physical Vapor Deposition" โดยในห้องสุญญากาศ (Vacuum Chamber) นั้น จะมีสารเคลือบ (Source of Coating Material) หรือที่เรียกกันว่า "Target" ติดตั้งอยู่ตรงข้ามกับวัสดุรองรับ หรือ "Substrate" ห้องสุญญากาศจะถูกปรับให้มีความดัน 10^{-6} ถึง 10^{-10} ทอร์ (10^{-4} ถึง 10^{-8} ปาสคาล) รูปภาพภายในห้องสุญญากาศแสดงดังรูป

รูปที่ 2.1 ภายในห้องสุญญากาศเมื่อเตรียมการสปัตเตอริ่ง

2.1.3 Precursor Gas คือ ก๊าซที่ใช้ในการให้พลังงานไอออนแก่ทาร์เกต ก๊าซที่เป็นที่นิยมคือก๊าซอาร์กอน (Argon) เนื่องจากมีมวลที่พอเหมาะและราคาสมเหตุสมผล ก๊าซอาร์กอนจะถูกฉีดเข้าไปในห้องสุญญากาศด้วยความดัน 1 ถึง 100 มิลลิทอร์ (0.1 ถึง 1 ปาสคาล) เมื่อก๊าซถูกป้อนด้วยกำลังไฟฟ้าลบประมาณ 0.5 ถึง 5 กิโลโวลต์ ก๊าซอาร์กอนจะเกิดการแตกตัวเป็นไอออนและพลาสม่า ไอออนบวกจะพุ่งขึ้นไปหาขั้วลบซึ่งมีทาร์เกตรองรับอยู่ทำให้อะตอมของทาร์เกตหลุดออกมา

2.1.4 กลไกการเกิดการสปัตเตอริ่ง (Sputtering Mechanism) เมื่อไอออนได้พุ่งเข้าชนขั้วแคโทดซึ่งเป็นที่อยู่ของทาร์เกตแล้ว จะเกิดปฏิกิริยา Back scattering , X-Ray Emission , Photon Generation , Secondary Electron Emission และ Gas Atom Desorption ขึ้นที่ผิวสารเคลือบ (Target) เมื่ออนุภาคไอออนได้พุ่งเข้าชนผิวทาร์เกตด้วยพลังงานที่สูงพอ จะทำให้พันธะ

อะตอมทาร์เกตสลายตัวและอนุภาคจะแตกกระจายออกมาจากผิวทาร์เกตอะตอมที่กระจายออกเหล่านี้จะเรียกว่า “สปัตเตอร์อะตอม” (Sputtered Atom)

การสปัตเตอริ่ง สามารถแบ่งออกได้เป็นสี่ระดับพลังงาน ตั้งแต่ระดับใกล้เคียงค่าพลังงานยึดเหนี่ยวจนถึงระดับหลายเมกกะอิเล็กตรอนโวลต์

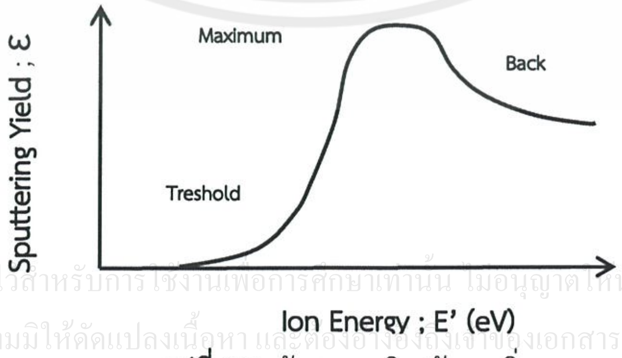
2.1.4.1 ระดับพลังงานต่ำมาก (Very Low Energy) มีระดับพลังงานน้อยกว่า 30 ถึง 50 eV ในระดับนี้จะมีสะปัตเตอร์อะตอมน้อยมาก และมีหลายพื้นที่บนผิวที่ได้รับพลังงานไม่ถึงระดับเริ่มแรกของการแตกตัว (Sputter Treshold)

2.1.4.2 ระดับพลังงานแบบชนเดี่ยว (Single Knock-on Energy) มีระดับพลังงานต่ำกว่า 1 keV พลังงานระดับนี้ยังถือว่าต่ำอยู่ แต่ก็เพียงพอที่จะทำให้เกิดการแตกตัวของอะตอมในรูปแบบ Single Knock-on ซึ่งเมื่อไอออนพุ่งมาชนอะตอมของทาร์เกตแล้วอะตอมบนผิว Target ที่ถูกชนก็จะกระเด็นไปชนอะตอมบนผิวตัวอื่นจนเกิดสปัตเตอร์อะตอมขึ้นมา อะตอมที่ถูกชนจากตัวแรกไปจนตัวสุดท้ายจะมีโมเมนตัมมากพอทำให้พันธะสลายตัว โดยอย่างน้อยอะตอมต้องชนกันถึงสี่ทอดจึงจะมีโมเมนตัมมากพอที่จะเกิดสปัตเตอร์อะตอม ระดับพลังงานระดับนี้ถูกนำไปใช้ในการประยุกต์ทางด้านสปัตเตอริ่งมากที่สุด

2.1.4.3 ระดับพลังงานแบบโคลิชัน-คาสเคด (Collision-Cascade Sputtering) เกิดขึ้นที่ระดับพลังงาน ระหว่าง 1 keV จนถึง 50 keV อนุภาคไอออนที่ได้รับพลังงานระดับนี้เมื่อพุ่งมาปะทะกับผิว Target จะมีพลังงานมากพอที่จะทำให้พันธะของกลุ่มอะตอมในบริเวณที่ถูกชนนั้นถูกทำลายทั้งหมด ในขณะที่ชนนั้น อะตอมบนผิวจะชนต่อๆกันไปเป็นลูกโซ่แผ่เป็นวงกว้างและเกิดการแทนที่อะตอมเดิมโดยอะตอมที่ถูกชนมาไปเรื่อยๆ อะตอมที่ถูกแทนที่ก็จะไปแทนที่อะตอมอื่นไปเรื่อยๆ จึงเรียกว่าการชนแบบคาสเคด (Collision-Cascade) อย่างไรก็ดี ในระดับพลังงานนี้ไม่เหมาะกับการนำมาใช้กับการประยุกต์ทางด้านแมกนีตรอนสปัตเตอริ่งเท่าใดนัก

2.1.4.4 ระดับพลังงานสูง (High Energy Implantation) เกิดขึ้นที่ระดับพลังงานสูงกว่า 50 keV ในระดับนี้ อนุภาคไอออนซึ่งมีพลังงานสูงมากจะพุ่งชนผิวทาร์เกตอย่างแรงจนทำให้สามารถเข้าไปอยู่ในเนื้อสารเคลือบทาร์เกตได้ก่อนที่พลังงานจะหมด สปัตเตอร์อะตอมที่ได้จะน้อยเพราะการคายพลังงานส่วนใหญ่ของอนุภาคไอออนจะเกิดขึ้นในเนื้อสารเคลือบซึ่งอยู่ไกลจากพื้นผิวเกินไป ระดับพลังงานนี้จะใช้กับการประยุกต์ด้านการสร้างอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ (Semiconductor Device Fabrication)

2.1.5 อัตราการเกิดสปัตเตอริ่ง (Sputtering Rate) การเกิดสปัตเตอริ่งนั้นขึ้นอยู่กับพลังงานในตัวไอออนของอนุภาคส่งผ่านพลังงาน (Bombardment Particle) ซึ่งก็คือก๊าซอาร์กอน

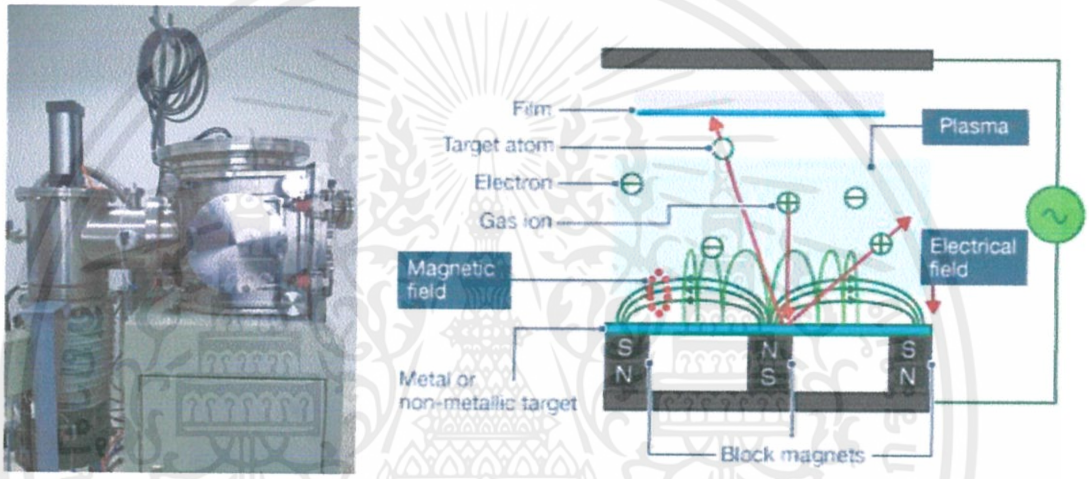


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.2 อัตราการเกิดสปัตเตอริ่ง

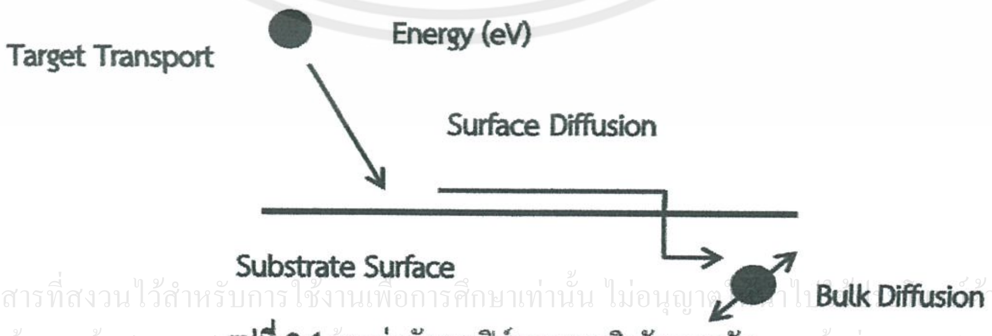
2.1.6 แมกนีตรอน สปัตเตอริ่ง (Magnetron Sputtering) คือ การสปัตเตอริ่งด้วยการนำสนามแม่เหล็กไฟฟ้า (Crossed Field) เพิ่มเข้าไปเพื่อช่วยดักจับอิเล็กตรอนอิสระทำให้เกิดกระแสพลาสม่ามากขึ้น แมกนีตรอนสปัตเตอริ่งนั้นจะให้อัตราการเคลือบฟิล์มบางที่สูงกว่า ได้พื้นที่ในการเคลือบวัสดุมากกว่า แรงดันในการเคลือบต่ำกว่า และอุณหภูมิที่วัสดุรองรับต่ำกว่าวิธีนอนแมกเนติกดีซีสปัตเตอริ่งในพลังงานที่เท่ากัน

แมกนีตรอนสปัตเตอริ่งนั้นจะมีแม่เหล็กจัดวางอย่างเป็นระบบอยู่ใต้ห้องสุญญากาศ เพื่อเพิ่มพลังงานให้แก่อนุภาคอิสระ ทำให้เกิดอนุภาคความหนาแน่นสูง เพิ่มความน่าจะเป็นในการชนอิเล็กตรอนของไอออน ดังนั้น อิเล็กตรอนความหนาแน่นสูงจะทำให้เกิด พลาสม่าหนาแน่นสูงขึ้นใกล้ๆ กับขั้วแคโทด ทำให้อัตราการเคลือบผิวสูงขึ้น



รูปที่ 2.3 แมกนีตรอนสปัตเตอริ่ง

2.1.7 การก่อตัวของฟิล์มบางบนวัสดุรองรับ (Thin Film Growth) การก่อตัวของฟิล์มบางบนวัสดุรองรับเกิดขึ้นในสามขั้นตอน ขั้นตอนแรกคือการพาสารที่จะใช้เคลือบ (Coating Species) ไปสู่วัสดุรองรับ (Substrate) ขั้นตอนที่สองคือ การดูดซึมสารเคลือบเข้าสู่ผิวของวัสดุรองรับ และขั้นตอนสุดท้าย คือ การเคลื่อนที่เข้าสู่ตำแหน่งที่เหมาะสมของสารเคลือบบนผิววัสดุรองรับ



รูปที่ 2.4 การก่อตัวของฟิล์มบางบนผิววัสดุรองรับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงแหล่งที่มาของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในกรณีการเคลือบผิววัสดุรองรับด้วยวิธีการสปัตเตอริ่งนั้น ตัวแปรที่ส่งผลต่อคุณสมบัติของกระบวนการนิวคลีเอชัน (Nucleation) พลังงานจลน์ในการก่อตัวของฟิล์ม และโครงสร้างของการก่อตัวของฟิล์มคือ วัสดุที่ใช้เป็นฟิล์ม (สารเคลือบ) ฟลักซ์ของอนุภาคฟิล์ม พลังงานจลน์ของอนุภาคฟิล์มที่ผิวของวัสดุรองรับ อุณหภูมิในการก่อตัว ฟลักซ์ของสิ่งเจือปน และความสะอาดบนผิวของวัสดุรองรับ (Substrate)

หากผู้อ่านต้องการข้อมูลเรื่องการก่อตัวของแผ่นฟิล์มบางโดยละเอียด สามารถสืบค้นอ้างอิงได้ที่ [1]

2.1.8 พัลส์ดีซี สปัตเตอริ่ง การเคลือบฟิล์มบางโดยวิธีอื่น เช่น RF Sputtering นั้นจะมีปัญหาคือ เมื่อวัสดุรองรับถูกเคลือบ จะมีอะตอมของวัสดุรองรับบางส่วนหลุดออกกมาจากผิว ถูกชาร์จโดยไอออนบวกผ่านพลาสม่าและพุ่งเข้ามาเกาะที่ผิวของทาร์เกตก่อตัวเป็นชั้น ถ้าหากชั้นของวัสดุรองรับนั้นสามารถทนความเครียดสนามไฟฟ้าได้เป็นค่าอนันต์ ศักย์ของชั้นวัสดุนั้นจะมีค่าเท่ากับศักย์ของแหล่งจ่ายไฟตรงที่ป้อนเข้ามาทำให้ไม่มีความต่างศักย์ระหว่างไอออนและอิเล็กตรอน ซึ่งจะส่งผลให้กระบวนการทางพลาสม่าหยุดลง แต่ในความเป็นจริงนั้นชั้นของวัสดุรองรับที่ก่อตัวบนทาร์เกตนั้นจะสามารถทนความเครียดสนามไฟฟ้าได้เพียง 1-10 MV/cm จะทำให้เกิดการเบรกดาวน์และเกิดอาร์คขึ้นในที่สุด หลังจากเกิดอาร์คนั้นจะมีอนุภาคเล็กๆที่แตกตัวออกมาพุ่งเข้าไปเจือปนชั้นฟิล์มที่ได้เคลือบไปแล้วของวัสดุรองรับทำให้คุณสมบัติของฟิล์มที่เคลือบไปแล้วเสื่อมลง

ปัญหาเหล่านี้นั้นสามารถแก้ไขโดยเปลี่ยนไปใช้ดีซีพัลส์เพาเวอร์ซัพพลาย เนื่องจากแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงชนิดนี้นั้นสามารถเคลือบฟิล์มในอัตราที่สูงกว่าขณะที่สร้างสารเจือปนให้ฟิล์มน้อยกว่า และสามารถป้องกันการเกิดอาร์คได้อีกด้วย เพราะแหล่งจ่ายไฟฟ้าชนิดนี้จะสร้างพัลส์ด้านลบให้กับวัสดุรองรับและสร้างพัลส์ด้านบวกเล็กๆในด้านของทาร์เกตเพื่อให้ทาร์เกตคายประจุออกมาจึงเป็นเหตุให้ไม่มีการอาร์คเกิดขึ้น การหาค่าความถี่ที่เหมาะสมของพัลส์นั้นหาได้จากความสัมพันธ์

$$F = \left(\frac{J}{\varepsilon * \varepsilon 0}\right) t \tag{2.1}$$

F = ความถี่ของพัลส์ (*Hz*)
J = ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า (A / cm^2)
t = เวลาสูงสุดในการดิสชาร์จ (*sec*)

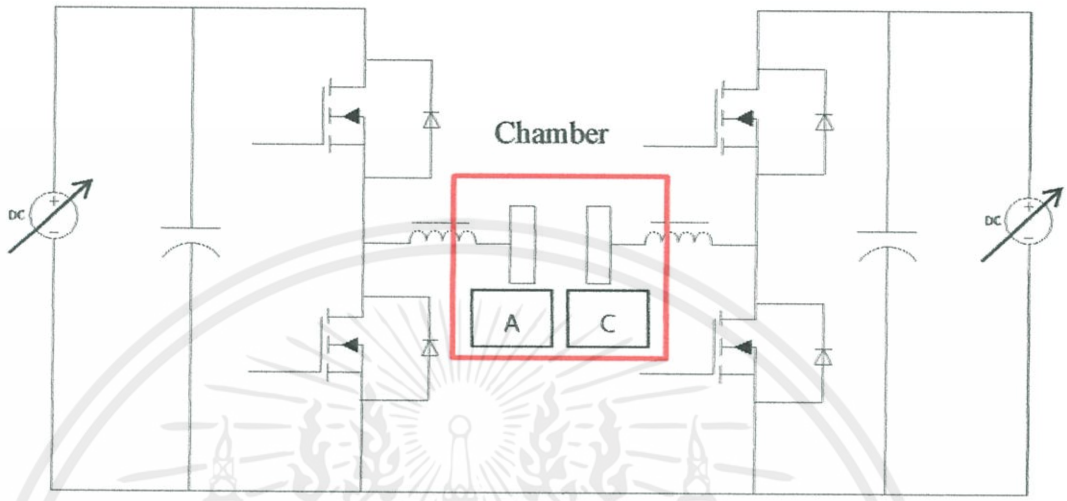
2.2 แหล่งจ่ายไฟฟ้าดีซีพัลส์ (DC Pulses Power Supply)

ในโลกของเราได้มีการนำพลังงานจากแหล่งกำเนิดที่ได้ถูกแปลงรูปด้วยการประยุกต์เข้ากับรูปคลื่นพัลส์ หรือที่เราเรียกกันว่า พัลส์ เพาเวอร์ (Pulses Power) มานานแล้ว ซึ่งได้มีการพัฒนามาใช้กับศาสตร์หลายแขนง เช่น กระบวนการผลิตอาหาร (Food Processing) การแพทย์ (Medical Treatment) เครื่องกำเนิดโอโซน (Ozone Generation) และอื่นๆ อีกมากมาย

กระบวนการทางพลาสม่าส่วนใหญ่ เช่น การสปัตเตอริ่ง นั้นต้องการแหล่งจ่ายไฟฟ้าดีซีพัลส์เพื่อกำเนิดรูปคลื่นที่เหมาะสมกับการใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แหล่งจ่ายไฟฟ้าดีซีพัลส์ประกอบด้วยแหล่งจ่ายแรงสูงปรับค่าได้สองชุด และอินเวอร์เตอร์เฟสเดียว ซึ่งการสวิทช์ของอินเวอร์เตอร์จะขึ้นอยู่กับขบวนดีซีพัลส์ วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าดีซีพัลส์ได้จัดแสดงไว้ในรูป



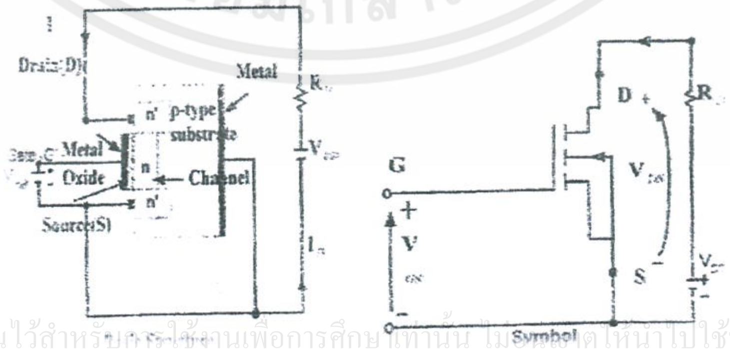
รูปที่ 2.5 วงจร DC Pulses Power Supply

2.2.1 อุปกรณ์สวิตช์ (MOSFET)

มอสเฟตเป็นอุปกรณ์แรงดันในการควบคุมกล่าวคือต้องใช้แรงดัน VGs ควบคุมการไหลของกระแสเดรน (id)

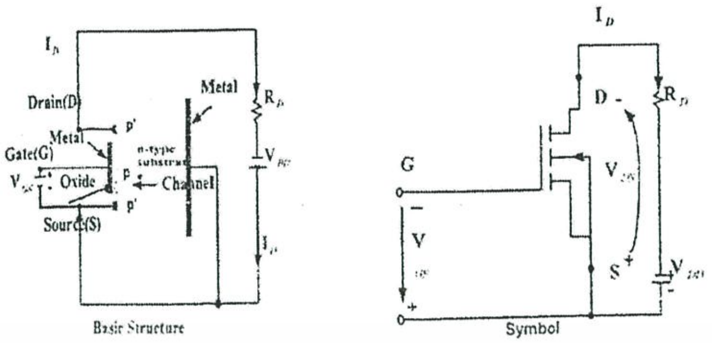
2.2.1.1 ประเภทของมอสเฟต

มอสเฟตเป็นอุปกรณ์ที่มีสามขั้วคือ ขั้วซอร์ส (source ; s) เดรน (Drain ; D) และเกท (Gate ; G) แบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ มอสเฟตแบบดีพลีชั่น (Depletion MOSFET) เรียกสั้นๆว่า ดีมอสเฟตและมอสเฟตแบบเอนฮานซ์เมนต์ (Enhancement MOSFET) หรือเรียกอีมอสเฟต แต่ละประเภทยังแบ่งออกเป็น 2 แบบคือ แชนแนล N (N-channel) และแชนแนล p (p-Channel)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(a) N-channel depletion-type Mosfet



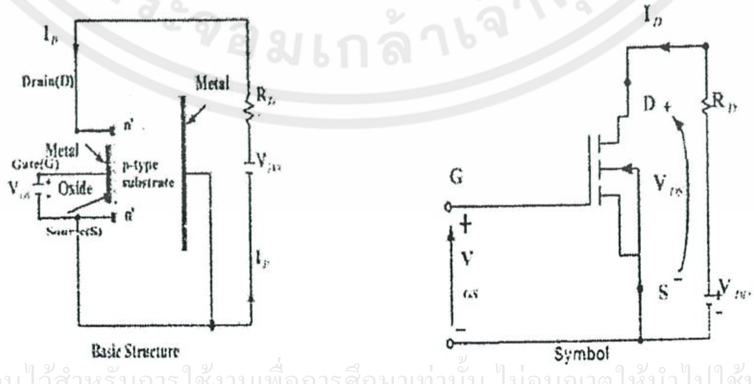
(b) P-channel depletion-type Mosfet

รูปที่ 2.6 โครงสร้างของมอสเฟตแบบ N และ p ชนิดดีพลีชั่น

โครงสร้างของดีมอสเฟตแบบแชนแนล N ในรูปที่ 2.1 ประกอบด้วยสารกึ่งตัวนำชนิด p ซึ่งสร้างขึ้นจากซิลิกอนและเรียกว่าแผ่นผนึกฐาน p (p-type substrate) โดยขั้ว D และขั้ว S ต่อกับบริเวณที่มีการกระตุ้นหรือโด๊ปให้เป็นบริเวณสารกึ่งตัวนำ N (N-Doped Region : N)บริเวณสารกึ่งตัวนำ N ทั้งสองส่วนนี้ต่อกับวัสดุผิวนอกที่เป็นโลหะ โดยมีซิลิกอนไดออกไซด์กั้นระหว่างแชนแนล N กับขั้ว G ซิลิคอนไดออกไซด์เป็นฉนวนประเภทไดอิเลกตริก ถ้าแรงดันเกทซอร์ส (V_{GS}) มีค่าเป็นลบ อิเล็กตรอนบางส่วนใน แชนแนล N สร้างบริเวณปลอดพาหะ(Depletion Region) ภายในขั้วออกไซด์ทำให้แชนแนลแคบลงความต้านทานจากขั้วเดรนไปซอร์ส R_{DS} เริ่มมีค่าสูงเมื่อ V_{GS} มีค่าเพียงพอ แชนแนลจะหายไป R_{DS} จึงมีค่าสูงมากและไม่มีกระแสไหลจากขั้วเดรนไปซอร์ส นั่นคือ I_{DS} เท่ากับศูนย์ระดับ V_{GS} นี้เรียกว่า แรงดันพินช์ออฟ (Pinch-Off Voltage: V_p)

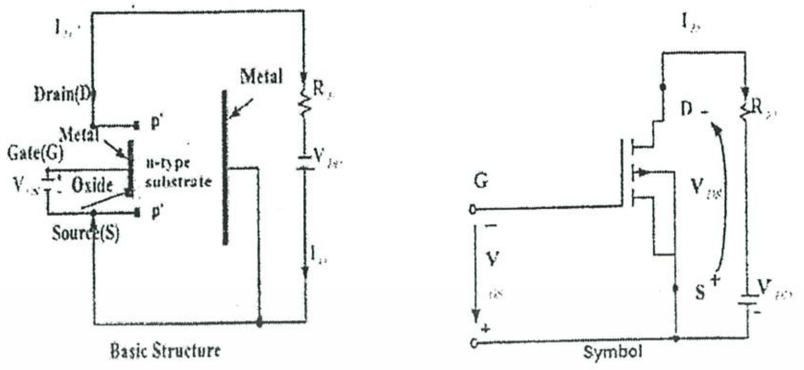
ในทางตรงกันข้าม ถ้า V_{GS} เป็นบวกแชนแนลจะกว้างขึ้นเป็นผลให้ I_{DS} มีค่าเพิ่มขึ้นเนื่องจาก R_{DS} มีค่าลดลง

หลักการที่กล่าวมานี้ใช้ได้ดีกับมอสเฟตแบบแชนแนล P โดยขั้วของ V_{DS} , I_{Ds} และ V_{GS} เปลี่ยนเป็นขั้วตรงข้ามกับกรณีดีมอสเฟตแบบแชนแนล N



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(a) n-channel enhancement-type Mosfet



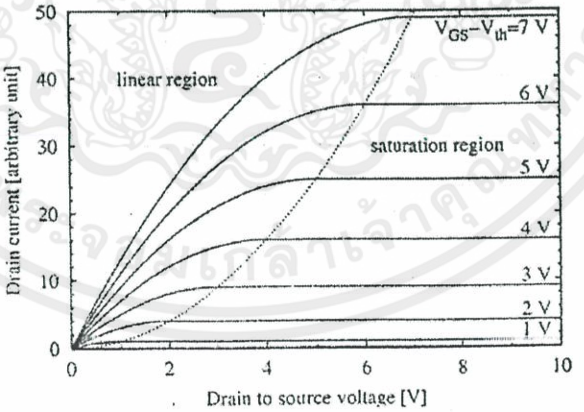
(b) p-channel enhancement-type Mosfet

รูปที่ 2.7 โครงสร้างของมอสเฟตแบบ N และ p ชนิดเอนฮานซ์เมนต์

อีมอสเฟตแบบแชนแนล N ดังรูปที่ 2.4 ถ้า V_{GS} เป็นบวกแรงดันเหนี่ยวนำจะดึงดูดอิเล็กตรอนจากแผ่นผนึกฐาน p และรวบรวมไว้ที่ผิวในชั้นออกไซด์ ถ้า V_{GS} มากกว่าหรือเท่ากับค่าแรงดันเทรสโฮลด์ (Threshold Voltage: V_T) จึงมีกระเสไหลจากเดรนไปซอร์ส หลักการที่กล่าวมานี้ใช้ได้กับอีมอสเฟตแบบแชนแนล p โดยขั้วของ V_{DS} , I_{DS} และ V_{GS} เปลี่ยนเป็นขั้วตรงข้ามกับกรณีอีมอสเฟตแบบแชนแนล N

2.2.1.2 คุณลักษณะของมอสเฟต (Mosfet Characteristic)

ได้กล่าวไว้ตอนต้นแล้วว่ามอสเฟตเป็นอุปกรณ์ใช้แรงดัน ในการควบคุมอิมพิแดนซ์อินพุตสูงมากจากขั้วเกทจะดึงกระแสรั่วไหลต่ำมาก และเราทราบว่าทรานส์คอนดักแตนซ์ (Transconductance : gm)



รูปที่ 2.8 กราฟคุณลักษณะในการถ่ายโอนของอีมอสเฟตแบบแชนแนล N และคุณลักษณะเอาท์พุตของอีมอสเฟตแบบแชนแนล N

คุณลักษณะในการถ่ายโอนของอีมอสเฟตแบบแชนแนล N และแบบแชนแนล P แสดงดังรูป แสดงคุณลักษณะ ของอีมอสเฟตแบบ แชนแนล N ซึ่งมีทั้งสามบริเวณคือ

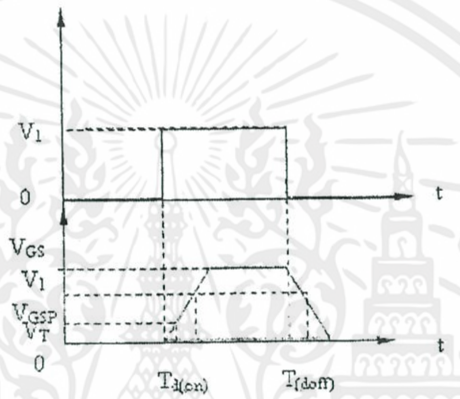
1).บริเวณคัตออฟ เกิดขึ้นเมื่อแรงดัน V_{GS} น้อยกว่าหรือเท่ากับ V_T

2). บริเวณพินช์ออฟ หรือบริเวณอิ่มตัว (Pinch-off or saturation Region) เกิดขึ้นเมื่อ V_{DS} มากกว่าหรือเท่ากับ V_{GS} - V_T

3). บริเวณที่เป็นเชิงเส้น (Linear Region) เกิดขึ้นเมื่อ V_{DS} น้อยกว่าหรือเท่ากับ V_{GS}-V_T ในบริเวณเชิงเส้น I_D จะเปลี่ยนแปลงตามสัดส่วนของ V_{DS} และเนื่องจากมี I_D สูงขณะที่ V_D มีค่าต่ำ อีมอสเฟตจึงใช้บริเวณที่เป็นเชิงเส้นแสดงปฏิกิริยาในการสวิตช์ สำหรับดีมอสเฟตแรงดันเกท (หรือแรงดันอินพุท) อาจเป็นบวกหรือลบก็ได้แต่อีมอสเฟตตอบสนองกับแรงดันที่เป็นบวกอย่างเดียว ตามปกติมอสเฟตกำลังประเภทอีมอสเฟต

2.2.1.3 คุณลักษณะในการสวิตช์ (Switching Characteristics)

ผลกระทบที่เกิดจากคาปาซิเตอร์ บริเวณรอยต่อของสารกึ่งตัวนำในอีมอสเฟต ทำให้เขียนรูปคลื่นในการสวิตช์ได้ดังรูปที่



รูปที่ 2.9 รูปคลื่นแรงดันในการสวิตช์ของแรงดันเกท

เมื่อป้อนแรงดันเกทเพิ่มจากศูนย์ถึง V_1 เวลาที่ใช้ในการอัดประจุคาปาซิเตอร์ (ภายในตัวของอีมอสเฟต) ให้มีค่าถึงระดับแรงดันเทรสโฮลด์ V_R ซึ่งเรียกว่าช่วงเวลาดีเลย์ในการเปิด (Turn - on Delay Time, t_d (ON)) และช่วงเวลาขาขึ้น (t_r) เป็นเวลาอัดประจุจากระดับ (V_R) จนกระทั่งมีค่าถึงระดับแรงดันเกทเต็มที่ (Full Gate voltage; V_{GSP}) ซึ่งใช้ในการขับมอสเฟตไปสู่บริเวณเชิงเส้น

เวลาที่คาปาซิเตอร์คายประจุจาก V1 ไปจนถึงบริเวณพินช์ออฟ เรียกว่า ช่วงเวลาดีเลย์ในการเปิด (Turn - on Delay Time, t_d (ON)) และช่วงเวลาขาลง (t_r) เป็นเวลาที่คาปาซิเตอร์ใช้ในการคายประจุจากบริเวณพินช์ออฟถึง VR (ถ้า $V_{GS} < V_R$ มอสเฟตจะปิด)

2 2.1.4 ประโยชน์และการใช้งานมอสเฟตกำลัง

เนื่องจากมอสเฟตกำลังมีความเร็วในการสวิตช์สูงมากเป็นนาโนวินาทีจึงเหมาะกับการแปลงผันที่มีความถี่และมีกำลังไฟฟ้าต่ำ แต่อย่างไรก็ตามอีมอสเฟตจะมีปัญหาในการคายประจุภายในตัวเองจึงต้องดูแลรักษาเป็นพิเศษ นอกจากนี้การป้องกันมอสเฟตขณะที่เกิดฟอลต์แบบลัดวงจรทำได้ค่อนข้างยาก

2.2.2 แหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงปรับค่าได้ (High Voltage Variable Power Supply)

เอกสารนี้เป็นเอกสาร ... ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้าม ...

แหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงปรับค่าได้จะนำมาเป็นแรงดันขาเข้าของวงจร H-Bridge แหล่งจ่ายที่ใช้จะมีสองชุด ชุดแรกคือ V_{DC1} จะเป็นแรงดันที่ใช้ในโหมดแรงดันบวก และ V_{DC2} จะเป็น

แรงดันที่ใช้ในโหมดแรงดันลบ แหล่งจ่ายทั้งสองชุดจะสามารถปรับค่าได้เพื่อปรับอัตราการเคลือบผิวของฟิล์มบาง

2.2.3 ห้องสุญญากาศ (Vacuum Chamber)

ห้องสุญญากาศ คือ ห้องที่ใช้ในการเคลือบฟิล์มบางบนผิววัสดุรองรับ ภายในประกอบด้วยอิเล็กโตรดสองขั้ว อาโนด และแคโทด สารเคลือบ (Target) จะถูกติดตั้งไว้ที่ขั้วแคโทด และวัสดุรองรับจะติดตั้งไว้ที่ขั้วอาโนด ด้านล่างของขั้วอาโนดจะมีขั้วแม่เหล็กวางเรียงให้มีสนามแม่เหล็กวนรอบพื้นของห้องซึ่งเรียกว่า “Race Track” ใช้เป็นแหล่งกำเนิดพลาสม่าเพื่อเร่งปฏิกิริยาการเคลือบผิว

2.2.4 การสวิตซิ่งของวงจร H-Bridge

จากรูปคลื่นดีซีพัลส์ที่ได้แสดงไว้ในหัวข้อก่อนหน้านี้ เมื่อนำมาควบคุมการสวิตช์ของมอสเฟตจะได้โหมดการทำงานทั้งหมดโหมดดังตารางต่อไปนี้

โหมดการทำงาน	ลำดับการสวิตซิ่ง	แรงดันขาออก
Positive DC	S1&S4	$V_{DC1} > 0$, $V_{DC2} = 0$
Negative DC	S2&S3	$V_{DC1} = 0$, $V_{DC2} > 0$
Positive Unipolar	S1&S4 , S2&S4	$V_{DC1} > 0$
Negative Unipolar	S2&S3 , S2&S4	$V_{DC2} > 0$
Symmetric Bipolar	S1&S4 , S2&S4 , S2&S3 , S2&S4	$V_{DC1} = V_{DC2}$ $P = N$
Asymmetric Bipolar	S1&S4 , S2&S4 , S2&S3 , S2&S4	$V_{DC1} \neq V_{DC2}$ $P \neq N$

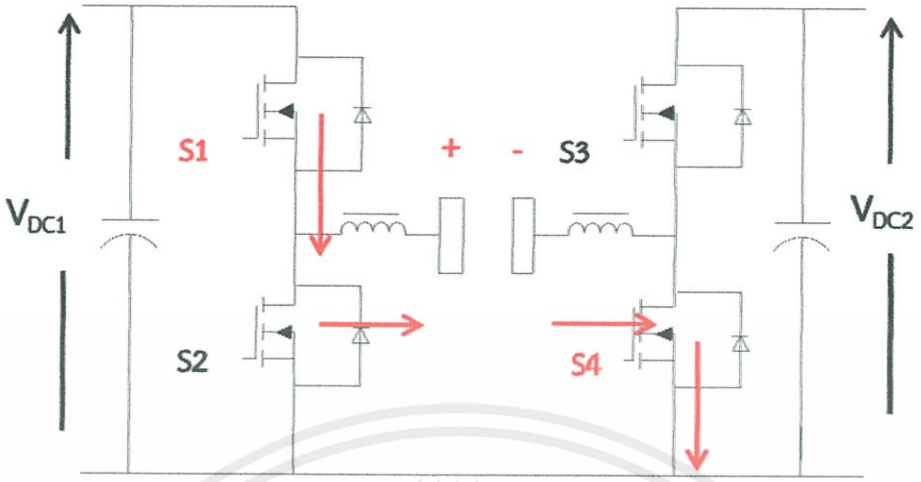
ตารางที่ 2.1 โหมดการทำงานของวงจร H-Bridge ในแหล่งจ่ายไฟฟ้าดีซีพัลส์

2.2.4.1 การสวิตซิ่งแบบอะซิมเมตริกไบโพล่า (Asymmetric Bipolar)

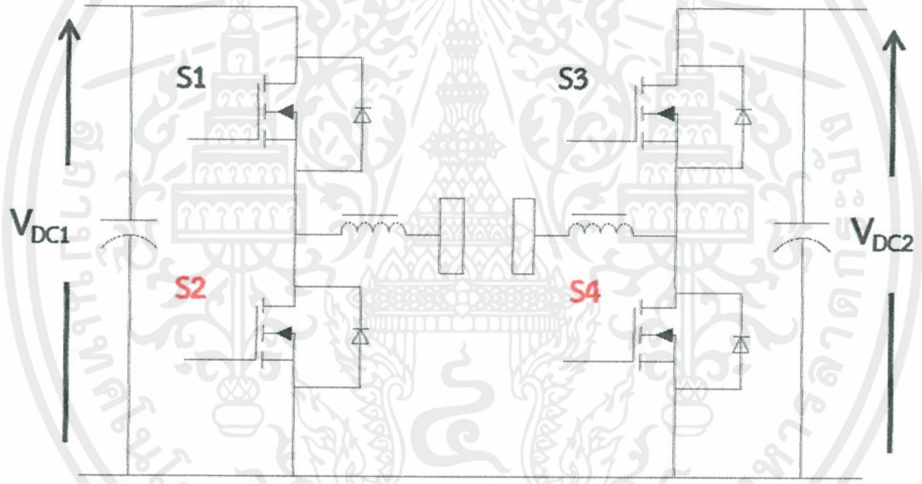
การสวิตซิ่งแบบอะซิมเมตริกไบโพล่านั้นจะมีคุณลักษณะพัลส์บวกและพัลส์ลบ โดยความกว้างพัลส์ของพัลส์บวกจะน้อยกว่าของพัลส์ลบ ระหว่างพัลส์บวกและพัลส์ลบจะมีช่วงเวลาหยุดทำงาน และขนาดแรงดันของพัลส์บวกนั้นจะน้อยกว่าของพัลส์ลบเนื่องจากช่วงเวลาพัลส์ลบนั้นจะเป็นช่วงที่เกิดปฏิกิริยาการสปัตเตอริ่งขึ้น และเมื่อถึงช่วงเวลาหยุดทำงานแล้วอาจมีประจุตกค้างอยู่ที่ผิวของทาร์เกต ดังนั้นจึงต้องมีพัลส์บวกเล็กน้อยเพื่อดิสชาร์จประจุบนผิวทาร์เกตออกทำให้มีโอกาสเกิดไมโครอาร์คน้อยลงและทำให้การเคลือบผิวนั้นสะอาดขึ้นอีกด้วย ในระหว่างการเกิดพัลส์บวกเพื่อดิสชาร์จจะไม่มีการสปัตเตอริ่งเกิดขึ้น โดยปกติแล้วแรงดันพัลส์บวกจะกำหนดให้เป็นหนึ่งในสิบของแรงดันพัลส์ด้านลบ

ต่อไปนี้คือรูปตัวอย่างการทำงานของการสวิตซิ่งแบบอะซิมเมตริกไบโพล่า

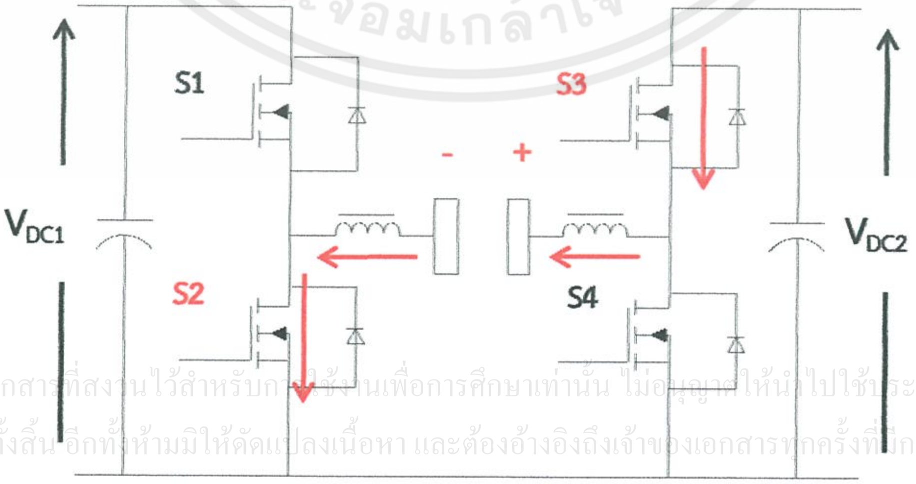
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ก) S1&S4

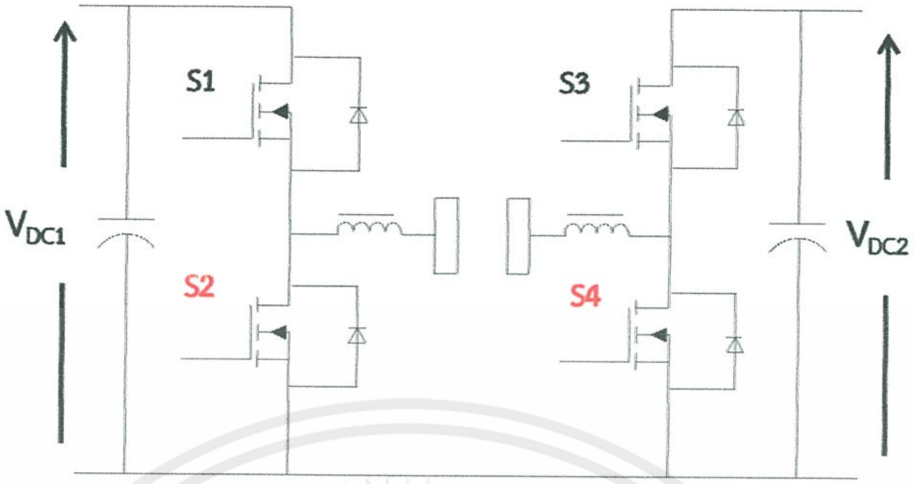


ข) S2&S4



ค) S2&S3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

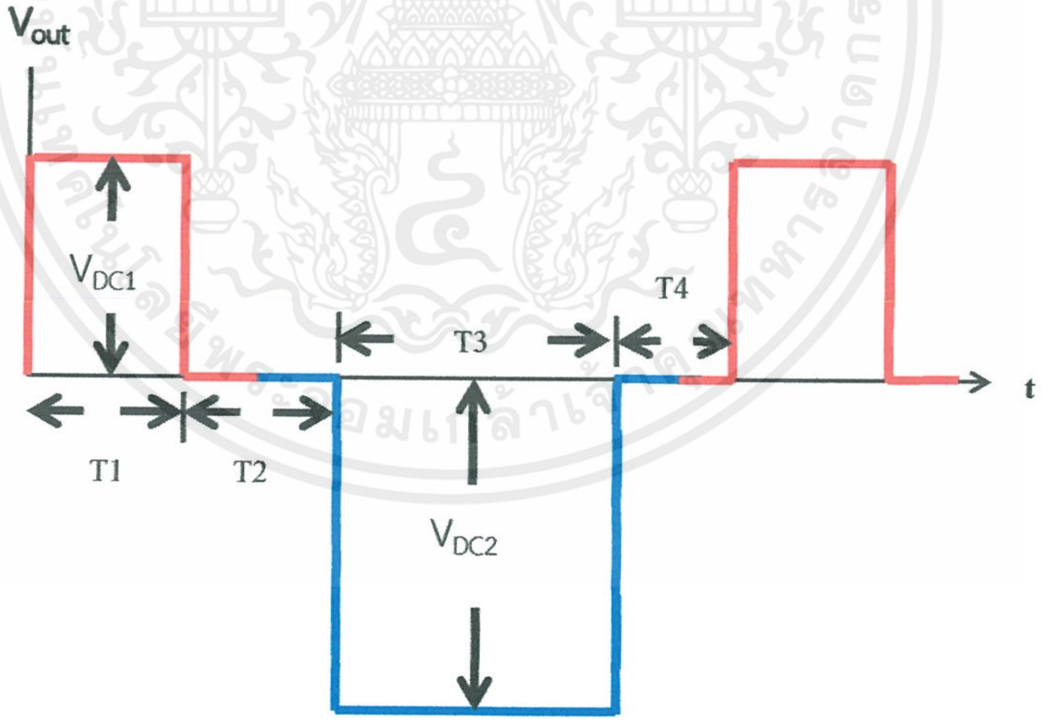


ง) S2&S4

รูปที่ 2.10 โหมดการทำงานแบบ Asymmetric Bipolar

2.2.4.2 ขบวนรูปคลื่นดีซีพัลส์แบบอะซิมเมตริกไบโพล่า (Asymmetric Bipolar DC Pulses Train)

จากการทำงานของวงจรแบบอะซิมเมตริกไบโพล่าในหัวข้อ 2.2.4.1 จะได้รูปคลื่นที่แรงดันขาออกของวงจรดังนี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

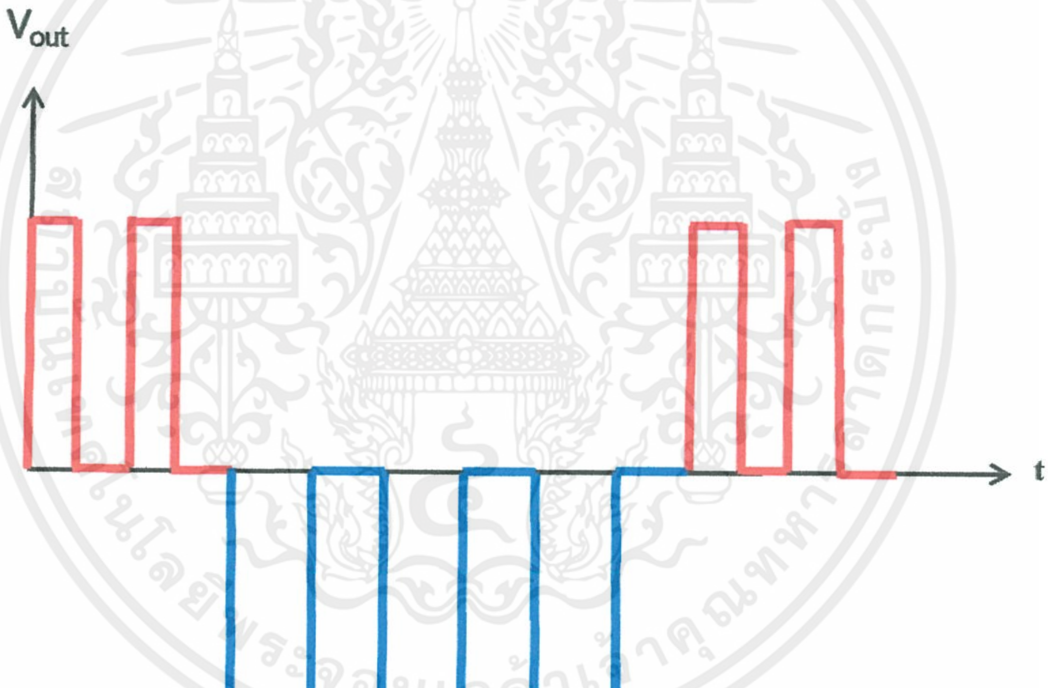
รูปที่ 2.11 รูปคลื่นแรงดันขาออกแบบอะซิมเมตริกไบโพล่า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการใช้เทคนิคขบวนดีซีพัลส์เพื่อเคลือบฟิล์มบางนั้น รูปคลื่นจะต้องมีเอาท์พุตขบวนคลื่นที่สามารถปรับค่าแอมพลิจูดด้านบวกและด้านลบได้ ปรับเลือกโหมดยูนิโพล่าหรือไบโพล่าได้ เลือกสมมาตรหรือไม่สมมาตรได้ ดังนั้น ขบวนคลื่นจะมีค่าพารามิเตอร์ที่ปรับค่าได้ 6 ตัว คือ V_{DC1} , V_{DC2} , T1 , T2 , T3 และ T4 ซึ่งอธิบายได้ตามนี้

- V_{DC1} คือ ระดับแรงดันด้านบวกของดีซีพัลส์
- V_{DC2} คือ ระดับแรงดันด้านลบของดีซีพัลส์
- T1 คือ ช่วงเวลา ON ของขบวนพัลส์ด้านบวก
- T2 คือ ช่วงเวลา OFF ของขบวนพัลส์ด้านบวก
- T3 คือ ช่วงเวลา ON ของขบวนพัลส์ด้านลบ
- T4 คือ ช่วงเวลา OFF ของขบวนพัลส์ด้านลบ

นอกจากนี้ยังมีกรณีที่ใช้ขบวนคลื่นแบบไม่สมมาตร คือ จำนวนคลื่นด้านบวกที่ติดกันจะไม่เท่ากับจำนวนคลื่นด้านลบที่ติดกัน



รูปที่ 2.12 รูปคลื่นขาออกแบบอะซิมเมตริกไบโพล่าที่มีหลายพัลส์ต่อขั้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.5 การควบคุมโหมดการทำงาน

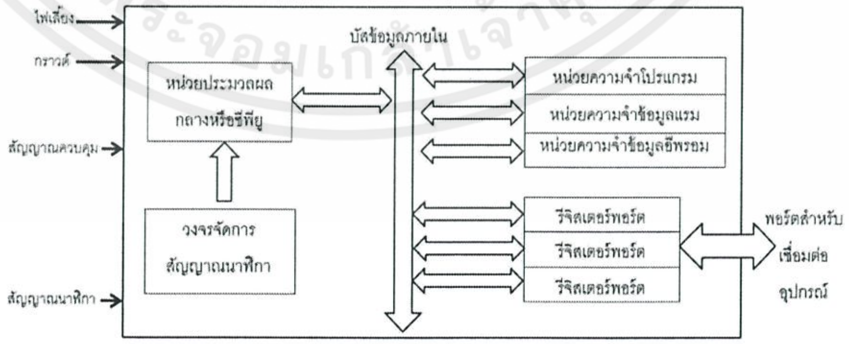
การควบคุมให้วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าดีซีพัลส์ทำงานได้ตามโหมดที่ต้องการจะใช้นั้นสามารถทำได้โดยการโปรแกรมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ การควบคุมปฏิกิริยาการสปัตเตอริ่งในห้องสุญญากาศนั้นจะต้องปรับเปลี่ยนตัวแปรพารามิเตอร์ของขบวนคลื่นทั้งหกตัวได้ตามที่ต้องการ ดังนั้นเพื่อให้ง่ายต่อการควบคุมตัวแปร ไมโครคอนโทรลเลอร์จะต้องมีพอร์ตอนุกรม (Serial Port) เพื่อส่งข้อมูลโหมดการทำงานให้กับคอมพิวเตอร์และใช้โปรแกรม LabVIEW เพื่อให้สามารถปรับแต่งพารามิเตอร์ทั้งหกตัวได้ง่ายขึ้น

2.3 ไมโครคอนโทรลเลอร์ (dsPIC30F4011)

เนื่องด้วยการควบคุมในโครงงานนี้จะใช้การควบคุมจากระบบไมโครคอนโทรลเลอร์ จึงจะขอกล่าวเกี่ยวกับระบบและทฤษฎีของไมโครคอนโทรลเลอร์ ดังนี้

2.3.1 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับไมโครคอนโทรลเลอร์

ไมโครคอนโทรเลอร์ (Microcontroller) มาจากคำ 2 คำ คำหนึ่งคือไมโคร (Micro) หมายถึงขนาดเล็ก และคำว่า คอนโทรลเลอร์ (Controller) หมายถึง ตัวควบคุมหรืออุปกรณ์ควบคุม ดังนั้น ไมโครคอนโทรลเลอร์จึงหมายถึง อุปกรณ์ควบคุมขนาดเล็ก ในตัวอุปกรณ์ควบคุมขนาดเล็กนี้ได้บรรจุความสามารถที่คล้ายคลึงกับระบบคอมพิวเตอร์ กล่าวคือ ภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ได้รวมเอาซีพียู หน่วยความจำ และพอร์ต ซึ่งเป็นส่วนประกอบหลักสำคัญของระบบคอมพิวเตอร์เข้าไว้ด้วยกัน โดยบรรจุรวมอยู่ในตัวถังเดียวกัน ในภาพที่ 2.13 แสดงส่วนประกอบหลักที่สำคัญและกลไกการทำงานเบื้องต้นของไมโครคอนโทรลเลอร์ ซีพียูจะติดต่อกับหน่วยความจำโปรแกรมเพื่ออ่านคำสั่งที่ระบุไว้ โดยต้องทำการอ้างตำแหน่งของหน่วยความจำผ่านสายสัญญาณที่เรียกว่า บัสตำแหน่ง (Address bus) แล้วทำการอ่านข้อมูลคำสั่งออกมาจากหน่วยความจำโปรแกรมในแอดเดรสนั้นๆ จากนั้นทำการประมวลผลโดยมีหน่วยความจำข้อมูลแรมเป็นที่พักของข้อมูลที่อยู่ในระหว่างการประมวลผลข้อมูล การประมวลผลจะส่งผ่านสายสัญญาณที่เรียกว่า บัสข้อมูล (Data bus) แล้วส่งต่อไปยังอุปกรณ์ภายนอกผ่านทางพอร์ตเอาท์พุต

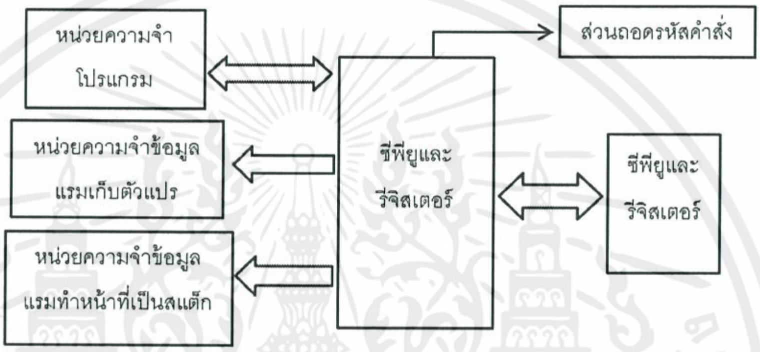


รูปที่ 2.13 โครงสร้างและส่วนประกอบหลักเบื้องต้นของไมโครคอนโทรลเลอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ส... ...โยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

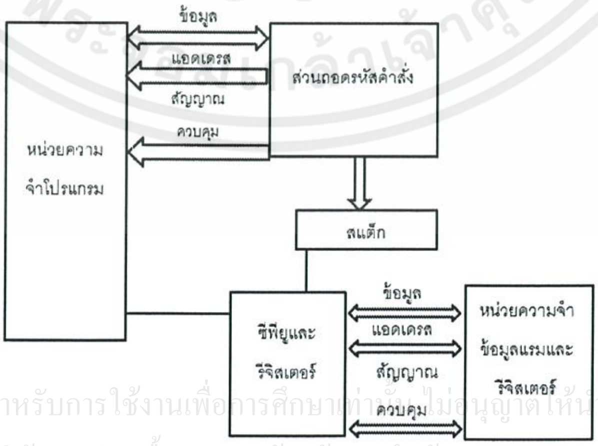
2.3.2 สถาปัตยกรรมของไมโครคอนโทรลเลอร์

เป็นที่ยอมรับกันว่าสถาปัตยกรรมของไมโครคอนโทรลเลอร์มีด้วยกัน 2 แบบคือ พรินซ์ตัน (Princeton) หรือ ฟอน นิวแมน (Von Neumann) และฮาร์วาร์ด (Harvard) ในภาพที่ 2.14 เป็นการจัดสรรในสถาปัตยกรรมแบบพรินซ์ตัน ซึ่งมีโครงสร้างที่เรียบง่ายไม่ซับซ้อน ข้อดีของสถาปัตยกรรมแบบนี้คือ ออกแบบง่าย เพราะหน่วยความจำทั้งหมดอยู่รวมกัน สามารถเข้าถึงได้ง่าย หน่วยความจำมีขนาดใหญ่เพียงพอที่จะเก็บได้ทั้งโปรแกรมควบคุมการทำงานและข้อมูลของตัวแปรในการประมวลผล ข้อด้อยของสถาปัตยกรรมนี้คือ ความเร็วในการประมวลผล เนื่องจากหน่วยความจำอยู่รวมกัน จึงต้องติดต่อหน่วยความจำโปรแกรมสลับกับหน่วยความจำข้อมูล ส่งผลให้ซีพียูต้องใช้ไซเคิลในการทำงานมาก



รูปที่ 2.14 โครงสร้างสถาปัตยกรรมของไมโครคอนโทรลเลอร์แบบพรินซ์ตัน หรือ ฟอน นิวแมน

ในขณะที่สถาปัตยกรรมแบบฮาร์วาร์ด ซึ่งแสดงในภาพที่ 2.15 จะแยกส่วนของหน่วยความจำ ข้อมูล และรีจิสเตอร์ออกจากหน่วยความจำ โปรแกรมทำให้ไซเคิลการทำงานลดลง เนื่องจากสามารถติดต่อหน่วยความจำโปรแกรม และหน่วยความจำข้อมูลได้เร็วกว่า นอกจากนั้นในขณะที่ซีพียูกำลังเอ็กซิคิวต์คำสั่งปัจจุบันอยู่สามารถที่จะแฟลตช์คำสั่งถัดไปได้ยิ่งทำให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ทำงานได้เร็วขึ้น

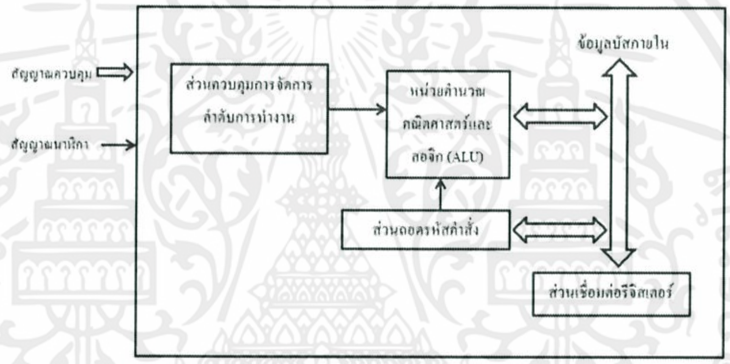


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.15 โครงสร้างสถาปัตยกรรมของไมโครคอนโทรลเลอร์แบบฮาร์วาร์ด

2.3.3 หน่วยประมวลผลกลาง หรือซีพียู

ซีพียูเป็นเหมือนมันสมองของไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งทำหน้าที่ประมวลผลข้อมูลที่เข้ามาในระบบ แล้วทำการส่งต่อไปยังส่วนต่างๆเพื่อควบคุมการทำงานต่อไป ในภาพที่ 2.16 แสดงส่วนประกอบพื้นฐานของซีพียูในไมโครคอนโทรลเลอร์ทั่วๆไป จะเห็นว่าหัวใจหลักของซีพียูคือหน่วยคำนวณทางคณิตศาสตร์และลอจิก (ALU: Arithmetic and Logic Unit) ซึ่งได้รับการกำหนดจังหวะการทำงานจากส่วนควบคุมลำดับการทำงาน โดยจังหวะการทำงานนั้นจะสัมพันธ์กับสัญญาณนาฬิกา เมื่อซีพียูทำการติดต่อหน่วยความจำ สิ่งที่ปรากฏขึ้นบนบัสข้อมูลภายในซีพียูคือ รหัสคำสั่ง (Instruction Code) ซึ่งต้องผ่านการทำงานของส่วนถอดรหัสคำสั่ง (Instruction Decoder) เสียก่อนจะได้เป็นข้อมูลคำสั่งที่ซีพียูเข้าใจ และสามารถดำเนินการต่อได้หลังจากที่หน่วยคำนวณทางคณิตศาสตร์และลอจิกประมวลผลแล้วจึงส่งข้อมูลมายังส่วนเชื่อมต่อรีจิสเตอร์ภายในซีพียู เพื่อที่จะติดต่อกับส่วนอื่นๆต่อไป



รูปที่ 2.16 ส่วนประกอบหลักของซีพียูในไมโครคอนโทรลเลอร์

2.3.4 หน่วยความจำ

ไมโครคอนโทรลเลอร์จะประกอบด้วยหน่วยความจำ 3 แบบคือ หน่วยความจำโปรแกรม (Program Memory), หน่วยความจำข้อมูลแรม (RAM Data Memory) และหน่วยความจำข้อมูลอีอีพรอม (EEPROM Data Memory)

2.3.4.1 หน่วยความจำโปรแกรม

เป็นที่เก็บข้อมูลคำสั่งของโปรแกรมควบคุมหรือเรียกว่า โปรแกรมมอนิเตอร์ (Monitor Program) ซีพียูจะเข้ามาติดต่อเพื่ออ่านข้อมูลรหัสคำสั่งจากหน่วยความจำในส่วนนี้ แล้วนำไปประมวลผลเพื่อควบคุมการทำงานของระบบทั้งหมดต่อไป หน่วยความจำโปรแกรมนี้ยิ่งมีขนาดใหญ่มากเท่าใดก็จะสามารถบรรจุโปรแกรมที่มีความซับซ้อน หรือสามารถเก็บตารางข้อมูลที่ใช้ในการประมวลผลได้มากตามไปด้วย โดยทั่วไปมีความจุไม่น้อยกว่า 512 ไบต์ ชนิดของหน่วยความจำโปรแกรมที่ใช้ในไมโครคอนโทรลเลอร์ มีอยู่ 3 แบบที่นิยมกันคือ แบบอีพรอม (EPROM: Erasable Read-Only Memory), แบบอีอีพรอม (EEPROM: Electrically Erasable Programmable Read-

Only Memory) และแบบแฟลช (Flash Memory) ความแตกต่างของทั้ง 3 แบบอยู่ที่จำนวนครั้งในการลบและเขียนข้อมูลทับลงไปใหม่

2.3.4.2 หน่วยความจำข้อมูลแรม

เป็นหน่วยความจำที่ต้องมีในไมโครคอนโทรลเลอร์ทุกตัว เพราะใช้เป็นพื้นที่สำหรับเก็บข้อมูลทั้งระหว่างและหลังการประมวลผล ยิ่งมีมากยิ่งช่วยในการทำงานสะดวกขึ้น เพราะหน่วยความจำแรมมีอัตราเร็วในการอ่านเขียนสูงมาก และไม่จำกัดจำนวนรอบในการอ่านเขียน ในพื้นที่ของหน่วยความจำข้อมูลแรมจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนของข้อมูลทั่วไปสำหรับเก็บค่าตัวแปร และส่วนของรีจิสเตอร์ โดยปกติแล้วหน่วยความจำข้อมูลแรมจะมีความจุไม่มากเมื่อเทียบกับหน่วยความจุโปรแกรมในบางตัวอยู่ในหลักสิบไบต์ แต่ถ้าไมโครคอนโทรลเลอร์มีความสามรถสูงขึ้นความจุของหน่วยความจำข้อมูลแรมก็เพิ่มมากขึ้นตาม ทั้งนี้ต้องเพิ่มในส่วนของรีจิสเตอร์ตามความสามรถที่สูงขึ้นของไมโครคอนโทรลเลอร์ ขนาดของหน่วยความจำข้อมูลแรมโดยส่วนใหญ่จะมีขนาด 8 บิต แต่สามารถต่อร่วมกันเป็น 16 บิตได้ ส่วนการจัดสรรแอดเดรสของหน่วยความจำข้อมูลแรมจะขึ้นอยู่กับสถาปัตยกรรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ หากเป็นแบบฮาร์วาร์ด (Harvard) จะได้รับการจัดสรรให้อยู่แยกจากหน่วยความจำโปรแกรม จึงทำให้มีค่าแอดเดรสเหมือนกัน ทั้งในหน่วยความจำโปรแกรมและหน่วยความจำข้อมูล แต่จริงๆแล้วอยู่ต่างที่กัน ซึ่งจะพบในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51, PIC, AVR เป็นต้น แต่ถ้าเป็นแบบพรินซ์ตัน (Princeton) จะจัดสรรให้อยู่ในบริเวณเดียวกัน ดังนั้นค่าแอดเดรสจะไม่มีทางตรงกัน จะพบในไมโครคอนโทรลเลอร์ 68HCxxx ของ Motorola

2.3.4.3 หน่วยความจำข้อมูลอีอีพรอม

เป็นหน่วยความจำข้อมูลพิเศษที่ในไมโครคอนโทรลเลอร์บางเบอร์ บางรุ่น บางตระกูลใช้สำหรับเก็บข้อมูลที่ต้องการรักษาไว้เมื่อไม่มีการจ่ายไฟเลี้ยงให้แก่ไมโครคอนโทรลเลอร์ การติดต่อเพื่ออ่านขึ้นอยู่กับไมโครคอนโทรลเลอร์แต่ละเบอร์ ขนาดของหน่วยความจำแบบนี้มักเท่ากับ 8 บิต ส่วนความจุก็จะแตกต่างกันไปตั้งแต่ไม่กี่สิบไบต์จนถึงกิโลไบต์ การอ่านเขียนหน่วยความจำแบบนี้จะใช้สัญญาณไฟฟ้าทั้งหมด และสามารถรักษาข้อมูลล่าสุดไว้แม้ว่าจะไม่มีการจ่ายไฟเลี้ยงให้แก่ไมโครคอนโทรลเลอร์แล้วก็ตาม สำหรับจำนวนรอบในการเขียนโดยปกติจะอยู่ในหลักล้านขึ้นไป

2.3.5 หน่วยความจำพิเศษ

เป็นหน่วยความจำที่ใช้เก็บข้อมูลพิเศษ ไม่ได้ใช้สำหรับเก็บชุดคำสั่งของโปรแกรมหรือข้อมูลอื่นๆ มีหลายชนิดแตกต่างกันขึ้นอยู่กับตระกูลของไมโครคอนโทรลเลอร์

2.3.5.1 รีจิสเตอร์

เป็นหน่วยความจำพิเศษที่มีบทบาทสูงมาก สามารถอ่านและเขียนข้อมูลได้ตลอดเวลาจนกว่าจะหยุดจ่ายไฟเลี้ยงให้แก่ไมโครคอนโทรลเลอร์ หน้าที่หลักก็คือใช้เก็บข้อมูลในการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยข้อมูลที่เก็บนี้มีทั้งข้อมูลแสดงสถานะการทำงาน, ข้อมูลสำหรับควบคุมการทำงานโมดูลย่อยต่างๆภายในไมโครคอนโทรลเลอร์, ข้อมูลที่รับเข้ามาจากพอร์ตอินพุต, หรือข้อมูลที่ต้องส่งออกไปยังอุปกรณ์ภายนอกผ่านพอร์ตเอาท์พุต โดยข้อมูลแต่ละประเภทก็จะจัดเก็บลงในรีจิสเตอร์ที่แตกต่างกันตามหน้าที่การทำงาน

2.3.5.2 โปรแกรมเคาน์เตอร์

การที่ซีพียูสามารถติดต่อกับหน่วยความจำโปรแกรมเพื่ออ่านข้อมูลคำสั่งได้อย่างถูกต้อง เป็นผลมาจากรีจิสเตอร์หน้าที่พิเศษตัวหนึ่งคือ รีจิสเตอร์ตัวนับโปรแกรม หรือโปรแกรมเคาน์เตอร์ (Program Counter, PC) โดยโปรแกรมเคาน์เตอร์จะเป็นตัวชี้ตำแหน่งแอดเดรสของหน่วยความจำโปรแกรมที่ซีพียูจะต้องไปกระทำในลำดับถัดไป

2.3.5.3 สแต็ก

สแต็ก (Stack) เป็นหน่วยความจำพิเศษที่ไมโครคอนโทรลเลอร์ทุกตัวต้องมี โดยมีหน้าที่คือ เก็บข้อมูลที่ยังต้องการอยู่ของรีจิสเตอร์ และเมื่อข้อมูลนั้นถูกนำมาเก็บไว้ในสแต็กแล้วก็สามารถที่จะเปลี่ยนข้อมูลในรีจิสเตอร์ตัวนั้นๆได้ทันที หลังจากที่งานเสร็จเรียบร้อยแล้วจึงกลับมาอ่านข้อมูลเดิมกลับคืนจากสแต็ก ซึ่งกระบวนการเก็บข้อมูลของสแต็กจะมีลักษณะเป็นระดับหรือเป็นชั้นข้อมูลที่เก็บเข้ามาก่อนจะต้องอ่านออกทีหลังหรือแบบ FILO (First In Last Out) ในไมโครคอนโทรลเลอร์ส่วนใหญ่จะมีความจุของสแต็กไม่น้อยกว่า 8 ระดับ การที่ยิ่งมีขนาดของสแต็กมากหรือมีจำนวนระดับมากก็จะยิ่งช่วยให้การทำงานสะดวกขึ้น เพราะในการประมวลผลมีโอกาสมากที่จะต้องพักข้อมูลในรีจิสเตอร์หลักเพื่อไปทำงานอื่นก่อน หลังจากนั้นจึงกลับมาทำงานต่อ โดยเฉพาะอย่างยิ่งกับงานที่มีการอินเตอร์รัพต์ หรือขัดจังหวะซีพียูอยู่บ่อยๆ ขนาดของสแต็กโดยปกติจะต้องเท่ากับขนาดของรีจิสเตอร์ตัวนับโปรแกรมหรือ PC เพราะมีโอกาสที่จะต้องเก็บค่าของ PC ไว้ในสแต็กด้วย

