

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

เครื่องหลอมเหนียวนำความถี่สูง  
INDUCTION MELTER HIGH FREQUENCY



โดย  
นายภัทรพงศ์ เทียนทอง  
นายศราวุฒิน เชียงใหม่  
นายสาธิต ชี้อย่าง

รฟ.  
ว 366๑  
๒๕๔๙

เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน..... 73003  
วัน,เดือน,ปี... 2.7.๕.ย. 2550

b. 11๖๖ ๖23๖  
i.....

ปฏิญานีพจน์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปีการศึกษา 2549

เครื่องหลอมเหนียวนำความถี่สูง  
INDUCTION MELTER HIGH FREQUENCY



รศ.ดร.วิริยะ พิเชษฐจำเริญ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2549

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง เครื่องหลอมเหนี่ยวนำความถี่สูง

INDUCTION MELTER HIGH FREQUENCY

ผู้จัดทำ

1. นายภัทรพงศ์ เทียนทอง รหัสประจำตัว 47015103
2. นายศราวุฒิ ณ เชียงใหม่ รหัสประจำตัว 47015150
3. นายสาริต ชีชัย รหัสประจำตัว 47015153



.....อาจารย์ที่ปรึกษา

( รศ.ดร. วิริยะ พิเชฐจำเริญ )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เครื่องหลอมเหนียวนำความถี่สูง

นายภัทรพงศ์ เทียนทอง  
นายศราวุฒิ ณ เชียงใหม่  
นายสาธิต ชี้อย่าง

รศ.ดร. วิริยะ พิเชฐจำเริญ อาจารย์ที่ปรึกษา  
ปีการศึกษา 2549

### บทคัดย่อ

ในปฏิญานิพนธ์นี้ได้นำเสนอวิธีการควบคุมกำลังไฟฟ้าทางด้านเอาต์พุตอินเวอร์เตอร์สำหรับเครื่องหลอมเหนียวนำความถี่สูง โดยใช้หลักการปรับลดจำนวนพัลส์(PDM) ในช่วงเวลา 1 คาบของความถี่สวิตซ์อินเวอร์เตอร์ ด้วยจำนวนพัลส์ 4 3 2 และ 1 ทำให้ได้คลื่นแรงดัน AC สแควร์ โดยจะต่อเข้ากับวงจร RLC เรโซแนนท์อนุกรมของเครื่องหลอมเหนียวนำความถี่สูง ซึ่งคลื่นแรงดันและกระแสทางด้านเอาต์พุตอินเวอร์เตอร์ อินพุตอินเวอร์เตอร์และทางด้านแหล่งจ่ายการไฟฟ้า 50 Hz นี้สามารถนำไปหาค่ากำลังไฟฟ้า โดยการแตกสเปกตรัมแล้วยังสามารถหาประสิทธิภาพระหว่างเอาต์พุตอินเวอร์เตอร์กับแหล่งจ่ายการไฟฟ้า 50 Hz ได้และเพื่อให้มั่นใจในหลักการที่นำเสนอว่ามีความถูกต้องจึงได้นำผลที่ได้จากการทดลองมาเปรียบเทียบกับผลทางทฤษฎีโดยใช้โปรแกรม Pspice ซึ่งปรากฏว่าผลที่ได้จากการทดลองกับผลทางทฤษฎีมีค่าที่ใกล้เคียงกัน

## INDUCTION MELTER HIGH FREQUENCY

Pattaraphong Teanthong

Sarawut Na Chiangmai

Sathit Seesay

Assoc.Prof.Dr. Viriya Phichetjamroen

Advisor

2006

### ABSTRACT

This thesis presents a method of controller of power output inverter in high frequency induction melting. That uses the principle of adjustable of number of pulse (PDM). In one period of switching frequency from inverter with 4, 3, 2 and 1 pulses, it induces AC voltage square wave connected with RLC series resonant of high frequency induction melting. For voltage and current waveform from input inverter, output inverter from 50 Hz AC square, it can take these results for calculating output power from spectrum. It also calculates efficiency between output inverter and 50 Hz AC source. To confirm this method is true, we will compare the result between simulation result and the experiment result, and we found both of them is the same.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาโทฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้เป็นอย่างดีด้วยความอนุเคราะห์จาก ท่าน รศ.ดร. วิริยะ พิเชษฐจำเริญ ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมดูแลปริญญาโทเล่มนี้ ท่านได้ให้คำแนะนำ และคำปรึกษาเกี่ยวกับการดำเนินงานการศึกษาและวิจัย ผู้จัดทำโครงการฯ ซึ่งในความกรุณาจากท่านและขอกราบขอบคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบคุณ คุณยงยุทธ นาราชภูรี และคุณศักดา พรหมเหมือน ที่ให้ความช่วยเหลือให้คำปรึกษาทั้งทางด้านทฤษฎีและปฏิบัติ ตลอดจนรุ่นพี่ปริญญาโท ทั้งพี่เอ็ม พี่โหน่ง พี่โจ และพี่หนึ่ง ที่ได้ให้คำแนะนำและช่วยเหลือด้วยดีมาตลอดในการทำโครงการฯ ครั้งนี้

สุดท้ายขอขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ที่ได้ให้การสนับสนุนและให้กำลังใจ และเพื่อนที่ทำโครงการฯ ร่วมกันที่ให้กำลังใจ ความตั้งใจและคุณค่าอันพึงมีจากปริญญาโทฉบับนี้ ผู้จัดทำโครงการฯ ขอขอบแต่ผู้มีพระคุณทุกท่าน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ.....	I
ABSTRACT.....	II
สารบัญ.....	III
สารบัญรูป.....	V
สารบัญตาราง.....	VIII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	1
1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดในการวิจัย.....	2
1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน.....	2
1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย.....	2
บทที่ 2 โครงสร้างพื้นฐานของเครื่องสร้างความร้อนโดยการเหนี่ยวนำความถี่สูง.....	3
2.1 บทนำ.....	3
2.2 หลักการสร้างแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าความถี่สูง.....	3
2.3 วงจรเรกติไฟเออร์ (rectifier).....	6
2.4 วงจรฟูลบริดจ์อินเวอร์เตอร์.....	12
2.5 การออกแบบและการสร้างหม้อแปลงไฟฟ้า.....	15
บทที่ 3 วิธีการหาค่าเพื่อทำการออกแบบ และสร้างเครื่องหลอมเหนี่ยวนำความถี่สูง.....	27
3.1 บทนำ.....	27
3.2 การเกิดความร้อนโดยการเหนี่ยวนำความถี่สูง.....	27
3.3 การวิเคราะห์วงจรสมมูลของขดลวดเหนี่ยวนำความร้อน.....	28
3.4 การทำงานของวงจรฟูลบริดจ์อินเวอร์เตอร์ เรโซแนนท์อนุกรม.....	33
3.5 การออกแบบ.....	37
บทที่ 4 การปรับจำนวนพัลส์ PDM และผลการทดลอง.....	40
4.1 บทนำ.....	40
4.2 การปรับจำนวนพัลส์ PDM.....	40
4.3 หลักการปรับควบคุมจำนวนพัลส์ PDM ในรูปแบบการรวมตัวเป็นกลุ่มสำหรับ กรณีจำนวนไซเคิลต่อคาบเวลาเท่ากับ 1/4.....	41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ(ต่อ)

หน้า

4.4	หลักการปรับควบคุมจำนวนพัลส์ PDM ในรูปแบบการรวมตัวเป็นกลุ่มสำหรับ กรณีจำนวนไซเคิลต่อคาบเวลา เท่ากับ $2/4$ .....	44
4.5	หลักการปรับควบคุมจำนวนพัลส์ PDM ในรูปแบบการรวมตัวเป็นกลุ่มสำหรับ กรณีจำนวนไซเคิลต่อคาบเวลา เท่ากับ $3/4$ .....	47
4.6	หลักการปรับควบคุมจำนวนพัลส์ PDM ในรูปแบบการรวมตัวเป็นกลุ่มสำหรับ กรณีจำนวนไซเคิลต่อคาบเวลา เท่ากับ $4/4$ .....	49
4.7	รูปภาพแสดงกำลังไฟฟ้าทางด้านอินพุท ทางด้านเอาต์พุท และประสิทธิภาพ....	51
บทที่ 5	สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	52

ภาคผนวก

กิตติกรรมประกาศ

เอกสารอ้างอิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
รูปที่ 2.1	บล็อกแสดงแนวคิดของระบบโดยรวมของเครื่องหลอมโลหะความถี่สูง.....3
รูปที่ 2.2	วงจรภาคแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง (Rectifier+ DC Filter).....4
รูปที่ 2.3	วงจรภาคแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับความถี่สูง (High-Frequency Inverter).....4
รูปที่ 2.4	หม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงใช้แกนเหล็กเฟอร์ไรท์.....5
รูปที่ 2.5	ชุดโหลดเบ้าหลอมโลหะเหนี่ยวนำความถี่สูง.....5
รูปที่ 2.6	วงจรฮาร์ตเวฟเรกติไฟเออร์.....6
รูปที่ 2.7	แสดงการทำงานช่วงเวลา 0 ถึง $\frac{T}{2}$ .....7
รูปที่ 2.8	แสดงการทำงานช่วงเวลา $\frac{T}{2}$ ถึง T.....7
รูปที่ 2.9	ลักษณะสัญญาณอินพุท และเอาต์พุทของวงจรฮาร์ตเวฟเรกติไฟเออร์.....8
รูปที่ 2.10	วงจรบริดจ์เรกติไฟเออร์.....9
รูปที่ 2.11	แสดงการทำงานช่วงเวลา 0 ถึง $\frac{T}{2}$ .....9
รูปที่ 2.12	แสดงการทำงานช่วงเวลา $\frac{T}{2}$ ถึง T.....10
รูปที่ 2.13	ลักษณะสัญญาณอินพุท และเอาต์พุทของวงจรบริดจ์เรกติไฟเออร์.....10
รูปที่ 2.14	วงจรฟูลเวฟเรกติไฟเออร์โดยใช้ไดโอด 2 ตัว.....11
รูปที่ 2.15	การทำงานในช่วงครึ่งไซเคิลบวก.....11
รูปที่ 2.16	การทำงานในช่วงครึ่งไซเคิลลบ.....12
รูปที่ 2.17	วงจรฟูลบริดจ์อินเวอร์เตอร์.....13
รูปที่ 2.18	โครงสร้างของวงจรฟูลบริดจ์อินเวอร์เตอร์เรโซแนนท์อนุกรม.....13
รูปที่ 2.19	ลักษณะของหม้อแปลงไฟฟ้า.....16
รูปที่ 2.20	ลักษณะของหม้อแปลงไฟฟ้า.....16
รูปที่ 2.21	สัญลักษณ์ของหม้อแปลง.....17
รูปที่ 2.22	รูปแบบของแกนเหล็ก.....17
รูปที่ 2.23	รูปแบบของแผ่นเหล็กที่ใช้คู่กัน.....17
รูปที่ 2.24	แสดงส่วนต่างๆ ในการหาความสูงของช่องหน้าต่าง.....23
รูปที่ 3.1	ลักษณะกระแสไฟฟ้าสลับและเส้นแรงแม่เหล็กที่ขดลวดและชิ้นงาน.....28

## สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
รูปที่ 3.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นของกระแสกับระยะความลึกจากผิวของ ชั้นงาน.....	29
รูปที่ 3.3 วงจรสมมูลของขดลวดเหนี่ยวนำซึ่งพันรอบเบ้าหลอมที่ชั้นงานเมื่อนำมา พิจารณาในลักษณะเดียวกับหลักการของหม้อแปลงไฟฟ้า.....	30
รูปที่ 3.4 วงจรสมมูลของขดลวดเหนี่ยวนำที่พันรอบเบ้าหลอมที่บรรจุชั้นงานโดย พิจารณาจากด้านปฐมภูมิ.....	30
รูปที่ 3.5 วงจรฟูลบริดจ์อินเวอร์เตอร์โรโชนั่นที่อนุกรมของเครื่องหลอมโลหะเหนี่ยวนำ ความถี่สูง.....	34
รูปที่ 3.6 โหมดการทำงานของวงจรฟูลบริดจ์อินเวอร์เตอร์ที่ควบคุมด้วยการปรับลด จำนวนพัลส์.....	35
รูปที่ 3.7 คลื่นแรงดันและกระแสใน 2 ไชเกิล ในกรณีที่มีแรงดันและไม่มีแรงดัน.....	36
รูปที่ 3.8 วงจรสมมูลโรโชนั่นที่อนุกรม.....	37
รูปที่ 3.9 เวกเตอร์ไดอะแกรมของแรงดันและกระแสมูลฐานด้านเอาต์พุต.....	37
รูปที่ 4.1 ลักษณะพัลส์ PDM แบบการรวมตัวเป็นกลุ่มในแต่ละรูปแบบจากจำนวน รวมทั้งสิ้น 4 รูปแบบ.....	40
รูปที่ 4.2 ลักษณะคลื่นแรงดันและกระแสตามจุดต่างๆเฉพาะในช่วง 1 คาบเวลา สำหรับพัลส์ PDM ในรูปแบบรวมเป็นกลุ่มในกรณี 1/4 ไชเกิลต่อคาบเวลา.....	42
รูปที่ 4.3 ลักษณะคลื่นและสเปกตรัมของแรงดันและกระแสเอาต์พุตที่ได้จากการซิมูเลต และการทดลองสำหรับพัลส์ PDM ในรูปแบบการรวมกลุ่มในกรณี 1/4 ไชเกิล ต่อคาบเวลา.....	43
รูปที่ 4.4 ลักษณะคลื่นแรงดันและกระแสตามจุดต่างๆเฉพาะในช่วง 1 คาบเวลา สำหรับพัลส์ PDM ในรูปแบบรวมเป็นกลุ่มในกรณี 2/4 ไชเกิลต่อคาบเวลา.....	45
รูปที่ 4.5 ลักษณะคลื่นและสเปกตรัมของแรงดันและกระแสเอาต์พุตที่ได้จากการซิมูเลตและ การทดลองสำหรับพัลส์ PDM ในรูปแบบการรวมเป็นกลุ่มในกรณี 2/4 ไชเกิล ต่อคาบเวลา.....	46
รูปที่ 4.6 ลักษณะคลื่นแรงดันและกระแสตามจุดต่างๆเฉพาะในช่วง 1 คาบเวลา สำหรับพัลส์ PDM ในรูปแบบรวมเป็นกลุ่มในกรณี 3/4 ไชเกิลต่อคาบเวลา.....	47
รูปที่ 4.7 ลักษณะคลื่นและสเปกตรัมของแรงดันและกระแสเอาต์พุตที่ได้จากการซิมูเลต และการทดลองสำหรับพัลส์ PDM ในรูปแบบการรวมกลุ่มในกรณี 3/4 ไชเกิล ต่อคาบเวลา.....	48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
รูปที่ 4.8 ลักษณะคลื่นแรงดันและกระแสตามจุดต่างๆในช่วง 1 คาบเวลา สำหรับพัลส์ PDMในรูปแบบรวมเป็นกลุ่มในกรณี 4/4 ไซเกิลต่อคาบเวลา.....	49
รูปที่ 4.9 ลักษณะคลื่นและสเปกตรัมของแรงดันและกระแสเอาต์พุตที่ได้จากการซิมูเลตและการทดลองสำหรับพัลส์ PDM ในรูปแบบการรวมเป็นกลุ่มในกรณี 4/4 ไซเกิลต่อคาบเวลา.....	50
รูปที่ 4.10 กราฟแสดงกำลังไฟฟ้าทางด้านอินพุต.....	51
รูปที่ 4.11 กราฟแสดงกำลังไฟฟ้าทางด้านเอาต์พุต.....	51
รูปที่ 4.12 กราฟแสดงประสิทธิภาพของเอาต์พุตอินเวอร์เตอร์ที่แต่ละพัลส์.....	51



## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
ตารางที่ 2.1 แสดงความสัมพันธ์ของกำลังไฟฟ้าที่ขดทุติยภูมิกับแฟลคเตอร์การสูญเสีย.....	19
ตารางที่ 2.2 แสดงความสัมพันธ์ของกำลังไฟฟ้ากับความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า.....	22
ตารางที่ 2.3 แสดงลักษณะของขดลวดทองแดงเบอร์ต่างๆ.....	25
ตารางที่ 3.1 คุณสมบัติต่างๆทางไฟฟ้าของวัสดุประเภทเหล็ก เงิน อลูมิเนียม และตะกั่วที่ ความถี่ 70 kHz.....	33



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ความสำคัญของปัญหา

ในอดีตการหลอมโลหะในโรงงานอุตสาหกรรมจะต้องใช้เชื้อเพลิงในการสร้างความร้อนให้กับเบ้าหลอมเพื่อใช้ในการหลอมโลหะ ซึ่งเชื้อเพลิงที่ใช้ก็จะเป็นประเภทน้ำมันเตา ในการใช้เชื้อเพลิงที่เป็นน้ำมันเตาจะมีปัญหาตามมาคือ มีควันเกิดขึ้นเป็นปัญหามลภาวะทางอากาศ ดังนั้นจึงได้มีการศึกษาเกี่ยวกับการสร้างความร้อนด้วยการเหนี่ยวนำความถี่สูงขึ้นมา ซึ่งอาศัยหลักการเหมือนหม้อแปลงไฟฟ้า โดยการปล่อยแรงดันและกระแสสูงที่มีความถี่เข้าไปทำให้เกิดกระแสไหลวนเพื่อสร้างความร้อนขึ้นที่เบ้าหลอม เพื่อแก้ปัญหาหม้อแปลงที่สร้างขึ้นอย่างได้เป็นอย่างดี เพราะการให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำจะไม่เกิดการลุกไหม้จึงสะอาด มีความรวดเร็ว เวลาเกิดความร้อนเนื่องจากใช้ความถี่ที่สูงและมีประสิทธิภาพสูงเพราะไม่มีตัวกลางในการส่งถ่ายความร้อน

ในปัจจุบันวงการอิเล็กทรอนิกส์กำลังได้พัฒนาไปมาก จึงทำให้สามารถสร้างอุปกรณ์ต่างๆ ได้มากมาย เป็นเหตุให้อุปกรณ์ทางไฟฟ้าหลายชนิดมีการพัฒนาความสามารถได้สูงขึ้น และอุปกรณ์ที่มีขนาดใหญ่ก็สามารถสร้างให้มีขนาดเล็กลงได้

เครื่องหลอมโลหะก็เช่นกัน ได้มีการพัฒนา โดยเปลี่ยนจากการใช้เชื้อเพลิงมาเป็นการใช้ไฟฟ้าแทนได้ ด้วยการใช้หลักการการเหนี่ยวนำทางแม่เหล็กไฟฟ้าความถี่สูง ให้เกิดความร้อนที่เบ้าหลอมโลหะ โดยมีอิเล็กทรอนิกส์เข้ามาเป็นตัวช่วยในการสร้างความถี่สูง มี MOSFET เป็นตัวทำการ switching ในส่วนของการควบคุมว่าจะให้เกิดความร้อนมากหรือน้อยนั้นสามารถควบคุมโดยการปรับความถี่ switching เพื่อควบคุมกำลังไฟฟ้า ซึ่งในการปรับความถี่ switching มีข้อเสียคือ ที่ความถี่สูงๆ จะเกิดการสูญเสียเนื่องจาก switching ในรูปของความร้อนทำให้ประสิทธิภาพของกำลังไฟฟาลดลง

ดังนั้นในโครงการนี้ผู้จัดทำจึงได้ทำการแก้ไขปัญหาดังกล่าวด้วยการสร้างสัญญาณพัลส์ PDM ขึ้นมาเพื่อควบคุมกำลังไฟฟ้า โดยสัญญาณพัลส์ PDM จะเป็นตัวปรับเพิ่มหรือลดเนื้อแรงดันไฟฟ้าทำให้สามารถควบคุมกำลังไฟฟ้าได้ เหมือนกับการควบคุมความถี่

#### 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อให้เข้าใจหลักการพื้นฐานการเกิดความร้อนโดยวิธีการเหนี่ยวนำความถี่สูง
2. เพื่อให้เข้าใจหลักการของวงจรฟลูบริดจ์อินเวอร์เตอร์แบบ Voltage source
3. เพื่อสร้างต้นแบบเครื่องหลอมโลหะความถี่สูง

### 1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดในการวิจัย

1. ศึกษาหลักการพื้นฐานเกี่ยวกับการเกิดความร้อนโดยวิธีการเหนี่ยวนำความถี่สูงในวงจรเรโซแนนซ์อนุกรม
2. ศึกษาวงจรฟลูบรีดจ์อินเวอร์เตอร์แบบ Voltage source ที่มีการควบคุมด้วยหลักการปรับจำนวนพัลส์ PDM
3. ศึกษาระบบขั้นตอนการทำงานของเครื่องหลอมโลหะเหนี่ยวนำความถี่สูง
4. ศึกษาเครื่องหลอมโลหะเหนี่ยวนำความถี่สูง
5. สร้างเครื่องต้นแบบเครื่องหลอมโลหะ

