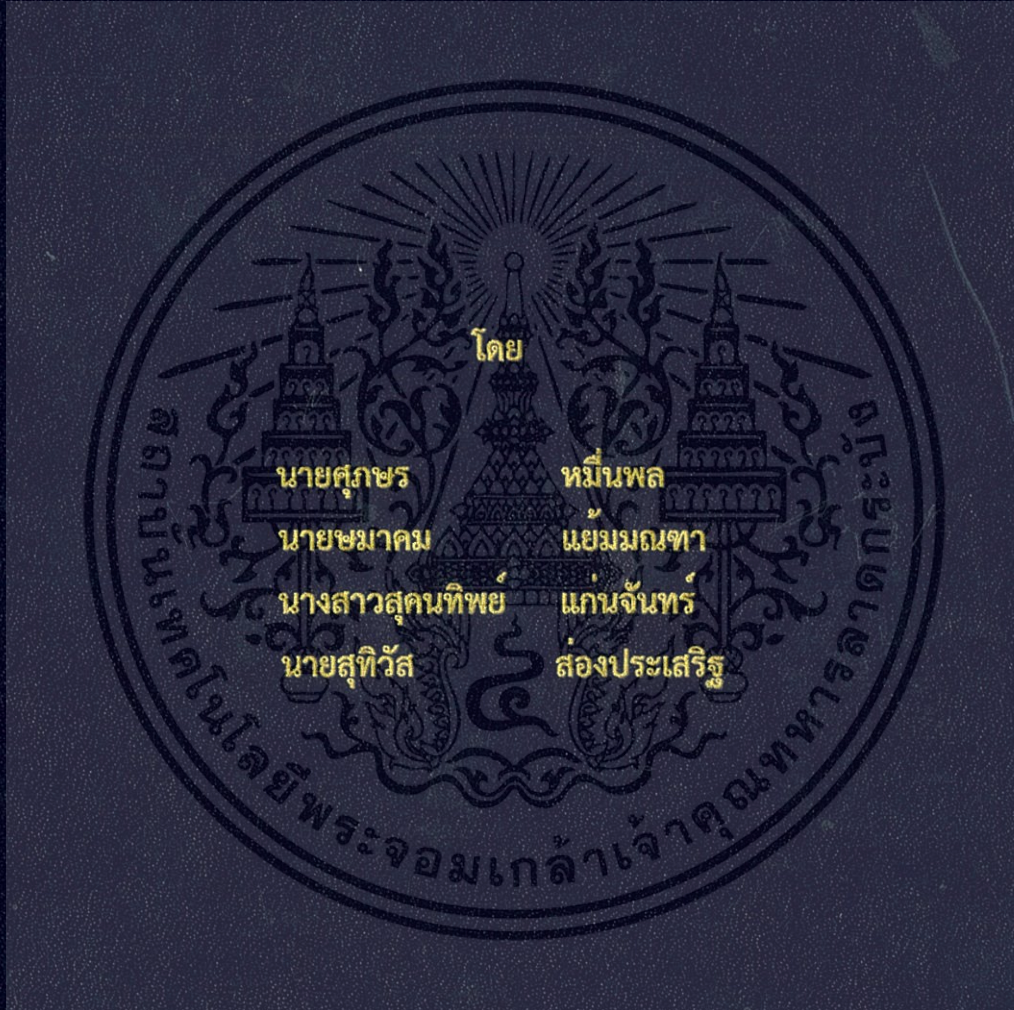


อินเวอร์เตอร์แบบกึ่งบริดจ์โดยใช้พีดับเบิสยูเอ็มความถี่ 500 กิโลเฮิรตซ์  
ในแหล่งจ่ายไฟฟ้าเพื่อการผ่าตัด

A 500-KHZ PWM HALF-BRIDGE INVERTER  
IN ELECTROSURGICAL GENERATORS



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2557

อินเวอร์เตอร์แบบกึ่งบริดจ์โดยใช้พีดับเบิลยูเอ็มความถี่ 500 กิโลเฮิร์ตซ์  
ในแหล่งจ่ายไฟฟ้าเพื่อการผ่าตัด  
A 500-KHZ PWM HALF-BRIDGE INVERTER  
IN ELECTROSURGICAL GENERATORS



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2557

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A 500-KHZ PWM HALF-BRIDGE INVERTER  
IN ELECTROSURGICAL GENERATORS



THIS PROJECT 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

2014

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปีการศึกษา 2557

อินเวอร์เตอร์แบบกึ่งบริดจ์โดยใช้พีดับเบิลยูเอ็มความถี่ 500 กิโลเฮิร์ตซ์  
ในแหล่งจ่ายไฟฟ้าเพื่อการผ่าตัด  
A 500-KHZ PWM HALF-BRIDGE INVERTER  
IN ELECTROSURGICAL GENERATORS



อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.ดร.อนุวัฒน์ จางวนิชเลิศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2557

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง อินเวอร์เตอร์แบบกึ่งบริดจ์โดยใช้พีดับเบิลยูเอ็มความถี่ 500 กิโลเฮิร์ตซ์ ในแหล่งจ่าย

ไฟฟ้าเพื่อการผ่าตัด

ผู้จัดทำ



..... อาจารย์ที่ปรึกษา  
( รศ.ดร. อนุวัฒน์ จางวนิชเลิศ )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อินเวอร์เตอร์แบบกึ่งบริดจ์โดยใช้พีดับเบิลยูเอ็มความถี่ 500 กิโลเฮิร์ตซ์  
ในแหล่งจ่ายไฟฟ้าเพื่อการผ่าตัด

นาย ศุภสร หมั่นพล  
นาย ชมาคม แยมมณฑา  
นางสาว สุนทิพย์ แก่นจันทร์  
นาย สุวิวัส ส่องประเสริฐ  
รศ.ดร. อนุวัฒน์ จางวนิชเลิศ อาจารย์ที่ปรึกษา  
ปีการศึกษา 2557

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอการออกแบบและสร้างอินเวอร์เตอร์แบบกึ่งบริดจ์โดยใช้พีดับเบิลยูเอ็มความถี่ 500 กิโลเฮิร์ตซ์ ในเครื่องจี้ตัดไฟฟ้าเพื่อนำไปใช้ในแหล่งจ่ายไฟฟ้าเพื่อการผ่าตัด ส่งเสริมให้เกิดการพัฒนาด้านการวิจัยเทคโนโลยีทางการแพทย์และอิเล็กทรอนิกส์กำลัง ลดต้นทุนการนำเข้าเทคโนโลยีจากต่างประเทศ โดยการผ่าตัดด้วยไฟฟ้านี้ทำให้แผลที่ได้จากการผ่าตัดจะมีขนาดเล็กกว่าการผ่าตัดโดยใช้มีดผ่าตัด และลดการสูญเสียเลือด โครงการนี้ได้ทำขึ้นเพื่อศึกษาลักษณะสัญญาณและค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ทางไฟฟ้า ณ ความถี่ใช้งานในขณะกำลังจี้ตัดชิ้นเนื้อตัวอย่างที่นำมาทดลอง และสามารถตัดชิ้นเนื้อตัวอย่างได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## A 500 KHZ PWM HALF-BRIDGE INVERTER IN ELECTROSURGICAL GENERATORS

Mr.Suppasorn      Muenpol  
Mr.Samakom      Yaemmonta  
Ms.Sukontip      Kanchan  
Mr.Sutiwas      Songprasert  
Assoc.Prof.Dr.Anuwat Jangwanitlert Supervisor  
Year 2014

### ABSTRACT

This project represents the design of a 500-kHz PWM half-bridge inverter in electrosurgical generators. The output signal is in AC waveform with a very-high frequency. These helps developing biomedical technology and decreasing the needs of importing technologies from other countries. An operation using electrosurgical effects patient to have much smaller wound than using a normal operation blade. So, patients are recovered faster. The experiments indicate signal characteristics and other electrical parameters at the frequency of 500 kHz compared to normal-frequency. A sample tissue can be cut by using this high-frequency PWM half-bridge inverter in electrosurgical generators.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ด้วยคำแนะนำและความช่วยเหลือเป็นอย่างดีจาก อาจารย์ นรงค์ฤทธิ์ เสนาจิตร โดยเฉพาะอย่างยิ่งต้องขอขอบคุณ รศ.ดร. อนุวัฒน์ จางวนิชเลิศ อาจารย์ที่ปรึกษา ที่ได้กรุณาให้ข้อแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อโครงการมาด้วยดีตลอด และได้กรุณาตรวจแก้ไข ปริญญานิพนธ์จนสำเร็จเรียบร้อยเป็นอย่างดี

ขอขอบพระคุณ คณะอาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้คำแนะนำและประสิทธิ์ประสาทวิชาให้กับกลุ่มของข้าพเจ้า

ขอขอบคุณ คุณวาทัญญู มีศรีสุข ที่ได้ให้คำแนะนำ และความช่วยเหลือ ในการทำ ปริญญานิพนธ์ ให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดีมาโดยตลอด

นอกจากนั้นผู้จัดทำต้องขอขอบคุณ คุณนครศักดิ์ เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการที่ให้เปิดใช้เครื่องมือ ตลอดจนคุณกมลวรรณ เจ้าหน้าที่ห้องธุรการที่ให้คำแนะนำเกี่ยวกับการเบิกใบเสร็จของโครงการ

ท้ายนี้คณะผู้จัดทำ ขอกราบขอบพระคุณ บิดามารดา และครอบครัวซึ่งให้การสนับสนุนในด้านการเงิน และให้กำลังใจอีกทั้งเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ ที่ให้ความช่วยเหลือในการจัดหาอุปกรณ์ต่างๆ ในการทำโครงการครั้งนี้จนสำเร็จได้ด้วยดี จึงขอขอบคุณไว้ ณ ที่นี้ด้วย

คณะผู้จัดทำ

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
ABSTRACT	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญรูป	VII
สารบัญตาราง	IX
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	1
1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงการ	2
1.4 วิธีการที่ใช้ในโครงการ	2
1.5 แผนการดำเนินโครงการ	2
1.6 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย	3
บทที่ 2 ทฤษฎีพื้นฐาน	4
2.1 การผ่าตัดด้วยไฟฟ้า	4
2.2 ชนิดของอิเล็กโทรดที่ใช้กับเครื่องจี้ตัดด้วยไฟฟ้า	5
2.2.1 อิเล็กโทรดที่เป็นหัวจี้ตัด (Active Electrode)	5
2.2.2 อิเล็กโทรดแผ่น (Plate Electrode หรือ Return Electrode)	6
2.3 ลักษณะวิธีการใช้งานของเครื่องผ่าตัดด้วยไฟฟ้า	6
2.3.1 แบบ Monopolar	6
2.3.2 แบบ Bipolar	7
2.4 หลักการเบื้องต้นของแหล่งจ่ายไฟฟ้าเพื่อการผ่าตัด	8
2.5 มาตรฐานของแหล่งจ่ายไฟฟ้าเพื่อการผ่าตัด	10
2.6 โครงสร้างของแหล่งจ่ายไฟฟ้าเพื่อการผ่าตัด	10
2.7 ทฤษฎีพื้นฐานทางด้านกำลังไฟฟ้า	11
2.7.1 กำลังไฟฟ้าชั่วขณะ	12
2.7.2 กำลังไฟฟ้าเฉลี่ย	12
2.8 วงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์ (1Ø Bridge Rectifier)	13
2.8.1 หลักการทำงานของวงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์	13
2.8.2 ค่าพารามิเตอร์ในวงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น	14
2.9 วงจรอินเวอร์เตอร์	15
2.9.1 หลักการทำงานของวงจรอินเวอร์เตอร์แบบกึ่งบริดจ์	16
2.9.2 คอมมิวเตตติ้งไดโอด D1 และ D2	17
2.9.3 โหมดการทำงานของวงจรอินเวอร์เตอร์	18
2.10 การสวิตซ์แบบพีดับเบิลยูเอ็ม	22
2.11 มอสเฟสกำลัง (Metal-Oxide Semiconductor Field-Effect Transistor)	23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.12 วงจรขับนำสวิตช์ของอินเวอร์เตอร์	25
2.12.1 วงจรขับนำที่ใช้เทคนิคการแยกโหนดด้วยหม้อแปลง	25
2.12.2 วงจรขับนำที่ใช้เทคนิคการแยกโหนดด้วยการเชื่อมต่อทางแสง	26
2.12.3 การใช้ Signal level shifting และ Power bootstrap diode	26
2.13 ข้อมูลเบื้องต้นของ dsPIC	28
2.13.1 คุณสมบัติของซีพียู	28
2.13.2 คุณสมบัติด้านการประมวลสัญญาณดิจิทัล	28
2.13.3 คุณสมบัติของโมดูลฟังก์ชันพิเศษ	29
2.14 ทฤษฎีพื้นฐานของหม้อแปลง	29
2.14.1 วัสดุแกนและการเลือกรูปทรง	31
2.14.2 การออกแบบหม้อแปลงกำลังสำหรับคอนเวอร์เตอร์กึ่งบริดจ์	33
<b>บทที่ 3 หลักการทำงานและการออกแบบวงจร</b>	<b>36</b>
3.1 บทนำ	36
3.2 โครงสร้างของแหล่งจ่ายไฟฟ้าเพื่อการผ่าตัด	36
3.3 ภาควงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์: (1 $\phi$ Bridge Rectifier)	36
3.3.1 การคำนวณหาค่าตัวเก็บประจุเพื่อกรองแรงดันด้านเอาต์พุต	38
3.3.2 ความต้านทานในการคายประจุ	38
3.3.3 การกำจัดกระแสกระชากตอนเริ่มการทำงาน	40
3.4 วงจรอินเวอร์เตอร์แบบกึ่งบริดจ์: (Half-Bridge Inverter)	41
3.5 สัญญาณควบคุมชุดขับวงจร: (PWM Control)	43
3.6 หม้อแปลงความถี่สูง: (High Frequency Transformer)	46
3.6.1 การออกแบบหม้อแปลงความถี่สูง	46
3.7 อิเล็กโทรดที่ใช้ในการตัด (Cutting Electrode)	48
3.7.1 อิเล็กโทรดที่เป็นหัวจี้ตัด (Active Electrode)	49
3.7.2 อิเล็กโทรดแผ่น (Plate Electrode หรือ Return Electrode)	51
3.8 วงจรรวมและชิ้นงานที่ทำการออกแบบ	51
<b>บทที่ 4 การจำลองการทำงานและผลการทดลอง</b>	<b>54</b>
4.1 บทนำ	54
4.2 การจำลองการทำงานของวงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าเพื่อการผ่าตัด	54
4.2.1 จุดการทำงานที่ 1: สภาวะไร้อโหลด	55
4.2.2 จุดการทำงานที่ 2: โหลดความต้านทาน 300 $\Omega$	56
4.3 การทดลองการทำงานของวงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าเพื่อการผ่าตัด	58
4.3.1 จุดการทำงานที่ 1: สภาวะไร้อโหลด	59
4.3.2 จุดการทำงานที่ 2: โหลดทดลอง 300 $\Omega$ (หลอดไฟ)	60
4.3.3 จุดการทำงานที่ 3: ชิ้นเนื้อตัวอย่าง (อกไก่)	62
4.4 สรุปผลการจำลองการทำงานและผลการทดลอง	63

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง	65
5.1 สรุปผลการทดลอง	65
5.2 ข้อเสนอแนะ	66
เอกสารอ้างอิง	67
ภาคผนวก	68
ภาคผนวก ก	69
ภาคผนวก ข	74
ภาคผนวก ค	80
ประวัติผู้เขียน	101



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 หลักการทั่วไปของการจัดตัดด้วยไฟฟ้าเบื้องต้น	4
2.2 ลักษณะรูปร่างของ Active Electrode ชนิดต่างๆ	5
2.3 ชนิดต่างๆ ของเทคนิควิธีการผ่าตัดด้วยไฟฟ้า	6
2.4 รูปแบบของการใช้อิเล็กโทรดในลักษณะ Monopolar	7
2.5 รูปแบบของการใช้อิเล็กโทรดในลักษณะ Bipolar	8
2.6 กราฟค่าเฉลี่ยของปริมาณกระแสที่น้อยที่สุดที่ทำให้กล้ามเนื้อหรือเส้นประสาทถูกกระตุ้นที่ความถี่ต่างๆ	9
2.7 โครงสร้างของแหล่งจ่ายไฟฟ้าเพื่อการผ่าตัด	11
2.8 การไหลของกำลังไฟฟ้าจากอินพุตไปเอาต์พุต	11
2.9 กำลังไฟฟ้าที่ได้จากการรวมกันของกระแสและแรงดันที่เวลาต่างๆ	12
2.10 วงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์	13
2.11 การทำงานของวงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์	14
2.12 วงจรอินเวอร์เตอร์แบบกึ่งบริดจ์	15
2.13 สภาวะช่วงการทำงานขณะที่ Q1 และ Q2 นำกระแส	16
2.14 รูปคลื่นแรงดันและกระแสของอินเวอร์เตอร์ที่ช่วงเวลาต่างๆ	18
2.15 โหมดการทำงานในช่วงระยะเวลาต่างๆ	20
2.16 การสร้างสัญญาณสวิตชิงแบบพีดับเบิลยูเอ็ม	22
2.17 ความสัมพันธ์ของกระแสเดรน และแรงดันที่ขาเดรนกับขอสของมอสเฟตกำลัง	24
2.18 ตัวอย่างมอสเฟตกำลังชนิด N-Channel	25
2.19 โครงสร้างวงจรขับนำที่ใช้เทคนิคการแยกโดดทางหม้อแปลง	26
2.20 โครงสร้างวงจรขับนำที่ใช้เทคนิคการแยกโดดทางแสง	26
2.21 โครงสร้างวงจรขับนำที่ใช้เทคนิค Signal level shifting and Power bootstrap	27
2.22 วงจรขับมอสเฟต	27
2.23 หม้อแปลงโดยทั่วไปที่มี 2 ขด	29
3.1 บล็อกไดอะแกรมโครงสร้างแหล่งจ่ายไฟฟ้าเพื่อการผ่าตัด	36
3.2 วงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์	37
3.3 วงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์พร้อมความต้านทานคายประจุ	40
3.4 วงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์พร้อมชุดป้องกันกระแสกระชากตอนเริ่มการทำงาน	41
3.5 วงจรอินเวอร์เตอร์แบบกึ่งบริดจ์	42
3.6 วงจรอินเวอร์เตอร์แบบกึ่งบริดจ์ที่ใช้งานจริง	43
3.7 ไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F4011	44
3.8 วงจรแยกโดดการขับนำ	45
3.9 หม้อแปลงความถี่สูงที่ใช้งานจริง	48
3.10 อิเล็กโทรดแบบที่เป็นปลายแหลมแบบเข็มที่ใช้งาน	49
3.11 อิเล็กโทรดแบบที่ปลายเป็นใบมีดที่ใช้งาน	50
3.12 อิเล็กโทรดแผ่นที่ใช้งาน	51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.13 วงจรรวมและชุดชิ้นงานที่สำเร็จแล้ว	52
4.1 โครงสร้างวงจรอินเวอร์เตอร์แบบกึ่งบริดจ์สำหรับการจำลอง	54
4.2 สัญญาณกระแสและแรงดันเปิดวงจรที่สภาวะไว้โหลด ( $I_{inv}, I_o / V_{inv}, V_o$ ) จากการจำลอง	56
4.3 สัญญาณกระแสและแรงดันที่โหลดทดลอง $R=300 \Omega$ ( $I_{inv}, I_o / V_{inv}, V_o$ ) จากการจำลอง	57
4.4 วงจรอินเวอร์เตอร์แบบกึ่งบริดจ์ความถี่สูงที่ใช้ทำการทดลอง	58
4.5 สัญญาณกระแสและแรงดันอินเวอร์เตอร์แบบกึ่งบริดจ์ที่สภาวะไว้โหลดจากการทดลอง	59
4.6 สัญญาณแรงดันด้านออกที่สภาวะไว้โหลดจากการทดลอง	60
4.7 สัญญาณกระแสแรงดันอินเวอร์เตอร์แบบกึ่งบริดจ์ที่โหลดทดลอง $300 \Omega$ จากการทดลอง	61
4.8 สัญญาณกระแสและแรงดันด้านออกที่โหลดทดลอง $300 \Omega$ จากการทดลอง	61
4.9 สัญญาณกระแสและแรงดันด้านออกขณะตัดชิ้นเนื้อตัวอย่าง (อกไก่)	62
4.10 รอยตัดบนชิ้นเนื้อตัวอย่าง (อกไก่)	63



## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 แผนการดำเนินงานโครงการวิศวกรรม 1	3
1.2 แผนการดำเนินงานโครงการวิศวกรรม 2	3
2.1 ค่าอิมพีแดนซ์ในการใช้งานเครื่องจัดด้วยไฟฟ้า	9
2.2 สัญลักษณ์ของมอสเฟตชนิด Enhancement และมอสเฟตชนิด Depletion	24
2.3 วัสดุแกนเฟอร์ไรต์สำหรับหม้อแปลงกำลังความถี่สูง	32
2.4 รายละเอียดของเส้นลวดที่มีฉนวนหุ้ม	33
3.2 การเปรียบเทียบสวิตซ์อิเล็กทรอนิกส์กำลัง	42
4.1 ผลการจำลองการทำงานของวงจรที่สภาวะไร้โหลด	56
4.2 ผลการจำลองการทำงานของวงจรที่โหลดความต้านทาน 300 $\Omega$	57
4.3 ผลการทดลองการทำงานของวงจรที่สภาวะไร้โหลด	60
4.4 ผลการทดลองการทำงานของวงจรที่ต่อโหลดทดลอง 300 $\Omega$	62
4.5 ผลการทดลองการทำงานของวงจรเมื่อทำการตัดโหลดขึ้นเนื้อตัวอย่าง (อกไก่)	63



# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ปัจจุบันการผ่าตัดนั้นได้ถูกพัฒนากระบวนการอย่างมากมายโดยมีทั้งข้อดีและข้อเสียที่แตกต่างกัน การที่การผ่าตัดต่างๆ จึงขึ้นอยู่กับหลายปัจจัยว่าจะนำมาใช้กับสถานการณ์ใดๆได้บ้าง โดยการผ่าตัดที่เรารู้จักกันมากก็เช่น การผ่าตัดด้วยมีดผ่าตัด การผ่าตัดด้วยเลเซอร์ การผ่าตัดด้วยการส่องกล้องผ่าตัด และการผ่าตัดด้วยไฟฟ้า ซึ่งการผ่าตัดด้วยไฟฟ้าก็เป็นอีกหนึ่งวิธีที่สามารถนำมาใช้ในการผ่าตัดเพื่อทำให้การผ่าตัดมีประสิทธิภาพมากขึ้นด้วย และยังช่วยลดการบาดเจ็บหรือขั้นตอนต่างๆ ในการผ่าตัดลงอีกด้วย

การผ่าตัดโดยใช้มีดผ่าตัดนั้นจะทำให้แผลนั้นมีแผลขนาดใหญ่ ดังนั้นเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการผ่าตัดให้มากขึ้น จึงใช้การผ่าตัดด้วยเครื่องจี้ตัดด้วยไฟฟ้า ซึ่งวิธีการใช้เครื่องจี้ตัดด้วยไฟฟ้าจะทำให้การผ่าตัดเกิดแผลที่มีขนาดเล็กกว่า และทำให้การผ่าตัดนั้นดำเนินไปอย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น การผ่าตัดโดยใช้เครื่องจี้ตัดด้วยไฟฟ้า ต้องใช้การจ่ายไฟฟ้าให้แก่ขั้วอิเล็กโทรด ซึ่งแหล่งจ่ายไฟฟ้าของเครื่องผ่าตัดไฟฟ้ามียุหลายแบบและหลายวิธีการ โดยมีการพัฒนาแหล่งจ่ายสำหรับเครื่องผ่าตัดไฟฟ้าอย่างมากมายเพื่อให้ผลการผ่าตัดนั้นออกมาตรงตามวัตถุประสงค์ จึงมีพัฒนาการออกแบบแหล่งจ่ายไฟฟ้าเพื่อการผ่าตัดที่เหมาะสมต่อการจ่ายไฟฟ้าให้แก่ขั้วอิเล็กโทรด โดยการจ่ายไฟฟ้านั้นต้องควบคุมปัจจัยต่างๆ เช่น แรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า กำลังไฟฟ้า และความสามารถสวิตซ์ที่ใช้งาน โดยวงจรควบคุมต่างๆ นั้นจะใช้เป็นวงจรควบคุมแบบกึ่งบริดจ์อินเวอร์เตอร์ความถี่สูงโดยใช้สัญญาณพีดับเบิลยูเอ็ม เป็นแหล่งจ่ายแบบสวิตซ์ิ่งเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการจ่ายไฟฟ้าให้แก่ขั้วอิเล็กโทรด เพื่อที่ได้ลักษณะของการสปาร์คที่เหมาะสมแก่การใช้ผ่าตัดมากที่สุด

### 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

จากข้อดีของการผ่าตัดด้วยไฟฟ้าที่อธิบายไปแล้วนั้น จึงเป็นที่สนใจในการสร้างแหล่งจ่ายไฟฟ้าสำหรับเครื่องมือผ่าตัด โดยใช้วงจรและอุปกรณ์ที่หาได้ในประเทศและเป็นนวัตกรรมของคนไทย อย่างไรก็ตามหากได้ทำการวิจัยเพิ่มเติมและปรับปรุงอย่างต่อเนื่องจะสามารถพัฒนาเทคโนโลยีทางด้านอิเล็กทรอนิกส์กำลังและทางด้านชีวการแพทย์ของประเทศให้มีความทันสมัยมากขึ้น ซึ่งอย่างน้อยผู้วิจัยหวังว่าผู้ที่สนใจงานทางด้านนี้จะสามารถเรียนรู้วิธีสร้างและการทำงานของเครื่องผ่าตัดโดยใช้การอาร์คไฟฟ้า ซึ่งแหล่งจ่ายไฟฟ้าแบบสวิตซ์ิ่งจะนำไปใช้งานได้มีประสิทธิภาพโดยมีวัตถุประสงค์หลักๆ คือ

1. เพื่อศึกษาและออกแบบแหล่งจ่ายไฟฟ้าให้กับเครื่องผ่าตัดทางไฟฟ้า
2. เพื่อศึกษาคุณสมบัติของการจ่ายไฟฟ้าแบบพีดับเบิลยูเอ็มความถี่สูง
3. เพื่อศึกษาการควบคุมสัญญาณของแหล่งจ่ายไฟฟ้าเพื่อการผ่าตัด
4. เพื่อส่งเสริมให้เกิดการพัฒนาเทคโนโลยีทางด้านอิเล็กทรอนิกส์และทางด้านชีวการแพทย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงการ

เครื่องมือผ่าตัดไฟฟ้าต้นแบบที่ได้ออกแบบสร้างขึ้นนี้ เพื่อต้องการศึกษาหลักการ ทำงานและต้องการสร้างวงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าเพื่อการผ่าตัดให้มีประสิทธิภาพ เพื่อใช้งานผ่าตัดได้ตาม สมมติฐานที่ได้ตั้งไว้โดยมีแนวทางในการวิจัยมีดังนี้

1. ออกแบบและทดสอบคุณสมบัติของแหล่งจ่ายไฟฟ้าเพื่อการผ่าตัดที่ได้สร้างขึ้น และเป็นต้นแบบในการพัฒนาให้ใช้งานได้มีประสิทธิภาพมากขึ้น
2. ศึกษาข้อมูลพื้นฐานสำหรับพัฒนางจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าเพื่อการผ่าตัดโดยมีพิกัด ของเครื่องมือที่ได้ออกแบบสร้างมีรายละเอียดดังนี้
  - แรงดันไฟฟ้าด้านอินพุต 220 V ความถี่ 50 Hz
  - กำลังไฟฟ้าด้านออกสูงสุด 190 W โดยมีแรงดันขณะสภาวะไร้อโหลดที่ 230 V ที่ความถี่ 500 kHz
  - สามารถสร้างสปาร์คที่มีคุณสมบัติในการตัดชิ้นเนื้อตัวอย่าง (อกไก่) ได้

### 1.4 วิธีการที่ใช้ในโครงการ

ใช้วงจรเรียงกระแสไฟฟ้ารับไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ (220 V, 50 Hz) เพื่อให้ได้ไฟฟ้ากระแสตรง จากนั้นนำไฟฟ้ากระแสตรงที่ได้มาจ่ายเข้าสู่วงจรอินเวอร์เตอร์แบบกึ่ง บริดจ์ (ใช้มอสเฟตในการสวิตซ์) ในการควบคุมสัญญาณทางไฟฟ้าให้เป็นลักษณะสัญญาณพีดับเบิล ยูเอ็มความถี่สูง (500 kHz) เพื่อส่งถ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับขั้วอิเล็กโทรดเพื่อนำไปผลิตเป็นสปาร์ค ใน เครื่องผ่าตัดแบบไฟฟ้า

### 1.5 แผนการดำเนินโครงการ

ในการศึกษาค้นคว้ารวมถึงขั้นตอนต่างๆ จะเริ่มจากการรวบรวมข้อมูลและทฤษฎีที่ เกี่ยวข้องทั้งหมดของปริญญานิพนธ์ รวมทั้งหลักการทำงานของเครื่องมือผ่าตัดที่มีอยู่โดยทั่วไปโดย การศึกษารายละเอียดของการทำงานในส่วนต่างๆ ตามเงื่อนไขที่ได้วางไว้ พร้อมกับการจำลองผลการ ออกแบบบางส่วน เพื่อเป็นแนวทางในการออกแบบและนำมาปรับปรุงเครื่องต้นแบบที่สร้างขึ้น จากนั้นทำการซื้ออุปกรณ์พร้อมออกแบบลายวงจรตามที่ได้ออกแบบไว้และทำการประกอบเป็น เครื่องมือผ่าตัดไฟฟ้า หลังจากประกอบตัวเครื่องเรียบร้อยแล้วก็ทำการเก็บผลโดยการตัดชิ้นเนื้อ ตัวอย่าง (อกไก่) พร้อมนำผลที่ได้ไปวิเคราะห์และเปรียบเทียบคุณภาพของรอยตัดชิ้นเนื้อตัวอย่าง (อกไก่) ส่วนขั้นตอนสุดท้ายเป็นส่วนของการสรุปผลและข้อเสนอแนะที่ได้จากปริญญานิพนธ์นี้ โดย การประกอบเป็นแหล่งจ่ายเครื่องมือผ่าตัดได้นั้นมีขั้นตอนการสร้างดังนี้

1. สร้างวงจรเรียงกระแสโดยใช้ไดโอด
2. สร้างวงจรอินเวอร์เตอร์แบบกึ่งบริดจ์ความถี่สูงโดยใช้มอสเฟต
3. สร้างวงจรควบคุมเพื่อใช้จ่ายสัญญาณเกตให้แก่มอสเฟตในการสวิตซ์
4. เขียนโปรแกรมควบคุมให้ได้สัญญาณทางไฟฟ้าเป็นพีดับเบิลยูเอ็มความถี่สูง
5. ทำการทดลองที่แต่ละจุดการทำงานและศึกษาลักษณะรอยการตัดที่ได้บนชิ้นเนื้อ ตัวอย่าง (อกไก่)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1.1 แผนการดำเนินงานโครงการวิศวกรรม 1

การดำเนินการ	ระยะเวลาการดำเนินการ				
	ก.ค. 57	ส.ค. 57	ก.ย. 57	ต.ค. 57	พ.ย. 57
1. วางแผนการดำเนินงาน และศึกษารูปแบบการทำงาน					
2. เลือกวงจร rectifier และทำการออกแบบวงจร					
3. เลือกวงจร Inverter และทำการออกแบบวงจร					
4. จำลองการทำงานของวงจร					
5. พัฒนารูปแบบของวงจรให้เหมาะสมกับปริญญานิพนธ์					
6. รายงานความก้าวหน้าครั้งที่ 1					
7. สอบโครงร่างปริญญานิพนธ์					

ตารางที่ 1.2 แผนการดำเนินงานโครงการวิศวกรรม 2

การดำเนินการ	ระยะเวลาการดำเนินการ					
	ธ.ค. 57	ม.ค. 58	ก.พ. 58	มี.ค. 58	เม.ย. 58	พ.ค. 58
1. ปรับปรุงแก้ไขวงจร Half-Bridge Inverter						
2. สร้างชุดวงจรควบคุม Half-Bridge Inverter						
3. เขียนโปรแกรมควบคุมความถี่ของสัญญาณ PWM						
4. ทดลองจ่ายสัญญาณให้กับวงจร Half-Bridge Inverter แบบ No-Load						
5. ทดลองจ่ายสัญญาณให้กับวงจร Half-Bridge Inverter แบบต่อโหลด						
6. ออกแบบและสร้างหม้อแปลงความถี่สูง						
7. ปรับปรุงแก้ไขวงจรให้เหมาะสม						
8. รายงานความคืบหน้าของปริญญานิพนธ์						
9. สอบปริญญานิพนธ์						

### 1.6 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

จากปัญหาในการใช้มีดผ่าตัดทำให้เกิดแผลที่เกิดขึ้นมีแผลขนาดใหญ่และมีเลือดออกเป็นจำนวนมากหลังจากการผ่าตัด จึงมีการคิดค้นการผ่าตัดโดยใช้ไฟฟ้า เพื่อให้การผ่าตัดนั้นเกิดแผลที่มีขนาดเล็ก และมีเลือดออกน้อยลง อีกทั้งยังได้เรียนรู้เกี่ยวกับการออกแบบวงจรควบคุมอินเวอร์เตอร์แบบกึ่งบริดจ์ การสร้างวงจรหรืออุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์กำลัง ทำให้เกิดการพัฒนาระบบเทคโนโลยีทางด้านอิเล็กทรอนิกส์กำลังและทางด้านชีวการแพทย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

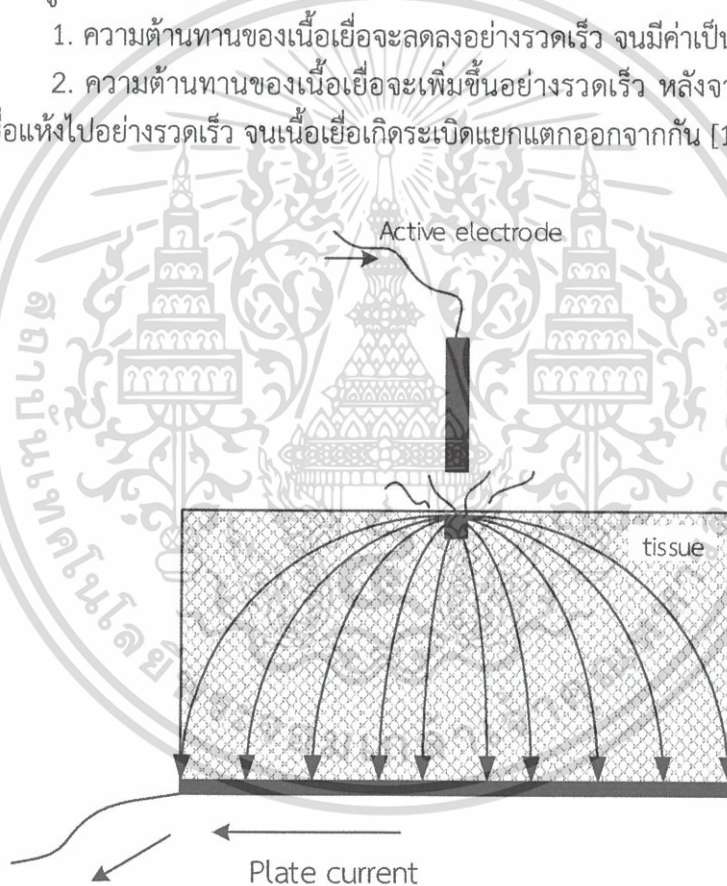
## บทที่ 2

### ทฤษฎีและหลักการพื้นฐานของแหล่งจ่ายไฟฟ้าเพื่อการผ่าตัด

#### 2.1 การผ่าตัดด้วยไฟฟ้า

การผ่าตัดด้วยเครื่องจี้ตัดด้วยไฟฟ้า โดยทั่วไปอาศัยหลักการทางไฟฟ้าของเครื่องเชื่อมไฟฟ้า ที่ทำให้เกิดการสปาร์ค หรือการอาร์คของกระแสไฟฟ้า เพื่อให้เกิดความร้อนสูง (ประมาณ 1,000 องศาเซลเซียส) เมื่อเนื้อเยื่อมีอุณหภูมิสูงกว่า 100 องศาเซลเซียส ของเหลวภายในเซลล์ (น้ำ) จะเดือดกลายเป็นไอ แห้งจนปริแตกแยกออกจากกัน หรือหากมีการควบคุมอุณหภูมิให้พอเหมาะ (ต่ำกว่า 100 องศาเซลเซียส) ก็สามารถทำให้ของเหลวในเซลล์ หรือเม็ดเลือดแห้งแข็งจับตัวกันเป็นก้อน ปิดหลอดเลือด ซึ่งเป็นการห้ามเลือด (Hemostatic effect) ปรากฏการณ์ที่เกิดจากการใช้เครื่องจี้ตัดด้วยไฟฟ้า จะมีอยู่ 2 ช่วง ดังนี้

1. ความต้านทานของเนื้อเยื่อจะลดลงอย่างรวดเร็ว จนมีค่าเป็นศูนย์
2. ความต้านทานของเนื้อเยื่อจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว หลังจากที่มีน้ำหรือของเหลวภายในเนื้อเยื่อแห้งไปอย่างรวดเร็ว จนเนื้อเยื่อเกิดระเบิดแยกแตกออกจากกัน [1]



รูปที่ 2.1 หลักการทั่วไปของการจี้ตัดด้วยไฟฟ้าเบื้องต้น

จากรูปที่ 2.1 เครื่องจี้ตัดด้วยไฟฟ้า จะปล่อยกระแสไฟฟ้าความถี่สูงไหลผ่าน Active Electrode ไปยังจุดที่จะทำการผ่าตัด แล้วกระแสไฟฟ้าความถี่สูงนี้จะสปาร์คผ่านเนื้อเยื่อหรือจุดที่ทำการผ่าตัด แล้วกระจายผ่านเนื้อเยื่อไปยังจุดต่างบน Plate Electrode เพื่อลดความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าตรงทางที่กระแสไฟฟ้าไหลออกจากเนื้อเยื่อ (ลดความร้อนที่จะเกิดขึ้น) แล้วกลับไปครบวงจรที่เครื่องจี้ตัดด้วยไฟฟ้า [1]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เทคนิคที่ใช้สำหรับเครื่องจี้ตัดด้วยไฟฟ้าโดยทั่วไปแล้วจะมีอยู่ 3 ลักษณะด้วยกันคือ

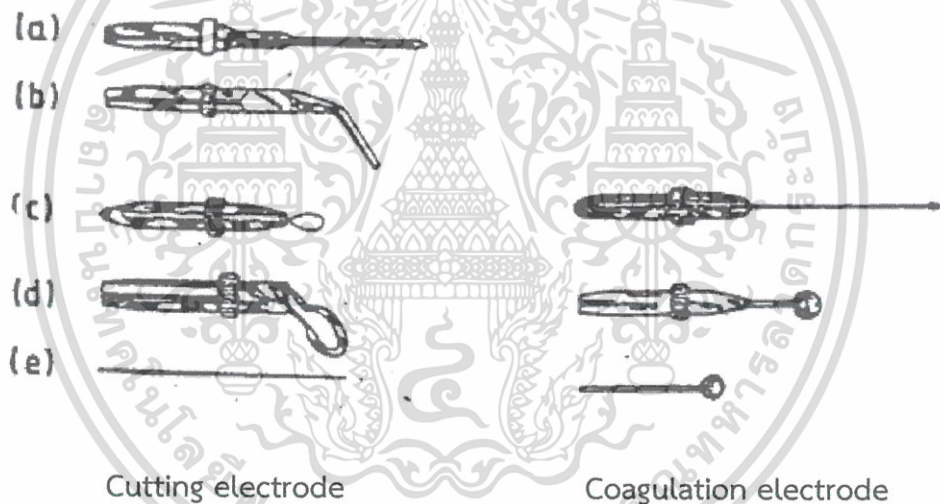
1. ตัด (Cut)
2. จี้ห้ามเลือด (Coagulating)
3. ตัดพร้อมจี้ห้ามเลือดไปด้วย (Blend)

## 2.2 ชนิดของอิเล็กโทรดที่ใช้กับเครื่องจี้ตัดด้วยไฟฟ้า

ทั้ง 3 เทคนิคในการผ่าตัดด้วยไฟฟ้าดังกล่าวต้องใช้อิเล็กโทรด 2 ชนิดประกอบกัน ดังนี้

### 2.2.1 อิเล็กโทรดที่เป็นหัวจี้ตัด (Active Electrode)

อิเล็กโทรดที่ใช้ในการผ่าจริงแล้วจะเป็น Active Electrode ที่จะมีรูปแบบหรือลักษณะของรูปทรงที่ต่างกันออกไปแล้วแต่การใช้งาน โดยทั่วไปจะแยกออกได้เป็น Cutting electrode และ Coagulation electrode [1] ดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.2

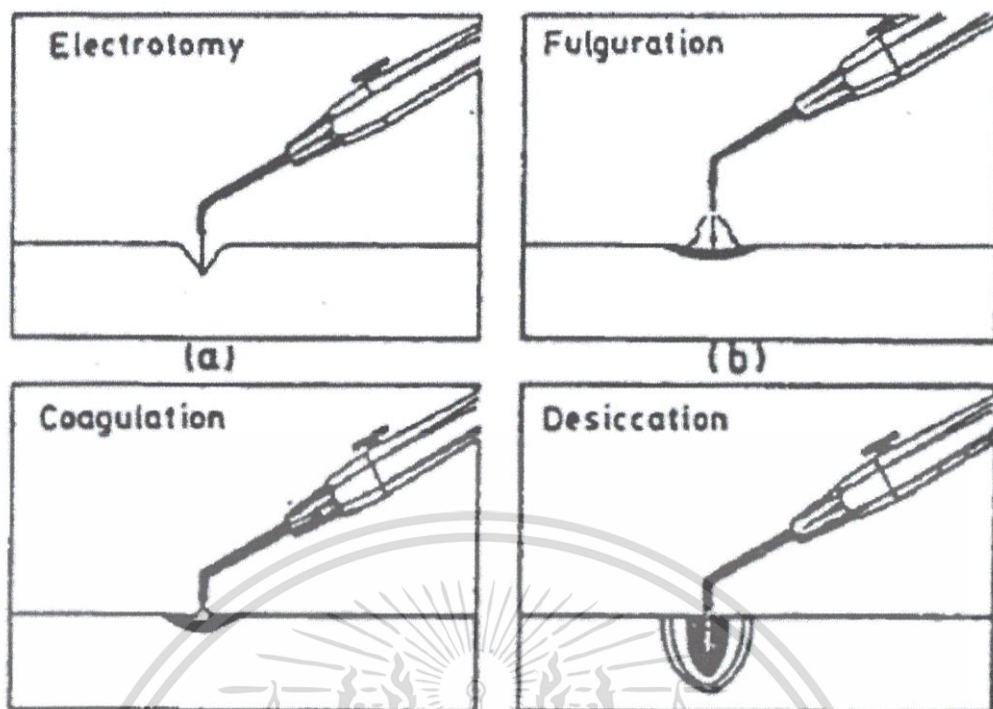


- Cutting electrode
- a) Needle electrode
  - b) Angulated lancet electrode
  - c) Wire loop electrode
  - d) Angulated band loop electrode
  - e) Straight lancet electrode

Coagulation electrode  
โดยทั่วไปแล้วจะมีรูปทรงเดียว  
จะแตกต่างกันที่ขนาดเท่านั้น

รูปที่ 2.2 ลักษณะรูปร่างของอิเล็กโทรดที่เป็นหัวจี้ตัดชนิดต่างๆ [1]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 เทคนิคการผ่าตัดด้วยไฟฟ้าวิธีต่างๆ [1]

### 2.2.2 อิเล็กโทรดแผ่น (Plate Electrode หรือ Return Electrode)

แผ่น plate ของเครื่องจี้ตัดด้วยไฟฟ้า เปรียบเสมือนแผ่นกราวด์ของเครื่องนั่นเอง โดยมาตรฐานขนาดของแผ่น plate ที่ใช้ จะมีขนาดที่แตกต่างกันตามแต่ละมาตรฐาน แต่อย่างไรก็ตามในการพิจารณาแผ่น plate ที่เหมาะสมต่อการใช้งานจะต้องคำนึงถึงสิ่งต่อไปนี้เป็นหลักด้วย [1]

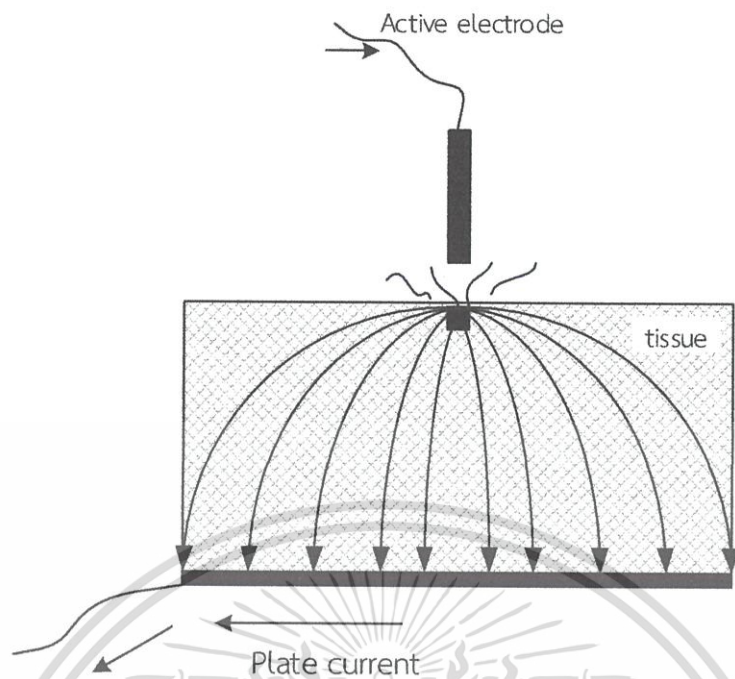
- แผ่นใหญ่และมีความเป็นตัวนำไฟฟ้าที่เพียงพอ สำหรับกำลังกระแสไฟฟ้า ความถี่สูง
- ต้องมีความอ่อนตัวยืดหยุ่นได้ สำหรับทาบกับส่วนต่างๆ ของอวัยวะได้แนบสนิท
- ต้องไม่มีรอยสึกกร่อน คดงอ หากมีลักษณะนี้ไม่ควรนำมาใช้