2.3.6 การทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์

ไมโครคอนโทรลเลอร์จะสามารถทำงานได้เมื่อจ่ายไฟเลี้ยง และต่อวงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกาให้แก่มัน จากนั้นซีพียูภายในไมโครคอนโทรลเลอร์จะติดต่อกับหน่วยความจำโปรแกรมเพื่ออ่านข้อมูลคำสั่งและทำงานตามคำสั่งที่บรรจุอยู่ในหน่วยความจำโปรแกรม นั่นหมายความว่าต้องมีการเขียนข้อมูลลงในหน่วยความจำโปรแกรมก่อน โดยไมโครคอนโทรลเลอร์แต่ละเบอร์จะมีรูปแบบของข้อมูลคำสั่งที่แตกต่างกัน ภาษาที่ใช้เขียนโปรแกรมสามารถแบ่งได้ 2 ระดับ คือ ภาษาระดับสูง (High Level Language) และภาษาแอสเซมบลี (Assembly Language) โดยปกติไมโครคอนโทรลเลอร์ต้องโปรแกรมด้วยภาษาแอสเซมบลี เนื่องจากสามารถทำงานได้รวดเร็วผ่านกระบวนการแปลงข้อมูลคำสั่งเป็นเลขฐานสิบหกเพื่อทำงานตามคำสั่งเพียงหนึ่งขั้นตอน คือแปลงจากภาษาแอสเซมบลีเป็นข้อมูลฐานสิบหกที่เรียกว่า ออปโค้ด (Opcode) แต่ข้อเสียของการเขียนภาษาแอสเซมบลีคือผู้เขียนต้องทำความเข้าใจในชุดคำสั่งของไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์นั้นๆอย่างถ่องแท้ และเมื่อเปลี่ยนเบอร์ไมโครคอนโทรลเลอร์ก็จะต้องทำการเรียนรู้ และทำความเข้าใจชุดคำสั่งใหม่ซึ่งอาจทำให้เสียเวลามาก รวมทั้งผู้เขียนโปรแกรมต้องมีทักษะในการเขียนโปรแกรมสูงพอสมควร และเข้าใจถึงสถาปัตยกรรมของไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นอย่างดี ในขณะที่การเขียนโปรแกรมด้วยภาษาระดับสูง อาทิเช่น ภาษาซี ภาษาเบสิก ต้องผ่านกระบวนการที่เรียกว่า คอมไพล์ (Compile) เพื่อแปลงภาษาระดับสูงเหล่านั้นเป็นภาษาเครื่องหรือออปโค้ดของไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์นั้น ๆ เสียก่อน เมื่อใช้เครื่องมือทางซอฟแวร์ตัวนี้ทำให้ผู้เขียนโปรแกรมอาจไม่จำเป็นต้องศึกษาสถาปัตยกรรมและชุดคำสั่งของไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์นั้นๆอย่างลึกซึ้งเท่ากับการเขียน

ภาษาแอสเซมบลี ทั้งนี้เพราะคอมไพเลอร์จะทำในส่วนนี้แทน แต่ข้อเสียของการใช้คอมไพเลอร์คือราคาแพงมาก

2.4 โครงสร้างและสถาปัตยกรรมของ dsPIC30F4011

ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC ของทางบริษัท Microchip เป็น ไมโครคอนโทรลเลอร์ที่มีฟังก์ชันการทำงานต่างๆมากมาย เช่น Module Analog to Digital, Timer/Counter, USART, SPI และอื่นๆ ซึ่งส่วนต่างๆเหล่านี้จะถูกสร้างรวมอยู่ในชีพียูเพียงตัวเดียว ทำให้สามารถทำงานได้หลายๆอย่าง และสามารถลดในส่วนของฮาร์ดแวร์บางอย่างลง ส่วนในเรื่องของความเร็วซีพียูตระกูลนี้จะใช้เวลาในการทำคำสั่งต่างๆเพียง 1 หรือ 2 ไซเคิลต่อคำสั่งเท่านั้น โดยการทำงานนี้เป็นลักษณะไปป์ ไลน์ (Pipe Line) ทำให้มีความเร็วในการทำงานมากกว่าซีพียูทั่วไป (ที่ความถี่เดียวกัน) และมีคุณสมบัติต่างๆของไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F4011 สรุปได้อย่างคร่าวๆ ดังนี้

-การทำงานจะเป็นลักษณะไปป์ ไลน์ ทำให้มีการทำงานที่เร็วขึ้น

-มีหน่วยความจำโปรแกรมแบบแฟลชขนาด 48 Kbytes (16 K Instruction word)

-มีหน่วยความจำข้อมูลแบบแรม 2 Kbytes

-มีหน่วยความจำแบบอีอีพรอม 1 Kbytes

-สามารถตอบสนองการอินเตอร์รัพต์ได้ 30 แหล่ง

-Power-on Reset (POR), Power-up Timer (PWRT) และ Oscillator Start-up Time (OST)

-Watchdog Timer (WDT)

-สามารถเลือกการป้องกันข้อมูลได้ (Code Protection)

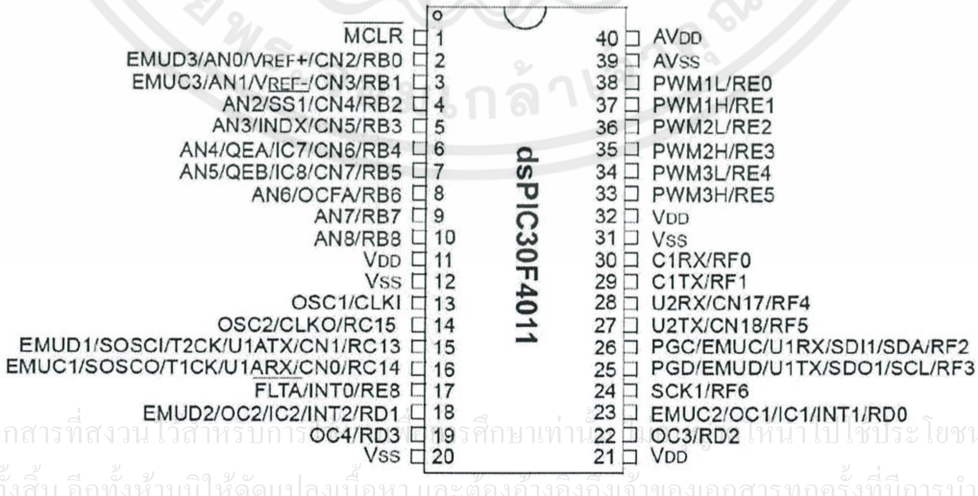
-มีโหมดประหยัดพลังงาน (Sleep Mode)

-เลือกโหมดของสัญญาณนาฬิกาได้หลายโหมด

-ฟังก์ชันการโปรแกรมแบบ ICSP™ (In-Circuit Serial Programming ™)

-ทำงานที่ไฟเลี้ยง 2.5 ถึง 5.5 โวลต์

-Analog to Digital Converter ความละเอียด 10 บิต 9 แชนเนลภายในตัว



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวน ไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น ไม่ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.17 ตัวถังของ dsPIC30F4011 และตำแหน่งขาสัญญาณต่างๆ

2.5 พอร์ตอนุกรม

พอร์ตอนุกรมในการสื่อสารข้อมูลนั้นพอร์ตอนุกรมจะมีความเร็วในการสื่อสารที่ช้ากว่าแบบ ขนาน เพราะการเคลื่อนย้ายข้อมูลแบบอนุกรมนั้นเป็นการส่งข้อมูลครั้งละ 1 บิต แต่พอร์ตขนานนั้นสามารถส่งข้อมูลทีละหลายๆ บิตพร้อมๆกันได้ แต่ข้อดีของการสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรมคือสามารถส่งข้อมูลได้ในระยะทางที่ไกลกว่าแบบขนานและใช้สายสัญญาณที่น้อยกว่าการสื่อสารข้อมูลแบบขนาน ประเภทของการสื่อสารแบบอนุกรมแบ่งตามลักษณะสัญญาณในการส่งแบ่งได้ 2 แบบ คือ

1).การสื่อสารแบบซิงโครนัส (Synchronous) เป็นการสื่อสารข้อมูลโดยใช้สัญญาณนาฬิกาในการควบคุมจังหวะของการรับส่งสัญญาณ

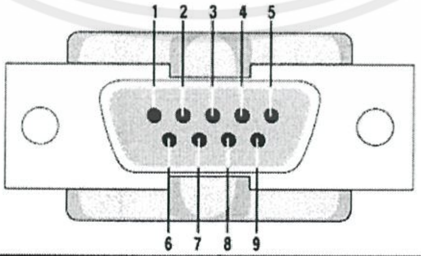
2).การสื่อสารแบบอะซิงโครนัส (Asynchronous) เป็นการสื่อสารที่ใช้สายข้อมูลเพียงตัวเดียว จะใช้รูปแบบของการส่งข้อมูล (Bit Pattern) เป็นตัวกำหนดว่าส่วนไหนเป็นส่วนเริ่มต้นข้อมูล ส่วนไหนเป็นตัวข้อมูล ส่วนไหนจะเป็นตัวตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล และส่วนไหนเป็นส่วนปิดท้ายของข้อมูล โดยต้องกำหนดให้สัญญาณนาฬิกาเท่ากันทั้งภาคส่งและภาครับ

สำหรับการติดต่อสื่อสารลักษณะนี้จะใช้การรับส่งข้อมูลแบบ Asynchronous คือจะใช้สายข้อมูลเพียงสายเดียว

2.5.1 มาตรฐาน RS-232-C

มาตรฐาน RS-232-C เป็นมาตรฐาน RS-232 ที่มีการปรับปรุงแก้ไขจากมาตรฐานเดิม ซึ่งเราอาจคุ้นเคยกับชื่อนี้มากกว่า RS-232-A หรือ RS-232-B อันที่จริงแล้วยังมีมาตรฐาน RS-232-D ที่ใหม่กว่า RS-232-C โดยที่มีการเพิ่มข้อกำหนดของคอนเน็กเตอร์แบบ DB เข้าไปด้วย เช่น DB-25 ซึ่งในขณะนั้นสิทธิบัตรของตัวคอนเน็กเตอร์แบบนี้ได้หมดอายุลงพอดี จึงสามารถรวมข้อกำหนดเข้าไว้ได้

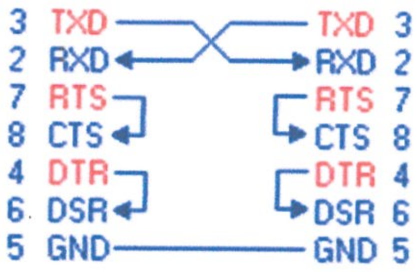
ลักษณะโดยทั่วไปของการเชื่อมต่อข้อมูลแบบอนุกรมตามมาตรฐาน RS-232 คือเป็นการสื่อสารข้อมูลแบบจุดต่อจุด ซึ่งเดิมทีเป็นการสื่อสารข้อมูลระหว่างคอมพิวเตอร์กับโมเด็ม ซึ่งจริงๆแล้วทั้งสองฝั่งจะเป็นอะไรก็ได้ การสื่อสารเป็นแบบสองทางพร้อมกัน (Full-duplex) โดยอาจใช้สายสัญญาณอื่นร่วมเพื่อทำแฮนด์เชค (Hand-shake) หรือไม่ก็ได้ มาตรฐาน RS-232 จำกัดความยาวสายไว้ที่ 50 ฟุต (หรือประมาณ 15 เมตร) สำหรับการส่งสัญญาณที่ความเร็ว 19,200 บิทต่อวินาที โดยที่ความยาวสายจะต้องสั้นลงถ้าต้องการสื่อสารที่ความเร็วสูงขึ้น และถ้ามีสัญญาณรบกวนมากๆ เช่นในโรงงาน หรือบริเวณใกล้เครื่องจักรที่เป็นแบบมีการสวิตช์สัญญาณไฟฟ้าที่กระแสสูงๆ ก็จะทำให้ต้องมีการลดความเร็วในการส่งสัญญาณลงหรือใช้สายที่สั้นลง



Pin	Signal	Pin	Signal
1	Data Carrier Detect	6	Data Set Ready
2	Received Data	7	Request to Send
3	Transmitted Data	8	Clear to Send
4	Data Terminal Ready	9	Ring Indicator
5	Signal Ground		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการ... อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.18 การเชื่อมต่ออุปกรณ์อุปกรณ์ภายนอกเข้ากับคอมพิวเตอร์ด้วยสาย DB9

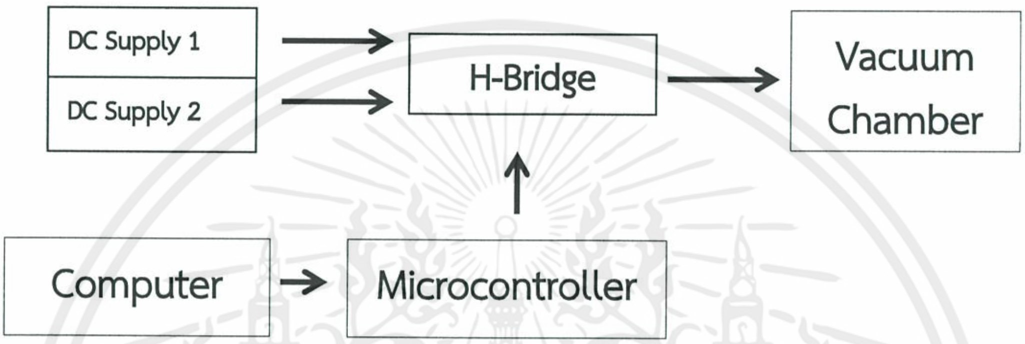


รูปที่ 2.19 การต่ออุปกรณ์ภายนอกผ่าน DB9 แบบ 3 เส้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
การออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบ

การออกแบบและสร้างแหล่งจ่ายไฟฟ้าดีซีพัลส์ให้เหมาะสมกับการเคลือบฟิล์มบางให้มีประสิทธิภาพสูงสุดนั้นจะต้องออกแบบให้มีความคงทนต่อแรงดันไฟฟ้าที่มีค่าสูง ขนาดกะทัดรัด โดยใช้การสวิตชิ่งแบบอะซิมเมตริกไบโพล่าซึ่งมีข้อดีเหนือกว่าการสวิ่งแบบอื่นหลายประการ บล็อกไดอะแกรมรวมของระบบแสดงไว้ดังรูป

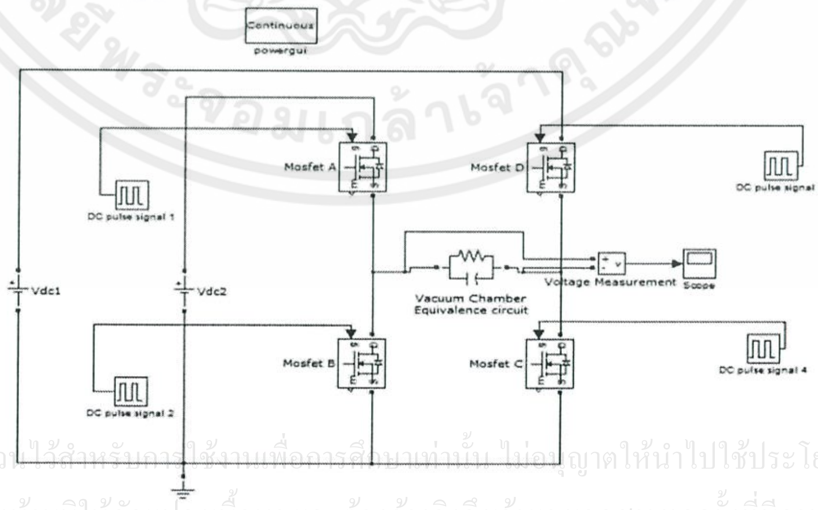


รูปที่ 3.1 Block Diagram ของระบบ

จากรูปที่ 3.1 ส่วนประกอบหลักของระบบที่ต้องสร้างขึ้นมาคือส่วนของวงจร H-Bridge วงจรควบคุม การโปรแกรมไมโครคอนโทรลเลอร์ และการสร้างการควบคุมผ่านพอร์ตอนุกรมด้วยคอมพิวเตอร์ ดังนั้น ก่อนการสร้างเครื่องต้นแบบของจริงนั้นจะต้องจำลองในโปรแกรมเสียก่อน

3.1 การจำลองวงจร (Simulation)

การจำลองวงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าดีซีพัลส์ด้วยโปรแกรม MATLAB Simulink

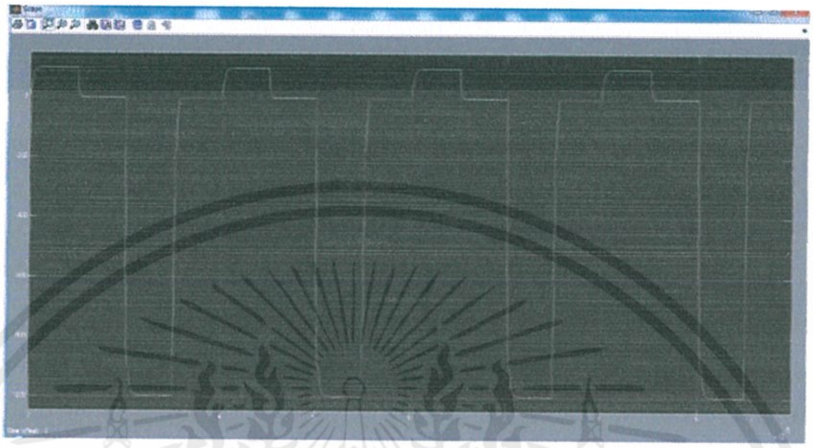


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.2 การจำลองแหล่งจ่ายไฟฟ้าดีซีพัลส์ด้วยโปรแกรม MATLAB Simulink

จากรูปด้านบนนี้ จะใช้สัญญาณควบคุมสวิตช์ทั้งสี่ตัว มีแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงปรับค่าได้สองชุดต่อเข้ากับวงจร H-Bridge และจำลองโหลดที่เป็นห้องสุญญากาศด้วยวงจร R-C ขนานซึ่งเป็นวงจรสมมูลอย่างง่ายของระบบแมกนีตรอนสปัตเตอริ่ง

จากนั้น กำหนดค่าการจำลองต่างๆ กำหนดให้ความถี่ของขบวนคลื่นดีซีพัลส์เป็น 50 kHz จะได้รูปคลื่นแรงดันขาออกจาก H-Bridge ดังรูป



รูปที่ 3.3 แรงดันขาออกจากวงจรที่ได้จากการจำลองด้วยโปรแกรม MATLAB Simulink

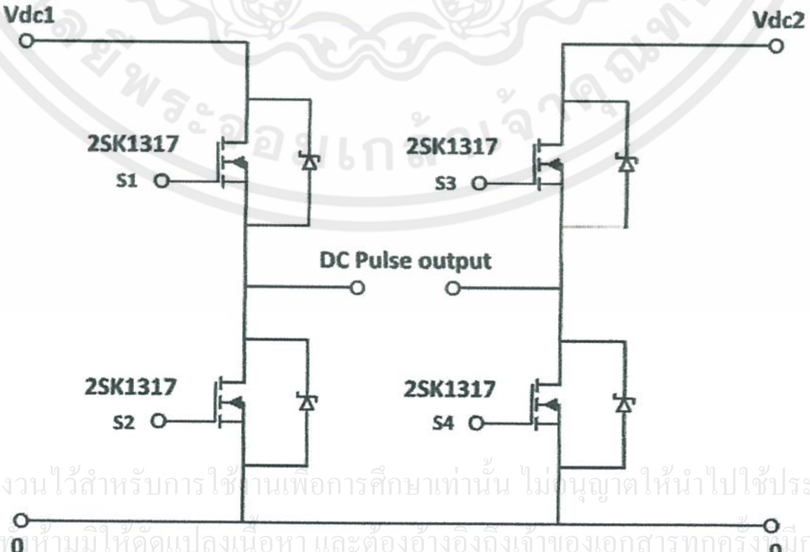
จากรูปที่ 3.3 ให้แหล่งจ่าย $V_{DC,1}$ จ่ายแรงดัน 100 V และ แหล่งจ่าย $V_{DC,2}$ จ่ายแรงดัน 1000 V

3.2 การสร้างวงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าดีซีพัลส์

3.2.1 การสร้างวงจรกำลัง

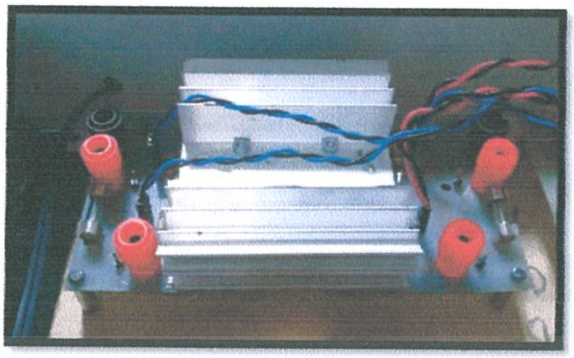
3.2.1.1 ออกแบบวงจรกำลัง

วงจรกำลังของแหล่งจ่ายไฟฟ้าดีซีพัลส์จะต้องมีแรงดันขาออกเป็นรูปดีซีพัลส์ที่ปรับค่าตัวแปรได้ตามหัวข้อ 2.2.4 ดังนั้น วงจรกำลังที่ออกแบบจะมีรูปร่างดังนี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

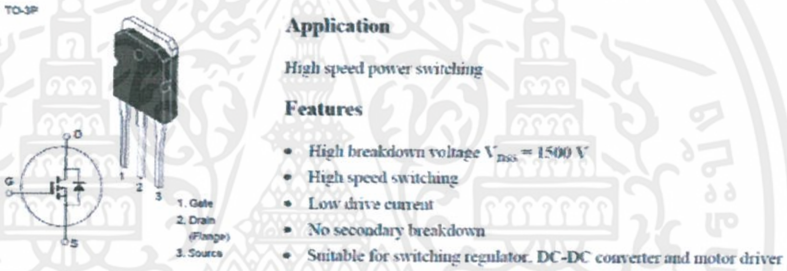
รูปที่ 3.4 รูปแบบวงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าดีซีพัลส์



รูปที่ 3.5 วงจรกำลังที่สร้างขึ้นจริง

3.2.1.2 ชนิดของมอสเฟตกำลัง

เนื่องจากวงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าดีซีพัลส์นั้นจะต้องสามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าได้ถึง 1000 V ดังนั้นมอสเฟตที่ใช้จะต้องทนแรงดันได้ถึง 1000 V ขึ้นไป จึงเลือกใช้มอสเฟตกำลังเบอร์ 2SK1317 ที่สามารถทนแรงดันได้ถึง 1,500 V และสามารถทนกระแสได้ 2.5 A



รูปที่ 3.6 มอสเฟตกำลัง 2SK1317

3.2.1.3 แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าแรงสูงสองเอาท์พุต

แหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงปรับค่าได้จะใช้อุปกรณ์รุ่น Pinnacle 2/2 kW DC 11/12 Operation สามารถจ่ายแรงดันสูงสุด 1kV ได้สองเอาท์พุต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวน ... ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้ง ... ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

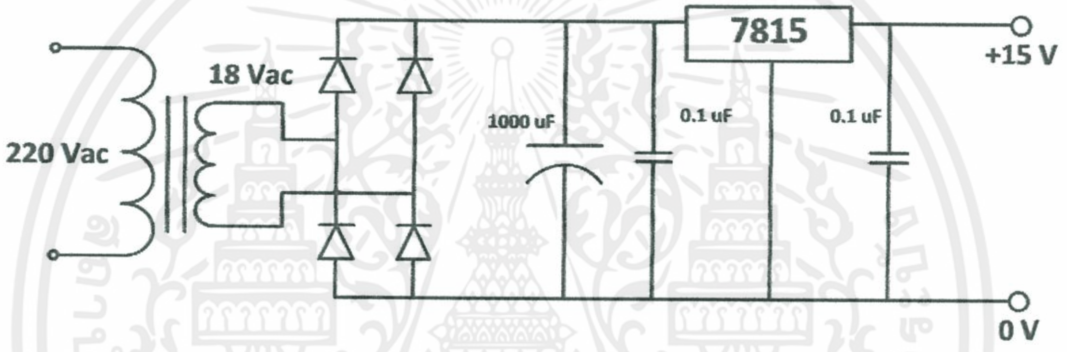
รูปที่ 3.7 แหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงปรับค่าได้ที่ใช้ในการทำการทดลอง

3.2.2 การสร้างวงจรควบคุม

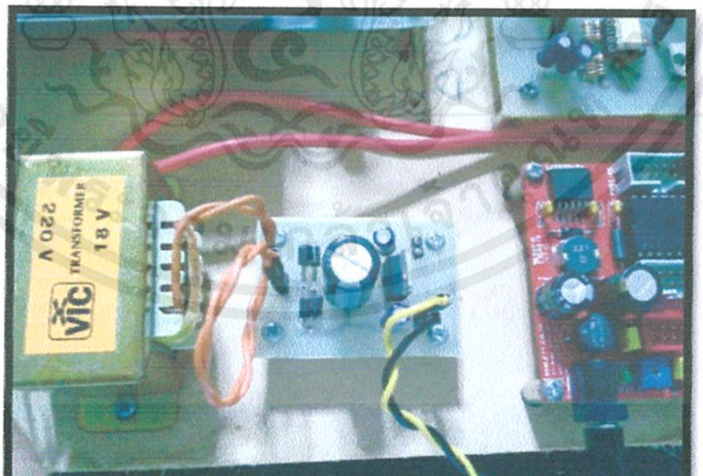
3.2.2.1 วงจรไฟเลี้ยง (Power Supply)

วงจรไฟเลี้ยงที่ออกแบบจะใช้หม้อแปลงไฟฟ้า 220 / 18 V ต่อเข้ากับวงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น กรองกระแสไฟฟ้าให้เรียบด้วยตัวเก็บประจุขนาด 1000 μF จากนั้นใช้โวลเตจเรกกูเลเตอร์เบอร์ 7815 เพื่อจำกัดแรงดันให้เหลือ 15 V

วงจรไฟเลี้ยงนี้นั้นทำขึ้นมาห้าวงจร สี่วงจรแรกจ่ายแรงดันไฟตรง 15 V เพื่อเป็นไฟเลี้ยงของวงจรขับเกต (Gate driver circuit) ส่วนวงจรที่สองนั้นจะจ่ายแรงดันไฟตรง 15 V เพื่อเป็นไฟเลี้ยงของบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ สาเหตุที่ต้องแยกวงจรไฟเลี้ยงออกเป็นสองวงจรก็เพราะต้องการจะให้วงจรขับเกตซึ่งเชื่อมกันทางไฟฟ้าอยู่กับวงจรกำลังนั้นแยกอิสระกับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ ถ้าหากเกิดความผิดพร่องขึ้นในวงจรกำลัง ความผิดพร่องนั้นจะได้ไม่ส่งผลกระทบถึงบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์



รูปที่ 3.8 วงจรไฟเลี้ยงกระแสตรง 15 V เพื่อเป็นไฟเลี้ยงบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์

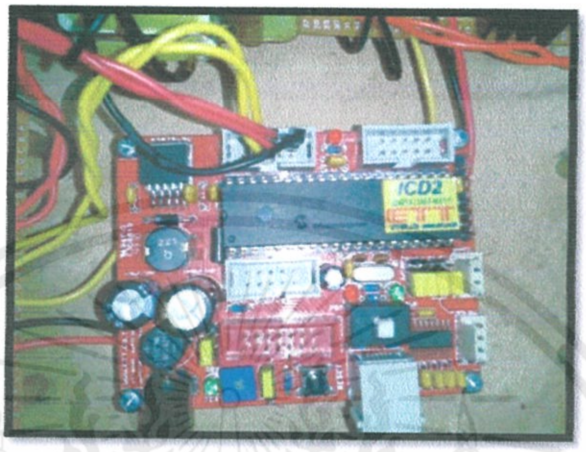


รูปที่ 3.9 วงจรไฟเลี้ยงที่สร้างขึ้นจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการ ... ญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2.2 วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller Circuit)

วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้จะใช้บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์รุ่น dsPIC30F4011 ซึ่งเป็นบอร์ดสำเร็จรูป ใช้กำเนิดสัญญาณขับเกตดีซีพัลส์ขนาด 5 V ด้วยการเขียนโปรแกรมภาษาซีผ่านโปรแกรม MPLAB IDE 8.84

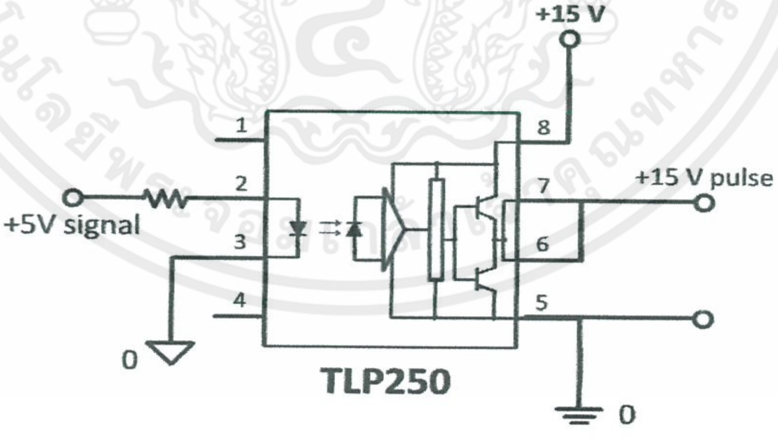


รูปที่ 3.10 บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ รุ่น dsPIC30F4011

3.2.2.3 การแยกกราวด์ด้วยแสง (Opto-isolator)

การแยกกราวด์ด้วยแสงคือการทำให้วงจรแยกกันอย่างอิสระทางไฟฟ้า โดยใช้อุปกรณ์ทางแสงที่เรียกว่าออปโต้คับเปิ้ล (Optocouple)

หลักการของออปโต้คับเปิ้ลคือการนำสัญญาณมาผ่านไดโอดเปล่งแสง (LED) แสงที่ปรากฏจะไปกระตุ้นให้ทรานซิสเตอร์ทางแสง (Phototransister) สามารถนำกระแสได้ ทำให้ได้รูปสัญญาณที่เหมือนกันแหล่งกำเนิดออกมาจากอีกด้านหนึ่งของออปโต้คับเปิ้ล



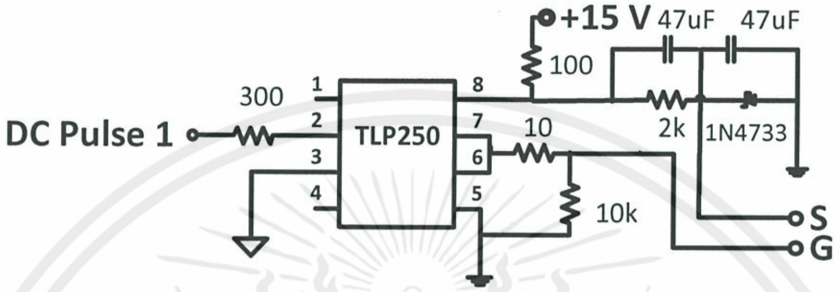
รูปที่ 3.11 หลักการทำงานของออปโต้คับเปิ้ล

3.2.2.4 วงจรขับเกตและแยกกราวด์ (Gate Driver and isolate Circuit)

วัตถุประสงค์ของวงจรขับเกตและแยกกราวด์คือเพื่อใช้ในการขับนำอุปกรณ์สวิตซิ่งและแยกวงจรควบคุมกับวงจรกำลังกันโดยเชื่อมต่อกันด้วยแสงเพื่อป้องกันความเสียหายจาก

วงจรกำลังส่งผลสู่วงจรควบคุม โดยวงจรขับเกตจะสร้างแรงดันที่เพียงพอที่จะนำไปขับขาเกตเพื่อที่จะทำให้มอสเฟตกำลังสามารถทำงาน (on) หรือหยุดทำงานได้ (off)

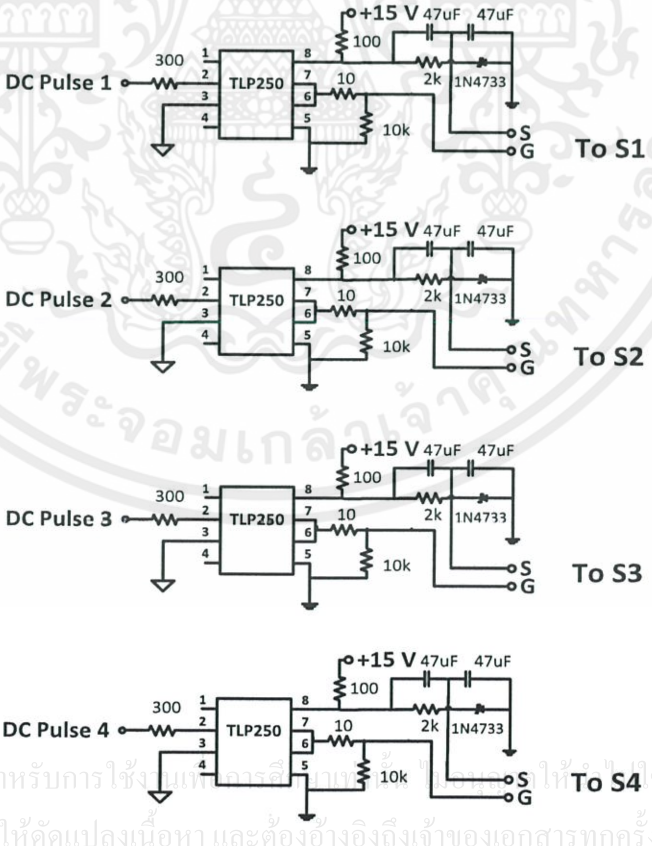
โดยภายในวงจรจะมี Opto-Isolator ซึ่งทำหน้าที่แยกวงจรระหว่างส่วนวงจรควบคุมออกจากวงจรกำลัง และด้านของแรงดันวงจรขับเกตและแยกกราวด์จะให้ทั้งแรงดันบวกและแรงดันลบโดยที่แรงดันทางด้านบวกจะมีค่าไม่น้อยกว่า 8 โวลต์ และแรงดันทางด้านลบจะมีค่าประมาณ -5 โวลต์ เพื่อให้มอสเฟตมีการคายประจุให้เรียบร้อยก่อนแล้วจึงทำงานใหม่