### 1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน

1. ศึกษาหลักการพื้นฐานการเหนี่ยวนำความถี่สูงและรวบรวมทฤษฎีทั้งหมดที่เกี่ยวข้อง
2. ศึกษาระบบขั้นตอนการทำงานของเครื่องหลอมโลหะเหนี่ยวนำความถี่สูง
3. ศึกษาชุดแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง พร้อมทั้งออกแบบ
4. ศึกษาแหล่งไฟฟ้ากระแสสลับความถี่สูง พร้อมทั้งออกแบบวงจร
5. ศึกษาแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับความถี่สูง พร้อมทั้งออกแบบวงจร
6. ศึกษาชุดขับ พร้อมทั้งออกแบบวงจร
7. ออกแบบพัลส์ PDM ในรูปแบบต่างๆทั้งหมด 16 รูปแบบ
8. ศึกษาชุดหม้อแปลงความถี่สูง พร้อมทั้งออกแบบ
9. ศึกษาชุดโหลดเบ้าหลอม พร้อมทั้งออกแบบ
10. สร้างเครื่องต้นแบบเครื่องหลอมโลหะความถี่สูง
11. ทดสอบพร้อมทั้งเก็บข้อมูลเพื่อพัฒนาระบบให้ดีขึ้น
12. เขียนและพิมพ์ปฏิญานิพนธ์

### 1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

สามารถทำให้เกิดความเข้าใจในหลักการพื้นฐานของการเกิดความร้อนโดยวิธีเหนี่ยวนำความถี่สูง เพื่อที่จะสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานในการพัฒนาวิธีการให้ดีขึ้นได้

สามารถทำให้เข้าใจหลักการของวงจรฟลูบรีดจ์อินเวอร์เตอร์ แบบ Voltage source และนำเอาหลักการไปใช้งานได้จริง อย่างเหมาะสมและมีประสิทธิภาพ

สามารถนำเอาหลักการไปดัดแปลงผลิตเครื่องสร้างความร้อนด้วยวิธีเหนี่ยวนำแบบอื่นได้อีก เช่น เตาทองต้มเหนี่ยวนำ เครื่องชุบผิวโลหะ เป็นต้น

สามารถเลือกใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลังได้อย่างเหมาะสมและมีประสิทธิภาพ

## บทที่ 2

# โครงสร้างพื้นฐานของเครื่องสร้างความร้อนโดยการเหนี่ยวนำความถี่สูง

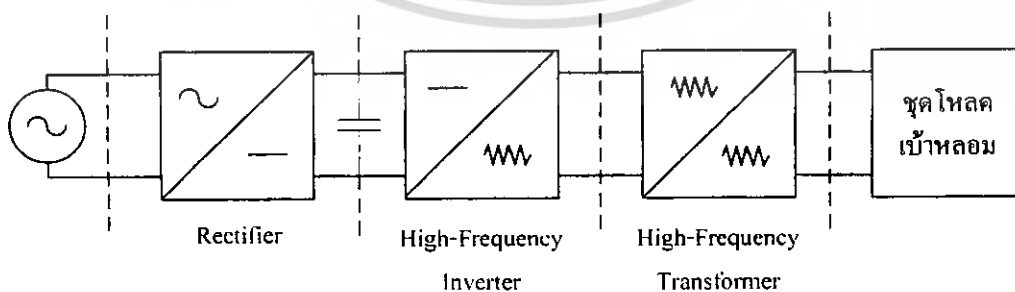
### 2.1 บทนำ

ในส่วนนี้จะกล่าวถึงหลักการพื้นฐานของการให้ความร้อนกับตัวชิ้นงานที่ต้องการ เพื่อให้ชิ้นงานเกิดการหลอมละลายโดยอาศัยหลักการการเหนี่ยวนำทางคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าความถี่สูง ในส่วนของชิ้นงานที่จะหลอม(ชุดไหลต)จะมีกระแสสูงแรงดันต่ำ และจะได้กล่าวถึงหลักการพื้นฐานเกี่ยวกับการสร้างแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าความถี่สูง

การเกิดความร้อนโดยการเหนี่ยวนำ คือการให้ความร้อนกับวัสดุที่เป็นตัวนำไฟฟ้าโดยที่การเหนี่ยวนำไฟฟ้ากระแสสลับจะทำให้เกิดความร้อนขึ้นมาจากที่ตัววัสดุ โดยจะมีเกิดในลักษณะในรูปของการสูญเสียเนื่องจากกระแสไหลวน (Eddy Current) พิจารณาได้จากหลักการของหม้อแปลงไฟฟ้า คือเมื่อเราป้อนกระแสสลับความถี่สูงเข้าไปในชุดหลอม (ชุดไหลต) ที่มีขดลวดพันอยู่รอบเบ้าหลอม ขดลวดก็จะสร้างสนามแม่เหล็กเกี่ยวคล้อง (Magnetic Flux) ขึ้นในชิ้นงาน ซึ่งสนามแม่เหล็กที่เกี่ยวคล้องกับชิ้นงานจะทำให้เกิดกระแสไหลวน (Eddy Current) โดยกระแสดังกล่าวจะเป็นลักษณะเส้นทางปิด ทำให้เกิดการสูญเสียเนื่องจากกระแสไหลวนจึงทำให้เกิดความร้อนขึ้นที่ตัวชิ้นงาน และเนื่องจากการไหลของไฟฟ้ากระแสสลับความถี่สูงจึงทำให้เกิดผลของ Skin Effect ซึ่งผลของการเกิดนี้จะทำให้กระแสไหลที่เฉพาะบริเวณผิวด้านนอกของชิ้นงาน

### 2.2 หลักการสร้างแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าความถี่สูง

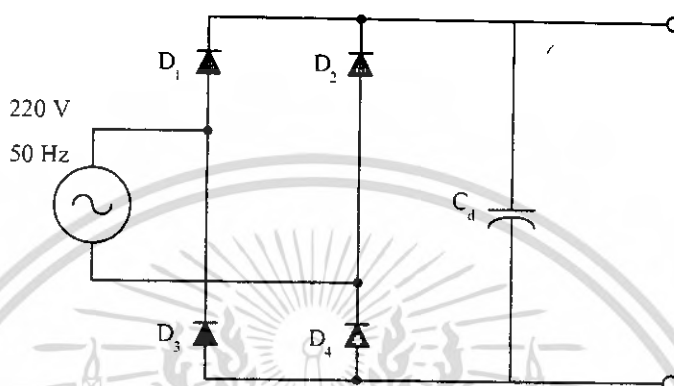
ในการสร้างเครื่องหลอมโลหะจำเป็นต้องมีความรู้และความเข้าใจถึงหลักการพื้นฐานเกี่ยวกับหลักการที่จำเป็นต้องเข้าใจในขั้นตอนแรกสุดเกี่ยวกับการเกิดความร้อนที่ตัวชิ้นงานชนิดของโลหะที่ต้องการให้เกิดการหลอมละลายโดยอาศัยหลักการการเหนี่ยวนำทางคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าด้วยความถี่สูงกระแสสูงและแรงดันต่ำในการหลอมละลายชิ้นงานซึ่งจะมีส่วนประกอบของโครงสร้างที่สำคัญดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 บล็อกแสดงแนวคิดของระบบโดยรวมของเครื่องหลอมโลหะความถี่สูง

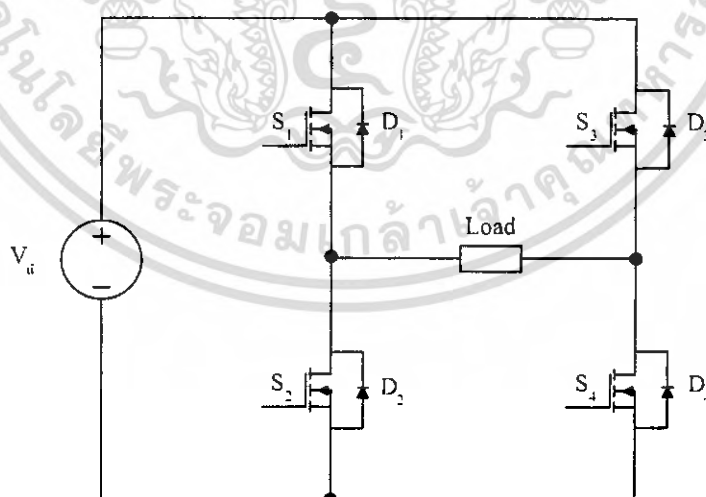
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ภาคแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง ในส่วนนี้จะป็นวงจรที่ภาคกำลังความถี่ต่ำซึ่งจะเป็นส่วนแรกของแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าความถี่สูงที่ใช้ในการเหนี่ยวนำ โดยจะประกอบไปด้วยวงจรเรกติไฟเออร์และดีซีฟิลเตอร์โดยจะรับแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับความถี่ 50 เฮิรตซ์จากการไฟฟ้าและทำการแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรงเพื่อป้อนให้กับอินเวอร์เตอร์ ดังรูปที่ 2.2



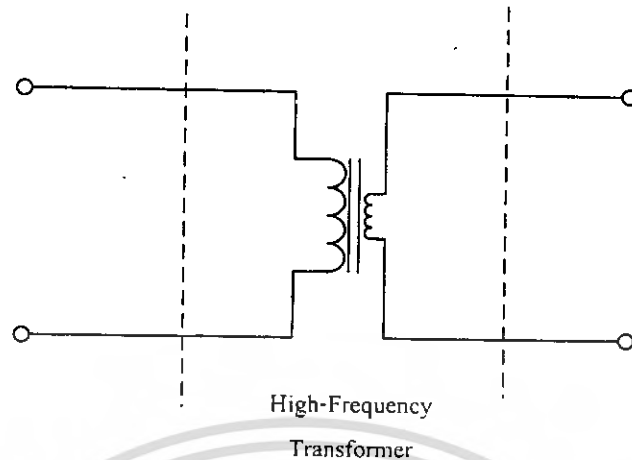
รูปที่ 2.2 วงจรภาคแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง (Rectifier+ DC Filter)

2. ภาคแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับความถี่สูง ในส่วนนี้ประกอบไปด้วยวงจรอินเวอร์เตอร์และหม้อแปลงความถี่สูงซึ่งมีหน้าที่หลักคือ จ่ายกำลังไฟฟ้าความถี่สูงให้แก่โหลดทางด้านเอาต์พุตซึ่งใช้วงจรอินเวอร์เตอร์ชนิดฟลูบริดจ์ ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 วงจรภาคแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับความถี่สูง (High-Frequency Inverter)

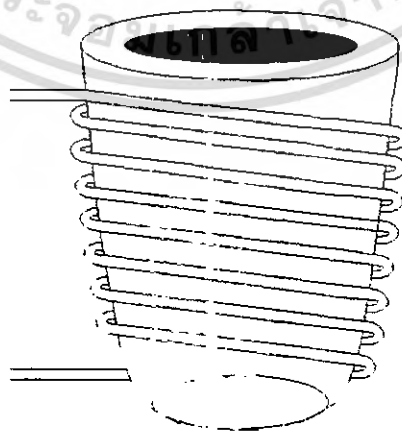
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 หม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงใช้แกนเหล็กเฟอร์ไรท์

3. ภาคหม้อแปลงความถี่สูง ในส่วนนี้จะเป็นส่วนของวงจรหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูง ซึ่งประกอบด้วยจำนวนขดลวดทองแดงตีเกลียวทางด้านปฐมภูมิ และขดลวดในลักษณะของท่อทองแดงทางด้านทุติยภูมิ เพื่อให้สามารถระบายความร้อนด้วยน้ำผ่านภายในท่อทองแดง โดยที่ด้านปฐมภูมิจะมีจำนวนรอบของขดลวดสูงกว่าทางด้านทุติยภูมิ ซึ่งจะทำให้ได้กระแสทางด้านทุติยภูมิสูงกว่าปฐมภูมิ ดังรูปที่ 2.4

4. ชุดไหลดเบ้าหลอม อุปกรณ์ในส่วนนี้จะประกอบด้วยขดลวดในลักษณะท่อทองแดงพันรอบเบ้าหลอมโดยที่ตัวเบ้าหลอมจะทำด้วยวัสดุประเภทกราไฟต์ ซึ่งมีคุณสมบัติทนอุณหภูมิความร้อนได้สูงภายในท่อทองแดงจะใช้เป็นบริเวณที่มีน้ำไหลผ่าน เพื่อเป็นการระบายความร้อนออกจากขดลวดทองแดงอันเนื่องมาจากความร้อนที่แผ่กระจายมาจากตัวเบ้าหลอม ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 ชุดไหลดเบ้าหลอมโลหะเหนียวนำความถี่สูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

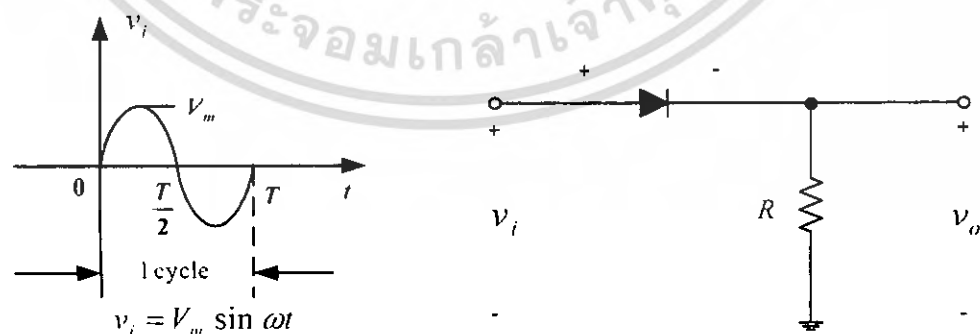
## 2.3 วงจรเรกติไฟเออร์ (rectifier)

วงจรเรกติไฟเออร์ คือ วงจรพื้นฐานของวงจรภาคจ่ายไฟทุกรูปแบบ ไม่ว่าจะเป็นวงจรรักษาระดับแรงดันให้คงที่ วงจรเปลี่ยนแปลงระดับแรงดัน หรือวงจรภาคจ่ายไฟกระแสตรงแบบสวิตชิ่ง ซึ่งความหมายของคำว่าเรกติไฟเออร์ก็คือ วงจรไฟฟ้าที่มีคุณสมบัติในการเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรง และมีคุณสมบัติที่ยอมให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านไปยังโหลดเพียงทิศทางเดียว สามารถแบ่งแยกวงจรออกได้ 2 รูปแบบ คือ วงจรฮาล์ฟเวฟเรกติไฟเออร์ (Half wave rectifier) และวงจรฟูลเวฟเรกติไฟเออร์ (Full wave rectifier) แต่วงจรเรกติไฟเออร์ที่นิยมใช้กันมากคือ วงจรฟูลเวฟเรกติไฟเออร์ เหตุผลก็เพราะว่าให้แรงดันไฟตรงสูงกว่าและเรียบกว่ามาก เมื่อเทียบกับวงจรฮาล์ฟเวฟเรกติไฟเออร์

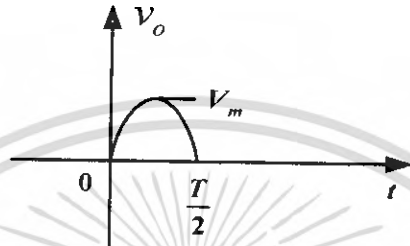
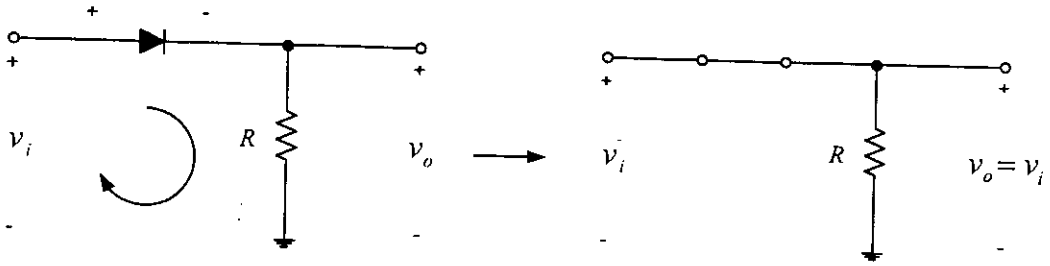
### 2.3.1. วงจรฮาล์ฟเวฟเรกติไฟเออร์

วงจรพื้นฐานของวงจรฮาล์ฟเวฟเรกติไฟเออร์จะมีลักษณะดังรูปที่ 2.6 ซึ่งประกอบไปด้วย ไดโอดหนึ่งตัวกับโหลดตัวต้านทานอีกหนึ่งตัว ในการวิเคราะห์วงจรนี้จะให้ไดโอดมีลักษณะเป็นอุดมคติ ในความหมายนี้ก็คือ ถ้าไดโอดทำงานจะไม่มีแรงดันตกคร่อมตัวมัน แต่ถ้าไม่ทำงานไดโอดจะขาดออกจากกัน ซึ่งการวิเคราะห์ไดโอดในแบบใช้งานจริงนั้นมีลักษณะคือ ขณะที่ไดโอดทำงานจะมีแรงดันตกคร่อมตัวมันประมาณ 0.7 V สำหรับไดโอดที่ทำจากซิลิกอน (Si) และ 0.3 V สำหรับไดโอดที่ทำจากเจอร์มาเนียม (Ge) และถ้าไดโอดไม่ทำงานไดโอดจะขาดออกจากกัน และมีความต้านทานค่อนข้างสูงมาก

ในรูปที่ 2.6 เมื่อป้อนสัญญาณครึ่งไซเคิลบวกคือ ช่วงเวลา 0 ถึง  $\frac{T}{2}$  เข้ามาในวงจรไดโอดจะทำงานและได้ขนาดของสัญญาณเอาต์พุต ( $V_o$ ) มีค่าเท่ากับขนาดของสัญญาณอินพุต ( $V_i$ ) ดังรูปที่ 2.7

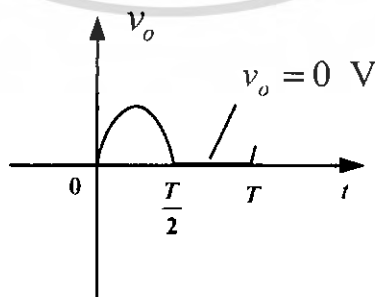
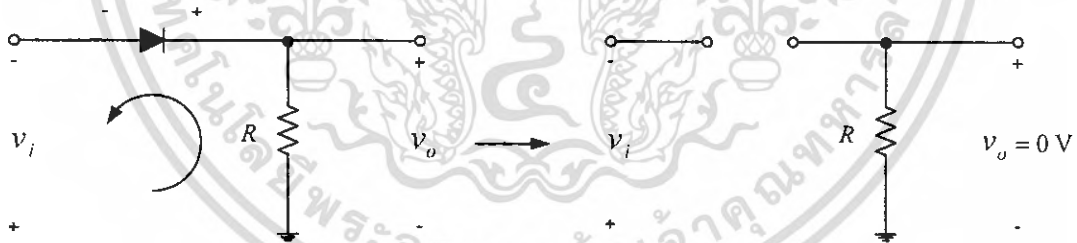


รูปที่ 2.6 วงจรฮาล์ฟเวฟเรกติไฟเออร์



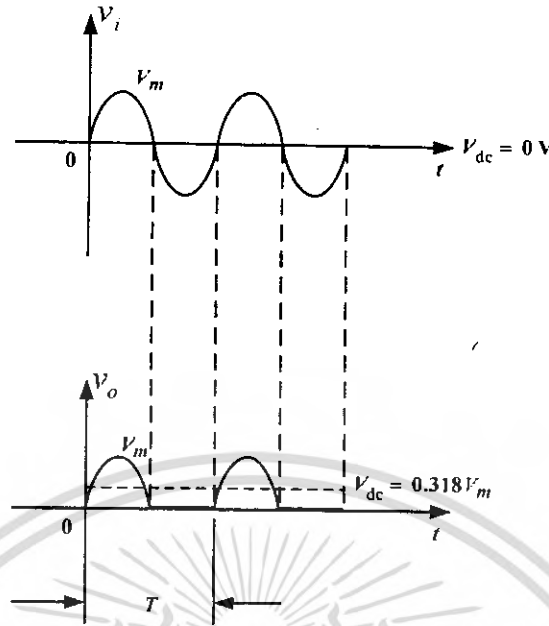
รูปที่ 2.7 แสดงการทำงานช่วงเวลา 0 ถึง  $\frac{T}{2}$