## 2.3 ลักษณะวิธีการใช้งานของเครื่องผ่าตัดด้วยไฟฟ้า

ลักษณะวิธีการใช้งานของเครื่องผ่าตัดด้วยไฟฟ้า แบ่งออกเป็น 2 ลักษณะ [1] ดังนี้

### 2.3.1 แบบ Monopolar

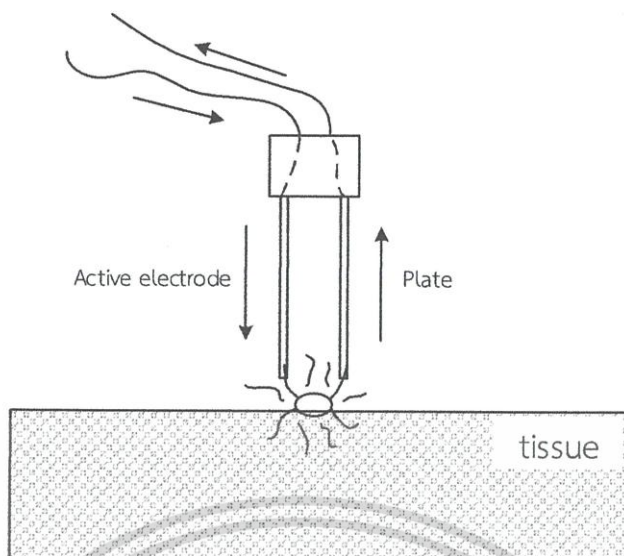
เป็นการแยกอิเล็กโทรดทั้งสองออกจากกัน เหมาะสำหรับการผ่า (Cut) ที่ต้องใช้พลังงานไฟฟ้า (Watt) สูงๆ



รูปที่ 2.4 รูปแบบของการใช้ อิเล็กโทรดในลักษณะ Monopolar

### 2.3.2 แบบ Bipolar

เป็นการรวมเอาอิเล็กโทรดทั้งสองอยู่ด้วยกันบนด้ามจี้ตัดตัวเดียวกัน โดยกระแสจะไหลออกจากขาข้างหนึ่งไปยังขาอีกข้างหนึ่ง ซึ่งก็จะเกิดความร้อนขึ้นระหว่างขาทั้งสอง กระแสความถี่สูงสำหรับการใช้วิธีนี้จะไม่มีการผ่านลงดิน จะอยู่ระหว่างปลายทั้งสองข้างและจะไม่ผ่านตัวของผู้ป่วย โดยจะผ่านเฉพาะตรงบริเวณที่จะทำการจี้ตัดออกเท่านั้น วิธีนี้จึงเหมาะสำหรับการจี้ตัด หรือการจี้ตัดพร้อมห้ามเลือด เฉพาะที่หรือบริเวณเนื้อเยื่อที่มีพื้นที่ไม่กว้างมากนัก เส้นเลือดที่ละเอียดอ่อน ไม่มีการทำลายเนื้อเยื่อหรือเส้นประสาทข้างเคียง และใช้พลังงานไม่สูงมาก ในบางครั้งจึงเรียกวิธีการจี้ตัดแบบนี้ว่า การทำจลศัลยกรรม เช่น การห้ามเลือดที่ต้องใช้ความระมัดระวังเป็นพิเศษ และการทำจลศัลยกรรมทางด้านระบบประสาท [1]



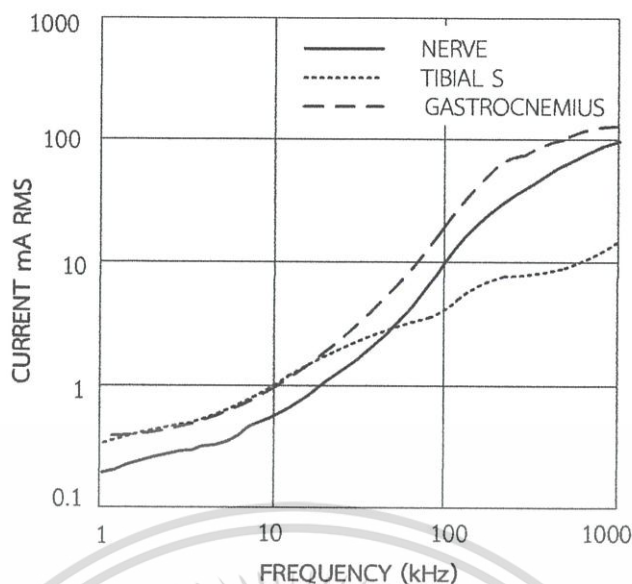
รูปที่ 2.5 รูปแบบของการใช้ อิเล็กโทรดในลักษณะ Bipolar

#### 2.4 หลักการเบื้องต้นของแหล่งจ่ายไฟฟ้าเพื่อการผ่าตัด

ในการออกแบบแหล่งจ่ายไฟฟ้าเพื่อการผ่าตัดที่มีความถี่สูงนี้ มีส่วนประกอบที่สำคัญคือ วงจรอินเวอร์เตอร์ที่ใช้ในการสร้างไฟฟ้ากระแสสลับความถี่สูง มีหลักการที่สำคัญคือ การแปลงพลังงานไฟฟ้าไปเป็นพลังงานความร้อน โดยการสร้างสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับความถี่สูง (500 kHz) โดยใช้พีดีบีเอสเอ็ม ให้แก่อิเล็กโทรดใช้งานซึ่งมีพื้นที่ผิวน้อยมาก (ความหนาแน่นกระแสสูง) ทำให้กลุ่มอิเล็กตรอนมีความหนาแน่นมาก จากนั้นอิเล็กตรอนจะวิ่งออกจากอิเล็กโทรดใช้งาน ผ่านเนื้อเยื่อเพื่อมุ่งเข้าสู่อิเล็กโทรดอ้างอิงที่มีลักษณะเป็นแผ่น (Plate) ที่มีพื้นที่ผิวมาก (ความหนาแน่นกระแสต่ำ) ทำให้เกิดความร้อนซึ่งมีผลกระทบต่อเนื้อเยื่อทำให้เนื้อเยื่อฉีกออกได้

การควบคุมผลของความร้อนต่อเนื้อเยื่อสำหรับการผ่าตัด จะใช้วิธีการควบคุมความหนาแน่นของกำลังไฟฟ้า โดยขึ้นอยู่กับปริมาณกระแสและแรงดันด้านออกของเครื่อง ขนาดของอิเล็กโทรด สภาพของอิเล็กโทรด ลักษณะของเนื้อเยื่อ ความเร็วในการตัด และความถี่ของกระแสไฟฟ้า [2]

จากการศึกษาผลการตอบสนองของเนื้อเยื่อต่อกระแสไฟฟ้าที่ความถี่ต่างๆ พบว่าไฟฟ้ากระแสสลับในช่วงความถี่สูง (มากกว่า 200 kHz) มีความสามารถในการกระตุ้นเส้นประสาทหรือกล้ามเนื้อต่ำ ส่งผลให้เมื่อจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับในย่านความถี่นี้ให้กับเนื้อเยื่อในบริเวณใด เนื้อเยื่อที่บริเวณนั้นจะได้รับผลเฉพาะพลังงานไฟฟ้าที่อยู่ในรูปความร้อนเท่านั้น [3] โดยทางการแพทย์สามารถนำสัญญาณไฟฟ้าที่ย่านความถี่นี้ไปใช้ในการผ่าตัดได้ ดังนั้นแหล่งจ่ายไฟฟ้าเพื่อการผ่าตัดจึงใช้ความถี่สูง เพื่อลดผลการกระตุ้นของกล้ามเนื้อ



รูปที่ 2.6 กราฟค่าเฉลี่ยของปริมาณกระแสที่น้อยที่สุดที่ทำให้กล้ามเนื้อหรือเส้นประสาทถูกกระตุ้นที่ความถี่ต่างๆ [2]

ในการจำลองการทำงานของเครื่องจี้ตัดด้วยไฟฟ้าเพื่อประกอบการวิเคราะห์ก่อนที่จะนำมาทำการทดลองจริงได้ใช้ค่าอิมพีแดนซ์ ดังตารางที่ 2.1 ค่าอิมพีแดนซ์ในตารางเป็นค่าที่แสดงเป็นช่วง เนื่องจากเมื่อเนื้อเยื่อแห้งตัวค่าอิมพีแดนซ์ของเนื้อเยื่อจะเพิ่มขึ้น [4]

ตารางที่ 2.1 ค่าอิมพีแดนซ์ในการใช้งานเครื่องจี้ตัดด้วยไฟฟ้า [4]

Cut Mode Application	Impedance Range ( $\Omega$ )
Prostate tissue	300-1700
Oral cavity	1000-2000
Liver tissue	
Muscle tissue	
Gall bladder	1500-2400
Skin tissue	1700-2500
Bowel tissue	2500-3000
Periosteum	
Mesentery	3000-4200
Omentum	
Adipose tissue	3500-4500
Scar tissue	
Adhesions	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.5 มาตรฐานของแหล่งจ่ายไฟฟ้าเพื่อการผ่าตัด

จากมาตรฐาน International standard IEC 60601-1 ซึ่งเป็นข้อกำหนดทั่วไปด้านความปลอดภัย ของเครื่องมือไฟฟ้าทางการแพทย์ (Medical electrical equipment) และมาตรฐาน International standard IEC 60601-2-2 ซึ่งเป็นข้อกำหนดเฉพาะด้านความปลอดภัยของเครื่องผ่าตัดโดยใช้ไฟฟ้า (High frequency surgical equipment) โดยสามารถสรุปเนื้อหาสำคัญ ในส่วนของเครื่องกำเนิดพลังงานไฟฟ้าความถี่สูงสำหรับการผ่าตัดได้ [3] ดังนี้

1. ความถี่ที่นำไปใช้ในการผ่าตัดผู้ป่วยต้องมีค่ามากกว่า 300 kHz
2. วงจรทางด้านนอกที่ส่งพลังงานไฟฟ้าไปสู่ผู้ป่วยต้องมีการแยกโดดทางไฟฟ้า (Electrical isolation)
3. วงจรทางด้านนอกต้องมีตัวเก็บประจุอนุกรมก่อนเข้าสู่ร่างกายผู้ป่วย เพื่อทำหน้าที่เป็นวงจรกรองผ่านต่ำ ลดปริมาณไฟฟ้ากระแสสลับความถี่ต่ำ (น้อยกว่า 300 kHz) เข้าสู่ร่างกายผู้ป่วย โดยตัวเก็บประจุต้องมีค่าไม่เกิน 5 nF สำหรับการใช้งานที่แพทย์สัมผัสตัวนำเพียงด้านเดียว (Unipolar) และไม่เกิน 50 nF สำหรับการใช้งานที่แพทย์สัมผัสตัวนำทั้งสองด้าน (Bipolar)
4. เครื่องผ่าตัดด้วยไฟฟ้าต้องสามารถรองรับสภาวะเปิดวงจร (Open circuit) หรือลัดวงจร (Short circuit) ได้โดยที่ไม่เกิดอันตรายต่อเครื่องผ่าตัดด้วยไฟฟ้า
5. กำลังไฟฟ้าสูงสุดทางด้านออกไปสู่ผู้ป่วย (Maximum power) มีค่าไม่ต่ำกว่าค่ากำลังที่ตั้งค่า หรือระบุไว้เกิน 5% (และไม่เกิน 10 W) โดยมาตรฐานไม่ได้ระบุบังคับปริมาณกระแสแรงดัน หรือกำลังสูงสุด และไม่ได้กำหนดย่านการทำงานของอิมพีแดนซ์ช่วงค่าต่างๆ ของเนื้อเยื่อ
6. กำลังไฟฟ้าทางด้านออกไปสู่ผู้ป่วยเฉลี่ยใน 1 วินาที ต้องมีค่าไม่เกิน 400 W ที่โหลดพิกัด โดยมาตรฐานไม่ได้ระบุบังคับค่าโหลดพิกัด

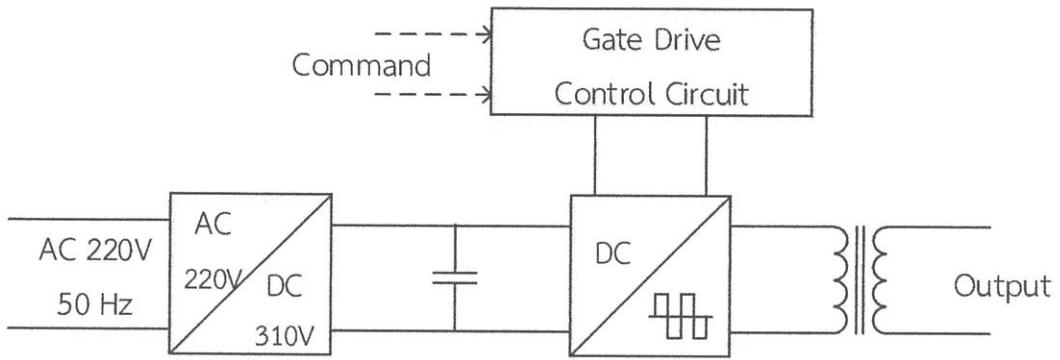
## 2.6 โครงสร้างของแหล่งจ่ายไฟฟ้าเพื่อการผ่าตัด

แหล่งจ่ายไฟฟ้าเพื่อการผ่าตัด โดยทั่วไปประกอบด้วยวงจร หรือส่วนประกอบสำคัญ ดังรูปที่ 2.7

จากบล็อกไดอะแกรมรูปที่ 2.7 เป็นส่วนประกอบของแหล่งจ่ายไฟฟ้าเพื่อการผ่าตัด ที่ทำการออกแบบสร้าง โดยการออกแบบก็จะมีส่วนประกอบที่สามารถแยกออกเป็นส่วนๆ ได้ดังนี้

1. วงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์ : (1 $\phi$  Bridge Rectifier)
2. วงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟสลับแบบกึ่งบริดจ์ : (Half-Bridge Inverter)
3. ชุดวงจรควบคุมสัญญาณขับเคลื่อน : (Gate Drive Control Circuit)
4. หม้อแปลงความถี่สูง : (High Frequency Transformer)
5. มีดหรือตัวนำไฟฟ้า : (Blade)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.7 โครงสร้างของแหล่งจ่ายไฟฟ้าเพื่อการผ่าตัด

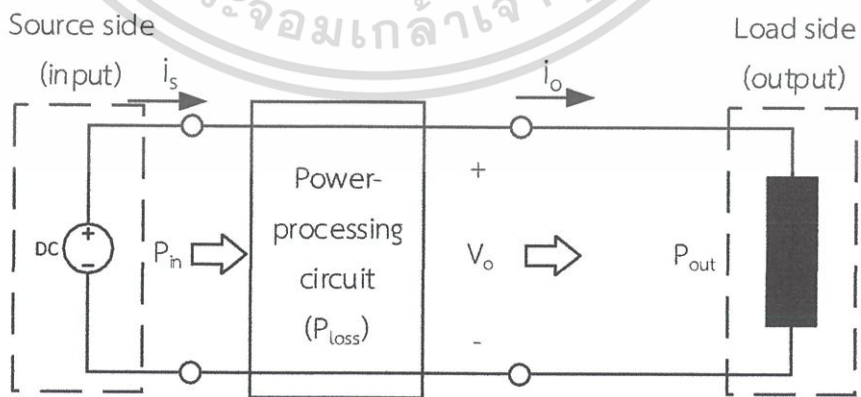
2.7 ทฤษฎีพื้นฐานทางด้านกำลังไฟฟ้า

พิจารณาจากรูปที่ 2.8 แสดงถึงการไหลของกำลังไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายไฟฟ้าไปยังโหลด ประสิทธิภาพของวงจรในรูปที่ 2.8 คำนวณได้จากสมการที่ (2.1) หรือ (2.2)

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \tag{2.1}$$

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{out} + P_{loss}} \times 100\% \tag{2.2}$$

ถ้าวงจรกำลังประกอบด้วยอุปกรณ์สวิตซ์ซึ่งอุดมคติไม่ว่าจะทำงานในสถานะ on หรือ off ก็จะไม่มีความสูญเสียเกิดขึ้นในส่วนของตัวอุปกรณ์ต่างๆ ในวงจร เช่น ตัวคาปาซิเตอร์ ตัวเหนี่ยวนำ และตัวหม้อแปลง ดังนั้นประสิทธิภาพทั้งหมดของวงจรที่ทำงานส่งผ่านกำลังก็จะมีค่าเต็ม 100% [5]



รูปที่ 2.8 การไหลของกำลังไฟฟ้าจากอินพุตไปเอาต์พุต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.7.1 กำลังไฟฟ้าชั่วขณะ

กำลังไฟฟ้าชั่วขณะ  $p(t)$  ที่ส่งไปให้โหลดนั้นคำนวณได้จากผลคูณของแรงดันชั่วขณะกับกระแสชั่วขณะที่ไหลผ่านโหลด ดังสมการที่ (2.3)

$$p(t) = v(t) \times i(t) \quad (2.3)$$

รูปคลื่นแรงดันและกระแสในรูปที่ 2.9 ทำให้เกิดกำลังไฟฟ้าขึ้นมาเป็นค่าบวก ค่าศูนย์ และค่าลบ ที่เวลาต่างๆ [5]



รูปที่ 2.9 กำลังไฟฟ้าที่ได้จากการรวมกันของกระแสและแรงดันที่เวลาต่างๆ

### 2.7.2 กำลังไฟฟ้าเฉลี่ย

ถ้ารูปคลื่นแรงดันและกระแสมีคาบเวลาซ้ำๆ กัน ดังนั้นกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยที่เกิดขึ้นในตัวอุปกรณ์ในวงจรไฟฟ้า จะหาได้จากสมการที่ (2.4) หรือ (2.5) [5]

$$P_{avg} = \frac{1}{T} \int_0^T p(t) dt \quad (2.4)$$

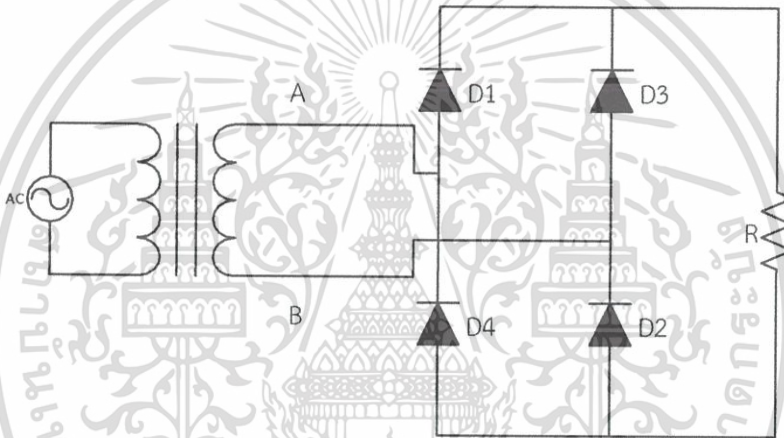
$$P_{avg} = \frac{1}{T} \int_0^T v(t) i(t) dt \quad (2.5)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.8 วงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์ (1 $\phi$ Bridge Rectifier)

วงจรเรียงกระแสหรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า เรกติไฟเออร์ (Rectifier) มีวัตถุประสงค์เพื่อแปลงผันกำลังไฟฟ้าจากไฟฟ้ากระแสสลับเป็นกระแสตรง โดยต้องการให้ได้แรงดันไฟฟ้าด้านออก มีความเป็นกระแสตรงมากที่สุด วงจรเรียงกระแสมีทั้งแบบที่เป็นแบบครึ่งคลื่นและแบบเต็มคลื่น แบบครึ่งคลื่นมักจะใช้เมื่อพิกัดกำลังไฟฟ้าที่โหลดมีค่าต่ำ อย่างไรก็ตามวงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่น จะมีกระแสไฟฟ้าเฉลี่ยด้านเข้ามีค่าไม่เป็นศูนย์ ทำให้เกิดปัญหาหม้อแปลงอิ่มตัวได้ง่าย ส่วนวงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่นจะนิยมใช้ในงานที่มีพิกัดกำลังสูง และมีค่ากระแสไฟฟ้าเฉลี่ยเป็นศูนย์ ทำให้เกิดการอิ่มตัวของหม้อแปลงที่ต่อกับวงจรด้านเข้ายากกว่าแบบครึ่งคลื่น [6]

วงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์ (Bridge Rectifier) เป็นอีกชนิดหนึ่งของวงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น (Full Wave) แรงดันไฟสลับจะต่อเข้ากับสองมุมของวงจรรีดิคและเอาต์พุตจะถูกนำออกทั้งสองมุมที่เหลือ ดังในรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 วงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์

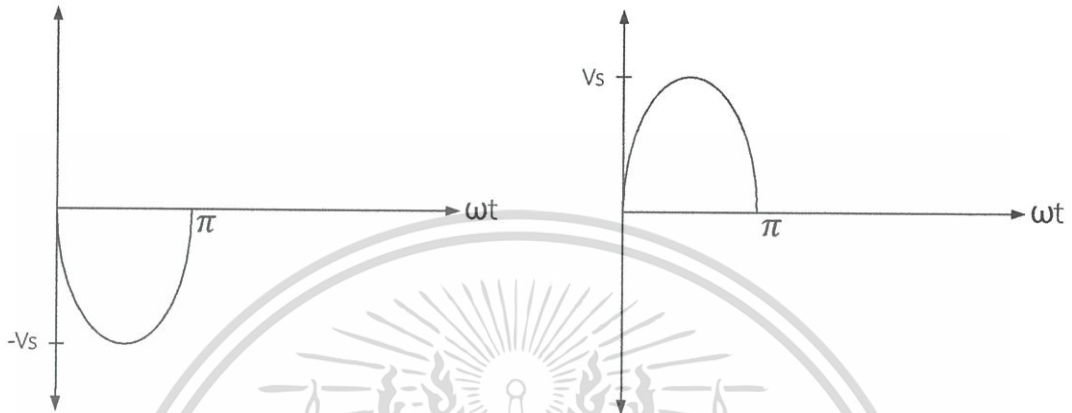
### 2.8.1 หลักการทำงานของวงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์

1. การทำงานของไดโอดจะนำกระแสเป็นคู่โดยไดโอด D1 และ D2 ทำงานคู่กัน และไดโอด D3 และ D4 ทำงานคู่กัน เป็นผลทำให้กระแสไฟฟ้าไหลเป็นบวกหรือเป็นศูนย์ ไม่มีโอกาสเป็นลบ ดังรูปที่ 2.11 (ก)
2. เมื่อไดโอด D1 และ D2 นำกระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้าตกคร่อมโหลดจะเท่ากับแรงดันไฟฟ้าของแหล่งจ่าย เมื่อไดโอด D3 และ D4 นำกระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้าตกคร่อมโหลดจะตรงกันข้ามกับแรงดันไฟฟ้าของแหล่งจ่าย คือเท่ากับ  $V_s$  ดังรูปที่ 2.11 (ข)
3. ค่าแรงดันไฟฟ้าไบอัสย้อนกลับสูงสุดที่ตกคร่อมไดโอด จะเท่ากับค่ายอดของแรงดันไฟฟ้าจากแหล่งจ่าย กล่าวคือเมื่อไดโอด D1 นำกระแสไฟฟ้า และแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมไดโอด D3 จะตรงกันข้ามกับแรงดันไฟฟ้าของแหล่งจ่าย
4. กระแสไฟฟ้าที่ไหลจากแหล่งจ่ายเข้าไปในวงจรรีดิคไดโอด คือ  $i_{D1}-i_{D4}$  ทำให้ค่ากระแสไฟฟ้าแหล่งจ่ายเฉลี่ยจะเป็นศูนย์

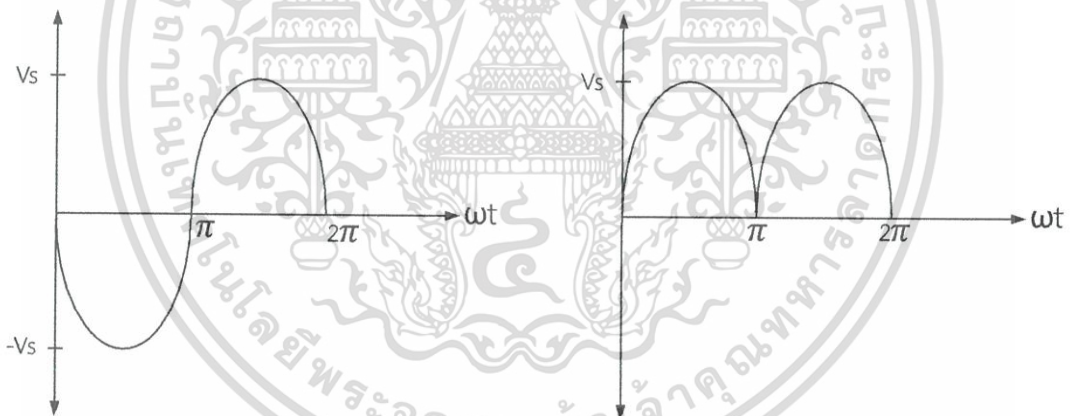
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ค่ารากของกำลังสองเฉลี่ยของกระแสไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายจะเท่ากับค่ารากของกำลังสองเฉลี่ยของกระแสไหล

6. ความถี่ของแรงดันไฟฟ้าด้านนอกเป็นสองเท่ากับความถี่ของแรงดันไฟฟ้าจากแหล่งจ่าย โดยที่แรงดันไฟฟ้าฮาร์มอนิกจะประกอบไปด้วยแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงและฮาร์มอนิกส์ลำดับคู่ [6]



(ก) การทำงานของวงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์เมื่ออินพุตเป็นซีกลบ



(ข) การทำงานของวงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์เมื่ออินพุตเป็นซีกบวก

รูปที่ 2.11 การทำงานของวงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์

### 2.8.2 ค่าพารามิเตอร์ในวงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น

แรงดันไฟฟ้าตกคร่อมโหลดตัวต้านทานสำหรับวงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่น มีค่าตามสมการที่ (2.6) ดังนี้

$$V_o(\omega t) = \begin{cases} V_m \sin(\omega t) & \text{สำหรับ } 0 \leq \omega t \leq \pi \\ -V_m \sin(\omega t) & \text{สำหรับ } \pi \leq \omega t \leq 2\pi \end{cases} \quad (2.6)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

องค์ประกอบแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงด้านออกจะหาได้จากค่าเฉลี่ยของสมการที่ (2.6) ดังนี้

$$V_o = V_{av} \frac{2}{2\pi} \int_0^\pi [V_m \sin(\omega t)] d(\omega t) = \frac{2V_m}{\pi} \quad (2.7)$$

$$I_o = \frac{V_o}{R} = \frac{2V_m}{\pi R} \quad (2.8)$$

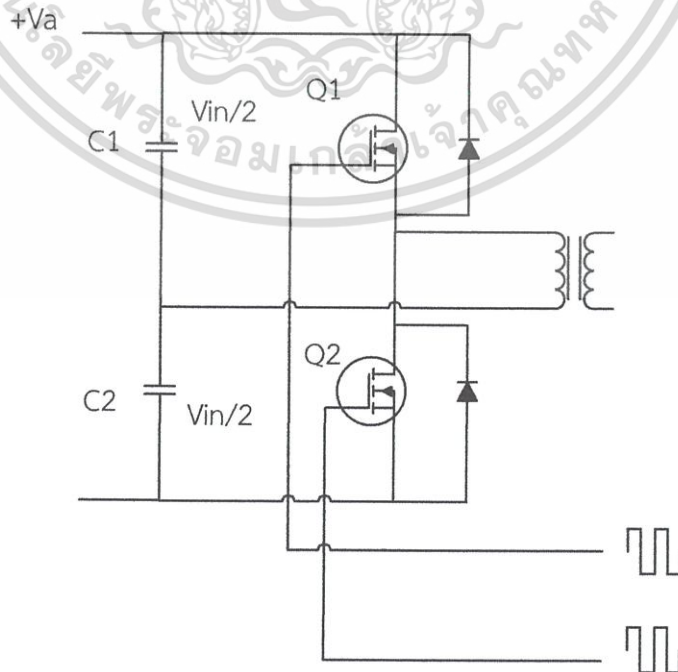
กำลังไฟฟ้าที่โหลดตัวต้านทานจะมีค่าเท่ากับ  $P_o = I_{rms}^2 R$  โดยค่ารากกำลังสองเฉลี่ยของกระแสสำหรับวงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่นจะเป็นสัญญาณไซน์ ทำให้มีค่าดังสมการที่ (2.9) และค่ารากกำลังสองเฉลี่ยของแรงดันมีค่าดังสมการที่ (2.10) [6]

$$I_{rms} = \frac{I_m}{\sqrt{2}} \quad (2.9)$$

$$V_{rms} = \frac{V_m}{\sqrt{2}} \quad (2.10)$$

## 2.9 วงจรอินเวอร์เตอร์

ในโครงการนี้ได้เลือกใช้วงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าอินเวอร์เตอร์แบบกึ่งบริดจ์ (Half-bridge Inverter) เนื่องจากลักษณะการจัดวางของวงจรอินเวอร์เตอร์แบบกึ่งบริดจ์ จะทำให้มอสเฟตภายในวงจรมีแรงดันตกคร่อมขณะหยุดนำกระแสมีค่าเพียงแรงดันอินพุตเท่านั้น โดยวงจรจะมีการใช้สวิตช์กำลังแค่สองชุด จึงง่ายต่อการควบคุมการนำสวิตช์การทำงานของวงจร [7] มีวงจรพื้นฐานการทำงานดังแสดงในรูปที่ 2.12



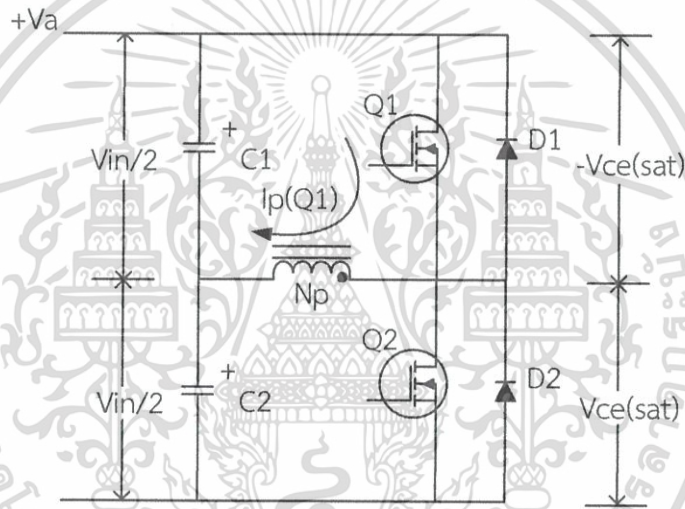
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับรูปที่ 2.12 วงจรอินเวอร์เตอร์แบบกึ่งบริดจ์ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อินเวอร์เตอร์แบบกึ่งบริดจ์ จะมีลักษณะดังรูป คือจะมีตัวเก็บประจุสองตัวลำดับกัน อยู่ระหว่างแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงและหากกำหนดให้ค่าตัวเก็บประจุสองตัวมีค่าเท่ากัน จะทำให้แรงดันไฟฟ้าตกคร่อมตัวเก็บประจุแต่ละตัวมีค่าเท่ากันคือ  $V_{in} / 2$

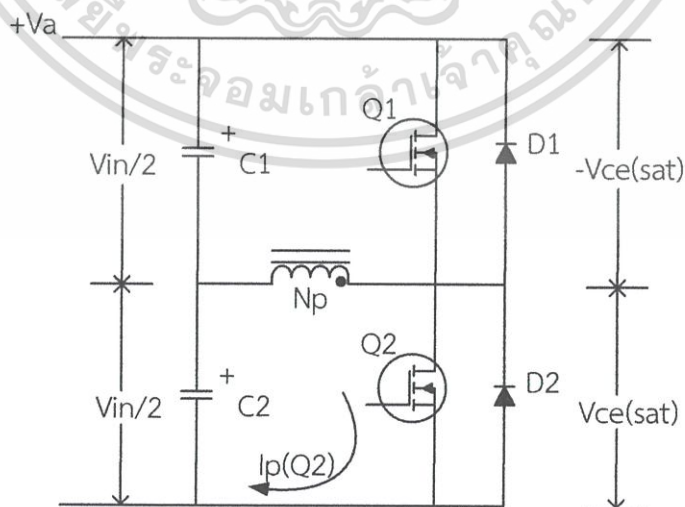
### 2.9.1 หลักการทำงานของวงจรอินเวอร์เตอร์แบบกึ่งบริดจ์

ในรูปที่ 2.13 เป็นสภาวะการทำงานของวงจรอินเวอร์เตอร์แบบกึ่งบริดจ์ ในสภาวะ ช่วงการทำงานขณะที่ Q1 และขณะที่ Q2 นำกระแส ซึ่งสามารถอธิบายการทำงานได้ดังนี้

จากวงจรตัวเก็บประจุ C1 และ C2 กำหนดให้มีค่าเท่ากัน และต่ออนุกรมกันอยู่ ทางด้านอินพุตเพื่อแบ่งครึ่งแรงดัน แรงดันที่ตกคร่อม C1 และ C2 จึงมีค่าเท่ากับครึ่งหนึ่งของแรงดัน ที่อินพุต มอสเฟต Q1 และ Q2 จะสลับการทำงานคนละครึ่งคาบเวลา โดยปลายของขดไฟโรมารี  $N_p$  ต่อเข้ากับจุดต่อระหว่างตัวเก็บประจุ C1 และ C2 [7]



(ก) ขณะที่ Q1 นำกระแส



(ข) ขณะที่ Q2 นำกระแส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ส่งรูปที่ 2.13 สภาวะช่วงการทำงานขณะที่ Q1 และ Q2 นำกระแส ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ Q1 เริ่มนำกระแส และ Q2 หยุดนำกระแส แรงดันตกคร่อม Q2 จะมีค่าเท่ากับ  $V_{in(sat)}$  ส่วนแรงดันตกคร่อมของขดไพรมารี  $N_p$  จะมีค่าเท่ากับ  $V_{C1} - V_{CE(sat)}$  หรือมีค่าเท่ากับ  $V_{in} / 2 - V_{CE(sat)}$  นั่นเอง ในทำนองเดียวกัน เมื่อ Q2 นำกระแส และ Q1 หยุดนำกระแส แรงดันตกคร่อม Q1 จะมีค่าเท่ากับ  $V_{in} - V_{CE(sat)}$  แรงดันตกคร่อมที่ขดไพรมารี  $N_p$  ก็ยังมีค่าเท่ากับ  $V_{in} / 2 - V_{CE(sat)}$  เนื่องจาก  $V_{CE(sat)}$  มีค่าประมาณ 0.5-1 โวลต์ ดังนั้นจะเห็นได้ว่า แรงดันตกคร่อม Q1 และ Q2 ขณะหยุดนำกระแสจะมีค่าเท่ากับแรงดันอินพุตเท่านั้น [7]

### 2.9.2 คอมมิวเตตติ้งไดโอด D1 และ D2

จากรูปที่ 2.13 จะเห็นว่า D1 และ D2 ที่ต่อคร่อมมอสเฟต Q1 และ Q2 อยู่ ไดโอดทั้งสองตัวนี้เรียกว่า คอมมิวเตตติ้งไดโอด (Commutating Diode) มีหน้าที่ 2 อย่างคือ ป้องกันการเกิดแรงดันสไปค์ ในขณะที่มอสเฟตเริ่มหยุดนำกระแสเนื่องจากค่าความเหนี่ยวนำแฝงในหม้อแปลง โดยพลังงานที่สะสมอยู่ในตัวเหนี่ยวนำแฝงนี้ จะถูกถ่ายเทออกไปยังภาคอินพุตของหม้อแปลงด้วยคอมมิวเตตติ้งไดโอด จึงไม่ทำให้เกิดแรงดันสไปค์เมื่อมอสเฟตเริ่มหยุดนำกระแสและในขณะที่มอสเฟต Q1 เริ่มหยุดนำกระแสขดไพรมารี  $N_p$  จะมีการกลับขั้วแรงดันเกิดขึ้นถ้าไม่มีคอมมิวเตตติ้งไดโอด Q2 ก็จะได้รับแรงดันตกคร่อมที่คอลเล็กเตอร์เป็นลบ ในขณะที่ Q1 ก็จะมีแรงดันตกคร่อมมากกว่า  $V_{in}/2$  ในกรณีนี้ไดโอด D2 จะอยู่ในลักษณะถูกไบอัสตรง จากแรงดันไพรมารีและลดค่าแรงดันนี้ไปในทำนองเดียวกันเมื่อ Q2 เริ่มหยุดนำกระแส ไดโอด D1 จะทำหน้าที่เช่นเดียวกันเพื่อเป็นการป้องกันมอสเฟตไม่ให้เกิดความเสียหาย

ไดโอดที่นำมาใช้เป็นคอมมิวเตตติ้งไดโอด D1 และ D2 ต้องเป็นชนิดฟื้นตัวเร็ว หรือ ฟาสต์รีคัฟเวอรีไดโอด และต้องทนแรงดันย้อนกลับได้อย่างน้อย 2 เท่าของแรงดันตกคร่อมมอสเฟต ขณะหยุดนำกระแส ค่าเวลาเพื่อ  $t_D$  สำหรับวงจรถออินเวอร์เตอร์แบบกึ่งบริดจ์ ค่าเวลาเพื่อ  $t_D$  เพื่อจำกัดช่วงเวลานำกระแสสูงสุด  $t_{ON(max)}$  ของมอสเฟต Q1 และ Q2 เป็นสิ่งสำคัญมากในวงจรถออินเวอร์เตอร์แบบกึ่งบริดจ์ จะเห็นว่าการต่อกันอยู่ในวงจรถอของ Q1 และ Q2 ถ้าหาก Q1 และ Q2 นำกระแสพร้อมกันจะเกิดการลัดวงจรของแรงดันด้านอินพุตทันที ซึ่งเป็นอันตรายต่อมอสเฟตและอุปกรณ์อื่นๆ ในวงจรถอ ดังนั้นช่วงเวลานำกระแสสูงสุดของ Q1 และ Q2 จะต้องถูกจำกัดด้วยค่าเวลาเพื่อ  $t_D$  เช่นเดียวกับวงจรถอชุก-พูลคอนเวอร์เตอร์ โดยอาจกำหนดไว้ที่ 20% ของครึ่งหนึ่งของคาบเวลา ดังนั้น

$$t_{ON(max)} = 0.4T \quad (2.11)$$

การคำนวณหาแรงดันเอาต์พุต สามารถหาได้จากสมการที่ (2.12) โดยจะเหมือนกับวงจรถอชุก-พูลคอนเวอร์เตอร์ แต่ในกรณีวงจรถออินเวอร์เตอร์แบบกึ่งบริดจ์ แรงดันตกคร่อมขดไพรมารี  $N_p$  จะมีค่าเท่ากับ  $V_{in} / 2 - V_{CE(sat)}$  ดังนั้นแรงดันเอาต์พุตจึงเป็น

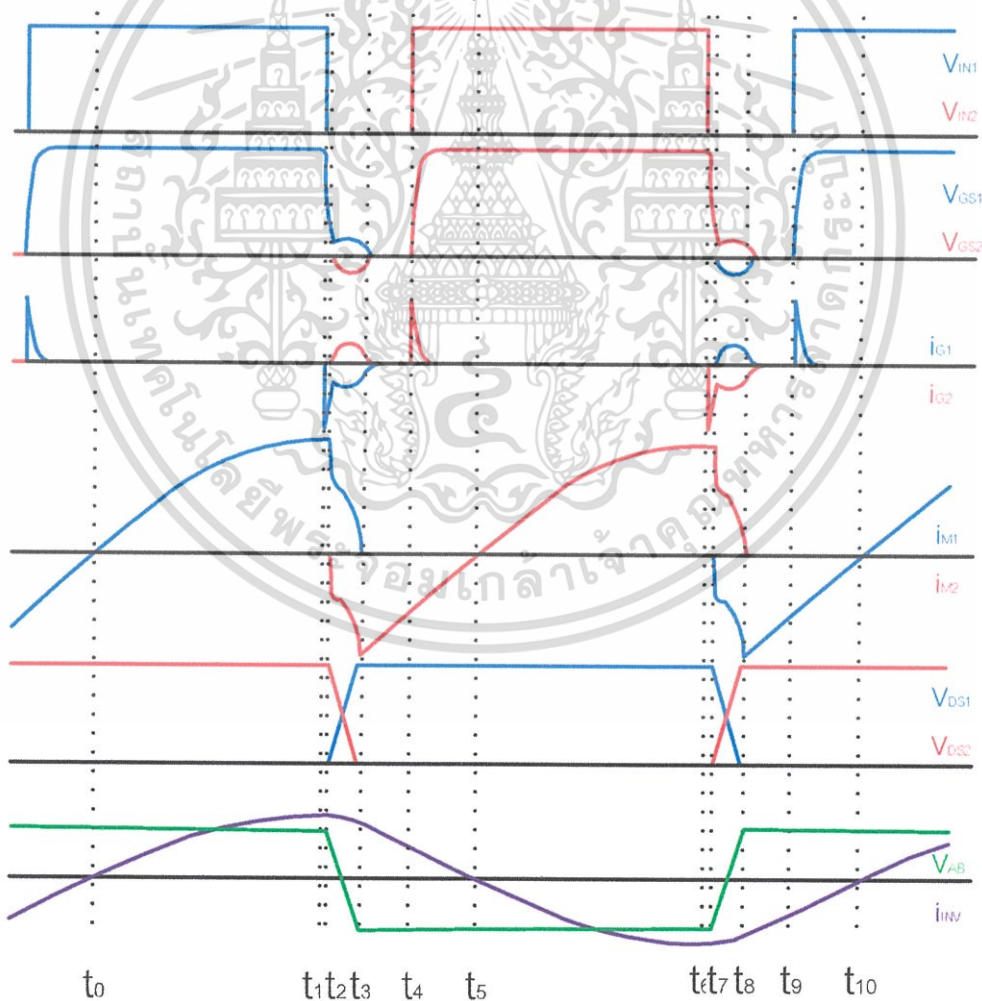
$$V_o = \left( \frac{N_s}{N_p} \right) \left( V_{in} / 2 - V_{CE(sat)} \right) \left( \frac{t_{ON}}{T/2} \right) - V_D \quad (2.12)$$

กระแสสูงสุดที่ไหลผ่าน Q1 และ Q2 การคำนวณกระแสสูงสุด  $I_{p(PK)}$  สามารถคำนวณได้ตามสมการที่ (2.13) โดยจะเหมือนกับวงจรพุ่ม-พูลคอนเวอร์เตอร์ แต่เนื่องจากแรงดันที่ตกคร่อมขดไพรมารีมีค่าเพียงครึ่งหนึ่งของแรงดันอินพุต [7]

$$I_{p(PK)} = \frac{P_{out} T}{\eta V_{in(min)} t_{on(max)}} + \left( \frac{V_{in(min)}}{2} - V_{CE(sat)} \right) \frac{t_{on(max)}}{L_p} \quad (2.13)$$

### 2.9.3 โหมดการทำงานของวงจรอินเวอร์เตอร์

พิจารณาลักษณะการทำงานในสถานะอยู่ตัวของวงจรขับนำที่สวิตช์ทำงานในภาคแรงดันศูนย์ (ZVS) ดังรูปที่ 2.14 อธิบายรูปคลื่นของกระแสและแรงดันต่างๆ ของวงจรอินเวอร์เตอร์แบบกึ่งบริดจ์ โดยแบ่งจุดการทำงานแต่ละช่วงเวลาออกเป็น 10 ช่วง ซึ่งรูปวงจรในแต่ละช่วงเวลามีลักษณะดังรูปที่ 2.15 [2]



รูปที่ 2.14 สัญญาณแรงดันและกระแสของอินเวอร์เตอร์ในช่วงเวลาต่างๆ [2]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ช่วงเวลา $t_0 < t < t_1$ (M1 นำกระแส)

ที่เวลา  $t_0$  ไดโอดขนาน BD1 ภายใน MOSFET M1 นำกระแส สังเกตได้จากกระแส  $i_{M1}$  เป็นลบ และมีแรงดัน  $V_{GS1}$  ซึ่งมีค่าเท่ากับสัญญาณนำขับ  $V_{IN1}$  แต่ยังไม่มีการไหลผ่าน ที่เวลา  $t_0$  กระแสในวงจรโหลด  $i_{INV}$  จะเปลี่ยนทิศทางการไหลเป็นบวกกระแสในโหลดจึงย้ายจากไดโอดขนาน BD1 มายังสวิตช์ M1 จะเห็นได้ว่า M1 จะเริ่มนำกระแสขณะที่แรงดันเป็นศูนย์ (ZVS) โดยรูปวงจรถูกแสดงในรูป 2.15 (ก)

### ช่วงเวลา $t_1 < t < t_2$ (M1 คายประจุสะสม, แรงดัน $V_{GS1}$ เริ่มมีค่าลดลง)

ที่เวลา  $t_1$  สัญญาณขับนำ ( $V_{IN1}$ ) เปลี่ยนสถานะจากการขับนำเป็นการหยุดขับนำ สวิตช์ M1 มีการคายประจุสะสมที่เกิด สังเกตได้จาก  $i_{G1}$  มีค่าเป็นลบ ทำให้แรงดัน  $V_{GS1}$  ที่สวิตช์ M1 เริ่มมีค่าลดลงแต่กระแส  $i_{INV}$  ยังคงไหลผ่านสวิตช์ M1 ต่อไป โดยแรงดัน  $V_{GS1}$  จะลดลงจนมีค่าเท่ากับแรงดัน Threshold ของ MOSFET ( $V_{TH}$ ) ที่เวลา  $t_2$  โดยรูปวงจรถูกแสดงในรูป 2.15 (ข)