รูปที่ 3.12 วงจรขับเกตและแยกกราวด์

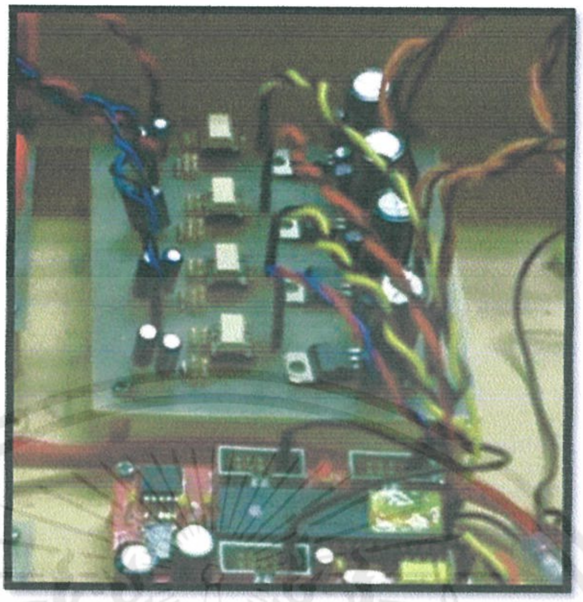
3.2.2.5 ภาพรวมของวงจรควบคุม

ภาพรวมของวงจรควบคุมจะมีลักษณะดังรูป

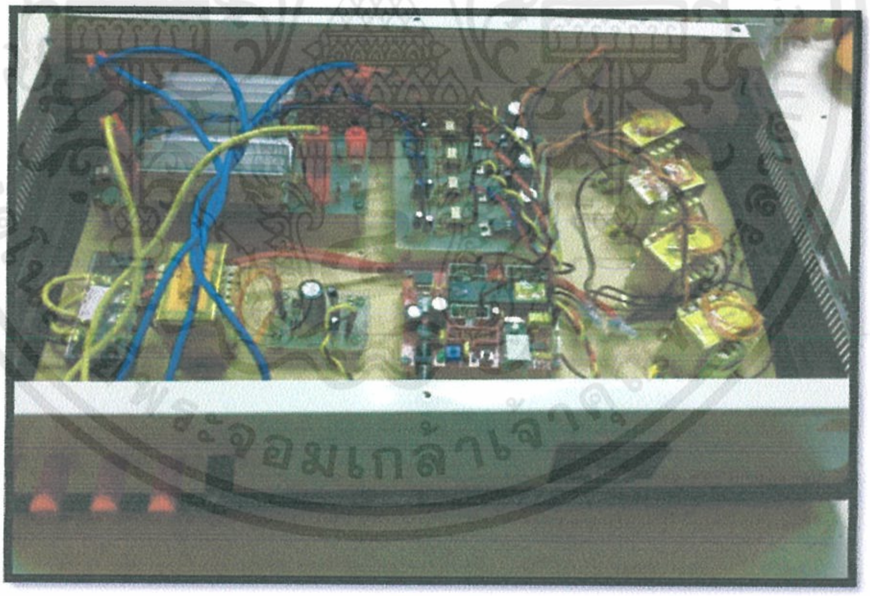


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.13 ภาพรวมของวงจรควบคุม



รูปที่ 3.14 รูปวงจรขับเกตและวงจรออปโต้ไอโซเลเตอร์ที่สร้างขึ้นจริง



รูปที่ 3.15 วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าดีซีพัลส์ต้นแบบที่สร้างขึ้นจริง

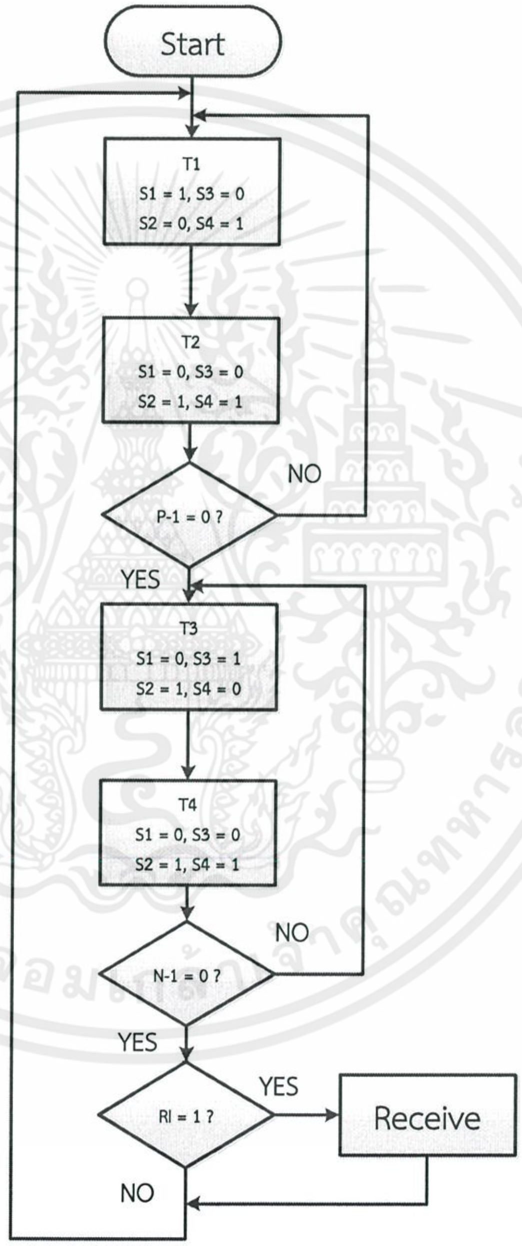
3.2.3 การสร้างสัญญาณขับเกตดีซีพัลส์ด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์

3.2.3.1 โฟลวชาร์ต (Flowchart)

โฟลวชาร์ตของการโปรแกรมไมโครคอนโทรลเลอร์จะใช้การวนลูปค่า T1 ถึง T4 ไปเรื่อยๆ และเมื่อมีการรับค่าจากพอร์ตอนุกรมเกิดขึ้น โปรแกรมจะขัดจังหวะ (Interrupt)

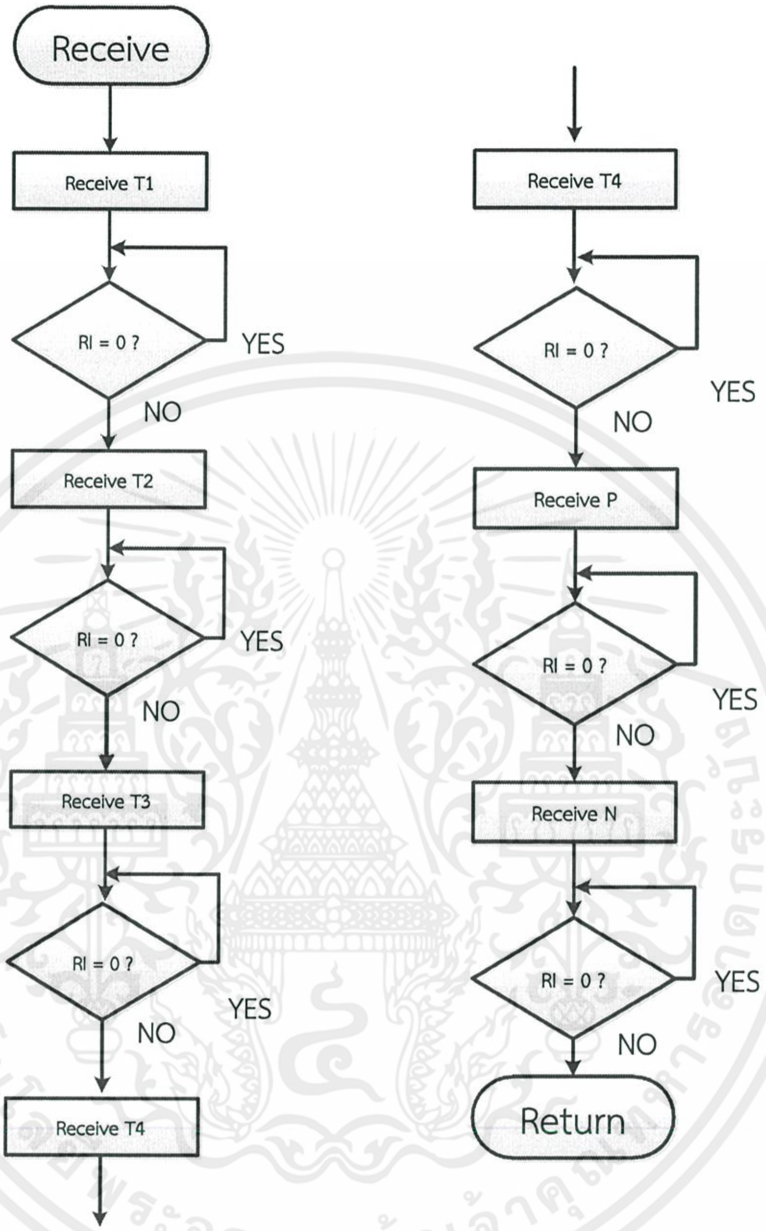
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวน ... เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัด...

การทำงานของโปรแกรมหลัก (Main Routine) เพื่อรับค่า T1 ถึง T4, P และ N ที่ส่งเข้ามาจากพอร์ตอนุกรม ดังนั้น โฟลวชาร์ตของโปรแกรมควบคุมการทำงานของแหล่งจ่ายไฟฟ้าดีซีพัลส์จะแบ่งเป็นโฟลวชาร์ตของโปรแกรมหลัก (Main Routine) และ โปรแกรมย่อย (Sub Routine) ดังนี้



รูปที่ 3.16 โฟลวชาร์ตของโปรแกรมหลัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการ... ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

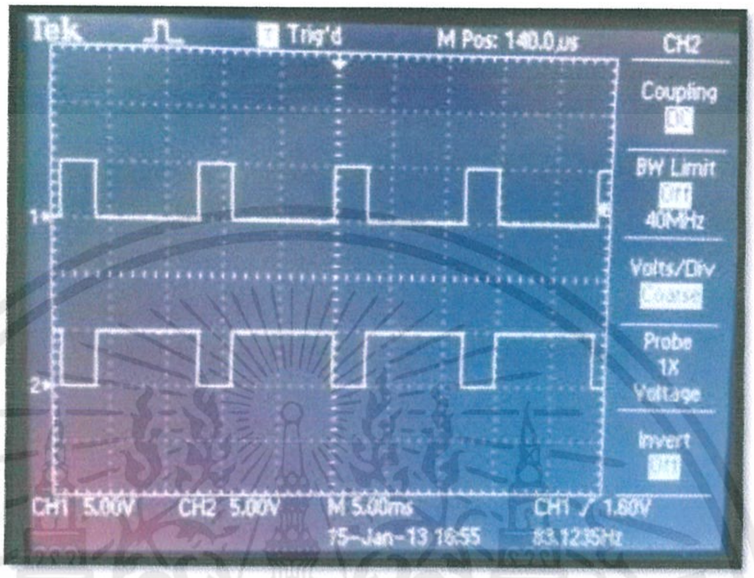


รูปที่ 3.17 โฟลวชาร์ตของวงจรย่อย

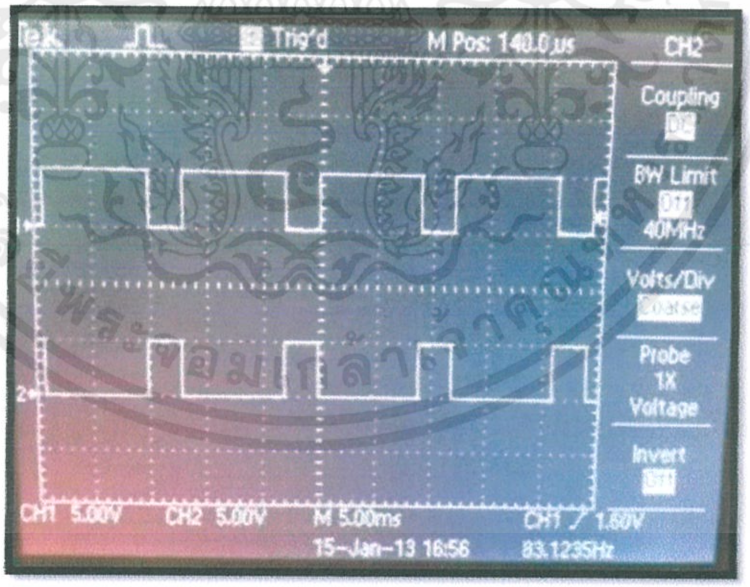
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.3.2 รูปคลื่นดีซีพัลส์ที่ได้จากการโปรแกรม

จากการโปรแกรมไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อสร้างรูปคลื่นดีซีพัลส์ตามที่ต้องการนั้นจะได้รูปคลื่นที่จะไปขับขาเกตของมอสเฟตทั้งสี่ตัวดังนี้

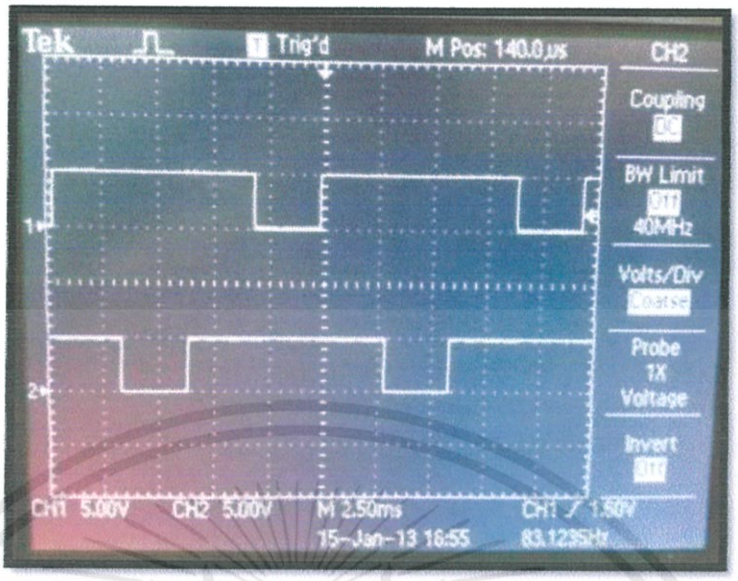


รูปที่ 3.18 สัญญาณขับขาเกตของมอสเฟต S1 (บน) และมอสเฟต S2 (ล่าง)

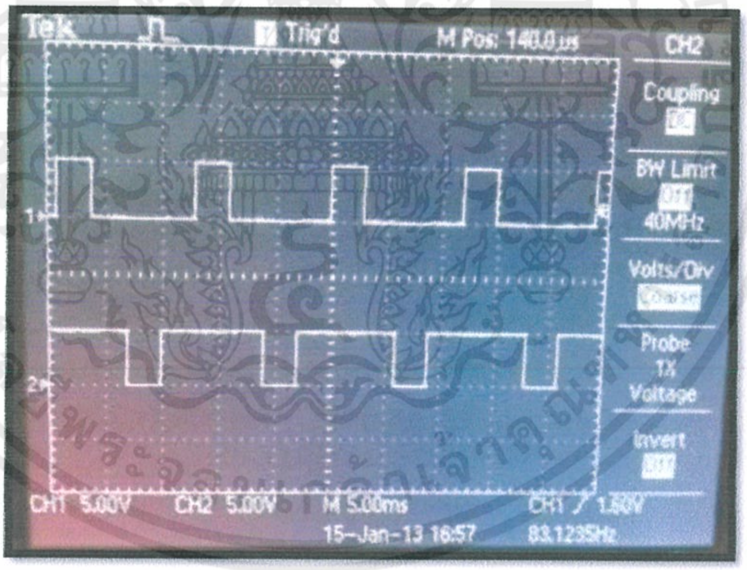


รูปที่ 3.19 สัญญาณขับขาเกตของมอสเฟต S3 (บน) และมอสเฟต S4 (ล่าง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

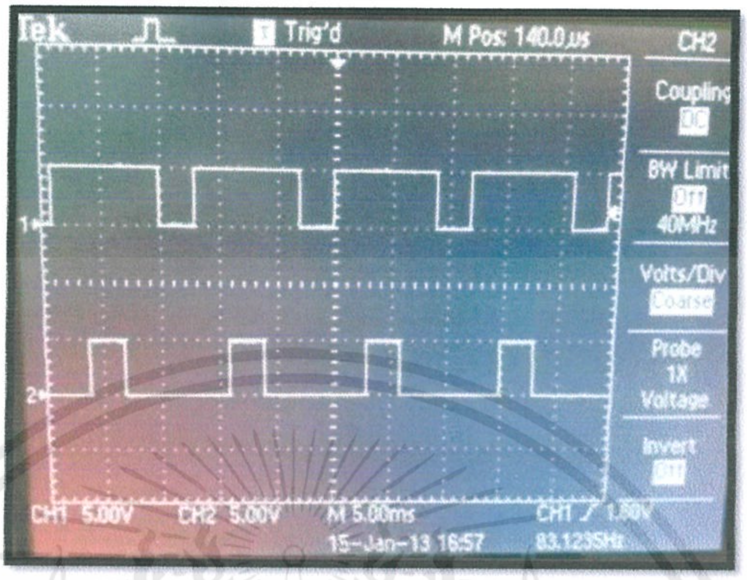


รูปที่ 3.20 สัญญาณขับขาเกตของมอสเฟต S2 (บน) และมอสเฟต S3 (ล่าง)



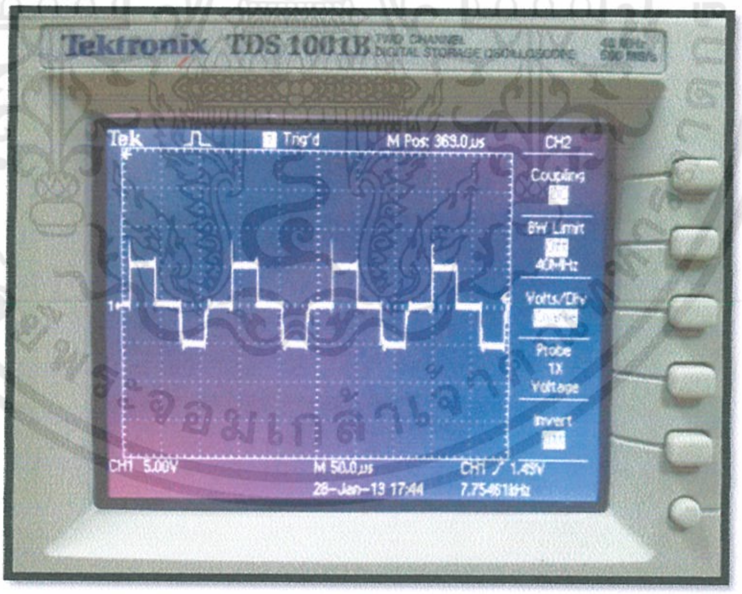
รูปที่ 3.21 สัญญาณขับขาเกตของมอสเฟต S1 (บน) และมอสเฟต S3 (ล่าง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.22 สัญญาณขับขาเกตของมอสเฟต S2 (บน) และมอสเฟต S4 (ล่าง)

เมื่อได้สัญญาณขับนำสวิตช์ทั้งสี่ตัวแล้ว จะได้แรงดันขาออกของวงจรกำลังดังรูปต่อไปนี้ ซึ่งเป็นรูปคลื่นมาตรฐานของแหล่งจ่ายไฟฟ้าดีซีพัลส์แบบซิมเมตริกไบโพล่า



รูปที่ 3.23 สัญญาณแรงดันขาออกของวงจรกำลังแบบซิมเมตริกไบโพล่า

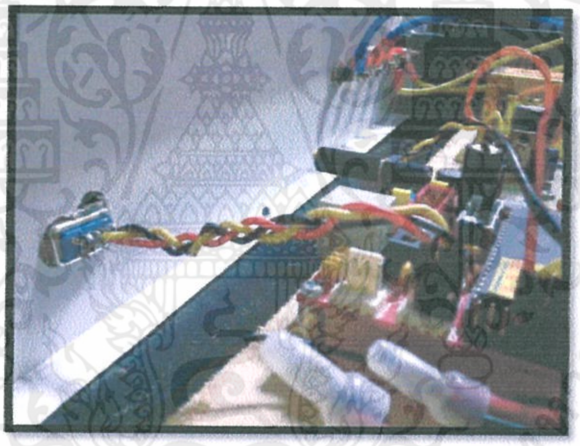
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การสร้างการควบคุมผ่านคอมพิวเตอร์ (Computer Control Panel)

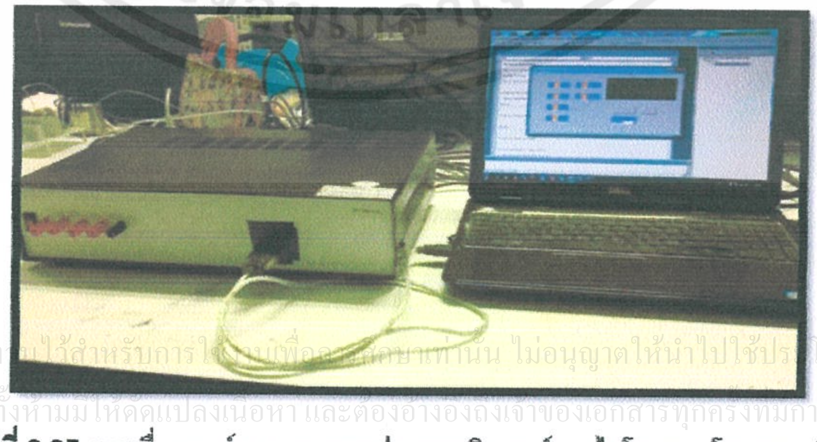
3.3.1 การรับส่งข้อมูลออกจากพอร์ตอนุกรมสู่ไมโครคอนโทรลเลอร์

การส่งข้อมูลผ่านพอร์ตอนุกรมเข้าสู่ไมโครคอนโทรลเลอร์นั้นจะต้องส่งข้อมูลผ่านคอมพอร์ตขาที่ 3 (TX) ซึ่งการที่ไมโครคอนโทรลเลอร์จะสามารถรับข้อมูลมาได้อย่างถูกต้องนั้นจะต้องตั้งค่าอัตราการรับข้อมูล (Baud Rate) ของไมโครคอนโทรลเลอร์ให้ตรงกับอัตราการส่งข้อมูลของคอมพิวเตอร์ โดยการส่งข้อมูลจากคอมพิวเตอร์นั้นสามารถทำได้หลายวิธี วิธีที่ใช้โดยทั่วไปคือการส่งข้อมูลด้วยโปรแกรมไฮเปอร์เทอร์มินอล (Hyperterminal) ซึ่งอินเตอร์เฟสของโปรแกรมไฮเปอร์เทอร์มินอลนั้นจะแสดงไว้ดังรูปที่ 3.25 ส่วนวิธีที่สามารถทำการส่งข้อมูลได้หลายรูปแบบขึ้นสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การใช้โปรแกรม Visual Basic 6.0 ซึ่งสามารถตั้งค่าการส่งข้อมูลและสร้างอินเตอร์เฟสขึ้นมาได้

ส่วนทางด้านการตั้งค่าไมโครคอนโทรลเลอร์นั้นต้องตั้งค่าให้อัตราการรัยส่งข้อมูลและจำนวนบิตที่จะรับต่อข้อมูลหนึ่งชิ้นให้ตรงกับข้อมูลที่ได้รับจากคอมพอร์ต โดยขณะที่มีข้อมูลเข้ามาทางพอร์ตอนุกรม ไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำการขัดจังหวะ (Interrupt) โปรแกรมหลักเพื่อเข้าสู่การวนลูปรับค่าพารามิเตอร์ต่างๆ เมื่อรับข้อมูลจนครบทุกค่าตามที่ต้องการแล้ว โปรแกรมจะกลับเข้าสู่โปรแกรมหลักและแสดงผลด้วยค่าพารามิเตอร์ที่ใส่เข้าไปใหม่ต่อไป



รูปที่ 3.24 พอร์ตอนุกรมของบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.25 การเชื่อมพอร์ตอนุกรมระหว่างคอมพิวเตอร์และไมโครคอนโทรลเลอร์

3.3.2 การควบคุมพารามิเตอร์สัญญาณโดยโปรแกรม Visual Basic 6.0

3.3.2.1 Visual Basic

จากการทำการทดลองวงจรแหล่งจ่ายดีซีพัลส์แมกนีตรอนสปัตเตอร์ริ่ง จำเป็นต้องมีการปรับค่าคาบของคลื่นพัลส์และจำนวนคลื่นพัลส์ให้ได้ลักษณะคลื่นพัลส์ที่เหมาะสมกับการใช้งานในรูปแบบต่างๆ จึงมีการนำโปรแกรม Visual Basic มาเป็นตัวกลางในการรับคำสั่งจากผู้ใช้งานและส่งข้อมูลไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ให้ปรับค่าตามคำสั่งนั้น ดังนั้นโปรแกรม Visual Basic จึงเป็นตัวช่วยให้การปรับค่าคาบของคลื่นพัลส์และจำนวนคลื่นพัลส์ในไมโครคอนโทรลเลอร์ได้ง่ายยิ่งขึ้น ในที่นี้กลุ่มผู้จัดทำได้ใช้โปรแกรม Visual Basic 6.0

3.3.2.2 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับ Visual Basic

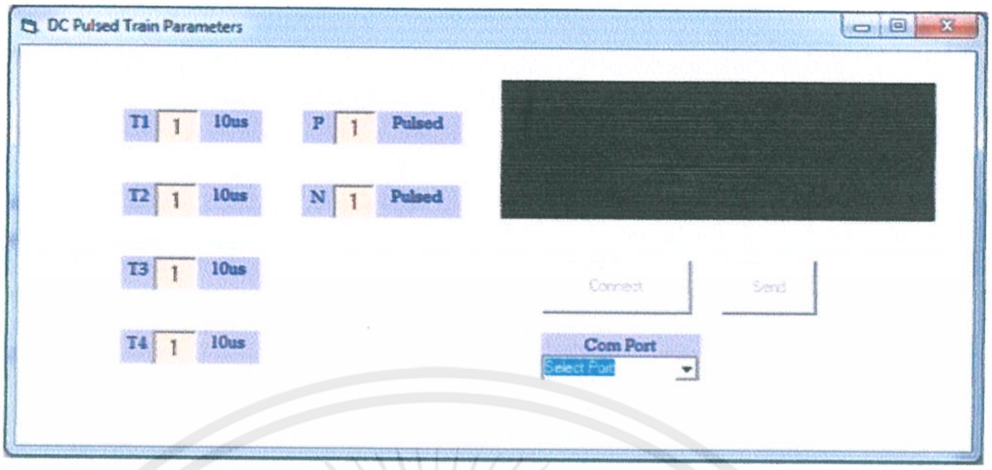
Visual Basic เป็นภาษาคอมพิวเตอร์ ที่มีประสิทธิภาพสูง และออกแบบมาเพื่อทำงานบนระบบปฏิบัติการ Windows คำว่า Visual หมายถึงวิธีการที่ใช้สร้างติดต่อกับผู้ใช้แบบกราฟิก (GUI : Graphic User Interface) ส่วน BASIC เป็นคำที่ย่อมาจาก (Beginner All-Purpose Symbolic Instruction Code) แต่ก่อนนั้นการสร้างแอพพลิเคชัน (Application) จะถูกเรียกว่าการเขียนโปรแกรม โดยในอดีตการเขียนโปรแกรมเป็นเรื่องยุ่งยากสำหรับคนทั่วไป อีกทั้งโปรแกรมที่ถูกเขียนขึ้นมาก็ใช้งานยาก ดังนั้นจึงได้มีการนำเสนอการเขียนโปรแกรมแบบ Visual Programming ขึ้นมา ซึ่งรูปแบบก็คือ การเขียนโปรแกรมไปพร้อม ๆ กับการเห็นผลลัพธ์ที่เกิดขึ้น มีเครื่องมืออำนวยความสะดวกในการเขียนโปรแกรมมากขึ้น

แนวทางการเขียนโปรแกรมด้วยภาษา Visual Basic จะเป็นไปในลักษณะการนำคอนโทรลชนิดต่างๆ เช่น TextBox, Label, ComboBox เป็นต้น นำมาวาด เพื่อออกแบบหน้าตาแอพพลิเคชันที่เรียกว่า กราฟฟิกยูสเซอร์ อินเตอร์เฟส (Graphic User Interface-GUI) สามารถที่จะออกแบบอินเตอร์เฟสได้อย่างอิสระให้ตรงกับจุดประสงค์ และเป็นการนำไปใช้งานก่อนแล้วจึงเริ่มเขียนโค้ด ซึ่งถือเป็นหลักการเขียนโปรแกรมที่เรียกว่า การเขียนโปรแกรมเพื่อตอบสนองเหตุการณ์ที่เกิดขึ้น (Event-Driven Programming)

3.3.2.3 การสร้างอินเตอร์เฟสด้วยโปรแกรม Visual Basic 6.0

การส่งข้อมูลให้สะดวก รวดเร็ว และไม่ยุ่งยากสามารถทำได้ด้วยการสร้างอินเตอร์เฟส อินเตอร์เฟสที่สร้างนั้นสามารถกรอกค่าพารามิเตอร์ทุกตัวได้อย่างอิสระ และสามารถส่งข้อมูลได้เป็นชุดทั้งหมดในครั้งเดียว อินเตอร์เฟสที่สร้างมาจะแสดงไว้ดังรูปที่ 3.26

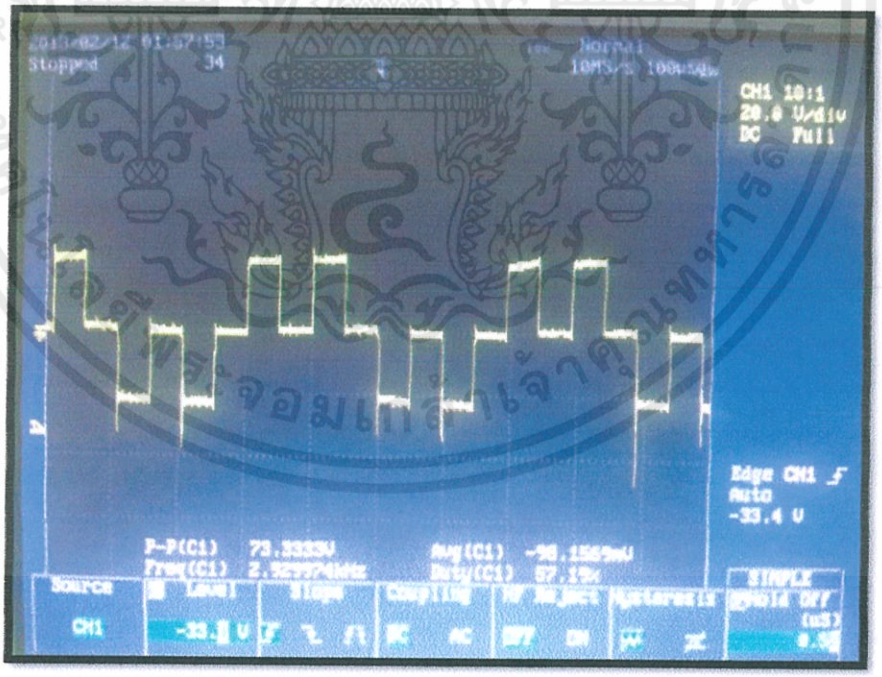
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.26 อินเตอร์เฟสเพื่อควบคุมแหล่งจ่ายไฟฟ้าดีซีพัลส์

3.3.3 รูปคลื่นดีซีพัลส์ที่ได้จากการควบคุมผ่านคอมพิวเตอร์

จากการทดลองควบคุมพารามิเตอร์ของแหล่งจ่ายไฟฟ้าดีซีพัลส์ผ่านการส่งข้อมูลด้วยอินเตอร์เฟสของโปรแกรม Visual Basic 6.0 โดยตั้งค่าพารามิเตอร์ให้เป็นแบบซิมเมตริกไบโพล่าจะเป็นดังรูปที่ 3.27

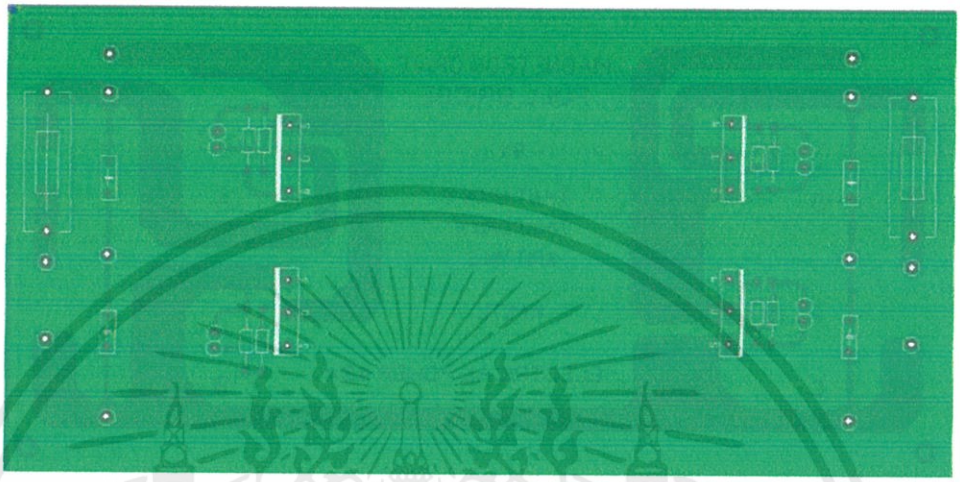


รูปที่ 3.27 รูปคลื่นพัลส์ที่ถูกควบคุมผ่านโปรแกรม Visual Basic 6.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 ลายปริ้นของวงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าดีซีพัลส์

3.4.1 ลายปริ้นของวงจร H-Bridge



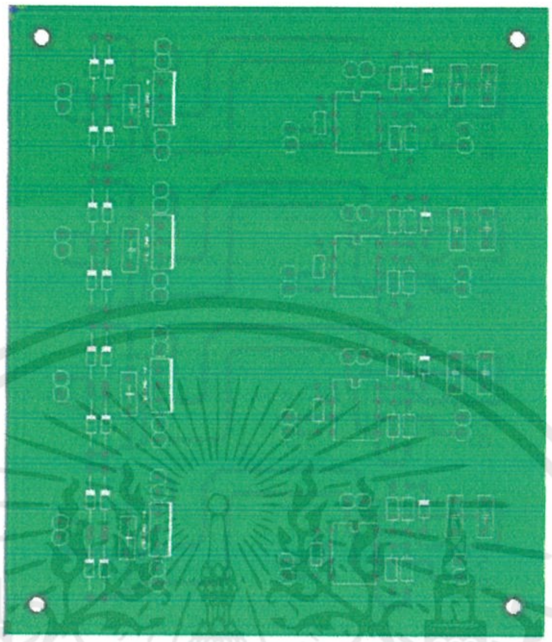
ก)

ข)

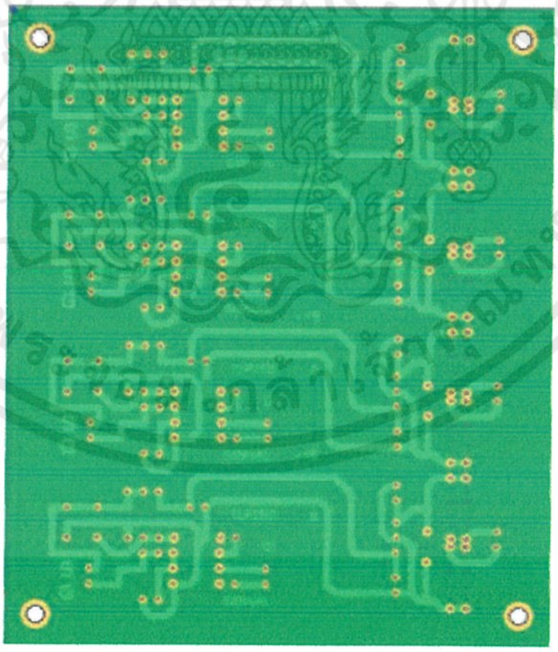
รูปที่ 3.28 ก) ลายวงจร H-Bridge ด้านบน ข) ลายวงจร H-Bridge ด้านล่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.2 ลายปริ้นของวงจรขับเกตและแยกกราวด์