ต่อมาเมื่อมาถึงสัญญาณอินพุตในครึ่งไซเคิลลบ คือ ช่วงเวลา  $\frac{T}{2}$  ถึง  $T$  ถูกป้อนเข้าวงจรจะทำให้ไดโอดไม่ทำงาน ทำให้ได้แรงดันเอาต์พุตมีค่าเท่ากับศูนย์ ดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 แสดงการทำงานช่วงเวลา  $\frac{T}{2}$  ถึง  $T$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.9 ลักษณะสัญญาณอินพุต และเอาต์พุตของวงจรฮาล์ฟเวฟเรกติไฟเออร์

จะเห็นว่าไดโอดจะทำงานเฉพาะสัญญาณอินพุตครึ่งไซเคิลบวก จึงทำให้ได้สัญญาณเอาต์พุตดังรูปที่ 2.9 การหาค่าแรงดันไฟฟ้าตรงเฉลี่ย ( $V_{dc}$ ) ก็ทำได้โดยการเฉลี่ยรูปสัญญาณ ซึ่งสามารถหาได้ดังนี้

$$V_{dc} = 0.318 V_m \quad (\text{เมื่อไดโอดเป็นแบบอุดมคติ}) \quad (2.1)$$

$$V_{dc} = 0.318 (V_m - V_T) \quad (\text{เมื่อไดโอดเป็นแบบใช้งานจริง}) \quad (2.2)$$

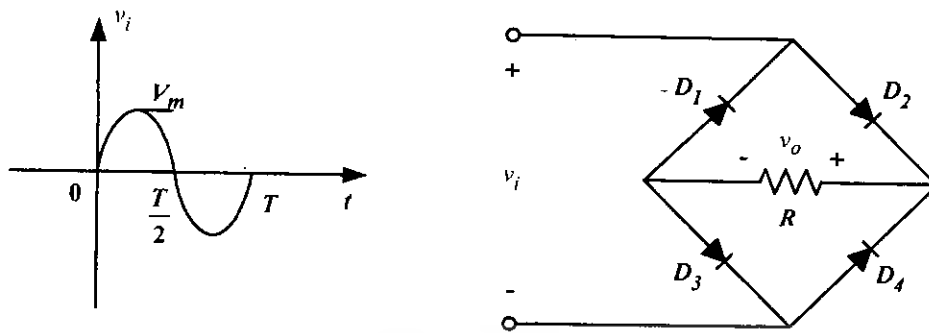
โดยที่  $V_T$  คือ แรงดันตกคร่อมไดโอดขณะทำงาน  
 $V_m$  คือ แอมพลิจูดของแรงดันที่จ่ายออกมาจากขดทุติยภูมิของหม้อแปลง  
 ลดระดับแรงดันซึ่งมีค่าเท่ากับ  $\sqrt{2} V_{rms}$

### 2.3.2. วงจรฟูลเวฟเรกติไฟเออร์

วงจรฟูลเวฟเรกติไฟเออร์มี 2 แบบ คือ วงจรฟูลเวฟเรกติไฟเออร์ที่ใช้ไดโอด 2 ตัว และ วงจรฟูลเวฟเรกติไฟเออร์ที่ใช้ไดโอด 4 ตัว (นิยมเรียกว่าวงจรบริดจ์เรกติไฟเออร์ (Bridge rectifier)) ถ้าต้องการออกแบบวงจรฟูลเวฟเรกติไฟเออร์ที่ใช้กับหม้อแปลงลดระดับแรงดันที่มีแถบตรงกลาง (Center tap, CT) ก็ใช้วงจรไดโอด 2 ตัว แต่ถ้าใช้กับหม้อแปลงลดระดับแรงดันที่ไม่มีแถบตรงกลางก็ใช้วงจรไดโอด 4 ตัว

2.3.2.1. วงจรบริดจ์เรกติไฟเออร์ แสดงไว้ในรูปที่ 2.10 เนื่องจากปัจจุบันได้นำไดโอด 4 ตัวมาบรรจุรวมเป็นชิ้นเดียว ซึ่งเรียกว่าบริดจ์ไดโอด จึงทำให้ไม่ต้องต่อวงจรบริดจ์เรกติไฟเออร์เอง สามารถนำบริดจ์ไดโอดมาใช้งานได้เลย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



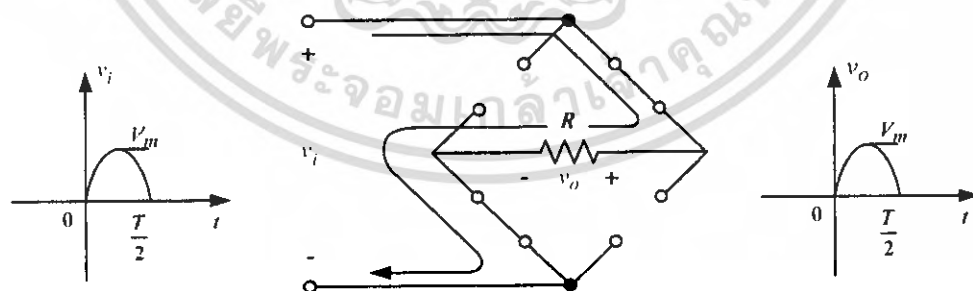
รูปที่ 2.10 วงจรบริดจ์เรกติไฟเออร์

การทำงานของวงจรบริดจ์ไดโอด

ในรูปที่ 2.10 กำหนดให้บริดจ์ไดโอดเป็นแบบอุดมคติ แล้วป้อนสัญญาณอินพุตเท่ากับ  $V_m$  เข้าในวงจร การทำงานจะเป็นดังนี้

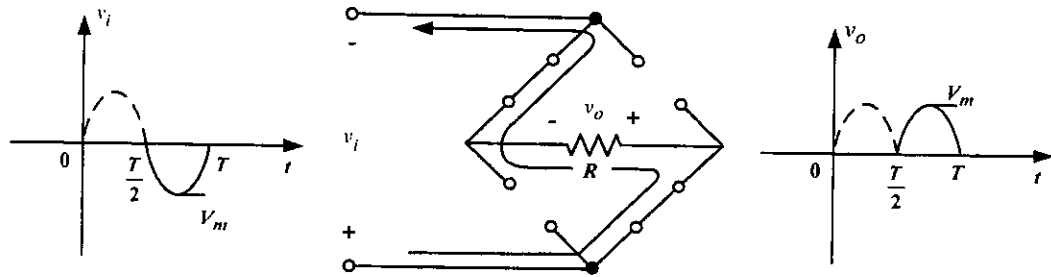
ในช่วงสัญญาณครึ่งไซเคิลบวก คือ ช่วง  $0$  ถึง  $\frac{T}{2}$  ป้อนเข้าวงจร จะทำให้ไดโอด  $D_2$  และ  $D_3$  ทำงานเพราะได้รับการไบอัสตรง (Forward bias) ส่วนไดโอด  $D_1$  และ  $D_4$  จะได้รับการไบอัสกลับ (Reverse bias) จึงไม่ทำงาน ทำให้ได้สัญญาณเอาต์พุตดังในรูปที่ 2.11

ต่อมาเมื่อมาถึงสัญญาณอินพุตในครึ่งไซเคิลลบ คือช่วงเวลา  $\frac{T}{2}$  ถึง  $T$  ถูกป้อนเข้าวงจรจะทำให้ไดโอด  $D_1$  และ  $D_4$  ทำงานเพราะได้รับการไบอัสตรง ส่วนไดโอด  $D_2$  และ  $D_3$  จะไม่ทำงานเพราะได้รับการไบอัสกลับ จะได้สัญญาณเอาต์พุตดังในรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.11 แสดงการทำงานช่วงเวลา  $0$  ถึง  $\frac{T}{2}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.12 แสดงการทำงานช่วงเวลา  $\frac{T}{2}$  ถึง  $T$

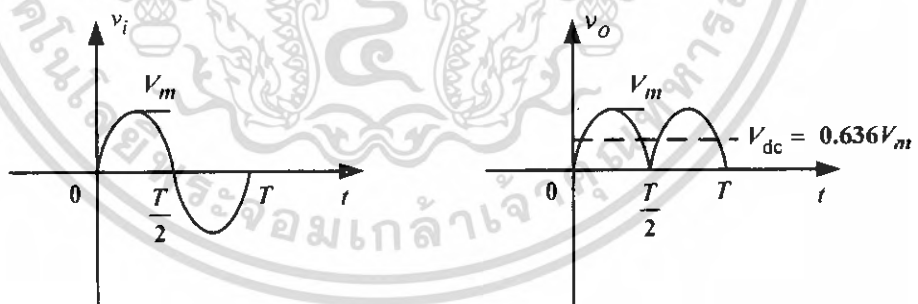
จะเห็นได้ว่า ถ้าป้อนสัญญาณอินพุตเข้ามา จะได้แรงดันเอาต์พุต ดังรูปที่ 2.13 ซึ่งสามารถหาค่าแรงดันไฟฟ้าตรงเฉลี่ยของเอาต์พุตได้ดังนี้

$$V_{dc} = 0.636 V_m \text{ (เมื่อไดโอดเป็นแบบอุดมคติ)} \tag{2.3}$$

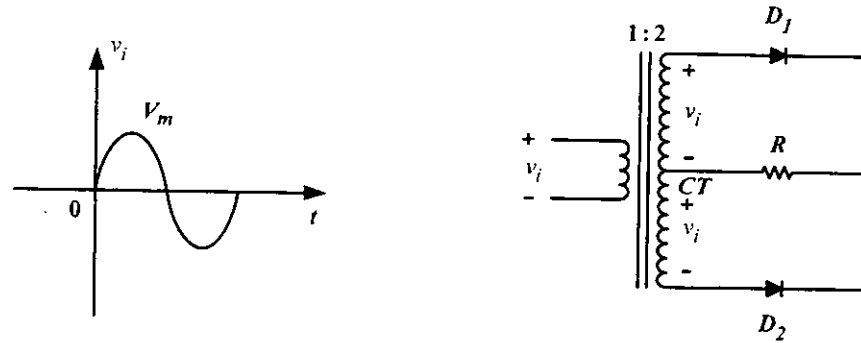
$$V_{dc} = 0.636 (V_m - 2V_T) \text{ (เมื่อไดโอดเป็นแบบใช้งานจริง)} \tag{2.4}$$

### 2.3.2.2. วงจรฟูลเวฟเรกติไฟเออร์โดยใช้ไดโอด 2 ตัว

วงจรพื้นฐานของวงจรฟูลเวฟเรกติไฟเออร์โดยใช้ไดโอด 2 ตัว จะมีลักษณะดังรูปที่ 2.14 ซึ่งมีการทำงานของวงจรดังนี้



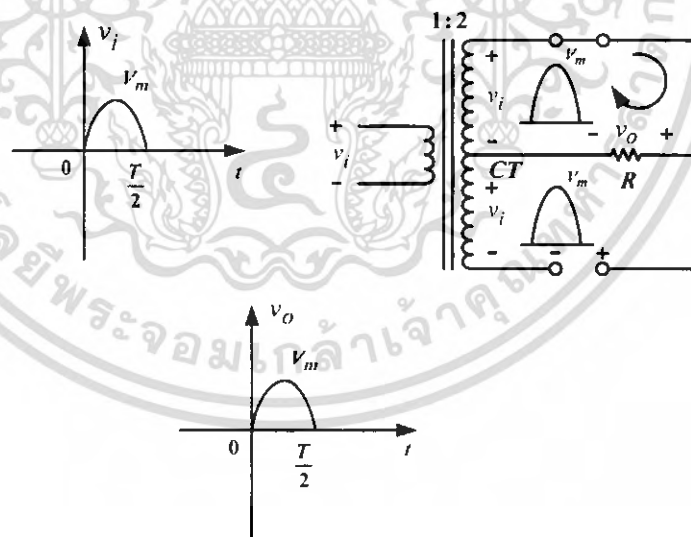
รูปที่ 2.13 ลักษณะสัญญาณอินพุต และเอาต์พุตของวงจรบริดจ์เรกติไฟเออร์



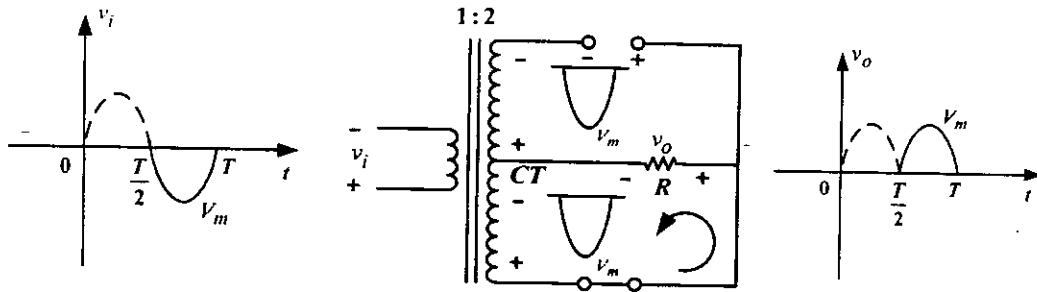
รูปที่ 2.14 วงจรฟูลเวฟเรกติไฟเออร์โดยใช้ไดโอด 2 ตัว

เมื่อป้อนสัญญาณครึ่งไซเคิลบวกเข้ามา จะทำให้ไดโอด  $D_1$  ทำงานเพราะได้รับการไบอัสตรง ส่วนไดโอด  $D_2$  จะไม่ทำงานเพราะถูกไบอัสกลับ ทำให้ได้สัญญาณแรงดันเอาต์พุตดังรูปที่ 2.15

ต่อมาเมื่อมีสัญญาณทางด้านลบเข้ามาในวงจร จะทำให้ไดโอด  $D_1$  ถูกสัญญาณไบอัสกลับ ทำให้ไม่สามารถทำงาน ส่วนไดโอด  $D_2$  จะทำงานเพราะว่าได้รับการไบอัสตรง ทำให้ได้สัญญาณเอาต์พุตดังรูปที่ 2.16



รูปที่ 2.15 การทำงานในช่วงครึ่งไซเคิลบวก



รูปที่ 2.16 การทำงานในช่วงครึ่งไซเคิลลบ

จะเห็นได้ว่า ถ้าป้อนสัญญาณอินพุตเข้ามา จะได้สัญญาณเอาต์พุต ดังรูปที่ 2.16 ซึ่งเหมือนกับวงจรบริดจ์เรกติไฟเฟอร์ สามารถหาค่าแรงดันไฟฟ้าตรงเฉลี่ยของเอาต์พุตได้ดังนี้

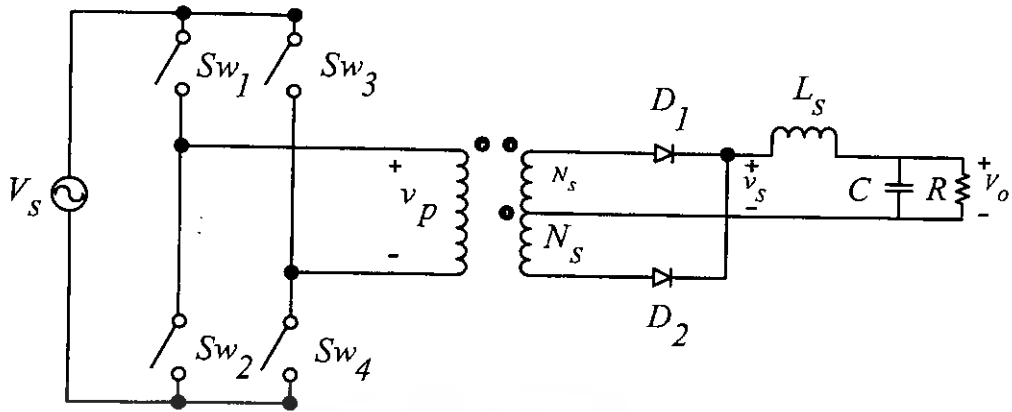
$$V_{dc} = 0.636 V_m \text{ (เมื่อไดโอดเป็นแบบอุดมคติ)} \tag{2.5}$$

$$V_{dc} = 0.636 (V_m - 2V_T) \text{ (เมื่อไดโอดเป็นแบบใช้งานจริง)} \tag{2.6}$$

### 2.4 วงจรฟูลบริดจ์อินเวอร์เตอร์

วงจรฟูลบริดจ์คอนเวอร์เตอร์จะมีลักษณะโครงสร้างดังรูปที่ 2.17 โดยภายในวงจรประกอบด้วย สวิตช์ทั้งหมด 4 ตัว แบ่งเป็น 2 คู่ ได้แก่ สวิตช์คู่ที่แรก ( $S_{w1}$ ,  $S_{w2}$ ) และ สวิตช์คู่ที่สอง ( $S_{w3}$ ,  $S_{w4}$ ) โดยที่สวิตช์ทั้งสองคู่ นั้นจะทำงานสลับกัน เมื่อสวิตช์คู่แรก ( $S_{w1}$ ,  $S_{w2}$ ) นำกระแส จะเกิดแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมขดลวดปฐมภูมิเท่ากับแรงดันไฟฟ้าจากแหล่งจ่าย  $V_s$  และเมื่อสวิตช์คู่ที่สอง ( $S_{w3}$ ,  $S_{w4}$ ) นำกระแส จะเกิดแรงดันตกคร่อมขดลวดปฐมภูมิเท่ากับ  $-V_s$  เนื่องจากหม้อแปลงไฟฟ้าเป็นแบบอุดมคติ ดังนั้นเมื่อสวิตช์ทั้ง 2 คู่ไม่นำกระแส จะเป็นผลทำให้แรงดันไฟฟ้าตกคร่อมขดลวดปฐมภูมิเท่ากับศูนย์

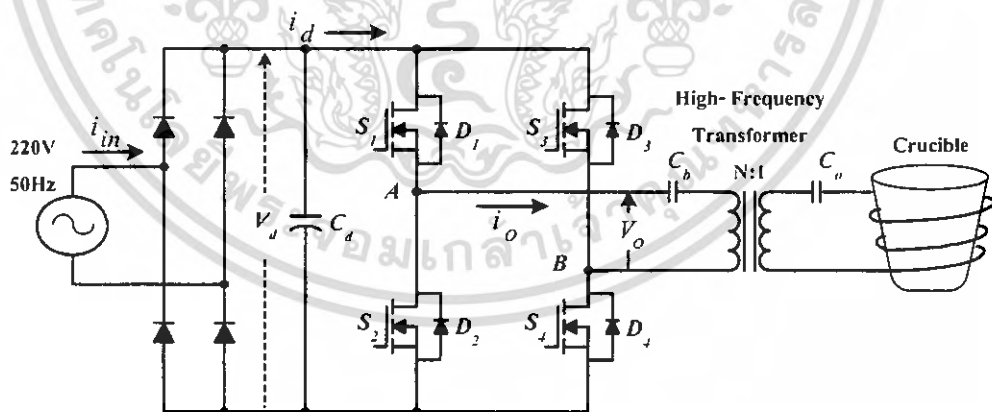
จากการทำงานของสวิตช์ดังกล่าว ทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมขดลวดปฐมภูมิ ( $v_p$ ) เป็นรูปคลื่นสัญญาณพัลส์บวกและลบสลับกันไป ดังแสดงในรูปที่ 1 ค) ไดโอด  $D_1$  และ  $D_2$  ที่ต่ออยู่ด้านทุติยภูมิของหม้อแปลงไฟฟ้าจะทำหน้าที่เป็นวงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่น เป็นผลทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้า  $v_x$



รูปที่ 2.17 วงจรฟูลบริดจ์อินเวอร์เตอร์

### 1. การวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ต่างๆในวงจรเรโซแนนท์อนุกรม

วงจรฟูลบริดจ์ อินเวอร์เตอร์เรโซแนนท์อนุกรมเพื่อใช้เป็นแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าความถี่สูงโดยมีลักษณะวงจรดังรูปที่ 2 โดยที่ขดลวดเหนี่ยวนำกับโลหะชิ้นงานสามารถแทนด้วยความต้านทานและอินดักแตนซ์สมมูล ดังที่ได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 2.18 โดยที่พิจารณาอยู่ในรูปของวงจร RLC อนุกรม ซึ่งสามารถ



รูปที่ 2.18 โครงสร้างของวงจรฟูลบริดจ์อินเวอร์เตอร์เรโซแนนท์อนุกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ต่างๆในการอนุกรม RLC ได้ดังนี้

$$\omega_r = \frac{1}{\sqrt{L_{eq} C_{eq}}} \quad (2.7)$$

$$Z_o = \sqrt{\frac{L_{eq}}{C_{eq}}} = \omega_r L_{eq} = \frac{1}{\omega_r C_{eq}} \quad (2.8)$$

$$Q_L = \frac{\omega_r L_{eq}}{R_{eq}} = \frac{1}{\omega_r R_{eq} C_{eq}} = \frac{Z_o}{R_{eq}} = \frac{1}{R_{eq}} \cdot \sqrt{\frac{L_{eq}}{C_{eq}}} \quad (2.9)$$