### ช่วงเวลา $t_2 < t < t_3$ (M1 เริ่มจะหยุดนำกระแส)

ที่เวลา  $t_2$  เมื่อ  $V_{GS1}$  มีค่าเท่ากับ  $V_{TH}$  กระแสผ่าน FET เริ่มลดลงสังเกตได้จากกระแสผ่านสวิตช์  $i_{M1}$  ซึ่งมีค่าน้อยกว่ากระแสในตัวต้านทานของวงจรโหลด ( $i_{INV}$ ) กระแสในตัวต้านทานของวงจรโหลดส่วนเกินจะไหลผ่านตัวเก็บประจุระหว่างเกตกับเดรน ( $C_{GD}$ ) และตัวเก็บประจุระหว่างเดรนกับซอส ( $C_{DS}$ ) ของทั้ง M1 และ M2 ช่วงเวลานี้ M1 จะทำงานในย่านกระแสอิ่มตัว จนกระทั่งเวลา  $t_3$   $C_{GD1}$  และ  $C_{DS1}$  ถูกประจุจนทำให้แรงดันตกคร่อมสวิตช์ ( $V_{DS1}$ ) มีค่าประมาณเท่ากับ  $V_{DC}$  ขณะที่  $V_{DS2}$  มีค่าเท่ากับ 0 V และแรงดันออกของอินเวอร์เตอร์  $V_{AB}$  หรือ  $V_{INV}$  มีค่าเท่ากับ  $-V_{DC}/2$  โดยรูปวงจรถูกแสดงในรูป 2.15 (จ)

### ช่วงเวลา $t_3 < t < t_4$ (M1 หยุดนำกระแส, BD2 นำกระแส)

ที่เวลา  $t_3$  แรงดัน  $V_{GS1}$  เริ่มมีค่าต่ำกว่า  $V_{TH}$  จากการคายประจุสะสมที่เกิด ทำให้ M1 หยุดนำกระแส ดังนั้นกระแส  $i_{INV}$  จะย้ายไปไหลผ่านไดโอดขนาน BD2 ซึ่งเป็นการคืนพลังงานจากโหลดสู่แหล่งจ่ายไฟตรง โดยรูปวงจรถูกแสดงในรูป 2.15 (ค)

### ช่วงเวลา $t_4 < t < t_5$ (BD2 นำกระแส, M2 สะสมประจุ)

ที่เวลา  $t_4$  เริ่มมีสัญญาณขับนำ  $V_{IN2}$  และมีการสะสมประจุที่ M2 แต่กระแส  $i_{INV}$  ยังคงไหลผ่าน BD2 โดยรูปวงจรถูกแสดงในรูป 2.15 (ค)

### ช่วงเวลา $t_5 < t < t_6$ (M2 นำกระแส)

ที่เวลา  $t_5$  กระแส  $i_{INV}$  เปลี่ยนทิศทางการไหลเป็นลบกระแสที่ไหลผ่าน BD2 จะย้ายมาไหลผ่านสวิตช์ M2 สังเกตว่า M2 ต่อวงจรขณะที่แรงดันคร่อมสวิตช์เป็นศูนย์ (ZVS) โดยรูปวงจรถูกแสดงในรูป 2.15 (ข)

### ช่วงเวลา $t_6 < t < t_7$ (M2 คายประจุสะสม, แรงดัน $V_{GS2}$ เริ่มมีค่าลดลง)

ที่เวลา  $t_6$  สัญญาณขับนำ ( $V_{IN2}$ ) เปลี่ยนสถานะจากการขับนำเป็นการหยุดขับนำ สวิตช์ M2 มีการคายประจุสะสมที่เกิด สังเกตได้จาก  $i_{G2}$  มีค่าเป็นลบ ทำให้แรงดัน  $V_{GS2}$  ที่สวิตช์ M2 เริ่มมีค่าลดลง แต่กระแส  $i_{INV}$  ยังคงไหลผ่านสวิตช์ M2 ต่อไป โดยแรงดัน  $V_{GS2}$  จะลดลงจนมีค่าเท่ากับ ( $V_{TH}$ ) ที่เวลา  $t_7$  โดยรูปวงจรถูกในช่วงนี้จะเป็นดังรูป 2.15 (ง)

### ช่วงเวลา $t_7 < t < t_8$ (M2 เริ่มจะหยุดนำกระแส)

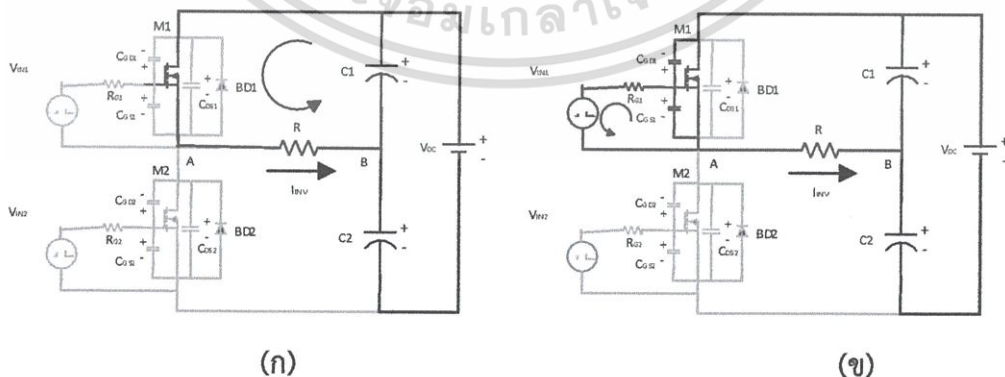
ที่เวลา  $t_7$  เมื่อ  $V_{GS2}$  มีค่าเท่ากับ  $V_{TH}$  กระแส  $i_{M2}$  เริ่มลดลงโดยมีค่าน้อยกว่ากระแส  $i_{INV}$  ซึ่งกระแสวงจรถูกไหลลดส่วนเกินนี้จะไหลผ่าน  $C_{GD}$  และ  $C_{DS}$  ของทั้ง M1 และ M2 ช่วงเวลานี้แรงดัน  $V_{GS2}$  มีค่าเท่ากับ  $V_{Miller}$  โดยประมาณ จนกระทั่งที่เวลา  $t_8$   $C_{GD2}$  และ  $C_{DS2}$  ถูกประจุจนทำให้แรงดัน  $V_{DS2}$  มีค่าเท่ากับ  $V_{DC}$  ขณะที่  $V_{DS1}$  มีค่าเท่ากับ 0 V และแรงดันออกของอินเวอร์เตอร์  $V_{AB}$  หรือ  $V_{INV}$  มีค่าเท่ากับ  $V_{DC}/2$  โดยรูปวงจรถูกในช่วงนี้จะเป็นดังรูป 2.15 (จ)

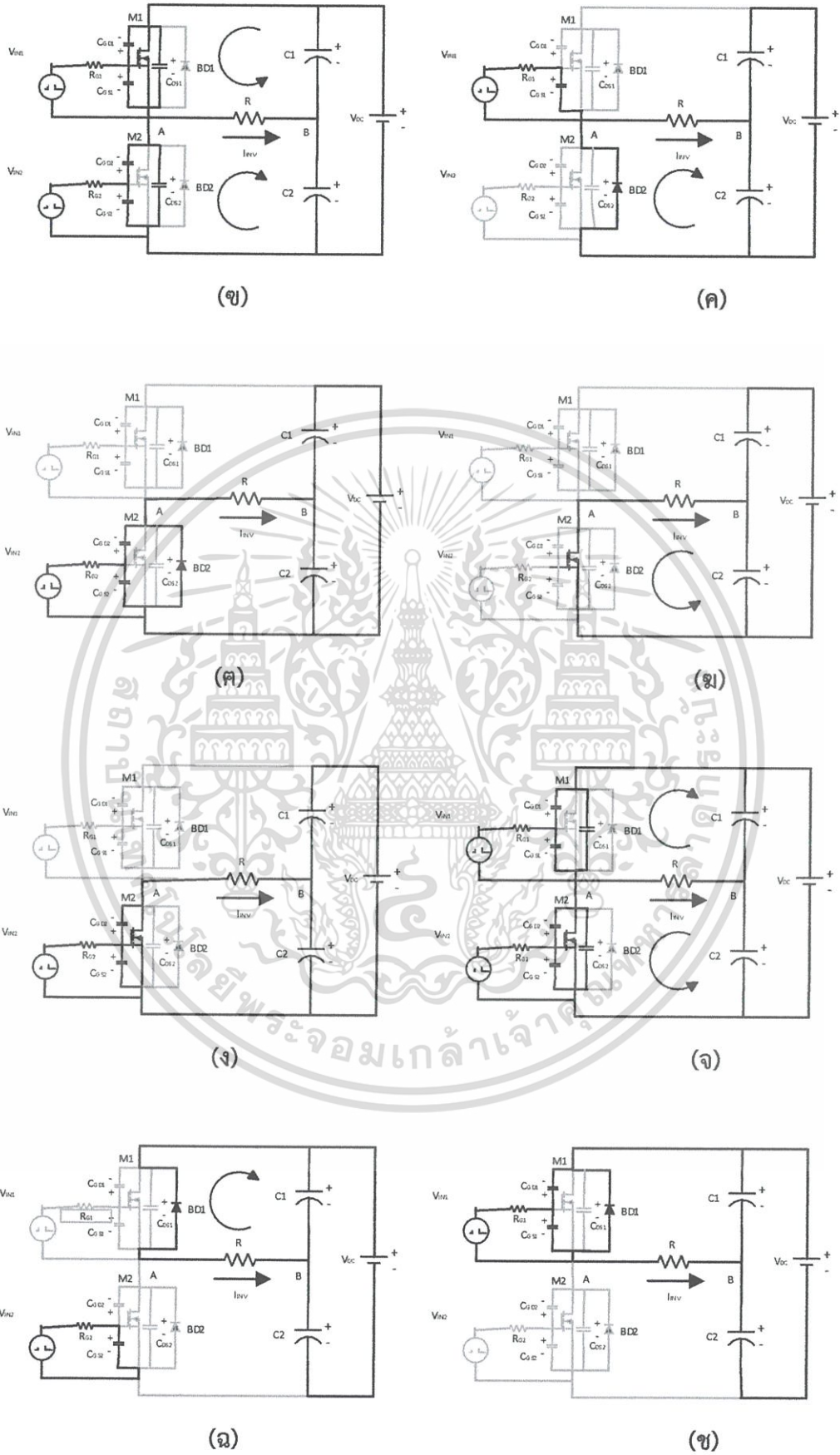
### ช่วงเวลา $t_8 < t < t_9$ (M2 หยุดนำกระแส, BD1 นำกระแส)

ที่เวลา  $t_8$  แรงดัน  $V_{GS2}$  เริ่มมีค่าต่ำกว่า  $V_{TH}$  จากการคายประจุสะสมที่เกิด ทำให้ M2 หยุดนำกระแส ดังนั้นกระแส  $i_{INV}$  จะย้ายไปไหลผ่าน BD1 ซึ่งเป็นการคืนพลังงานจากโหลดสู่แหล่งจ่ายไฟตรง โดยรูปวงจรถูกในช่วงนี้จะเป็นดังรูป 2.15 (ฉ)

### ช่วงเวลา $t_9 < t < t_{10}$ (M1 สะสมประจุ)

ที่เวลา  $t_9$  เริ่มมีสัญญาณขับนำ  $V_{IN1}$  และมีการสะสมประจุที่ M1 แต่กระแส  $i_{INV}$  ยังคงไหลผ่าน BD1 โดยรูปวงจรถูกในช่วงนี้จะเป็นดังรูป x.xx (ข) โดยเมื่อเวลา  $t_{10}$  กระแสไหลจะลดลงเป็นศูนย์ จึงเป็นเวลาเดียวกับ  $t_0$  ในคาบแรกของการทำงานตามที่ได้อธิบายการทำงานเอาไว้ และการทำงานของวงจรถูกขับนำสวิตช์ในคาบถัดไปจะมีลักษณะการทำงานเหมือนเดิม โดยเวลา  $t_{10}$  ของคาบที่ 1 จะตรงกับเวลา  $t_0$  ของคาบถัดไป และการทำงานจะเกิดในลักษณะที่ซ้ำกันไปเรื่อยๆ

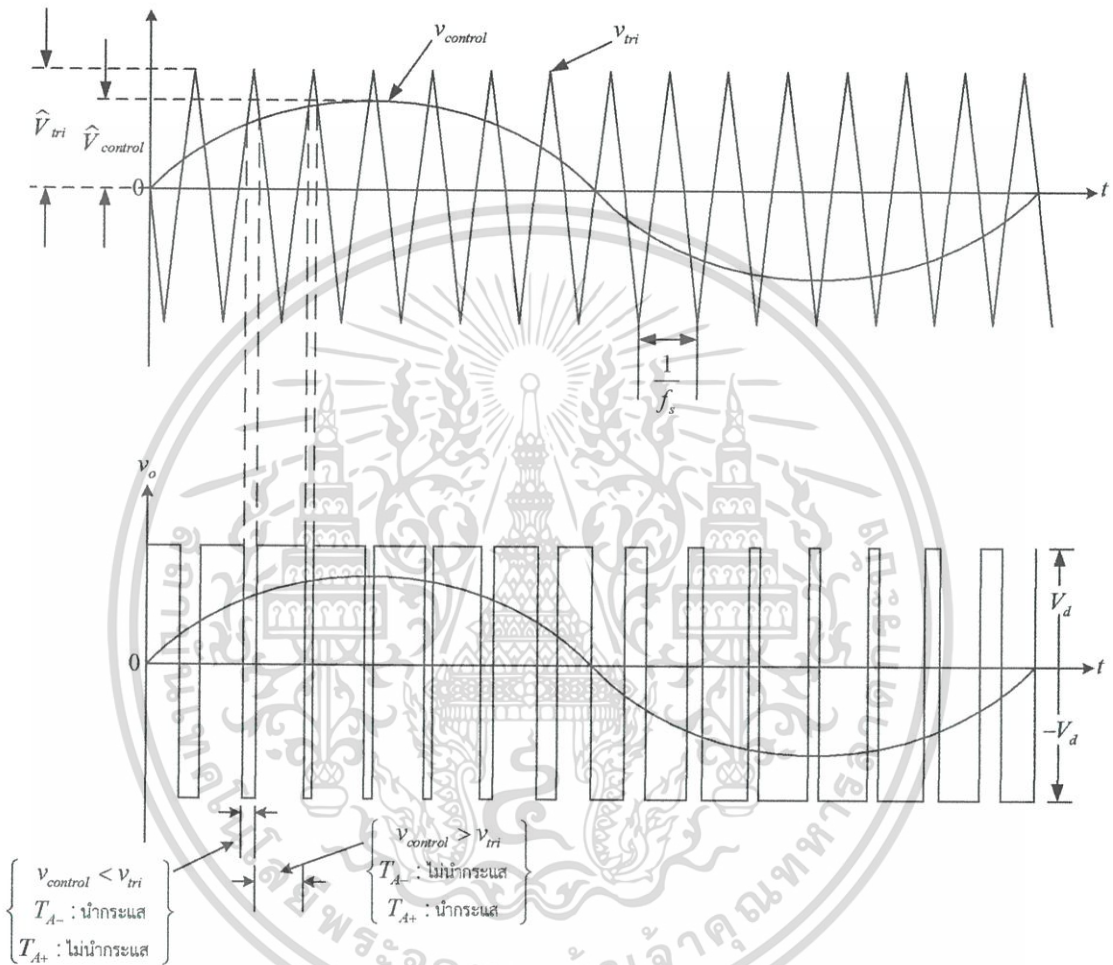




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้รูปที่ 2.15 โหมดการทำงานในช่วงระยะเวลาต่างๆ [2] ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.10 การสวิตชิงแบบพีดับเบิลยูเอ็ม

ในวงจรอินเวอร์เตอร์ ต้องการจะสร้างแรงดันไฟฟ้าด้านออกเป็นรูปไซน์ที่สามารถปรับขนาดและความถี่ตามต้องการได้ โดยจะใช้สัญญาณควบคุมรูปไซน์ (Sinusoidal control signal) ตามความถี่ที่ต้องการ นำมาเปรียบเทียบกับรูปคลื่นสามเหลี่ยม (Triangular waveform) ดังในรูปที่ 2.16 ความถี่ของการสวิตชิง ( $f_s$ ) จะเท่ากับความถี่ของรูปคลื่นสามเหลี่ยม [6]



รูปที่ 2.16 การสร้างสัญญาณสวิตชิงแบบพีดับเบิลยูเอ็ม [6]

คำย่อและความหมายที่สำคัญของการสวิตชิงแบบพีดับเบิลยูเอ็ม มีดังต่อไปนี้

$v_{control}$	คือ	สัญญาณควบคุมรูปไซน์ที่ต้องการนำมาสร้างแรงดันไฟฟ้าและความถี่ทางด้านออก
$v_{tri}$	คือ	สัญญาณรูปสามเหลี่ยมที่เป็นตัวกำหนดความถี่สวิตชิง
$f_1$	คือ	ความถี่หลักมูลทางด้านออกของอินเวอร์เตอร์
$f_s$	คือ	ความถี่ของการสวิตชิงของอินเวอร์เตอร์
$m_a$	คือ	อัตรากรมอดูเลตด้านแอมพลิจูด
$m_f$	คือ	อัตรากรมอดูเลตด้านความถี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$\hat{V}_{control}$  คือ ค่ายอดของสัญญาณควบคุมรูปไซน์  
 $\hat{V}_{tri}$  คือ ค่ายอดของสัญญาณรูปสามเหลี่ยม

ค่า  $m_a$  และ  $m_f$  จะนิยามจากสมการที่ (2.14) และ (2.15) ตามลำดับ

$$m_a = \frac{\hat{V}_{control}}{\hat{V}_{tri}} \quad (2.14)$$

$$m_f = \frac{f_s}{f_1} \quad (2.15)$$

ถ้าค่า  $0 \leq m_a \leq 1$  จะเป็นช่วงการมอดูเลตเชิงเส้น ซึ่งหมายถึงองค์ประกอบหลักมูลของแรงดันไฟฟ้าด้านออก (Fundamental-frequency component of The output voltage)

ในกรณี  $m_a > 1$  จะเป็นช่วงการควบคุมแบบโอเวอร์มอดูเลต ซึ่งผลของแรงดันไฟฟ้าด้านออกจะมีองค์ประกอบฮาร์โมนิกสูงกว่าช่วงการมอดูเลตเชิงเส้น สำหรับเงื่อนไขของการสร้างสัญญาณสวิตชิ่งแบบพีดับเบิลยูเอ็ม คือ

$$v_{control} > v_{tri}, \quad T_{A+} \text{ จะนำกระแส} \quad v_{Ao} = \frac{1}{2} V_d \quad (2.16)$$

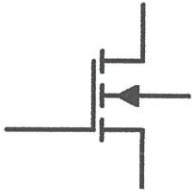
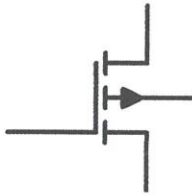
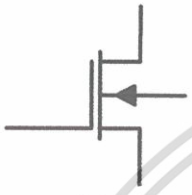
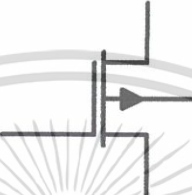
$$v_{control} < v_{tri}, \quad T_{A-} \text{ จะนำกระแส} \quad v_{Ao} = -\frac{1}{2} V_d \quad (2.17)$$

การทำงานของสวิตช์  $T_{A+}$  และ  $T_{A-}$  จะขึ้นอยู่กับผลการเปรียบเทียบของ  $v_{control}$  กับ  $v_{tri}$  โดยจะมีเงื่อนไขตามสมการที่ (2.16) และ (2.17) และจะไม่ขึ้นกับทิศทางของกระแส [6]

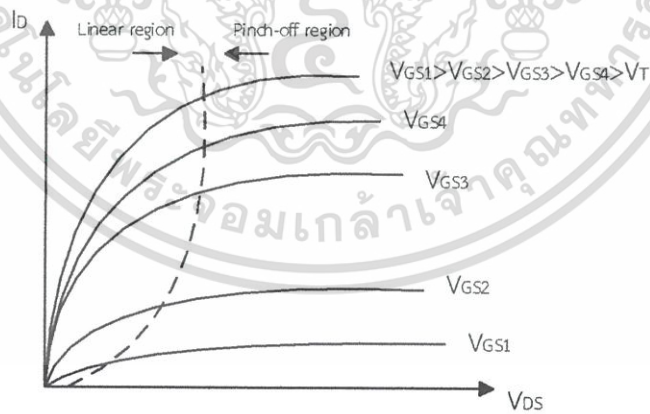
## 2.11 มอสเฟตกำลัง (Metal-Oxide Semiconductor Field-Effect Transistor)

มอสเฟตกำลังแบ่งตามชนิดการทำงานได้ 2 ชนิด คือ ชนิดเอนฮานซ์เมตต์มอสเฟต (Enhancement MOSFET) หรือเรียกว่า (E-MOSFET) และชนิดดีพลีชันมอสเฟต (Depletion MOSFET) หรือเรียกว่า (D-MOSFET) ซึ่งแต่ละชนิดจะแบ่งออกได้อีกเป็น ชนิด N-Channel หรือ NMOS และ P-Channel หรือ PMOS ซึ่งโครงสร้างของ NMOS และ PMOS จะมีโครงสร้างตรงข้ามกัน [8] ดังแสดงไว้ในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 สัญลักษณ์ของมอสเฟตชนิด Enhancement และมอสเฟตชนิด Depletion [8]

NMOS	PMOS	MODE
 (ก)	 (ข)	Enhancement
 (ค)	 (ง)	Depletion

เมื่อต้องการให้มอสเฟตกำลังนำกระแสอย่างต่อเนื่อง จะต้องมีการป้อนแรงดันไฟฟ้าระหว่างขาเกตกับขาซอส ( $V_{GS}$ ) อย่างต่อเนื่อง ช่วงเวลาการสวิตช์ซึ่งของมอสเฟตกำลังจะมีค่าอยู่ระหว่างหลักสิบของนาโนวินาทีถึงหลักร้อยนาโนวินาที ซึ่งจะขึ้นอยู่กับชนิดและขนาดพิกัดของมอสเฟตกำลัง ความสัมพันธ์ของกระแสเดรนและแรงดันที่ขาเดรนกับขอสของมอสเฟตกำลัง ดูได้จากรูปที่ 2.17



รูปที่ 2.17 ความสัมพันธ์ของกระแสเดรน และแรงดันที่ขาเดรนกับขอสของมอสเฟตกำลัง

ความต้านทานระหว่างขาเดรนกับขาซอส  $R_{DS(on)}$  จะขึ้นอยู่กับพิกัดการทำงานของแรงดันไฟฟ้า หากทนแรงดันไฟฟ้าได้สูงก็ยิ่งทำให้ค่าความต้านทานระหว่างขาเดรนกับขาซอสมีค่ามากขึ้น ซึ่งจะมีผลต่อกำลังสูญเสียจากการนำกระแส (Conduction Losses) เช่น มอสเฟตกำลังมีค่าพิกัดการทำงานของแรงดันไฟฟ้า 1,000 โวลต์ จะมีค่าความต้านทานระหว่างขาเดรนกับขาซอสมากกว่าเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มอสเฟตกำลังมีค่าพิกัดการทำงานของแรงดันไฟฟ้า 200 โวลต์ ดังนั้นการสูญเสียจากการนำกระแสของมอสเฟตกำลังที่ทนได้ 1,000 โวลต์ จะมีกำลังสูญเสียจากการนำกระแสมากกว่าของมอสเฟตกำลังที่ทนแรงดันไฟฟ้าได้ 200 โวลต์

ความต้านทานระหว่างขาเดรนกับขาซอสของมอสเฟตกำลัง จะมีค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิเป็นบวก คือเมื่ออุณหภูมิมากขึ้นความต้านทานก็จะมากขึ้น มอสเฟตกำลังจะสามารถนำมาต่อขนานกันได้ง่ายหากต้องการใช้งานที่ต้องการกระแสไฟฟ้าสูงขึ้น ทั้งนี้มอสเฟตกำลังจะต้องมีคุณสมบัติต่างๆ เหมือนกันมากที่สุดจึงจะนำมาต่อขนานกันได้

ในปัจจุบันมอสเฟตกำลังมีค่าพิกัดการทำงานของแรงดันไฟฟ้าได้มากกว่า 1,000 โวลต์ แต่มีพิกัดกระแสไฟฟ้าได้ไม่เกิน 100 แอมแปร์ แต่จุดเด่นที่สุดของมอสเฟตกำลังคือการมีความถี่ของการสวิตช์มีค่ามากถึงหลักหลายร้อยกิโลเฮิร์ตซ์ [6] สำหรับรูปร่างทั่วไปของมอสเฟตกำลังแสดงดังรูปที่ 2.18



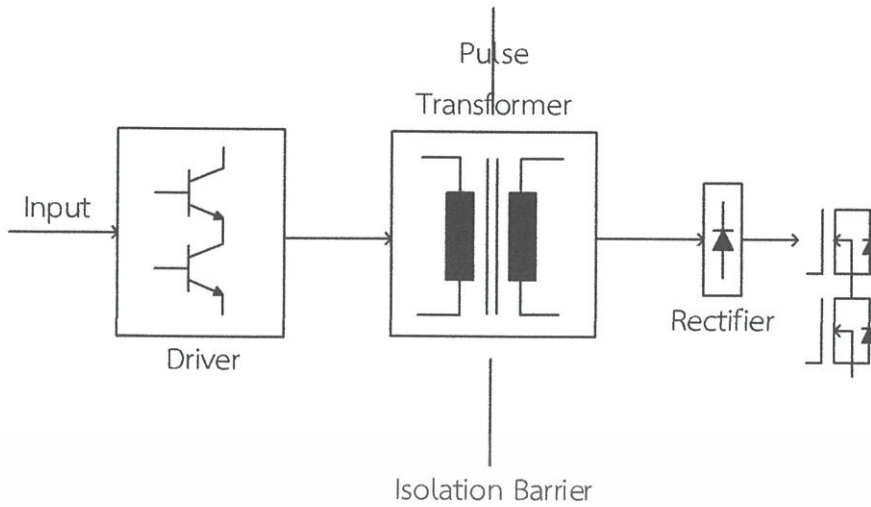
รูปที่ 2.18 ตัวอย่างมอสเฟตกำลังชนิด N-Channel

## 2.12 วงจรขับนำสวิตช์ของอินเวอร์เตอร์

การขับนำสวิตช์สำหรับวงจรอินเวอร์เตอร์แรงดันสูงจะมีความยุ่งยาก เนื่องจากมีการขับนำสวิตช์ 2 ตัว (High side และ Low side) ที่ต่ออนุกรมกันโดยสัญญาณขับนำของสวิตช์จะมีแรงดันอ้างอิงที่ต่างกัน โดยรูปแบบของวงจรขับนำที่ใช้กันโดยหลักๆ มี 3 ชนิด คือ

### 2.12.1 วงจรขับนำที่ใช้เทคนิคการแยกโหนดด้วยหม้อแปลง

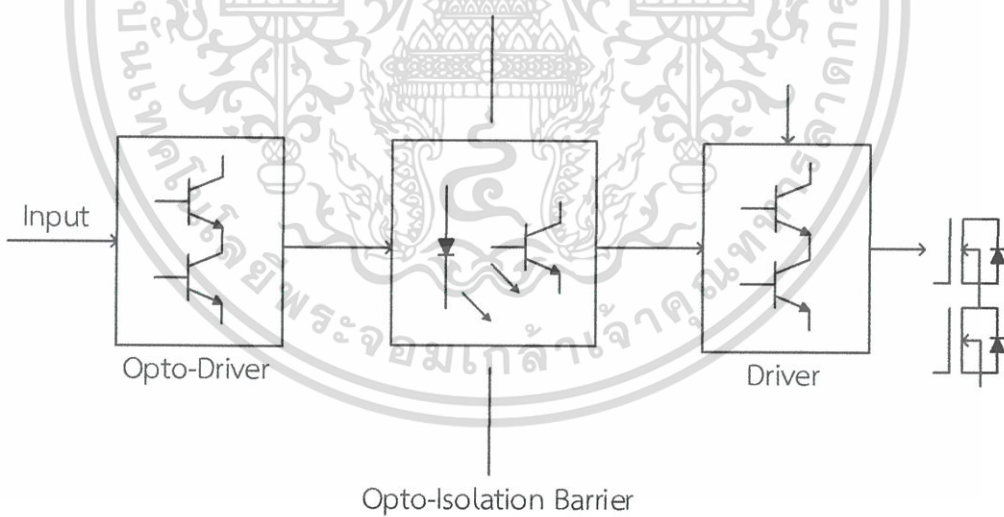
วงจรขับนำที่ใช้เทคนิคการแยกโหนดด้วยหม้อแปลงมีโครงสร้างดังรูป 2.19 โดยสัญญาณขับนำมอสเฟตจะถูกแยกโหนดด้วยหม้อแปลง ทั้งนี้สัญญาณขับนำและกำลังไฟฟ้าในการขับนำจะถูกส่งไปยังมอสเฟตพร้อมกัน ทำให้วงจรมีขนาดเล็กเนื่องจากมีแหล่งจ่ายไฟเฉพาะในส่วนการสร้างสัญญาณขับนำ แต่ก็มีข้อจำกัดในเรื่องของ leakage อาจทำให้การแยกโหนดไม่สมบูรณ์



รูปที่ 2.19 โครงสร้างวงจรขั้วนำที่ใช้เทคนิคการแยกโดดทางหม้อแปลง

### 2.12.2 วงจรขั้วนำที่ใช้เทคนิคการแยกโดดด้วยการเชื่อมต่อทางแสง

วงจรขั้วนำที่ใช้เทคนิคการแยกโดดด้วยการเชื่อมต่อทางแสง มีโครงสร้างดังรูป 2.20 โดยสัญญาณขั้วนำมอสเฟตจะถูกแยกโดดด้วยการเชื่อมต่อทางแสงไปยังวงจรขั้วนำมอสเฟต โดยรูปแบบนี้จะมีปัญหาเรื่อง ground loop น้อย แต่วงจรจะมีขนาดใหญ่เนื่องจากต้องมีแหล่งจ่ายไฟ

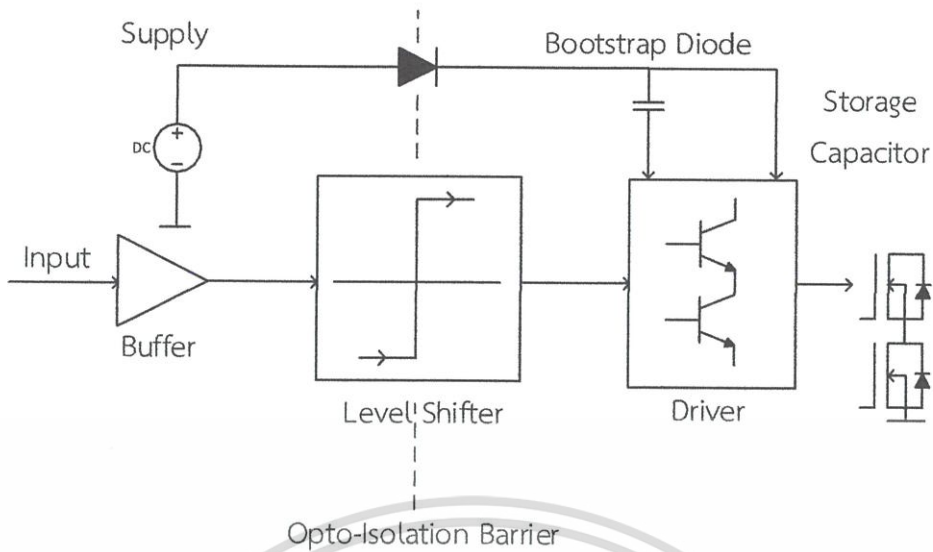


รูปที่ 2.20 โครงสร้างวงจรขั้วนำที่ใช้เทคนิคการแยกโดดทางแสง

### 2.12.3 การใช้ Signal level shifting และ Power bootstrap diode

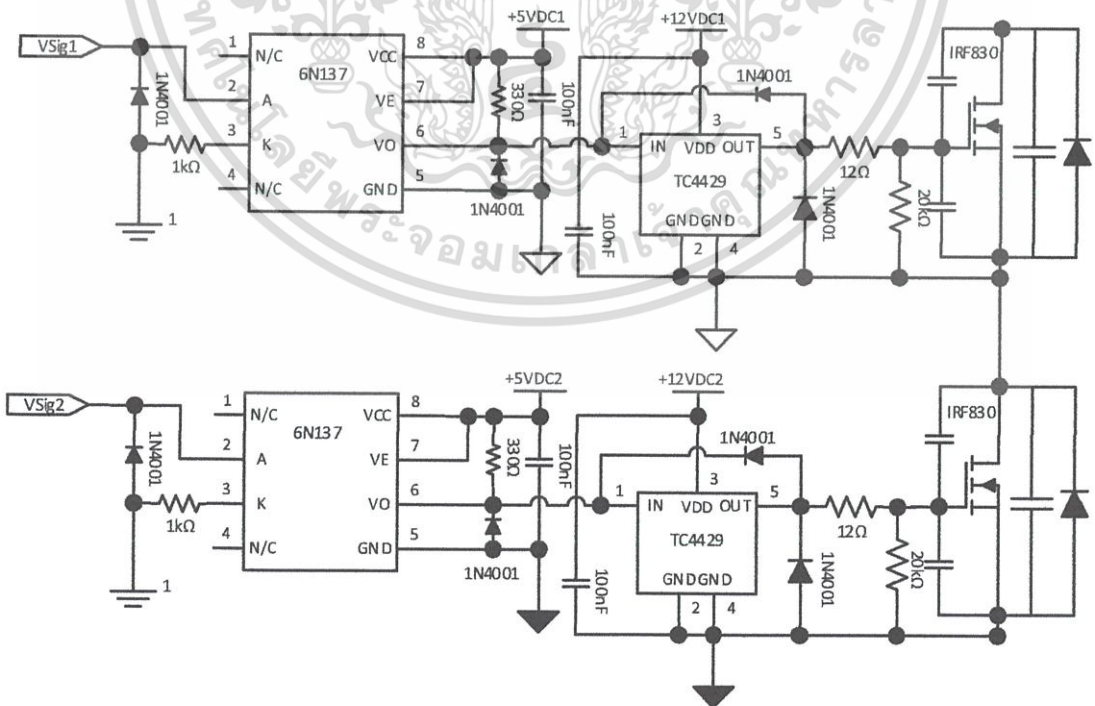
การขั้วนำที่ใช้ Signal level shifting และ Power bootstrap เป็นดังรูปที่ 2.21 โดยรูปแบบนี้เป็นที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรม เนื่องจากมีการผลิตออกมาในรูปวงจรรวม แต่จะมีผลจากการทำงานผิดพลาดจาก reverse recovery current ของ bootstrap diode ซึ่งจะต้องมีการออกแบบวงจรป้องกันเพิ่มเติมอีก อีกทั้งในปัจจุบันการผลิตวงจรขั้วนำชนิดนี้จำกัดการทำงานที่

เอกสารนี้เป็นทรัพย์สินทางปัญญาสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.21 โครงสร้างวงจรขั้วนำที่ใช้เทคนิค Signal level shifting and Power bootstrap

จากข้อดีและข้อเสียของวงจรขั้วนำทั้ง 3 ชนิด สำหรับโครงงานนี้เลือกใช้การขั้วนำที่ใช้การแยกโศดทางแสงเนื่องจากไม่มีปัญหาเรื่อง ground loop และเหมาะสมด้านความถี่ โดยวงจรแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับความถี่สูงที่ทำการออกแบบสร้างเป็นไปตามรูปที่ 2.22 โดยใช้ IRF830 เป็นสวิตช์ของอินเวอร์เตอร์ ใช้ dsPIC30F4011 เป็นตัวกำเนิดสัญญาณขั้วนำให้แก่วงจรขั้วนำ TC4429 และแยกโศดการขั้วนำด้วยการเชื่อมต่อทางแสงหรือที่เรียกกันว่า ออปโตไดโอด (Opto Diode) โดยใช้ 6N137



รูปที่ 2.22 วงจรขับมอสเฟต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.13 ข้อมูลเบื้องต้นของ dsPIC

dsPIC คือชื่อของไมโครคอนโทรลเลอร์ 16 บิตจาก Microship Technology Inc. ผู้ผลิตไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC ซึ่งรู้จักกันเป็นอย่างดีในแวดวงนักพัฒนาระบบไมโครคอนโทรลเลอร์ โดย Microship Technology ได้กำหนดชื่อย่ออย่างเป็นทางการสำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์อนุกรมใหม่นี้ว่า Digital Signal Controller หรือ DSC นั้นหมายความว่า dsPIC เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ได้รับการออกแบบมาเป็นพิเศษเพื่องานประมวลผลสัญญาณดิจิทัลสำหรับสร้างระบบควบคุมอัตโนมัติที่มีความสามารถสูง ซึ่งมีคุณสมบัติเด่นโดยรวม ดังนี้ [9]

### 2.13.1 คุณสมบัติของซีพียู

- เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้ซีพียูแบบ RISC
- ความเร็วในการทำงานสูงถึง 30 ล้านคำสั่งต่อวินาที
- มี 84 คำสั่งภาษาแอสเซมบลีมาตรฐาน รองรับรูปแบบการอ้างแอดเดรสได้อย่างอิสระ
- ชุดคำสั่งมีขนาด 24 บิต สามารถประมวลผลข้อมูลได้ 16 บิต
- มีหน่วยความจำโปรแกรมเป็นแบบแฟลช สามารถลบและเขียนใหม่ได้ไม่น้อยกว่า 100,000 ครั้ง สามารถป้องกันการอ่านได้ และสามารถโปรแกรมตัวเองโดยใช้กระบวนการทางซอฟต์แวร์
- มีหน่วยความจำข้อมูลอีพีรอมที่สามารถลบและเขียนได้ใหม่ไม่น้อยกว่า 1,000,000 ครั้ง
- มีอินเตอร์รัปต์เวกเตอร์จำนวนมาก จึงรองรับการตอบสนองสัญญาณอินเตอร์รัปต์ได้ดี
- มีวงจรตรวจจับแรงดันไฟเลี้ยงต่ำกว่ากำหนดแบบโปรแกรมได้
- มีพาวเวอร์-อนรีเซต, พาวเวอร์-อัปไทเมอร์ และออสซิลเลเตอร์สตาร์ท-อัปไทเมอร์
- มีวอตช์ด็อกไทเมอร์แบบโปรแกรมได้
- มีวงจรตรวจสอบการทำงานของวงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกา
- รองรับการโปรแกรมในวงจรแบบอนุกรม (ICSP : In-Circuit Serial Programming)
- สามารถเลือกโหมดการใช้พลังงานได้

### 2.13.2 คุณสมบัติด้านการประมวลผลสัญญาณดิจิทัล

- มีแอกคิวมูเลเตอร์ขนาด 40 บิต 2 ตัว รองรับการประมวลผลทางคณิตศาสตร์ได้เป็นอย่างดี
- มีหน่วยประมวลผลด้านการคูณและหารเลข 17 บิตในรูปของฮาร์ดแวร์ จึงทำให้สามารถคูณและหารเลขได้อย่างรวดเร็ว
- ทำการคูณเลข 16 บิตได้ภายในสัญญาณนาฬิกาเพียง 1 ไชเคิล
- มีตัวเลื่อนข้อมูลบาร์เรล 40 สเตจ ช่วยให้การประมวลผลข้อมูลที่มีจำนวนบิตมากๆ สามารถทำได้อย่างรวดเร็ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- มีวงจรเพชชี่ข้อมูลคู่ จึงทำให้สามารถประมวลผลข้อมูลได้อย่างรวดเร็ว

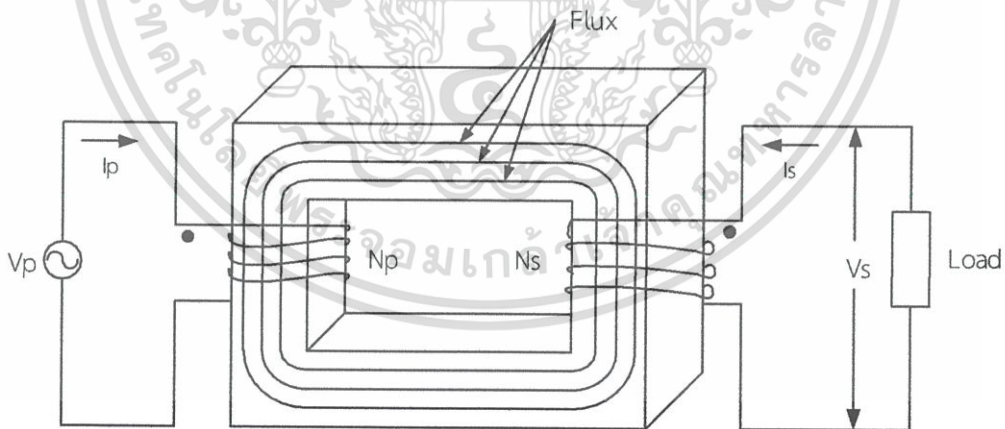
### 2.13.3 คุณสมบัติของโมดูลฟังก์ชันพิเศษ

- สามารถจ่ายกระแสออกทางขาพอร์ตได้ 25 mA ทั้งแบบกระแสซิงก์และซอร์ส
- ไทเมอร์/เคาน์เตอร์มีขนาด 16 บิต ไม่น้อยกว่า 3 ตัว ต่อใช้งานร่วมกันเป็น ไทเมอร์ 32 บิตได้
- มีโมดูลตรวจจับและเปรียบเทียบสัญญาณดิจิทัล
- มีส่วนเชื่อมต่ออุปกรณ์อนุกรมทั้งแบบ SPI และผ่านระบบบัส I2C
- มีโมดูลสื่อสารข้อมูลอนุกรม UART พร้อมบัฟเฟอร์แบบ FIFO
- มีวงจรแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิทัล ความละเอียด 10 หรือ 12 บิต\*
- มีโมดูลสร้างสัญญาณ PWM สำหรับควบคุมมอเตอร์\*
- มีโมดูลเชื่อมต่อตัวเข้ารหัสแบบควอดราเจอร์\*

\*เป็นคุณสมบัติที่มีในบางเบอร์

### 2.14 ทฤษฎีพื้นฐานของหม้อแปลง

กระแสที่ไหลผ่านขดลวดของคอล์ยที่อยู่รอบแกน จะสร้างการเหนี่ยวนำของฟลักซ์แม่เหล็กเกิดขึ้นภายในแกน ถ้ากระแสนี้เป็นแบบฟังก์ชันคาบเวลา และคอล์ยที่สองซึ่งอยู่รอบแกนเดียวกัน ก็จะถูกเหนี่ยวนำให้เกิดฟลักซ์ ก่อให้เกิดแรงดัน และกระแสไหลในขดทุติยภูมิ ซึ่งผลที่ได้แสดงดังในรูปที่ 2.23 แสดงหม้อแปลง 2 ขด ซึ่งเป็นรูปแบบอย่างง่าย



รูปที่ 2.23 หม้อแปลงโดยทั่วไปที่มี 2 ขด

โดยปกติหม้อแปลงทำงานด้วยประสิทธิภาพสูง มีการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของแรงดันขาออกเป็นอัตราส่วนกับอัตราส่วนรอบ จะได้ความสัมพันธ์ดังนี้

$$\frac{N_p}{N_s} = \frac{V_p}{V_s} \quad (2.18)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้สอนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นหม้อแปลงจะถูกแยกออกเป็นหม้อแปลงเพิ่มแรงดัน หรือหม้อแปลงลดแรงดัน ขึ้นอยู่กับว่าแรงดันทุติยภูมิมีค่าสูงหรือต่ำกว่าแรงดันขาออก เป็นที่แน่นอนว่าขดทุติยภูมิที่มากกว่า 1 ขด อาจจะให้แรงดันที่สูงกว่า หรือต่ำกว่าก็ได้ สิ่งที่สำคัญที่สุดอย่างหนึ่งและเป็นประโยชน์ในการใช้งานหม้อแปลงก็คือ การแยกโคจรทางไฟฟ้าระหว่างขดปฐมภูมิ และทุติยภูมิออกจากกัน

จากความสัมพันธ์ทางด้านแม่เหล็กของหม้อแปลงพื้นฐานในระบบ cgs

$$e = N A_e \left( \frac{dB}{dt} \right) \times 10^{-8} \quad (2.19)$$

การแสดงการคำนวณค่าความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็ก B เพื่อให้แน่ใจว่าหม้อแปลงทำงานในย่านเชิงเส้นของกราฟการทำให้เป็นแม่เหล็ก สามารถแสดงในระบบ cgs ได้ดังนี้

$$B_{\max} = \frac{(V_p) \times 10^8}{K f N_p A_e} \quad (2.20)$$

โดยที่  $V_p$  คือ แรงดันปฐมภูมิ (v)  
 $f$  คือ ความถี่ (Hz)  
 $N_p$  คือ จำนวนรอบปฐมภูมิ  
 $A_e$  คือ พื้นที่ประสิทธิภาพของแกน ( $cm^2$ )  
 $K$  มีค่า 4.44 กรณีรูปคลื่นไซน์

โดยปกตินักออกแบบของหม้อแปลงกำลังจะเลือก  $B_{\max}$  อย่างไม่ยาก โดยให้อยู่ในย่านเชิงเส้นของกราฟ B-H ในแง่เริ่มต้นควรจะเลือก  $B_{\max} = B_{sat} / 2$  ในการจัดเรียงสมการ (2.20) ใหม่ จะได้จำนวนรอบของปฐมภูมิมีค่าเป็น

$$N_p = \frac{(V_p) \times 10^8}{K f B_{\max} A_e} \quad (2.21)$$

มีอีกสองพารามิเตอร์ในการออกแบบที่สำคัญในการเลือกแกนที่เหมาะสม หนึ่งคือพื้นที่ของแกนเพื่อจะวางขดลวด จะต้องเลือกให้ใหญ่พอที่จะให้ขนาดลวดลงแกนได้ และทำให้กำลังสูญเสียต่ำที่สุด และอย่างที่สองคือ ความสามารถที่แกนจะรับกำลังงานได้ พารามิเตอร์เหล่านี้เกี่ยวข้องกับสมการในระบบ cgs ดังต่อไปนี้

$$P_{out} = (1.16 B_{\max} f d A_e A_c) \times 10^{-9} \quad (2.22)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่	$P_{out}$	คือ ความสามารถที่แกนจะรับกำลังงานได้ ( $W$ )
	$B_{max}$	คือ ความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็กสูงสุด ( $G$ )
	$f$	คือ ความถี่ ( $Hz$ )
	$d$	คือ ความหนาแน่นกระแสของเส้นลวด ( $A/m^2$ )
	$A_e$	คือ พื้นที่ประสิทธิภาพของแกน ( $cm^2$ )
	$A_c$	คือ พื้นที่ขดลวดที่อยู่ในบ็อบบิน ( $cm^2$ )