ก)

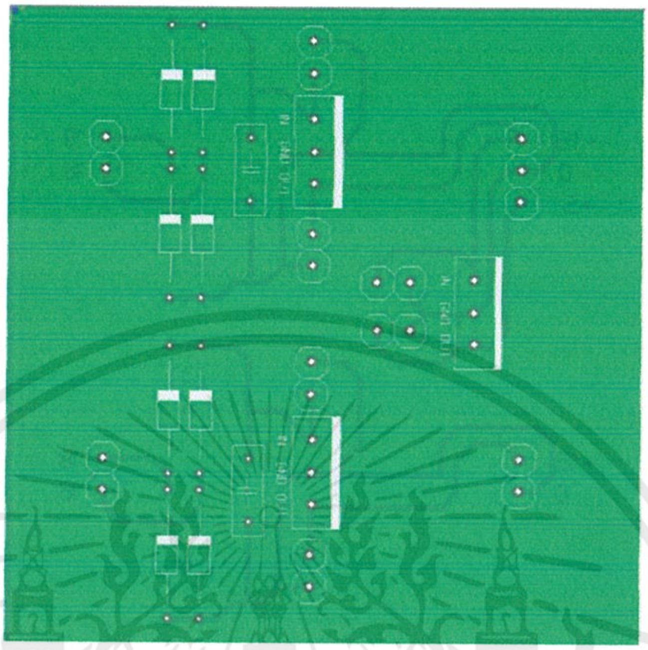


ข)

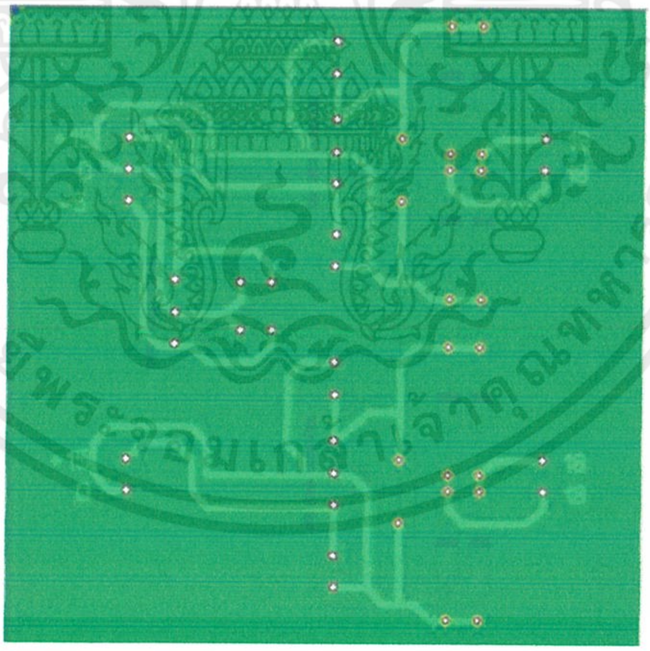
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.29 ก) ลายวงจรขับเกตด้านบน ข) ลายวงจรขับเกตด้านล่าง

3.4.3 ลายปริ้นของวงจรไฟเลี้ยง



ก)



ข)

รูปที่ 3.30 ก) ลายวงจรไฟเลี้ยงด้านบน ข) ลายวงจรไฟเลี้ยงด้านล่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 สรุป

จากข้อมูลทั้งหมดในบทนี้จะแสดงถึงรายละเอียดของวงจรในแต่ละส่วนของโครงงาน คือ ผลการจำลองวงจรในสภาวะต่างๆ วงจรขับเกตและแยกกราวด์ วงจรกำลัง (H-Bridge) วงจรไฟเลี้ยงวงจรขับเกตและไมโครคอนโทลเลอร์พอร์ตอนุกรม การอินเตอร์เฟสด้วยโปรแกรม Visual Basic 6.0 โฟลวชาร์ตของโปรแกรมไมโครคอนโทรลเลอร์ รูปคลื่นสัญญาณจากไมโครคอนโทรลเลอร์ และแสดงรูปคลื่นที่ได้จากการควบคุมผ่านพอร์ตอนุกรม ซึ่งจะเห็นว่าวงจรรวมของแหล่งจ่ายไฟฟ้าดีซีพัลส์นั้นสามารถสร้างขบวนคลื่นดีซีพัลส์ได้ตรงกับผลการจำลองด้วยโปรแกรม MATLAB และสามารถปรับค่าพารามิเตอร์ต่างๆได้ด้วยการควบคุมผ่านพอร์ตอนุกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

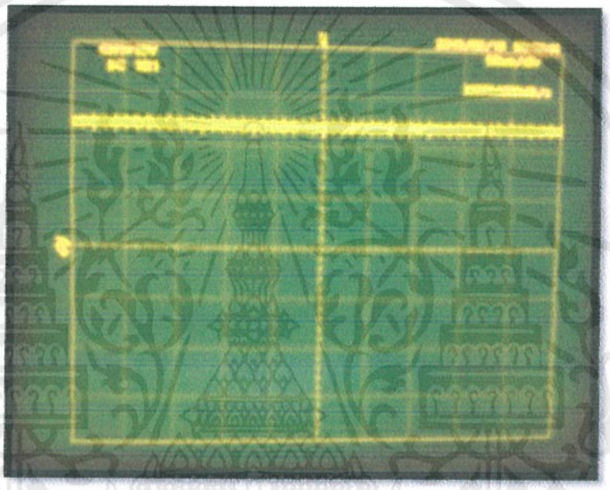
บทที่ 4
ผลการทดลอง

4.1 ผลการทดสอบแหล่งจ่ายไฟฟ้าดีซีพัลส์

แรงดันขาออกของแหล่งจ่ายไฟฟ้าดีซีพัลส์สามารถปรับการทำงานได้หกแบบดังกล่าวไปแล้วข้างต้น ผลการทดสอบแรงดันไฟฟ้าขาออกของวงจรจะแสดงดังต่อไปนี้

4.1.1 แรงดันขาออกในโหมด Positive DC

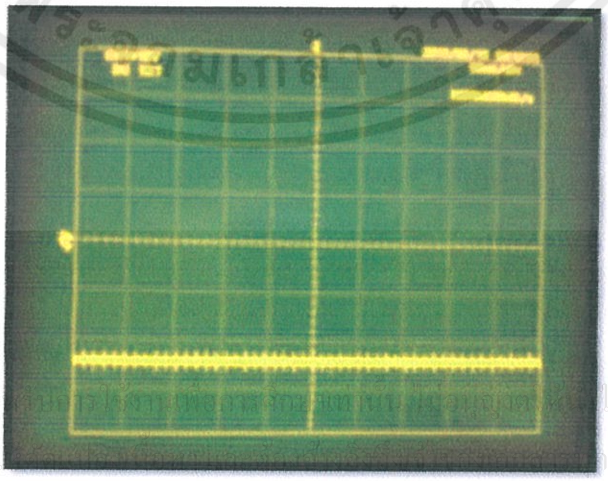
โหมด Positive DC จะมีแรงดันขาออกด้านเดียวเท่ากับ V_{dc1} และมี V_{dc2} เท่ากับศูนย์ การสวิตช์จะใช้ S1 และ S4 ให้ on ตลอดเวลา ผลการทดลองแสดงไว้ดังรูป



รูปที่ 4.1 แรงดันขาออกในโหมด Positive DC

4.1.2 แรงดันขาออกในโหมด Negative DC

โหมด Positive DC จะมีแรงดันขาออกด้านเดียวเท่ากับ V_{dc2} และมี V_{dc1} เท่ากับศูนย์ การสวิตช์จะใช้ S2 และ S3 ให้ on ตลอดเวลา ผลการทดลองแสดงไว้ดังรูป

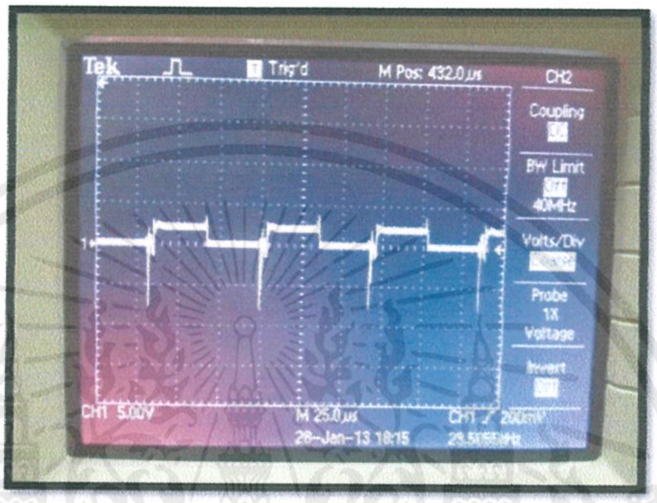


รูปที่ 4.2 แรงดันขาออกในโหมด Negative DC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำ ... ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิใ ... ครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.3 แรงดันขาออกในโหมด Positive Unipolar

โหมด Positive Unipolar จะมีแรงดันขาออกในลักษณะรูปขบวนคลื่นพัลส์ด้านบวกด้านเดียว มีแรงดันเท่ากับ V_{dc1} การสวิตช์จะใช้คู่ S1 และ S4 กับคู่ S2 และ S4 ทำงานสลับกัน โดยช่วงที่ S1 และ S4 on จะเป็นเวลา T1 ส่วนช่วงที่ S2 และ S4 on จะเป็นเวลา T2 ซึ่ง T1 และ T2 นั้นสามารถปรับค่าได้



รูปที่ 4.3 แรงดันขาออกในโหมด Positive Unipolar

4.1.4 แรงดันขาออกในโหมด Negative Unipolar

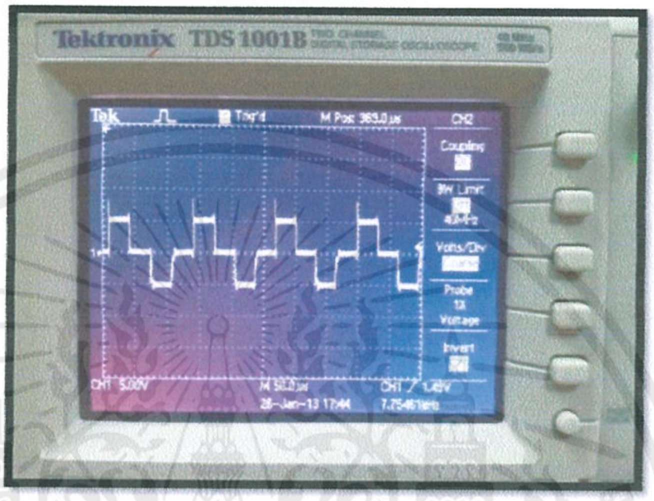
โหมด Negative Unipolar จะมีแรงดันขาออกในลักษณะรูปขบวนคลื่นพัลส์ด้านบวกด้านเดียว มีแรงดันเท่ากับ V_{dc2} การสวิตช์จะใช้คู่ S2 และ S3 กับคู่ S2 และ S4 ทำงานสลับกัน โดยช่วงที่ S2 และ S3 on จะเป็นเวลา T3 ส่วนช่วงที่ S2 และ S4 on จะเป็นเวลา T4 ซึ่ง T3 และ T4 นั้นสามารถปรับค่าได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.4 แรงดันขาออกในโหมด Negative Unipolar

4.1.5 แรงดันขาออกในโหมด Symmetric Bipolar

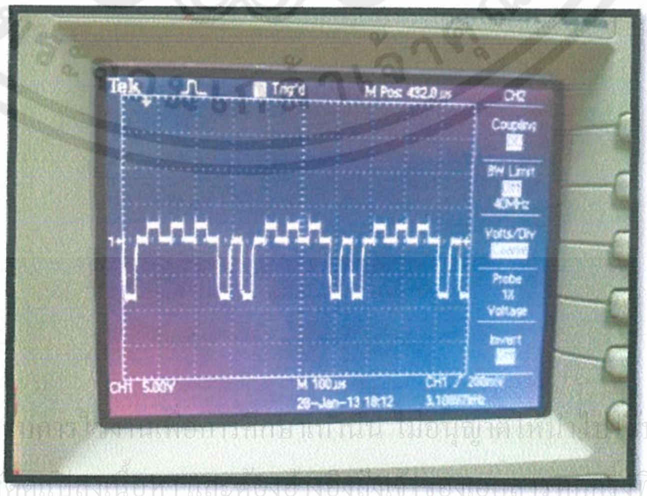
โหมด Symmetric Bipolar นั้น จะเกิดจากการทำงานต่อเนื่องกันระหว่างชุดขับสวิตช์แต่ละชุด ซึ่งจะเรียงลำดับเริ่มแรกจาก S1 & S4 switch on เป็นระยะเวลา T1 จากนั้น S2 & S4 switch on เป็นระยะเวลา T2 จากนั้น S2 & S3 switch on เป็นระยะเวลา T3 และจากนั้น S2 & S4 switch on เป็นระยะเวลา T4 และเริ่มต้น T1 ใหม่ โดยที่ขณะทำงานจะต้องมีแรงดัน V_{dc1} และ V_{dc2} เท่ากัน และจำนวนพัลส์ต่อขั้วก็ต้องเท่ากันด้วย ดังนั้นจะทำให้ได้รูปคลื่นดีซีพัลส์ดังนี้



รูปที่ 4.5 แรงดันขาออกในโหมด Symmetric Bipolar

4.1.6 แรงดันขาออกในโหมด Asymmetric Bipolar

โหมด Aymmetric Bipolar นั้น จะเกิดจากการทำงานต่อเนื่องกันระหว่างชุดขับสวิตช์แต่ละชุด ซึ่งจะเรียงลำดับเริ่มแรกจาก S1 & S4 switch on เป็นระยะเวลา T1 จากนั้น S2 & S4 switch on เป็นระยะเวลา T2 จากนั้น S2 & S3 switch on เป็นระยะเวลา T3 และจากนั้น S2 & S4 switch on เป็นระยะเวลา T4 และเริ่มต้น T1 ใหม่ โดยที่ขณะทำงานจะต้องมีแรงดัน V_{dc1} และ V_{dc2} ไม่เท่ากัน และจำนวนพัลส์ต่อขั้วก็ต้องไม่เท่ากันด้วย ดังนั้นจะทำให้ได้รูปคลื่นดีซีพัลส์ดังนี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ทำการแก้ไขเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.6 แรงดันขาออกในโหมด Asymmetric Bipolar

4.2 ผลการทดสอบแหล่งจ่ายไฟฟ้าดีซีพัลส์เมื่อทดลองเคลือบฟิล์มบาง

การทดสอบแหล่งจ่ายไฟฟ้าดีซีพัลส์ด้วยการเคลือบฟิล์มบางอะลูมินัมจะทำการทดสอบโดยการนำชิ้นงานซึ่งเป็นกระจกใสซึ่งเป็นชิ้นงานมาวางบนแท่นในห้องสุญญากาศ (Vacuum Chamber) และทำการเคลือบโดยใช้อะลูมินัมเป็นสารเคลือบ แล้วนำแหล่งจ่ายไฟฟ้าดีซีพัลส์มาต่อเข้ากับเครื่องแมกนีตรอนสปัตเตอริ่ง และด้านขาเข้าของแหล่งจ่ายไฟฟ้าดีซีพัลส์ต่อด้วยแหล่งจ่ายไฟฟ้า Pinnacle 2/2 kW จากนั้นควบคุมรูปคลื่นของแหล่งจ่ายไฟฟ้าดีซีพัลส์ให้เป็นดังรูปที่ 4.5 จากนั้นตั้งค่าความดันของก๊าซเฉื่อยและเปิดวาล์วสุญญากาศทั้งหมดเพื่อเตรียมพร้อมสำหรับการเคลือบฟิล์มบาง เปิดสวิตช์จ่ายไฟฟ้าจาก Pinnacle 2/2 kW เข้าสู่แหล่งจ่ายไฟฟ้าดีซีพัลส์ ดีซีพัลส์จะทำหน้าที่แปลงแรงดันกระแสตรงจาก Pinnacle 2/2 kW ไปเป็นแรงดันตามรูปที่ 4.10 ถ้าหากแรงดันด้านพัลส์ลบมีค่ามากพอ ภายในห้องสุญญากาศจะมีแสงไฟสีม่วงปรากฏบนแท่นที่วางชิ้นงาน ซึ่งแสงไฟสีม่วงจะแสดงถึงปฏิกิริยาพลาสม่าทำให้อะตอมแตกตัวไปชนอะลูมินัมจนอะตอมบนผิวของอะลูมินัมแตกตัวออกไปเคลือบชิ้นงาน ซึ่งชิ้นงานที่ออกมาได้จะเป็นแผ่นกระจกเงาเคลือบอะลูมินัมนั่นเอง

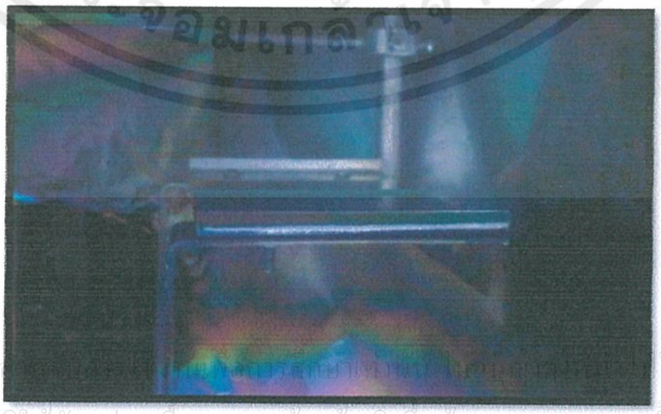
4.2.1 ผลการทดสอบเคลือบฟิล์มบางอะลูมินัม

การทดสอบเคลือบฟิล์มบางอะลูมินัมใช้รูปคลื่นพัลส์ตามรูปที่ 4.10 พัลส์ด้านบวกจะใช้แรงดัน 150 โวลต์ ส่วนพัลส์ด้านลบจะใช้แรงดัน 400 โวลต์ ใช้ความถี่ 50 kHz ในการเคลือบฟิล์มบาง คาบ T1 เท่ากับ 6.25 μs T2 เท่ากับ 1 μs T3 เท่ากับ 18.75 μs และ T4 เท่ากับ 1 μs ก๊าซเร่งปฏิกิริยาใช้ก๊าซอาร์กอน ทดสอบเคลือบชิ้นงานกระจกใสใช้เวลาทำปฏิกิริยาประมาณ 5 นาที จะได้ผลการทดสอบดังนี้

4.2.1.1 ขั้นตอนการเคลือบฟิล์มบาง

ขั้นตอนการเตรียมการเคลือบฟิล์มบางด้วยแหล่งจ่ายไฟฟ้าดีซีพัลส์สามารถทำได้ดังนี้

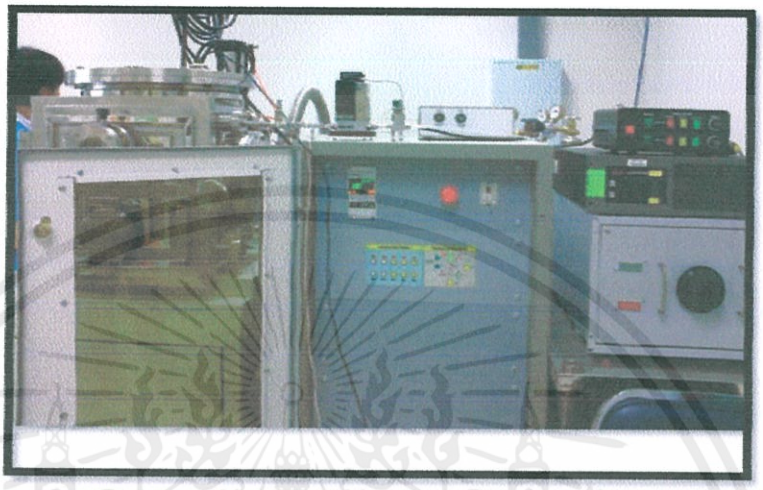
1) นำชิ้นงานกระจกใสเข้ามาวางที่ขั้วอาโนดเพื่อเตรียมการเคลือบฟิล์มบางตามรูปที่ 4.7



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้... ใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

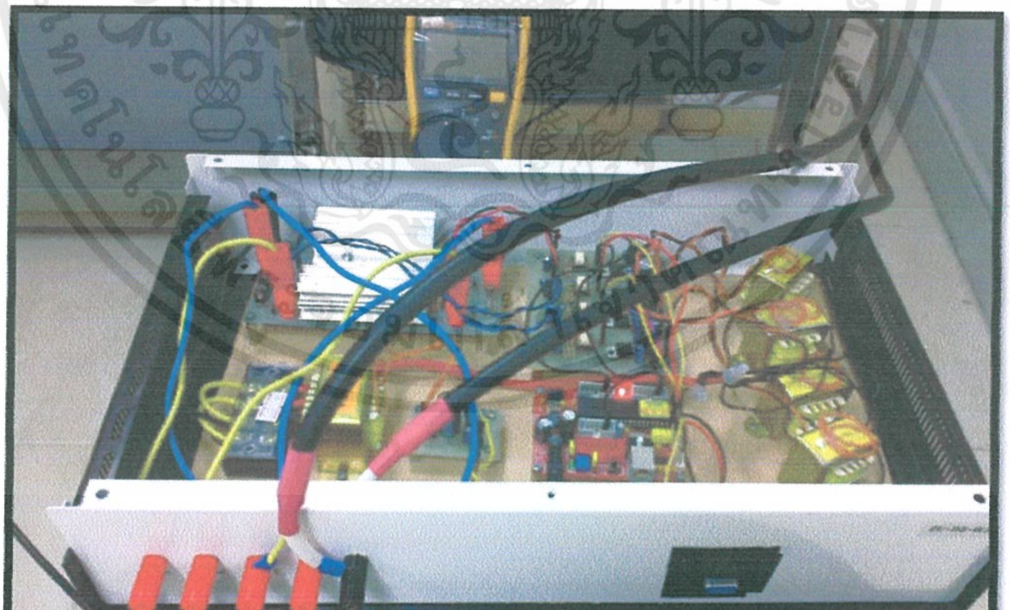
รูปที่ 4.7 ชิ้นงานที่ต้องการจะเคลือบภายในห้องสุญญากาศก่อนทำการเคลือบ

2) ตั้งค่าความดันอากาศและความดันก๊าซเฉื่อยให้เหมาะสมกับการเคลือบฟิล์มบางผ่านตู้ควบคุมห้องสุญญากาศ



รูปที่ 4.8 ตู้ควบคุมห้องสุญญากาศ

3) ต่อแหล่งจ่ายไฟฟ้า Pinnacle 2/2 kW เข้ากับแหล่งจ่ายไฟฟ้าดีซีพัลส์เพื่อเตรียมการเคลือบฟิล์มบาง



เอกสารนี้เป็นเอกสาร ... การค้า

รูปที่ 4.9 ต่อแหล่งจ่าย Pinnacle 2/2 kW เข้ากับแหล่งจ่ายไฟฟ้าดีซีพัลส์

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้ง ... การนำไปใช้

4) ตั้งค่าการทำงานของแหล่งจ่ายไฟฟ้าดีซีพัลส์ให้เป็นโหมดอะซิมเมตริกไบโพล่าโดยที่ P = N = 1 ลูกคลื่น จะได้รูปคลื่นการเคลือบดังรูปที่ 4.10

รูปที่ 4.10 รูปคลื่นอะซิมเมตริกไบโพล่าที่ใช้ในการเคลือบฟิล์มบาง

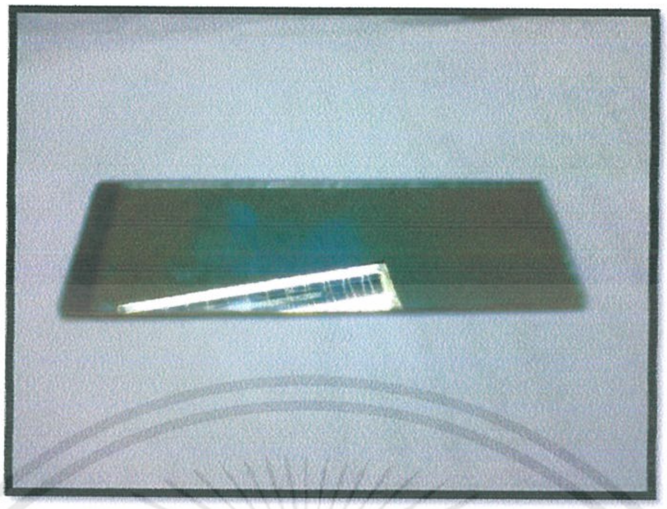
5) ที่แหล่งจ่าย Pinnacle 2/2 kW ตั้งค่าแรงดัน Output A เป็น 400 โวลต์ และตั้งค่าแรงดัน Output B เป็น 150 โวลต์

6) เมื่อเปิดแหล่งจ่าย Pinnacle 2/2 kW ภายในห้องสุญญากาศจะเกิดปฏิกิริยาสปัตเตอริ่งและเริ่มทำการเคลือบฟิล์มบางดังรูปที่ 4.11 ปฏิกิริยาสปัตเตอริ่งจะใช้เวลาในการเคลือบฟิล์มบางประมาณ 5 นาที ห้องสุญญากาศจะกินกระแสประมาณ 0.63 แอมป์

รูปที่ 4.11 ภายในห้องสุญญากาศขณะเกิดปฏิกิริยาสปัตเตอริ่ง

4.2.2 ผลการเคลือบฟิล์มบางอะลูมินัม

เมื่อเคลือบชิ้นงานกระจกใสด้วยอะลูมินัมแล้ว รอจนกระทั่งอุณหภูมิห้องสุญญากาศกลับมาสู่สภาวะปกติ แล้วจึงนำชิ้นงานที่ถูกเคลือบออกมา จะพบว่ากระจกใสที่ใส่เข้าไปในตอนต้นนั้นมีสารเคลือบเกาะอยู่ที่ผิวชิ้นงานกลายเป็นกระจกเงาดังรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.12 ชิ้นงานที่ถูกเคลือบฟิล์มอะลูมินัมเรียบร้อยแล้ว

4.3 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองรูปคลื่นแรงดันขาออกทั้ง 6 แบบ และการทดลองเคลือบฟิล์มบางอะลูมินัมบนชิ้นงาน พบว่า รูปแบบรูปคลื่นแรงดันขาออกของแหล่งจ่ายไฟฟ้าดีซีพัลส์สามารถแสดงผลออกมาได้ทั้ง 6 แบบ และผลการทดลองเคลือบฟิล์มบางปรากฏว่าฟิล์มบางถูกเคลือบลงบนผิวชิ้นงานอย่างเรียบร้อยดี

แต่ในการทดลองเคลือบฟิล์มบางนั้นพบว่ามีบางจนบนชิ้นงานนั้นมีบริเวณที่มีสีขุ่นไม่ใส เนื่องจากเงื่อนไขด้านความดันก๊าซนั้นไม่ดี มีการปรับความดันขณะเกิดการสปัตเตอริ่ง ทำให้ชิ้นงานถูกเคลือบอย่างมีตำหนิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
บทสรุปผลการทดลอง ข้อเสนอแนะ และแนวทางการพัฒนา

5.1 บทสรุป

วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าดีซีพัลส์ต้นแบบที่ได้ออกแบบและสร้างมาเพื่อการควบคุมการเคลือบฟิล์มบางด้วยเทคนิคพัลส์ดีซีแมกนีตรอนสปัตเตอริ่งได้ถูกทดสอบในห้องทดลอง ฟังก์ชันการทำงานในโหมดต่างๆของวงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าดีซีพัลส์นั้นได้ครอบคลุมความต้องการในการทำปฏิกิริยาแบบต่างๆในกระบวนการเคลือบฟิล์มบางได้ทั้งหมด ในการเคลือบที่ต้องการให้ชิ้นงานถูกเคลือบด้วยวิธีที่ต่างๆกันในแต่ละระดับชั้นการเคลือบ (layers) แหล่งจ่ายไฟฟ้าดีซีพัลส์สามารถปรับโหมดการเคลือบได้อย่างสะดวกด้วยการปรับค่าผ่านพอร์ตอนุกรม เมื่อต้องการให้เกิดปฏิกิริยาด้วยกระบวนการที่เฉพาะ รูปขบวนคลื่นที่เฉพาะสำหรับปฏิกิริยานั้นก็จะถูกขับออกมา และรูปขบวนคลื่นก็จะไปขับให้เกิดปฏิกิริยาการเคลือบฟิล์มในห้องสุญญากาศ (Vacuum chamber) วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าดีซีพัลส์ที่สร้างขึ้นมานั้นสามารถกำเนิดรูปขบวนคลื่นพัลส์ได้ทั้ง 6 โหมดการทำงาน คือ Positive DC , Negative DC , Positive Unipolar , Negative Unipolar , Symmetric Bipolar และ Asymmetric Bipolar นอกจากนี้ วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าดีซีพัลส์ยังสามรถควบคุมการกำเนิดรูปขบวนคลื่นพัลส์ในรูปแบบต่างๆได้อย่างง่ายและเข้าใจง่ายสำหรับผู้ใช้

5.2 ข้อเสนอแนะและข้อควรระวัง

จากการดำเนินการทดลองตลอดการทดลองนี้พบว่ามีข้อควรระวังและข้อเสนอแนะดังนี้

1. ไม่ควรเก็บวงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าดีซีพัลส์ไว้ในที่ที่มีอุณหภูมิสูง เนื่องจากจะทำให้หน่วยความจำไมโครคอนโทรลเลอร์นั้นได้รับความเสียหาย ทำให้ต้องโปรแกรมหน่วยความจำใหม่

2. ในการใช้งานควรระวังอย่าให้ขั้วของแหล่งจ่ายทั้งสองขั้วสัมผัสกัน เพราะจะทำให้เกิดการลัดวงจรและจะทำให้วงจรได้รับความเสียหายได้

3. เนื่องจากภายในแหล่งจ่ายไฟฟ้าดีซีพัลส์เป็นวงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลังซึ่งใช้แรงดันสูง อาจก่อให้เกิดอันตรายต่อตัวบุคคลได้ ดังนั้นผู้ใช้งานจึงควรมีความรู้ ความเข้าใจในการใช้งานเป็นอย่างดีเพื่อความปลอดภัยของตัวบุคคลและอุปกรณ์

4. ในการใช้งานไม่ควรจ่ายไฟฟ้าและแรงดันสูงเกินกว่าที่กำหนด เพราะจะทำให้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลังภายในวงจรเกิดความเสียหายได้

5.3 ปัญหาที่พบในการทำโครงงาน

1. เมื่อนำวงจรแหล่งจ่ายดีซีพัลส์ไปทดลองกับเครื่องแมกนีตรอนสปัตเตอริ่ง พบว่าการปรับแรงดันไฟฟ้าพัลส์บวกและพัลส์ลบไม่สามารถปรับแยกกันได้ตามต้องการ เนื่องจากเครื่องจ่ายไฟของเครื่องแมกนีตรอนสปัตเตอริ่งมีการต่อคอมมอนด้านแรงดันไฟฟ้าที่สูง (ด้านบวก) แต่วงจรดีซีพัลส์ของเราต่อคอมมอนที่แรงดันไฟฟ้าต่ำ (ด้านลบ) ส่งผลให้การปรับแรงดันไฟฟ้าด้านบวกและด้านลบไม่สามารถปรับแยกกันได้ตามต้องการ

2. ผลกระทบของการต่อคอมมอนในเครื่องจ่ายไฟฟ้าไม่ตรงจุดกันส่งผลให้มอสเฟตเกิดความเสียหายทำให้ต้องเปลี่ยนมอสเฟตใหม่ทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. หลังจากเปลี่ยนมอสเฟตแล้ว ผลจากสัญญาณรบกวนของวงจรส่งผลให้ไมสามารถปรับพัลส์ด้านบวกได้ เนื่องจากเครื่องจ่ายไฟฟ้าเกิดการอาร์คภายใน แต่สามารถเคลือบฟิล์มได้เพราะการเคลือบใช้พัลส์ด้านลบ

4. การเคลือบฟิล์มสามารถทำได้แต่ไม่สมบูรณ์ เนื่องจากไม่สามารถใช้พัลส์ด้านบวกเพื่อให้มีการคายประจุที่สะสมในการเคลือบได้ ส่งผลให้ชิ้นงานออกมาไม่สมบูรณ์

5.4 แนวทางการพัฒนาโครงงาน

1. พัฒนาวงจรแหล่งจ่ายดีซีพัลส์ โดยสามารถจ่ายแรงดันได้ตั้งแต่ 1,000 โวลต์ขึ้นไป และมีการควบคุมค่าพารามิเตอร์ต่างๆได้มากขึ้นจากหน้าจอคอมพิวเตอร์

2. พัฒนาให้สามารถใช้งานกับเครื่องแมกนีตรอนสปัตเตอร์ริ่งในสภาวะที่มีเงื่อนไขพารามิเตอร์ต่างๆเพิ่มขึ้นได้ เช่น การใช้ก๊าซเฉื่อยมากกว่าหนึ่งชนิดในการทดสอบการเคลือบฟิล์มบางเป็นต้น

3. ทำการพัฒนาวงจรแหล่งจ่ายดีซีพัลส์ให้มีการสวิตช์ชิ่งในวงจรกำลังดีขึ้น เพื่อลดสัญญาณรบกวนในวงจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] Tolga Tavsanoglu , "Deposition And Characterization of Single And Multilater Boron Carbide And Boron Cabonitride Thin Film by Different Sputtering Configurations" , **Doctral Degree of Material Sciences** , Istanbul Technique University , 2009

[2] A. Belkind and Fellowships , **Pulsed-DC Reactive Sputtering of Dielectrics : Pulsing Parameter Effects** , Stevens Institute of Technology , Hoboken , NJ and Advanced Energy Industries, Inc. , Fort Collins , CO

[3] Weerasak Somkhunthot and Fellowships , **Design and Construction of Bipolar Pulsed-DC Power Supply for Magnetron Sputtering System** , 2006

[4] Yueh-Ru Yang and Fellowships , **A DC-Pulse Power Supply Designed for Plasma Applications** , Ming Chi University of Technology , Taishan Township , Taipei Country , 24301 , Taiwan , 2009

[5] กมล เอี่ยมพนากิจ และคณะ , **ผลกระทบของ ดีซี พัลส์ แมกนีตรอน สปัตเตอริ่ง ต่อสมบัติของฟิล์มบางอินเดียมทินออกไซด์สำหรับการเตรียมฟิล์มบนวัสดุรองรับที่อุณหภูมิต่ำ** , ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ปทุมธานี 12121 และ สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ปทุมธานี 12110

[6] Narong Aphiratsakun and Fellowships , **Implementation of a Single Phase Unipolar Inverter Using DSP TMS320F241** , Faculty of Engineering , Assumption University , Bangkok , Thailand

[7] Microship Technoology Inc. , **dsPIC30F4011/4012 Datasheet High Performance Digital Signal Controllers** , 2009

[8] Microship Technology Inc. , **dsPIC30F Family Reference Manual** , High Performance Digital Signal Controllers , 2004

[9] Microship Technology Inc. , **dsPIC30F Programmer's Reference Manual** , High Performance Digital Signal Controllers , 2003