โดยที่

$\omega_r$  : Resonant Frequency

$Z_o$  : Characteristic Impedance

$Q_L$  : Quality Factor

อินพุตอิมพีแดนซ์ของวงจรเรโซแนนซ์อนุกรมคือ

$$\begin{aligned} Z &= R_{eq} + j \left[ \omega_s L_{eq} - \frac{1}{\omega_s C_{eq}} \right] \\ &= R_{eq} \left[ 1 + jQ_L \left[ \frac{\omega_s}{\omega_r} - \frac{\omega_r}{\omega_s} \right] \right] \\ &= Z_o \left[ \frac{R_{eq}}{Z_o} + j \left[ \frac{\omega_s}{\omega_r} - \frac{\omega_r}{\omega_s} \right] \right] = Z \angle \theta^\circ = R_{eq} + jX_{eq} \quad (2.10) \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งจะได้

$$Z = R_{eq} \sqrt{1 + Q_L^2 \left[ \frac{\omega_s}{\omega_r} - \frac{\omega_r}{\omega_s} \right]^2}$$

$$= Z_o \sqrt{\frac{1}{Q_L^2} + \left[ \frac{\omega_s}{\omega_r} - \frac{\omega_r}{\omega_s} \right]^2} \quad (2.11)$$

$$\theta = \arctan \left[ Q_L \left[ \frac{\omega_s}{\omega_r} - \frac{\omega_r}{\omega_s} \right] \right] \quad (2.12)$$

$$R_{eq} = Z \cos \theta \quad (2.13)$$

$$X_{eq} = Z \sin \theta \quad (2.14)$$

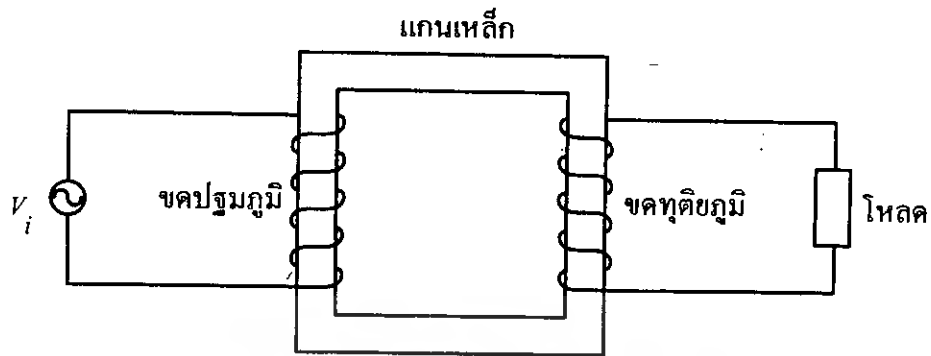
$$\cos \theta = \frac{R_{eq}}{Z} = \frac{1}{\sqrt{1 + Q_L^2 \left[ \frac{\omega_s}{\omega_r} - \frac{\omega_r}{\omega_s} \right]^2}} \quad (2.15)$$

โดยที่

- $R_{eq}$  คือค่าความต้านทานสมมูล  
 $L_{eq}$  คืออินดักแตนซ์เรโซแนนท์สมมูล  
 $C_{eq}$  คือคาปาซิเตอร์เรโซแนนท์สมมูล  
 $\theta$  คือมุมต่างเฟสระหว่างแรงดันและกระแส

## 2.5 การออกแบบและการสร้างหม้อแปลงไฟฟ้า

หม้อแปลงไฟฟ้าประกอบด้วยขดลวด 2 ขด พันอยู่บนแกนเหล็ก ขดหนึ่งรับกำลังงานไฟฟ้าเข้ามาเรียกว่าขดปฐมภูมิ(Primary) และอีกขดหนึ่งเป็นตัวจ่ายกำลังไฟฟ้าออกไปเรียกว่าขดทุติยภูมิ (Secondary) รูปที่ 2.19 แสดงแกนเหล็กที่มีขดลวดพันอยู่ 2 ขด ขดหนึ่งมีจำนวนรอบเป็น  $n_1$  รอบ และขดที่สองเป็น  $n_2$  รอบ ในการพันหม้อแปลงจริง ๆ จะไม่มีการแยกพัน เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.19 ลักษณะของหม้อแปลงไฟฟ้า



รูปที่ 2.20 ลักษณะของหม้อแปลงไฟฟ้า ก) แบบ CORE ข) แบบ SHELL

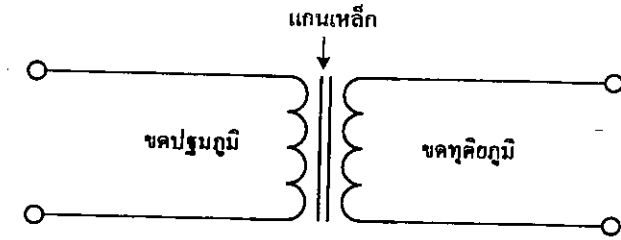
ขดปฐมภูมิและทุติยภูมิออกเป็นสองด้านอย่างในรูป แต่จะพันทับกันลงไป โดยให้ขดแรงดันไฟฟ้าต่ำทับลงบนขดแรงดันไฟฟ้าสูงดังรูปที่ 2.19

หม้อแปลงไฟฟ้าจะแบ่งเป็น 2 แบบ คือ หม้อแปลงไฟฟ้าแบบ CORE และหม้อแปลงไฟฟ้าแบบ SHELL จะแสดงไว้ในรูปที่ 2.20 ก) และรูปที่ 2.20 ข) ตามลำดับ แต่ที่นิยมใช้กันมากที่สุดในวงจรแหล่งจ่ายไฟตรงคือแบบ SHELL

### 1. สัญลักษณ์และความสัมพันธ์

ในรูปที่ 2.21 แสดงสัญลักษณ์ของหม้อแปลง ซึ่งประกอบไปด้วยขดลวด 2 ขด คือ ขดปฐมภูมิ และขดทุติยภูมิ และแกนเหล็ก ถ้าให้ขดลวดปฐมภูมิได้รับแรงดันไฟฟ้า  $V_1$  และพันขดลวด  $n_1$  รอบ ส่วนแรงดันที่ได้ในขดทุติยภูมิคือ  $V_2$  และพันขดลวด  $n_2$  รอบ ดังนั้นการหาความสัมพันธ์ทำได้ดังนี้

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{V_1}{V_2} \quad (2.16)$$

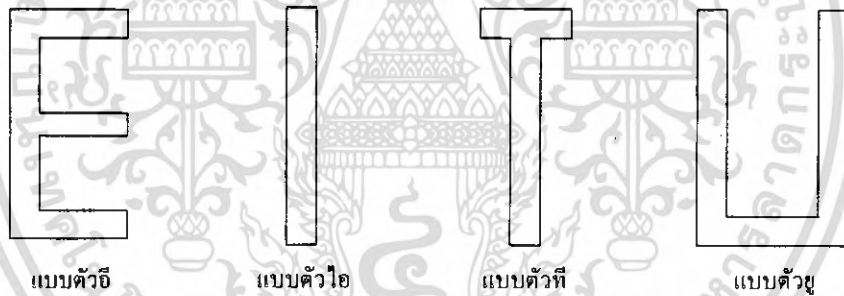


รูปที่ 2.21 สัญลักษณ์ของหม้อแปลง

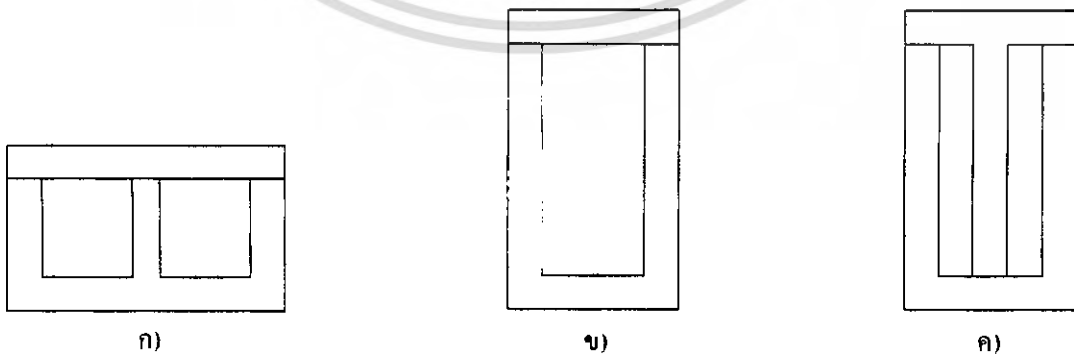
2. โครงสร้างของหม้อแปลงไฟฟ้า

โครงสร้างของหม้อแปลงไฟฟ้าจะประกอบด้วยส่วนสำคัญ 3 ส่วนคือ

- แกนเหล็ก ซึ่งทำมาจากแผ่นเหล็กบางๆ หลายๆ แผ่น โดยลักษณะของแผ่นเหล็กบางๆ จะเป็นตัวอักษรภาษาอังกฤษ คือ ตัวอี (E) ตัวไอ (I) ตัวที (T) และตัวยู (U) ดังรูปที่ 2.22 แต่การนำแผ่นเหล็กไฟใช้งานจะใช้เป็นคู่ของตัวอักษรต่างๆ ดังนี้ ตัวอีคู่กับตัวไอ เรียกว่า แกนเหล็กแบบอีไอ (EI) ตัวทีคู่กับตัวยู เรียกว่าแกนเหล็กแบบทียู (TU) และตัวยูคู่กับตัวไอ เรียกว่าแกนเหล็กแบบยูไอ (UI) ดังรูปที่ 2.23 แต่ที่นิยมใช้กันมากคือแบบ EI



รูปที่ 2.22 รูปแบบของแกนเหล็ก



รูปที่ 2.23 รูปแบบของแผ่นเหล็กที่ใช้คู่กัน ก) แบบ EI ข) แบบ UI ค) แบบ TU

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อ **73003** อ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ขดลวด ซึ่งนิยมใช้ขดลวดที่ทำมาจากขดลวดทองแดงอบน้ำยา
- Bobbin คือที่รองรับขดลวด

### 3. ลำดับขั้นตอนการออกแบบ และการสร้างหม้อแปลงไฟฟ้า

ลำดับขั้นตอนการออกแบบ และการสร้างหม้อแปลงไฟฟ้ามีอยู่ 3 ขั้นตอนคือ

- การคำนวณหาขนาดขดลวด และขนาดแกนเหล็ก
- การสร้าง Bobbin เพื่อบรรจุขดลวด
- การพันขดลวด

#### 3.1 ลำดับขั้นตอนการคำนวณหาขดลวด และขนาดแกนเหล็ก

##### 1. การหาค่ากำลังไฟฟ้าทางด้านอินพุท (VA, Volt-Amp)

เมื่อทราบกำลังไฟฟ้าที่ขดทุติยภูมิ ( $S_{sec}$ ) แล้ว ซึ่งหามาจาก

$$S_{sec} = V_{sec} \times I_{sec} \quad (2.17)$$

การหาค่ากำลังไฟฟ้าทางปฐมภูมิ ( $S_{pri}$ ) ซึ่งเป็นกำลังไฟฟ้าทางอินพุท หาได้จาก

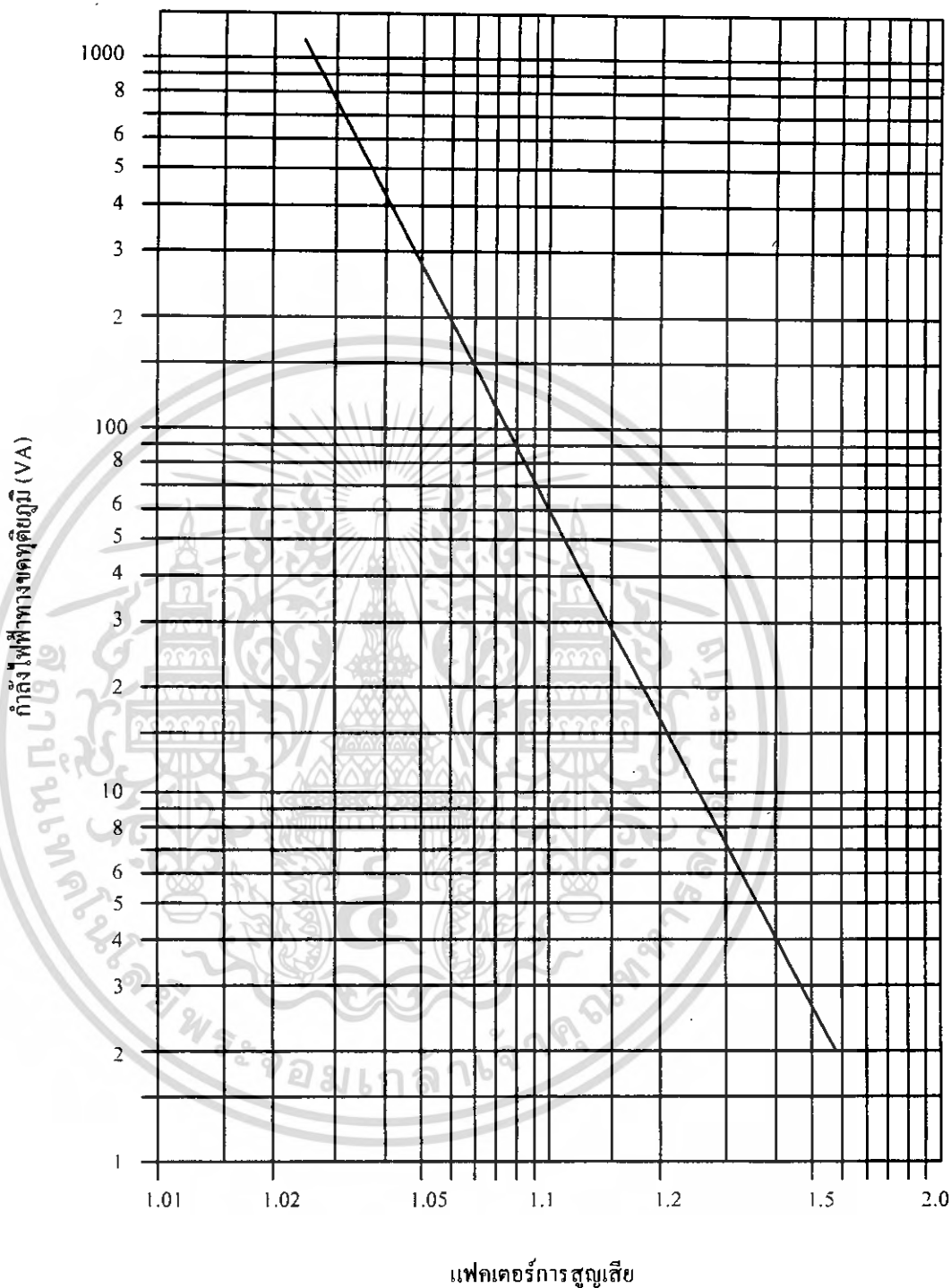
$$S_{pri} = f_r \times S_{sec} \quad (2.18)$$

โดยที่  $V_{sec}$  คือแรงดันที่คร่อมขดทุติยภูมิ มีหน่วยเป็นโวลต์ (V)

$I_{sec}$  คือกระแสที่ไหลผ่านในขดลวดทุติยภูมิ มีหน่วยเป็นแอมแปร์ (A)

$f_r$  คือแฟคเตอร์การสูญเสียกำลังไฟฟ้า แสดงในตารางที่ 2.1

ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าทางขดทุติยภูมิ (VA) กับแฟคเตอร์การสูญเสียในทรานส์ฟอร์มเมอร์



ตารางที่ 2.1 แสดงความสัมพันธ์ของกำลังไฟฟ้าที่ขดทุติยภูมิกับแฟคเตอร์การสูญเสีย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การหาพื้นที่หน้าตัดของแกนเหล็ก ( $A_{fc}$ ) ที่ใช้อย่างเหมาะสม  
การหาพื้นที่หน้าตัดของแกนเหล็กหาได้จาก

$$A_{fc} = C \sqrt{\frac{S_{pri}}{f}} \quad (2.19)$$

โดยที่  $C$  คือ Form Factor ซึ่งมีค่าตั้งแต่ 6-10 แต่สำหรับแกนเหล็กแบบ E จะมีค่า 2 ค่า คือ 7 กับ 8.5 นิยมใช้ค่าเท่ากับ 7

$f$  คือ ความถี่ที่จ่ายเข้ามา ในประเทศไทยใช้ความถี่ 50 เฮิร์ตซ์ (Hz)

$A_{fc}$  คือพื้นที่หน้าตัดของแกนเหล็ก มีหน่วยเป็น ตารางเซนติเมตร ( $\text{cm}^2$ )

3. การหาจำนวนรอบของขดปฐมภูมิ และขดทุติยภูมิ  
การหาจำนวนรอบหาได้จาก

$$\frac{N}{V} = \frac{10^4}{4.44 \times f \times B_c \times A_{fc}} \quad (2.20)$$

โดยที่

$\frac{N}{V}$  คือ จำนวนรอบต่อแรงดันหนึ่งโวลต์

$f$  คือ ความถี่ (50 Hz)

$B_c$  คือ ความเข้มของฟลักซ์แม่เหล็ก ซึ่งจะใช้ค่าประมาณ 0.8

การหาจำนวนรอบที่ขดปฐมภูมิหาได้จาก

$$\frac{N_{pri}}{P_{pri}} = \frac{10^4}{4.44 \times f \times B_c \times A_{fc}} \quad (2.21)$$

และจำนวนรอบที่ขดทุติยภูมิหาได้จาก

$$N_{sec} = f_r \times \frac{N_{pri}}{P_{pri}} \times V_{sec} \quad (2.22)$$

โดยที่

$V_{pri}$  คือ แรงดันที่ขดปฐมภูมิ

$N_{pri}$  คือ จำนวนรอบที่ขดปฐมภูมิ

$N_{sec}$  คือ จำนวนรอบที่ขดทุติยภูมิ

4. การหาขนาดของเส้นลวดของขดปฐมภูมิ และทุติยภูมิ  
การหาขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางกลางของเส้นลวดหาได้จาก

$$D = \frac{f_r}{25.2} \sqrt{\frac{l}{\delta}} \quad (2.23)$$

โดยที่ d มีหน่วยเป็นนิ้ว (inches)  
l คือ กระแสที่ไหลผ่านเส้นลวด มีหน่วยเป็นแอมป์แปร์ (A)  
 $\delta$  คือ ความหนาแน่นของกระแสมีหน่วยเป็น  $\frac{A}{mm^2}$  ซึ่งสามารถหาได้จาก

ตารางที่ 2.2 โดย  $grd = ^\circ C$

เมื่อหาขนาดของเส้นผ่าศูนย์กลางกลางของขดลวดได้แล้วนำไปเทียบกับตารางที่ 2.2 ก็จะได้เบอร์ลวด (AWG) ที่ต้องใช้

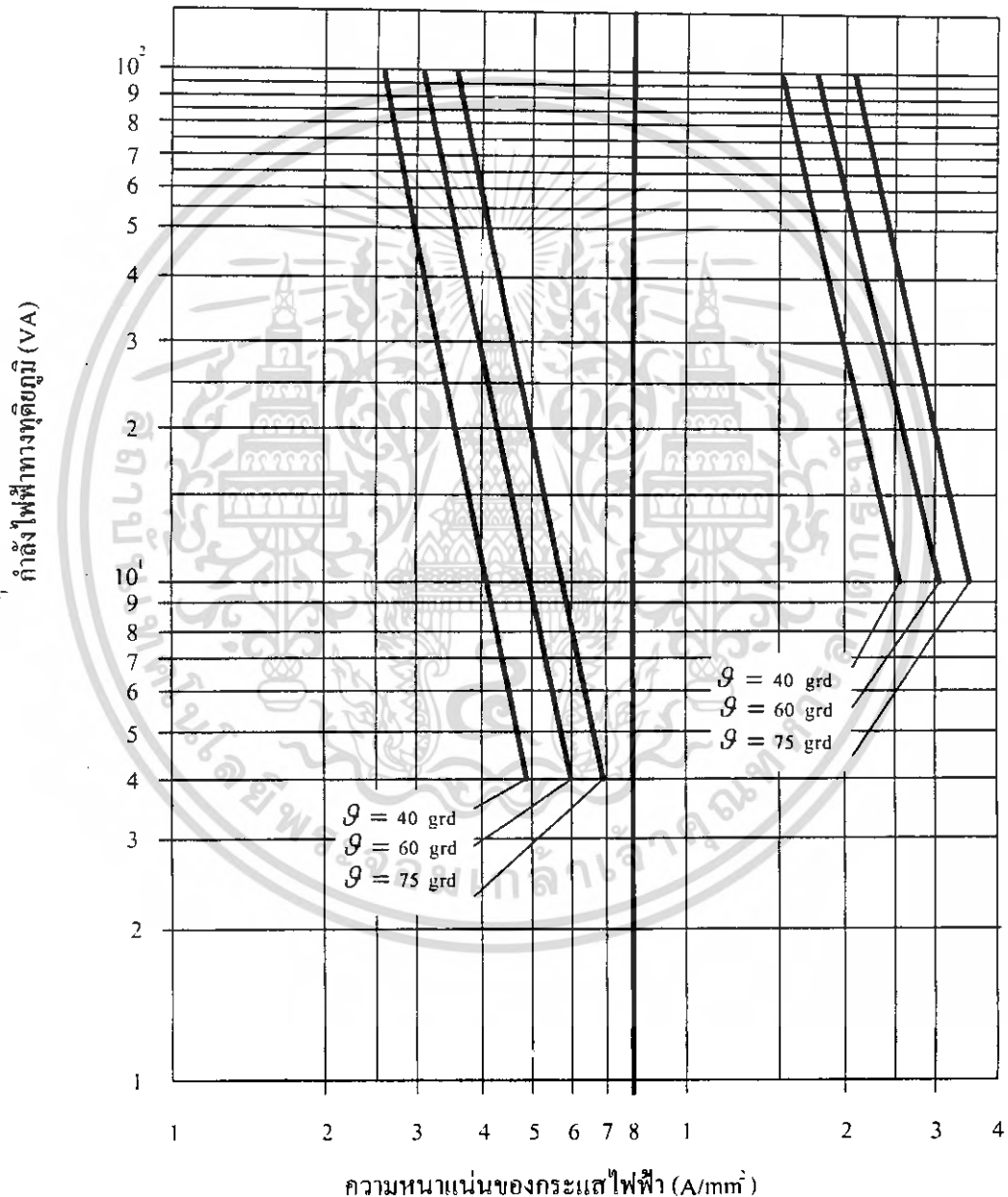


ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น  $\vartheta$  และกำลังทางทฤษฎี  
สำหรับแกน EI และแกน UI :