บางผู้ผลิตได้ใช้สัญลักษณ์  $W_a$  แทนพื้นที่ช่องหน้าต่าง แทนการใช้  $A_c$  ปกติแล้ว ความหนาแน่นกระแสจะแสดงค่าในหน่วยของ เซอร์คูลาร์มิลต่อแอมแปร์ ( $cmil$ ) ใช้สัญลักษณ์  $D$  และสัมพันธ์กับ  $d$  ดังนี้

$$d = \frac{1.27 \times 10^6}{D} \quad (2.23)$$

แทนค่า สมการ (2.23) ลงในสมการ (2.22) จะได้

$$P_{out} = \frac{(1.47 B_{max} f A_e A_c) \times 10^{-3}}{D} \quad (2.24)$$

จัดสมการ (2.24) ใหม่ จะได้สมการที่มีประโยชน์ต่อการคำนวณ และในการเลือกขนาดแกนของหม้อแปลงดังนี้

$$A_e A_c = \frac{(0.68 P_{out} D) \times 10^3}{f B_{max}} \quad (2.25)$$

ความหนาแน่นกระแส  $D$  ได้จากผู้ผลิตเส้นลวด ซึ่งขึ้นอยู่กับ  $1,000$  ( $cmil / A$ ) การออกแบบทางด้านปฏิบัติใช้ความหนาแน่นกระแสต่ำกว่า  $1,000$  และขึ้นอยู่กับการใช้งานและจำนวนรอบของขดลวด ความหนาแน่นกระแสควรจะใช้ประมาณ  $200$  ( $cmil / A$ ) เพื่อความปลอดภัย [10]

### 2.14.1 วัสดุแกนและการเลือกรูปทรง

แม้ว่าวัสดุแกนแม่เหล็กจำนวนมาก อาจจะถูกนำมาใช้ในการออกแบบหม้อแปลง กำลังความถี่สูง แต่เฟอร์ไรต์ถือว่าเป็นวัสดุที่ใช้ในคอนเวอร์เตอร์ ในปัจจุบันเฟอร์ไรต์อาจจะมีค่าความหนาแน่นฟลักซ์สูง (โดยมากเฟอร์ไรต์มี  $B_{sat}$  ระหว่าง  $3,000$ - $5,000$   $G$ ) แต่มันให้กำลังงานสูญเสียในแกนต่ำที่ความถี่สูง การกลับขั้วขดลวดดี และง่ายต่อการประกอบใช้งาน

ผู้ผลิตแกนเฟอร์ไรต์ได้ผลิตหลายรูปทรง หลายขนาด และมีวัสดุหลายแบบ เพื่อใช้ในการออกแบบหม้อแปลงความถี่สูง ตารางที่ 2.3 เป็นชื่อวัสดุที่ใช้ในการค้า และบริษัทผู้ผลิตแกนนั้นๆ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 วัสดุแกนเฟอร์ไรต์สำหรับหม้อแปลงกำลังความถี่สูง [10]

วัสดุ	บริษัทผู้ผลิต
3C8	Ferroxcube
24B	Stackpole
77	Fair-Rite Products
F,T	Magnetics, Inc.
H7C1	TDK
N27	Siemens

รูปทรงของแกนที่ใช้จะขึ้นกับกำลังงานที่จะใช้งาน เช่น E-E, E-I, E-C และ pot core ซึ่งถือว่าเป็นที่นิยมใช้กัน กรณีโครงสร้างของ pot core จะนำมาใช้งานที่ระดับกำลังงานต่ำจนถึงกำลังงานขนาดกลาง ประมาณ 20-200 W เนื่องจากเป็นที่สนใจต่อการออกแบบที่ต้องการ ฟลักซ์รั่วไหลต่ำ และถือว่ามี การป้องกันสนามแม่เหล็กบริเวณ (EMI) ได้ต่ำสุด

สำหรับกรณีที่ต้องการระดับกำลังสูง จะใช้แกน E-E, E-I และ E-C โดยที่แกน E-C เป็นการผสมผสานกันระหว่าง E-E กับ pot core ซึ่งเป็นการผสมข้อดีของแต่ละรูปทรง

ผู้ผลิตแกนได้ให้พารามิเตอร์ที่สำคัญในการออกแบบหม้อแปลงกำลัง และถ้าพารามิเตอร์ไม่ได้แสดงไว้ให้ ก็สามารถดูได้จากตารางที่ 2.4 ซึ่งจะเกี่ยวข้องกับเส้นลวด ขนาดเส้นลวด ความหนาแน่นกระแส ซึ่งแสดงในรูปของ AWG (American Wire Gauge) [10]

ตารางที่ 2.4 รายละเอียดของเส้นลวดที่มีฉนวนหุ้ม [6]

SWG	Diameter with Enamel (mm)	Area of bare Conductor (mm <sup>2</sup> )	R/Km@20°C (Ω)	Weight (Kg/Km)
38	0.175	0.01824	945.2	0.1679
37	0.198	0.02343	735.9	0.2202
36	0.218	0.02927	589.1	0.2686
35	0.241	0.03575	482.2	0.3281
34	0.264	0.04289	402	0.3932
33	0.287	0.05067	340.3	0.465
32	0.307	0.0591	291.7	0.5408
31	0.33	0.06818	252.9	0.6245
30	0.351	0.07791	221.3	0.7121
29	0.384	0.09372	184	0.8559
28	0.417	0.111	155.3	1.014
27	0.462	0.1363	126.5	1.245
26	0.505	0.1642	105	1.499
25	0.561	0.2027	85.1	1.851
24	0.612	0.2452	70.3	2.233
23	0.665	0.2919	59.1	2.655
22	0.77	0.3973	43.4	3.607
21	0.874	0.5189	33.2	4.702
20	0.978	0.6567	26.3	5.939
19	1.082	0.8107	21.3	7.324
18	1.293	1.167	14.8	10.537
17	1.501	1.589	10.8	14.313
16	1.709	2.075	8.3	18.678
15	1.92	2.627	6.6	23.64
14	2.129	3.243	5.3	29.15
13	2.441	4.289	4	38.56

#### 2.14.2 การออกแบบหม้อแปลงกำลังสำหรับคอนเวอร์เตอร์กึ่งบริดจ์

เลือกและกำหนดขนาดแกนแม่เหล็กโดยใช้วิธี Core Geometry Kg Approach วิธีนี้จะเป็นการออกแบบที่ใช้กำลังการสูญเสียของลวดทองแดง (P<sub>cu</sub>) โดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. จากข้อกำหนดและขีดจำกัดคำนวณค่า  $K_g$  ตามสมการที่ (2.26)

$$K_g = \frac{\rho \times P_{out}^2}{4 \times k \times B_{max}^2 \times f_v^2 \times P_{cu}} \quad (2.26)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่	$K_g$	คือ Core Geometry ( $m^5$ )
	$\rho$	คือ สภาพความต้านทานของลวดตัวนำ ( $\Omega - m$ )
	$P_{out}$	คือ กำลังงานด้านออก ( $W$ )
	$k$	คือ สัมประสิทธิ์การใช้ช่องว่างหน้าต่าง มีค่า 0.3-0.9
	$B_{max}$	คือ ค่าความหนาแน่นสนามแม่เหล็ก ( $Wb / m^2$ )
	$f$	คือ ความถี่สวิตซ์ ( $Hz$ )
	$P_{cu}$	คือ กำลังสูญเสียของลวดทองแดง ( $W$ )

2. เลือกขนาดของแกนเพื่อให้  $K_g$  มีค่ามากกว่า  $K_g$  ที่คำนวณได้จากข้อที่ 1

$$K_g = \frac{W \times S^2}{t} \quad (2.27)$$

โดยที่	$W$	คือ พื้นที่หน้าต่าง Window Area ( $m^2$ )
	$S$	คือ พื้นที่หน้าตัดของแกน ( $m^2$ )
	$t$	คือ ความยาวเฉลี่ยของลวดหนึ่งรอบ ( $m$ )

3. คำนวณหาจำนวนรอบของลวดตัวนำ

$$N_1 = \frac{V_1}{4 \times B_{max} \times S \times f} \quad (2.28)$$

$$N_2 = \frac{V_2}{4 \times B_{max} \times S \times f} \quad (2.29)$$

โดยที่	$N_1$	คือ จำนวนรอบด้านปฐมภูมิ
	$N_2$	คือ จำนวนรอบด้านทุติยภูมิ
	$V_1$	คือ แรงดันไฟฟ้าด้านปฐมภูมิ
	$V_2$	คือ แรงดันไฟฟ้าด้านทุติยภูมิ

4. คำนวณหาขนาดของลวดตัวนำ

$$A_{w1} = \frac{k \times W}{2 \times N_1} \quad (2.30)$$

$$A_{w2} = \frac{k \times W}{2 \times N_2} \quad (2.31)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่  $A_{w1}$  คือ ขนาดพื้นที่หน้าตัดของขดลวดด้านปฐมภูมิ  
 $A_{w2}$  คือ ขนาดพื้นที่หน้าตัดของขดลวดด้านทุติยภูมิ

5. คำนวณค่าความลึกผิวของทองแดง (skin depth) ที่ความถี่สูงสุดที่ใช้งาน เพื่อเลือกลวดทองแดงที่มี  $A_w$  มากกว่า  $A_w$  ในข้อ 4

$$\delta = \sqrt{\frac{2\rho}{\mu\omega}} \quad (2.32)$$

โดยที่  $\delta$  คือ ความลึกผิวของทองแดง (m)  
 $\rho$  คือ สภาพความต้านทานของลวดตัวนำ ( $\Omega\text{-m}$ )  
 $\mu$  คือ ค่าความซึมซาบแม่เหล็ก ( $Wb / A.m$ )  
 $\omega$  คือ ความถี่เชิงมุม (รอบ/วินาที)

ซึ่งการเลือกกรรมวิธีของลวดทองแดงจะต้องเลือกให้น้อยกว่าค่าความลึกผิวทองแดง และการนำลวดทองแดงมาใช้งานจะต้องทำการตีเกลียวลวดเพื่อช่วยลดกระแสไหลตามผิวของขดลวดตัวนำ

## บทที่ 3

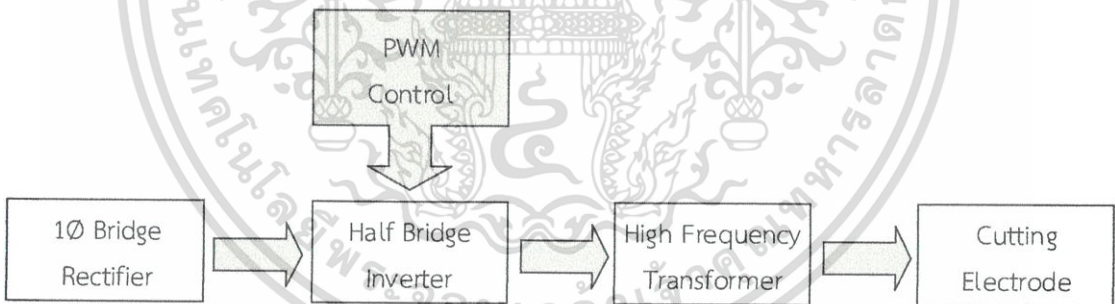
### หลักการงานและการออกแบบวงจร

#### 3.1 บทนำ

เนื้อหาในบทนี้เป็นกล่าวถึงหลักการงานและการออกแบบอุปกรณ์ที่ใช้ในการควบคุมกำลังไฟฟ้าอินเวอร์เตอร์แบบกึ่งบริดจ์ความถี่สูง โดยใช้พีดับเบิลยูเอ็มในแหล่งจ่ายไฟฟ้าเพื่อ การผ่าตัด ให้เป็นไปตามเป้าหมายและสมมติฐานที่วางไว้ การเลือกใช้อุปกรณ์ต่างๆ จะเน้นพิจารณา เฉพาะส่วนที่เกี่ยวกับงานในปริญญานิพนธ์นี้ โดยจะประกอบไปด้วยวงจรทั้งหมดสองส่วนหลัก ได้แก่ ชุดวงจรที่ใช้ในการสร้างสัญญาณพีดับเบิลยูเอ็มเพื่อนำสัญญาณไปใช้ในการขับเคลื่อนของอุปกรณ์สวิตชิง ที่ใช้เป็นแหล่งกำลัง และส่วนของแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าแบบสวิตชิงที่เป็นวงจรอินเวอร์เตอร์แบบกึ่ง บริดจ์ ดังจะได้อธิบายในลำดับต่อไป

#### 3.2 โครงสร้างของแหล่งจ่ายไฟฟ้าเพื่อการผ่าตัด

ในส่วนนี้จะเป็นการสร้างการทำงานโดยรวมเพื่อนำไปสู่การออกแบบของแหล่งจ่าย ไฟฟ้าเพื่อการผ่าตัดที่ใช้แหล่งจ่ายกำลังแบบสวิตชิง โดยการออกแบบจะมีส่วนประกอบหลักๆ ซึ่ง ประกอบด้วยวงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์, วงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสสลับ (อินเวอร์เตอร์แบบกึ่งบริดจ์) โดยใช้มอสเฟตเป็นตัวสวิตชิง, หม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูง และอิเล็กทรอนิกส์ ที่ใช้ในการตัด เพื่อความเข้าใจจึงได้ทำการแยกโครงสร้างของแหล่งจ่ายไฟฟ้าเพื่อการผ่าตัดเป็นส่วนๆ ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรมโครงสร้างแหล่งจ่ายไฟฟ้าเพื่อการผ่าตัด

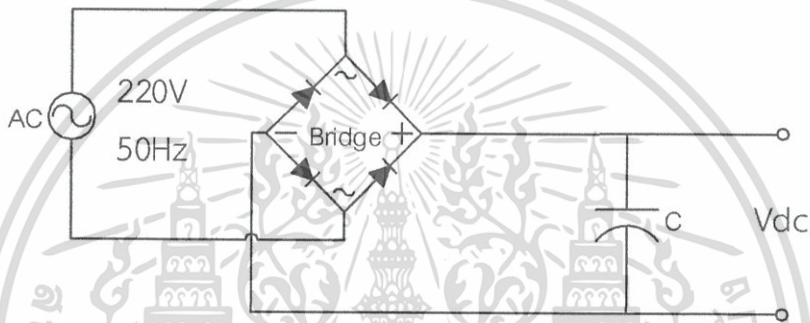
ส่วนประกอบต่างๆ สามารถอธิบายตามส่วนประกอบในแต่ละหัวข้อ เพื่อความเข้าใจ ในส่วนประกอบต่างๆ ที่นำมาใช้งานและเงื่อนไขการทำงานของแหล่งจ่ายไฟฟ้าเพื่อการผ่าตัดที่ได้ทำ การออกแบบสร้าง

#### 3.3 วงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์: (1Ø Bridge Rectifier)

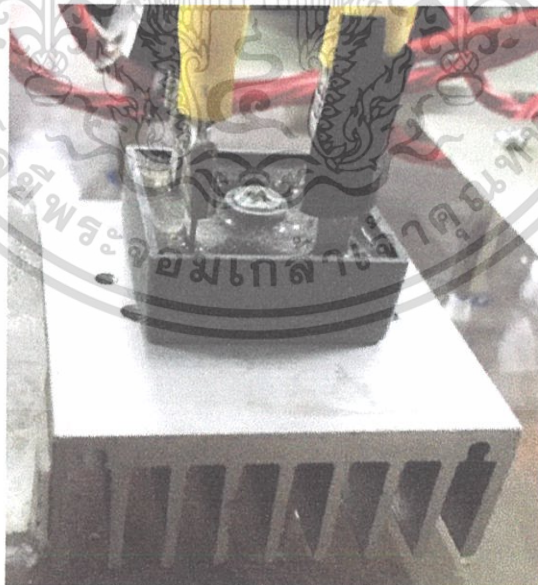
เนื่องจากแหล่งจ่ายไฟฟ้าเพื่อการผ่าตัดใช้กำลังหลักจากวงจรอินเวอร์เตอร์แบบกึ่ง บริดจ์ ดังนั้นในส่วนนี้จะป็นวงจรเรียงกระแสทางด้านเข้าของชุดอินเวอร์เตอร์ โดยมีไฟฟ้ากระแสสลับ 1 เฟส 220 โวลต์  $\pm 10\%$  ความถี่ 50 เฮิรตซ์ จากแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสสลับมาเปลี่ยนให้เป็น แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง โดยใช้วงจรเรียงกระแสที่ใช้บริดจ์ไดโอด (KBPC1006) ดังรูปที่ 3.2 (ก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของโรงเรียนเทคโนโลยีการช่างอุตสาหกรรมภาคตะวันออกเฉียงเหนือ  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงด้านขาออกของวงจรเรียงกระแสนี้จะถูกกรองให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรงที่มีการกระเพื่อมน้อยลงและมีขนาดประมาณ 310 โวลต์ โดยมีตัวเก็บประจุเป็นชุดวงจรกรอง ดังรูปที่ 3.2 (ข) การต่อวงจรเรียงกระแสแบบเต็มคลื่นโดยตรงเข้ากับสายกำลังเช่นนี้ เป็นการเสี่ยงการใช้หม้อแปลงแรงดันความถี่ต่ำ ทำให้สามารถลดน้ำหนักลงได้ ในกรณีวงจรกรอง 50 เฮิร์ตซ์ก็เช่นกัน การไม่ใช้ตัวเหนี่ยวนำจะทำให้ลดปัญหาเรื่องน้ำหนักลงไปได้ แต่มีข้อเสียคือ ตัวเก็บประจุของวงจรจะมีขนาดใหญ่กว่าวงจรกรองที่มีตัวเหนี่ยวนำ ในขณะที่การกระเพื่อมของแรงดันมีขนาดเท่ากัน และกระแสที่ไหลในตัวไดโอดมีค่ายอดสูง แต่มีข้อดีคือ แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงมีขนาดเกือบเท่ากับค่ายอดของแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับของระบบจ่ายกระแส ในการออกแบบค่าอุปกรณ์ต่างๆ ของวงจรจ่ายไฟตรงภาคกำลังในปริญญาโทฉบับนี้ กำหนดให้ค่ายอดของแรงดันกระแสเพื่อมเท่ากับ 5% โดยมีรายละเอียดดังนี้



(ก) วงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์พร้อมชุดวงจรกรอง



(ข) บริดจ์ไดโอดที่ใช้งานจริง (KBPC1006)

### รูปที่ 3.2 วงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3.1 การคำนวณหาค่าตัวเก็บประจุเพื่อกรองแรงดันด้านเอาต์พุต

แรงดันด้านเข้า ( $V_{in}$ )	=	220	$V$
ค่ายอดแรงดันกระแสสลับ	=	310	$V$
แรงดันกระเพื่อม ( $V_{r(p-p)}$ )	=	$0.05 \times 310$	
	=	15.5	$V$
แรงดันไฟตรงเฉลี่ย ( $V_{dc}$ )	=	$310 - (15.5/2)$	
	=	302.5	$V$

สำหรับแหล่งจ่ายไฟฟ้าเพื่อการผ่าตัดที่ออกแบบได้เพื่อกำลังไฟฟ้าด้านเข้าประมาณ 190 W ดังนั้นหาค่า C ได้จากสมการที่ (3.1)

$$C = \frac{I \times t}{V_r} \quad (3.1)$$

โดยที่  $I$  คือ กำลังไฟฟ้าสูงสุด/แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเฉลี่ย  
 $= 190/302.5$   
 ดังนั้น กระแสสูงสุด  $= 628.099 \text{ mA}$

$t$  คือ ครึ่งของคาบเวลาไฟฟ้ากระแสสลับด้านเข้า  
 ดังนั้น ครึ่งคาบเวลาที่ 50 เฮิร์ตซ์  $= 10 \text{ ms}$

$V_r$  คือ ค่าแรงดันกระเพื่อมจากยอดถึงยอด  
 $= 15.5 \text{ V}$

$$C = \frac{628.099 \times 10^{-3} \times 0.01}{15.5}$$

ดังนั้น ค่าเก็บประจุ  $= 405.225 \text{ } \mu F$

ในทางปฏิบัติได้เลือกใช้ตัวเก็บประจุ (C) ชนิดอิเล็กโทรไลต์ขนาด  $560 \text{ } \mu F$  1 ตัว สามารถทนแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงได้  $450 \text{ V}$

### 3.3.2 ความต้านทานในการคายประจุ

เนื่องจากเมื่อมีการใช้งานแหล่งจ่ายไฟฟ้าเพื่อการผ่าตัดเสร็จแล้ว ตัวเก็บประจุที่ทำหน้าที่เป็นตัวกรองแรงดันยังคงมีประจุค้างอยู่ ซึ่งอาจเกิดอันตรายแก่ผู้ใช้งานได้ จึงจำเป็นต้องคายประจุออกเมื่อมีการใช้งานเสร็จแล้วเพื่อเพิ่มความปลอดภัยในการใช้งาน ในทางปฏิบัติจะใช้ตัวต้านทานต่อขนานกับตัวเก็บประจุ เพื่อให้คายประจุผ่านตัวต้านทาน ดังรูปที่ 3.3 ซึ่งในการเลือกตัวต้านทานนั้นกำหนดเอาไว้ว่า ตัวเก็บประจุที่มีแรงดันไม่เกิน 600 โวลต์ จะต้องมีตัวต้านทานต่อขนานค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้ว่า ห้ามทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไว้เพื่อให้คายประจุไฟฟ้าออกให้เหลือเพียง 50 โวลต์ ในเวลา 1 นาที [มาตรฐาน วสท. 408] โดยสามารถคำนวณหาค่า  $R_C$  ได้จากสมการที่ (3.2)

$$V_c(t) = V \exp\left(\frac{-t}{R_C C}\right) \quad (3.2)$$

$$R_C = \frac{-t}{C \left( \ln \frac{V_c(t)}{V} \right)}$$

$$\begin{aligned} R_C &= \frac{-60}{560 \times 10^{-6} \left( \ln \frac{310-302.5}{310} \right)} \\ &= 29.04 \quad k\Omega \end{aligned}$$

ในทางปฏิบัติเลือกใช้ค่าความต้านทานที่มีค่า 50 k $\Omega$  ซึ่งสามารถตรวจสอบหาค่ากำลังสูญเสียของตัวต้านทานคายประจุที่ใช้งานจริงได้จากการหากระแสที่ไหลผ่าน  $R_C$  ในสภาวะการทำงานปกติจากสมการที่ (3.3)

$$\begin{aligned} I &= \frac{V_{avg}}{R_C} \\ I &= \frac{302.5}{50 \times 10^3} \end{aligned} \quad (3.3)$$

ดังนั้น กระแสที่ไหลผ่าน  $R_C = 6.05 \text{ mA}$

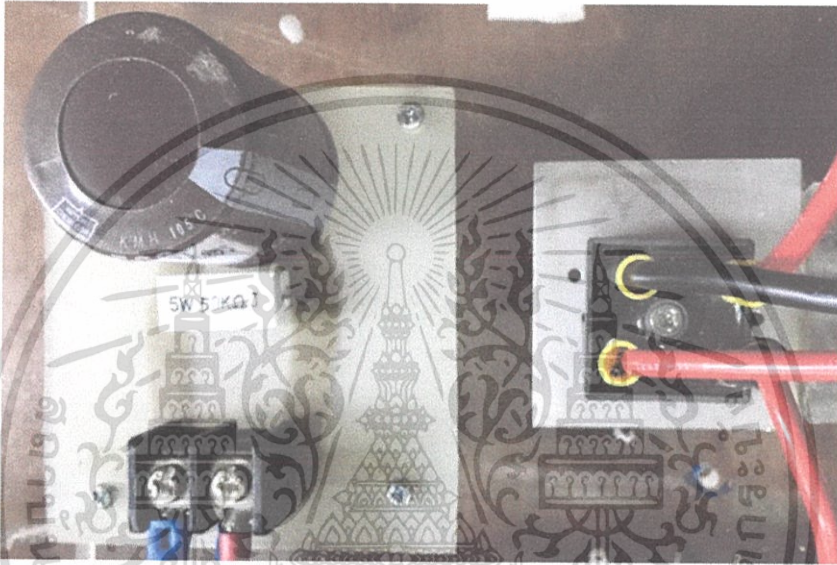
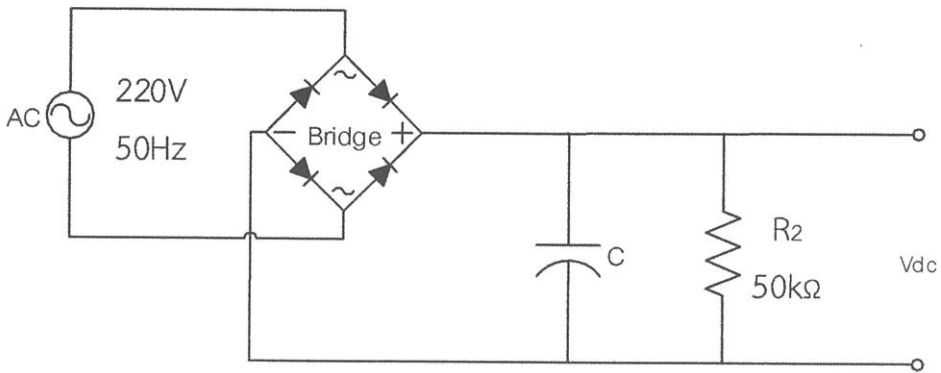
หาค่ากำลังสูญเสียของตัวต้านทานคายประจุได้จากสมการที่ (3.4)

$$P_{loss} = I^2 R \quad (3.4)$$

$$P_{loss} = (6.05 \times 10^{-3})^2 \times (50 \times 10^3)$$

ดังนั้น กำลังสูญเสีย = 1.83 W

ซึ่งจากการตรวจสอบค่าความต้านทานที่นำมาต่อขนานกับตัวเก็บประจุ จะเห็นว่าค่าความต้านทานที่นำมาใช้สามารถรองรับค่ากำลังสูญเสียเพื่อใช้ในการคายประจุของตัวเก็บประจุขณะเล็กใช้งานได้



รูปที่ 3.3 วงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์พร้อมความต้านทานคายประจุ

### 3.3.3 การกำจัดกระแสกระชากตอนเริ่มการทำงาน

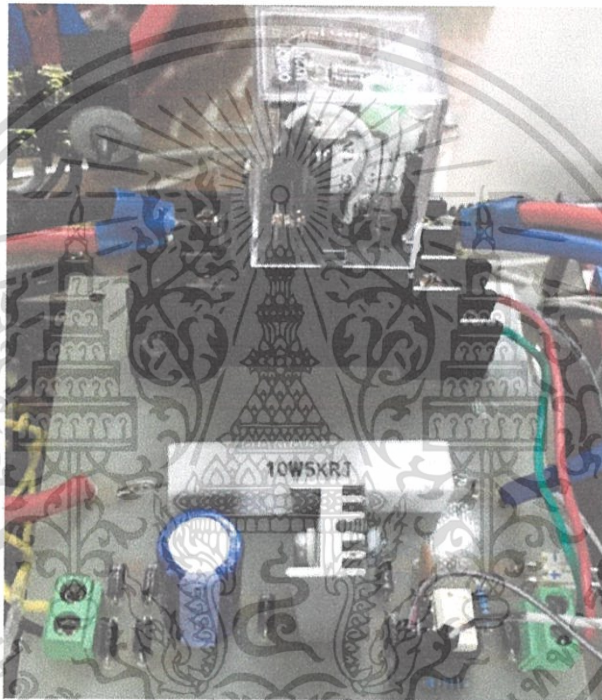
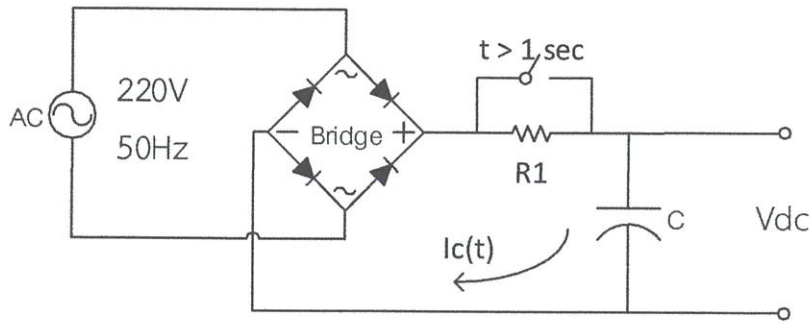
เมื่อตอนเปิดสวิตช์ให้วงจรทำงาน แต่ยังไม่ได้ทำการตัดขึ้นเนื้อ กระแสไฟจะไหลผ่าน  $R_1$  ในช่วงเริ่มต้นการทำงานและจะถูกลัดวงจร เนื่องจาก  $R_1$  ทำหน้าที่จำกัดกระแสในสภาวะเริ่มต้นการชาร์จตัวเก็บประจุกรองแรงดันไฟฟ้าด้านเอาต์พุต กล่าวคือกระแสที่ไหลผ่าน  $R_1$  เป็นกระแสที่ใช้ในการชาร์จตัวเก็บประจุ โดยใช้เวลาไม่น้อยกว่า 1 วินาที เมื่อวงจรเริ่มต้นการทำงาน ดังนั้นเพื่อไม่ให้เกิดการกระชากของกระแสขณะเริ่มทำงาน สามารถหาค่าความต้านทาน  $R_1$  ได้จากสมการที่ (3.5)

$$V_{c(t)} = V - V \exp\left(\frac{-t}{R_1 C}\right) \quad (3.5)$$

$$R_1 = \frac{-1}{560 \times 10^{-6} \ln\left(\frac{310 - 302.5}{310}\right)}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยทางปฏิบัติได้เลือกใช้ความต้านทานที่มีค่า 5 k $\Omega$

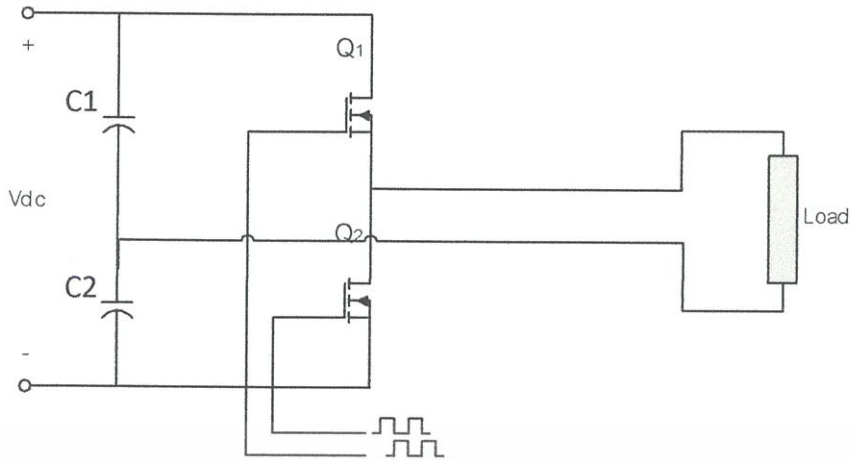


รูปที่ 3.4 วงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์พร้อมชุดป้องกันกระแสชากตอนเริ่มการทำงาน

### 3.4 วงจรอินเวอร์เตอร์แบบกึ่งบริดจ์: (Half-Bridge Inverter)

ในปริยฐานิพนธ์นี้ได้เลือกใช้วงจรอินเวอร์เตอร์แบบกึ่งบริดจ์ สาเหตุที่เลือกใช้วงจรอินเวอร์เตอร์แบบกึ่งบริดจ์นั้นเนื่องจากการทำงานของวงจรจะมีค่ายอดเอาต์พุตของไฟฟ้าสลับเป็นครึ่งหนึ่งของไฟฟ้ากระแสตรงด้านเข้า กล่าวคือเมื่อป้อนไฟฟ้ากระแสตรงด้านเข้า 310 V<sub>DC</sub> ให้กับวงจร จะได้แรงดันเอาต์พุตที่ได้เป็นไฟสลับที่มีค่ายอด 155 V<sub>p</sub> ซึ่งเกิดจากการทำงานของวงจรที่ประกอบด้วยตัวเก็บประจุสองตัว ทำหน้าที่แบ่งครึ่งแรงดันทางด้านเข้า และทำงานสัมพันธ์กับสวิตช์ไวงาน 2 ตัว ที่ทำหน้าที่เป็นสวิตช์สลับไปมาไม่พร้อมกันตามช่วงเวลาการทำงานที่กำหนด จึงได้แรงดันเอาต์พุตเป็นไฟสลับที่มีค่ายอดเป็นครึ่งหนึ่ง นอกจากนี้ยังเห็นว่าวงจรอินเวอร์เตอร์แบบกึ่งบริดจ์ใช้สวิตช์ไวงานเพียงแค่ 2 ตัวเท่านั้น ทำให้สะดวกและควบคุมง่าย การต่อวงจรแสดงดังรูปที่ 3.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 วงจรอินเวอร์เตอร์แบบกึ่งบริดจ์

ในการออกแบบวงจรอินเวอร์เตอร์แบบกึ่งบริดจ์ ที่พิกัดกำลัง 190 W ที่ความถี่สวิตซ์ 500 kHz ได้เลือกสวิตซ์ไวงานเป็นมอสเฟตกำลังเป็นตัวสวิตซ์กำลังให้กับแหล่งจ่ายไฟฟ้าเพื่อการผ่าตัด เนื่องจากมอสเฟตกำลังนั้นมีคุณสมบัติที่เหมาะสมและดีกว่าอุปกรณ์สวิตซ์ชนิดอื่นๆ เช่น บีเจที จีทีโอ และไอจีบีที เป็นต้น ซึ่งได้ทำการเปรียบเทียบสวิตซ์อิเล็กทรอนิกส์กำลังแต่ละชนิดดังในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 การเปรียบเทียบสวิตซ์อิเล็กทรอนิกส์กำลัง [7]

อุปกรณ์	ความสามารถส่งผ่านกำลัง	ความเร็วในการสวิตซ์	ความสามารถทนแรงดันไฟฟ้าลบ	ชนิดการควบคุม
จีทีโอ	สูง	ต่ำ	ได้	กระแส
บีเจที	กลาง	กลาง	ไม่ได้	กระแส
ไอจีบีที	กลาง	กลาง ค่อนข้างสูง	ได้	แรงดัน
มอสเฟตกำลัง	ต่ำ	สูง	ไม่ได้	แรงดัน

จากตารางที่ 3.1 จะเห็นว่ามอสเฟตกำลังเหมาะสมสำหรับการใช้งานในงานวิจัยนี้ทั้งในด้านของพิกัดกำลัง และความถี่ที่ใช้งาน การเลือกพิกัดของตัวมอสเฟตกำลังที่ใช้ในวงจรอินเวอร์เตอร์แบบกึ่งบริดจ์นี้ สามารถคำนวณหาได้จากสมการที่ (3.6)

$$I_{P(PK)} = \frac{P_o T}{\eta V_{m(min)} t_{ON(max)}} \quad (3.6)$$

แทนค่า

$$I_{P(PK)} = \frac{150 \times 20 \times 10^{-6}}{0.8 \times 302 \times 17.5 \times 10^{-6}} = 709.56 \quad mA$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในทางปฏิบัติได้เลือกใช้งานมอสเฟตกำลังที่มีพิกัดกระแสมากกว่าที่คำนวณได้ เพื่อเผื่อค่า Safety Factor เช่นอุณหภูมิรอยต่อของตัวมอสเฟตกำลังให้มีความปลอดภัยมากขึ้น โดยเลือกใช้มอสเฟตกำลังเบอร์ IRF830 ซึ่งมีพิกัดกระแส 4.5 A และพิกัดแรงดัน 500 V ในส่วนของตัวเก็บประจุที่ทำหน้าที่แบ่งครึ่งแรงดันจะเลือกใช้ตัวเก็บประจุชนิดอิเล็กโทรไลต์ ที่มีขนาด  $680 \mu F$  ทนพิกัดแรงดันได้ 450 V ขนาดเท่ากันทั้งสองตัว ดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 วงจรอินเวอร์เตอร์แบบกึ่งบริดจ์ที่ใช้งานจริง

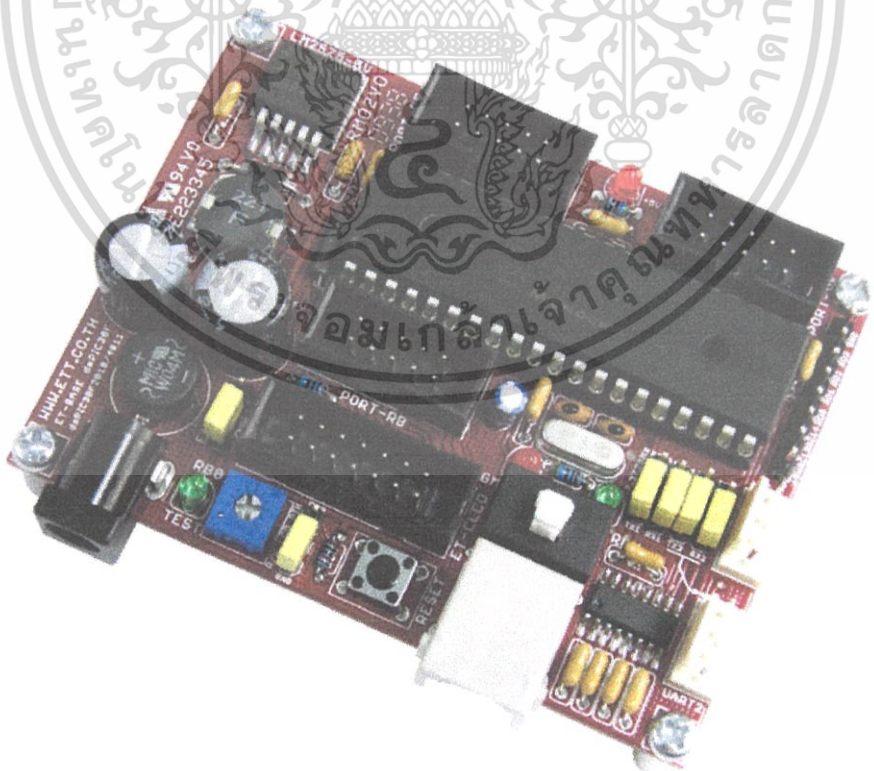
### 3.5 สัญญาณควบคุมชุดขับเคลื่อน: (PWM Control)

ในส่วนของวงจรควบคุมจะใช้ ET-BASE dsPIC30F2010/4011 เป็นบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ในตระกูล dsPIC30F ซึ่งเลือกใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์รุ่น 28 Pin เบอร์ dsPIC30F2010 หรือ รุ่น 40 Pin เบอร์ dsPIC30F4011 ของ Microchips เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งใช้การประมวลผลข้อมูลแบบ 16 บิต ซึ่งมีจุดเด่นในด้านของความสามารถในการประมวลผลข้อมูลสัญญาณแบบดิจิทัลได้อย่างมีประสิทธิภาพสำหรับนำไปประยุกต์ใช้ในงานควบคุมต่างๆ โดยโครงสร้างภายในจะเป็นการผสมผสานระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์ (MCU) และวงจร DSP (Digital Signal Processing) รวมเข้าไว้ด้วยกัน หรืออาจเรียก MCU ตระกูล dsPIC30F ว่าเป็น DSC หรือ Digital Signal Controller ก็ได้ โดยโครงสร้างของบอร์ด ET-BASE dsPIC30F2010/4011 ได้รับการออกแบบให้บอร์ดมีขนาดเล็กเหมาะต่อการนำไปประยุกต์ใช้งานเป็นหลัก โดยภายในบอร์ดได้บรรจุเอกสารเป็นเอกสารที่ส่งมอบไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้า ไม่อนุญาตให้เผยแพร่หรือใช้ซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอวางจรที่จำเป็นต่อการใช้งาน และสะดวกต่อการพัฒนาโปรแกรม มีความยืดหยุ่น สามารถปรับเปลี่ยนสัญญาณ I/O เพื่อนำไปประยุกต์ใช้งานในลักษณะต่างๆให้สอดคล้องและเหมาะสมกับความต้องการใช้งานได้ในหลายลักษณะตามต้องการ ดังแสดงในรูปที่ 3.7

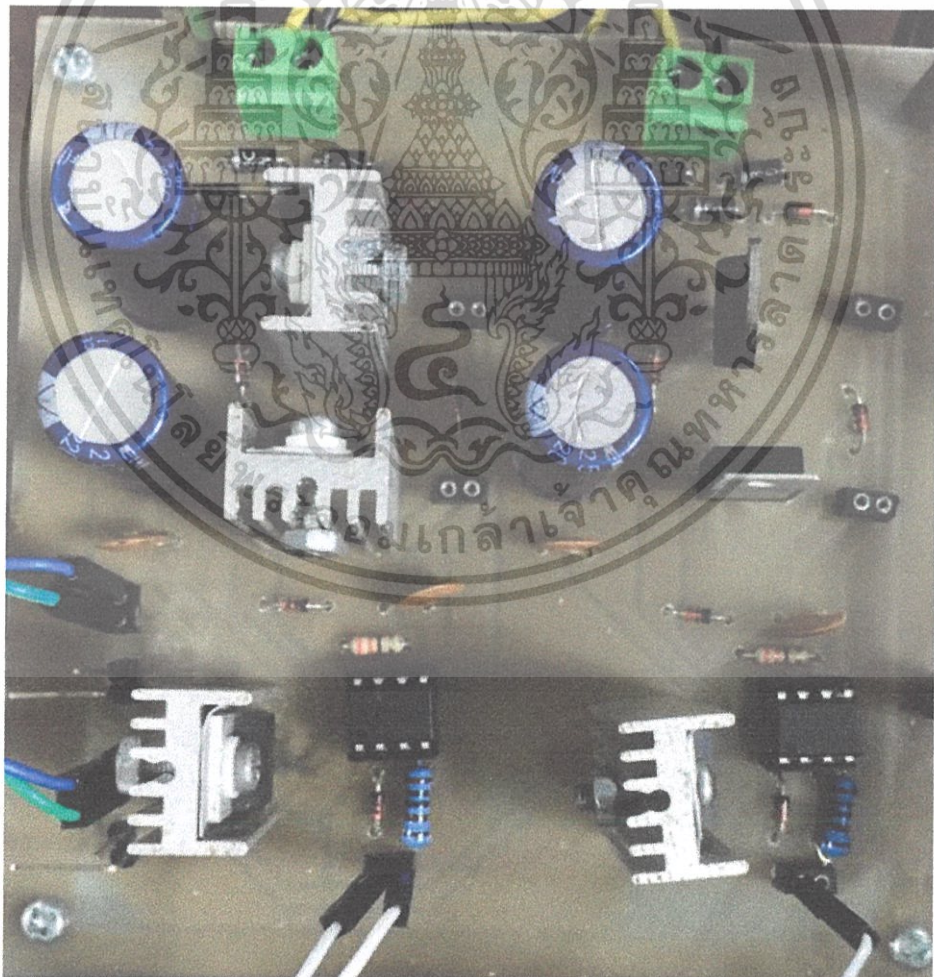
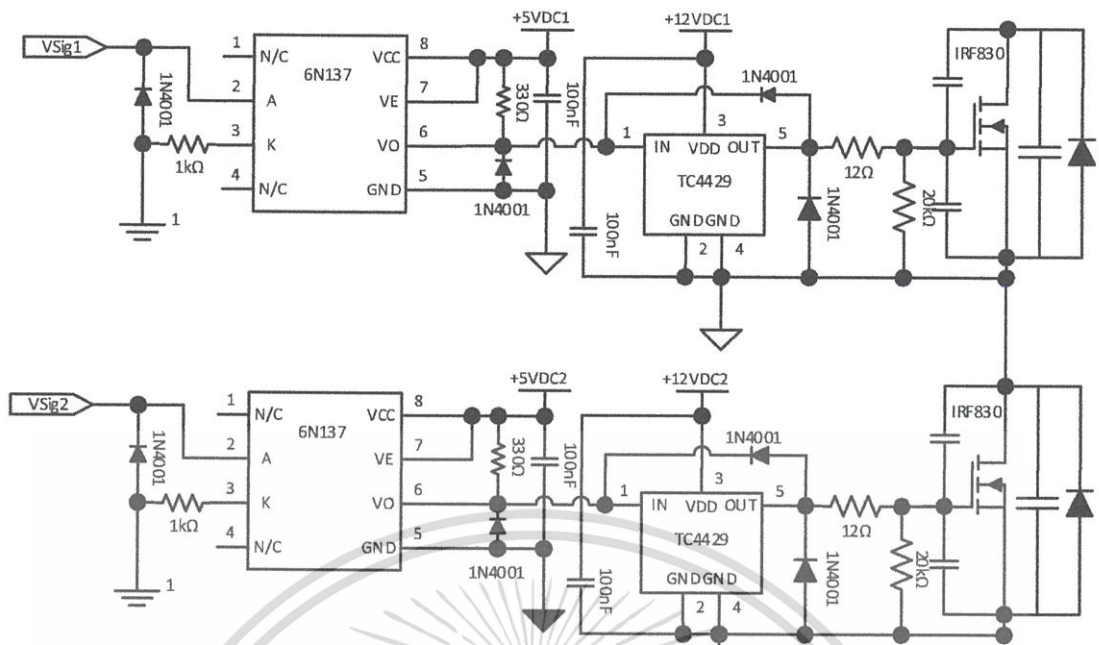
ซึ่งทำหน้าที่สร้างสัญญาณพัลส์ที่ใช้กำหนดการ turn-on และ turn-off ของมอสเฟต โดยสร้างสัญญาณพัลส์ 2 แชนแนล โดยแต่ละแชนแนลสัญญาณพัลส์จะตรงข้ามกัน และจะถูกส่งไปให้กับขั้วนำ TC4429 และทำการแยกโดดการขับนำด้วยการเชื่อมต่อทางแสงหรือที่เรียกกันว่า ออปโตไดโอด (Opto Diode) โดยใช้ 6N137 มีวงจรถังรูปที่ 3.8