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[10] A. Subrahmanyam and Fellowships , **Patent on "A Design for an efficient cylindrical Magnetron Cathode with Rotating Magnets and Optical Emission incorporated"** , Indian Institute of Technology Madras and National Advanced Research Centre

[11] Dr. Kevin Cooke , **"PVD High Performance Coating for Aerospace Applications"** , IMFair 2011 , Teer Coating Limited , Miba Coating Group , 2011

[12] Jung Won Cho , **"Pulsed DC Reactive Magnetron Sputtering of Aluminum Nitride Thin Film"** , Degree of Doctor of Philosophy , Department of Material Science and Engineering , North Carolina State University , 2002

[13] S. Calatroni and W. Vollenberg , **"High Power Pulsed Magnetron Sputtering (HPPMS)"** , SRF-TF Workshop , CERN

[14] Microship Technology Inc. , "**AN937 : Implementing PID Controller Using PIC18 MCU**" , 2004

[15] รชต เตชะเวชเจริญ และคณะ , "เตาอบควบคุมอุณหภูมิ" , **ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต** , สาขาอิเล็กทรอนิกส์ , คณะวิศวกรรมศาสตร์ , สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง , 2553

[16] อธิปต์ จันทร์ดี และคณะ , "การพัฒนาตัวควบคุมแบบป้อนกลับในวงจรอินเวอร์เตอร์พีดับเบิ้ลยูเอ็มสำหรับแหล่งจ่ายไฟฟ้าแบบต่อเนื่องเฟสเดียว" , **ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต** , ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า , คณะวิศวกรรมศาสตร์ , สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง , 2553

[17] A. Zeng and Felloships , "**Impedance Study on Electromagnetics of Sputtered DLC Films**" , A School of Mechanical and Production Engineering , Nanyang Technological University , 50 Nanyang Avenue , Singapore 639798 , Singapore , 2002

[18] C. P. Castillo Morquecho and Fellowships , "**Electrochemical Impedance Spectroscopy Behavior of Nanometric Al-Cr and Cr-Al Coatings by Magnetron Sputtering**" , CIMAV-Chihuahua. Miguel de Cervantes 120 , Complejo Industrial Chihuahua. C.P. 31109 , 2012

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[19] David TURCIO-ORTEGA and Fellowships , “**Electrochemical Behavior of Titanium Thin Films Obtained by Magnetron Sputtering**” , Instituto de Investigaciones en Materiales , Universidad Nacional Autónoma de México , Ciudad Universitaria , 04510 México D. F. , México , 2008

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

ข้อมูลอุปกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2SK1317

Silicon N-Channel MOS FET

HITACHI

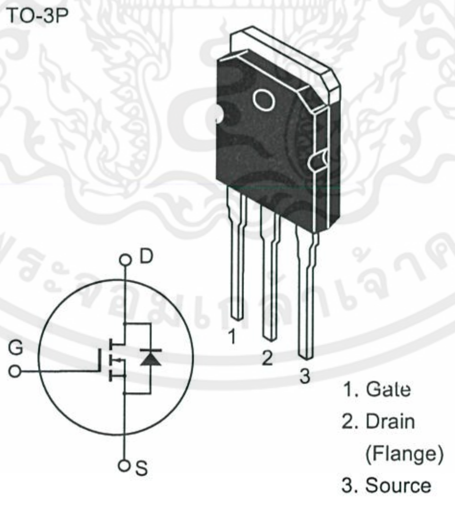
Application

High speed power switching

Features

- High breakdown voltage V_{DSS} = 1500 V
- High speed switching
- Low drive current
- No secondary breakdown
- Suitable for switching regulator, DC-DC converter and motor driver

Outline



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Hitachi semiconductor

Absolute Maximum Ratings (Ta = 25°C)

Item	Symbol	Ratings	Unit
Drain to source voltage	V_{DSS}	1500	V
Gate to source voltage	V_{GSS}	±20	V
Drain current	I_D	2.5	A
Drain peak current	$I_{D(pulse)}$*1	7	A
Body to drain diode reverse drain current	I_{DR}	2.5	A
Channel dissipation	Pch*2	100	W
Channel temperature	Tch	150	°C
Storage temperature	Tstg	–55 to +150	°C

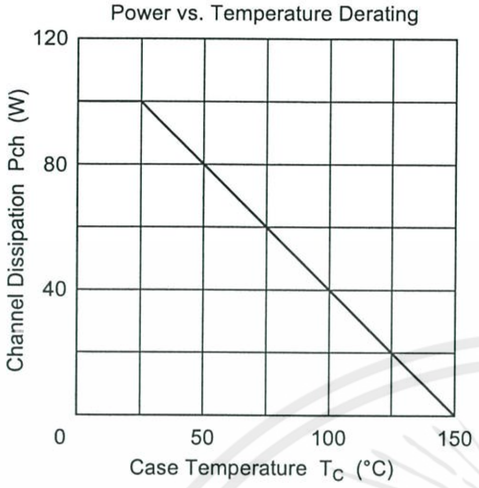
Notes: 1. PW ≤ 10 µs, duty cycle ≤ 1%
2. Value at T_C = 25°C

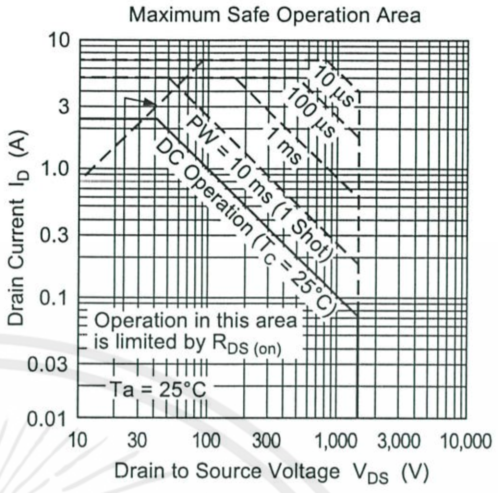
Electrical Characteristics (Ta = 25°C)

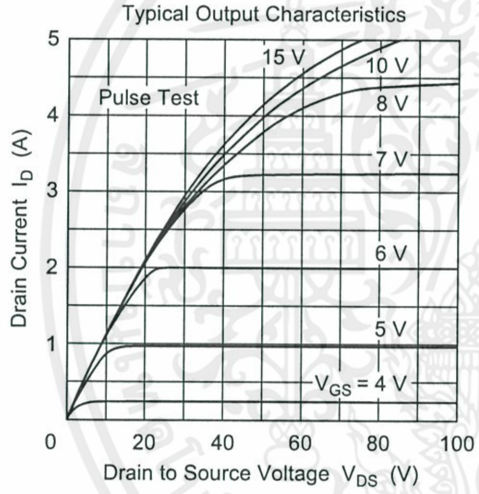
Item	Symbol	Min	Typ	Max	Unit	Test conditions
Drain to source breakdown voltage	$V_{(BR)DSS}$	1500	—	—	V	I_D = 10 mA, V_{GS} = 0
Gate to source leak current	I_{GSS}	—	—	±1	µA	V_{GS} = ±20 V, V_{DS} = 0
Zero gate voltage drain current	I_{DSS}	—	—	500	µA	V_{DS} = 1200 V, V_{GS} = 0
Gate to source cutoff voltage	$V_{GS(off)}$	2.0	—	4.0	V	I_D = 1 mA, V_{DS} = 10 V
Static drain to source on state resistance	$R_{DS(on)}$	—	9	12	Ω	I_D = 2 A, V_{GS} = 15 V *1
Forward transfer admittance	|yfs|	0.45	0.75	—	S	I_D = 1 A, V_{DS} = 20 V *1
Input capacitance	Ciss	—	990	—	pF	V_{DS} = 10 V, V_{GS} = 0, f = 1 MHz
Output capacitance	Coss	—	125	—	pF	
Reverse transfer capacitance	Crss	—	60	—	pF	
Turn-on delay time	$t_{d(on)}$	—	17	—	ns	I_D = 2 A, V_{GS} = 10 V, R_L = 15 Ω
Rise time	t_r	—	70	—	ns	
Turn-off delay time	$t_{d(off)}$	—	110	—	ns	
Fall time	t_f	—	60	—	ns	
Body to drain diode forward voltage	V_{DF}	—	0.9	—	V	I_F = 2 A, V_{GS} = 0
Body to drain diode reverse recovery time	t_{rr}	—	1750	—	ns	I_F = 2 A, V_{GS} = 0, di_F/dt = 100 A/µs

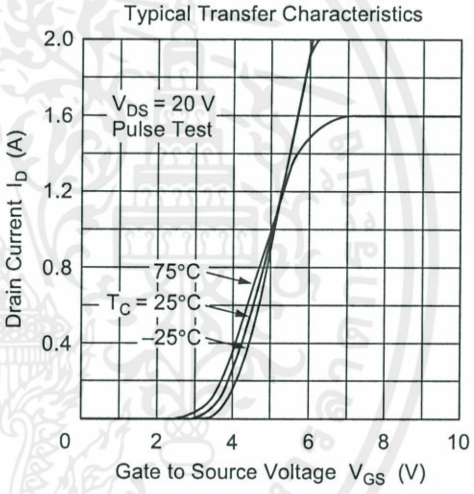
Note: 1. Pulse test

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

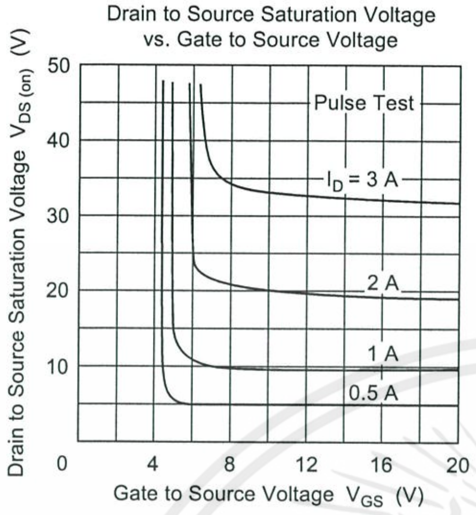


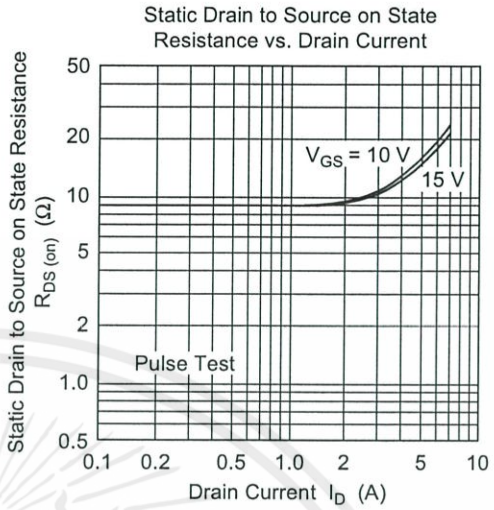


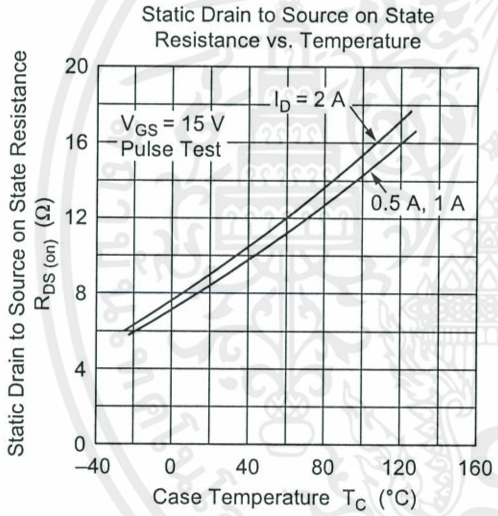


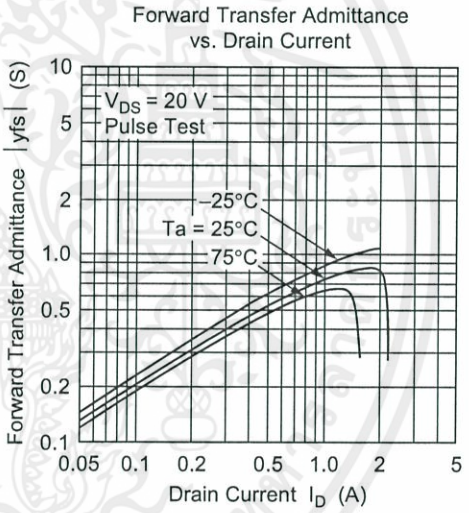


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

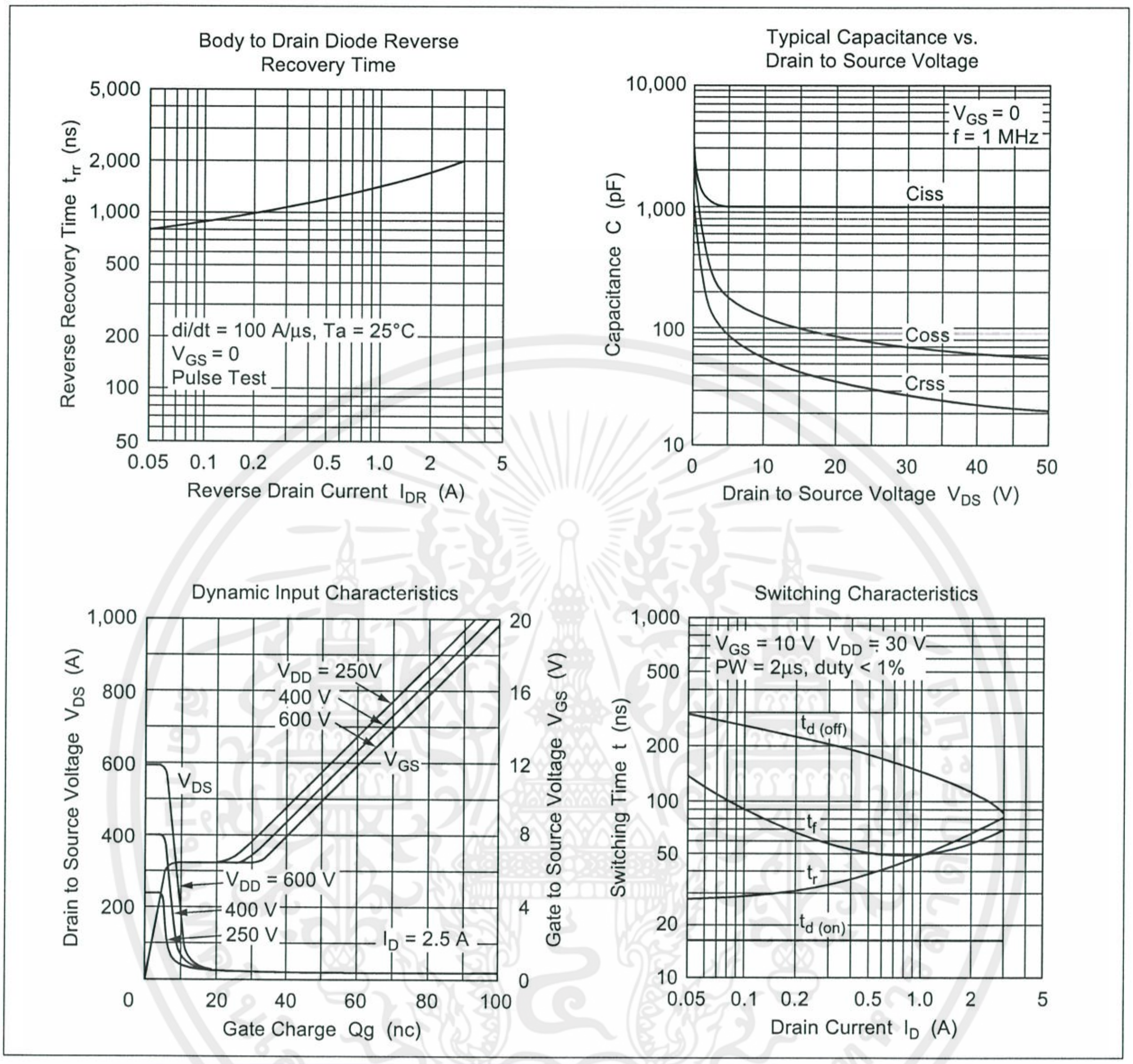






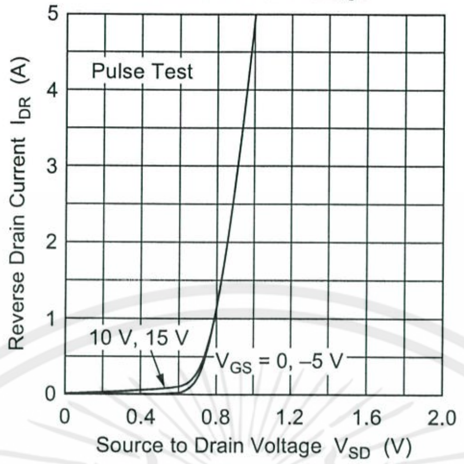


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

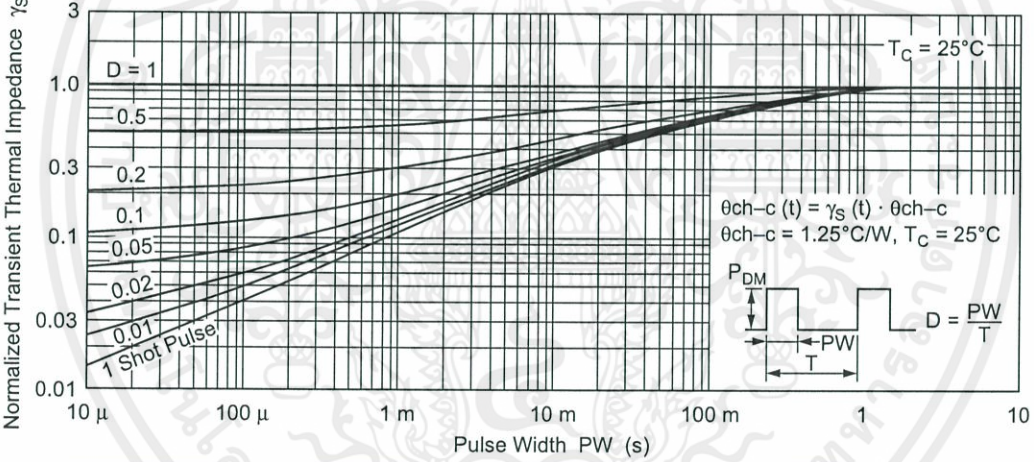


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

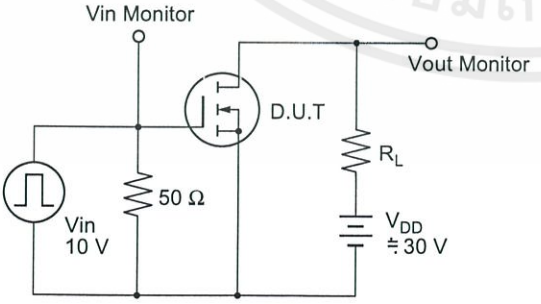
Reverse Drain Current vs. Source to Drain Voltage



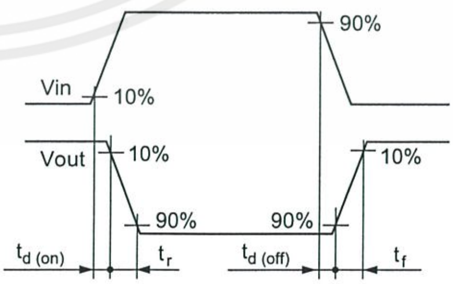
Normalized Transient Thermal Impedance vs. Pulse Width



Switching Time Test Circuit

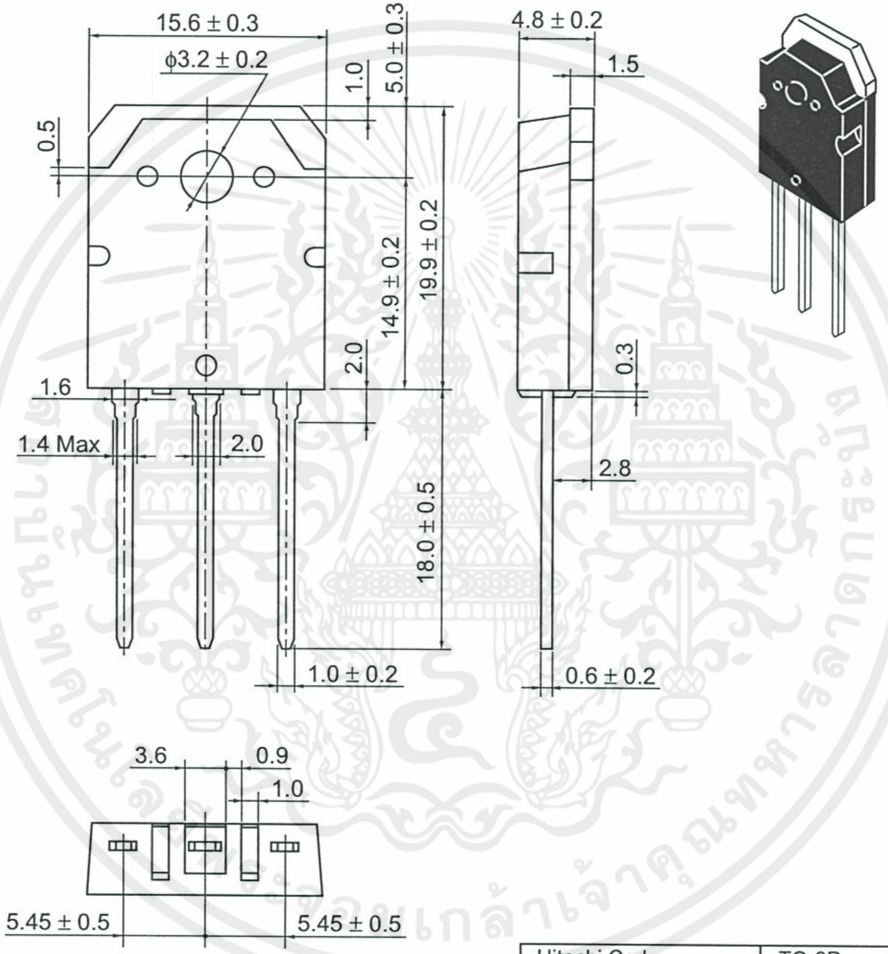


Waveforms



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Unit: mm



Hitachi Code	TO-3P
JEDEC	—
EIAJ	Conforms
Weight (reference value)	5.0 g

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

Cautions

1. Hitachi neither warrants nor grants licenses of any rights of Hitachi's or any third party's patent, copyright, trademark, or other intellectual property rights for information contained in this document. Hitachi bears no responsibility for problems that may arise with third party's rights, including intellectual property rights, in connection with use of the information contained in this document.
2. Products and product specifications may be subject to change without notice. Confirm that you have received the latest product standards or specifications before final design, purchase or use.
3. Hitachi makes every attempt to ensure that its products are of high quality and reliability. However, contact Hitachi's sales office before using the product in an application that demands especially high quality and reliability or where its failure or malfunction may directly threaten human life or cause risk of bodily injury, such as aerospace, aeronautics, nuclear power, combustion control, transportation, traffic, safety equipment or medical equipment for life support.
4. Design your application so that the product is used within the ranges guaranteed by Hitachi particularly for maximum rating, operating supply voltage range, heat radiation characteristics, installation conditions and other characteristics. Hitachi bears no responsibility for failure or damage when used beyond the guaranteed ranges. Even within the guaranteed ranges, consider normally foreseeable failure rates or failure modes in semiconductor devices and employ systemic measures such as fail-safes, so that the equipment incorporating Hitachi product does not cause bodily injury, fire or other consequential damage due to operation of the Hitachi product.
5. This product is not designed to be radiation resistant.
6. No one is permitted to reproduce or duplicate, in any form, the whole or part of this document without written approval from Hitachi.
7. Contact Hitachi's sales office for any questions regarding this document or Hitachi semiconductor products.

HITACHI

Hitachi, Ltd.
Semiconductor & Integrated Circuits.
Nippon Bldg., 2-6-2, Ohte-machi, Chiyoda-ku, Tokyo 100-0004, Japan
Tel: Tokyo (03) 3270-2111 Fax: (03) 3270-5109

URL		
NorthAmerica	:	http:semiconductor.hitachi.com/
Europe	:	http://www.hitachi-eu.com/hel/ecg
Asia (Singapore)	:	http://www.has.hitachi.com.sg/grp3/sicd/index.htm
Asia (Taiwan)	:	http://www.hitachi.com.tw/E/Product/SICD_Frame.htm
Asia (HongKong)	:	http://www.hitachi.com.hk/eng/bo/grp3/index.htm
Japan	:	http://www.hitachi.co.jp/Sicd/indx.htm

For further information write to:

Hitachi Semiconductor
(America) Inc.
179 East Tasman Drive,
San Jose,CA 95134
Tel: <1> (408) 433-1990
Fax: <1>(408) 433-0223

Hitachi Europe GmbH
Electronic components Group
Dornacher Stra§e 3
D-85622 Feldkirchen, Munich
Germany
Tel: <49> (89) 9 9180-0
Fax: <49> (89) 9 29 30 00

Hitachi Europe Ltd.
Electronic Components Group.
Whitebrook Park
Lower Cookham Road
Maidenhead
Berkshire SL6 8YA, United Kingdom
Tel: <44> (1628) 585000
Fax: <44> (1628) 778322

Hitachi Asia Pte. Ltd.
16 Collyer Quay #20-00
Hitachi Tower
Singapore 049318
Tel: 535-2100
Fax: 535-1533

Hitachi Asia Ltd.
Taipei Branch Office
3F, Hung Kuo Building. No.167,
Tun-Hwa North Road, Taipei (105)
Tel: <886> (2) 2718-3666
Fax: <886> (2) 2718-8180

Hitachi Asia (Hong Kong) Ltd.
Group III (Electronic Components)
7/F., North Tower, World Finance Centre,
Harbour City, Canton Road, Tsim Sha Tsui,
Kowloon, Hong Kong
Tel: <852> (2) 735 9218
Fax: <852> (2) 730 0281
Telex: 40815 HITEC HX

Copyright ' Hitachi, Ltd., 1999. All rights reserved. Printed in Japan.

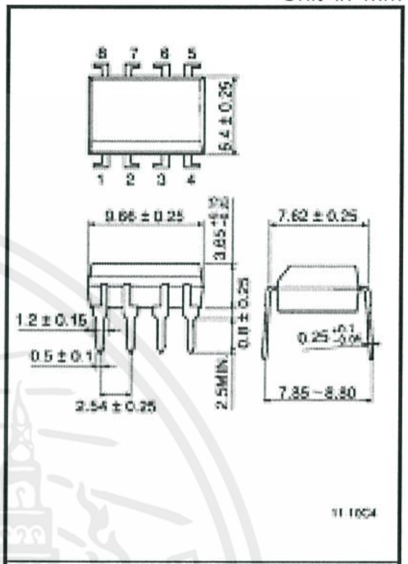
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TOSHIBA Photocoupler GaAlAs Ired & Photo−IC

TLP250

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

Unit in mm



TOSHIBA 11−10C4

Weight: 0.54 g

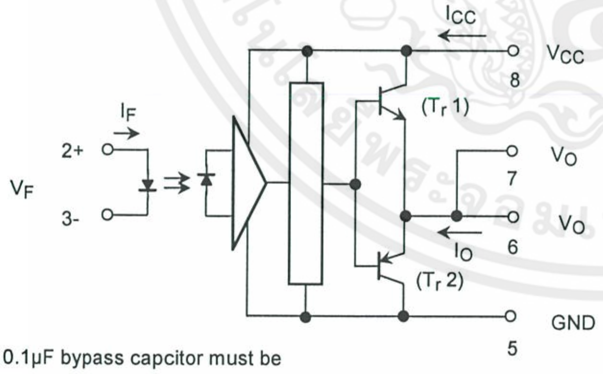
The TOSHIBA TLP250 consists of a GaAlAs light emitting diode and a integrated photodetector.
This unit is 8−lead DIP package.
TLP250 is suitable for gate driving circuit of IGBT or power MOS FET.

- Input threshold current: I_F=5mA(max.)
- Supply current (I_{CC}): 11mA(max.)
- Supply voltage (V_{CC}): 10−35V
- Output current (I_O): ±1.5A (max.)
- Switching time (t_{pLH}/t_{pHL}): 1.5μs(max.)
- Isolation voltage: 2500V_{rms}(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)"

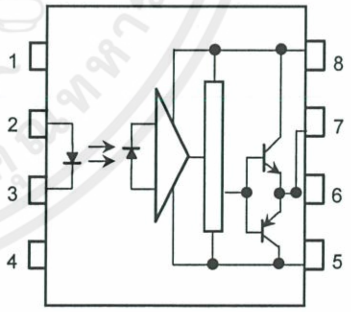
- Creepage distance: 6.4mm(min.)
  Clearance: 6.4mm(min.)

Schmatic



A 0.1μF bypass capcitor must be connected between pin 8 and 5 (See Note 5).

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}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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
LED	Forward current derating (Ta ≥ 70°C)		$\Delta I_F / \Delta Ta$	−0.36	mA / °C
LED	Peak transient forward curent (Note 1)		I_{FPT}	1	A
LED	Reverse voltage		V_R	5	V
LED	Junction temperature		Tj	125	°C
Detector	"H"peak output current (P_W ≤ 2.5μs,f ≤ 15kHz) (Note 2)		I_{OPH}	−1.5	A
Detector	"L"peak output current (P_W ≤ 2.5μs,f ≤ 15kHz) (Note 2)		I_{OPL}	+1.5	A
Detector	Output voltage	(Ta ≤ 70°C)	V_O	35	V
Detector		(Ta = 85°C)		24	
Detector	Supply voltage	(Ta ≤ 70°C)	V_{CC}	35	V
Detector		(Ta = 85°C)		24	
Detector	Output voltage derating (Ta ≥ 70°C)		$\Delta V_O / \Delta Ta$	−0.73	V / °C
Detector	Supply voltage derating (Ta ≥ 70°C)		$\Delta V_{CC} / \Delta Ta$	−0.73	V / °C
Detector	Junction temperature		Tj	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) (Note 4)			T_{sol}	260	°C
Isolation voltage (AC, 1 min., R.H.≤ 60%) (Note 5)			BV_S	2500	Vrms

Note 1: Pulse width P_W ≤ 1μs, 300pps

Note 2: Exporenential wavefom

Note 3: Exporenential wavefom, $I_{OPH} \le -1.0A(\le 2.5μs)$, $I_{OPL} \le +1.0A(\le 2.5μs)$

Note 4: It is 2 mm or more from a lead root.

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

Note 6: 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 proparty. The total lead length between capacitor and coupler should not exceed 1cm.