ถึง 50 VA : ค่าที่ได้จากตาราง x 0.7 มากกว่า 50 VA

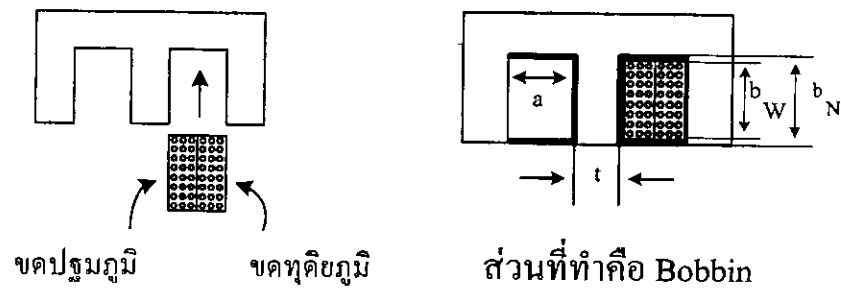
ถึง 100 VA : ค่าที่ได้จากตาราง x 0.75 มากกว่า

ถึง 1000 VA : ค่าที่ได้จากตาราง x 0.8



ตารางที่ 2.2 แสดงความสัมพันธ์ของกำลังไฟฟ้ากับความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.24 แสดงส่วนต่างๆ ในการหาความสูงของช่องหน้าต่าง

3.2 ลำดับขั้นการคำนวณค่าต่างๆ เพื่อสร้าง Bobbin

1. คำนวณความพอดีของช่องหน้าต่าง

พิจารณาในรูปที่ 2.24 การหาค่าต่างๆ ทำได้ดังนี้

การหาค่าต่างๆ ทำได้ดังนี้

$$B_w = b_N - 2 \text{ ความหนาของ Bobbin} \tag{2.24}$$

เมื่อ

- $b_N$  คือ ความสูงของช่องหน้าต่างแกนเหล็ก
- $b_w$  คือ ความสูงของช่องหน้าต่าง
- $a$  คือ ความกว้างของช่องหน้าต่าง

2. คำนวณหาพื้นที่ของขดลวดปฐมภูมิ และขดลวดทุติยภูมิ

พื้นที่ของขดลวดปฐมภูมิ คือ

$$A_{pri} = N_{pri} \cdot A_{rp} \tag{2.25}$$

พื้นที่ของขดลวดทุติยภูมิคือ

$$A_{sec} = N_{sec} \cdot A_{rs} \tag{2.26}$$

โดยที่  $A_{rp}$  คือ พื้นที่หน้าตัดของขดลวดปฐมภูมิ

$A_{rs}$  คือ พื้นที่หน้าตัดของขดลวดทุติยภูมิ

$$\therefore \text{พื้นที่ของขดลวดทั้งหมดคือ } A_t = A_{pri} + A_{sec} \tag{2.27}$$

เมื่อมีการพินฉนวนกันระหว่างขดลวด ต้องหาว่ามีฉนวนกี่ชั้นดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{จำนวนรอบ} / \text{ชั้น} = \frac{b_w}{d} \quad (2.28)$$

$$\text{จำนวนชั้น} = \text{จำนวนรอบ} \times \frac{d}{b_w} \quad (2.29)$$

### 3. การคำนวณหาความหนาของฉนวน

การคำนวณหาความหนาของฉนวน จะต้องพิจารณาก่อนว่าจะพันฉนวน 1 รอบ เมื่อพันขอลวดได้กี่ชั้น เช่น ถ้าพันขอลวด 10 ชั้น แต่ต้องการพันฉนวน 1 รอบ เมื่อพันขอลวดได้ 5 ชั้น ฉะนั้นต้องพันฉนวน =  $\frac{10}{5}$  ชั้น = 2 ชั้น เป็นต้น

การหาพื้นที่ฉนวนทำได้ดังนี้

$$\text{พื้นที่ทั้งหมด} = A_{pri} + A_{sec} + \text{พื้นที่ฉนวน} + \text{พื้นที่ว่างที่เหลือ}$$

$$\therefore \text{พื้นที่ฉนวน} = \text{พื้นที่ทั้งหมด} - A_{pri} - A_{sec} - \text{พื้นที่ว่างที่เหลือ} \quad (2.30)$$

### 4. ขั้นตอนการสร้างหม้อแปลงชั้นสุดท้าย

1. นำ Bobbin มาพันขอลวดปฐมภูมิ และขดทุติยภูมิ ให้ขดปฐมภูมียู่ด้านใน (พีก่อน) แล้วก็พันขดทุติยภูมิตามหลัง ระหว่างการพันขอลวดจะต้องมีการพันฉนวนคั่นด้วย โดยปกติจะคั่นฉนวน 1 ชั้น เมื่อพันลวดได้ประมาณ 5 ชั้น และต้องพันฉนวนคั่นกลางระหว่างขดปฐมภูมิ และทุติยภูมิด้วย เมื่อพันขดใดเสร็จก็นำต้นและปลายของขดลวดมาต่อกับขั้วต่อภายนอกอย่างละขั้ว

2. เมื่อพันขดทุติยภูมิเสร็จ ก็นำแผ่นเหล็ก มาใส่ใน Bobbin ในช่องที่ออกแบบจนเต็ม

3. นำฝาครอบมาปิดแกนเหล็ก

AWG	Diameter over Insulation(inches)		Nominal circular mail area	Current capacity in Resistance per 1000 ft		milliamperes based on 1000c.m./A	AWG
	Min.	Max.					
8	0.130	0.133	16510	0.6281	16510	8	
9	0.116	0.119	13090	0.7925	13090	9	
10	0.104	0.106	10380	0.9985	10380	10	
11	0.0928	0.0948	8230	1.261	8226	11	
12	0.0829	0.0847	6530	1.588	6529	12	
13	0.0741	0.0757	5180	2.001	5184	13	
14	0.0667	0.0682	4110	2.524	4109	14	
15	0.0595	0.0609	3260	3.181	3260	15	
16	0.0523	0.0545	2580	4.020	2581	16	
17	0.0476	0.0488	2050	5.054	2052	17	
18	0.0425	0.0437	1620	6.386	1624	18	
19	0.0380	0.0391	1290	8.046	1289	19	
20	0.0340	0.0351	1020	10.13	1024	20	
21	0.0302	0.0314	812	12.77	812.3	21	
22	0.0271	0.0281	640	16.20	640.1	22	
23	0.0244	0.0253	511	20.30	510.8	23	
24	0.0218	0.0227	404	25.67	404	24	
25	0.0195	0.0203	320	32.37	320.4	25	
26	0.0174	0.0182	253	41.02	252.8	26	
27	0.0157	0.0164	202	51.44	201.6	27	

**ตารางที่ 2.3** แสดงลักษณะของขดลวดทองแดงเบอร์ต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

AWG	Diameter over Insulation(inches)		Nominal circular mail area	Current capacity in Resistance per 1000 ft		milliamperes based on 1000c.m./A	AWG
	Min.	Max.					
28	0.0141	0.0147	159	65.31	158.8	28	
29	0.0127	0.0133	128	81.21	127.7	29	
30	0.0113	0.0119	100	103.7	100	30	
31	0.0101	0.0108	79.2	130.9	79.21	31	
32	0.0091	0.0098	64	162	64	32	
33	0.0081	0.0088	50.4	205.7	50.41	33	
34	0.0072	0.0078	39.7	261.3	39.69	34	
35	0.0064	0.0070	31.7	330.7	31.36	35	

ตารางที่ 2.3 แสดงลักษณะของขดลวดทองแดงเบอร์ต่างๆ (ต่อ)

### บทที่ 3

## วิธีการหาค่าเพื่อทำการออกแบบ และสร้างเครื่องหลอมเหนียวนำความถี่สูง

### 3.1 บทนำ

ในบทนี้จะได้กล่าวถึงในส่วนของการออกแบบชุดโหลดที่ใช้หลอมโลหะ ซึ่งเราจะใช้วงจรสมมูลย์มาพิจารณา โดยที่เราจะมองวงจรสมมูลย์ของชุดเบ้าหลอมทั้งหมดนี้เป็นชุดทุติยภูมิ ใช้หลักการเดียวกับของหม้อแปลงไฟฟ้า เพื่อหาค่าที่จะใช้ในการออกแบบ เมื่อได้แล้วถึงนำมาเลือกขนาดอุปกรณ์ต่างๆ เพื่อสร้างเครื่องหลอมเหนียวนำความถี่สูง

### 3.2 การเกิดความร้อนโดยการเหนียวนำความถี่สูง

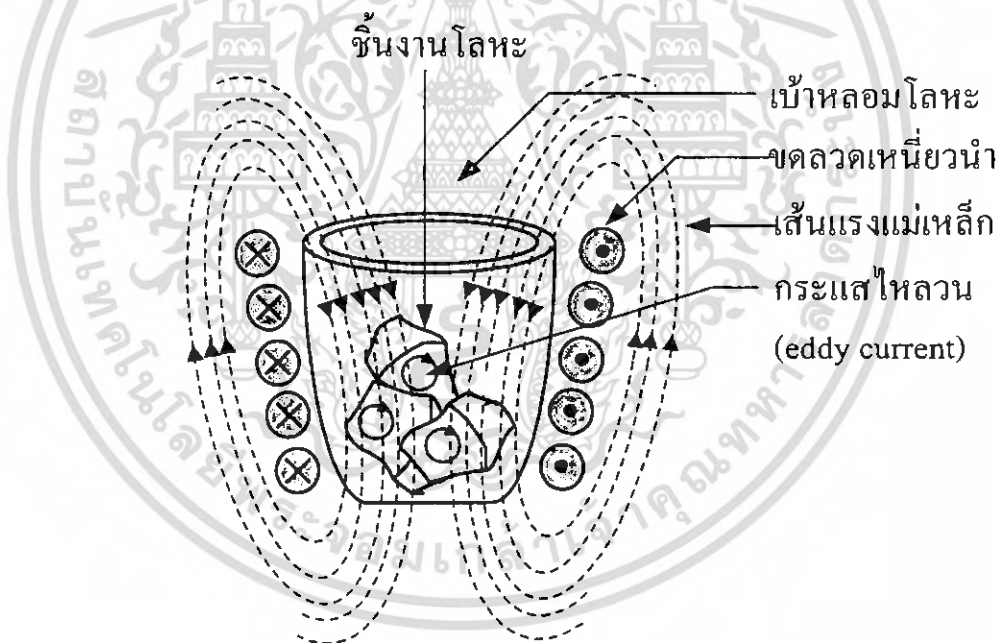
การให้ความร้อนโดยการเหนียวนำเพื่อใช้ในการหลอมโลหะ คือกระบวนการให้ความร้อนในวัสดุตัวนำไฟฟ้าโดยความร้อนที่เกิดขึ้นนี้จะเกิดมาจากการเหนียวนำไฟฟ้า กระแสสลับความถี่สูงให้ไหลกลับไปกลับมาภายในตัวชิ้นงานโลหะดังรูป 3.1 ซึ่งมีค่าความต้านทานภายใน ตัวชิ้นงานทำให้เกิดความร้อนขึ้นในบริเวณที่มีกระแสไหล โดยจะมีหลักการพิจารณาเช่นเดียวกับหม้อแปลง นั่นคือเมื่อป้อนกระแสสลับความถี่สูงให้กับขดลวดเหนียวนำที่พันอยู่รอบเบ้าหลอม ที่บรรจุชิ้นงานโลหะ ขดลวดเหนียวนำจะสร้างสนามแม่เหล็กเกี่ยวคล้อง (Magnetic Flux) กับ ชิ้นงานโลหะนี้ ซึ่งสนามแม่เหล็กที่เกี่ยวข้องกับชิ้นงานโลหะจะทำให้เกิดกระแสไหลวน (Eddy Current) โดยกระแสดังกล่าวจะไหลในลักษณะเป็นเส้นทางปิด ทำให้เกิดการสูญเสียเนื่องจากกระแสไหลวนเป็นผลให้เกิดความร้อนขึ้นที่ตัวชิ้นงานโลหะ และเนื่องจากการไหลของไฟฟ้ากระแสสลับความถี่สูงดังนั้นจึงเกิดผลของ Skin Effect ซึ่งจะ ทำให้กระแสไหลเฉพาะบริเวณผิวด้านนอกของชิ้นงานโลหะ โดยความลึกของกระแสไฟฟ้าที่ไหลภายในตัวชิ้นงานนี้จะขึ้นกับความถี่ของกระแสไฟฟ้าที่ไหล ซึ่งจะเป็นค่าเดียวกับความถี่ที่ป้อนเข้าไปในขดลวดที่พันรอบเบ้าหลอม ดังนั้นปริมาณกระแสที่ไหลในแท่งเหล็กจะเท่ากับปริมาณกระแสในขดลวดเหนียวนำคูณกับจำนวนรอบของขดลวดเดียวกันนี้

สำหรับองค์ประกอบของการเกิดความร้อนโดยการเหนียวนำที่ความถี่สูงนี้จะประกอบไปด้วยความสัมพันธ์ของตัวแปรต่างๆ คือ ความถี่ (Frequency:  $f$ ) สภาพความต้านทานไฟฟ้า (Resistivity :  $\rho$  ) และ ค่าความซึมซาบแม่เหล็ก ( Permeability :  $\mu$  ) ซึ่งสามารถอธิบายความสัมพันธ์กับค่าความลึกผิวของการไหลวนของกระแส ( Skin depth :  $\delta$  ) ได้โดยสมการ (3.1) ดังนี้

$$\delta = \sqrt{\frac{\rho}{\mu_o \mu_r f \pi}} \quad (3.1)$$

- เมื่อ  $\delta$  = ค่าความลึกผิว (m)  
 $\rho$  = สภาพความต้านทานไฟฟ้าของชิ้นงาน ( $\Omega \cdot m$ )  
 $f$  = ความถี่ไฟฟ้ากระแสสลับที่ป้อน (Hz)  
 $\mu_r$  = ค่าความซึมซาบแม่เหล็กสัมพัทธ์ของชิ้นงาน  
 $\mu_o = 4\pi \times 10^{-7}$  H/m

จากสมการ (3.1) จะเห็นว่าเมื่อความถี่สูงขึ้นจะส่งผลให้กระแสไหลวนไหลลึกลงไปจากบริเวณผิวชิ้นงานได้น้อยลงทั้งนี้เนื่องจากค่าความลึกของการไหลของกระแสไหลวน ( Current depth :  $\delta$  ) มีค่าลดลงตามการเพิ่มขึ้นของความถี่ จากรูปที่ 3.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นของกระแสที่แปรเปลี่ยนตามระยะความลึกจากผิวของชิ้นงาน ซึ่งจะเห็นได้ว่ากระแสมีความหนาแน่นสูงสุดที่บริเวณผิวด้านนอกของตัวชิ้นงานและจะมีค่าลดลงเมื่อระยะความลึกจากผิว X มีค่าเพิ่มมากขึ้น

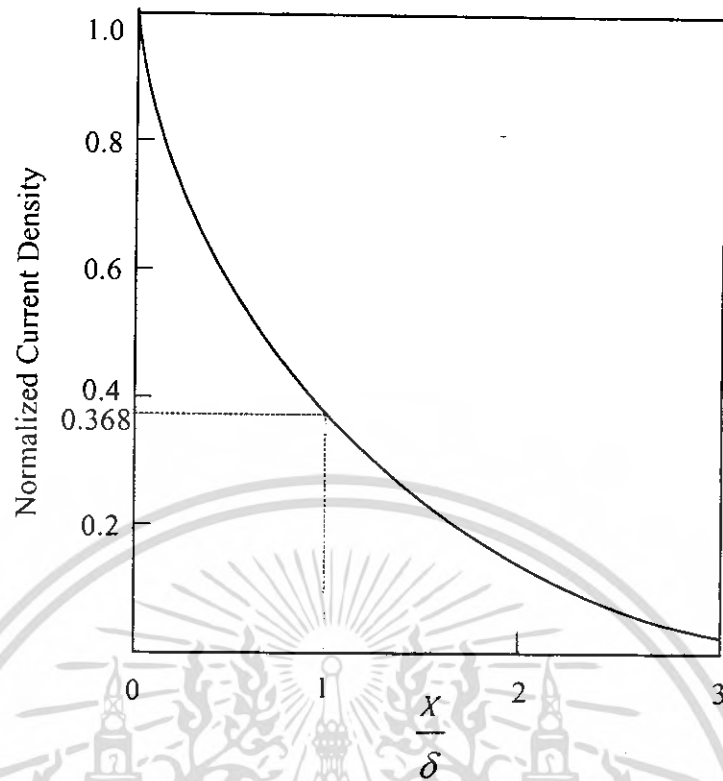


รูปที่ 3.1 ลักษณะกระแสไฟฟ้าสลับและเส้นแรงแม่เหล็กที่ขดลวดและชิ้นงาน

### 3.3 การวิเคราะห์ห้วงจรสมมูลของขดลวดเหนี่ยวนำความร้อน

เนื่องจากขดลวดเหนี่ยวนำความร้อนมีหลักการใกล้เคียงกับหลักการในหม้อแปลงไฟฟ้าโดยมีขดลวดเหนี่ยวนำเป็นขดปฐมภูมิและชิ้นงานซึ่งถูกเกี่ยวคล้องด้วยเส้นแรงแม่เหล็กจากขดลวดปฐมภูมิจะมีลักษณะเหมือนเป็นขดทุติยภูมิที่มีจำนวนรอบเพียง 1 รอบ โดย

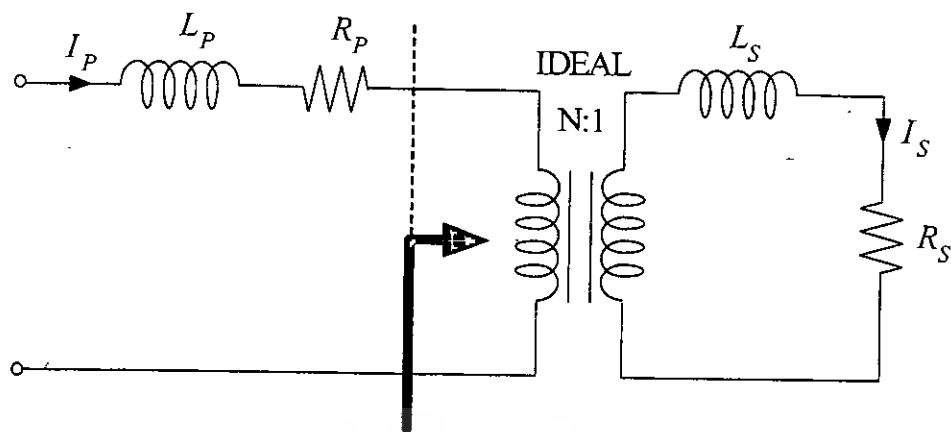
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