MCLR	1	40	AVDD
EMUD3/AN0/VREF+/CN2/RB0	2	39	AVss
EMUC3/AN1/VREF-/CN3/RB1	3	38	PWM1L/RE0
AN2/SS1/CN4/RB2	4	37	PWM1H/RE1
AN3/INDX/CN5/RB3	5	36	PWM2L/RE2
AN4/OEA/IC7/CN6/RB4	6	35	PWM2H/RE3
AN5/OEB/IC8/CN7/RB5	7	34	PWM3L/RE4
AN6/OCFA/RB6	8	33	PWM3H/RE5
AN7/RB7	9	32	VDD
AN8/RB8	10	31	Vss
Vcd	11	30	C1RX/RF0
Vss	12	29	C1TX/RF1
OSC1/CLKI	13	28	U2RX/CN17/RF4
OSC2/CLKO/RC15	14	27	U2TX/CN18/RF5
EMUD1/SOSCI/T2CK/U1ATX/CN1/RC13	15	26	PGC/EMUC/U1RX/SD11/SDA/RF2
EMUC1/SOSCO/T1CK/U1ARX/CN0/RC14	16	25	PGD/EMUD/U1TX/SDO1/SCL/RF3
FLTA/INT0/RE8	17	24	SCK1/RF6
EMUD2/OC2/IC2/INT2/RD1	18	23	EMUC2/OC1/IC1/INT1/RD0
OC4/RD3	19	22	OC3/RD2
Vss	20	21	VDD



รูปที่ 3.7 ไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F4011

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.8 วงจรแยกโตดการขับนำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.6 หม้อแปลงความถี่สูง: (High Frequency Transformer)

หม้อแปลงความถี่สูงของวงจรอินเวอร์เตอร์แบบกึ่งบริดจ์จะมีลักษณะเหมือนกับวงจรอินเวอร์เตอร์แบบฟูลบริดจ์ แต่แตกต่างกันที่แรงดันทางด้านเข้านั้นที่แตกต่างกัน คือแรงดันปฐมภูมิของวงจรอินเวอร์เตอร์แบบกึ่งบริดจ์จะมีค่าเท่ากับครึ่งหนึ่งของวงจรอินเวอร์เตอร์แบบฟูลบริดจ์ โดยที่วงจรอินเวอร์เตอร์แบบฟูลบริดจ์ด้านปฐมภูมิของหม้อแปลง จะมีค่าเท่ากับแรงดันไฟฟ้าด้านเข้า

#### 3.6.1 การออกแบบหม้อแปลงความถี่สูง

ในการออกแบบหม้อแปลงความถี่สูงที่ใช้กับแหล่งจ่ายไฟฟ้าเพื่อการผ่าตัดนั้น ได้ออกแบบให้หม้อแปลงมีอัตราส่วนเป็น 1:1.48 เพื่อใช้ในการแยกโคตส์สัญญาณและความปลอดภัยของผู้ใช้งาน ซึ่งมีพิกัดการออกแบบดังนี้

กำลังไฟฟ้านำออก ( $P_{out}$ )	= 190	W
แรงดันไฟฟ้าด้านปฐมภูมิ ( $V_1$ )	= 155	V
แรงดันไฟฟ้าด้านทุติยภูมิ ( $V_2$ )	= 230	V
ความถี่สวิตซิ่ง ( $f_s$ )	= 500	kHz

เลือกและกำหนดขนาดแกนแม่เหล็กโดยใช้วิธี Core Geometry Kg Approach ดังสมการที่ (3.7) (ตัวแปรต่างๆ ได้มีการอธิบายไว้ในบทที่ 2)

$$K_g = \frac{\rho \times P_{out}^2}{4 \times k \times B_{max}^2 \times f^2 \times P_{cu}} \quad (3.7)$$

$$K_g = \frac{2 \times 10^{-8} \times 190^2}{4 \times 0.1 \times 0.3^2 \times (500 \times 10^3)^2 \times 0.2}$$

$$K_g = 4.01 \times 10^{-13}$$

เลือกใช้แกน ETD 44 ซึ่งมีค่า

$$W = 2.10 \times 10^{-4} \quad m^2$$

$$S = 1.72 \times 10^{-4} \quad m^2$$

$$t = 7.77 \times 10^{-2} \quad m$$

แทนค่าในสมการที่ (3.8) เพื่อหาค่า  $K_g$

$$K_g = \frac{W \times S^2}{t} \quad (3.8)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$K_g = \frac{2.10 \times 10^{-4} \times (1.72 \times 10^{-4})^2}{7.77 \times 10^{-2}}$$

$$K_g = 8 \times 10^{-11}$$

พบว่าค่า  $K_g$  ที่คำนวณได้จากสมการที่ (3.8) มีค่ามากกว่า  $K_g$  ในสมการที่ (3.7) จึงเลือกใช้แกน ETD 44

คำนวณหาจำนวนรอบของลวดตัวนำด้านปฐมภูมิจากสมการที่ (3.9)

$$N_1 = \frac{V_1}{4 \times B_{max} \times S \times f} \quad (3.9)$$

$$N_1 = \frac{155}{4 \times 0.3 \times 1.72 \times 10^{-4} \times 500 \times 10^3}$$

$$N_1 = 12 \text{ รอบ}$$

คำนวณหาจำนวนรอบของลวดตัวนำด้านทุติยภูมิจากสมการที่ (3.10)

$$N_2 = \frac{V_2}{4 \times B_{max} \times S \times f} \quad (3.10)$$

$$N_2 = \frac{230}{4 \times 0.3 \times 1.72 \times 10^{-4} \times 500 \times 10^3}$$

$$N_2 = 18 \text{ รอบ}$$

คำนวณหาขนาดพื้นที่หน้าตัดของขดลวดด้านปฐมภูมิจากสมการที่ (3.11)

$$A_{w1} = \frac{k \times W}{2 \times N_1} \quad (3.11)$$

$$A_{w1} = \frac{0.1 \times 2.10 \times 10^{-4}}{2 \times 12}$$

$$A_{w1} = 8.75 \times 10^{-7}$$

คำนวณหาขนาดพื้นที่หน้าตัดของขดลวดด้านปฐมภูมิจากสมการที่ (3.12)

$$A_{w2} = \frac{k \times W}{2 \times N_2} \quad (3.12)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$A_{w2} = \frac{0.1 \times 2.10 \times 10^{-4}}{2 \times 18}$$

$$A_{w2} = 5.83 \times 10^{-7}$$

คำนวณค่าความลึกผิวของทองแดง (skin depth) จากสมการที่ (3.13)

$$\delta = \sqrt{\frac{2\rho}{\mu\omega}} \quad (3.13)$$

$$\delta = \sqrt{\frac{2 \times 2 \times 10^{-8}}{4\pi \times 10^{-7} \times 2\pi \times 500 \times 10^3}}$$

$$\delta = 1.006 \times 10^{-4} \text{ m}$$

เลือกใช้ลวดทองแดง SWG เบอร์ 36 ซึ่งมีรัศมี  $9.65 \times 10^{-5} \text{ m}$  นำมาตีเกลียวด้านปฐมภูมิและด้านทุติยภูมิเป็นจำนวนทั้งหมด 32 เส้น มี turn ratio เท่ากับ 0.651 จะเห็นวรัศมีของลวดทองแดงที่เลือกใช้มีค่าน้อยกว่าค่าความลึกผิวทองแดงที่คำนวณได้ หม้อแปลงความถี่สูงที่ได้ทำการออกแบบและสร้างแสดงดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 หม้อแปลงความถี่สูงที่ใช้งานจริง

### 3.7 อิเล็กโทรดที่ใช้ในการตัด (Cutting Electrode)

อิเล็กโทรดที่ได้ทำการออกแบบและสร้างเพื่อนำมาใช้ในการทดลองมีอยู่ 2 ประเภท ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.7.1 อิเล็กโทรดที่เป็นหัวจี้ตัด (Active Electrode)

สำหรับอิเล็กโทรดที่เป็นหัวจี้ตัดที่ได้ทำการออกแบบและสร้างมี 2 แบบ คือ อิเล็กโทรดแบบที่เป็นปลายแหลมแบบเข็ม และอิเล็กโทรดแบบที่ปลายเป็นใบมีด

#### 3.7.1.1 อิเล็กโทรดแบบที่เป็นปลายแหลมแบบเข็ม

ความยาวสาย	70	cm
ความยาวของด้ามจับ	10	cm
ความยาวส่วนที่เป็นหัวตัด	1	cm



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้ภายในเท่านั้น ไม่สามารถนำออกเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารได้ หากมีข้อผิดพลาดประการใด ขออภัยไว้ล่วงหน้า และขอสงวนสิทธิ์ในเนื้อหาและข้อมูลทั้งหมด ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.7.1.2 อีเล็กโทรดแบบที่ปลายเป็นใบมีด

ความยาวสาย	80	cm
ความยาวของด้ามจับ	10	cm
ความยาวส่วนที่เป็นหัวตัด	1	cm



รูปที่ 3.11 อีเล็กโทรดแบบที่ปลายเป็นใบมีดที่ใช้ในงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.7.2 อิเล็กโทรดแผ่น (Plate Electrode หรือ Return Electrode)

อิเล็กโทรดแผ่นที่ใช้เปรียบเสมือนแผ่นกราวด์นั้นได้ประยุกต์โดยการนำแผ่นวงจรทองแดงมาใช้ มีความกว้าง×ยาว เท่ากับ 11.5×20 cm

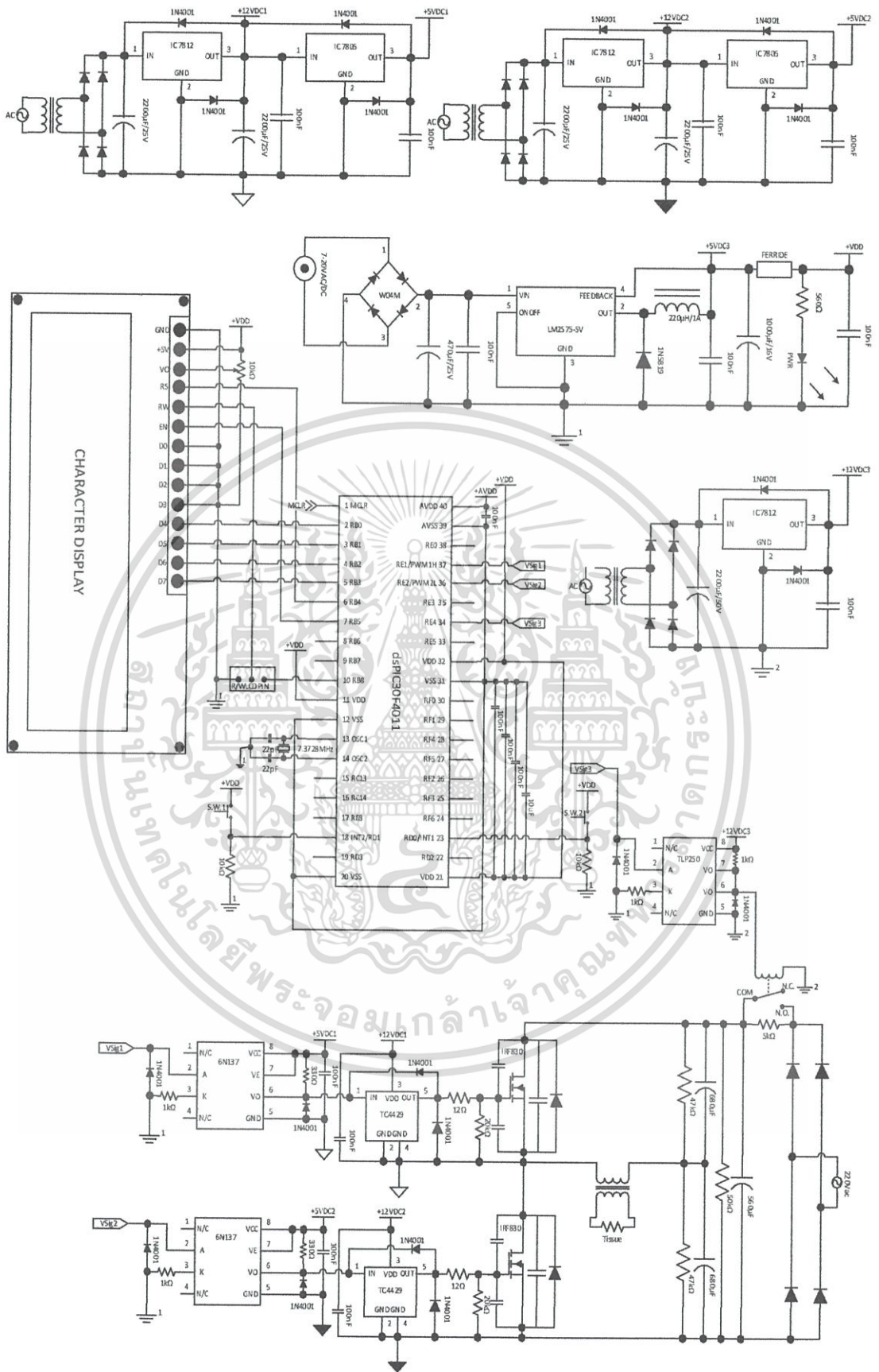


รูปที่ 3.12 อิเล็กโทรดแผ่นที่ใช้งาน

### 3.8 วงจรรวมและชิ้นงานที่ทำการออกแบบ

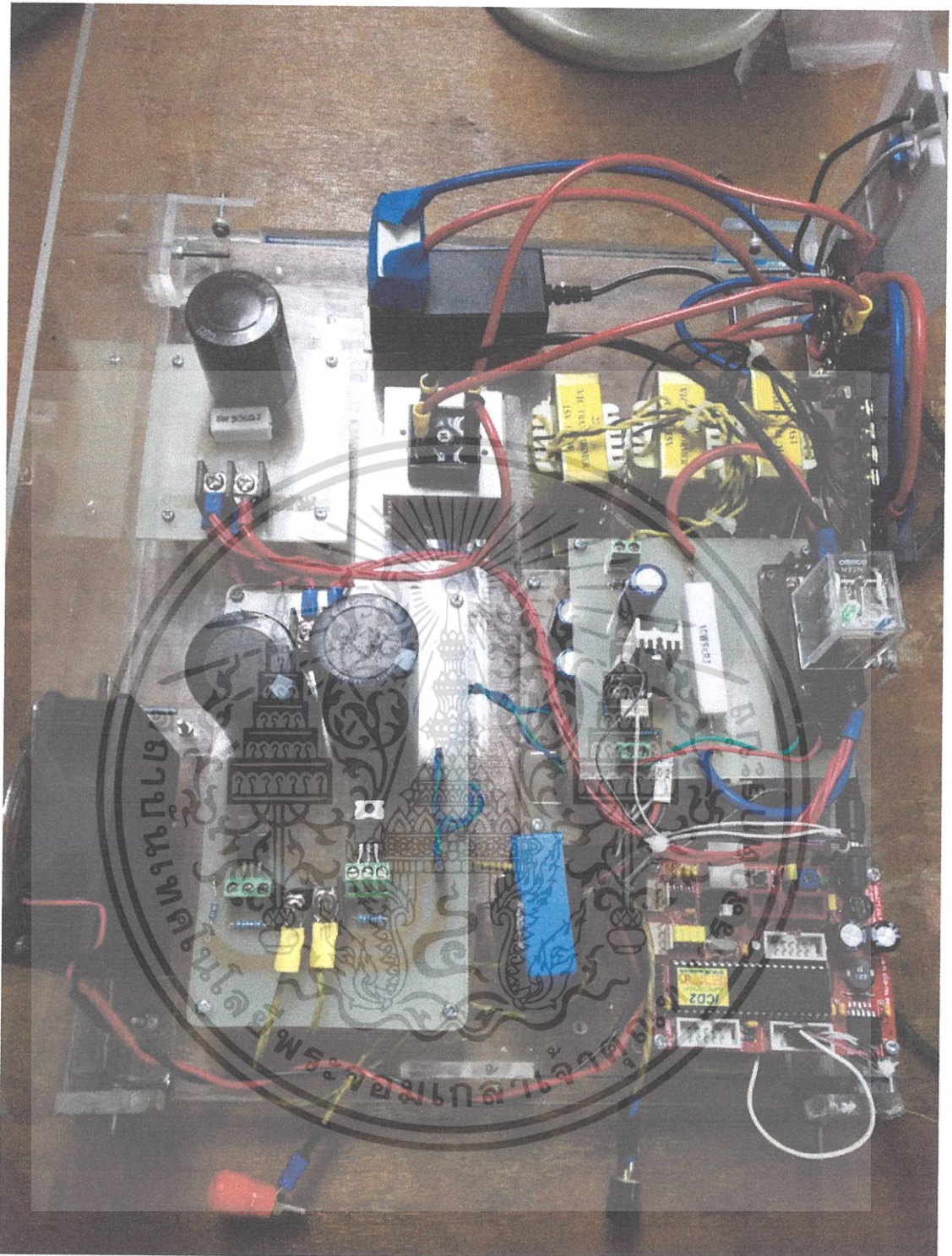
เมื่อนำวงจรที่ได้ทำการออกแบบไว้ในแต่ละส่วน มาทำการสร้างเป็นชิ้นงานและทำการต่อวงจรในส่วนต่างๆ เข้าด้วยกัน จะได้วงจรรวมและชุดชิ้นงานที่สำเร็จแล้วดังรูปที่ 3.13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) ภาพการจำลองวงจรรวมโดยใช้โปรแกรม Visio

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ข) วงจรรวมในชิ้นงานจริง

รูปที่ 3.13 วงจรรวมและชุดชิ้นงานที่สำเร็จแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### การจำลองการทำงานและผลการทดลอง

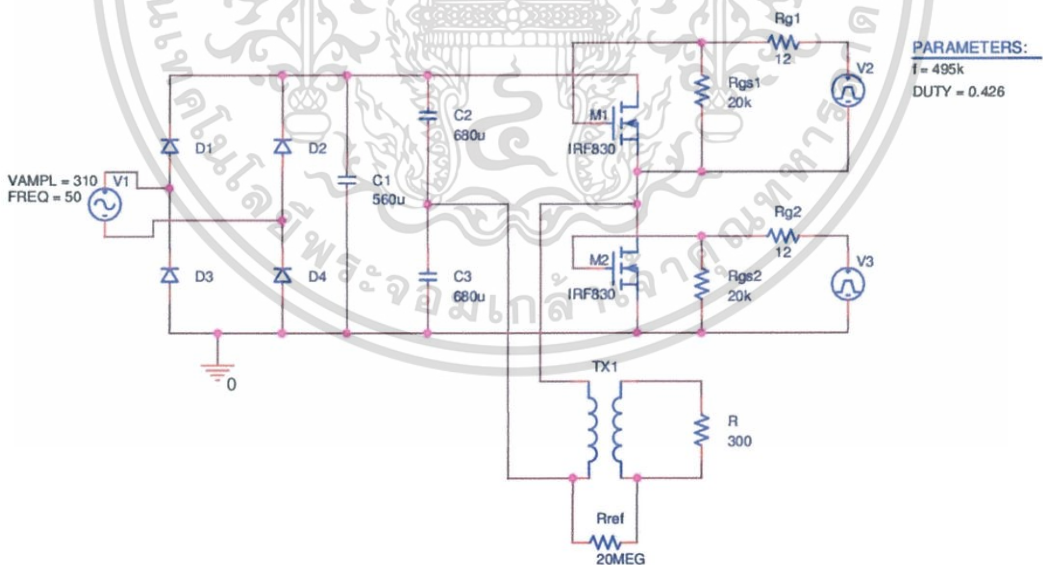
#### 4.1 บทนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงการจำลองการทำงาน และผลการทดลองของเครื่องอินเวอร์เตอร์แบบกึ่งบริดจ์โดยใช้พีดีบีเบิลยูเอ็มความถี่สูงในแหล่งจ่ายไฟฟ้าเพื่อการผ่าตัด เพื่อวัดผลทางไฟฟ้าที่จุดต่างๆ ของวงจร พร้อมทั้งวัดแรงดันไฟฟ้า, กระแสไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้า ทั้งทางด้านอินพุตและเอาต์พุตของวงจรอินเวอร์เตอร์แบบกึ่งบริดจ์ ซึ่งได้แบ่งการทดลองออกเป็นส่วนๆ ดังนี้

1. การจำลองการทำงานของวงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าเพื่อการผ่าตัด
  - จุดการทำงานที่ 1 : สภาวะไร้โหลด
  - จุดการทำงานที่ 2 : โหลดความต้านทาน 300  $\Omega$
2. การทดลองการทำงานของวงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าเพื่อการผ่าตัด
  - จุดการทำงานที่ 1 : สภาวะไร้โหลด
  - จุดการทำงานที่ 2 : โหลดทดลอง 300  $\Omega$  (หลอดไฟ)
  - จุดการทำงานที่ 3 : ชื่นเนื้อตัวอย่าง (อกไก่)

#### 4.2 การจำลองการทำงานของวงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าเพื่อการผ่าตัด

วงจรอินเวอร์เตอร์แบบกึ่งบริดจ์ความถี่สูงที่ใช้จำลองการทำงานมีลักษณะดังรูปที่ 4.1 โดยการจำลองการทำงานที่ 2 จุดการทำงาน คือ ที่สภาวะไร้โหลด และที่โหลดทดลอง 300  $\Omega$



รูปที่ 4.1 โครงสร้างวงจรอินเวอร์เตอร์แบบกึ่งบริดจ์สำหรับการจำลอง

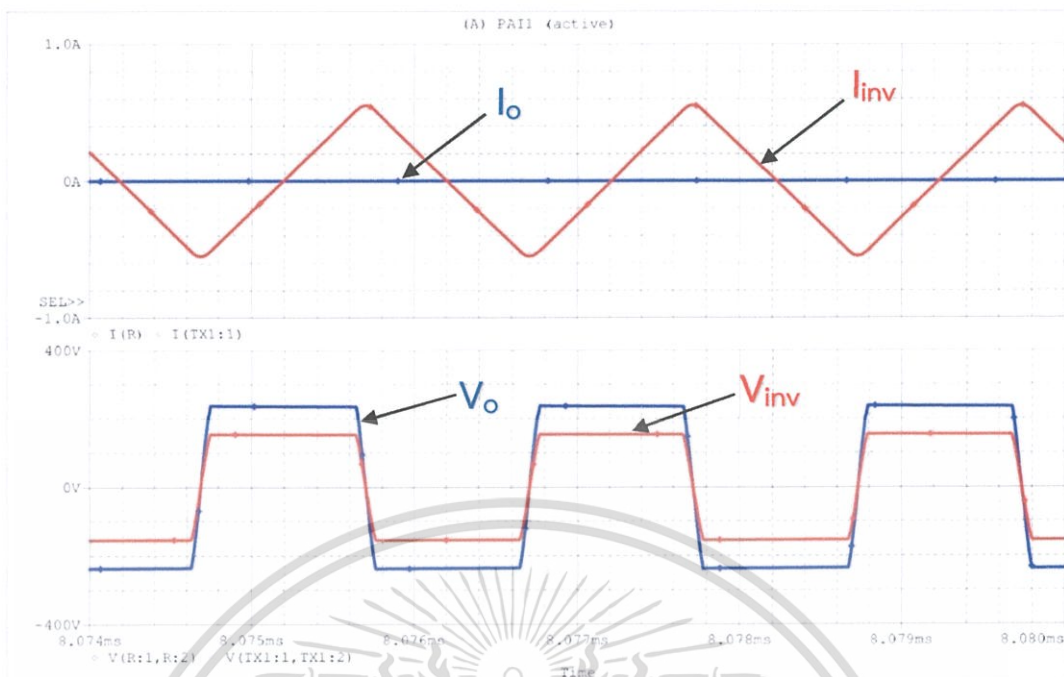
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การจำลองการทำงานของวงจรอินเวอร์เตอร์แบบกึ่งบริดจ์นี้ ทำขึ้นเพื่อศึกษาผลการทำงานที่ได้จากการจำลอง เพื่อนำมาเทียบกับการคำนวณและการทำงานจริงของเครื่องจักรไฟฟ้าที่ได้ ออกแบบสร้าง โดยกำหนดให้มอสเฟต IRF830 เป็นสวิตช์ของวงจรอินเวอร์เตอร์แบบกึ่งบริดจ์ มีค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการจำลองต่างๆ ดังนี้

$C_1$	= 560	$\mu F$	
$C_2$	= 680	$\mu F$	
$C_3$	= 680	$\mu F$	
$R_{g1}$	= 12	$\Omega$	
$R_{g2}$	= 12	$\Omega$	
$R_{gs1}$	= 20	$k\Omega$	
$R_{gs2}$	= 20	$k\Omega$	
$R_{ref}$	= 20	$M\Omega$	
$R_{load}$	= 300	$\Omega$	
$L_1$	= 133.65	$\mu H$	(ได้จากการทดสอบหม้อแปลง)
$L_2$	= 315.4	$\mu H$	(ได้จากการทดสอบหม้อแปลง)

#### 4.2.1 จุดการทำงานที่ 1: สภาวะไร้อโหลด

เป็นการจำลองการทำงานของวงจรอินเวอร์เตอร์แบบกึ่งบริดจ์ เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันและกระแสที่ออกจากอินเวอร์เตอร์แบบกึ่งบริดจ์กับแรงดันและกระแสด้านออกของหม้อแปลงขณะเปิดวงจรที่สภาวะไร้อโหลด เพื่อดูลักษณะความสัมพันธ์ของสัญญาณก่อนและหลังจากผ่านหม้อแปลงความถี่สูง จะสังเกตได้ว่าสัญญาณแรงดันมีลักษณะใกล้เคียงรูปคลื่นสี่เหลี่ยมโดยที่ไม่เกิดกระแสด้านออก กระแสที่ไหลผ่านด้านปฐมภูมิมีลักษณะเป็นระลอกคลื่นกระแส ดังรูปที่ 4.2 พร้อมทั้งมีผลจากการวัดค่าจากการจำลองวงจรดังในตารางที่ 4.1



รูปที่ 4.2 สัญญาณกระแสและแรงดันเปิดวงจรที่สภาวะไร้โหลด ( $I_{inv}$ ,  $I_o$ ,  $V_{inv}$ ,  $V_o$ ) จากการจำลอง

ตารางที่ 4.1 ผลการจำลองการทำงานของวงจรที่สภาวะไร้โหลด

พารามิเตอร์	สภาวะไร้โหลด	
	ค่าจากการคำนวณ	ค่าจากการจำลอง
$I_{inv}$ (A <sub>rms</sub> )	0	0.334
$V_{inv}$ (V <sub>rms</sub> )	155	148.5
$P_{inv,avg}$ (W)	0	0
$I_o$ (A <sub>rms</sub> )	0	0
$V_o$ (V <sub>rms</sub> )	238.1	228.1
$P_{o,avg}$ (W)	0	0

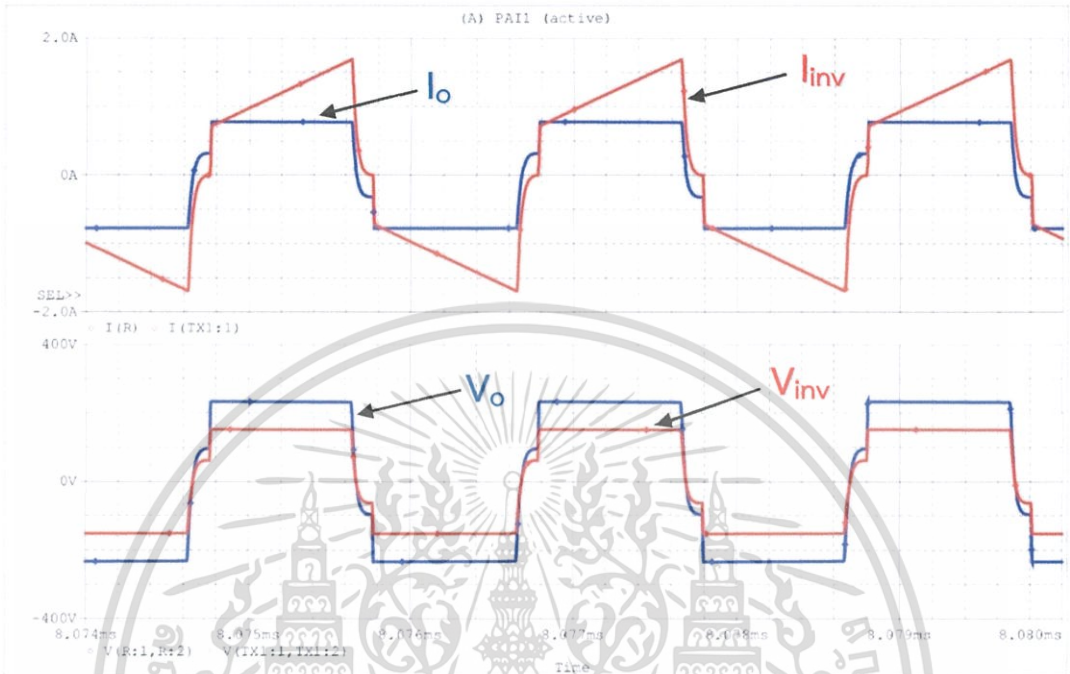
จากตารางที่ 4.1 แสดงค่ารากกำลังสองของกระแสและแรงดันอินเวอร์เตอร์, กระแสและแรงดันด้านออกที่หลังหม้อแปลง, กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยอินเวอร์เตอร์และกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยด้านออกหลังหม้อแปลงขณะไม่มีโหลดต่ออยู่ เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการคำนวณและค่าที่ได้จากการจำลองการทำงาน พบว่าค่าจากการจำลองมีความใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการคำนวณ แต่เนื่องจากการปรับตั้งค่าช่วงเวลาหยุดนำกระแสของอุปกรณ์สวิตซ์ในวงจรขับนำ และค่าความเหนี่ยวนำของหม้อแปลงจึงทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนไปจากค่าที่ได้จากการคำนวณ

#### 4.2.2 จุดการทำงานที่ 2: โหลดความต้านทาน 300 Ω

เป็นการจำลองการทำงานของวงจรอินเวอร์เตอร์แบบกึ่งบริดจ์ เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันและกระแสที่ออกจากอินเวอร์เตอร์แบบกึ่งบริดจ์กับแรงดันและกระแส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ด้านออกของหม้อแปลงขณะต่อโหลดความต้านทาน 300  $\Omega$  เพื่อดูลักษณะความสัมพันธ์ของสัญญาณก่อนและหลังจากผ่านหม้อแปลงความถี่สูง พบว่ารูปสัญญาณกระแสและแรงดันด้านออกมีลักษณะเป็นคลื่นสี่เหลี่ยมดังรูปที่ 4.3 พร้อมทั้งมีผลจากการวัดค่าจากการจำลองวงจรดังในตารางที่ 4.2



รูปที่ 4.3 สัญญาณกระแสและแรงดันที่โหลดทดลอง  $R=300 \Omega$  ( $I_{inv}$ ,  $I_o$ ,  $V_{inv}$ ,  $V_o$ ) จากการจำลอง

ตารางที่ 4.2 ผลการจำลองการทำงานของวงจรที่โหลดความต้านทาน 300  $\Omega$

พารามิเตอร์	โหลดทดลอง 300 $\Omega$	
	ค่าจากการคำนวณ	ค่าจากการจำลอง
$I_{inv}$ (Arms)	1.219	1.171
$V_{inv}$ (Vrms)	155	143.1
$P_{inv,avg}$ (W)	188.9	161.0
$I_o$ (Arms)	0.793	0.732
$V_o$ (Vrms)	238.1	219.8
$P_{o,avg}$ (W)	188.9	161.0

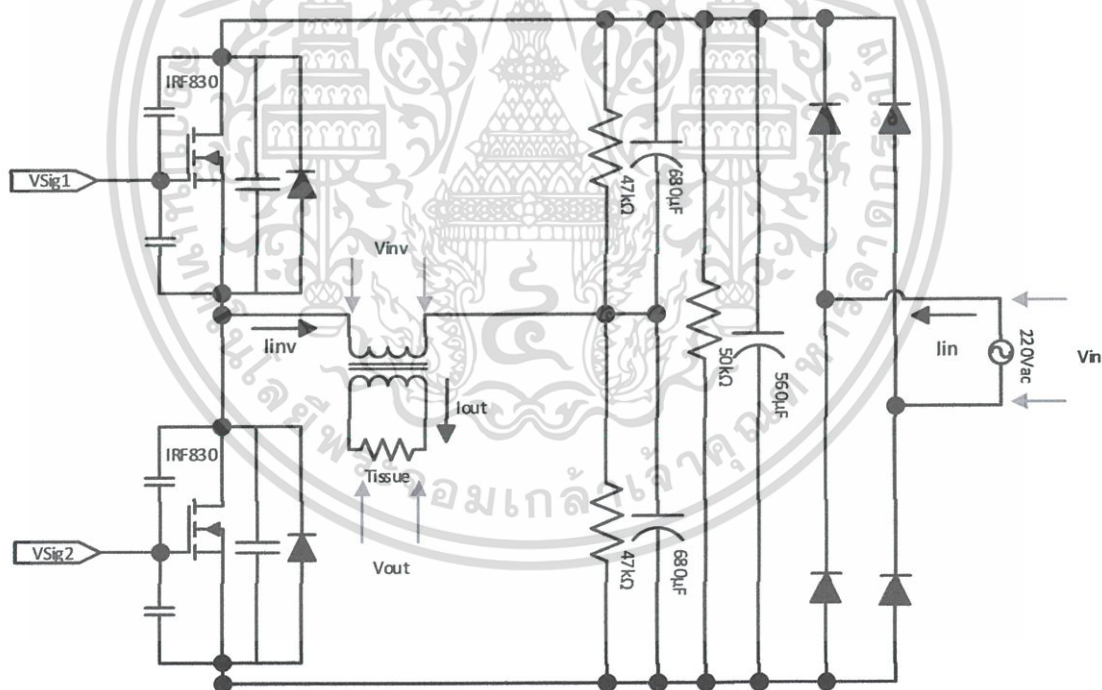
จากตารางที่ 4.2 แสดงค่ารอกำลังสองของกระแสและแรงดันอินเวอร์เตอร์, กระแสและแรงดันด้านออกที่หลังหม้อแปลง, กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยอินเวอร์เตอร์และกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยด้านออกหลังหม้อแปลงที่มีการต่อโหลดความต้านทาน 300  $\Omega$  เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการคำนวณและค่าที่ได้จากผลการจำลองการทำงาน พบว่าค่าจากผลการจำลองมีความใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการคำนวณ แต่เนื่องจากการปรับตั้งค่าช่วงเวลาหยุดนำกระแสของอุปกรณ์สวิตซ์ในวงจรขับนำและค่าความเหนี่ยวนำของหม้อแปลงจึงทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนไปจากค่าที่ได้จากการคำนวณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.3 การทดลองการทำงานของวงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าเพื่อการผ่าตัด

การทดลองสร้างแหล่งจ่ายไฟฟ้าโดยใช้วงจรอินเวอร์เตอร์แบบกึ่งบริดจ์ความถี่สูงสำหรับการผ่าตัดออกแบบสร้างดังรูปที่ 4.4 โดยใช้มอสเฟต IRF830 เป็นสวิทช์ของวงจรอินเวอร์เตอร์แบบกึ่งบริดจ์ และออกแบบวงจรขับนำความเร็วสูงโดยใช้ TC4429 และใช้การแยกโดดการขับนำด้วยการเชื่อมต่อทางแสงโดยใช้ 6N137 มีวงจรที่ใช้ในการทดลองดังรูปที่ 4.4 อุปกรณ์ที่ใช้วัดค่าต่างๆมีดังนี้

1. Oscilloscope
2. Probe
  - วัดแรงดันด้านออก ( $V_o$ )
  - วัดแรงดันอินเวอร์เตอร์ ( $V_{inv}$ )
3. Resistors 1  $\Omega$  (Current sensing resistors)
  - วัดกระแสด้านออก ( $I_o$ )
  - วัดกระแสอินเวอร์เตอร์ ( $I_{inv}$ )
4. Power meter
  - วัดกำลังไฟฟ้านำเข้า ( $P_{in}$ )



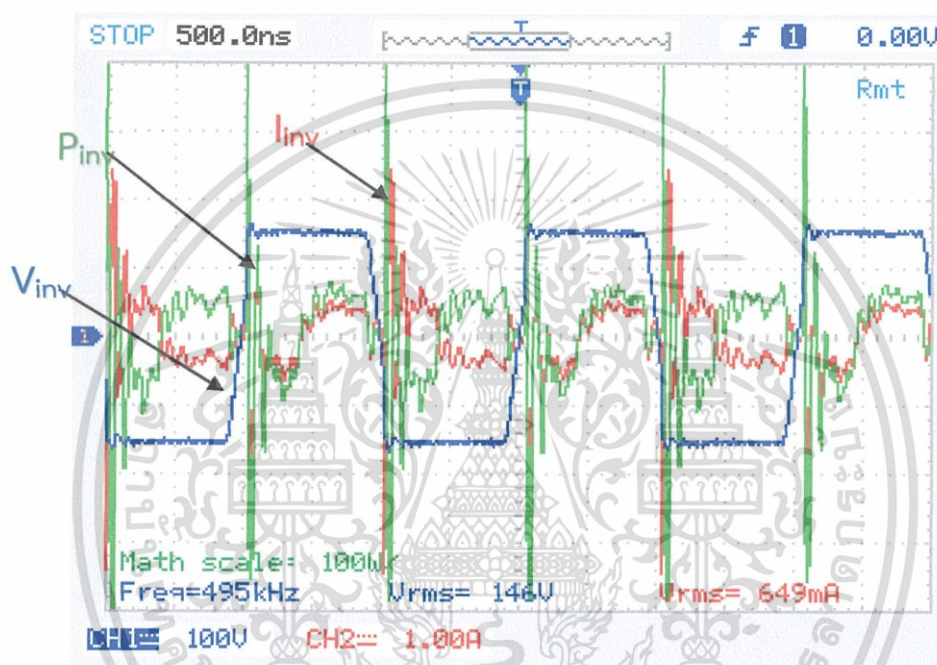
รูปที่ 4.4 วงจรอินเวอร์เตอร์แบบกึ่งบริดจ์ความถี่สูงที่ใช้ทำการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

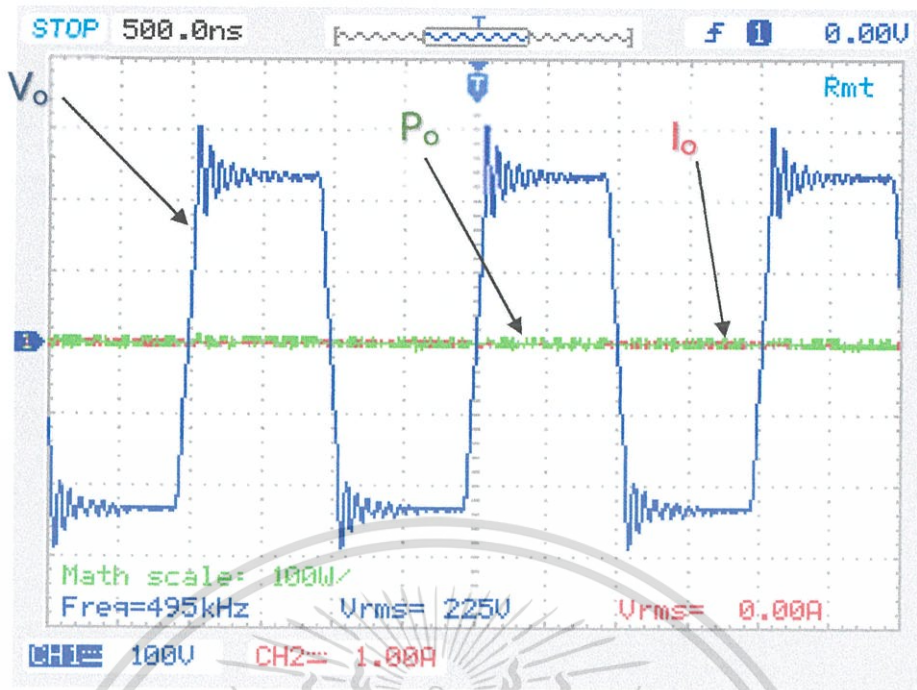
### 4.3.1 จุดการทำงานที่ 1: สภาวะไร้โหลด

การทำงานของวงจรอินเวอร์เตอร์ที่สภาวะไร้โหลด ที่ความถี่ประมาณ 500 kHz ได้รูปสัญญาณกระแสอินเวอร์เตอร์จะมีลักษณะผิดแปลกไปจากรูปคลื่นสี่เหลี่ยมอันเป็นผลมาจากค่าความเหนี่ยวนำในหม้อแปลง ค่าแฝงต่างๆ และแรงดันอินเวอร์เตอร์แบบกึ่งบริดจ์มีลักษณะเป็นรูปสัญญาณสี่เหลี่ยมดังรูปที่ 4.5

ลักษณะสัญญาณแรงดันด้านออกมีลักษณะเป็นรูปสัญญาณสี่เหลี่ยมและมีลักษณะการเกิดสไปค์ของสัญญาณในช่วงเริ่มทำงานของอุปกรณ์สวิตซ์ และเนื่องจากการทดลองที่สภาวะไร้โหลดจึงไม่มีกระแสไหลในวงจรด้านออก ดังรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.5 สัญญาณกระแสและแรงดันอินเวอร์เตอร์แบบกึ่งบริดจ์ที่สภาวะไร้โหลดจากการทดลอง



รูปที่ 4.6 สัญญาณแรงดันด้านออกที่สภาวะไร้อหลดจากการทดลอง

จากการทดลองการทำงานของวงจรอินเวอร์เตอร์ที่สภาวะไร้อหลด แล้วทำการวัดค่าต่างๆ ได้ตามตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ผลการทดลองการทำงานของวงจรที่สภาวะไร้อหลด

ความต้านทาน ( $\Omega$ )	$P_{in,avg}$ (W)	$I_{inv}$ ( $A_{rms}$ )	$V_{inv}$ ( $V_{rms}$ )	$P_{inv,avg}$ (W)	$I_o$ ( $A_{rms}$ )	$V_o$ ( $V_{rms}$ )	$P_{o,avg}$ (W)	$\eta$ (%)
สภาวะไร้อหลด	5.9	0.649	146.0	5.9	0	225.0	0	-

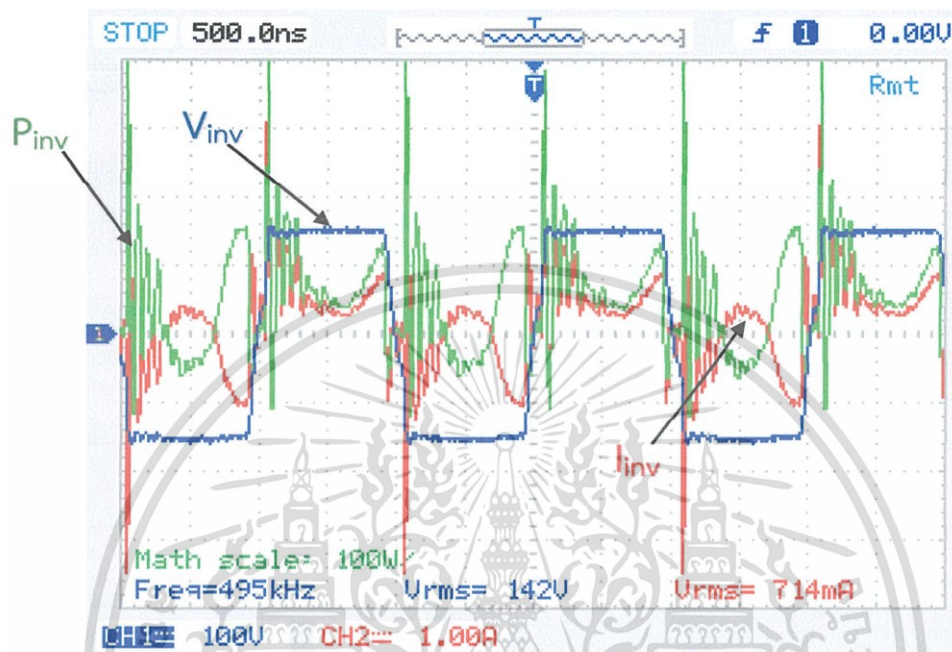
จากตารางที่ 4.3 แสดงค่ารากกำลังสองของกระแสและแรงดันด้านออกของอินเวอร์เตอร์แบบกึ่งบริดจ์ กระแสและแรงดันด้านออก กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยด้านออก กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยด้านเข้า กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยที่อินเวอร์เตอร์และประสิทธิภาพของวงจร โดยที่สภาวะไร้อหลดไม่มีกระแสไหลที่ด้านออกของวงจร จึงทำให้ไม่เกิดกำลังไฟฟ้านอก