Recommended Operating Conditions

Characteristic	Symbol	Min.	Typ.	Max.		Unit
Input current, on (Note 7)	$I_{F(ON)}$	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

Note 7: Input signal rise time (fall time) < 0.5 μs.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
[illegible] เนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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		$\Delta V_F / \Delta Ta$	—	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}	3	V_{CC} = 30V (*1); I_F = 10 mA, V_{8-6} = 4V	–0.5	–1.5	—	A
	"L" level	I_{OPL}	2	V_{CC} = 30V (*1); I_F = 0, V_{6-5} = 2.5V	0.5	2	—	A
Output voltage	"H" level	V_{OH}	4	V_{CC1} = +15V, V_{EE1} = –15V, R_L = 200Ω, I_F = 5mA	11	12.8	—	V
	"L" level	V_{OL}	5	V_{CC1} = +15V, V_{EE1} = –15V, R_L = 200Ω, V_F = 0.8V	—	–14.2	–12.5	V
Supply current	"H" level	I_{CCH}	—	V_{CC} = 30V, I_F = 10mA, Ta = 25°C	—	7	—	mA
				V_{CC} = 30V, I_F = 10mA	—	—	11	mA
	"L" level	I_{CCL}	—	V_{CC} = 30V, I_F = 0mA, Ta = 25°C	—	7.5	—	mA
				V_{CC} = 30V, I_F = 0mA	—	—	11	mA
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• •	—	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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

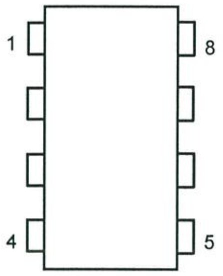
Characteristic		Symbol	Test Cir–cuit	Test Condition	Min.	Typ.*	Max.	Unit
Propagation delay time	L→H	t_{pLH}	6	I_F = 8mA (Note 7) V_{CC1} = +15V, V_{EE1} = –15V R_L = 200Ω	—	0.15	0.5	μs
	H→L	t_{pHL}			—	0.15	0.5	
Output rise time		t_r			—	—	—	
Output fall time		t_f			—	—	—	
Common mode transient immunity 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

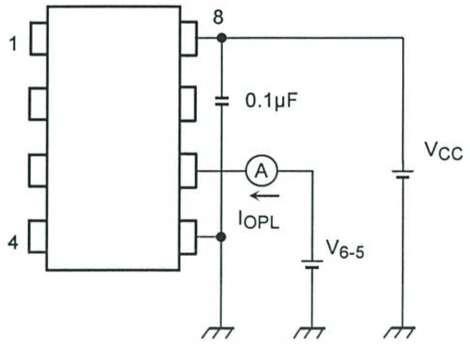
Note 7: Input signal rise time (fall time) < 0.5 μs.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

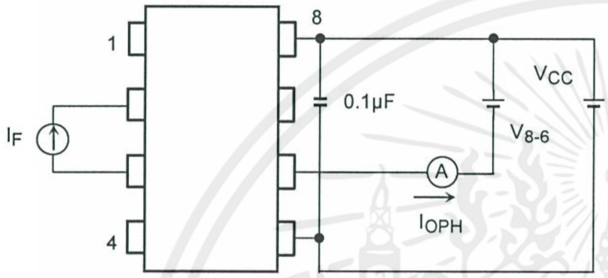
Test Circuit 1 :



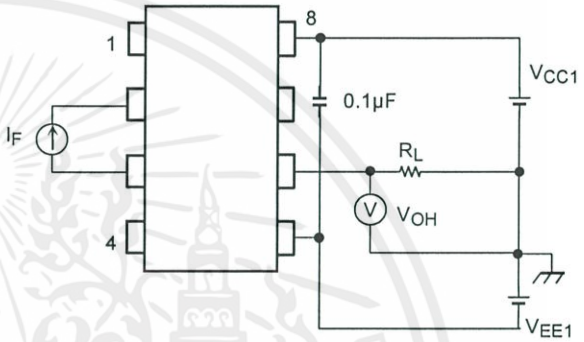
Test Circuit 2 : IOPL



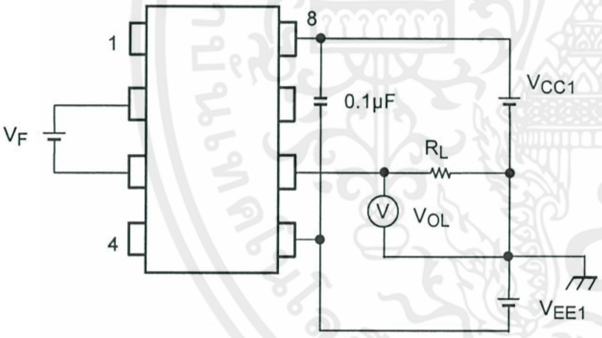
Test Circuit 3 : IOPH



Test Circuit 4 : VOH

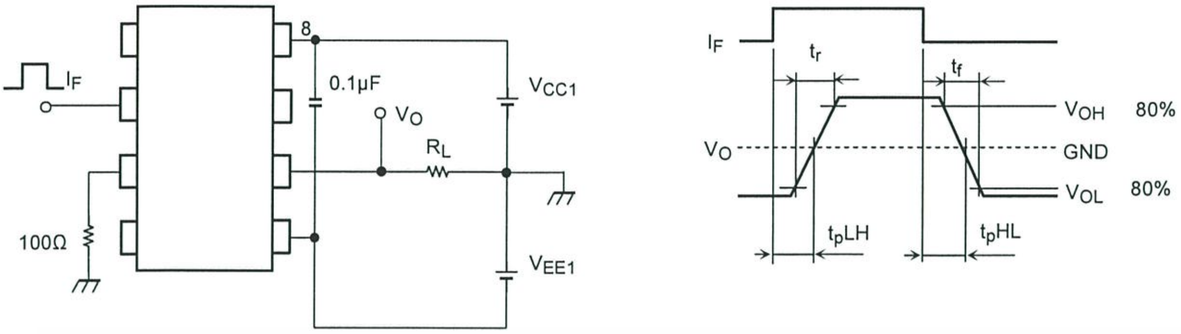


Test Circuit 5 : V_{OL}

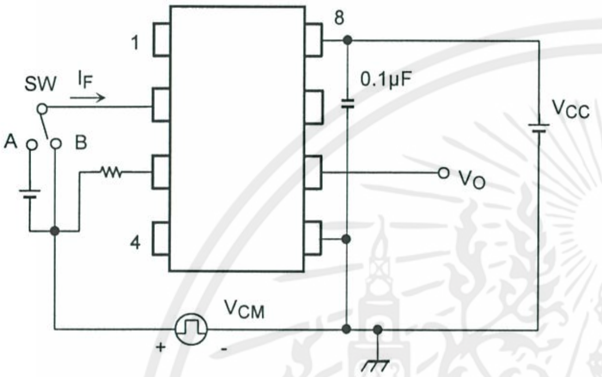


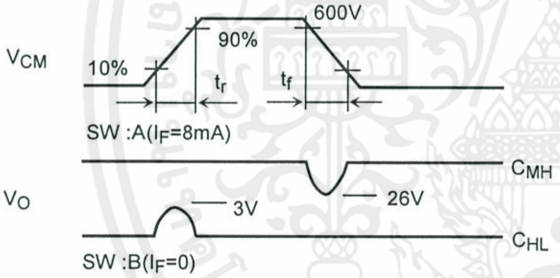
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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



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



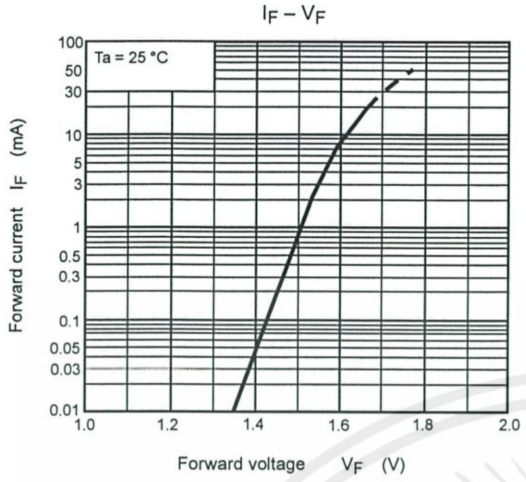


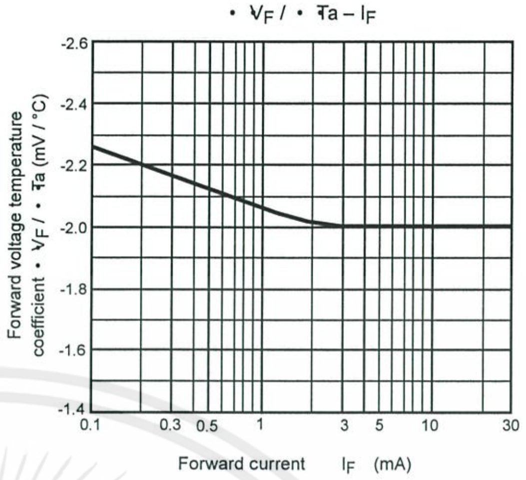
$$C_{ML} = \frac{480\ (V)}{t_{r\ (\mu s)}}$$

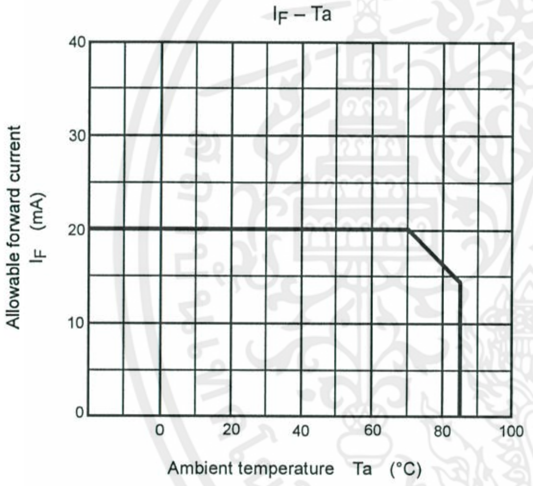
$$C_{MH} = \frac{480\ (V)}{t_{f\ (\mu s)}}$$

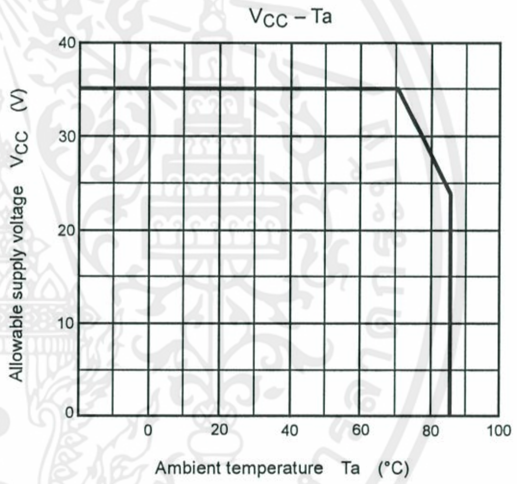
C_{ML}(C_{MH}) is the maximum rate of rise (fall) of the common mode voltage that can be sustained with the output voltage in the low (high) state.

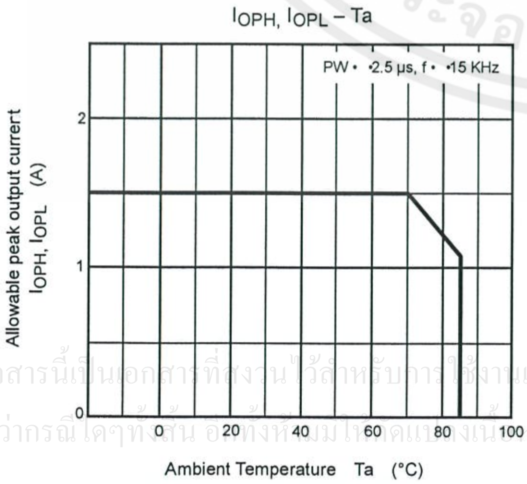
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้











เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

RESTRICTIONS ON PRODUCT USE

- The information contained herein is subject to change without notice.
- The information contained herein is presented only as a guide for the applications of our products. No responsibility is assumed by TOSHIBA for any infringements of patents or other rights of the third parties which may result from its use. No license is granted by implication or otherwise under any patent or patent rights of TOSHIBA or others.
- TOSHIBA is continually working to improve the quality and reliability of its products. Nevertheless, semiconductor devices in general can malfunction or fail due to their inherent electrical sensitivity and vulnerability to physical stress. It is the responsibility of the buyer, when utilizing TOSHIBA products, to comply with the standards of safety in making a safe design for the entire system, and to avoid situations in which a malfunction or failure of such TOSHIBA products could cause loss of human life, bodily injury or damage to property.
  In developing your designs, please ensure that TOSHIBA products are used within specified operating ranges as set forth in the most recent TOSHIBA products specifications. Also, please keep in mind the precautions and conditions set forth in the "Handling Guide for Semiconductor Devices," or "TOSHIBA Semiconductor Reliability Handbook" etc..
- The TOSHIBA products listed in this document are intended for usage in general electronics applications (computer, personal equipment, office equipment, measuring equipment, industrial robotics, domestic appliances, etc.). These TOSHIBA products are neither intended nor warranted for usage in equipment that requires extraordinarily high quality and/or reliability or a malfunction or failure of which may cause loss of human life or bodily injury ("Unintended Usage"). Unintended Usage include atomic energy control instruments, airplane or spaceship instruments, transportation instruments, traffic signal instruments, combustion control instruments, medical instruments, all types of safety devices, etc.. Unintended Usage of TOSHIBA products listed in this document shall be made at the customer's own risk.
- The products described in this document are subject to the foreign exchange and foreign trade laws.
- TOSHIBA products should not be embedded to the downstream products which are prohibited to be produced and sold, under any law and regulations.
- GaAs(Gallium Arsenide) is used in this product. The dust or vapor is harmful to the human body. Do not break, cut, crush or dissolve chemically.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

National Semiconductor

February 1995

LM78XX Series Voltage Regulators

General Description

The LM78XX series of three terminal regulators is available with several fixed output voltages making them useful in a wide range of applications. One of these is local on card regulation, eliminating the distribution problems associated with single point regulation. The voltages available allow these regulators to be used in logic systems, instrumentation, HiFi, and other solid state electronic equipment. Although designed primarily as fixed voltage regulators these devices can be used with external components to obtain adjustable voltages and currents.

The LM78XX series is available in an aluminum TO-3 package which will allow over 1.0A load current if adequate heat sinking is provided. Current limiting is included to limit the peak output current to a safe value. Safe area protection for the output transistor is provided to limit internal power dissipation. If internal power dissipation becomes too high for the heat sinking provided, the thermal shutdown circuit takes over preventing the IC from overheating.

Considerable effort was expanded to make the LM78XX series of regulators easy to use and mininize the number of external components. It is not necessary to bypass the output, although this does improve transient response. Input bypassing is needed only if the regulator is located far from the filter capacitor of the power supply.

For output voltage other than 5V, 12V and 15V the LM117 series provides an output voltage range from 1.2V to 57V.

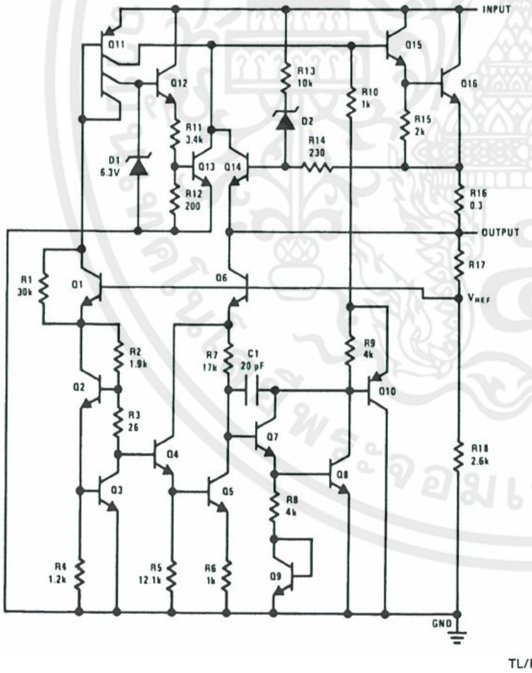
Features

- Output current in excess of 1A
- Internal thermal overload protection
- No external components required
- Output transistor safe area protection
- Internal short circuit current limit
- Available in the aluminum TO-3 package

Voltage Range

LM7805C	5V
LM7812C	12V
LM7815C	15V

Schematic and Connection Diagrams



TL/H/7746–1

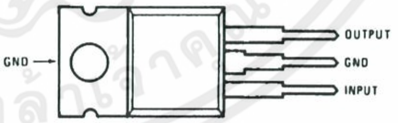
Metal Can Package
TO-3 (K)
Aluminum

TL/H/7746–2

Bottom View

Order Number LM7805CK, LM7812CK or LM7815CK
See NS Package Number KC02A

Plastic Package
TO-220 (T)



TL/H/7746–3

Top View

Order Number LM7805CT, LM7812CT or LM7815CT
See NS Package Number T03B

©1995 National Semiconductor Corporation TL/H/7746

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Absolute Maximum Ratings

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

Input Voltage (V_O = 5V, 12V and 15V)	35V
Internal Power Dissipation (Note 1)	Internally Limited
Operating Temperature Range (T_A)	0°C to +70°C
Maximum Junction Temperature	
(K Package)	150°C
(T Package)	150°C
Storage Temperature Range	−65°C to +150°C
Lead Temperature (Soldering, 10 sec.)	
TO-3 Package K	300°C
TO-220 Package T	230°C

Electrical Characteristics LM78XXC (Note 2) 0°C ≤ Tj ≤ 125°C unless otherwise noted.

Symbol	Parameter	Conditions		5V Min	5V Typ	5V Max	12V Min	12V Typ	12V Max	15V Min	15V Typ	15V Max	Units
	Output Voltage			5V			12V			15V			
	Input Voltage (unless otherwise noted)			10V			19V			23V			
V_O	Output Voltage	Tj = 25°C, 5 mA ≤ I_O ≤ 1A		4.8	5	5.2	11.5	12	12.5	14.4	15	15.6	V
		P_D ≤ 15W, 5 mA ≤ I_O ≤ 1A		4.75		5.25	11.4		12.6	14.25		15.75	V
		V_{MIN} ≤ V_{IN} ≤ V_{MAX}		(7.5 ≤ V_{IN} ≤ 20)			(14.5 ≤ V_{IN} ≤ 27)			(17.5 ≤ V_{IN} ≤ 30)			V
ΔV_O	Line Regulation	I_O = 500 mA	Tj = 25°C		3	50		4	120		4	150	mV
			ΔV_{IN}	(7 ≤ V_{IN} ≤ 25)			14.5 ≤ V_{IN} ≤ 30)			(17.5 ≤ V_{IN} ≤ 30)			V
			0°C ≤ Tj ≤ +125°C			50			120			150	mV
			ΔV_{IN}	(8 ≤ V_{IN} ≤ 20)			(15 ≤ V_{IN} ≤ 27)			(18.5 ≤ V_{IN} ≤ 30)			V
		I_O ≤ 1A	Tj = 25°C			50			120			150	mV
			ΔV_{IN}	(7.5 ≤ V_{IN} ≤ 20)			(14.6 ≤ V_{IN} ≤ 27)			(17.7 ≤ V_{IN} ≤ 30)			V
			0°C ≤ Tj ≤ +125°C			25			60			75	mV
			ΔV_{IN}	(8 ≤ V_{IN} ≤ 12)			(16 ≤ V_{IN} ≤ 22)			(20 ≤ V_{IN} ≤ 26)			V
ΔV_O	Load Regulation	Tj = 25°C	5 mA ≤ I_O ≤ 1.5A		10	50		12	120		12	150	mV
			250 mA ≤ I_O ≤ 750 mA			25			60			75	mV
		5 mA ≤ I_O ≤ 1A, 0°C ≤ Tj ≤ +125°C				50			120			150	mV
I_Q	Quiescent Current	I_O ≤ 1A	Tj = 25°C			8			8			8	mA
			0°C ≤ Tj ≤ +125°C			8.5			8.5			8.5	mA
ΔI_Q	Quiescent Current Change	5 mA ≤ I_O ≤ 1A				0.5			0.5			0.5	mA
		Tj = 25°C, I_O ≤ 1A				1.0			1.0			1.0	mA
		V_{MIN} ≤ V_{IN} ≤ V_{MAX}		(7.5 ≤ V_{IN} ≤ 20)			(14.8 ≤ V_{IN} ≤ 27)			(17.9 ≤ V_{IN} ≤ 30)			V
		I_O ≤ 500 mA, 0°C ≤ Tj ≤ +125°C				1.0			1.0			1.0	mA
		V_{MIN} ≤ V_{IN} ≤ V_{MAX}		(7 ≤ V_{IN} ≤ 25)			(14.5 ≤ V_{IN} ≤ 30)			(17.5 ≤ V_{IN} ≤ 30)			V
V_N	Output Noise Voltage	T_A = 25°C, 10 Hz ≤ f ≤ 100 kHz			40			75			90		μV
$\frac{\Delta V_{IN}}{\Delta V_{OUT}}$	Ripple Rejection	f = 120 Hz	I_O ≤ 1A, Tj = 25°C or	62	80		55	72		54	70		dB
			I_O ≤ 500 mA 0°C ≤ Tj ≤ +125°C	62			55			54			dB
		V_{MIN} ≤ V_{IN} ≤ V_{MAX}		(8 ≤ V_{IN} ≤ 18)			(15 ≤ V_{IN} ≤ 25)			(18.5 ≤ V_{IN} ≤ 28.5)			V
R_O	Dropout Voltage	Tj = 25°C, I_{OUT} = 1A			2.0			2.0			2.0		V
	Output Resistance	f = 1 kHz			8			18			19		mΩ
	Short-Circuit Current	Tj = 25°C			2.1			1.5			1.2		A
	Peak Output Current	Tj = 25°C			2.4			2.4			2.4		A
	Average TC of V_{OUT}	0°C ≤ Tj ≤ +125°C, I_O = 5 mA			0.6			1.5			1.8		mV/°C
V_{IN}	Input Voltage Required to Maintain Line Regulation	Tj = 25°C, I_O ≤ 1A			7.5		14.6			17.7			V

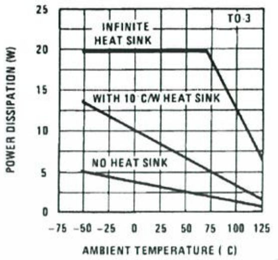
Note 1: Thermal resistance of the TO-3 package (K, KC) is typically 4°C/W junction to case and 35°C/W case to ambient. Thermal resistance of the TO-220 package (T) is typically 4°C/W junction to case and 50°C/W case to ambient.

Note 2: All characteristics are measured with capacitor across the input of 0.22 μF, and a capacitor across the output of 0.1μF. All characteristics except noise voltage and ripple rejection ratio are measured using pulse techniques (t_w ≤ 10 ms, duty cycle ≤ 5%). Output voltage changes due to changes in internal temperature must be taken into account separately.

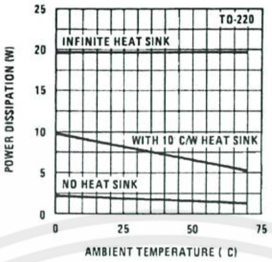
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Performance Characteristics

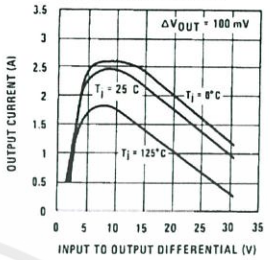
Maximum Average Power Dissipation



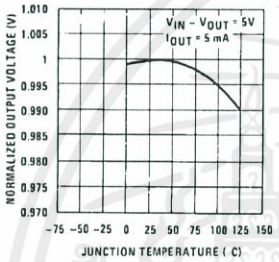
Maximum Average Power Dissipation



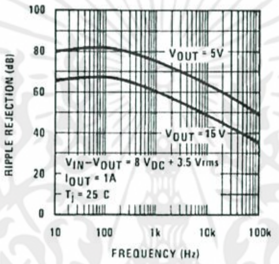
Peak Output Current



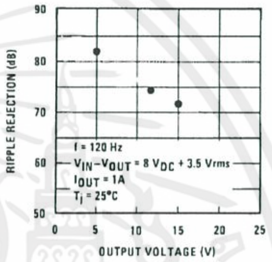
Output Voltage (Normalized to 1V at Tj = 25°C)



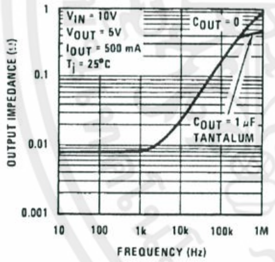
Ripple Rejection



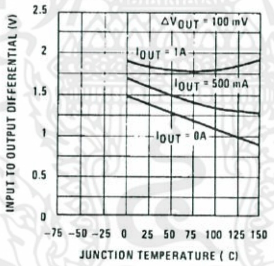
Ripple Rejection



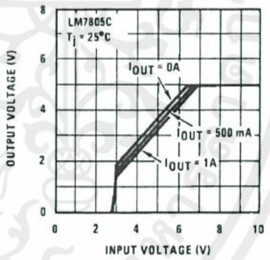
Output Impedance



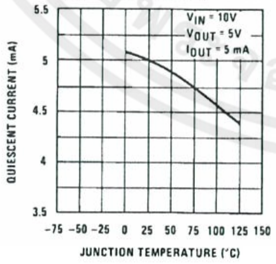
Dropout Voltage



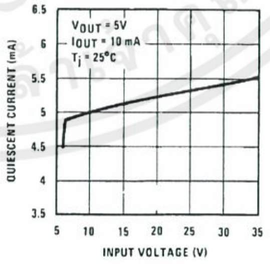
Dropout Characteristics



Quiescent Current



Quiescent Current

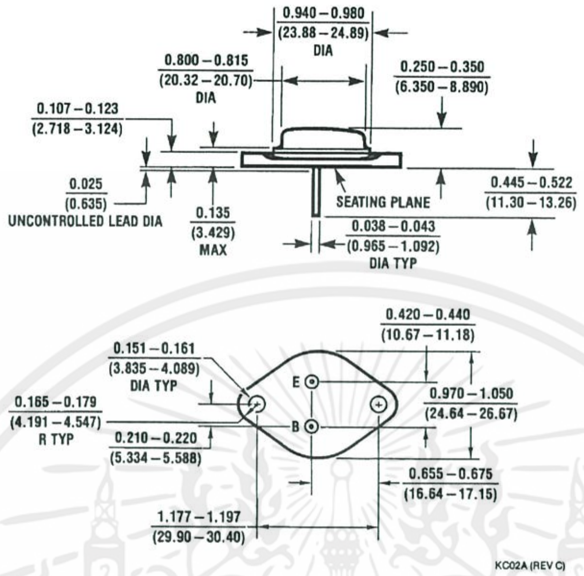


TL/H/7746-4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

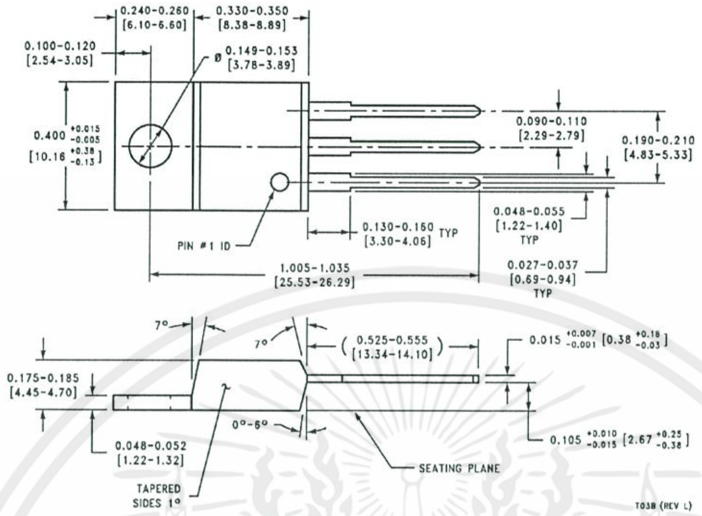
Physical Dimensions inches (millimeters)



Aluminum Metal Can Package (KC)
Order Number LM7805CK, LM7812CK or LM7815CK
NS Package Number KC02A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Physical Dimensions inches (millimeters) (Continued)



TO-220 Package (T)
Order Number LM7805CT, LM7812CT or LM7815CT
NS Package Number T03B

LIFE SUPPORT POLICY

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

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

National Semiconductor Corporation
1111 West Bardin Road
Arlington, TX 76017
Tel: 1(800) 272-9959
Fax: 1(800) 737-7018

National Semiconductor Europe
Fax: (+49) 0-180-530 85 86
Email: cnjwge@tevm2.nsc.com
Deutsch Tel: (+49) 0-180-530 85 85
English Tel: (+49) 0-180-532 78 32
Français Tel: (+49) 0-180-532 93 58
Italiano Tel: (+49) 0-180-534 16 80

National Semiconductor Hong Kong Ltd.
13th Floor, Straight Block,
Ocean Centre, 5 Canton Rd.
Tsimshatsui, Kowloon
Hong Kong
Tel: (852) 2737-1600
Fax: (852) 2736-9960

National Semiconductor Japan Ltd.
Tel: 81-043-299-2309
Fax: 81-043-299-2408

National does not assume any responsibility for use of any circuitry described, no circuit patent licenses are implied and National reserves the right at any time without notice to change said circuitry and specifications.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

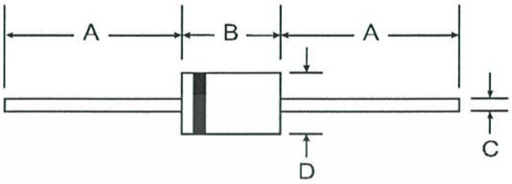
DIODES INCORPORATED

1N4001 - 1N4007

1.0A RECTIFIER

Features

- Diffused Junction
- High Current Capability and Low Forward Voltage Drop
- Surge Overload Rating to 30A Peak
- Low Reverse Leakage Current
- **Lead Free Finish, RoHS Compliant (Note 3)**



Dim	DO-41 Plastic	
	Min	Max
A	25.40	—
B	4.06	5.21
C	0.71	0.864
D	2.00	2.72
All Dimensions in mm		

Mechanical Data

- Case: DO-41
- Case Material: Molded Plastic. UL Flammability Classification Rating 94V-0
- Moisture Sensitivity: Level 1 per J-STD-020D
- Terminals: Finish - Bright Tin. Plated Leads Solderable per MIL-STD-202, Method 208
- Polarity: Cathode Band
- Mounting Position: Any
- Ordering Information: See Page 2
- Marking: Type Number
- Weight: 0.30 grams (approximate)

Maximum Ratings and Electrical Characteristics @T_A = 25°C unless otherwise specified

Single phase, half wave, 60Hz, resistive or inductive load.
For capacitive load, derate current by 20%.

Characteristic	Symbol	1N4001	1N4002	1N4003	1N4004	1N4005	1N4006	1N4007	Unit
Peak Repetitive Reverse Voltage Working Peak Reverse Voltage DC Blocking Voltage	V_{RRM} V_{RWM} V_R	50	100	200	400	600	800	1000	V
RMS Reverse Voltage	$V_{R(RMS)}$	35	70	140	280	420	560	700	V
Average Rectified Output Current (Note 1) @ T_A = 75°C	I_O	1.0							A
Non-Repetitive Peak Forward Surge Current 8.3ms single half sine-wave superimposed on rated load	I_{FSM}	30							A
Forward Voltage @ I_F = 1.0A	V_{FM}	1.0							V
Peak Reverse Current @T_A = 25°C at Rated DC Blocking Voltage @ T_A = 100°C	I_{RM}	5.0 50							μA
Typical Junction Capacitance (Note 2)	C_j	15				8			pF
Typical Thermal Resistance Junction to Ambient	$R_{\theta JA}$	100							K/W
Maximum DC Blocking Voltage Temperature	T_A	+150							°C
Operating and Storage Temperature Range	T_J, T_{STG}	-65 to +150							°C

Notes:
1. Leads maintained at ambient temperature at a distance of 9.5mm from the case.
2. Measured at 1.0 MHz and applied reverse voltage of 4.0V DC.
3. EU Directive 2002/95/EC (RoHS). All applicable RoHS exemptions applied, see EU Directive 2002/95/EC Annex Notes.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

© Diodes Incorporated

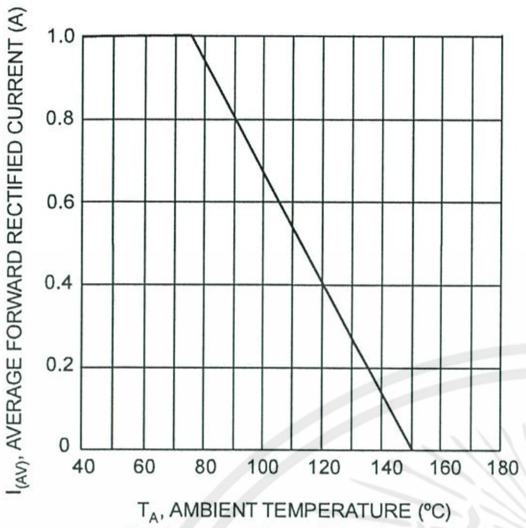


Fig. 1 Forward Current Derating Curve

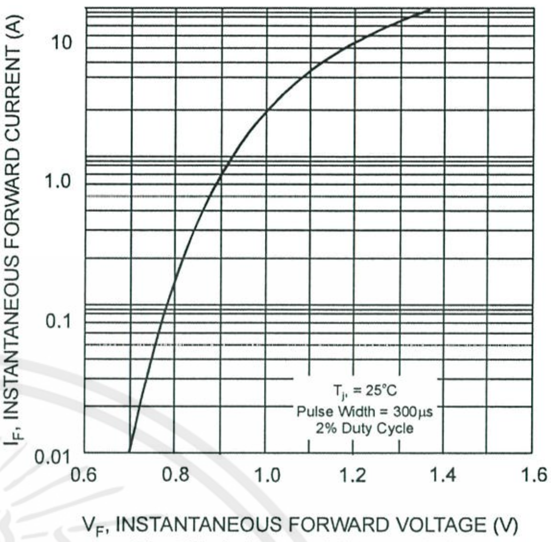


Fig. 2 Typical Forward Characteristics

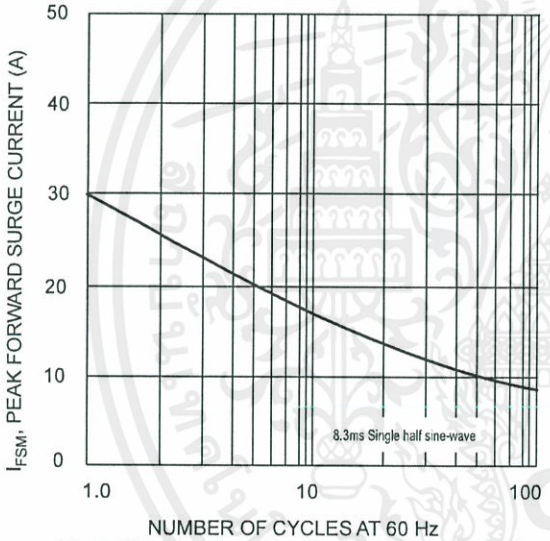


Fig. 3 Max Non-Repetitive Peak Fwd Surge Current

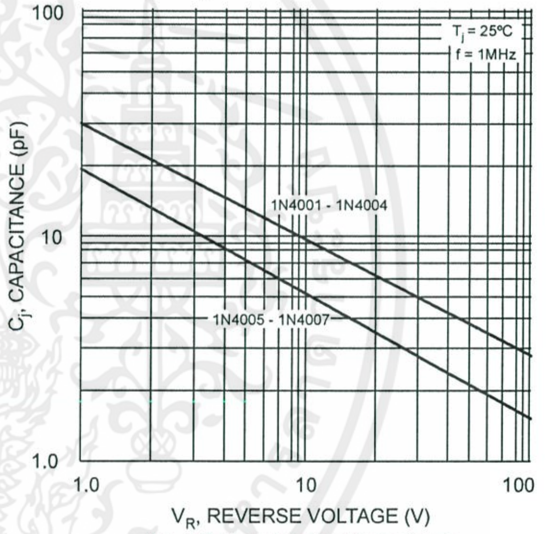


Fig. 4 Typical Junction Capacitance

Ordering Information (Note 4)

Device	Packaging	Shipping
1N4001-B	DO-41 Plastic	1K/Bulk
1N4001-T	DO-41 Plastic	5K/Tape & Reel, 13-inch
1N4002-B	DO-41 Plastic	1K/Bulk
1N4002-T	DO-41 Plastic	5K/Tape & Reel, 13-inch
1N4003-B	DO-41 Plastic	1K/Bulk
1N4003-T	DO-41 Plastic	5K/Tape & Reel, 13-inch
1N4004-B	DO-41 Plastic	1K/Bulk
1N4004-T	DO-41 Plastic	5K/Tape & Reel, 13-inch
1N4005-B	DO-41 Plastic	1K/Bulk
1N4005-T	DO-41 Plastic	5K/Tape & Reel, 13-inch
1N4006-B	DO-41 Plastic	1K/Bulk
1N4006-T	DO-41 Plastic	5K/Tape & Reel, 13-inch
1N4007-B	DO-41 Plastic	1K/Bulk
1N4007-T	DO-41 Plastic	5K/Tape & Reel, 13-inch

Notes: 4. For packaging details, visit our website at http://www.diodes.com/datasheets/ap02008.pdf.

เอกสารนี้เป็นเอกสาร...ไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษา... ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ...ของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

© Diodes Incorporated

DIODES INCORPORATED

IMPORTANT NOTICE

Diodes Incorporated and its subsidiaries reserve the right to make modifications, enhancements, improvements, corrections or other changes without further notice to any product herein. Diodes Incorporated does not assume any liability arising out of the application or use of any product described herein; neither does it convey any license under its patent rights, nor the rights of others. The user of products in such applications shall assume all risks of such use and will agree to hold Diodes Incorporated and all the companies whose products are represented on our website, harmless against all damages.

LIFE SUPPORT

Diodes Incorporated products are not authorized for use as critical components in life support devices or systems without the expressed written approval of the President of Diodes Incorporated.