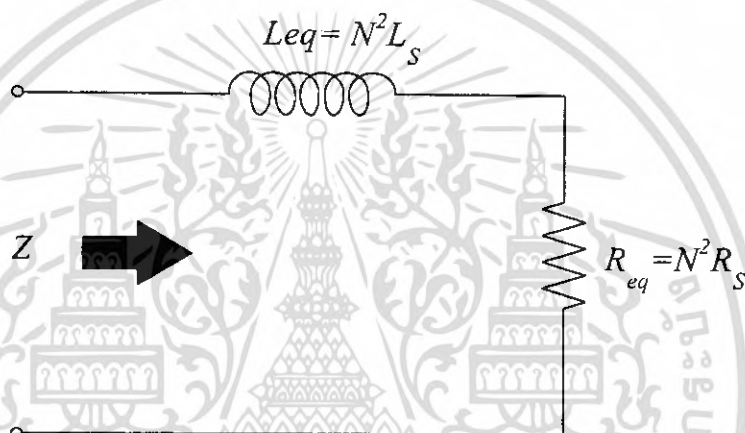
รูปที่ 3.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นของกระแสกับระยะความลึกจากผิวของชิ้นงาน

มีค่าอินดักแตนซ์  $L_S$  และค่าความต้านทาน  $R_S$  เป็นค่าความเหนี่ยวนำและความต้านทานของชิ้นงาน และมีค่าอินดักแตนซ์  $L_P$  และค่าความต้านทาน  $R_P$  เป็นค่าความเหนี่ยวนำและค่าความต้านของขดลวดเหนี่ยวนำด้านปฐมภูมิซึ่งเมื่อเขียนแสดงด้วยวงจรมูลค่าจะได้ดังรูปที่ 3.3 โดยที่วงจรมูลค่าที่ได้นี้อยู่ภายใต้เงื่อนไขว่า กระแสแมกนีโตซึ่ง  $I_M$  ซึ่งไหลผ่านแมกนีโตซึ่งอินดักแตนซ์  $L_M$  มีค่าน้อยมากจนไม่นำมาพิจารณาในวงจร

จากรูปที่ 3.3 เมื่อย้ายค่าพารามิเตอร์ต่างๆทางด้านทุติยภูมิไปรวมกับทางด้านปฐมภูมิสามารถเขียนวงจรมูลค่าของขดลวดเหนี่ยวนำที่พันรอบเบ้าหลอมที่บรรจุชิ้นงานได้ใหม่ดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.3 วงจรสมมูลของขดลวดเหนี่ยวนำซึ่งพันรอบเบ้าหลอมที่ชิ้นงานเมื่อนำมาพิจารณาในลักษณะเดียวกับหลักการของหม้อแปลงไฟฟ้า



รูปที่ 3.4 วงจรสมมูลของขดลวดเหนี่ยวนำที่พันรอบเบ้าหลอมที่บรรจุชิ้นงานโดยพิจารณาจากด้านปฐมภูมิ

จากรูปที่ 3.4 แสดงวงจรสมมูลของขดลวดเหนี่ยวนำที่พันรอบเบ้าหลอมซึ่งบรรจุชิ้นงานซึ่งประกอบด้วย ค่าอินดักแตนซ์สมมูล  $L_{eq}$  และค่าความต้านทานสมมูล  $R_{eq}$  สามารถหาค่าได้ดังดังนี้

$$R_{eq} = R_p + N^2 R_s \quad (3.2)$$

$$L_{eq} = L_p + N^2 L_s \quad (3.3)$$

แทนค่า  $R'_p = N^2 R_s$  และ  $L'_p = N^2 L_s$  จะได้

$$R_{eq} = R_p + R'_p \quad (3.4)$$

$$L_{eq} = L_p + L'_p \quad (3.5)$$

- เมื่อ  $N$  คือ จำนวนรอบของขดลวดเหนี่ยวนำที่พันรอบเบ้าหลอม  
 $R_p, R_s$  คือ ความต้านทานของขดลวดเหนี่ยวนำและของโหลดชิ้นงานตามลำดับ  
 $L_p, L_s$  คือ ค่าความเหนี่ยวนำรีวไหลขดลวดเหนี่ยวนำและของโหลดชิ้นงานตามลำดับ  
 $R'_p$  คือ ความต้านทานของโหลดชิ้นงานซึ่งพิจารณาจากด้านปฐมภูมิ  
 $L'_p$  คือ ค่าความเหนี่ยวนำของโหลดชิ้นงานซึ่งพิจารณาจากด้านปฐมภูมิ

จากรูปที่ 3.3 จะสามารถหาค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียในขดลวดเหนี่ยวนำได้ดังสมการ

$$P_p = I_p^2 R_p \quad (3.6)$$

ในทำนองเดียวกันก็จะสามารถหาค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียที่เกิดขึ้นที่โหลดชิ้นงานได้ดังสมการ

$$P_s = I_s^2 R_s \quad (3.7)$$

และเมื่อพิจารณาจากด้านปฐมภูมิโดยที่  $I_s = NI_p$  จะได้

$$P_s = I_p^2 R'_p \quad (3.8)$$

เมื่อ  $I_p$  คือ กระแสในขดลวดเหนี่ยวนำ  
 $I_s$  คือ กระแสในโหลดชิ้นงาน

จากสมการ (3.6) – (3.8) สามารถหาค่าประสิทธิภาพของโหลดชิ้นงานได้ดังนี้

$$\eta = \frac{P_s}{P_s + P_p} \quad (3.9)$$

แทนสมการ (3.6) และ (3.8) ในสมการที่ (3.9) จะได้

$$= \frac{I_p^2 R'_p}{I_p^2 R'_p + I_p^2 R_p} \quad (3.10)$$

$$= \frac{R'_p}{R'_p + R_p} \quad (3.11)$$

$$\eta = \frac{1}{1 + (R_p / R'_p)} \quad (3.12)$$

เนื่องจากผลของ Skin Depth การไหลวนของกระแสจะเกิดเฉพาะที่บริเวณผิวของขดลวดเหนี่ยวนำและที่บริเวณผิวของชิ้นงานดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น โดยมีความลึกเท่ากับ  $\delta$  ดังนั้นในการหาค่าความต้านทาน  $R_p$  และ  $R_s$  ที่บริเวณผิวสามารถหาได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$R_p = \frac{\rho_p}{\delta_p} = \sqrt{\rho_p \mu_o \mu_{rp} f \pi} \quad (3.13)$$

และ  $R_s = \frac{\rho_s}{\delta_s} = \sqrt{\rho_s \mu_o \mu_{rs} f \pi} \quad (3.14)$

- เมื่อ  $\delta_p$  คือ ความลึกผิวของขดลวดเหนี่ยวนำ  
 $\delta_s$  คือ ความลึกผิวของชิ้นงาน  
 $\rho_p$  คือ สภาพต้านทานไฟฟ้าของขดลวดเหนี่ยวนำ  
 $\rho_s$  คือ สภาพต้านทานไฟฟ้าของชิ้นงาน

ดังนั้นจากสมการ (3.14) จะเห็นได้ว่าความต้านทานของชิ้นงาน  $R_s$  จะแปรผันโดยตรงกับสภาพความต้านทานทางไฟฟ้า  $\rho_s$  ของชิ้นงาน ค่าความซึมซาบแม่เหล็กสัมพัทธ์  $\mu_{rs}$  และความถี่ไฟฟ้ากระแสสลับ  $f$  ที่ป้อนจากอินเวอร์เตอร์

จากสมการ (3.11) และ (3.14) สามารถนำมาคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ทางไฟฟ้าของวัสดุชิ้นงานชนิดต่างๆ ที่ใช้ในการหลอมได้ดังตารางที่ 3.1

Material	Resistivity $\rho_s$ 20°C [1] ( $\Omega\text{m}$ )	Relative permeability ( $\mu_r$ )	Skin depth $\delta_s$ (mm.)	Surface resistivity $R_s$ ( $\Omega$ )	Melting Point [1] (°C)
Iron	$9.71 \times 10^{-8}$	100	0.0592	$1.6402 \times 10^{-3}$	1538
Silver	$1.59 \times 10^{-8}$	1	0.2398	$0.0663 \times 10^{-3}$	962
Aluminium*	$2.65 \times 10^{-8}$	1	0.3096	$0.0856 \times 10^{-3}$	660
Lead	$20.65 \times 10^{-8}$	1	0.8644	$0.2383 \times 10^{-3}$	327

\*ชนิดโลหะที่ใช้ในการหลอมในโครงการนี้

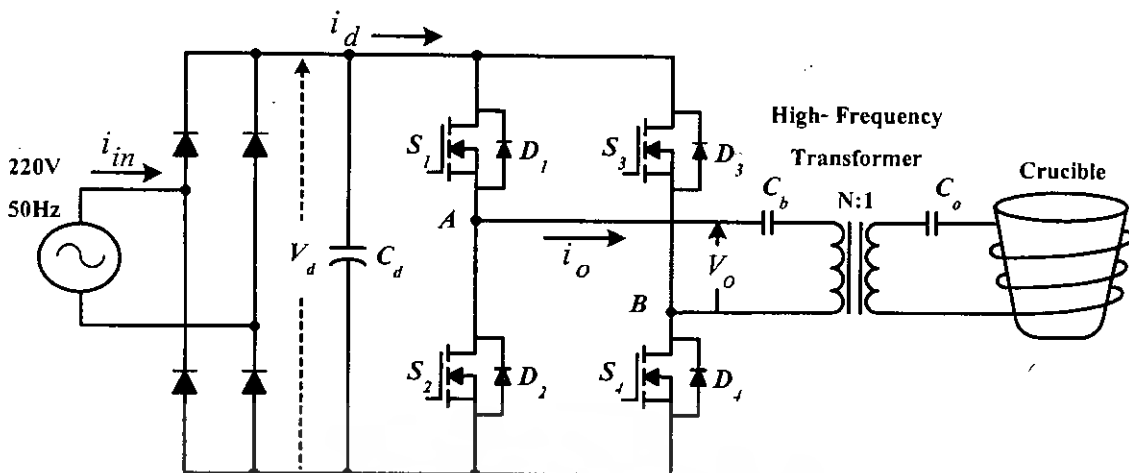
ตารางที่ 3.1 คุณสมบัติต่างๆทางไฟฟ้าของวัสดุประเภทเหล็ก เงิน อลูมิเนียม และตะกั่วที่ความถี่ 70 kHz

### 3.4 การทำงานของวงจรฟูลบริดจ์อินเวอร์เตอร์ เรโซแนนท์อนุกรม

ในส่วนจะนำเสนอการควบคุมกำลังไฟฟ้าแบบปรับลดจำนวนพัลส์ในวงจร ฟูลบริดจ์อินเวอร์เตอร์เรโซแนนท์อนุกรม เพื่อที่จะนำไปใช้ในการหลอมโลหะ เครื่องหลอมโลหะเหนี่ยวนำความถี่สูง มีด้วยกัน 2 ลักษณะ คือ การปรับลดจำนวนพัลส์แบบกระจาย และการปรับลดจำนวนพัลส์แบบเป็นกลุ่ม ลักษณะการทำงานของทั้ง 2 กรณี จะมีการทำงานที่คล้ายกันเพียงแต่จะแตกต่างกันในช่วง ON - OFF ของวงจรโดยจะทำการวิเคราะห์โดยการพิจารณาโหมดการทำงานต่างๆ ของวงจรในช่วง 1 คาบเวลา 4 ไซเกิล ในกรณีที่อินเวอร์เตอร์ทำงานที่ความถี่สวิตช์สูงกว่าความถี่เรโซแนนท์

#### หลักการการทำงาน

จากรูปที่ 3.5 ซึ่งเป็นวงจร Full Bridge Inverter ที่ใช้ในเครื่องหลอมโลหะเหนี่ยวนำความถี่สูง แรงดันไฟสลับ 220V 50 Hz จะถูกแปลงเป็นแรงดันไฟตรงด้วย วงจรฟูลบริดจ์เรกติฟายเออร์เพื่อจ่ายให้กับวงจร ฟูลบริดจ์อินเวอร์เตอร์ ทำหน้าที่แปลงเป็นแรงดันไฟสลับความถี่สูง โดยมี MOSFET  $S_1, S_2, S_3, S_4$  และฟรีวิลลิงไดโอด  $D_1, D_2, D_3, D_4$  ต่อขนานกันตามลำดับ MOSFET จะทำหน้าที่เป็นสวิตช์ สำหรับการทำงานของวงจรอินเวอร์เตอร์ในกรณีของการควบคุมกำลังไฟฟ้าด้วยการปรับลดจำนวนพัลส์ของแรงดันใน 1 คาบเวลาของแรงดันเอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์จะทำให้ได้แรงดันเอาต์พุต คือ  $+V_o, -V_o$  และ 0 เมื่อ

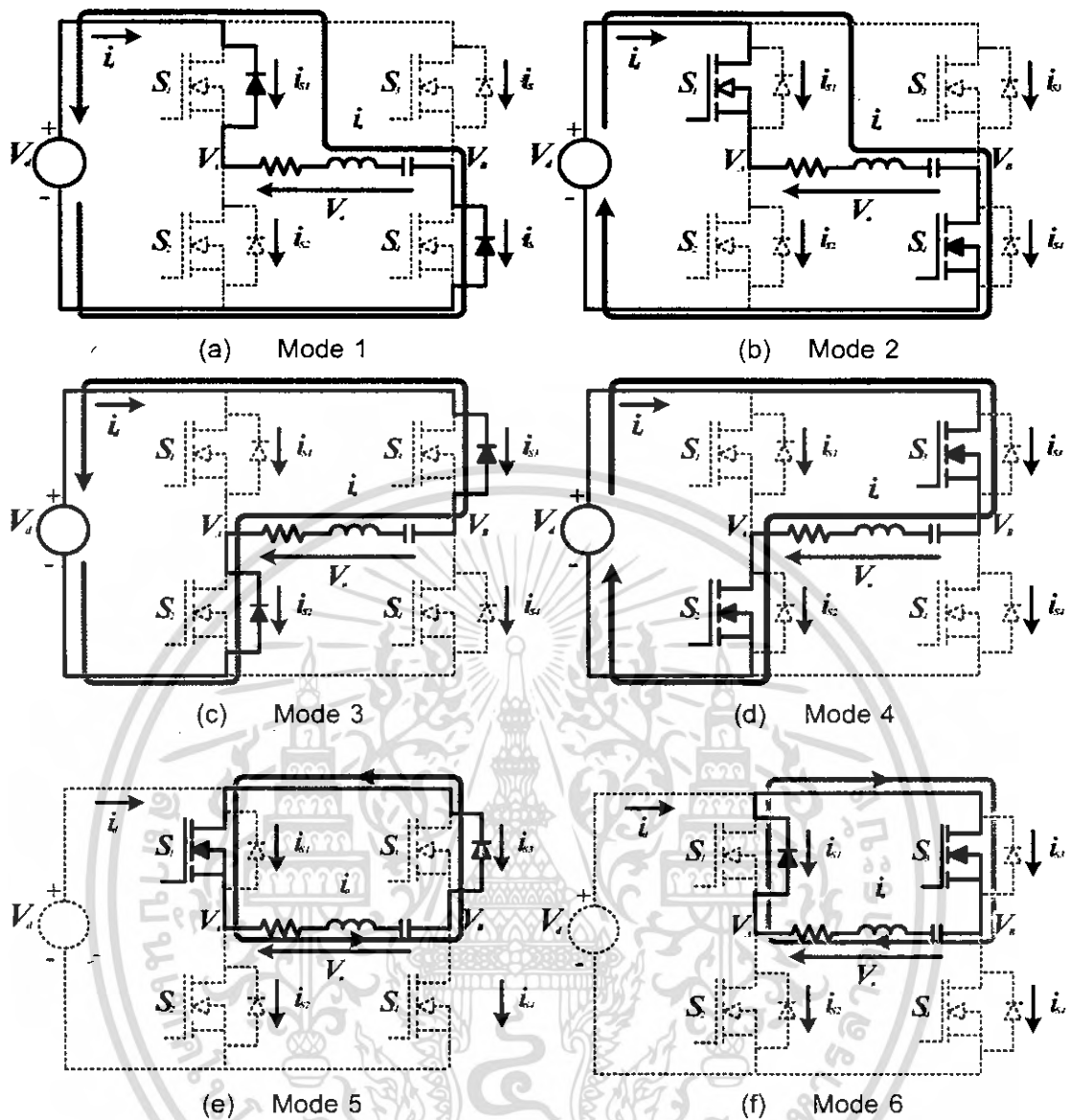


รูปที่ 3.5 วงจรพูลบริดจ์อินเวอร์เตอร์เรโซแนนท์อนุกรมของเครื่องหลอมโลหะเหนี่ยวนำความถี่สูง

กำหนดให้อินเวอร์เตอร์ทำงานที่ความถี่ สวิตซ์สูงกว่าความถี่เรโซแนนท์จะสามารถแบ่งการทำงานของวงจรออกได้เป็น 6 โหมดดังแสดงในรูปที่ 3.6 มีลักษณะการทำงานดังนี้

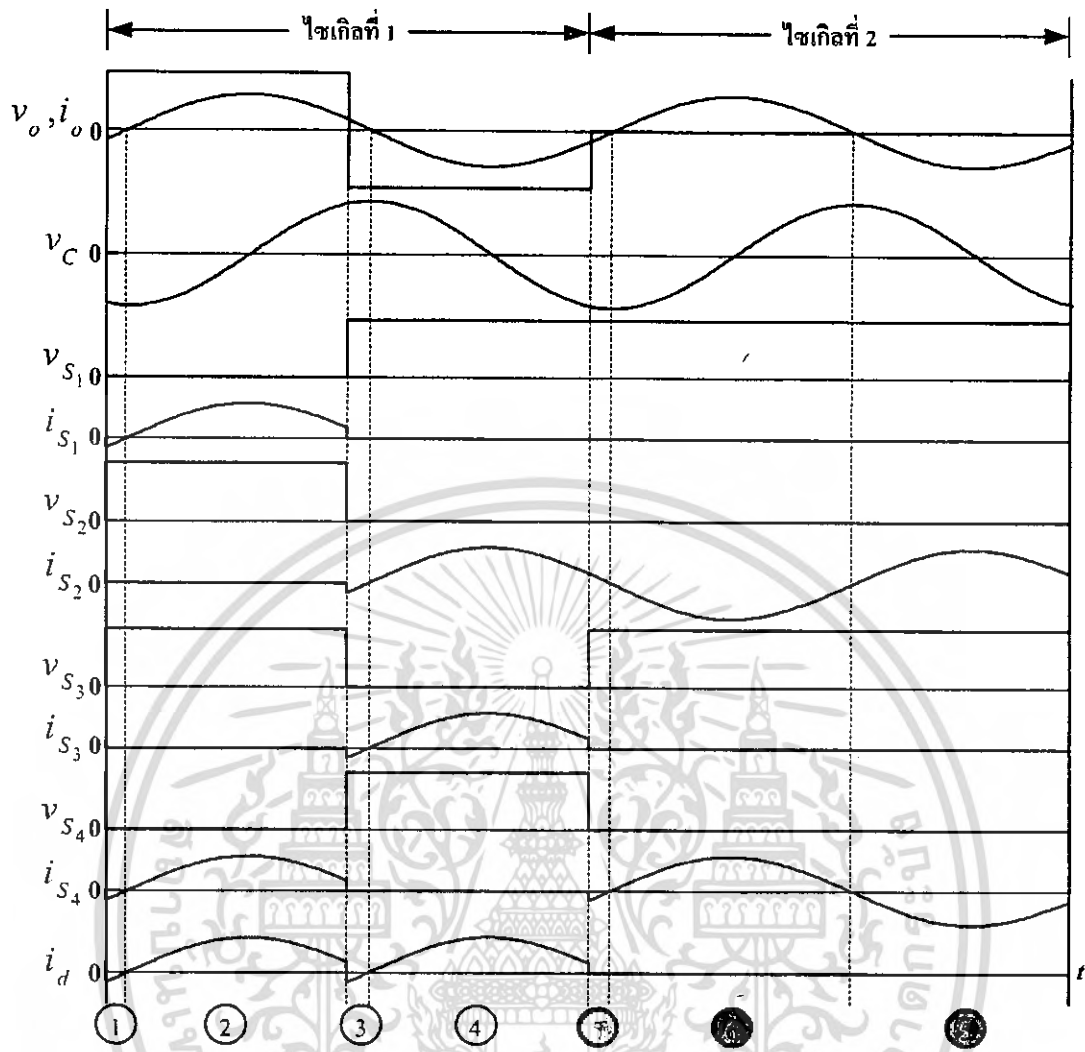
โหมด 1,2,3,4 นี้จะให้แรงดันเอาต์พุตเป็น  $\pm V_d$  โดย สวิตซ์  $S_1$  และ  $S_4$  จะสลับการทำงานกับ  $S_2$  และ  $S_3$  นั่นคือในโหมด 1 และ 2 เฉพาะสวิตซ์  $S_1$  และ  $S_4$  ON จะได้แรงดัน เอาต์พุตเป็น  $+V_d$  สำหรับทิศทางการไหลของกระแส เนื่องจากในโหมด 1 กระแสมีค่าเป็นลบดังนั้นกระแสจะไหลผ่านไดโอดของ  $S_1$  และ  $S_4$  ดังรูปที่ 3.6(a) และเมื่อเข้าสู่โหมด 2 กระแสเริ่มมีค่าเป็นบวกกระแสจะเปลี่ยนมาไหลผ่าน สวิตซ์ของ  $S_1$  และ  $S_4$  แทนดังรูปที่ 3.6(b) ส่วนในกรณีของโหมด 3 และ 4 เฉพาะสวิตซ์  $S_2$  และ  $S_3$  ON แรงดันเอาต์พุตจะเป็น  $-V_d$  มีทิศทางการไหลของกระแสคือในโหมด 3 กระแสจะไหลผ่านไดโอดของ  $S_2$  และ  $S_3$  และเมื่อเข้าสู่โหมด 4 กระแสจะไหลผ่านสวิตซ์  $S_2$  และ  $S_3$  แทน ดังแสดงในรูปที่ 3.6(c) และรูปที่ 3.6(d)