#### 4.3.2 จุดการทำงานที่ 2: โหลดทดลอง 300 $\Omega$ (โหลดไฟ)

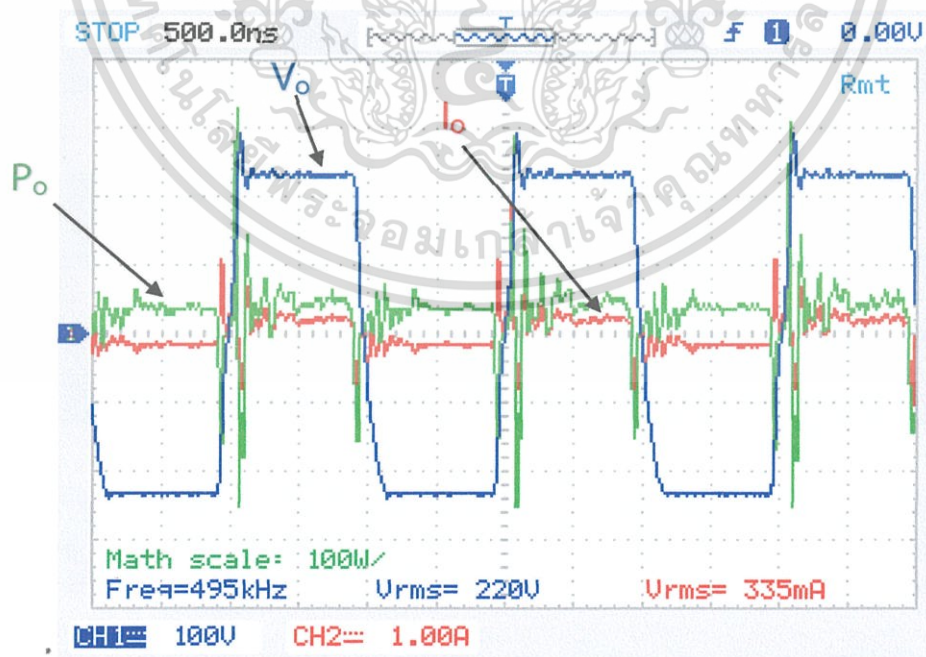
การทำงานของวงจรอินเวอร์เตอร์ที่โหลด 300  $\Omega$  ที่ความถี่ประมาณ 500 kHz ได้รูปสัญญาณกระแสอินเวอร์เตอร์จะมีลักษณะผิดแปลกไปจากรูปคลื่นสี่เหลี่ยมอันเป็นผลมาจากค่าความเหนี่ยวนำในหม้อแปลง, หลอดไฟ และค่าแฝงต่างๆ และแรงดันอินเวอร์เตอร์แบบกึ่งบริดจ์มีลักษณะเป็นรูปสัญญาณสี่เหลี่ยมดังรูปที่ 4.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลักษณะสัญญาณของกระแสและแรงดันด้านออกมีลักษณะเป็นรูปสัญญาณสี่เหลี่ยม โดยมีลักษณะการเกิดสไปค์ของสัญญาณในช่วงเริ่มทำงานของอุปกรณ์สวิตช์ สัญญาณกระแสจะมีสไปค์ที่สูงมากในช่วงการหยุดนำกระแสของอุปกรณ์สวิตช์ และอาจเกิดจากความคลาดเคลื่อนในวงจรเครื่องมือวัดที่ความถี่สูง และสามารถใช้ฟังก์ชันหารูปสัญญาณกำลังไฟฟ้าได้ ดังรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.7 สัญญาณกระแสแรงดันอินเวอร์เตอร์แบบกึ่งบริดจ์ที่โหลดทดลอง 300  $\Omega$  จากการทดลอง



รูปที่ 4.8 สัญญาณกระแสและแรงดันด้านออกที่โหลดทดลอง 300  $\Omega$  จากการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการทดลองการทำงานของวงจรอินเวอร์เตอร์ที่ต่อโหลดทดลอง 300  $\Omega$  แล้วทำการวัดค่าต่างๆ ได้ตามตารางที่ 4.4

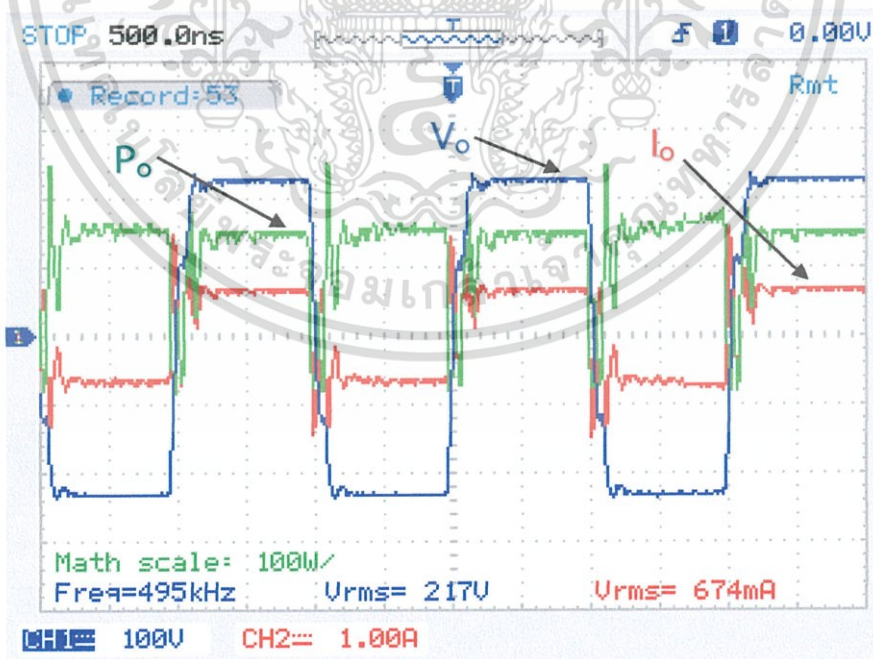
ตารางที่ 4.4 ผลการทดลองการทำงานของวงจรที่ต่อโหลดทดลอง 300  $\Omega$

ความต้านทาน ( $\Omega$ )	$P_{in,avg}$ (W)	$I_{inv}$ ( $A_{rms}$ )	$V_{inv}$ ( $V_{rms}$ )	$P_{inv,avg}$ (W)	$I_o$ ( $A_{rms}$ )	$V_o$ ( $V_{rms}$ )	$P_{o,avg}$ (W)	$\eta$ (%)
300	101.3	0.714	142	80.7	0.335	220	73.7	72.8

จากตารางที่ 4.4 แสดงค่ารอกำลังสองของกระแสและแรงดันอินเวอร์เตอร์ กระแสและแรงดันด้านออก, กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยด้านออก, กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยด้านเข้า, กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยหลังจากอินเวอร์เตอร์ และประสิทธิภาพของวงจร โดยเมื่อสังเกตเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการจำลองและการคำนวณจะพบที่มีความคลาดเคลื่อนทั้งนี้เนื่องมาจากการกำลังไฟฟ้สูญเสียนองจรและความไม่เป็นอุดมคติ

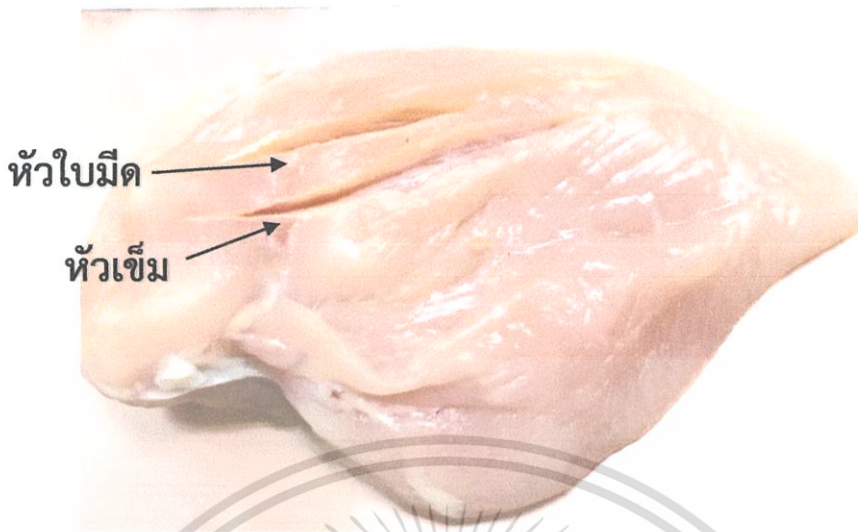
### 4.3.3 จุดการทำงานที่ 3: ขึ้นเนื้อตัวอย่าง (อกไก่)

การทำงานของวงจรอินเวอร์เตอร์ขณะตัดขึ้นเนื้อตัวอย่าง (อกไก่) ที่ความถี่ประมาณ 500 kHz มีรูปสัญญาณกระแสและแรงดันด้านออกที่มีลักษณะเป็นรูปสัญญาณสี่เหลี่ยมโดยมีสัญญาณสไปค์เกิดในช่วงที่อุปกรณ์สวิตช์เริ่มนำกระแสดังรูปที่ 4.9 และลักษณะรอยตัดที่เกิดขึ้นบนชิ้นเนื้อตัวอย่าง (อกไก่) ที่ใช้หัวตัดแตกต่างกัน 2 ลักษณะคือหัวใบมีดและหัวเข็ม ดังรูปที่ 4.10



รูปที่ 4.9 สัญญาณกระแสและแรงดันด้านออกขณะตัดขึ้นเนื้อตัวอย่าง (อกไก่)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.10 รอยตัดบนชิ้นเนื้อตัวอย่าง (อกไก่)

จากการทดลองการทำงานของวงจรอินเวอร์เตอร์เมื่อทำการตัดโพลิตขึ้นเนื้อตัวอย่าง (อกไก่) แล้วทำการวัดค่าต่างๆ ได้ตามตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ผลการทดลองการทำงานของวงจรเมื่อทำการตัดโพลิตขึ้นเนื้อตัวอย่าง (อกไก่)

ความต้านทาน ( $\Omega$ )	$P_{in,avg}$ (W)	$I_o$ ( $A_{rms}$ )	$V_o$ ( $V_{rms}$ )	$P_{o,avg}$ (W)	$\eta$ (%)
300-1000	154.8	0.674	217	146.3	94.5%

จากตารางที่ 4.5 แสดงค่ารอกำลังสองของกระแสและแรงดันด้านออก, กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยด้านออก และกำลังเฉลี่ยด้านเข้า พบว่ากำลังไฟฟ้าด้านเข้าและด้านออกมีค่าใกล้เคียงกัน เนื่องจากเนื้อตัวอย่าง (อกไก่) นั้นมีค่าอิมพีแดนซ์เป็นความต้านทานทำให้ได้กำลังงานจริงที่สูงสุด แต่เนื่องด้วยข้อจำกัดของเครื่องมือวัดกระแสที่ความถี่สูง ส่งผลให้ค่าประสิทธิภาพและกำลังไฟฟ้าที่ได้มีความคลาดเคลื่อนไปจากความเป็นจริง

#### 4.4 สรุปผลการจำลองการทำงานและผลการทดลอง

จากการจำลองการทำงานและการทดลองวงจรอินเวอร์เตอร์แบบกึ่งบริดจ์ความถี่สูงสำหรับการฆ่าตัด พบว่าการออกแบบสร้างวงจรอินเวอร์เตอร์แบบกึ่งบริดจ์ความถี่สูงสำหรับการฆ่าตัดเป็นไปตามข้อกำหนดและขีดจำกัด แต่เนื่องจากเกิดความคลาดเคลื่อนต่างๆ เนื่องจากข้อจำกัดของเครื่องมือวัดกระแสที่ความถี่สูง ขึ้นในวงจรทำให้ได้แรงดันไฟฟ้าด้านออกและกำลังไฟฟ้าด้านออกที่ไม่เป็นไปตามค่าที่คำนวณ โดยการทำงานที่ความถี่สูงจะทำให้ค่าความเหนี่ยวนำแม่เหล็กและความจุไฟฟ้าเหนี่ยวนำ มีผลต่อวงจรมากจึงทำให้ได้กำลังงานไฟฟ้าจริงน้อยลง โดยในการทดลองที่ใช้ตัดชิ้นเนื้อตัวอย่าง (อกไก่) ซึ่งมีสภาพความต้านทานที่เปลี่ยนแปลงตลอดในช่วงระยะเวลาที่ทำการตัด อัน

เนื่องจากความหนาบางของชิ้นเนื้อตัวอย่าง (อกไก่) และลักษณะกล้ามเนื้อในชิ้นเนื้อตัวอย่าง (อกไก่) จึงทำให้กำลังงานด้านที่ได้นั้นไม่คงที่ตลอดช่วงระยะเวลาในการตัด เนื่องด้วยการทำงานที่ความถี่สูงจำเป็นต้องใช้เครื่องมือวัดที่มีย่านความถี่ในการวัดที่สูงด้วย แต่เนื่องจากเครื่องมือวัดที่ใช้วัดกระแสในการทดลองนี้มีขีดจำกัดการทำงานที่ย่านความถี่ต่ำ และเนื่องจากเครื่องมือวัดกระแสนั้นมีราคาแพง จึงใช้การวัดด้วยวิธี Current sensing resistors ซึ่งมีความไวต่อสัญญาณรบกวนมาก โดยรอยตัดของชิ้นเนื้อตัวอย่าง (อกไก่) ที่เกิดขึ้นนั้นขึ้นอยู่กับ ระดับแรงดันไฟฟ้า กำลังไฟฟ้าที่ผ่านชิ้นเนื้อตัวอย่าง (อกไก่) และนอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับขนาด ลักษณะของอิเล็กโทรดที่ใช้งาน และระยะเวลาในการผ่านชิ้นเนื้อตัวอย่างของอิเล็กโทรดด้วย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### สรุปผลการทดลอง

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเสนอการออกแบบวงจรควบคุมอินเวอร์เตอร์แบบกึ่งบริดจ์โดยใช้พีดีบีเบิลยูเอ็มความถี่สูงในแหล่งจ่ายไฟฟ้าเพื่อการผ่าตัด การวิเคราะห์และการออกแบบวงจรจะต้องศึกษาค้นคว้าเพื่อให้วงจรที่ได้รับออกแบบสามารถทำงานในช่วงความถี่ที่ต้องการได้ ในการทำงานจะมีสภาวะการทำงานที่เปลี่ยนแปลงในช่วงกว้างตามสภาวะความต้านทานของชิ้นเนื้อตัวอย่าง (อกไก่) โดยการออกแบบวงจรขับนำเพื่อให้ทำงานที่ความถี่สูงได้จะต้องออกแบบให้มีความเหมาะสม จึงจะทำให้ไม่เกิดความเสียหายต่ออุปกรณ์สวิตซ์ และสิ่งที่สำคัญที่สุดจะต้องคำนึงถึงความปลอดภัยในการใช้งาน

#### 5.1 สรุปผลการทดลอง

ในปริญญานิพนธ์เล่มนี้ได้นำเสนอการออกแบบวงจรควบคุมอินเวอร์เตอร์แบบกึ่งบริดจ์โดยใช้พีดีบีเบิลยูเอ็มความถี่สูงในแหล่งจ่ายไฟฟ้าเพื่อการผ่าตัด ซึ่งในปริญญานิพนธ์เล่มนี้ได้ทำการศึกษาและออกแบบแหล่งจ่ายไฟฟ้าให้กับเครื่องจี้ตัดด้วยไฟฟ้า โดยจะต้องมีการศึกษาคคุณสมบัติของการจ่ายไฟฟ้าแบบพีดีบีเบิลยูเอ็มความถี่สูง เพื่อให้สามารถทำงานได้ตามวัตถุประสงค์ที่ต้องการ คือสามารถตัดชิ้นเนื้อตัวอย่าง (อกไก่) ซึ่งมีความใกล้เคียงทางไฟฟ้ากับเนื้อเยื่อมนุษย์ได้ โดยลักษณะของการตัดชิ้นเนื้อตัวอย่างด้วยการใช้วงจรกึ่งบริดจ์อินเวอร์เตอร์ความถี่สูง ในการสร้างลำอาร์คระหว่างกำลังไฟฟ้านอกกับชิ้นเนื้อตัวอย่าง (อกไก่) ในการวิจัยจะมีการกำหนดขอบเขตการควบคุมสัญญาณของแหล่งจ่ายไฟฟ้าเพื่อการผ่าตัด ให้มีแรงดันไฟฟ้าด้านเข้าเป็น 220 V ความถี่ 50 Hz และมีกำลังไฟฟ้านอกสูงสุด 190 W ที่ความถี่สัญญาณประมาณ 500 kHz ซึ่งเป็นการกำหนดขอบเขตแรงดันไฟฟ้านอกและกระแสไฟฟ้านอก หรือก็คือกำลังไฟฟ้านอกนั่นเอง และเพื่อเหตุผลทางด้านความปลอดภัยทางไฟฟ้าด้วยแล้วจึงก่อให้เกิดผลเฉพาะกับชิ้นเนื้อตัวอย่างที่ต้องการทำการผ่าตัดด้วย อีกทั้งยังทำให้เกิดการพัฒนาเทคโนโลยีทางด้านทาวเวอร์อิเล็กทรอนิกส์กำลังและการพัฒนาทางด้านชีวการแพทย์อีกด้วย ซึ่งในการวิเคราะห์และการออกแบบได้ทำการออกแบบวงจรเรียงกระแสทางด้านเข้า วงจรแปลงผันไฟตรงเป็นไฟสลับแบบกึ่งบริดจ์อินเวอร์เตอร์, วงจรขับนำสวิตซ์ และหม้อแปลงความถี่สูง ซึ่งการขับนำสวิตซ์จะต้องขับนำได้อย่างเหมาะสมจึงจะทำให้ไม่เกิดความเสียหายต่ออุปกรณ์สวิตซ์ นอกจากนี้แล้วสิ่งที่จะต้องคำนึงถึงในการออกแบบหม้อแปลงความถี่สูง ก็คือผลของปรากฏการณ์กระแสไหลที่ผิวของลวดตัวนำ เพราะจะต้องใช้งานที่ความถี่สูงเพื่อที่จะทำให้เกิดประสิทธิภาพสูงที่สุดในการทำงาน ตามที่ได้ทำการออกแบบไว้

เมื่อเราได้ทำการเปรียบเทียบผลจากการจำลองการทำงานกับผลการทดลองการทำงานของวงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าเพื่อการผ่าตัด โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 3 จุดการทำงาน ประกอบด้วย จุดการทำงานที่ 1 ที่สภาวะไร้อโหลด, จุดการทำงานที่ 2 ที่โหลดทดลอง 300  $\Omega$  (หลอดไฟ) และจุดการทำงานที่ 3 ชิ้นเนื้อตัวอย่าง (อกไก่) จากผลการทดลองกับการจำลองการทำงาน อาจจะมีการคลาดเคลื่อนไปบ้างเนื่องจากผลของความไม่เป็นอุดมคติของอุปกรณ์ ซึ่งจะพบว่าการออกแบบสร้างวงจรอินเวอร์เตอร์แบบกึ่งบริดจ์ความถี่สูงสำหรับแหล่งจ่ายไฟฟ้าเพื่อการผ่าตัดนั้น เป็นไปตามข้อกำหนดและขีดจำกัดของการออกแบบ แต่อาจมีความคลาดเคลื่อนไปบ้าง เนื่องจากชิ้นเนื้อตัวอย่าง (อกไก่) มีสภาพความต้านทานที่เปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลาที่ทำการตัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยมีสภาวะการทำงานที่เปลี่ยนแปลงในช่วงกว้างตามความต้านทานของชิ้นเนื้อตัวอย่าง (อกไก่) เป็นผลทำให้กำลังไฟฟ้าด้านออกที่ได้ออกมานั้นไม่คงที่ ตลอดในช่วงระยะเวลาที่ทำการตัด

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

1. การตัดชิ้นเนื้อที่มีความต้านทานที่เปลี่ยนแปลงตลอดในช่วงระยะเวลาที่ทำการตัด จึงทำให้กำลังไฟฟ้าที่ได้มีค่าไม่คงที่ ซึ่งอาจทำให้เกิดผลกระทบต่อเนื้อบริเวณรอบข้างและอาจเป็นอันตรายต่อผู้ใช้อีกด้วย จึงควรมีวงจรควบคุมแบบย้อนกลับ เพื่อที่จะสามารถควบคุมกำลังไฟฟ้าให้คงที่อยู่ตลอดได้ซึ่งจะทำให้ลดผลกระทบที่มีต่อเนื้อบริเวณรอบข้างได้ ทั้งนี้ยังเป็นการลดอันตรายที่อาจเกิดกับผู้ใช้ได้อีกด้วย
2. การเพิ่มโหมดในการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเพื่อการผ่าตัด เพื่อให้ผู้ใช้ได้เลือกใช้โหมดการทำงานให้เหมาะสมและตรงตามวัตถุประสงค์ในการผ่าตัด ทำให้การผ่าตัดเป็นไปได้ อย่างราบรื่น สะดวกและรวดเร็ว ซึ่งเป็นการลดอันตรายต่างๆที่อาจเกิดกับผู้ใช้ด้วย
3. ในการออกแบบสัญญาณควบคุมแบบซอฟต์แวร์ของวงจรกึ่งบริดจ์อินเวอร์เตอร์ที่ความถี่สูง เนื่องจากในปริยฐานิพนธ์เล่มนี้เป็นการออกแบบสัญญาณควบคุมแบบฮาร์ดแวร์ซึ่ง ซึ่งเป็นผลทำให้เกิดกำลังสูญเสียในการสวิตช์มาก ทำให้ประสิทธิภาพของเครื่องมือต่ำลง และอาจทำให้มีอายุการใช้งานของอุปกรณ์ที่สั้นลงตามไปด้วย
4. การออกแบบวงจรเรโซแนนซ์ (Resonance) ในวงจรอินเวอร์เตอร์ความถี่สูง เพื่อให้เกิดจากส่งถ่ายกำลังไฟฟ้าได้สูงสุด อันเป็นการทำให้เครื่องมีประสิทธิภาพสูงขึ้นอีกด้วย แต่เนื่องด้วยความถี่การสวิตช์ที่สูง จึงต้องพิจารณาการเลือกอุปกรณ์ในช่วงความถี่ที่เหมาะสมด้วย
5. การออกแบบลายวงจรควรทำให้อยู่ในแผ่นเดียวกัน เพื่อลดผลจากค่าความเหนี่ยวนำแฝงและค่าความจุไฟฟ้าแฝงที่อาจเกิดขึ้นได้

## เอกสารอ้างอิง

- [1] สาธิต นฤภัย, “เครื่องจี้ตัดด้วยไฟฟ้า,” *บทความวิศวกรรมกรรมการแพทย์, กองวิศวกรรมกรรมการแพทย์ กรมสนับสนุนบริการสุขภาพ*, 2546, หน้า 1-20.
- [2] จิตติยา ธนะสินธราทิพย์, “การออกแบบและสร้างแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับความถี่สูงที่เป็นแหล่งกำลังของเครื่องจี้ตัดไฟฟ้า,” *วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย*, 2549.
- [3] ปราโมช ดอกไม้, “การหาแบบจำลองและออกแบบการควบคุมวงจรถูกอินเวอร์เตอร์แบบเรโซแนนซ์สำหรับเครื่องจี้ตัดไฟฟ้าเพื่อการผ่าตัด,” *วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย*, 2549.
- [4] Eggleston, J. L., Von Maltzahn, W.W., “Electrosurgical Devices,” *The Biomedical Engineering Handbook: Second Edition*, 2000, pp. 2-3.
- [5] วีระเดช เจริญวรรณ, “การศึกษาเปรียบเทียบวงจรควบคุมแบบ PWM, PDM และ PS-PWM ในวงจรคอนเวอร์เตอร์ฟูลบริดจ์ แรงดันสูงความถี่สูงแบบ LCC เรโซแนนซ์สำหรับเครื่องกำเนิดไอโซน,” *วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง*, 2556.
- [6] วีระเชษฐ์ ชันเงิน, วุฒิพล ธาราธิ์เรศษุ, อิเล็กทรอนิกส์กำลัง, กรุงเทพฯ : ห้างหุ้นส่วนจำกัด วี.เจ. พรินติ้ง. 2555.
- [7] นรฤทธิ เสนาจิตร, “การปรับปรุงสมรรถนะของเครื่องตัดโลหะด้วยลำแสงพลาสมาโดยใช้วงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรงแบบกึ่งบริดจ์,” *วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง*, 2551.
- [8] มนตรี สมดุลยภน, ปิติกันต์ รักรากการ, “การวิเคราะห์และการออกแบบวงจรความต้านทานแบบต่อกราวด์ปรับค่าได้ด้วยแรงดันโดยใช้ซีมอส,” *ปริญญาานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า, มหาวิทยาลัยสยาม*, 2549.
- [9] นคร ภักดีชาติ, ณัฐพล วงศ์สุนทรชัย, ชัยวัฒน์ ลิ้มพรจิตรวิไล, คู่มือการทดลองเบื้องต้น dsPIC Microcontroller ด้วยโปรแกรมภาษา C กับ MPLAB C30, กรุงเทพฯ : บริษัทอินโนเวตีฟ เอ็กพอร์เมนท์ จำกัด. 2551.
- [10] อนุวัฒน์ จางวนิชเลิศ, แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าแบบสวิตชิ่ง, พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : มินเซอริวิส ซัพพลาย. 2554.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# อินเวอร์เตอร์แบบกึ่งบริดจ์โดยใช้พีดับเบิลยูเอ็มความถี่ 500 กิโลเฮิร์ตซ์ ในแหล่งจ่ายไฟฟ้าเพื่อการผ่าตัด

## A 500-KHZ PWM Half-Bridge Inverter in Electrosurgical Generators

ศุภสร หมั่นพล<sup>1</sup> ชยามคม แยมมณฑา<sup>2</sup> สุนททิพย์ แก่นจันทร์<sup>3</sup> สุตวิธ ส่องประเสริฐ<sup>4</sup>

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

1 ซอย หลอดกรุง 1 แขวงลาดกระบัง เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520 โทร 023298341

Email: <sup>1</sup>suppasorn.work2015@gmail.com, <sup>2</sup>samakom.y@gmail.com, <sup>3</sup>skt.kanchan@gmail.com, <sup>4</sup>sutiwas\_book@hotmail.com

### บทคัดย่อ

บทความฉบับนี้นำเสนอการออกแบบและสร้างอินเวอร์เตอร์แบบกึ่งบริดจ์ โดยใช้พีดับเบิลยูเอ็มความถี่ 500 กิโลเฮิร์ตซ์ ในเครื่องจี้ตัดไฟฟ้า เพื่อนำไปใช้ในแหล่งจ่ายไฟฟ้าเพื่อการผ่าตัด ส่งเสริมให้เกิดการพัฒนาด้านการวิจัยเทคโนโลยีทางการแพทย์และอิเล็กทรอนิกส์กำลัง ลดต้นทุนการนำเข้าเทคโนโลยีจากต่างประเทศ การทดลองนี้ได้ทำขึ้นเพื่อศึกษาลักษณะสัญญาณและค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ทางไฟฟ้า ณ ความถี่ใช้งานในขณะกำลังจี้ตัดชิ้นเนื้อตัวอย่างที่นำมาทดลอง และสามารถคิดค้นเนื้อตัวอย่างได้

**คำสำคัญ:** เครื่องจี้ตัดไฟฟ้า, อินเวอร์เตอร์แบบกึ่งบริดจ์, ความถี่สูง

### Abstract

A paper represents the design of a 500-kHz PWM half-bridge inverter in electrosurgical generators. The output signal is in AC waveform with a very-high frequency. These helps developing biomedical technology and decreasing the needs of importing technologies from other countries. The experiments indicate signal characteristics and other electrical parameters at the frequency of 500 kHz compared to normal-frequency. A sample tissue can be cut by using this high-frequency PWM half-bridge inverter in electrosurgical generators.

**Keywords:** electrosurgical generators, half-bridge inverter, high frequency

### 1. บทนำ

ในทางการแพทย์การผ่าตัดนั้นถูกมีวิธีการหลายวิธีที่ถูกพัฒนาให้มีประสิทธิภาพและเหมาะสมกับการผ่าตัดในพื้นที่ต่างๆ ในร่างกาย เพื่อให้ได้ผลข้างเคียงต่อผู้ป่วยน้อยที่สุด และการจี้ตัดด้วยไฟฟ้าก็เป็นวิธีการหนึ่งที่มีประสิทธิภาพการผ่าตัดให้มีผลกระทบต่อเนื้อเยื่อข้างเคียงน้อยลง ลดการสูญเสียเลือดของผู้ป่วย มีการห้ามเลือดขณะผ่าตัดหรือจะมาร่วมกับการผ่าตัดอื่นๆ ได้ ปัจจุบันทางการแพทย์จึงได้นำ

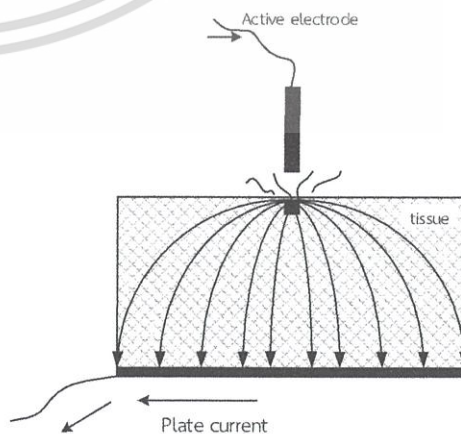
เครื่องจี้ตัดด้วยไฟฟ้ามาใช้แพร่หลายในประเทศไทยมากขึ้น เหตุนี้จึงได้พัฒนาเทคโนโลยีทางด้านพาวเวอร์อิเล็กทรอนิกส์ที่สนับสนุนแนวความคิดทางการแพทย์เพื่อเป็นแนวทางในการศึกษาทดลองสร้างเครื่องจี้ตัดด้วยไฟฟ้าต้นแบบขึ้น และพิจารณาขีดจำกัดต่างๆ ในการทำงานของเครื่องจี้ตัดด้วยไฟฟ้าเพื่อที่จะนำมาเลือกอุปกรณ์ต่างๆ ที่นำมาใช้กับวงจรที่มีงานการทำงานที่ความถี่สูง และสามารถทำงานที่กัลังไฟฟ้าได้ดีและพิจารณาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่อาจทำให้เกิดการทำงานผิดพลาดในวงจรที่มีสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับความถี่สูง

### 2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 หลักการเบื้องต้นเครื่องจี้ตัดด้วยไฟฟ้า

การผ่าตัดด้วยเครื่องจี้ตัดด้วยไฟฟ้า มีหลักการทางไฟฟ้าคือทำให้เกิดการสปาร์ค หรือการอาร์คของกระแสไฟฟ้าเพื่อให้เกิดความร้อนสูง เมื่อเนื้อเยื่อมีอุณหภูมิสูงกว่า 100 องศาเซลเซียสของเหลวภายในเซลล์ (น้ำ) จะเดือดกลายเป็นไอ แห้งจนปริแตกแยกออกจากกัน [1]

เครื่องจี้ตัดด้วยไฟฟ้า จะปล่อยกระแสไฟฟ้าความถี่สูงไหล ผ่าน Active Electrode ไปยังจุดที่จะทำการผ่าตัด แล้วกระแสไฟฟ้าความถี่สูงนี้จะ spark ผ่านเนื้อเยื่อหรือจุดที่ทำการผ่าตัด แล้วกระจายผ่านร่างกายไปยังจุดต่างบน Plate Electrode เพื่อลดความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าตรงทางที่กระแสไฟฟ้าไหลออกจากร่างกาย (ลดความร้อนที่จะเกิดขึ้น) แล้วกลับไปครบวงจรที่เครื่องจี้ตัดด้วยไฟฟ้า ดังรูปที่ 1

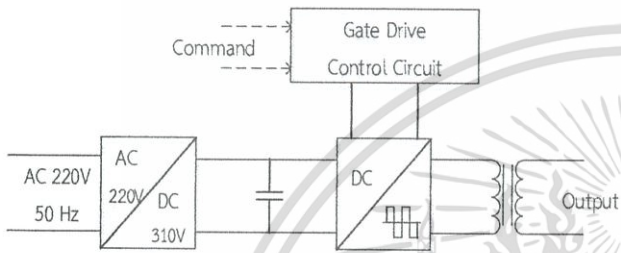


รูปที่ 1 ลักษณะการทำงานของเครื่องจี้ตัดด้วยไฟฟ้าเบื้องต้น เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.2 โครงสร้างของเครื่องจักรตัดด้วยไฟฟ้า

มีโครงสร้างดังรูปที่ 2 โดยทั่วไปประกอบด้วยวงจร หรือ ส่วนประกอบสำคัญแยกออกเป็นส่วนๆ ได้ดังนี้

1. วงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์ : (1Ø Bridge Rectifier)
2. วงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟสลับแบบกึ่งบริดจ์ : (Half-Bridge Inverter)
3. ชุดวงจรควบคุมสัญญาณขับเคลื่อน : (Gate Drive Control Circuit)
4. หม้อแปลงความถี่สูง : (High Frequency Transformer)
5. มีดหรือตัวนำไฟฟ้า : (Active Electrode ,Reference Electrode)



รูปที่ 2 โครงสร้างของเครื่องจักรตัดด้วยไฟฟ้า

## 2.3 กำลังไฟฟ้าเฉลี่ย

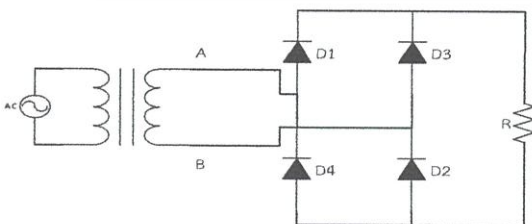
ถ้ารูปคลื่นแรงดันและกระแสมีคาบเวลาซ้ำๆ กัน ดังนั้น กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยที่เกิดขึ้นในตัวอุปกรณ์ในวงจรไฟฟ้า จะหาได้จากสมการที่ (1)

$$P_{avg} = \frac{1}{T} \int_0^T v(t) i(t) dt \quad (1)$$

## 2.4 วงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์

วงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์ทำหน้าที่แปลงไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรงหาค่าด้านออกได้จากสมการที่ (2) และมีลักษณะดังรูปที่ 3 [4]

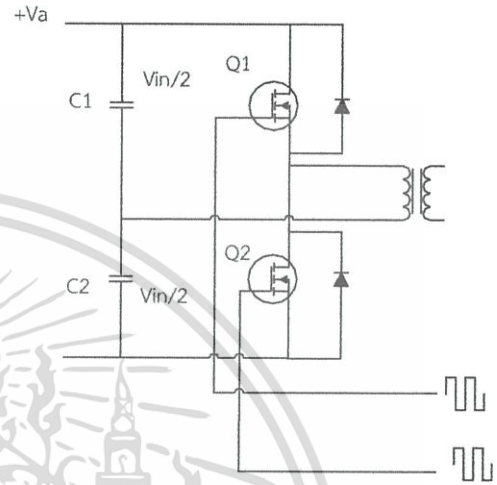
$$I_o = \frac{V_o}{R} = \frac{2V_m}{\pi R} \quad (2)$$



รูปที่ 3 วงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบบริดจ์

## 2.5 วงจรอินเวอร์เตอร์แบบกึ่งบริดจ์

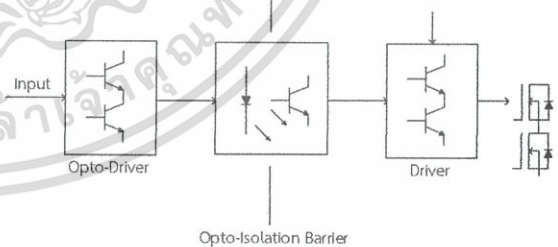
วงจรอินเวอร์เตอร์ใช้แปลงไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับอินเวอร์เตอร์แบบกึ่งบริดจ์จะมีลักษณะดังรูปที่ 4 คือจะมีตัวเก็บประจุสองตัวลำดับกันอยู่ระหว่างแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง และหากกำหนดให้ค่าตัวเก็บประจุสองตัวมีค่าเท่ากัน จะทำให้แรงดันไฟฟ้าตกคร่อมตัวเก็บประจุแต่ละตัวมีค่าเท่ากันคือ  $V_{in} / 2$  [3]



รูปที่ 4 วงจรอินเวอร์เตอร์แบบกึ่งบริดจ์

## 2.6 วงจรขั้วนำที่ใช้การแยกโดดด้วยการเชื่อมต่อทางแสง

วงจรขั้วนำที่ใช้การแยกโดดด้วยการเชื่อมต่อทางแสงมีโครงสร้างดังรูปที่ 5 โดยสัญญาณขั้วนำของสฟตจะถูกแยกโดดด้วยการเชื่อมต่อทางแสงไปยังวงจรขั้วนำของสฟต โดยรูปแบบนี้จะมีปัญหาเรื่อง ground loop น้อยแต่อาจจะมีขนาดใหญ่เนื่องจากต้องมีแหล่งจ่ายไฟ [2]



รูปที่ 5 โครงสร้างวงจรขั้วนำที่ใช้เทคนิคการแยกโดดทางแสง

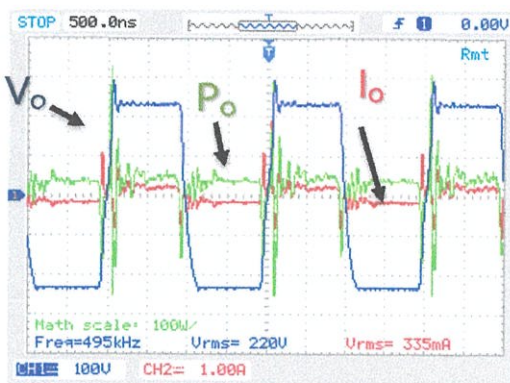
## 3. หลักการทำงานและการออกแบบวงจร

### 3.1 การออกแบบไฟฟ้าภาคเข้า

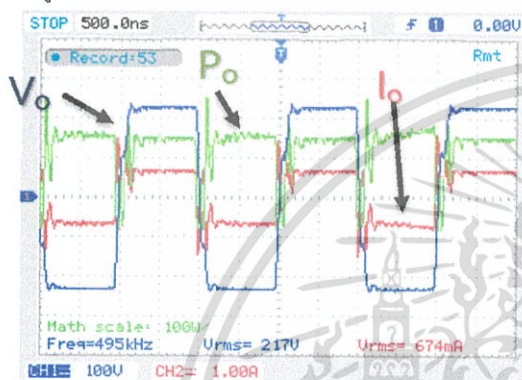
พิจารณาไฟฟ้าด้านเข้าเป็นไฟฟ้าที่มีระบบทั่วไปในภาคจ่ายไฟ คือ 220V, 50Hz ผ่านวงจรเรียงกระแสและมีตัวเก็บประจุเท่ากับ 560µF ใช้ความต้านทานคิสซาร์จ 50 kΩ และพิจารณาออกแบบไฟฟ้าภาคเข้าโดยใช้การเทียบปลั๊ก จึงจำเป็นต้องพิจารณาคิดตั้งความต้านทานเพื่อจำกัดกระแสกระชากใช้ความต้านทาน 5 kΩ [3] ดังรูปที่ 5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





รูปที่ 10 แรงดันและกระแสด้านออกที่โหลด 300 โอห์ม



รูปที่ 11 แรงดันและกระแสด้านออกที่เนื้อตัวอย่าง(อกไก่)

ตารางที่ 1 ค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าในการทดลอง

ความต้านทาน ( $\Omega$ )	$P_{in,avg}$ (W)	$I_o$ (A <sub>rms</sub> )	$V_o$ (V <sub>rms</sub> )	$P_{o,avg}$ (W)	$\eta$ (%)
สถานะไร้อะโหลด	5.9	0	225	0	-
300	101.3	0.335	220	73.7	72.8
100-1000	154.8	0.674	217	146.3	94.5

จากตารางที่ 1 ค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยด้านเข้าและด้านออก แรงดันและกระแสด้านออกเพื่อพิจารณาประสิทธิภาพของวงจร พิจารณา ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ได้จากการทดลองพบว่าในวงจรอาจมีค่าแฝงของความเหนี่ยวนำและความเก็บประจุอยู่โดยที่โหลด 300โอห์ม (โหลดไฟ) อาจมีค่าความเหนี่ยวนำเนื่องจากทำงานที่ความถี่สูงมาก (500 kHz) โดยเมื่อทดลองเนื้อตัวอย่างจะเห็นได้ว่ามีค่ากำลังด้านเข้าและด้านออกใกล้เคียงกับค่าจริง

## 5. สรุป

ในทำการศึกษาและออกแบบแหล่งจ่ายไฟฟ้าให้กับเครื่องจัดด้วยไฟฟ้า โดยจะต้องมีการศึกษาคุณสมบัติของการจ่ายไฟฟ้าแบบที่ดับเบิลยูเอ็มความถี่สูง เพื่อให้สามารถทำงานได้ตามวัตถุประสงค์ที่ต้องการ คือสามารถตัดชิ้นเนื้อตัวอย่าง (อกไก่) ซึ่งมีความใกล้เคียงทาง

ไฟฟ้ากับเนื้อเยื้อมนุษย์ได้ โดยลักษณะของการตัดชิ้นเนื้อตัวอย่างด้วยการใช้วงจรกึ่งบริดจ์อินเวอร์เตอร์ความถี่สูง ในการสร้างลำอาร์คระหว่างกำลังไฟฟ้านำออกกับชิ้นเนื้อตัวอย่าง (อกไก่) จากผลการทดลองกับการจำลองการทำงานอาจมีความคลาดเคลื่อนไปบ้างเนื่องจากผลของความไม่เป็นอุดมคติของอุปกรณ์ ซึ่งจะพบว่าารออกแบบสร้างวงจรอินเวอร์เตอร์แบบกึ่งบริดจ์ความถี่สูงสำหรับแหล่งจ่ายไฟฟ้าเพื่อการผ่าตัดนั้นเป็นไปตามข้อกำหนดและขีดจำกัดของการออกแบบ แต่อาจมีความคลาดเคลื่อนไปบ้าง เนื่องจากชิ้นเนื้อตัวอย่าง (อกไก่) มีสภาพความต้านทานที่เปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลาในช่วงระยะเวลาที่ทำการตัด โดยมีสภาวะการทำงานที่เปลี่ยนแปลงในช่วงกว้างตามความต้านทานของชิ้นเนื้อตัวอย่าง (อกไก่) เป็นผลทำให้กำลังไฟฟ้านำออกที่ได้ออกมานั้นไม่คงที่ ตลอดในช่วงระยะเวลาที่ทำการตัด

## เอกสารอ้างอิง

- [1] สนธยา บรรลือโชคชัย, แนะนำเครื่องผ่าตัดด้วยไฟฟ้า, กรุงเทพฯ: จุลสารชมรมอุปกรณ์การแพทย์ ปีที่ 4 ฉบับที่ 12, 2536: 45-47.
- [2] จิตติยา ธนะสินธราทิพย์ ชุรนากุลวิฑิต และ ธันวาทันต์ สติชัย, "การออกแบบแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับความถี่สูงที่เป็นแหล่งกำลังของเครื่องตัดจี้ไฟฟ้าสำหรับการผ่าตัด", การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 29, พฤศจิกายน 2549, หน้า 501-504
- [3] นรงค์ฤทธิ์ เสนาจิตร, "การปรับปรุงสมรรถนะของเครื่องตัดโลหะด้วยลำแสงพลาสมาโดยใช้ วงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรงแบบกึ่งบริดจ์", การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 30, ตุลาคม 2550
- [4] วีระเชษฐ์ ชันเงิน, วุฒิพล ชาราธิร์เศรษฐ์, อธิสิทธิ์อนิกส์กำลัง, กรุงเทพฯ : ห้างหุ้นส่วน จำกัด วิ.เจ. พรินติ้ง, 2555.