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

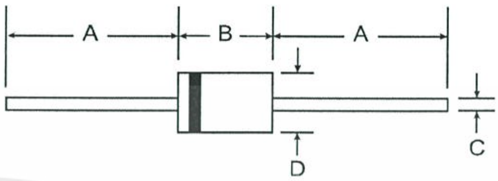
DIODES
INCORPORATED

1N4728A - 1N4761A

1.0W ZENER DIODE

Features

- 1.0 Watt Power Dissipation
- 3.3V - 75V Nominal Zener Voltage
- Standard V_Z Tolerance is 5%
- **Lead Free Finish, RoHS Compliant (Note 2)**



Mechanical Data

- Case: DO-41
- Case Material: Glass. UL Flammability Classification Rating 94V-0
- Terminals: Finish — Sn96.5Ag3.5. Solderable per MIL-STD-202, Method 208
- Polarity: Cathode Band
- Marking: Type Number
- Weight: 0.35 grams (approximate)

DO-41 Glass		
Dim	**Min**	**Max**
A	26.0	—
B	—	4.10
C	—	0.86
D	—	2.60
All Dimensions in mm		

Maximum Ratings @T_A = 25°C unless otherwise specified

Characteristic	Symbol	Value	Unit
Zener Current (see Table page 2)	I_Z	Pd / V_Z	mA
Power Dissipation Derate Above 50°C (Note 1)	P_d	1.0 6.67	W mW/°C
Thermal Resistance - Junction to Ambient Air	$R_{\theta JA}$	175	°C/W
Forward Voltage @ I_F = 200 mA	V_F	1.2	V
Operating and Storage Temperature Range	T_j, T_{STG}	-65 to + 175	°C

Notes:
1. Valid provided that leads are kept at TL @ 50°C with lead length = 9.5mm (3/8") from case.
2. EC Directive 2002/95/EC (RoHS) revision 13.2.2003. Glass and high temperature solder exemptions applied where applicable, see *EU Directive Annex Notes 5 and 7.*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

© Diodes Incorporated

Electrical Characteristics

@T_A = 25°C unless otherwise specified

Type Number	Nominal Zener Voltage (Note 3)	Test Current	Maximum Zener Impedance (Note 4)			Maximum Reverse Leakage Current		Max Surge Current 8.3ms	Temperature Coefficient @ I_{ZT}
	V_Z @ I_{ZT}	I_{ZT}	Z_{ZT} @ I_{ZT}	Z_{ZK} @ I_{ZK}	I_{ZK}	I_R	@ V_R	I_{ZS}	
	(V)	(mA)	(Ω)	(Ω)	(mA)	(µA)	(V)	(mA)	%/°C
1N4728A	3.3	76	10	400	1.0	100	1.0	1380	-0.08 to -0.05
1N4729A	3.6	69	10	400	1.0	100	1.0	1260	-0.08 to -0.05
1N4730A	3.9	64	9.0	400	1.0	50	1.0	1190	-0.07 to -0.02
1N4731A	4.3	58	9.0	400	1.0	10	1.0	1070	-0.07 to -0.01
1N4732A	4.7	53	8.0	500	1.0	10	1.0	970	-0.03 to +0.04
1N4733A	5.1	49	7.0	550	1.0	10	1.0	890	-0.01 to +0.04
1N4734A	5.6	45	5.0	600	1.0	10	2.0	810	0 to +0.045
1N4735A	6.2	41	2.0	700	1.0	10	3.0	730	+0.01 to +0.055
1N4736A	6.8	37	3.5	700	1.0	10	4.0	660	+0.015 to +0.06
1N4737A	7.5	34	4.0	700	0.5	10	5.0	605	+0.02 to +0.065
1N4738A	8.2	31	4.5	700	0.5	10	6.0	550	0.03 to 0.07
1N4739A	9.1	28	5.0	700	0.5	10	7.0	500	0.035 to 0.075
1N4740A	10	25	7.0	700	0.25	10	7.6	454	0.04 to 0.08
1N4741A	11	23	8.0	700	0.25	5.0	8.4	414	0.045 to 0.08
1N4742A	12	21	9.0	700	0.25	5.0	9.1	380	0.045 to 0.085
1N4743A	13	19	10	700	0.25	5.0	9.9	344	0.05 to 0.085
1N4744A	15	17	14	700	0.25	5.0	11.4	304	0.055 to 0.09
1N4745A	16	15.5	16	700	0.25	5.0	12.2	285	0.055 to 0.09
1N4746A	18	14	20	750	0.25	5.0	13.7	250	0.06 to 0.09
1N4747A	20	12.5	22	750	0.25	5.0	15.2	225	0.06 to 0.09
1N4748A	22	11.5	23	750	0.25	5.0	16.7	205	0.06 to 0.095
1N4749A	24	10.5	25	750	0.25	5.0	18.2	190	0.06 to 0.095
1N4750A	27	9.5	35	750	0.25	5.0	20.6	170	0.06 to 0.095
1N4751A	30	8.5	40	1000	0.25	5.0	22.8	150	0.06 to 0.095
1N4752A	33	7.5	45	1000	0.25	5.0	25.1	135	0.06 to 0.095
1N4753A	36	7.0	50	1000	0.25	5.0	27.4	125	0.06 to 0.095
1N4754A	39	6.5	60	1000	0.25	5.0	29.7	115	0.06 to 0.095
1N4755A	43	6.0	70	1500	0.25	5.0	32.7	110	0.06 to 0.095
1N4756A	47	5.5	80	1500	0.25	5.0	35.8	95	0.06 to 0.095
1N4757A	51	5.0	95	1500	0.25	5.0	38.8	90	0.06 to 0.095
1N4758A	56	4.5	110	2000	0.25	5.0	42.6	80	0.06 to 0.095
1N4759A	62	4.0	125	2000	0.25	5.0	47.1	70	0.06 to 0.095
1N4760A	68	3.7	150	2000	0.25	5.0	51.7	65	0.06 to 0.095
1N4761A	75	3.3	175	2000	0.25	5.0	56.0	60	0.06 to 0.095

Notes:
3. Measured under thermal equilibrium and dc (I_{ZT}) test conditions.
4. The Zener impedance is derived from the 60 Hz ac voltage which results when an ac current having an rms value equal to 10% of the Zener current (I_{ZT} or I_{ZK}) is superimposed on I_{ZT} or I_{ZK}. Zener impedance is measured at two points to insure a sharp knee on the breakdown curve and to eliminate unstable units.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

© Diodes Incorporated

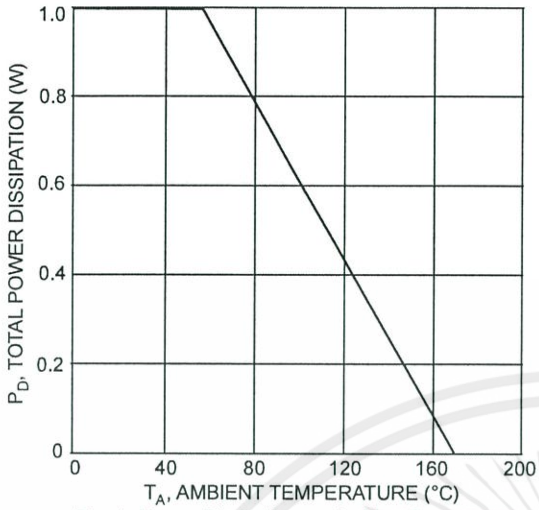


Fig. 1 Power Dissipation vs. Ambient Temperature

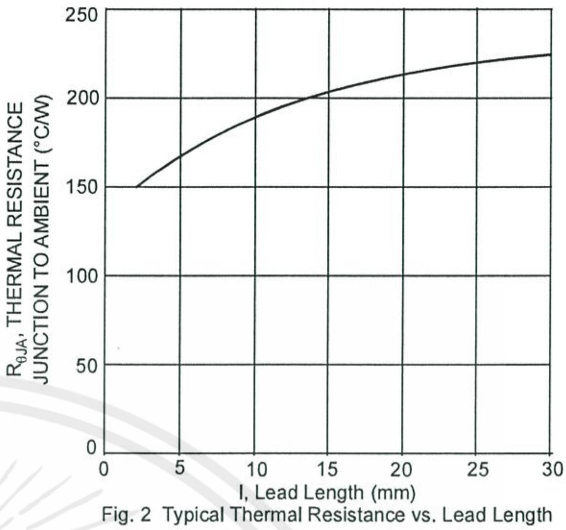


Fig. 2 Typical Thermal Resistance vs. Lead Length

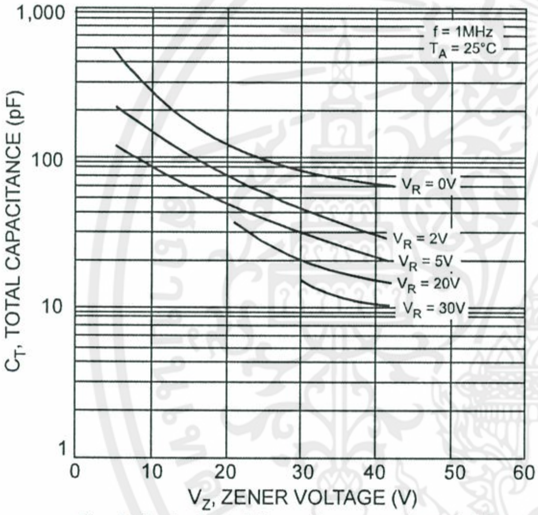


Fig. 3 Typical Total Capacitance vs. Zener Voltage

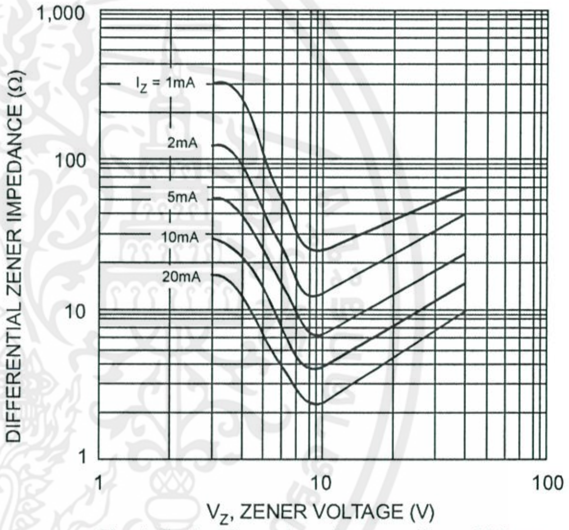


Fig. 4 Typical Zener Impedance vs. Zener Voltage

Ordering Information (Notes 5 & 6)

Device	Packaging	Shipping
(Type Number)-A*	DO-41 Glass	5K/Ammo Pack
(Type Number)-T*	DO-41 Glass	5K/Tape & Reel

Notes: 5. *Add "-A" or "-T" to the appropriate type number in Electrical Characteristics Table. Example: 6.2V Zener = 1N4735A-A for ammo pack.
6. For packaging details, visit our website at http://www.diodes.com/datasheets/ap02008.pdf

IMPORTANT NOTICE

Diodes Incorporated and its subsidiaries reserve the right to make modifications, enhancements, improvements, corrections or other changes without further notice to any product herein. Diodes Incorporated does not assume any liability arising out of the application or use of any product described herein; neither does it convey any license under its patent rights, nor the rights of others. The user of products in such applications shall assume all risks of such use and will agree to hold Diodes Incorporated and all the companies whose products are represented on our website, harmless against all damages.

LIFE SUPPORT

Diodes Incorporated products are not authorized for use as critical components in life support devices or systems without the expressed written approval of the President of Diodes Incorporated.

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข
รายละเอียดโปรแกรมควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรมควบคุมแหล่งจ่ายไฟฟ้าดีซีพัลส์

```
#include "p30f4011.h"
#include "uart.h"
#include "libpic30.h"
#include "stdio.h"
#include "ports.h"

_FOSC(CSW_FSCM_OFF & XT_PLL16);
// Disable clock monitor, external 7.3728MHz oscillator
_FWDT(WDT_OFF);
 // Disable Watch-Dog Timer.
_FBORPOR(PBOR_OFF & MCLR_EN/* & PWRT_OFF & PWMxH_ACT_HI*/);
// Brown out reset disabled, enable MCLR reset pin, turn off power-up timer, PWMxH
acts high
_FGS(CODE_PROT_OFF);
// Disable Code Protection

#define FOSC 117964800                  // 7.3728Mhz x 16 PLL
#define FCY (FOSC / 4)                  // Fcy = 29.4912 MHz
#define BAUD_RATE 9600                  //Desired BAUD is 19200
#define UXBRG (((FCY / 16) / BAUD_RATE) -1)

void UART_Init(void)
{
   U1BRG                 = UXBRG;     // 9600 baud rate  191 ,
   U1MODE                = 0;         // Clear U1MODE Register
   U1STA                 = 0;         // Clear U1STA Register
   U1MODEbits.PDSEL      = 0;         // 8 bits no parity
   U1MODEbits.STSEL      = 0;         // 1 stop bit
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงแหล่งที่มาของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    U1MODEbits.ALTIO          = 1;            // alternate tx and rx, useful as we can
leave the debugger on while doing comms
    U1STAbits.URXISEL         = 10;   // ***Enable Receiver Interrupt
    U1MODEbits.UARTEN         = 1;    // uart on
    U1STAbits.OERR            = 0;    //*****clear any errors so data can be received
    U1STAbits.FERR            = 0;    //*****clear any errors so data can be received
    U1STAbits.PERR            = 0;    //*****clear any errors so data can be received
}

void delay_ms(unsigned int ms)
{
            unsigned int i;
            while(ms--) {
            for(i=0; i<31; i++)
                    Nop();          //Delay 1 MCY
            }
}

int main(void)
{
        UART_Init();
        ADPCFG = 0xFF;
        TRISB = 0xFF;
        TRISD = 0;
        _TRISF0 = 1;
        _TRISF1 = 1;
        _TRISF2 = 1;
        _TRISF3 = 1;
        _TRISF4 = 1;
        _TRISF5 = 1;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
unsigned int m=1,a=1,c=3,d=1,p=1,n=1,j,k;
float dt = 0.125;

while(1)
{
        // T1      *****************************

        _LATD0 = 0;
        _LATD1 = 0;
        _LATD2 = 1;
        _LATD3 = 0;
        delay_ms(dt);

        _LATD0 = 1;
        _LATD1 = 0;
        _LATD2 = 1;
        _LATD3 = 0;
        delay_ms(m);

        // T2      ********************************
        _LATD0 = 0;
        _LATD1 = 0;
        _LATD2 = 1;
        _LATD3 = 0;
        //delay_ms(dt);

        _LATD0 = 0;
        _LATD1 = 1;
        _LATD2 = 1;
        _LATD3 = 0;
        delay_ms(a);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
for (j=p; j>1; j--)
{
        _LATD0 = 0;
        _LATD1 = 0;
        _LATD2 = 1;
        _LATD3 = 0;
        delay_ms(dt);

        _LATD0 = 1;
        _LATD1 = 0;
        _LATD2 = 1;
        _LATD3 = 0;
        delay_ms(m);

        _LATD0 = 0;
        _LATD1 = 0;
        _LATD2 = 1;
        _LATD3 = 0;
        delay_ms(dt);

        _LATD0 = 0;
        _LATD1 = 1;
        _LATD2 = 1;
        _LATD3 = 0;
        delay_ms(a);
}

// T3      ********************************
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
_LATD0 = 0;
_LATD1 = 1;
_LATD2 = 0;
_LATD3 = 0;
delay_ms(dt);

_LATD0 = 0;
_LATD1 = 1;
_LATD2 = 0;
_LATD3 = 1;
delay_ms(c);

// T4      ********************************
_LATD0 = 0;
_LATD1 = 1;
_LATD2 = 0;
_LATD3 = 0;
//delay_ms(dt);

_LATD0 = 0;
_LATD1 = 1;
_LATD2 = 1;
_LATD3 = 0;
delay_ms(d);

for (k=n; k>1; k--)
{
        _LATD0 = 0;
        _LATD1 = 1;
        _LATD2 = 0;
        _LATD3 = 0;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
delay_ms(dt);

_LATD0 = 0;
_LATD1 = 1;
_LATD2 = 0;
_LATD3 = 1;
delay_ms(c);

_LATD0 = 0;
_LATD1 = 1;
_LATD2 = 0;
_LATD3 = 0;
delay_ms(dt);

_LATD0 = 0;
_LATD1 = 1;
_LATD2 = 1;
_LATD3 = 0;
delay_ms(d);
}

char
ch1,ch2,ch3,ch4,ch5,ch6,ch7,ch8,ch9,ch10,ch11,ch12,ch13,ch14,ch15,ch16;

_U1RXIF = 0;
//while(DataRdyUART1())
if(DataRdyUART1() == 1)
{
    while (DataRdyUART1() == 0);
    ch1 = ReadUART1();
    while (DataRdyUART1() == 0);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
ch2 = ReadUART1();
while (DataRdyUART1() == 0);
ch3 = ReadUART1();
while (DataRdyUART1() == 0);
ch4 = ReadUART1();
while (DataRdyUART1() == 0);
ch5 = ReadUART1();
while (DataRdyUART1() == 0);
ch6 = ReadUART1();
while (DataRdyUART1() == 0);
ch7 = ReadUART1();
while (DataRdyUART1() == 0);
ch8 = ReadUART1();
while (DataRdyUART1() == 0);
ch9 = ReadUART1();
while (DataRdyUART1() == 0);
ch10 = ReadUART1();
while (DataRdyUART1() == 0);
ch11 = ReadUART1();
while (DataRdyUART1() == 0);
ch12 = ReadUART1();
while (DataRdyUART1() == 0);
ch13 = ReadUART1();
while (DataRdyUART1() == 0);
ch14 = ReadUART1();
while (DataRdyUART1() == 0);
ch15 = ReadUART1();
while (DataRdyUART1() == 0);
ch16 = ReadUART1();

m = (ch1-48)+(ch2-48)+(ch3-48);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                    a = (ch4-48)+(ch5-48)+(ch6-48);
                    c = (ch7-48)+(ch8-48)+(ch9-48);
                    d = (ch10-48)+(ch11-48)+(ch12-48);
                    p = (ch13-48)+(ch14-48);
                    n = (ch15-48)+(ch16-48);
                }
        }
                return 0;
}
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

บทความทางวิชาการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลังสำหรับการเตรียมฟิล์มบางบนวัสดุรองรับโดยใช้เทคนิค พัลส์ ดีซี แมกนีตรอน สปัตเตอริ่ง

A Power Electronics Circuit for Thin Films Preparation Using Pulses DC Magnetron Sputtering Technique

กฤติน สมานวงษ์ กันตภณ อยู่ยืนพัฒนา และ ทิวาพร ขอพิมาย

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

1 ซอย ฉลองกรุง 1 ลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520 โทรศัพท์ 02-329-8000 ต่อ 3925 E-Mail: takung_bassketball@hotmail.com

บทคัดย่อ

บทความฉบับนี้เป็นรายงานผลการออกแบบสร้างแหล่งจ่ายไฟฟ้าดีซีพัลส์ สำหรับประยุกต์ใช้ในเครื่องเคลือบฟิล์มบางชนิดดีซีแมกนีตรอนสปัตเตอริ่ง ออกแบบโดยใช้วงจรฟูลบริดจ์อินเวอร์เตอร์เฟสเดียวมาแบ่งจ่ายแยกแต่ละกิ่งด้วยแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูงแบบปรับค่าได้ และนำเสนอการเคลือบฟิล์มบาง โดยใช้เทคนิคดีซีพัลส์ สร้างขบวนคลื่นดีซีพัลส์ด้วยการโปรแกรมไมโครคอนโทรลเลอร์และจัดให้สามารถสั่งการควบคุมได้จากหน้าจอคอมพิวเตอร์ ซึ่งขบวนคลื่นแรงดันที่ออกมาจากแหล่งจ่ายไฟฟ้าดีซีพัลส์นั้นจะต้องปรับแรงดันได้ด้วยการปรับแรงดันของชุดแหล่งจ่ายแรงดันปรับค่าได้ และสามารถปรับค่าความกว้างพัลส์ได้ตามต้องการ ทดสอบชิ้นงานด้วยการนำไปเคลือบฟิล์มบางบนวัสดุรองรับ โดยใช้วิธีดีซีพัลส์ จากผลการทดสอบพบว่า การเคลือบฟิล์มบางบนผิววัสดุรองรับด้วยเทคนิคดีซีพัลส์นั้นจะไม่ทำให้วัสดุรองรับมีอุณหภูมิสูงเกินไป เหมาะสำหรับใช้เคลือบผิววัสดุที่ทนความร้อนได้ไม่มาก และเหมาะสมกับการนำไปใช้งานจริง

คำสำคัญ : ดีซีแมกนีตรอนสปัตเตอริ่ง , ฟูลบริดจ์อินเวอร์เตอร์ , ดีซีพัลส์ , ดีซีสมูท

ABSTRACT

This paper presents a design and construction of a DC Pulse Power Supply for DC magnetron sputtering thin film coating applications. The power electronics part is designed and constructed by using two variable voltage power supply feed on single phase full bridge inverter separately each branch. The technique presented for thin film coating is DC pulse technique. The DC pulse controlled signal is generated by digital signal peripheral interface controller and provided the computer LCD as control panel. The well designed DC pulse power supply must have voltage and period adjustable. The performance of the DC pulse power supply has been examined by real thin film coating with DC Pulse technique. The test results show that the DC pulse technique gave a better thermal characteristic of coating than the DC smooth so the DC pulse technique is more suitable for the substrate that cannot bared high temperature and it is the most suitable technique for all thin film coating application today.

Keywords: DC magnetron sputtering , full bridge inverter , DC pulse , DC smooth

1. บทนำ

ฟิล์มบางสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้มากมาย เช่นฟิล์มบางชนิด อินเดียมทินออกไซด์ ถูกนำมาใช้ประโยชน์มากมาย ไม่ว่าจะเป็นขั้วไฟฟ้าโปร่งแสงสำหรับจอภาพแสดงผล เซลล์แสงอาทิตย์ อุปกรณ์อิเล็กโตรโครมิกส์ และอื่นๆอีกมากมาย ฟิล์มที่ดีจะต้องมีค่าสภาพต้านทานต่ำ ในปัจจุบันได้มีการเตรียมฟิล์มบางลงบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ที่มีน้ำหนักเบา และจอภาพ (Touch Panel Display) อย่างไรก็ตามวัสดุรองรับที่เป็นพลาสติกจะทนความร้อนได้ไม่สูง และเทคนิคในการเตรียมฟิล์มบางที่เรียกว่า ดีซี แมกนีตรอน สปัตเตอริ่ง (DC Magnetron Sputtering) นั้นจะทำให้เกิดความร้อนสูงบนวัสดุรองรับ ซึ่งส่งผลเสียต่อวัสดุรองรับ ในปริญญานิพนธ์นี้จึงได้นำเสนอเทคนิคการเคลือบฟิล์มบางที่เรียกว่า ดีซีพัลส์ (DC Pulses) ซึ่งเทคนิคนี้นั้นสามารถจะควบคุมกำลังไฟฟ้าขาออกที่จ่ายไปยังห้องเคลือบฟิล์มได้ ซึ่งเราสามารถกำหนดค่ากำลังไฟฟ้าที่เหมาะสมต่อการเคลือบฟิล์มบางได้ เทคนิค DC Smooth และ DC Pulses นั้นให้คุณลักษณะการเคลือบวัสดุรองรับต่างกัน เช่น แรงดันการเคลือบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระแสพลาสม่า เป็นต้น การใช้เทคนิค DC Pulses เหมาะกับวัสดุรองรับที่ทนอุณหภูมิได้ไม่สูงนัก เนื่องจากการเคลือบนั้นไม่มีความต่อเนื่อง และผลของความต่างศักย์ในการเคลือบนั้นต่ำกว่าเทคนิค DC Smooth ถึง 160 ถึง 170 โวลต์ ซึ่งส่งผลต่อพลังงานในการสปัตเตอร์อะตอมและอุณหภูมิของวัสดุรองรับ

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 หลักการพื้นฐานของการเคลือบผิวด้วยฟิล์มบาง

การเคลือบฟิล์มบางด้วยวิธีแมกนีตรอนสปัตเตอริ่งเป็น การทำให้อะตอมแตกตัวออกจากผิวของทาร์เกตด้วยพลังงานจากไอออน เมื่ออนุภาคไอออนได้พุ่งเข้าชนผิวทาร์เกตด้วยพลังงานที่สูงพอ จะทำให้พันธะอะตอมทาร์เกตสลายตัวและอนุภาคจะแตกกระจายออกมาจากผิวทาร์เกตลงมาเคลือบบนวัสดุรองรับ

2.2 แหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงปรับค่าได้

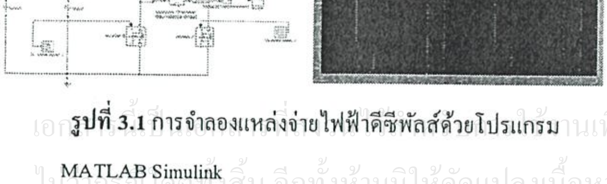
แหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงจะนำมาเป็นแรงดันขาเข้าของวงจร H-Bridge สามารถปรับค่าได้อย่างอิสระทั้งสองด้านคือ V_{DC1} จะเป็นแรงดันที่ใช้ในโหมดแรงดันบวก และ V_{DC2} จะเป็นแรงดันที่ใช้ในโหมดแรงดันลบ เพื่อปรับอัตราการเคลือบผิวของฟิล์มบาง

2.3 การควบคุมโหมดการทำงาน

การควบคุมให้วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าดีซีพัลส์ทำงานได้ตามโหมดที่ต้องการจะใช้นั้นสามารถทำได้โดยการโปรแกรมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ การควบคุมปฏิกิริยาของพลาสม่าในห้องสุญญากาศนั้นจะต้องปรับเปลี่ยนตัวแปรพารามิเตอร์ของขบวนคลื่นทั้งหกตัวได้ตามที่ต้องการ

3.การออกแบบและสร้างแหล่งจ่ายไฟฟ้าดีซีพัลส์

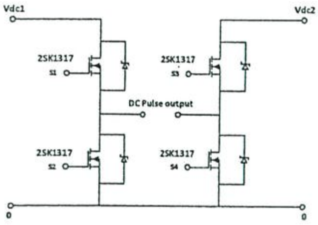
3.1 การจำลองวงจร (Simulation)



รูปที่ 3.1 การจำลองแหล่งจ่ายไฟฟ้าดีซีพัลส์ด้วยโปรแกรม MATLAB Simulink

3.2 การสร้างวงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าดีซีพัลส์

3.2.1 การสร้างวงจรกำลัง

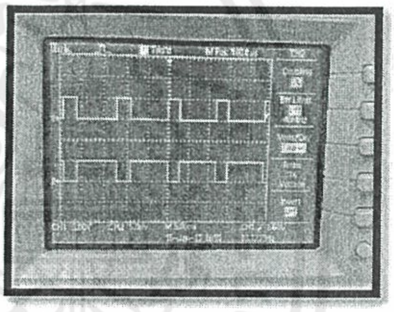


รูปที่ 3.3 รูปแบบวงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าดีซีพัลส์

3.2.2 การสร้างวงจรควบคุม

วงจรควบคุมประกอบไปด้วย 1.)วงจรไฟเลี้ยง 2.)วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ และ 3.)วงจรขับเกตและแยกกราวด์

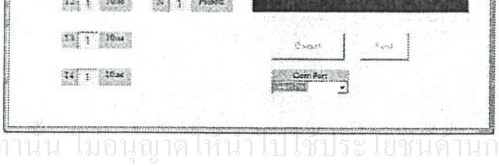
3.3 การสร้างรูปขบวนคลื่นดีซีพัลส์ด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์



รูปที่ 3.4 สัญญาณขับขาเกตของมอสเฟต S1 (บน) และมอสเฟต S2 (ล่าง)

3.4 การสร้างการควบคุมผ่านคอมพิวเตอร์ (Computer Control Panel)

การทดลองวงจรแหล่งจ่ายดีซีพัลส์แมกนีตรอนสปัตเตอร์ริ่งจำเป็นต้องมีการปรับค่าคาบของคลื่นพัลส์และจำนวนคลื่นพัลส์ให้ได้ลักษณะคลื่นพัลส์ที่เหมาะสมกับการใช้งานในรูปแบบต่างๆ จึงมีการนำโปรแกรม Visual Basic 6.0 มาเป็นตัวกลางในการรับคำสั่งจากผู้ใช้งานและส่งข้อมูลไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ให้ปรับค่าตามคำสั่งนั้นได้



รูปที่ 3.5 อินเตอร์เฟสเพื่อควบคุมแหล่งจ่ายไฟฟ้าดีซีพัลส์

เอกสารนี้เป็น...เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ผลการทดลอง

4.1 ผลการทดสอบแหล่งจ่ายไฟฟ้าดีซีพัลส์เมื่อทดลองเคลือบฟิล์มบาง

ขั้นตอนการเตรียมการเคลือบฟิล์มบางด้วยแหล่งจ่ายไฟฟ้าดีซีพัลส์สามารถทำได้ดังนี้

1) นำชิ้นงานกระจกใสเข้ามาวางที่ขั้วอาโนดเพื่อเตรียมการเคลือบฟิล์มบาง

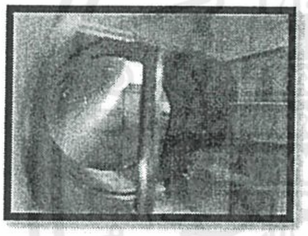
2) ตั้งค่าความดันอากาศและความดันก๊าซเฉื่อยให้เหมาะสมกับการเคลือบฟิล์มบางผ่านตู้ควบคุมห้องสุญญากาศ

3) ต่อแหล่งจ่ายไฟฟ้า Pinnacle 2/2 kW เข้ากับแหล่งจ่ายไฟฟ้าดีซีพัลส์เพื่อเตรียมการเคลือบฟิล์มบาง

4) ตั้งค่าการทำงานของแหล่งจ่ายไฟฟ้าดีซีพัลส์ให้เป็นโหมดอะซิมเมตริกไบโพล่าโดยที่ P = N = 1 ลูกคลื่น

5) ที่แหล่งจ่าย Pinnacle 2/2 kW ตั้งค่าแรงดัน Output A เป็น 400 โวลต์ และตั้งค่าแรงดัน Output B เป็น 150 โวลต์

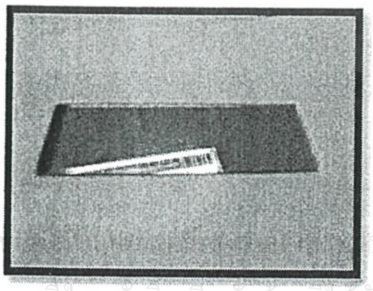
6) เมื่อเปิดแหล่งจ่าย Pinnacle 2/2 kW ภายในห้องสุญญากาสจะเกิดปฏิกิริยาสปัตเตอริ่งและเริ่มทำการเคลือบฟิล์มบางดังรูปที่ 4.1 ปฏิกิริยาสปัตเตอริ่งจะใช้เวลาในการเคลือบฟิล์มบางประมาณ 5 นาที



รูปที่ 4.1 ภายในห้องสุญญากาศขณะเกิดปฏิกิริยาสปัตเตอริ่ง

4.2 ผลการเคลือบฟิล์มบางอะลูมินัม

การทดสอบเคลือบฟิล์มบางอะลูมินัมใช้รูปคลื่นพัลส์ด้านบวกแรงดัน 150 โวลต์ ส่วนพัลส์ด้านลบจะใช้แรงดัน 400 โวลต์ ใช้ความถี่ 50 kHz ในการเคลือบฟิล์มบาง คาบ T1 เท่ากับ 6.25 μs T2 เท่ากับ 1 μs T3 เท่ากับ 18.75 μs และ T4 เท่ากับ 1 μs ก๊าซเร่งปฏิกิริยาใช้ก๊าซอาร์กอน ทดสอบเคลือบชิ้นงานกระจกใสใช้เวลาทำปฏิกิริยาประมาณ 5 นาที จะได้ผลการทดสอบดังนี้



รูปที่ 4.2 ชิ้นงานที่ถูกเคลือบฟิล์มอะลูมินัมเรียบร้อยแล้ว

5. สรุป

วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าดีซีพัลส์ต้นแบบที่ได้ออกแบบและสร้างมาเพื่อการควบคุมการเคลือบฟิล์มบางด้วยเทคนิคพัลส์ดีซีแมกนีตรอนสปัตเตอริ่งได้ถูกทดสอบในห้องทดลอง ฟังก์ชั่นการทำงานในโหมดต่างๆของวงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าดีซีพัลส์นั้นได้ครอบคลุมความต้องการในการทำปฏิกิริยาแบบต่างๆในกระบวนการเคลือบฟิล์มบางได้ทั้งหมด ในการเคลือบที่ต้องการให้ชิ้นงานถูกเคลือบด้วยวิธีที่ต่างๆกันในแต่ละระดับชั้นการเคลือบ (layers) แหล่งจ่ายไฟฟ้าดีซีพัลส์สามารถปรับโหมดการเคลือบได้อย่างสะดวกด้วยการปรับค่าผ่านพอร์ตอนุกรม เมื่อต้องการให้เกิดปฏิกิริยาด้วยกระบวนการที่เฉพาะ รูปขบวนคลื่นที่เฉพาะสำหรับปฏิกิริยานั้นก็จะถูกขับออกมา และรูปขบวนคลื่นก็จะไปขับให้เกิดปฏิกิริยาการเคลือบฟิล์มในห้องสุญญากาศ (Vacuum chamber) วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าดีซีพัลส์ที่สร้างขึ้นมานั้นสามารถกำเนิดรูปขบวนคลื่นพัลส์ได้ทั้ง 6 โหมดการทำงาน คือ Positive DC , Negative DC , Positive Unipolar , Negative Unipolar , Symmetric Bipolar และ Asymmetric Bipolar นอกจากนี้ วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าดีซีพัลส์ยังสามารถควบคุมการกำเนิดรูปขบวนคลื่นพัลส์ในรูปแบบต่างๆได้อย่างง่ายและเข้าใจง่ายสำหรับผู้ใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] Tolga Tavsanoglu , “Deposition And Characterization of Single And Multilater Boron Carbide And Boron Cabonitride Thin Film by Different Sputtering Configurations” , **Doctral Degree of Material Sciences** , Istanbul Technique University , 2009

[2] A. Belkind and Fellowships , **Pulsed-DC Reactive Sputtering of Dielectrics : Pulsing Parameter Effects** , Stevens Institute of Technology , Hoboken , NJ and Advanced Energy Industries, Inc. , Fort Collins , CO

[3] กมล เอี่ยมพนากิจ และคณะ , **ผลกระทบของ ดีซี พัลส์ แมกนีตรอน สปัตเตอริ่ง ต่อสมบัติของฟิล์มบางอินเดียมทินออกไซด์สำหรับการเตรียมฟิล์มบนวัสดุรองรับที่อุณหภูมิต่ำ** , ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ปทุมธานี 12121 และ สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ปทุมธานี 12110

[4] Microship Technoology Inc. , **dsPIC30F4011/4012 Datasheet High Performance Digital Signal Controllers** , 2009

...การใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิง...

ประวัติผู้เขียนบทความ

นาย กฤติน สมานวงษ์

เกิดวันที่ 19 มกราคม พ.ศ.2534

ที่อยู่ 851 ถ.สุขุมวิท แขวงคลองตัน เขตวัฒนา
กรุงเทพมหานคร 10110

E-Mail : koman_scan@hotmail.com

นาย กันตภณ อยู่ยืนพัฒนา

เกิดวันที่ 29 มีนาคม 2534

ที่อยู่ 21/197 ถนนรามคำแหง แขวง/เขต
สะพานสูง กรุงเทพฯ 10240

E-Mail : takung_basketball@hotmail.com

นางสาว ทิวาพร ขอพิมาย

เกิดวันที่ 21 ตุลาคม พ.ศ. 2533

ที่อยู่ 134/1 หมู่ 10 ถ.ถีนานนท์ ต.สมเด็จ อ.
สมเด็จ จ.กาฬสินธุ์ 46150

E-Mail : pang-t21@hotmail.com

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผู้ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล : นาย กันตภณ อยู่ยืนพัฒนา
เกิดวันที่ : 29 มีนาคม พ.ศ. 2534
ที่อยู่ : 21/197 ซอยรามคำแหง 142 ถ.รามคำแหง แขวง/เขต สะพานสูง กรุงเทพฯ 10240
E-mail : takung_basketball@hotmail.com

ชื่อ-นามสกุล : นาย กฤติน สมานวงษ์
เกิดวันที่ : 19 มกราคม พ.ศ. 2534
ที่อยู่ : 851 ถนนสุขุมวิท แขวงคลองตัน เขตวัฒนา กรุงเทพฯ 10110
E-mail : Koman_scan@hotmail.com

ชื่อ-นามสกุล : นางสาว ทิวาพร ขอพิมาย
เกิดวันที่ : 21 ตุลาคม พ.ศ. 2533
ที่อยู่ : 134/1 ถนนถีนานนท์ ต. สมเด็จ อ. สมเด็จ จ. กาฬสินธุ์ 46150
E-mail : pang-t21@hotmail.com

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้