โหมด 5,6 นี้จะได้แรงดันเอาต์พุตเป็นศูนย์โดยจะมีลักษณะการทำงานของสวิตซ์ที่แตกต่างจากโหมดอื่นนั่นคือในโหมดทั้ง 2 นี้สวิตซ์  $S_2$  และ  $S_4$  จะทำงานพร้อมกันโดยในโหมด 5 การไหลของกระแสจะมีทิศทางเป็นลบดังนั้นกระแสจะไหลผ่านสวิตซ์  $S_2$  และไดโอดของ  $S_4$  ดังรูปที่ 3.6(e) และเมื่อเข้าสู่โหมด 6 การไหลของกระแสจะมีทิศทางเป็นบวกทำให้จากเดิม



รูปที่ 3.6 โหมดการทำงานของวงจรฟูลบริดจ์อินเวอร์เตอร์ที่ควบคุมด้วยจำนวนพัลส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.7 คลื่นแรงดันและกระแสใน 2 ไซเกิล ในกรณีที่มีแรงดันและไม่มีแรงดัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 การออกแบบ

เริ่มพิจารณาชุดโหลดรวมทั้งหมัดเป็นเป็นวงจรเรโซแนนท์อนุกรมโดยจะมีค่าตัวแปรต่างๆ ดังนี้  $R_{eq}$ ,  $L_{eq}$  และ  $C_{eq}$  ที่ต้องการคำนวณหา ซึ่งจะเป็นตัวแปรในการพิจารณาหาขนาดหม้อแปลงและขนาดทองแดงที่พื้นที่หม้อแปลง และพันรอบขึ้นงาน

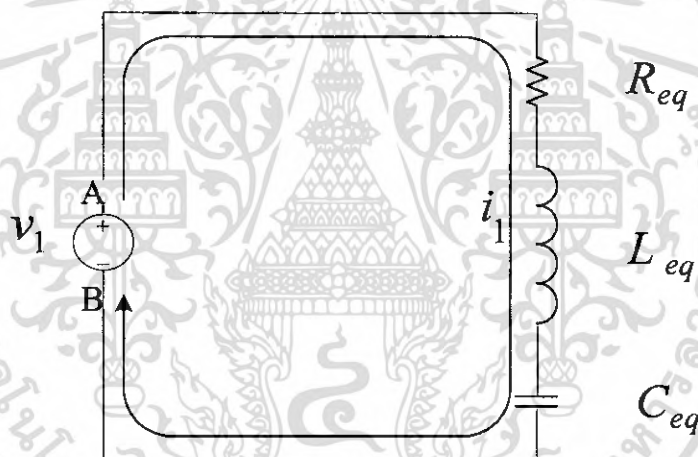
3.2.1 การคำนวณหาค่า  $R_{eq}$ ,  $L_{eq}$  และ  $C_{eq}$  ของชุดโหลด (ชุด Induction Heating)

3.2.1.1 กำหนดกำลังไฟฟ้าของเอาต์พุตอินเวอร์เตอร์ (Watt: P)

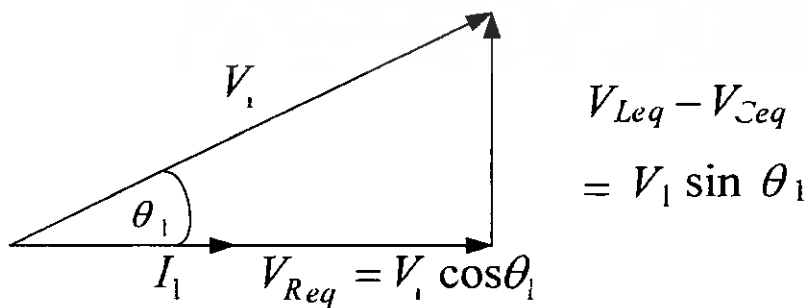
3.2.1.2 ทำการหาค่าแรงดัน Voltage (rms),  $V_1$  จากสมการที่ 3.15

$$V_1 = \frac{4}{\pi} V_{dc} \frac{1}{\sqrt{2}}$$

$$V_1 = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} V_{dc} \tag{3.15}$$



รูปที่ 3.8 วงจรสมมูลเรโซแนนท์อนุกรม



รูปที่ 3.9 เวกเตอร์โตะแกรมของแรงดันและกระแสมูลฐานด้านเอาต์พุต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.1.3 กำหนดค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า (Power Factor: PF) ;  $\cos \theta_1$

3.2.1.4 ทำการหาค่ากระแส Current (rms) ,  $I_1$  จากสมการที่ 3.16

$$P = V_1 I_1 \cos \theta_1$$

$$\therefore I_1 = \frac{P}{V_1 \cos \theta_1} \quad (3.16)$$

3.2.1.5 หาค่าอิมพีแดนซ์ ( $Z_1$ ) จากสมการที่ 3.17

$$Z_1 = \frac{V_1}{I_1} \quad (3.17)$$

3.2.1.6 หาค่าความต้านทาน ( $R_1$ ) จากสมการที่ 3.18

$$R_{eq} = Z_1 \cos \theta_1 \quad (3.18)$$

3.2.1.7 หาค่า  $X_L - X_C$  จากสมการที่ 3.19

$$X_{Leq} - X_{Ceq} = Z_1 \sin \theta_1 \quad (3.19)$$

3.2.1.8 กำหนดค่า Quality Factor:  $Q$  และความถี่เรโซแนนซ์:  $\omega_o = 2\pi f_r$

3.2.1.9 หาค่าตัวเหนี่ยวนำ ( $L_{eq}$ ) จากสมการที่ 3.20

$$Q = \frac{\omega_o L_{eq}}{R_{eq}}$$

$$L_{eq} = \frac{QR_{eq}}{\omega_o}$$

$$\therefore L_{eq} = \frac{Q}{2\pi f_r} \quad (3.20)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.1.10 หาค่าตัวเก็บประจุ ( $C_{eq}$ ) จากสมการที่ 3.21

$$\begin{aligned}
 Q &= \frac{1}{\omega_o R_{eq} C_{eq}} \\
 C_{eq} &= \frac{1}{\omega_o R_{eq} Q} \\
 \therefore C_{eq} &= \frac{1}{2\pi f_r R_{eq} Q} \quad (3.21)
 \end{aligned}$$

3.2.1.11 หาค่า Switching Frequency:  $f_1$  จากสมการที่ 3.22

$$\begin{aligned}
 X_{Leq} - X_{Ceq} &= Z_1 \sin \theta_1 \\
 \omega_1 L_{eq} - \frac{1}{\omega_1 C_{eq}} &= Z_1 \sin \theta_1 \\
 \frac{\omega_1^2 L_{eq} C_{eq} - 1}{\omega_1 C_{eq}} &= Z_1 \sin \theta_1 \\
 \omega_1^2 L_{eq} C_{eq} - 1 &= \omega_1 C_{eq} Z_1 \sin \theta_1 \\
 \omega_1^2 (L_{eq} C_{eq}) - \omega_1 (Z_1 C_{eq} \sin \theta_1) - 1 &= 0 \quad (3.22)
 \end{aligned}$$

เมื่อแทนค่า  $L_{eq}, C_{eq}, Z_1, \sin \theta_1$  ในสมการที่ 3.23 แล้วแก้สมการจะได้ค่า  $\omega_1$

$$\therefore f_1 = \frac{\omega_1}{2\pi} \quad (3.23)$$

## บทที่ 4

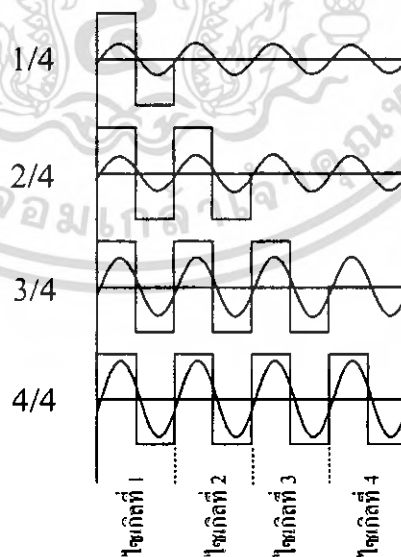
### การปรับจำนวนพัลส์ PDM และผลการทดลอง

#### 4.1 บทนำ

จากหลักการควบคุมกำลังไฟฟ้าในวงจรอินเวอร์เตอร์เรโซแนนท์ความถี่สูง สำหรับกรณีการปรับควบคุมกำลังไฟฟ้าโดยวิธีการปรับลดจำนวนพัลส์ PDM (Pulse Density Modulation) ซึ่งเป็นรูปแบบที่คลื่นพัลส์มีลักษณะการรวมตัวกันเป็นกลุ่ม ทั้งนี้เพื่อศึกษาถึงคุณสมบัติต่างๆทางไฟฟ้า ลักษณะโหมดการทำงานของวงจรในช่วง 1 คาบเวลา และลักษณะคลื่นแรงดันและกระแสเอาต์พุทของแรงดันและกระแสเอาต์พุทของ PDM พัลส์ในรูปแบบต่างๆที่ได้จากการซิมูเลตเพื่อใช้เปรียบเทียบกับผลการทดลองของวงจรเรโซแนนท์อินเวอร์เตอร์ความถี่สูง

#### 4.2 การปรับจำนวนพัลส์ PDM

ในการควบคุมกำลังไฟฟ้าในวงจรพัลส์ PDM แบบการรวมตัวเป็นกลุ่มนี้ จะกำหนดรูปแบบพัลส์ไว้ทั้งหมด 4 รูปแบบ สำหรับในกรณีรูปแบบ PDM แบบรวมตัวเป็นกลุ่มนี้ จะเป็นการจัดรูปคลื่นพัลส์ให้มีการรวมตัวเป็นกลุ่มอยู่ในแถบบริเวณเดียวกันโดยไม่ให้มีการกระจายออกภายในช่วงบริเวณ 1 คาบเวลา ที่ใช้ในการพิจารณา โดยมีรูปแบบทั้งสิ้น 4 รูปแบบ ดังแสดงในรูปที่ 4.1 ดังนั้นในอันดับถัดจากนี้ไปจะได้นำเสนอข้อมูลต่างๆ สำหรับกรณีการปรับพัลส์ PDM ในรูปแบบที่มีการรวมตัวเป็นกลุ่มโดยการนำเสนอจะพิจารณาข้อมูลของพัลส์ PDM เพียง 4 รูปแบบ จากข้อมูลทั้งสิ้น 4 รูปแบบ กล่าวคือรูปแบบพัลส์ PDM 1/4, 2/4, 3/4, และ 4/4



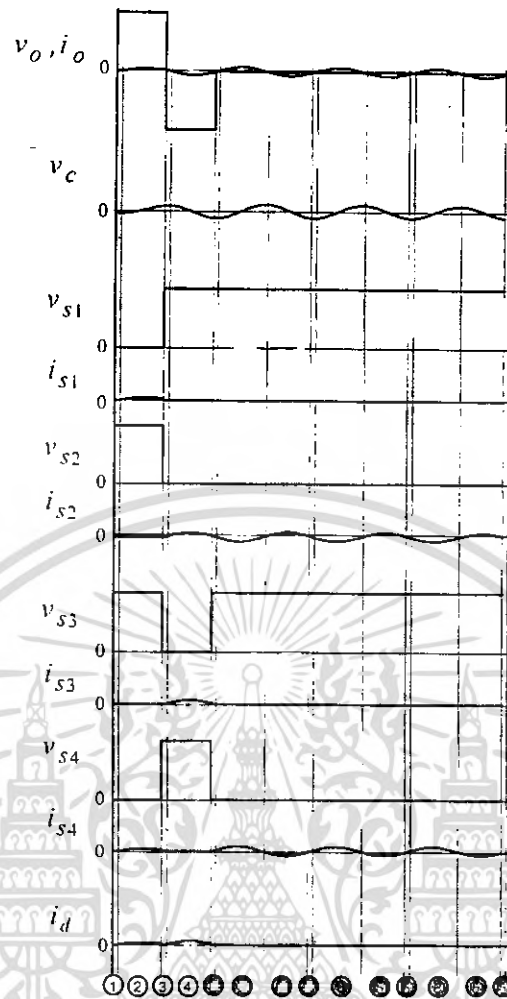
รูปที่ 4.1 ลักษณะพัลส์ PDM แบบการรวมตัวเป็นกลุ่มในแต่ละรูปแบบจากจำนวนรวมทั้งสิ้น 4 รูปแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.3 หลักการปรับควบคุมจำนวนพัลส์ PDM ในรูปแบบการรวมตัวเป็นกลุ่มสำหรับ กรณีจำนวนไซเกิลต่อคาบเวลาเท่ากับ 1/4

#### 4.3.1 ลักษณะคลื่นแรงดันและกระแสตามจุดต่าง ๆ ในช่วง 1 คาบเวลา (กรณี 1/4)

หลักการทำงานและข้อมูลของแรงดันและกระแสตามจุดต่าง ๆ ของวงจรเครื่อง  
หลอมโลหะสำหรับกรณีวิธีการปรับพัลส์ PDM 1/4 ในรูปที่ 4.2 ได้แสดงคลื่น  $v_o, i_o$  จำนวน  
ไซเกิลเท่ากับ 1 ไซเกิลจากจำนวนไซเกิล อินพุตที่ป้อนเท่ากับ 4 ไซเกิล ซึ่งเป็นกรณีที่  
แรงดันและกระแสเอาต์พุต หรือนั่นก็คือกำลังไฟฟ้าเอาต์พุตมีค่าต่ำสุดและยังได้แสดงให้เห็น  
ลักษณะการจับแพทเทิร์นของแรงดันและกระแสเอาต์พุต แรงดันและกระแสที่ตัวสวิตช์ทั้ง 4  
( $v_{S_1}, i_{S_1}$ ), ( $v_{S_2}, i_{S_2}$ ), ( $v_{S_3}, i_{S_3}$ ) และ ( $v_{S_4}, i_{S_4}$ ) ตลอดจนลักษณะกระแสที่จ่าย  
ออกจากแหล่งจ่ายดีซีซีพพลายซึ่งจะเห็นได้ว่าลักษณะคลื่นแรงดันและกระแสที่ตัวสวิตช์แต่ละ  
ชุดในจำนวนทั้งหมด 4 ชุดจะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับคลื่นแรงดันและกระแส  $v_o, i_o$  โดย  
ในช่วงโหมด 1 - 4 ชุดแรงดันและกระแส ( $v_{S_1}, i_{S_1}$ ) จะมีลักษณะเหมือนชุดแรงดันและกระแส  
( $v_{S_2}, i_{S_2}$ ), ( $v_{S_3}, i_{S_3}$ ) และ ( $v_{S_4}, i_{S_4}$ ) เพียงแต่จะมีลักษณะของเฟสที่ต่างกันโดยที่ชุด  
แรงดันและกระแส ( $v_{S_1}, i_{S_1}$ ) จะเหมือนกับชุดแรงดันและกระแส ( $v_{S_4}, i_{S_4}$ ) ซึ่งเป็นคู่สวิตช์ที่  
อยู่เยื้องกันในแต่ละกึ่ง ในทำนองเดียวกันชุดแรงดันและกระแส ( $v_{S_2}, i_{S_2}$ ) จะมีลักษณะ  
เหมือนกับชุดแรงดันและกระแส ( $v_{S_3}, i_{S_3}$ ) ซึ่งเป็นสวิตช์ 2 ตัวที่เหลือนในแต่ละกึ่งที่อยู่เยื้อง  
กัน นอกจากนี้ยังจะเห็นได้ว่าลักษณะคลื่นกระแส  $i_o$  ที่จ่ายออกจากแหล่งจ่ายมีลักษณะเป็น  
คลื่นทิศทางเดียว (unidirectional current) และจะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับกระแสโหลด  $i_o$   
โดยจะกลับทิศครึ่งไซเกิลลบของกระแสโหลด  $i_o$  ให้เป็นซีกบวก ในส่วนของโหมด (5, 6, 5)  
นับตั้งแต่ไซเกิลที่ 2 แรงดันเอาต์พุต  $v_o$  จะไม่มีแรงดันเอาต์พุต ในขณะที่กระแสเอาต์พุต  
 $i_o$  จะยังคงมีอยู่ในลักษณะคลื่นไซน์โดยผ่านสวิตช์และไดโอดชุดล่างของแต่ละกึ่งในวงจรบริดจ์  
อินเวอร์เตอร์ นอกจากนี้แรงดันที่ C - resonant ยังคงมีแรงดันปรากฏอย่างต่อเนื่องใน  
ลักษณะรูปคลื่นไซน์ซึ่งเกิดจากการทำงาน ของวงจรเรโซแนนท์ RLC ในรูปล่างของวงจร  
บริดจ์ทำให้กระแสสามารถไหลกลับไปมาในลักษณะคลื่นไซน์ได้ซึ่งในช่วงขณะนี้สวิตช์คู่บนของ  
วงจรบริดจ์จะ OFF หรือไม่ทำงานและจะมีแรงดันแหล่งจ่าย  $V_{dc}$  ปรากฏระหว่างเดรน-ซอร์สที่  
สวิตช์ทั้งสอง



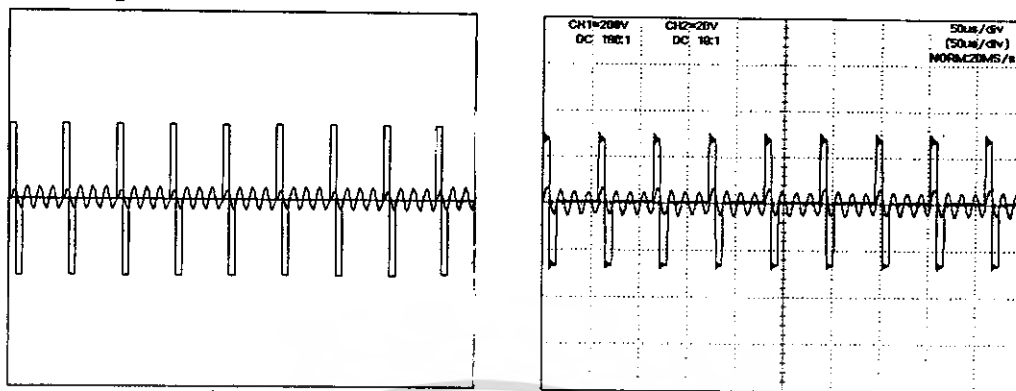
รูปที่ 4.2 ลักษณะคลื่นแรงดันและกระแสตามจุดต่างๆเฉพาะในช่วง 1 คาบเวลา สำหรับพัลส์ PDM ในรูปแบบรวมเป็นกลุ่มในกรณี 1/4 ไซเกิลต่อคาบเวลา