นายศุภกร หมั่นพล

ที่อยู่ 39/2 หมู่ 1 ตำบลหนองข้างคอก  
อำเภอเมืองชลบุรี จังหวัดชลบุรี 20000



นายชมาคม เข้มมณฑา

ที่อยู่ 27/142 หมู่ 4 ตำบลบางตลาด  
อำเภอปากเกร็ด จังหวัดนนทบุรี 11120



นางสาวสุคนธ์ทิพย์ แก่นจันทร์

ที่อยู่ 646 หมู่ 10 ซ.เพชรเกษม81 แขวง  
หนองแขม เขตหนองแขม กรุงเทพฯ  
10160



นายสุทิวัด ส่องประเสริฐ

ที่อยู่ 22/3 หมู่ 13 ตำบลจันทิกร อำเภอบางบาล  
จังหวัดนครราชสีมา 30130

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



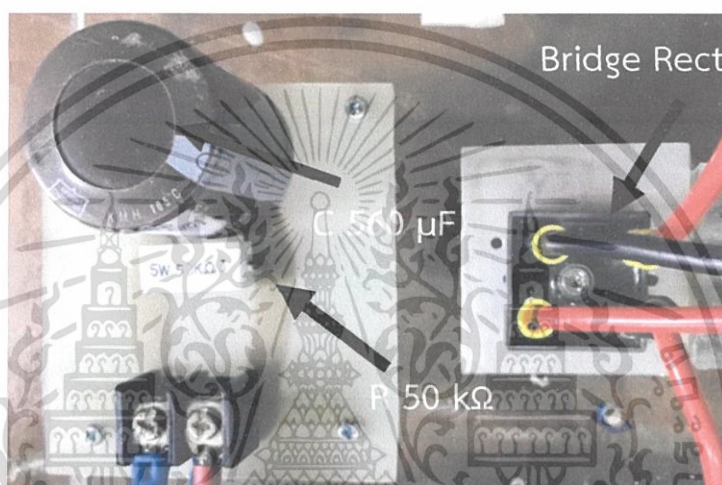
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื้อหาในส่วนนี้ได้จัดทำขึ้นเพื่อเพิ่มความเข้าใจให้กับผู้อ่านมากยิ่งขึ้น โดยจะแสดงให้เห็นถึงส่วนประกอบต่างๆของเครื่องจี้ตัดด้วยไฟฟ้าในงานวิจัย และมีในด้านต่างๆของตัวเครื่องจี้ตัดด้วยไฟฟ้า รวมถึงหลักการการทำงานของตัวเครื่อง และข้อควรระมัดระวังในการใช้งาน

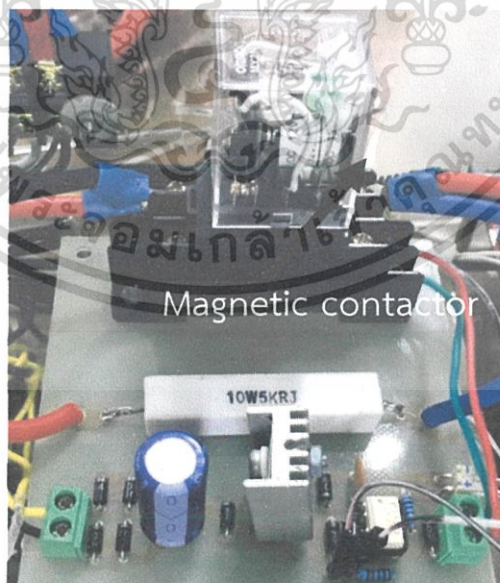
## 1. ส่วนประกอบของเครื่องจี้ตัดด้วยไฟฟ้า

### 1.1 วงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์

วงจรเรียงกระแสจะทำหน้าที่แปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรง เพื่อจ่ายให้กับวงจรกึ่งบริดจ์อินเวอร์เตอร์ โดยมีส่วนประกอบดังรูปที่ ข-1 และรูปที่ ข-2 เมื่อต่อชุดป้องกันกระแสกระชากตอนเริ่มการทำงาน



รูปที่ ข-1 วงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์พร้อมความต้านทานคายประจุ



รูปที่ ข-2 วงจรเรียงกระแสแบบบริดจ์พร้อมชุดป้องกันกระแสกระชากตอนเริ่มการทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยมีส่วนประกอบต่างๆ ดังนี้

- Bridge Rectifier มีพิกัดเท่ากับ 10 A, 600 V
- Capacitor Filter ชนิดอิเล็กโทรไลต์มีขนาด  $560 \mu F$  1 ตัว สามารถทนแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงได้ 450 V
- ค่าความต้านทานในการคายประจุ  $50 k\Omega$  ต่อขนานกับ Capacitor Filter
- วงจรป้องกันกระแสกระชากตอนเริ่มทำงาน

## 1.2 วงจรการขับนำ



รูปที่ ข-3 วงจรแยกโดดการขับนำ

- ไอซี TC4429 เป็นตัวขับเกต
- High speed Optocouplers 6N137 เป็นอุปกรณ์แยกโดดการขับนำด้วยการเชื่อมต่อทางแสง

## 1.3 วงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับแบบกึ่งบริดจ์ (Half-Bridge Inverter)

จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือส่วนแรกจะเป็นตัวเก็บประจุเพื่อแบ่งครึ่งแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงด้านเข้า และส่วนที่สองเป็นมอสเฟตทำหน้าที่สวิตซ์ในช่วงการทำงานที่ต้องการ ในการเลือกใช้มอสเฟตเป็นตัวสวิตซ์กำลัง เนื่องจากมอสเฟตมีความเร็วในการสวิตซ์ที่สูง ซึ่งมีส่วนประกอบการใช้งานดังนี้

- มอสเฟตเบอร์ IRF830 ซึ่งมีพิกัดกระแส 4.5 A และพิกัดแรงดัน 500 V
- Capacitor ชนิดอิเล็กโทรไลต์ขนาด  $680 \mu F$  ทนพิกัดแรงดันได้ 450 V ขนาดเท่ากันทั้งสองตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข-4 วงจรอินเวอร์เตอร์แบบกึ่งบริดจ์

#### 1.4 หม้อแปลงความถี่สูง

เป็นหม้อแปลงที่ทำการออกแบบสำหรับวงจรกึ่งบริดจ์อินเวอร์เตอร์ โดยการออกแบบหม้อแปลงความถี่สูงได้ใช้แกนเฟอร์ไรต์แบบ ETD 44

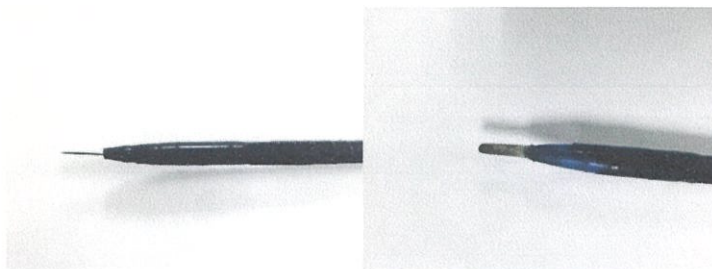


รูปที่ ข-5 หม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูง

#### 1.5 ชุดตัดชิ้นเนื้อทดลอง

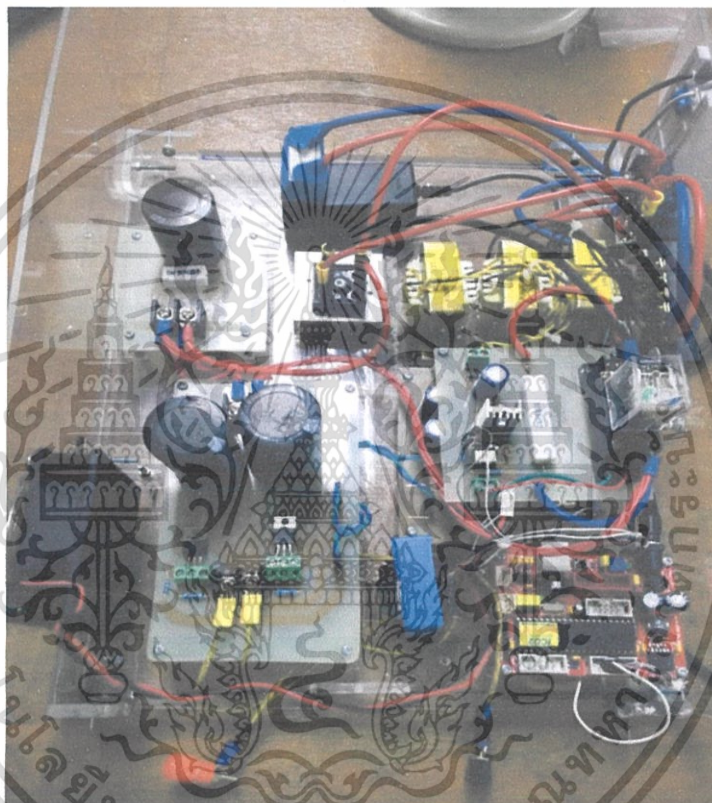
- อิเล็กโทรดที่เป็นหัวจี้ตัด (Active Electrode)
- อิเล็กโทรดแผ่น (Plate Electrode หรือ Return Electrode)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข-6 Active electrode ปลายแหลมแบบเข็ม (ซ้าย) ปลายเป็นโบริม (ขวา)

### 1.6 เครื่องจี้ตัดด้วยไฟฟ้า



รูปที่ ข-7 เครื่องจี้ตัดด้วยไฟฟ้า

## 2. ความปลอดภัยในการใช้งานเครื่องจี้ตัดด้วยไฟฟ้า

ในส่วนของเรื่องความปลอดภัยในการใช้งานเครื่องจี้ตัดไฟฟ้ามี่มีความสำคัญเป็นอย่างมาก ซึ่งผู้ใช้งานจะต้องมีความชำนาญในการใช้งาน และจะต้องคำนึงถึงของควรระวังในการใช้งาน ดังนี้

1. การแก้ไขเครื่องจี้ตัดด้วยไฟฟ้าจะต้องอยู่ภายใต้การควบคุมของผู้ที่มีความรู้ และความชำนาญ
2. การปรับเปลี่ยนเครื่องที่นอกเหนือจากข้อกำหนดของเครื่อง อาจจะเป็นผลเสียต่อตัวเครื่องได้
3. อุปกรณ์ทุกชิ้นจะต้องอยู่ในสภาพที่ดีก่อนการใช้งานจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. หัวจี้ตัดด้วยไฟฟ้าที่นำมาใช้จะต้องสะอาดปราศจากคราบ เพราะจะทำให้เกิดค่าความต้านทานเพิ่มขึ้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ .



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

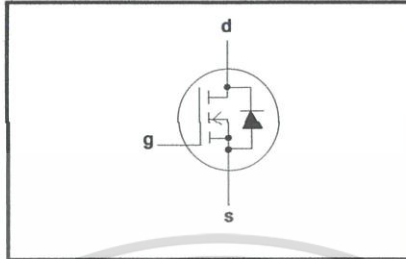
## PowerMOS transistor Avalanche energy rated

IRF830

### FEATURES

- Repetitive Avalanche Rated
- Fast switching
- High thermal cycling performance
- Low thermal resistance

### SYMBOL



### QUICK REFERENCE DATA

$$V_{DSS} = 500 \text{ V}$$

$$I_D = 5.9 \text{ A}$$

$$R_{DS(ON)} \leq 1.5 \Omega$$

### GENERAL DESCRIPTION

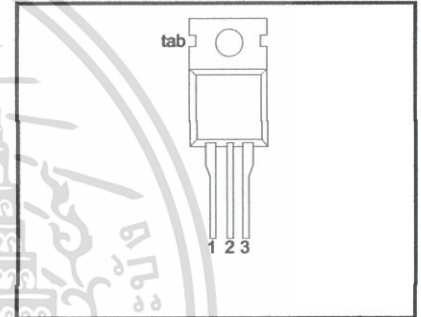
N-channel, enhancement mode field-effect power transistor, intended for use in off-line switched mode power supplies, T.V. and computer monitor power supplies, d.c. to d.c. converters, motor control circuits and general purpose switching applications.

The IRF830 is supplied in the SOT78 (TO220AB) conventional leaded package.

### PINNING

PIN	DESCRIPTION
1	gate
2	drain
3	source
tab	drain

### SOT78 (TO220AB)



### LIMITING VALUES

Limiting values in accordance with the Absolute Maximum System (IEC 134)

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	MAX.	UNIT
$V_{DSS}$	Drain-source voltage	$T_j = 25^\circ\text{C}$ to $150^\circ\text{C}$	-	500	V
$V_{DGR}$	Drain-gate voltage	$T_j = 25^\circ\text{C}$ to $150^\circ\text{C}$ ; $R_{GS} = 20 \text{ k}\Omega$	-	500	V
$V_{GS}$	Gate-source voltage		-	$\pm 30$	V
$I_D$	Continuous drain current	$T_{mb} = 25^\circ\text{C}$ ; $V_{GS} = 10 \text{ V}$	-	5.9	A
		$T_{mb} = 100^\circ\text{C}$ ; $V_{GS} = 10 \text{ V}$	-	3.7	A
$I_{DM}$	Pulsed drain current	$T_{mb} = 25^\circ\text{C}$	-	24	A
$P_D$	Total dissipation	$T_{mb} = 25^\circ\text{C}$	-	125	W
$T_j, T_{stg}$	Operating junction and storage temperature range		-55	150	$^\circ\text{C}$

### AVALANCHE ENERGY LIMITING VALUES

Limiting values in accordance with the Absolute Maximum System (IEC 134)

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	MAX.	UNIT
$E_{AS}$	Non-repetitive avalanche energy	Unclamped inductive load, $I_{AS} = 4.2 \text{ A}$ ; $t_p = 0.21 \text{ ms}$ ; $T_j$ prior to avalanche = $25^\circ\text{C}$ ; $V_{DD} \leq 50 \text{ V}$ ; $R_{GS} = 50 \Omega$ ; $V_{GS} = 10 \text{ V}$ ; refer to fig:17	-	287	mJ
$E_{AR}$	Repetitive avalanche energy <sup>1</sup>	$I_{AR} = 5.9 \text{ A}$ ; $t_p = 2.5 \mu\text{s}$ ; $T_j$ prior to avalanche = $25^\circ\text{C}$ ; $R_{GS} = 50 \Omega$ ; $V_{GS} = 10 \text{ V}$ ; refer to fig:18	-	10	mJ
$I_{AS}, I_{AR}$	Repetitive and non-repetitive avalanche current		-	5.9	A

<sup>1</sup> pulse width and repetition rate limited by  $T_j$  max.

March 1999 เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้าน Rev 1.000

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**PowerMOS transistor**  
**Avalanche energy rated**

IRF830

**THERMAL RESISTANCES**

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
$R_{th\ j-mb}$	Thermal resistance junction to mounting base		-	-	1	K/W
$R_{th\ j-a}$	Thermal resistance junction to ambient	in free air	-	60	-	K/W

**ELECTRICAL CHARACTERISTICS** $T_j = 25\text{ °C}$  unless otherwise specified

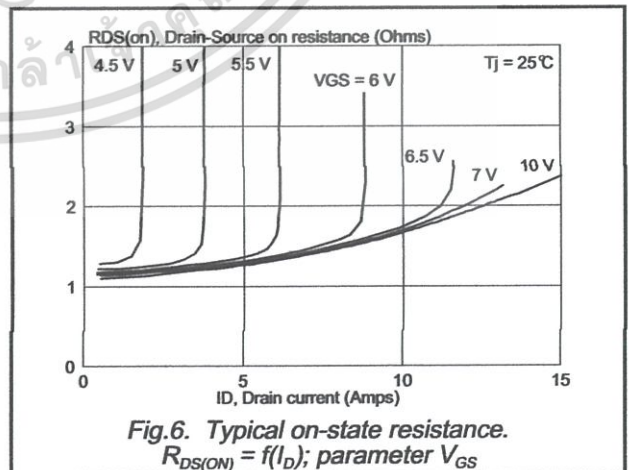
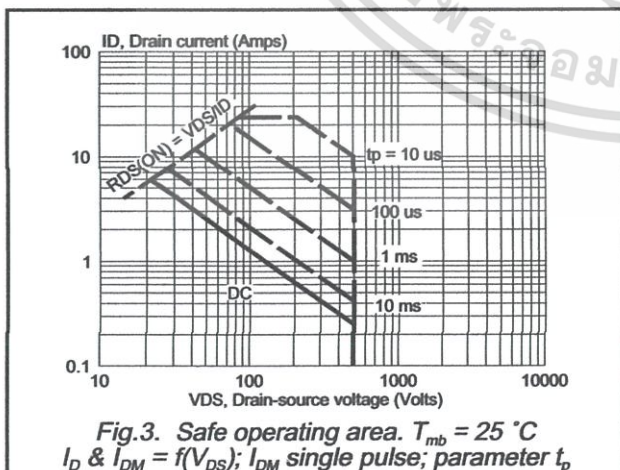
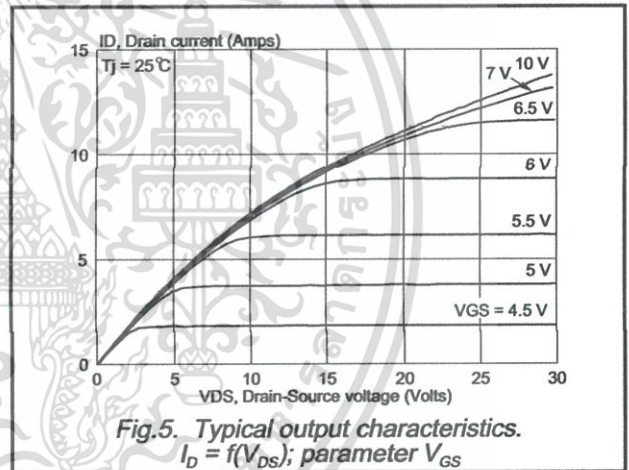
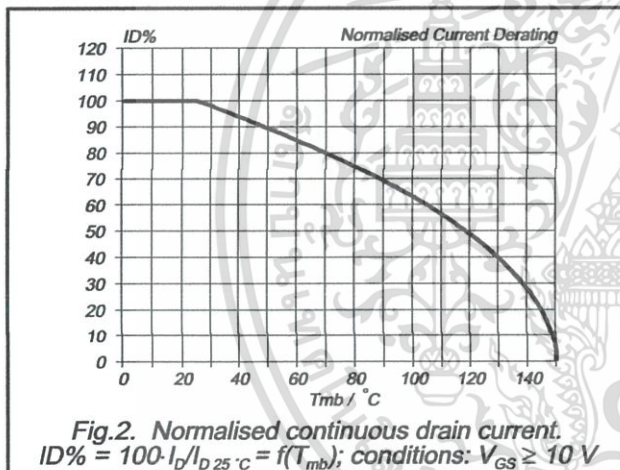
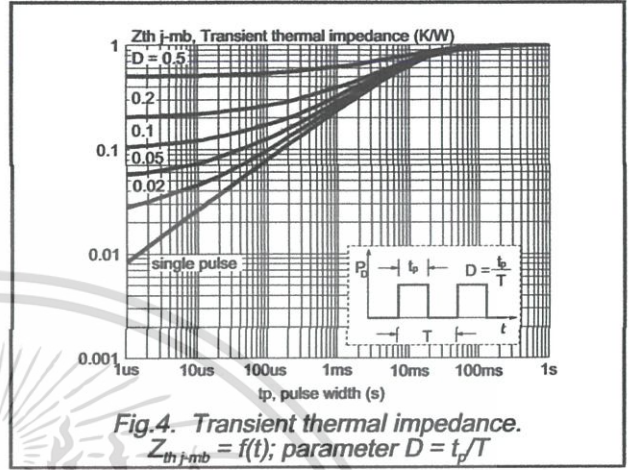
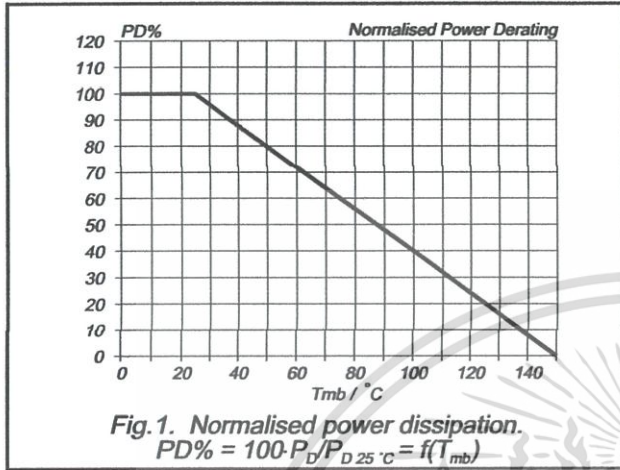
SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
$V_{(BR)DSS}$	Drain-source breakdown voltage	$V_{GS} = 0\text{ V}; I_D = 0.25\text{ mA}$	500	-	-	V
$\frac{\Delta V_{(BR)DSS}}{\Delta T_j}$	Drain-source breakdown voltage temperature coefficient	$V_{DS} = V_{GS}; I_D = 0.25\text{ mA}$	-	0.1	-	%/K
$R_{DS(ON)}$	Drain-source on resistance	$V_{GS} = 10\text{ V}; I_D = 3\text{ A}$	-	1.2	1.5	$\Omega$
$V_{GS(TO)}$	Gate threshold voltage	$V_{DS} = V_{GS}; I_D = 0.25\text{ mA}$	2.0	3.0	4.0	V
$g_{fs}$	Forward transconductance	$V_{DS} = 30\text{ V}; I_D = 3\text{ A}$	2	3.6	-	S
$I_{DSS}$	Drain-source leakage current	$V_{DS} = 500\text{ V}; V_{GS} = 0\text{ V}$	-	1	25	$\mu\text{A}$
		$V_{DS} = 400\text{ V}; V_{GS} = 0\text{ V}; T_j = 125\text{ °C}$	-	30	250	$\mu\text{A}$
$I_{GSS}$	Gate-source leakage current	$V_{GS} = \pm 30\text{ V}; V_{DS} = 0\text{ V}$	-	10	200	nA
$Q_{g(tot)}$	Total gate charge	$I_D = 6\text{ A}; V_{DD} = 400\text{ V}; V_{GS} = 10\text{ V}$	-	53	64	nC
$Q_{gs}$	Gate-source charge		-	4	6	nC
$Q_{gd}$	Gate-drain (Miller) charge		-	28	34	nC
$t_{d(on)}$	Turn-on delay time	$V_{DD} = 250\text{ V}; R_D = 39\ \Omega;$	-	10	-	ns
$t_r$	Turn-on rise time	$R_G = 12\ \Omega$	-	33	-	ns
$t_{d(off)}$	Turn-off delay time		-	92	-	ns
$t_f$	Turn-off fall time		-	40	-	ns
$L_d$	Internal drain inductance	Measured from tab to centre of die	-	3.5	-	nH
$L_{ld}$	Internal drain inductance	Measured from drain lead to centre of die	-	4.5	-	nH
$L_s$	Internal source inductance	Measured from source lead to source bond pad	-	7.5	-	nH
$C_{iss}$	Input capacitance	$V_{GS} = 0\text{ V}; V_{DS} = 25\text{ V}; f = 1\text{ MHz}$	-	610	-	pF
$C_{oss}$	Output capacitance		-	96	-	pF
$C_{rss}$	Feedback capacitance		-	54	-	pF

**SOURCE-DRAIN DIODE RATINGS AND CHARACTERISTICS** $T_j = 25\text{ °C}$  unless otherwise specified

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
$I_S$	Continuous source current (body diode)	$T_{mb} = 25\text{ °C}$	-	-	5.9	A
$I_{SM}$	Pulsed source current (body diode)	$T_{mb} = 25\text{ °C}$	-	-	24	A
$V_{SD}$	Diode forward voltage	$I_S = 6\text{ A}; V_{GS} = 0\text{ V}$	-	-	1.2	V
$t_{rr}$	Reverse recovery time	$I_S = 6\text{ A}; V_{GS} = 0\text{ V}; di/dt = 100\text{ A}/\mu\text{s}$	-	390	-	ns
$Q_{rr}$	Reverse recovery charge		-	4	-	$\mu\text{C}$

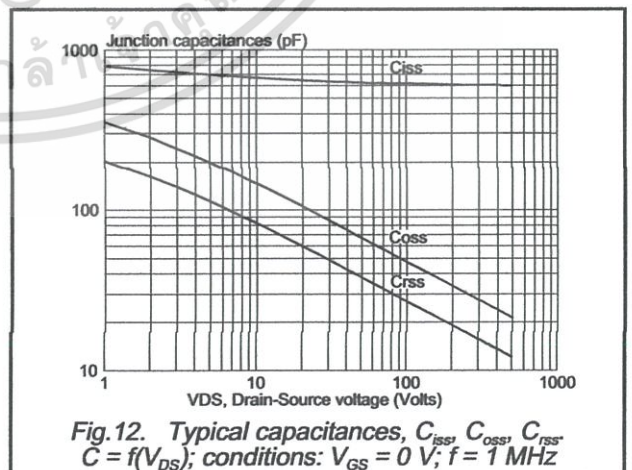
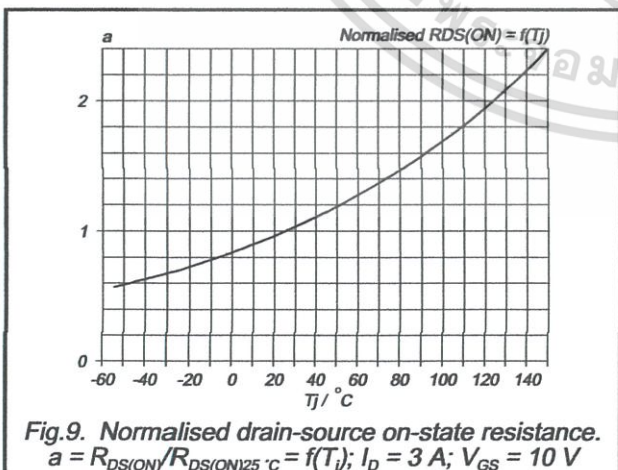
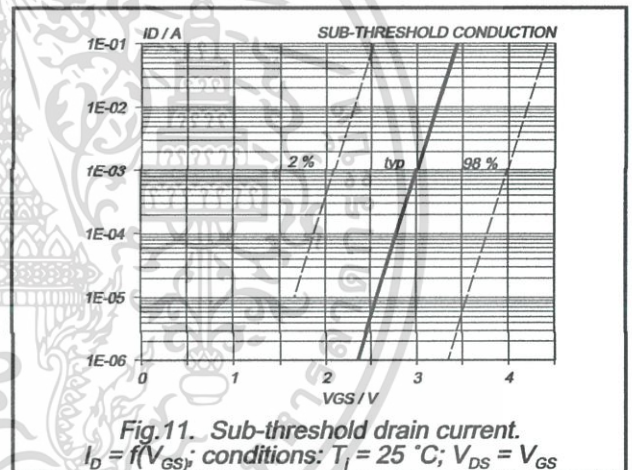
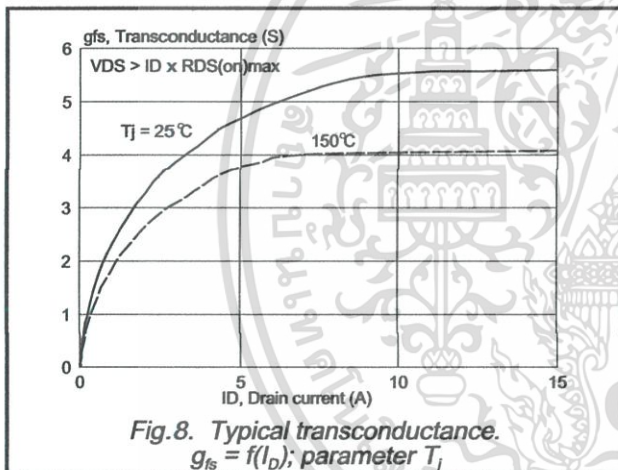
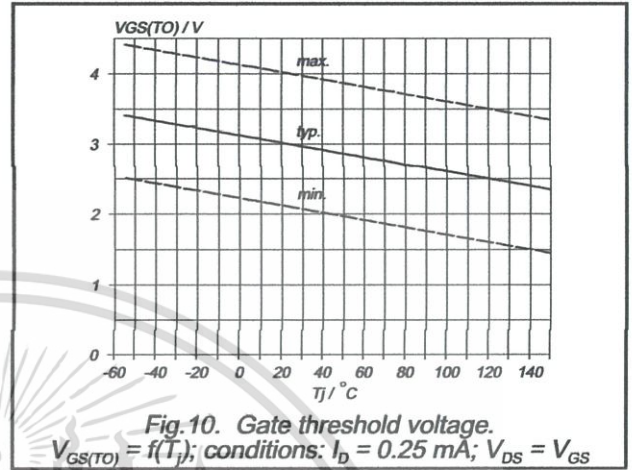
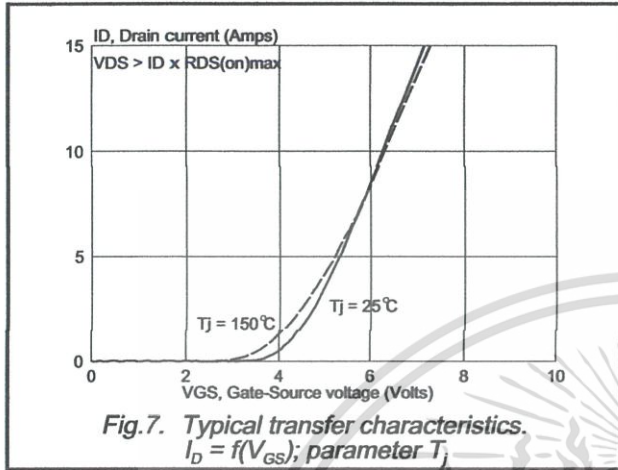
**PowerMOS transistor  
Avalanche energy rated**

**IRF830**



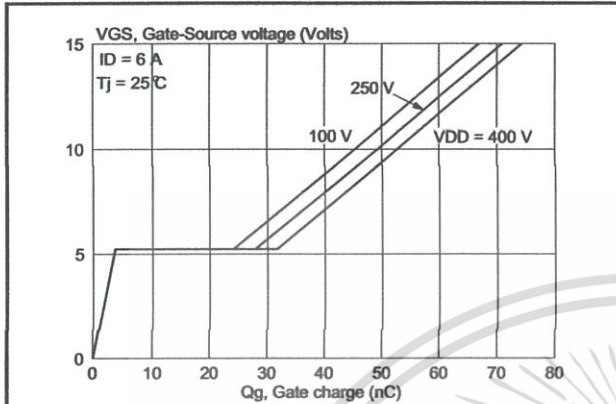
**PowerMOS transistor**  
**Avalanche energy rated**

**IRF830**

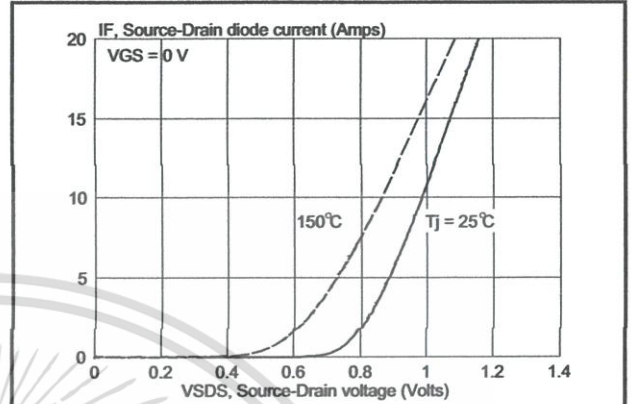


**PowerMOS transistor**  
**Avalanche energy rated**

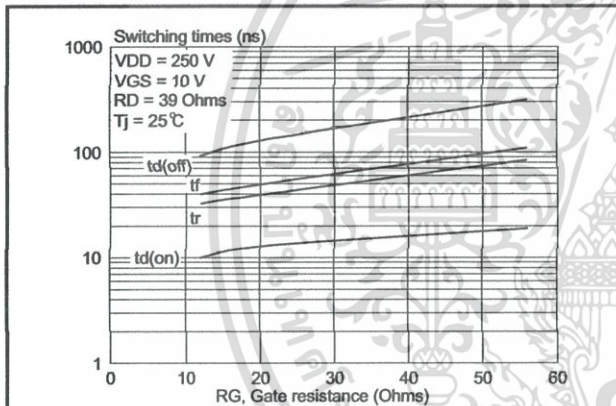
**IRF830**



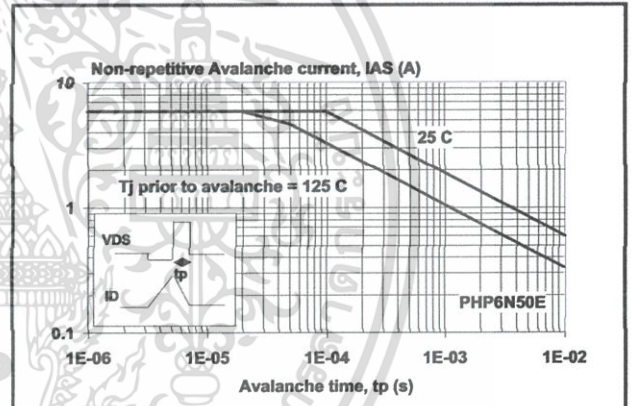
**Fig. 13. Typical turn-on gate-charge characteristics.**  
 $V_{GS} = f(Q_G)$ ; parameter  $V_{DS}$



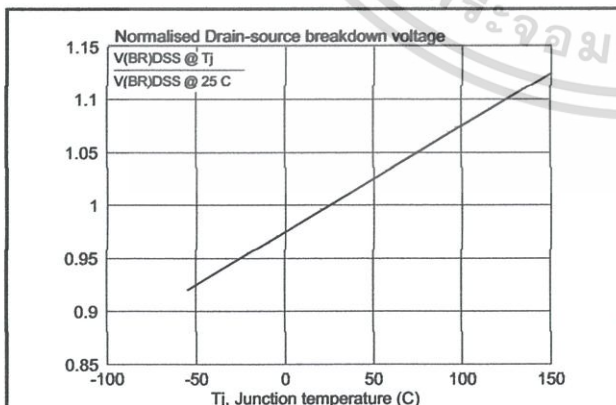
**Fig. 16. Source-Drain diode characteristic.**  
 $I_F = f(V_{SDS})$ ; parameter  $T_J$



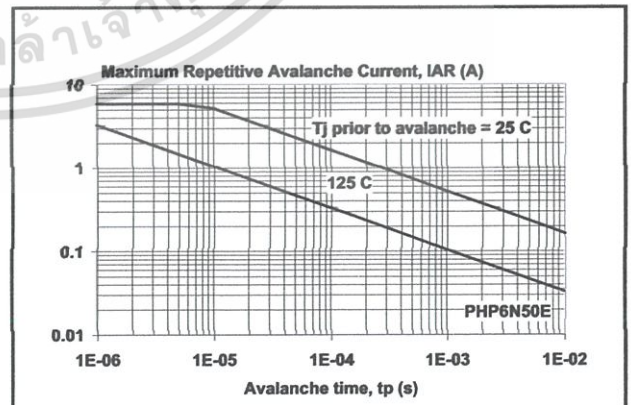
**Fig. 14. Typical switching times;  $t_{d(on)}$ ,  $t_r$ ,  $t_{d(off)}$ ,  $t_f = f(R_G)$**



**Fig. 17. Maximum permissible non-repetitive avalanche current ( $I_{AS}$ ) versus avalanche time ( $t_p$ ); unclamped inductive load**



**Fig. 15. Normalised drain-source breakdown voltage;**  
 $V_{(BR)DSS} / V_{(BR)DSS 25^\circ C} = f(T_J)$



**Fig. 18. Maximum permissible repetitive avalanche current ( $I_{AR}$ ) versus avalanche time ( $t_p$ )**

PowerMOS transistor  
Avalanche energy rated

IRF830

MECHANICAL DATA

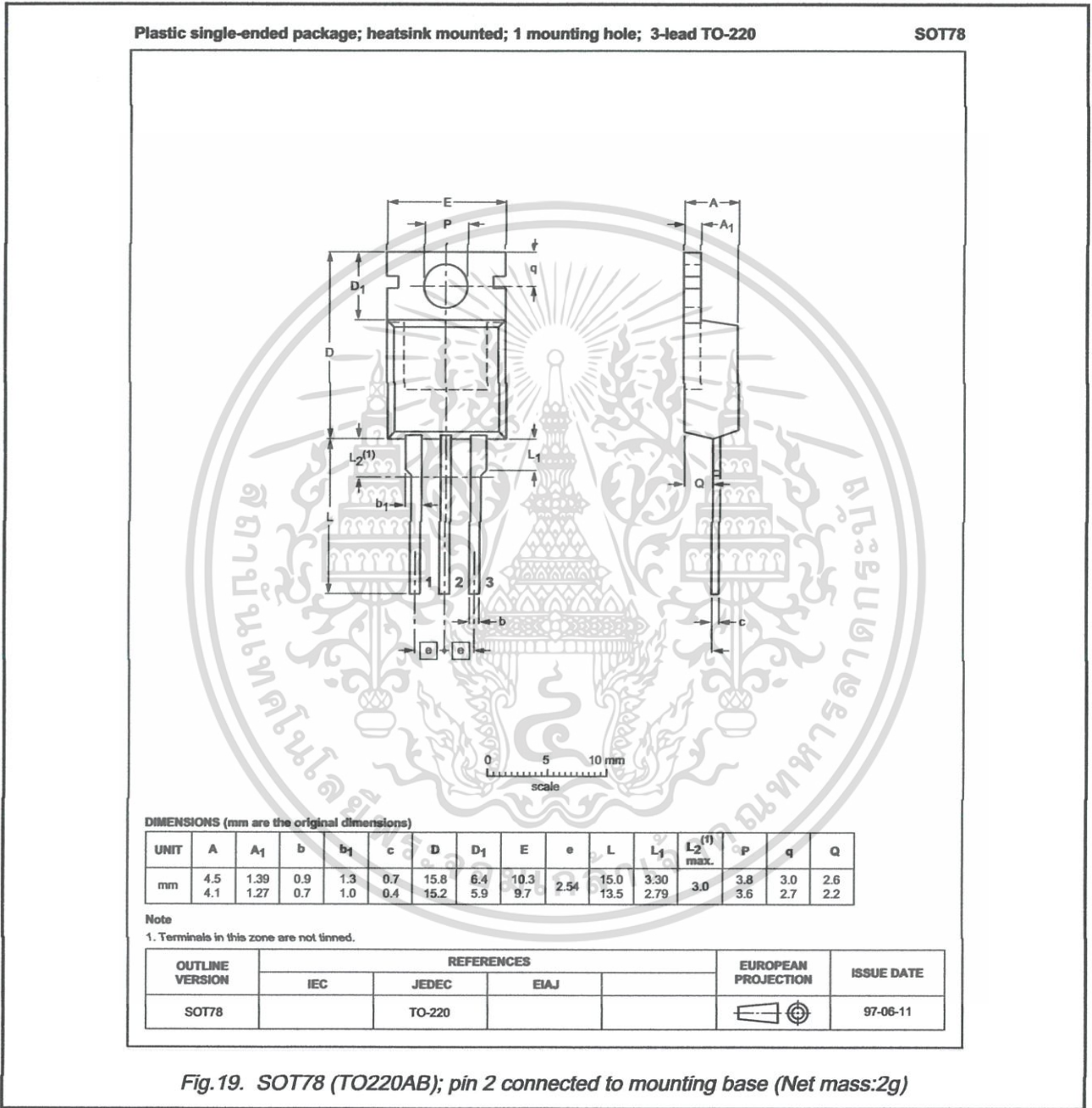


Fig.19. SOT78 (TO220AB); pin 2 connected to mounting base (Net mass:2g)

Notes

1. This product is supplied in anti-static packaging. The gate-source input must be protected against static discharge during transport or handling.
2. Refer to mounting instructions for SOT78 (TO220AB) package.
3. Epoxy meets UL94 V0 at 1/8".

March 1999นี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ Rev 1.000

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**PowerMOS transistor  
Avalanche energy rated**

IRF830

**DEFINITIONS**

<b>Data sheet status</b>	
Objective specification	This data sheet contains target or goal specifications for product development.
Preliminary specification	This data sheet contains preliminary data; supplementary data may be published later.
Product specification	This data sheet contains final product specifications.
<b>Limiting values</b>	
Limiting values are given in accordance with the Absolute Maximum Rating System (IEC 134). Stress above one or more of the limiting values may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only and operation of the device at these or at any other conditions above those given in the Characteristics sections of this specification is not implied. Exposure to limiting values for extended periods may affect device reliability.	
<b>Application information</b>	
Where application information is given, it is advisory and does not form part of the specification.	
© Philips Electronics N.V. 1999	
All rights are reserved. Reproduction in whole or in part is prohibited without the prior written consent of the copyright owner.	
The information presented in this document does not form part of any quotation or contract, it is believed to be accurate and reliable and may be changed without notice. No liability will be accepted by the publisher for any consequence of its use. Publication thereof does not convey nor imply any license under patent or other industrial or intellectual property rights.	

**LIFE SUPPORT APPLICATIONS**

These products are not designed for use in life support appliances, devices or systems where malfunction of these products can be reasonably expected to result in personal injury. Philips customers using or selling these products for use in such applications do so at their own risk and agree to fully indemnify Philips for any damages resulting from such improper use or sale.



# HIGH SPEED-10 MBit/s LOGIC GATE OPTOCOUPLERS

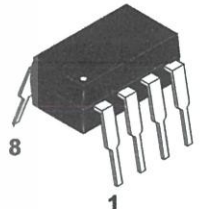
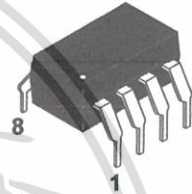
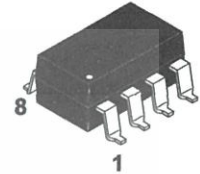
**SINGLE-CHANNEL**  
**6N137**  
**HCPL-2601**  
**HCPL-2611**

**DUAL-CHANNEL**  
**HCPL-2630**  
**HCPL-2631**

## DESCRIPTION

The 6N137, HCPL-2601/2611 single-channel and HCPL-2630/2631 dual-channel optocouplers consist of a 850 nm AlGaAs LED, optically coupled to a very high speed integrated photodetector logic gate with a strobable output. This output features an open collector, thereby permitting wired OR outputs. The coupled parameters are guaranteed over the temperature range of -40°C to +85°C. A maximum input signal of 5 mA will provide a minimum output sink current of 13 mA (fan out of 8).

An internal noise shield provides superior common mode rejection of typically 10 kV/μs. The HCPL- 2601 and HCPL- 2631 has a minimum CMR of 5 kV/μs. The HCPL-2611 has a minimum CMR of 10 kV/μs.

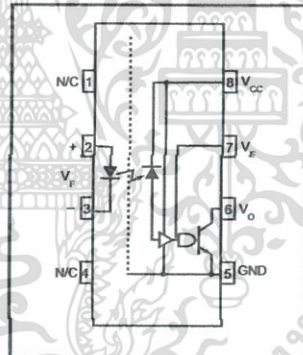


## FEATURES

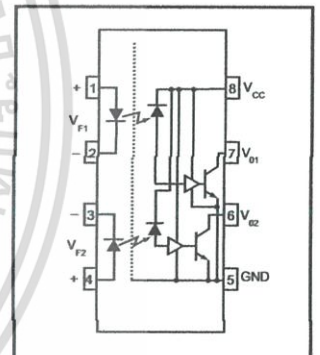
- Very high speed-10 MBit/s
- Superior CMR-10 kV/μs
- Double working voltage-480V
- Fan-out of 8 over -40°C to +85°C
- Logic gate output
- Storable output
- Wired OR-open collector
- U.L. recognized (File # E90700)

## APPLICATIONS

- Ground loop elimination
- LSTTL to TTL, LSTTL or 5-volt CMOS
- Line receiver, data transmission
- Data multiplexing
- Switching power supplies
- Pulse transformer replacement
- Computer-peripheral interface



Single-channel circuit drawing



Dual-channel circuit drawing

TRUTH TABLE  
(Positive Logic)

Input	Enable	Output
H	H	L
L	H	H
H	L	H
L	L	H
H	NC	L
L	NC	H

A 0.1 μF bypass capacitor must be connected between pins 8 and 5.  
(See note 1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ 8/10/99 ด้าน 200002A  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



# HIGH SPEED-10 MBit/s LOGIC GATE OPTOCOUPLERS

**SINGLE-CHANNEL**  
**6N137**  
**HCPL-2601**  
**HCPL-2611**

**DUAL-CHANNEL**  
**HCPL-2630**  
**HCPL-2631**

## ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS (No derating required up to 85°C)

Parameter	Symbol	Value	Units	
Storage Temperature	$T_{STG}$	-55 to +125	°C	
Operating Temperature	$T_{OPR}$	-40 to +85	°C	
Lead Solder Temperature	$T_{SOL}$	260 for 10 sec	°C	
<b>EMITTER</b>				
DC/Average Forward Input Current	Single channel Dual channel (Each channel)	$I_F$	50 30	mA
Enable Input Voltage	Single channel	$V_E$	5.5	V
Not to exceed $V_{CC}$ by more than 500 mV				
Reverse Input Voltage	Each channel	$V_R$	5.0	V
Power Dissipation	Single channel Dual channel (Each channel)	$P_I$	100 45	mW
<b>DETECTOR</b>				
Supply Voltage		$V_{CC}$ (1 minute max)	7.0	V
Output Current	Single channel Dual channel (Each channel)	$I_O$	50 50	mA
Output Voltage	Each channel	$V_O$	7.0	V
Collector Output Power Dissipation	Single channel Dual channel (Each channel)	$P_O$	85 60	mW

## RECOMMENDED OPERATING CONDITIONS

Parameter	Symbol	Min	Max	Units
Input Current, Low Level	$I_{FL}$	0	250	μA
Input Current, High Level	$I_{FH}$	*6.3	15	mA
Supply Voltage, Output	$V_{CC}$	4.5	5.5	V
Enable Voltage, Low Level	$V_{EL}$	0	0.8	V
Enable Voltage, High Level	$V_{EH}$	2.0	$V_{CC}$	V
Low Level Supply Current	$T_A$	-40	+85	°C
Fan Out (TTL load)	N		8	

\* 6.3 mA is a guard banded value which allows for at least 20 % CTR degradation. Initial input current threshold value is 5.0 mA or less

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ 8/10/99 ฐาน 200002A  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



# HIGH SPEED-10 MBit/s LOGIC GATE OPTOCOUPLEDERS

**SINGLE-CHANNEL**  
**6N137**  
**HCPL-2601**  
**HCPL-2611**

**DUAL-CHANNEL**  
**HCPL-2630**  
**HCPL-2631**

## ELECTRICAL CHARACTERISTICS ( $T_A = -40^\circ\text{C}$ to $+85^\circ\text{C}$ Unless otherwise specified.)

### INDIVIDUAL COMPONENT CHARACTERISTICS

Parameter	Test Conditions	Symbol	Min	Typ**	Max	Unit
<b>EMITTER</b>						
Input Forward Voltage	( $I_F = 10\text{ mA}$ ) ( $T_A = 25^\circ\text{C}$ )	$V_F$		1.4	1.8	V
Input Reverse Breakdown Voltage	( $I_R = 10\ \mu\text{A}$ )	$B_{VR}$	5.0			V
Input Capacitance	( $V_F = 0$ , $f = 1\text{ MHz}$ )	$C_{IN}$		60		pF
Input Diode Temperature Coefficient	( $I_F = 10\text{ mA}$ )	$\Delta V_F/\Delta T_A$		-1.4		mV/°C
<b>DETECTOR</b>						
High Level Supply Current	Single Channel ( $V_{CC} = 5.5\text{ V}$ , $I_F = 0\text{ mA}$ )	$I_{CCH}$		7	10	mA
	Dual Channel ( $V_E = 0.5\text{ V}$ )			15	20	
Low Level Supply Current	Single Channel ( $V_{CC} = 5.5\text{ V}$ , $I_F = 10\text{ mA}$ )	$I_{CCL}$		9	13	mA
	Dual Channel ( $V_E = 0.5\text{ V}$ )			19	26	
Low Level Enable Current	( $V_{CC} = 5.5\text{ V}$ , $V_E = 0.5\text{ V}$ )	$I_{EL}$		-0.8	-1.6	mA
High Level Enable Current	( $V_{CC} = 5.5\text{ V}$ , $V_E = 2.0\text{ V}$ )	$I_{EH}$		-0.6	-1.6	mA
High Level Enable Voltage	( $V_{CC} = 5.5\text{ V}$ , $I_F = 10\text{ mA}$ )	$V_{EH}$	2.0			V
Low Level Enable Voltage	( $V_{CC} = 5.5\text{ V}$ , $I_F = 10\text{ mA}$ ) (Note 3)	$V_{EL}$			0.8	V

## SWITCHING CHARACTERISTICS ( $T_A = -40^\circ\text{C}$ to $+85^\circ\text{C}$ , $V_{CC} = 5\text{ V}$ , $I_F = 7.5\text{ mA}$ Unless otherwise specified.)

AC Characteristics	Test Conditions	Symbol	Min	Typ**	Max	Unit
Propagation Delay Time to Output High Level	(Note 4) ( $T_A = 25^\circ\text{C}$ )	$T_{PLH}$	20	45	75	ns
	( $R_L = 350\ \Omega$ , $C_L = 15\text{ pF}$ ) (Fig. 12)					
Propagation Delay Time to Output Low Level	(Note 5) ( $T_A = 25^\circ\text{C}$ )	$T_{PHL}$	25	45	75	ns
	( $R_L = 350\ \Omega$ , $C_L = 15\text{ pF}$ ) (Fig. 12)					
Pulse Width Distortion	( $R_L = 350\ \Omega$ , $C_L = 15\text{ pF}$ ) (Fig. 12)	$ T_{PHL} - T_{PLH} $		3	35	ns
Output Rise Time (10-90%)	( $R_L = 350\ \Omega$ , $C_L = 15\text{ pF}$ ) (Note 6) (Fig. 12)	$t_r$		50		ns
Output Fall Time (90-10%)	( $R_L = 350\ \Omega$ , $C_L = 15\text{ pF}$ ) (Note 7) (Fig. 12)	$t_f$		12		ns
Enable Propagation Delay Time to Output High Level	( $I_F = 7.5\text{ mA}$ , $V_{EH} = 3.5\text{ V}$ ) ( $R_L = 350\ \Omega$ , $C_L = 15\text{ pF}$ ) (Note 8) (Fig. 13)	$t_{ELH}$		20		ns
Enable Propagation Delay Time to Output Low Level	( $I_F = 7.5\text{ mA}$ , $V_{EH} = 3.5\text{ V}$ ) ( $R_L = 350\ \Omega$ , $C_L = 15\text{ pF}$ ) (Note 9) (Fig. 13)	$t_{EHL}$		20		ns
Common Mode Transient Immunity (at Output High Level)	( $T_A = 25^\circ\text{C}$ ) $ V_{CM}  = 50\text{ V}$ , (Peak) ( $I_F = 0\text{ mA}$ , $V_{OH}(\text{Min.}) = 2.0\text{ V}$ )	$ CM_H $				V/ $\mu\text{s}$
	6N137, HCPL-2630 ( $R_L = 350\ \Omega$ ) (Note 10)					
	HCPL-2601, HCPL-2631 (Fig. 14)					
	HCPL-2611 ( $ V_{CM}  = 400\text{ V}$ )			5000	10,000	
Common Mode Transient Immunity (at Output Low Level)	( $R_L = 350\ \Omega$ ) ( $I_F = 7.5\text{ mA}$ , $V_{OL}(\text{Max.}) = 0.8\text{ V}$ ) $ V_{CM}  = 50\text{ V}$ (Peak)	$ CM_L $				V/ $\mu\text{s}$
	6N137, HCPL-2630 ( $T_A = 25^\circ\text{C}$ )					
	HCPL-2601, HCPL-2631 (Note 11) (Fig. 14)					
	HCPL-2611 ( $T_A = 25^\circ\text{C}$ ) ( $ V_{CM}  = 400\text{ V}$ )			5000	10,000	
				10,000	15,000	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ 8/10/99 200002A  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



# HIGH SPEED-10 MBit/s LOGIC GATE OPTOCOUPLEDERS

**SINGLE-CHANNEL**  
**6N137**  
**HCPL-2601**  
**HCPL-2611**

**DUAL-CHANNEL**  
**HCPL-2630**  
**HCPL-2631**

## TRANSFER CHARACTERISTICS ( $T_A = -40^\circ\text{C}$ to $+85^\circ\text{C}$ Unless otherwise specified.)

DC Characteristics	Test Conditions	Symbol	Min	Typ**	Max	Unit
High Level Output Current	( $V_{CC} = 5.5\text{ V}$ , $V_O = 5.5\text{ V}$ ) ( $I_F = 250\ \mu\text{A}$ , $V_E = 2.0\text{ V}$ ) (Note 2)	$I_{OH}$			100	$\mu\text{A}$
Low Level Output Current	( $V_{CC} = 5.5\text{ V}$ , $I_F = 5\text{ mA}$ ) ( $V_E = 2.0\text{ V}$ , $I_{CL} = 13\text{ mA}$ ) (Note 2)	$V_{OL}$		.35	.06	V
Input Threshold Current	( $V_{CC} = 5.5\text{ V}$ , $V_O = 0.6\text{ V}$ , $V_E = 2.0\text{ V}$ , $I_{OL} = 13\text{ mA}$ )	$I_{FT}$		3	5	mA

## ISOLATION CHARACTERISTICS ( $T_A = -40^\circ\text{C}$ to $+85^\circ\text{C}$ Unless otherwise specified.)

Characteristics	Test Conditions	Symbol	Min	Typ**	Max	Unit
Input-Output Insulation Leakage Current	(Relative humidity = 45%) ( $T_A = 25^\circ\text{C}$ , $t = 5\text{ s}$ ) ( $V_{I-O} = 3000\text{ VDC}$ ) (Note 12)	$I_{I-O}$			1.0*	$\mu\text{A}$
Withstand Insulation Test Voltage	(RH < 50%, $T_A = 25^\circ\text{C}$ ) (Note 12) ( $t = 1\text{ min.}$ )	$V_{ISO}$	2500			$V_{RMS}$
Resistance (Input to Output)	( $V_{I-O} = 500\text{ V}$ ) (Note 12)	$R_{I-O}$		$10^{12}$		$\Omega$
Capacitance (Input to Output)	( $f = 1\text{ MHz}$ ) (Note 12)	$C_{I-O}$		0.6		pF

\*\* All typical values are at  $V_{CC} = 5\text{ V}$ ,  $T_A = 25^\circ\text{C}$

## NOTES

- The  $V_{CC}$  supply to each optoisolator must be bypassed by a  $0.1\ \mu\text{F}$  capacitor or larger. This can be either a ceramic or solid tantalum capacitor with good high frequency characteristic and should be connected as close as possible to the package  $V_{CC}$  and GND pins of each device.
- Each channel.
- Enable Input - No pull up resistor required as the device has an internal pull up resistor.
- $t_{PLH}$  - Propagation delay is measured from the 3.75 mA level on the HIGH to LOW transition of the input current pulse to the 1.5 V level on the LOW to HIGH transition of the output voltage pulse.
- $t_{PHL}$  - Propagation delay is measured from the 3.75 mA level on the LOW to HIGH transition of the input current pulse to the 1.5 V level on the HIGH to LOW transition of the output voltage pulse.
- $t_r$  - Rise time is measured from the 90% to the 10% levels on the LOW to HIGH transition of the output pulse.
- $t_f$  - Fall time is measured from the 10% to the 90% levels on the HIGH to LOW transition of the output pulse.
- $t_{ELH}$  - Enable input propagation delay is measured from the 1.5 V level on the HIGH to LOW transition of the input voltage pulse to the 1.5 V level on the LOW to HIGH transition of the output voltage pulse.
- $t_{EHL}$  - Enable input propagation delay is measured from the 1.5 V level on the LOW to HIGH transition of the input voltage pulse to the 1.5 V level on the HIGH to LOW transition of the output voltage pulse.
- $CM_H$  - The maximum tolerable rate of rise of the common mode voltage to ensure the output will remain in the high state (i.e.,  $V_{OUT} > 2.0\text{ V}$ ). Measured in volts per microsecond (V/ $\mu\text{s}$ ).
- $CM_L$  - The maximum tolerable rate of rise of the common mode voltage to ensure the output will remain in the low output state (i.e.,  $V_{OUT} < 0.8\text{ V}$ ). Measured in volts per microsecond (V/ $\mu\text{s}$ ).
- Device considered a two-terminal device: Pins 1,2,3 and 4 shorted together, and Pins 5,6,7 and 8 shorted together.

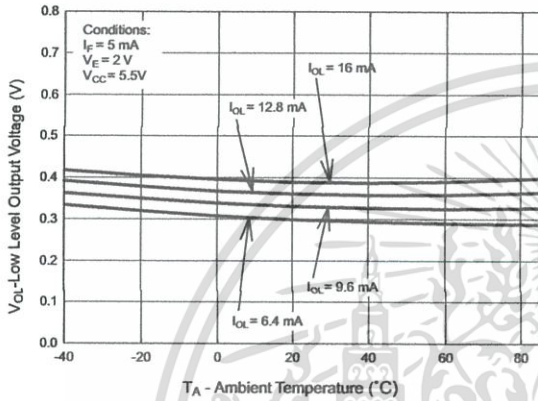
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ 8/10/99 ด้าน 200002A  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



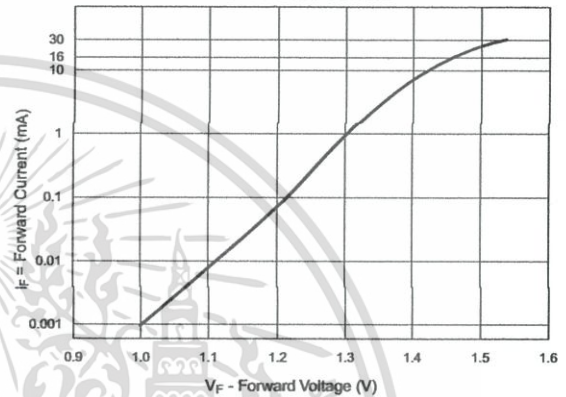
# HIGH SPEED-10 MBit/s LOGIC GATE OPTOCOUPPLERS

<b>SINGLE-CHANNEL</b>	<b>DUAL-CHANNEL</b>
<b>6N137</b>	<b>HCPL-2630</b>
<b>HCPL-2601</b>	<b>HCPL-2631</b>
<b>HCPL-2611</b>	

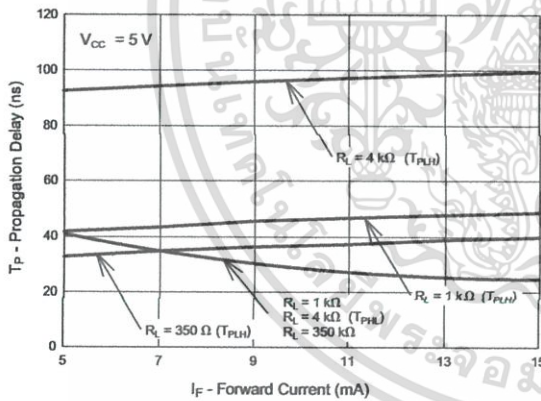
**Fig.1 Low Level Output Voltage vs. Ambient Temperature**



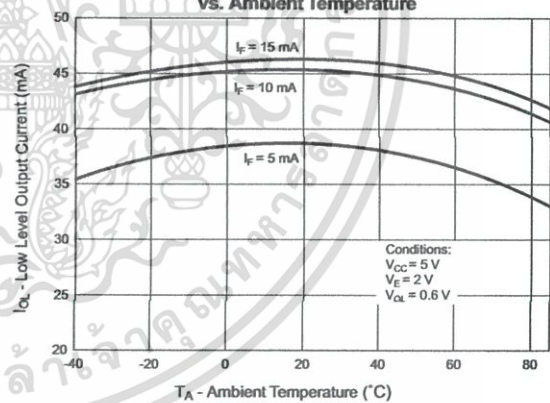
**Fig. 2 Input Diode Forward Voltage vs. Forward Current**



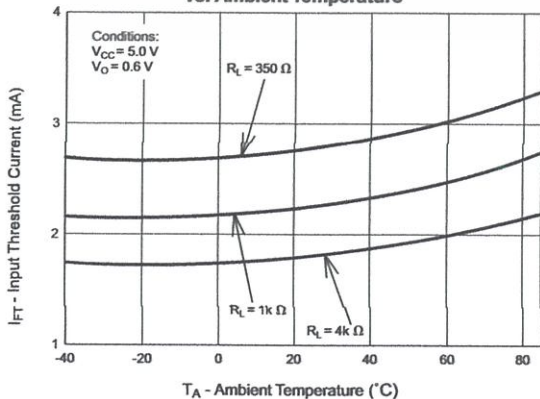
**Fig.3 Switching Time vs. Forward Current**



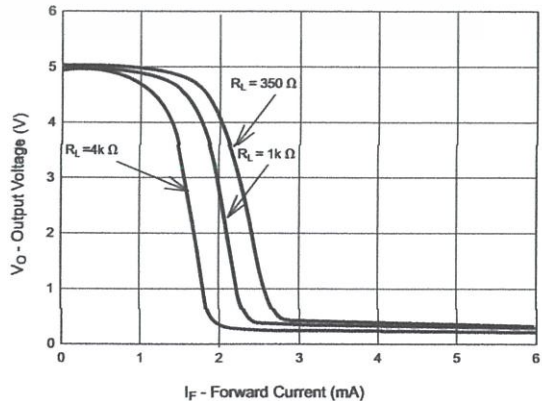
**Fig. 4 Low Level Output Current vs. Ambient Temperature**



**Fig. 5 Input Threshold Current vs. Ambient Temperature**



**Fig. 6 Output Voltage vs. Input Forward Current**



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ 8/10/99 200002A  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



# HIGH SPEED-10 MBit/s LOGIC GATE OPTOCOUPLERS

<b>SINGLE-CHANNEL</b>	<b>DUAL-CHANNEL</b>
<b>6N137</b>	<b>HCPL-2630</b>
<b>HCPL-2601</b>	<b>HCPL-2631</b>
<b>HCPL-2611</b>	

Fig. 7 Pulse Width Distortion vs. Temperature

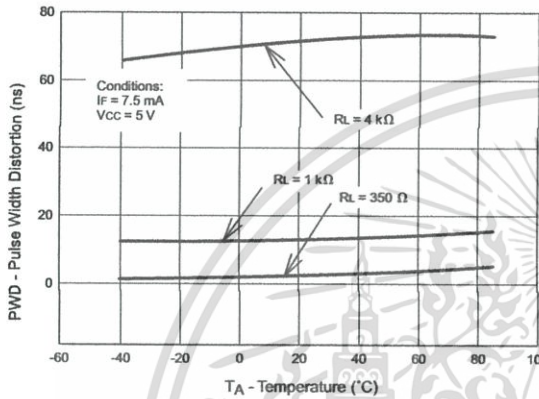


Fig. 8 Rise and Fall Time vs. Temperature

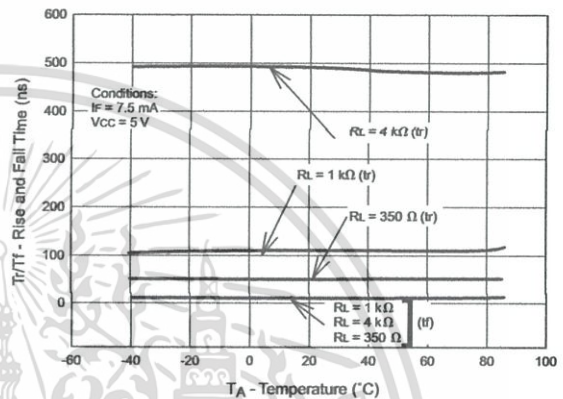


Fig. 9 Enable Propagation Delay vs. Temperature

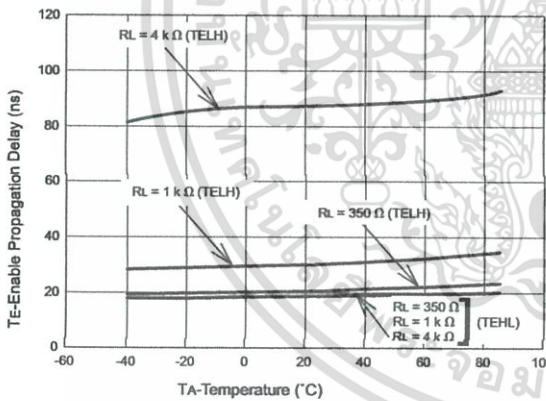


Fig. 10 Switching Time vs. Temperature

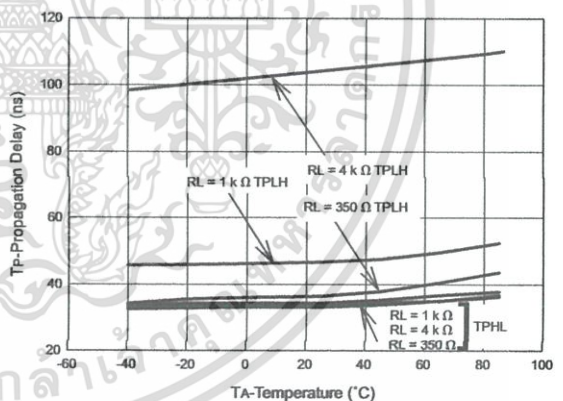
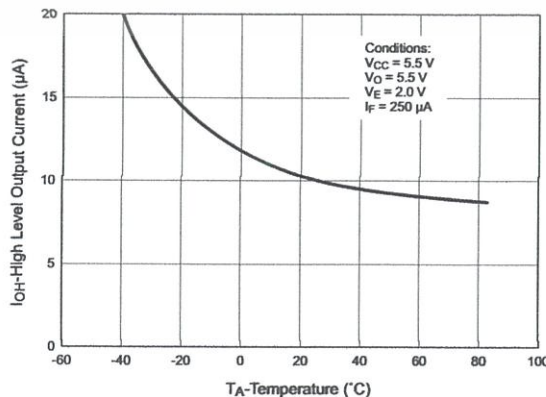


Fig. 11 High Level Output Current vs. Temperature



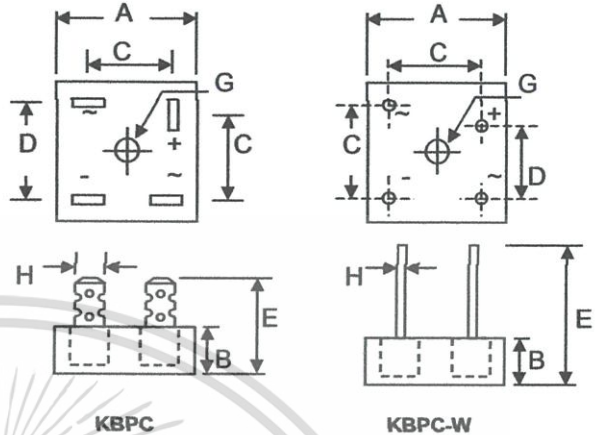
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ 8/10/99 ฐานก 200002A  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# KBPC1000/W – KBPC1010/W

## 10A HIGH CURRENT BRIDGE RECTIFIER

### Features

- Diffused Junction
- Low Reverse Leakage Current
- Low Power Loss, High Efficiency
- Electrically Isolated Metal Case for Maximum Heat Dissipation
- Case to Terminal Isolation Voltage 2500V
- UL Recognized File # E157705



### Mechanical Data

- Case: Metal Case with Electrically Isolated Epoxy
- Terminals: Plated Leads Solderable per MIL-STD-202, Method 208
- Polarity: Symbols Marked on Case
- Mounting: Through Hole for #10 Screw
- Weight: KBPC 31.6 grams (approx.)  
KBPC-W 28.5 grams (approx.)
- Marking: Type Number

"W" Suffix Designates Wire Leads  
No Suffix Designates Faston Terminals

Dim	KBPC		KBPC-W	
	Min	Max	Min	Max
A	28.40	28.70	28.40	28.70
B	10.97	11.23	10.97	11.23
C	15.70	16.70	17.10	19.10
D	17.50	18.50	10.90	11.90
E	22.86	25.40	30.50	—
G	Hole for #10 screw, 5.08Ø Nominal			
H	6.35 Typical		0.97Ø	1.07Ø
All Dimension in mm				

### Maximum Ratings and Electrical Characteristics @ $T_A=25^\circ\text{C}$ unless otherwise specified

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

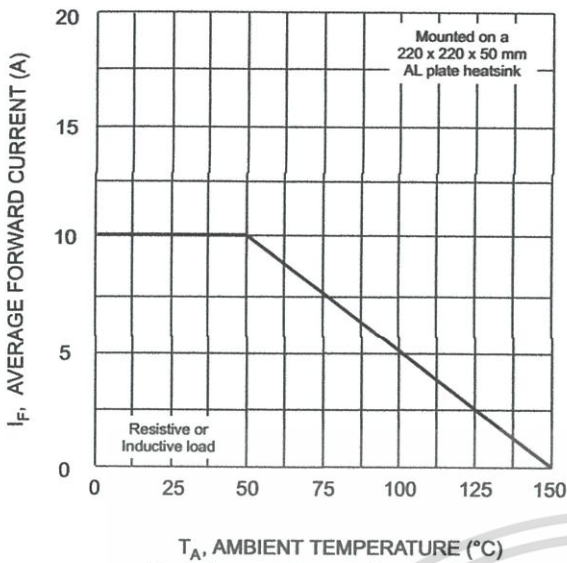
Characteristic	Symbol	KBPC 1000/W	KBPC 1001/W	KBPC 1002/W	KBPC 1004/W	KBPC 1006/W	KBPC 1008/W	KBPC 1010/W	Unit
Peak Repetitive Reverse Voltage	VRRM								V
Working Peak Reverse Voltage	VRWM	50	100	200	400	600	800	1000	
DC Blocking Voltage	VR								
RMS Reverse Voltage	VR(RMS)	35	70	140	280	420	560	700	V
Average Rectified Output Current @ $T_A = 50^\circ\text{C}$	Io	10							A
Non-Repetitive Peak Forward Surge Current 8.3ms Single half sine-wave superimposed on rated load (JEDEC Method)	IFSM	200							A
Forward Voltage (per element) @ $I_F = 5.0\text{A}$	VFM	1.2							V
Peak Reverse Current @ $T_C = 25^\circ\text{C}$ At Rated DC Blocking Voltage @ $T_C = 125^\circ\text{C}$	IRM	10 1.0							$\mu\text{A}$ mA
Typical Junction Capacitance (Note 1)	Cj	300							pF
Typical Thermal Resistance (Note 2)	R $\theta$ JC	6.3							K/W
RMS Isolation Voltage from Case to Lead	VISO	2500							V
Operating and Storage Temperature Range	Tj, TSTG	-65 to +150							$^\circ\text{C}$

\* Glass passivated forms are available upon request.

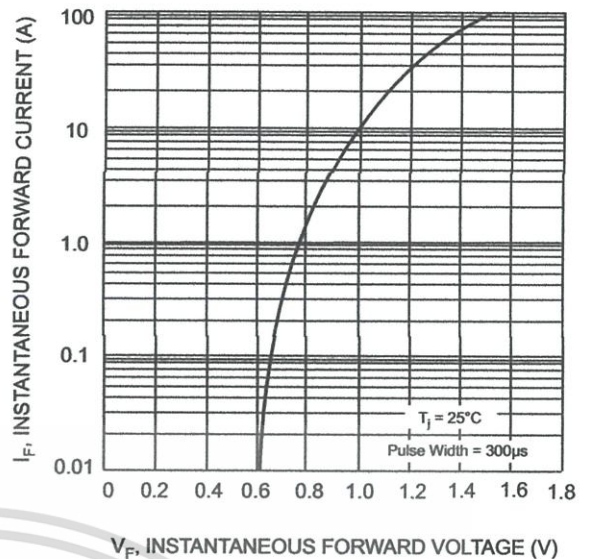
Note: 1. Measured at 1.0 MHz and applied reverse voltage of 4.0V D.C.

2. Thermal resistance junction to case per element mounted on heatsink.

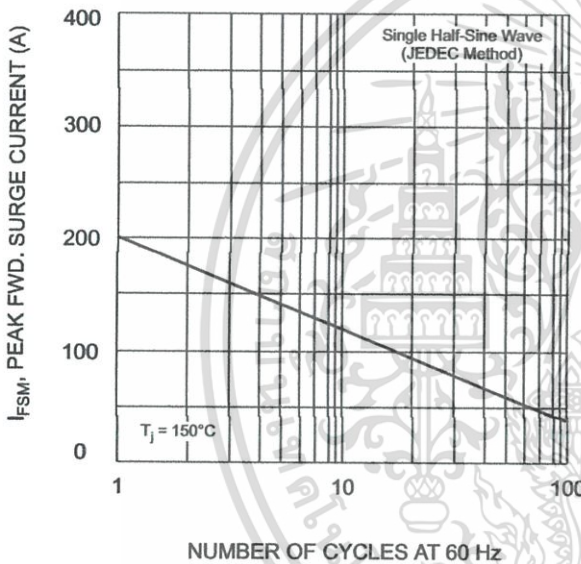
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า



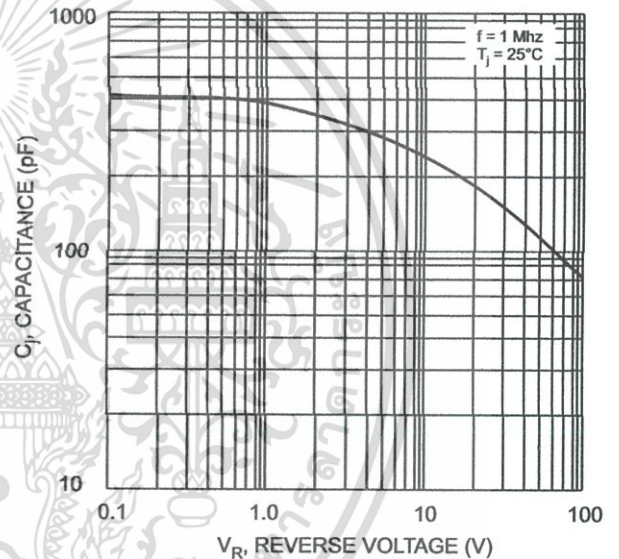
$T_A$ , AMBIENT TEMPERATURE ( $^{\circ}C$ )  
Fig. 1 Forward Current Derating Curve



$V_F$ , INSTANTANEOUS FORWARD VOLTAGE (V)  
Fig. 2 Typical Forward Characteristics (per element)



NUMBER OF CYCLES AT 60 Hz  
Fig. 3 Max Non-Repetitive Surge Current



$V_R$ , REVERSE VOLTAGE (V)  
Fig. 4 Typical Junction Capacitance (per element)

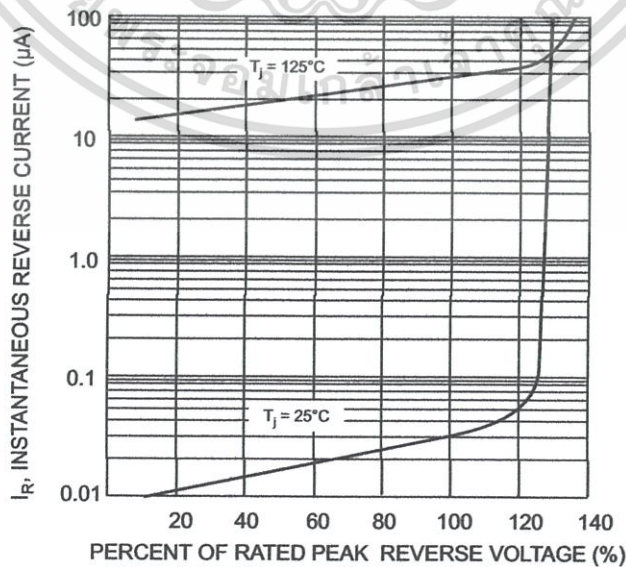
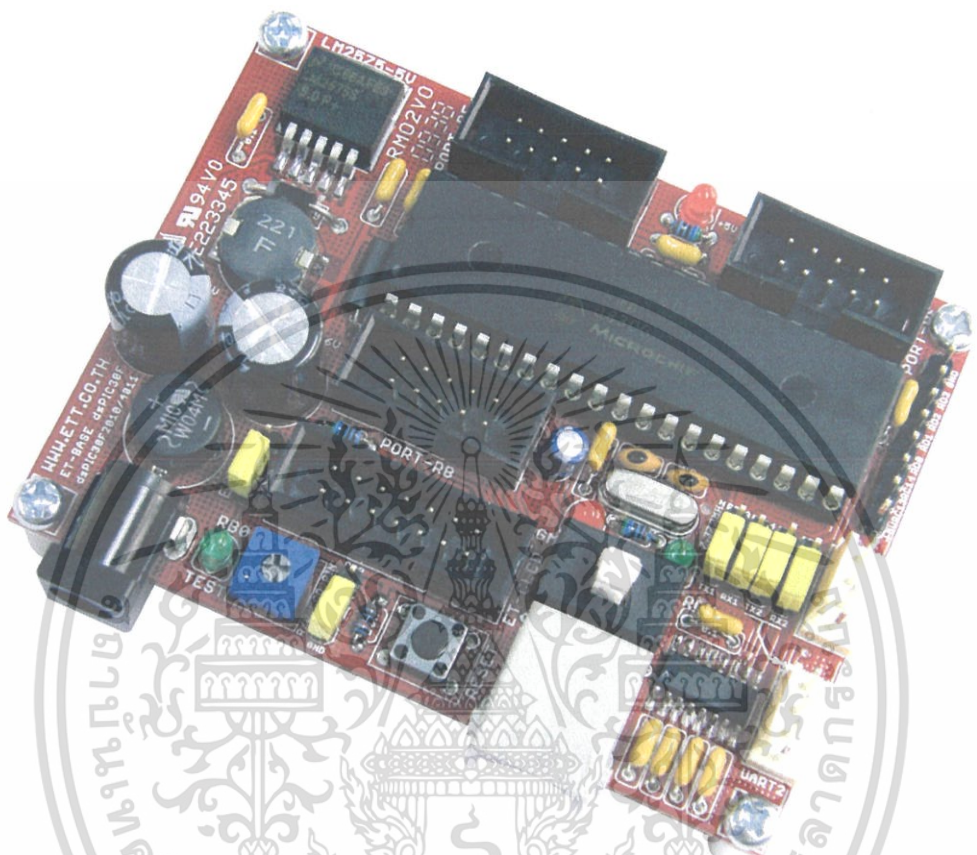


Fig. 5 Typical Reverse Characteristics (per element)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า



ET-BASE dsPIC30F2010/4011 เป็นบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ในตระกูล dsPIC30F ซึ่งเลือกใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์รุ่น 28 Pin เบอร์ dsPIC30F2010 หรือ รุ่น 40 Pin เบอร์ dsPIC30F4011 ของ Microchips เป็น MCU ประจำบอร์ด โดย dsPIC30F2010/4011 เป็น MCU ซึ่งใช้การประมวลผลข้อมูลแบบ 16 บิต จากค่าย Microchips ซึ่งมีจุดเด่นในด้านของความสามารถในการประมวลผลข้อมูลสัญญาณแบบดิจิทัลเหมาะสมอย่างยิ่งสำหรับนำไปประยุกต์ใช้ในงานควบคุมต่างๆ โดยโครงสร้างภายในจะเป็นการผสมผสานระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์ (MCU) และวงจรร DSP (Digital Signal Processing) รวมเข้าไว้ด้วยกัน หรืออาจเรียก MCU ในตระกูล dsPIC30F ว่าเป็น DSC หรือ Digital Signal Controller ก็ได้

โดยโครงสร้างของบอร์ด ET-BASE dsPIC30F2010/4011 ได้รับการออกแบบให้บอร์ดมีขนาดเล็กเหมาะต่อการนำไปประยุกต์ใช้งานเป็นหลัก โดยภายในบอร์ดได้บรรจุเอาวงจรรที่จำเป็นต่อการใช้งาน และสะดวกต่อการพัฒนาโปรแกรม มีความยืดหยุ่น สามารถปรับเปลี่ยนสัญญาณ I/O เพื่อนำไปประยุกต์ใช้งานในลักษณะต่างๆให้สอดคล้องและเหมาะสมกับความต้องการใช้งานได้ในหลายๆลักษณะตามต้องการ

# General-purpose Relay MY

## Versatile, Multi-featured, Miniature Power Relay for Sequence Control and Power Switching Applications

- Models with lockable test buttons now available.
- Multiple features available, including operation indicators (mechanical and LED indicators), lockable test button, built-in diode and CR (surge suppression), bifurcated contacts, etc.
- Environment-friendly cadmium-free contacts.
- Wide range of Sockets (PY, PYF Series) and optional parts.
- Max. Switching Current: 2-pole: 10 A, 4-pole: 5 A
- Provided with nameplate.
- RoHS Complaint.



## Ordering Information

### ■ Relays

#### Standard Coil Polarity

Type	Contact form	Model		
		Plug-in socket/solder terminals		
		Standard with LED indicator	With LED indicator and lockable test button	Without LED indicator
Standard	DPDT	MY2N	MY2IN	MY2
	4PDT	MY4N	MY4IN	MY4
	4PDT (bifurcated)	MY4ZN	MY4ZIN	MY4Z
With built-in diode (DC only)	DPDT	MY2N-D2	MY2IN-D2	---
	4PDT	MY4N-D2	MY4IN-D2	---
	4PDT (bifurcated)	MY4ZN-D2	MY4ZIN-D2	---
With built-in CR (220/240 VAC, 110/120 VAC only)	DPDT	MY2N-CR	MY2IN-CR	---
	4PDT	MY4N-CR	MY4IN-CR	---
	4PDT (bifurcated)	MY4ZN-CR	MY4ZIN-CR	---

#### Reverse Coil Polarity

Type	Contact form	Model	
		Plug-in socket/solder terminals	
		With LED indicator	With LED indicator and lockable test button
Standard (DC only)	DPDT	MY2N1	MY2IN1
	4PDT	MY4N1	MY4IN1
	4PDT (bifurcated)	MY4ZN1	MY4ZIN1
With built-in diode (DC only)	DPDT	MY2N1-D2	MY2IN1-D2
	4PDT	MY4N1-D2	MY4IN1-D2
	4PDT (bifurcated)	MY4ZN1-D2	MY4ZIN1-D2

Note: 1. When ordering, add the rated coil voltage to the model number(s), followed by "(S)". Rated coil voltages are given in the coil ratings table.  
Example: MY2 AC12(S)

↑  
Rated coil voltage

2. Arc barrier standard on all four-pole relays.

3. Other models also available, such as, three-pole versions, flangemount, PCB, etc. Contact your Omron Representative for details.

# TLP250

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

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

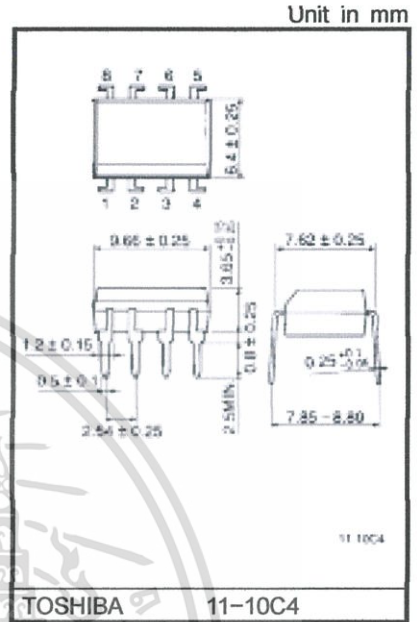
This unit is 8-lead DIP package.

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

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

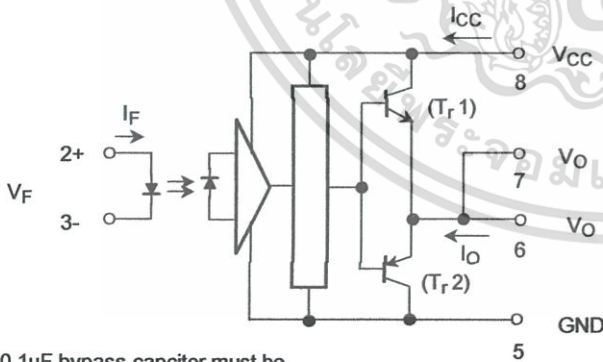
**(Note) When a VDE0884 approved type is needed, please designate the "option (D4)"**

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

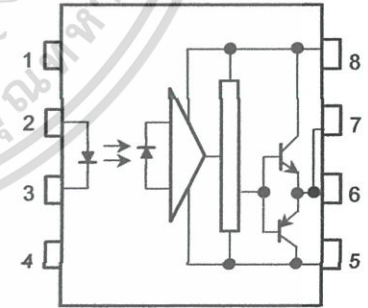


TOSHIBA Weight: 0.54 g

## Schmatic



## Pin Configuration (top view)



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

- 1 : N.C.
- 2 : Anode
- 3 : Cathode
- 4 : N.C.
- 5 : GND
- 6 :  $V_O$  (Output)
- 7 :  $V_O$
- 8 :  $V_C$

## Truth Table

		Tr1	Tr2
Input LED	On	On	Off
	Off	Off	On



# TC4420/TC4429

## 6A High-Speed MOSFET Drivers

### Features

- Latch-Up Protected: Will Withstand  $>1.5A$  Reverse Output Current
- Logic Input Will Withstand Negative Swing Up To 5V
- ESD Protected: 4 kV
- Matched Rise and Fall Times:
  - 25 ns (2500 pF load)
- High Peak Output Current: 6A
- Wide Input Supply Voltage Operating Range:
  - 4.5V to 18V
- High Capacitive Load Drive Capability: 10,000 pF
- Short Delay Time: 55 ns (typ.)
- CMOS/TTL Compatible Input
- Low Supply Current With Logic '1' Input:
  - 450  $\mu A$  (typ.)
- Low Output Impedance: 2.5 $\Omega$
- Output Voltage Swing to Within 25 mV of Ground or  $V_{DD}$
- Space-Saving 8-Pin SOIC and 8-Pin 6x5 DFN Packages

### Applications

- Switch-Mode Power Supplies
- Motor Controls
- Pulse Transformer Driver
- Class D Switching Amplifiers

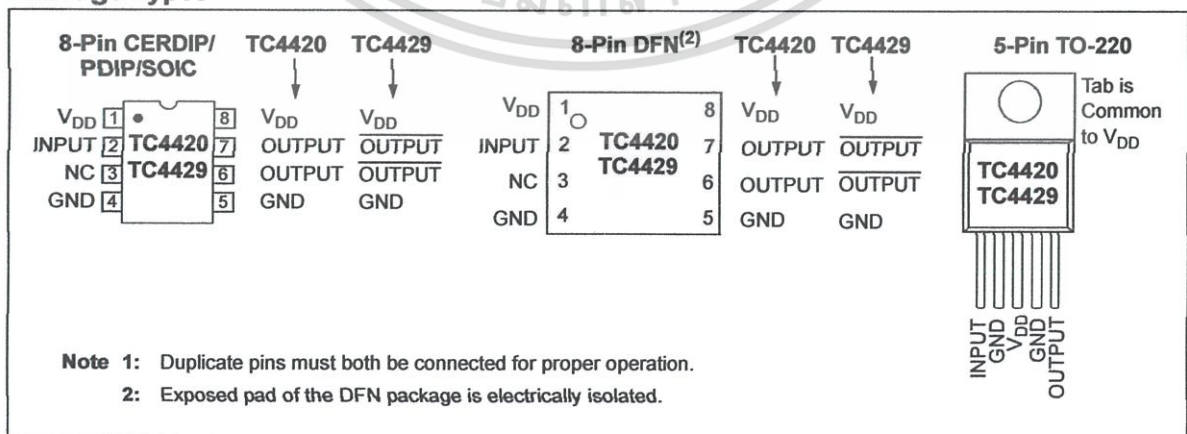
### General Description

The TC4420/TC4429 are 6A (peak), single-output MOSFET drivers. The TC4429 is an inverting driver (pin-compatible with the TC429), while the TC4420 is a non-inverting driver. These drivers are fabricated in CMOS for lower power and more efficient operation versus bipolar drivers.

Both devices have TTL/CMOS compatible inputs that can be driven as high as  $V_{DD} + 0.3V$  or as low as  $-5V$  without upset or damage to the device. This eliminates the need for external level-shifting circuitry and its associated cost and size. The output swing is rail-to-rail, ensuring better drive voltage margin, especially during power-up/power-down sequencing. Propagational delay time is only 55 ns (typ.) and the output rise and fall times are only 25 ns (typ.) into 2500 pF across the usable power supply range.

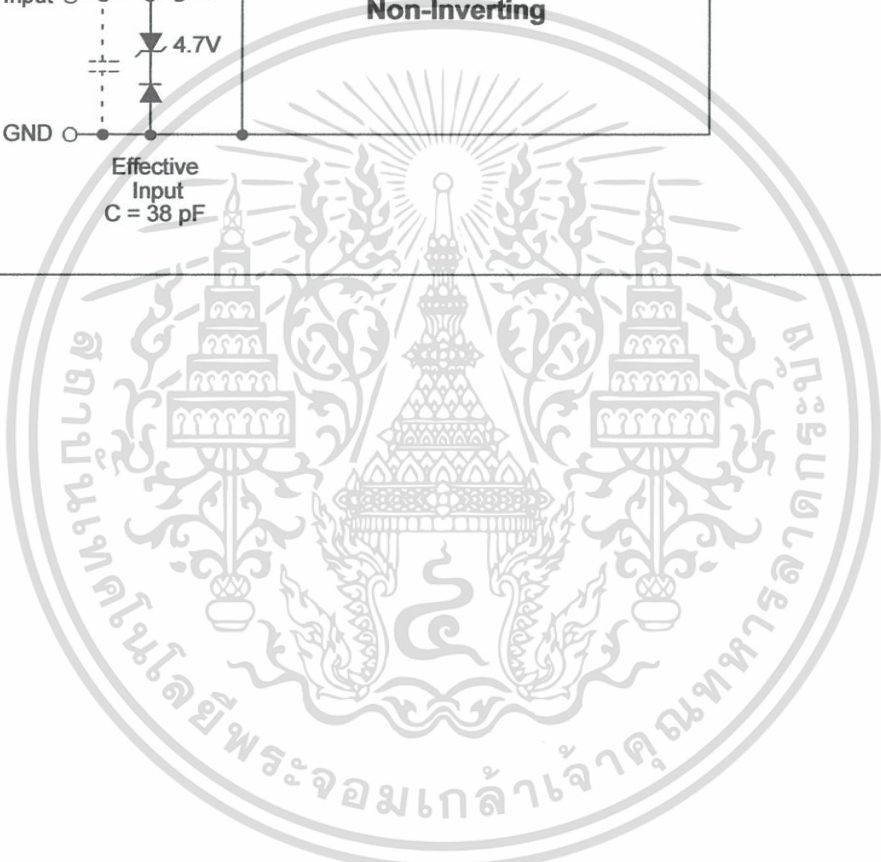
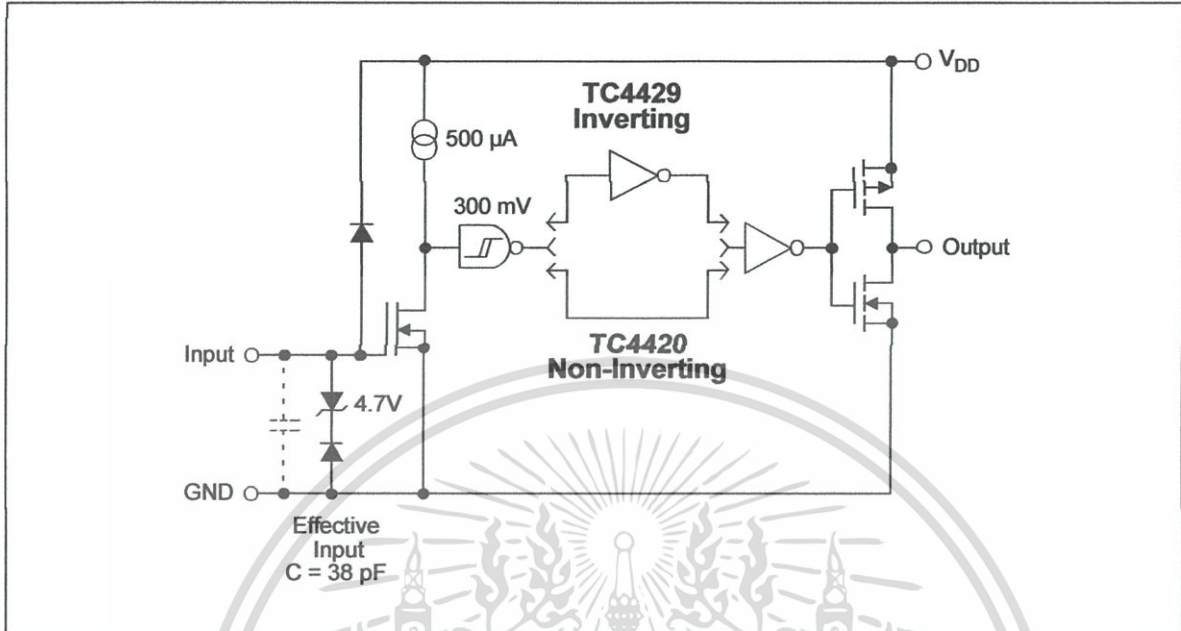
Unlike other drivers, the TC4420/TC4429 are virtually latch-up proof. They replace three or more discrete components, saving PCB area, parts and improving overall system reliability.

### Package Types<sup>(1)</sup>



# TC4420/TC4429

## Functional Block Diagram



## ประวัติผู้เขียน



นาย ศุภสร หมื่นพล

เกิดที่จังหวัดชลบุรี จบการศึกษาระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายจาก โรงเรียนชลราษฎรอำรุง จังหวัดชลบุรี แผนการเรียนวิทย์-คณิต ในปี พ.ศ. 2554 เคยเข้ารับการฝึกงานที่การไฟฟ้าผลิตแห่งประเทศไทย เชื่อนรัชชประภา จังหวัดสุราษฎร์ธานี ในปี พ.ศ. 2557



นาย ชมาคม แยมมณฑา

เกิดที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร จบการศึกษาระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายจาก โรงเรียนปากเกร็ด จังหวัดนนทบุรี แผนการเรียนวิทย์-คณิต ในปี พ.ศ. 2554 เคยเข้ารับการฝึกงานที่บริษัท ไทย เมทัลเทคนิค จำกัด จังหวัดนนทบุรี ในปี พ.ศ. 2557



น.ส. สุคนทิพย์ แก่นจันทร์

เกิดที่จังหวัดนครปฐม จบการศึกษาระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายจาก โรงเรียนกาญจนาภิเษกวิทยาลัย นครปฐม (พระตำหนักสวนกุหลาบมัธยม) แผนการเรียนวิทย์-คณิต ในปี พ.ศ. 2554 เคยเข้ารับการฝึกงานที่การไฟฟ้าผลิตแห่งประเทศไทย เชื่อนรัชชประภา จังหวัดสุราษฎร์ธานี ในปี พ.ศ. 2557



นาย สุทิวส์ ส่องประเสริฐ

เกิดที่จังหวัดสระบุรี จบการศึกษาระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายจาก โรงเรียนปากช่อง จังหวัดนครราชสีมา แผนการเรียนวิทย์-คณิต ในปี พ.ศ. 2554 เคยเข้ารับการฝึกงานที่การไฟฟ้าผลิตแห่งประเทศไทย เชื่อนรัชชประภา จังหวัดสุราษฎร์ธานี ในปี พ.ศ. 2557

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้