#### 4.3.2 ค่าแรงดันและกระแสตามจุดต่างๆในช่วง 1 คาบเวลา (กรณี 1/4)

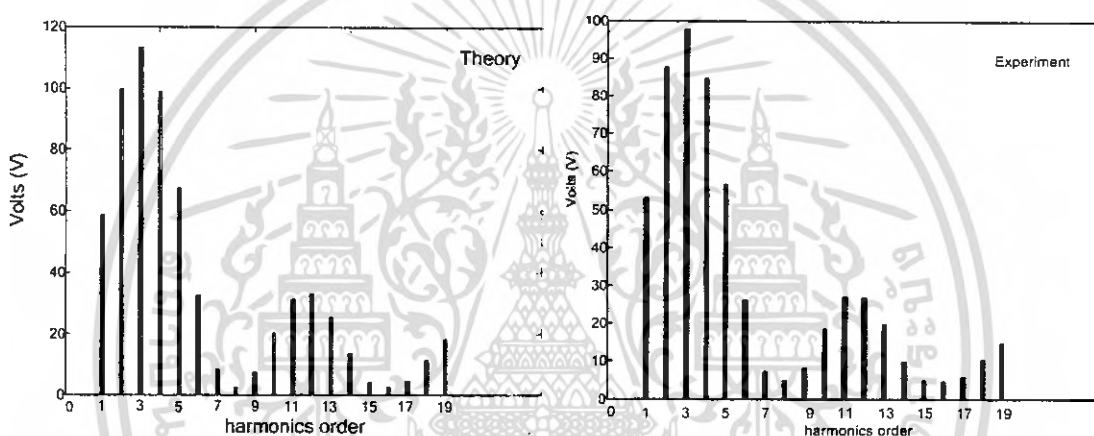
จากลักษณะคลื่นแรงดันและกระแสตามจุดต่างๆ ในวงจรบริดจ์อินเวอร์เตอร์ในรูปที่ 4.2 สามารถเขียนสรุปค่าแรงดันและกระแสตามจุดต่างๆในวงจรบริดจ์อินเวอร์เตอร์ เช่น แรงดันและกระแสที่ตัวสวิตช์ทั้ง 4  $(v_{S_1}, i_{S_1})$ ,  $(v_{S_2}, i_{S_2})$ ,  $(v_{S_3}, i_{S_3})$  และ  $(v_{S_4}, i_{S_4})$  ตลอดจนกระแสที่ออกจากแหล่งจ่ายดีซีซัพพลาย  $i_d$  โดยในช่วง 1 ไซเกิลแรกซึ่งประกอบด้วยการทำงานในโหมดที่ 1, 2, 3 และ 4 จะได้แรงดันคร่อมสวิตช์เป็น 0 และ  $V_d$  โหมด 5 และ 6 กระแสที่ไหลผ่านสวิตช์ทั้ง 4 โดยเฉพาะสวิตช์ที่ 2 ตัวบนของวงจบริดจ์อินเวอร์เตอร์จะมีค่าเป็นศูนย์ขณะที่ ขณะที่สวิตช์ 2 ตัวล่างจะมีค่าเป็น  $i_o$  และ  $-i_o$  สลับไปมา อันเนื่องจากการเกิดเรโซแนนซ์ในรูปล่างของวงจบริดจ์อินเวอร์เตอร์ ในขณะเดียวกันกระแสที่จ่ายจากแหล่งจ่ายดีซีซัพพลายนับจากไซเกิลที่ 2 เป็นต้นไปนั้นจนถึงไซเกิลที่ 4 จะมีค่าเป็นศูนย์คงที่เสมอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

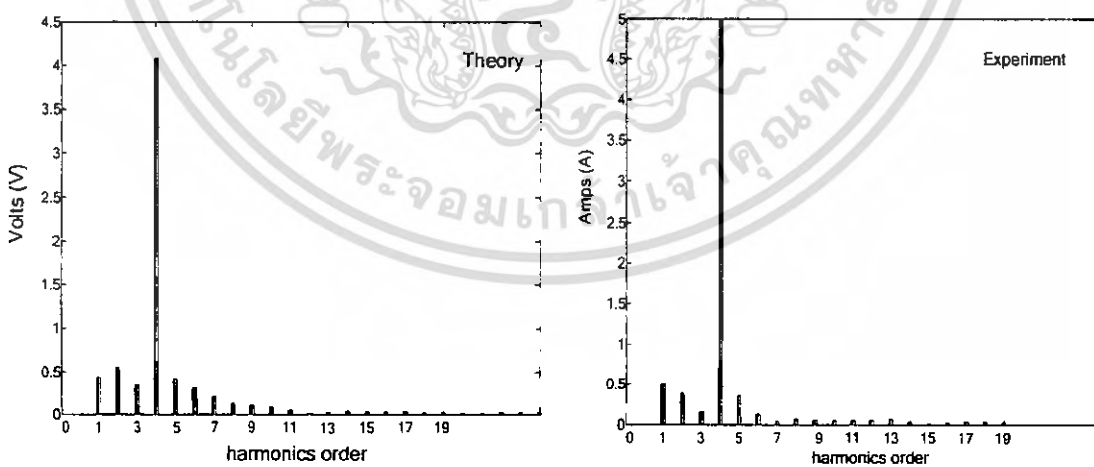
### 4.3.3 การเปรียบเทียบลักษณะคลื่นแรงดัน กระแส แอมป์สเปกตรัมจากการวัดและซิมูเลต (กรณี 1/4)



a) ลักษณะคลื่นแรงดันและกระแสเอาต์พุตที่ได้จากการซิมูเลตและการทดลอง



b) ลักษณะสเปกตรัมของแรงดันเอาต์พุตที่ได้จากการซิมูเลตและการทดลอง



c) ลักษณะสเปกตรัมของกระแสเอาต์พุตที่ได้จากการซิมูเลตและการทดลอง

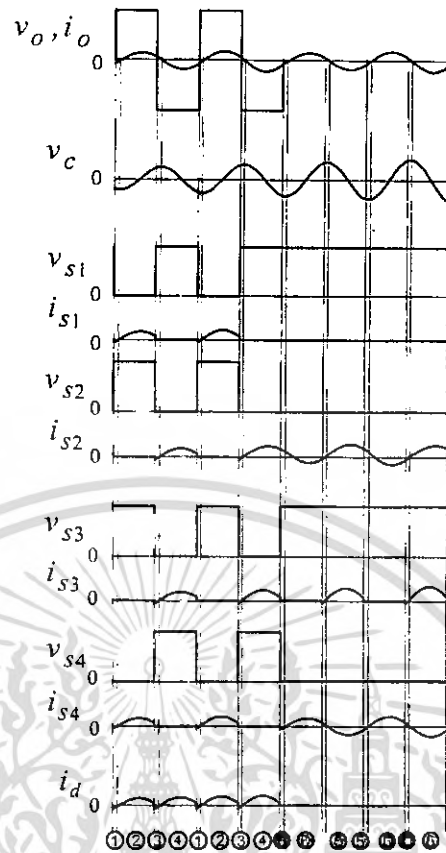
รูปที่ 4.3 ลักษณะคลื่นและสเปกตรัมของแรงดันและกระแสเอาต์พุตที่ได้จากการซิมูเลตและการทดลองสำหรับพัลส์ PDM ในรูปแบบการรวมกลุ่มในกรณี 1/4 ไซเกิลต่อคาบเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.4 หลักการปรับควบคุมจำนวนพัลส์ PDM ในรูปแบบการรวมตัวเป็นกลุ่มสำหรับ กรณี จำนวนไซเกิลต่อคาบเวลา เท่ากับ 2/4

##### 4.4.1 ลักษณะคลื่นแรงดันและกระแสตามจุดต่าง ๆ ในช่วง 1 คาบเวลา (กรณี 2/4)

ในรูปที่ 4.4 ได้แสดงคลื่น  $v_o, i_o$  จำนวนไซเกิลเท่ากับ 2 ไซเกิลจากจำนวนไซเกิล อินพุทที่ป้อนเท่ากับ 4 ไซเกิลและยังได้แสดงให้เห็นลักษณะการจัดแพทเทิร์นของแรงดันและกระแสเอาท์พุท แรงดันและกระแสที่ตัวสวิตช์ทั้ง 4 ( $v_{S_1}, i_{S_1}$ ), ( $v_{S_2}, i_{S_2}$ ), ( $v_{S_3}, i_{S_3}$ ) และ ( $v_{S_4}, i_{S_4}$ ) ตลอดจนลักษณะกระแสที่จ่ายออกจากแหล่งจ่ายดีซีซึ่งพบหลายซึ่งจะเห็นได้ว่าลักษณะคลื่นแรงดันและกระแสที่ตัวสวิตช์แต่ละชุดในจำนวนทั้งหมด 4 ชุดจะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับคลื่นแรงดันและกระแส  $v_o, i_o$  โดยในช่วงโหมด 1 - 4 ซึ่งจะเกิดขึ้นที่ไซเกิลที่ 1 - 4 ชุดแรงดันและกระแส ( $v_{S_1}, i_{S_1}$ ) จะมีลักษณะเหมือนชุดแรงดันและกระแส ( $v_{S_2}, i_{S_2}$ ), ( $v_{S_3}, i_{S_3}$ ) และ ( $v_{S_4}, i_{S_4}$ ) เพียงแต่จะมีลักษณะของเฟสที่ต่างกันโดยที่ชุดแรงดันและกระแส ( $v_{S_1}, i_{S_1}$ ) จะเหมือนกับชุดแรงดันและกระแส ( $v_{S_4}, i_{S_4}$ ) ซึ่งเป็นคู่สวิตช์ที่อยู่เยื้องกันในแต่ละกึ่ง ในทำนองเดียวกันชุดแรงดันและกระแส ( $v_{S_2}, i_{S_2}$ ) จะมีลักษณะเหมือนกับชุดแรงดันและกระแส ( $v_{S_3}, i_{S_3}$ ) ซึ่งเป็นสวิตช์ 2 ตัวที่เหลือในแต่ละกึ่งที่อยู่เยื้องกัน นอกจากนี้ยังจะเห็นได้ว่าลักษณะคลื่นกระแส  $i_d$  ที่จ่ายออกจากแหล่งจ่ายมีลักษณะเป็นคลื่นทิศทางเดียว (unidirectional current) และจะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับกระแสโหลด  $i_o$  โดยจะกลับทิศครึ่งไซเกิลลบของกระแสโหลด  $i_o$  ให้เป็นซีกบวก ในส่วนของโหมด (5, 6, 5) นั้นจะเกิดขึ้นในไซเกิลที่ 5 - 16 ซึ่งจะให้แรงดันเอาท์พุท  $v_o$  เป็นศูนย์ในขณะที่กระแสเอาท์พุท  $i_o$  จะยังคงมีอยู่ในลักษณะคลื่นไซน์โดยผ่านสวิตช์และไดโอดชุดล่างของแต่ละกึ่งในวงจรบริดจ์อินเวอร์เตอร์เช่นเดียวกับในกรณี 1/4 เพียงแต่จะมีขนาดเพิ่มขึ้นเนื่องจากแรงดันเอาท์พุทที่เพิ่มขึ้น โดยที่แรงดันที่ C - resonant ยังคงมีแรงดันปรากฏอย่างต่อเนื่องเช่นเดียวกับในกรณี 1/4 ในลักษณะรูปคลื่นไซน์ซึ่งเกิดจากการทำงานของวงจรเรโซแนนซ์ RLC ในรูปล่างของวงจรบริดจ์ทำให้กระแสสามารถไหลกลับเข้ามาในลักษณะคลื่นไซน์ได้ซึ่งในช่วงขณะนี้สวิตช์คู่บนของวงจรบริดจ์จะ OFF หรือไม่ทำงานและจะมีแรงดันแหล่งจ่าย  $V_{dc}$  ปรากฏระหว่างเทรน-ซอร์สที่สวิตช์ทั้งสอง ในขณะที่คลื่นกระแส  $i_d$  ในช่วงเวลานี้จะมีค่าเป็นศูนย์

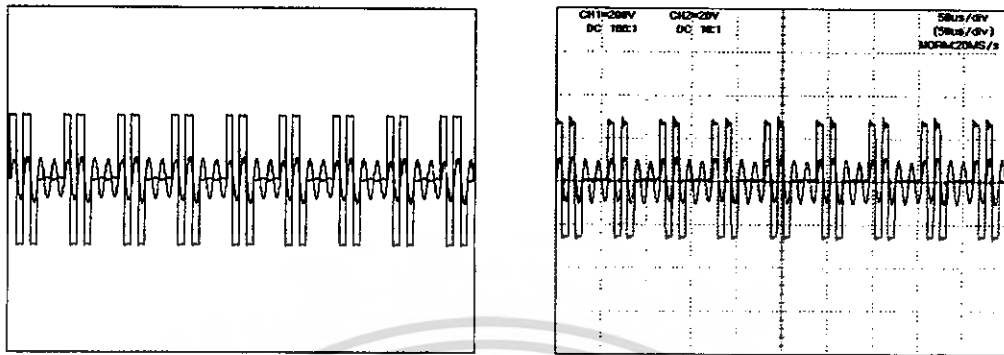


รูปที่ 4.4 ลักษณะคลื่นแรงดันและกระแสตามจุดต่างๆเฉพาะในช่วง 1 คาบเวลา สำหรับพัลส์ PDM ในรูปแบบรวมเป็นกลุ่มในกรณี 2/4 ไซเกิลต่อคาบเวลา

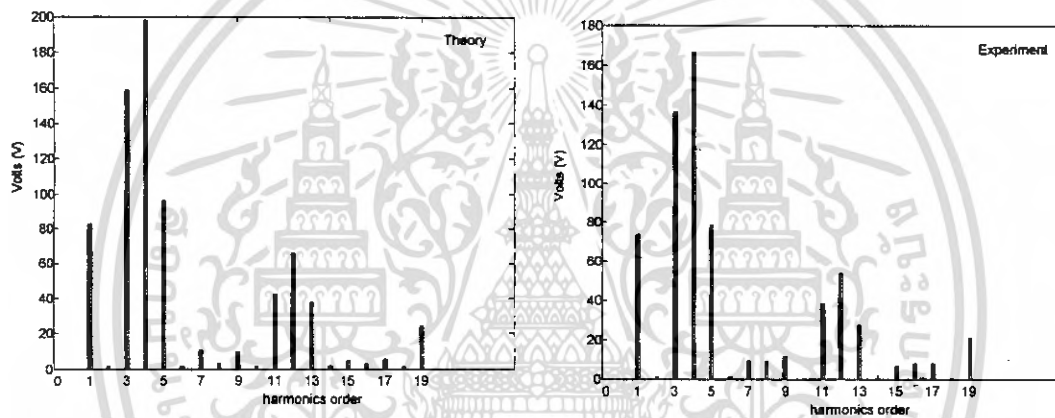
#### 4.4.2 ค่าแรงดันและกระแสตามจุดต่างๆในช่วง 1 คาบเวลา (กรณี 2/4)

จากลักษณะคลื่นแรงดันและกระแสตามจุดต่างๆ ในวงจรบริดจ์อินเวอร์เตอร์ในรูปที่ 4.4 สามารถเขียนสรุปค่าแรงดันและกระแสตามจุดต่างๆในวงจรบริดจ์อินเวอร์เตอร์ เช่น แรงดันและกระแสที่ตัวสวิตช์ทั้ง 4  $(v_{S_1}, i_{S_1})$ ,  $(v_{S_2}, i_{S_2})$ ,  $(v_{S_3}, i_{S_3})$  และ  $(v_{S_4}, i_{S_4})$  ตลอดจนกระแสที่ออกจากแหล่งจ่ายดีซีซัพพลาย  $i_d$  โดยการทำงานในโหมดที่ 1, 2, 3 และ 4 จะเกิดขึ้นในไซเกิลที่ 1-2 ซึ่งที่โหมดนี้จะได้แรงดันคร่อมสวิตช์มีค่าเป็น 0 และ  $V_d$  ในขณะที่กระแสที่ไหลผ่านสวิตช์ทั้ง 4 จะมีค่าเป็น  $i_o$  และ  $-i_o$  สลับกันไปในแต่ละโหมด ส่วนในโหมด 5 และ 6 ซึ่งจะเกิดขึ้นในช่วงไซเกิลที่ 3-4 ซึ่งจะให้แรงดันเอาต์พุตเป็นศูนย์โดยมีแรงดันคร่อมสวิตช์ที่ 2 ตัวบนของวงจรบริดจ์อินเวอร์เตอร์จะมีค่าเป็น  $V_d$  ในขณะที่แรงดันคร่อม สวิตช์ 2 ตัวล่างจะมีค่าเป็นศูนย์ ขณะที่กระแสไหล  $i_o$  จะไหลผ่าน สวิตช์ 2 ตัวล่างเท่านั้น ในขณะที่เดียวกันกระแสที่จ่ายจากแหล่งจ่าย ดีซีซัพพลาย จะมีค่าเป็นศูนย์คงที่เสมอในช่วงไซเกิลที่แรงดันเอาต์พุตมีค่าเป็นศูนย์

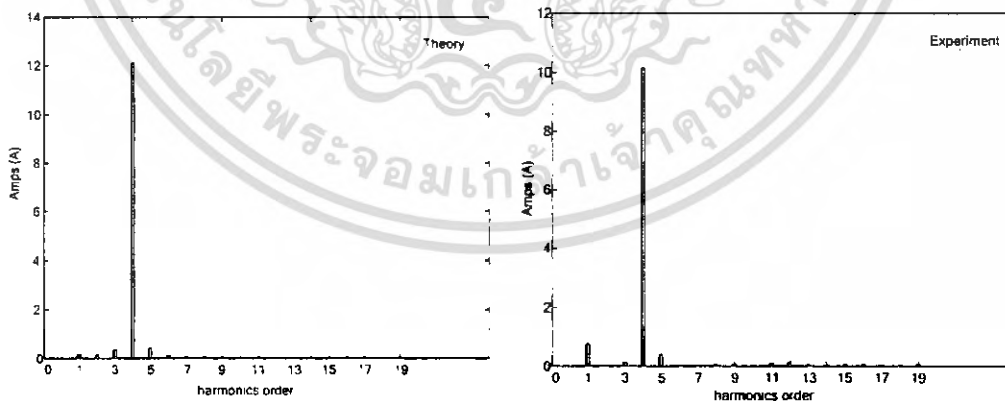
#### 4.4.3 การเปรียบเทียบลักษณะคลื่นแรงดัน กระแส แอมป์สเปกตรัมจากการวัดและซิมูเลต (กรณี 2/4)



a) ลักษณะคลื่นแรงดันและกระแสเอาต์พุตที่ได้จากการซิมูเลตและการทดลอง



b) ลักษณะสเปกตรัมของแรงดันเอาต์พุตที่ได้จากการซิมูเลตและการทดลอง



c) ลักษณะสเปกตรัมของกระแสเอาต์พุตที่ได้จากการซิมูเลตและการทดลอง

รูปที่ 4.5 ลักษณะคลื่นและสเปกตรัมของแรงดันและกระแสเอาต์พุตที่ได้จากการซิมูเลตและการทดลองสำหรับพัลส์ PDM ในรูปแบบการรวมเป็นกลุ่มในกรณี 2/4 ไซเคิลต่อคาบเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

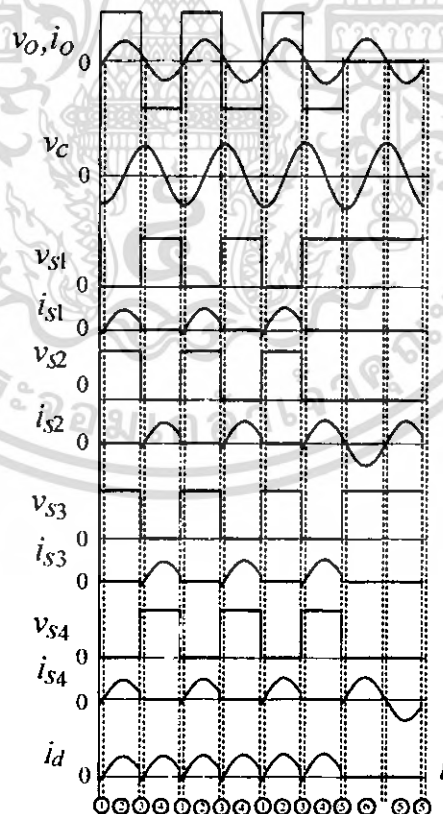
#### 4.5 หลักการปรับควบคุมจำนวนพัลส์ PDM ในรูปแบบการรวมตัวเป็นกลุ่มสำหรับกรณีจำนวนไซเกิลต่อคาบเวลา เท่ากับ 3/4

##### 4.5.1 ลักษณะคลื่นแรงดันและกระแสตามจุดต่างๆในช่วง 1 คาบเวลา (กรณี 3/4)

ในรูปที่ 4.6 ได้แสดงคลื่น  $v_o, i_o$  จำนวนไซเกิลเท่ากับ 3 ไซเกิลจากจำนวนไซเกิลอินพุทที่ป้อนเท่ากับ 4 ไซเกิล โดยแสดงให้เห็นลักษณะการจับแพทเทิร์นของแรงดันและกระแสเอาต์พุท แรงดันและกระแสที่ตัวสวิตช์ทั้ง 4 ( $v_{S_1}, i_{S_1}$ ), ( $v_{S_2}, i_{S_2}$ ), ( $v_{S_3}, i_{S_3}$ ) และ ( $v_{S_4}, i_{S_4}$ ) ตลอดจนลักษณะกระแสที่จ่ายออกจากแหล่งจ่ายดีซีซึ่งพบหลายจากรูปจะเห็นว่า จะมีแรงดันปรากฏที่ไซเกิลที่ 1 - 3 โดยที่ไซเกิลที่อื่นๆที่เหลือแรงดันจะมีค่าเป็นศูนย์ ในขณะที่กระแสไหล  $i_o$  จะมีขนาดมากขึ้นจากกรณี 2/4 เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของจำนวนไซเกิลของแรงดันเอาต์พุท

##### 4.5.2 ค่าแรงดันและกระแสตามจุดต่างๆในช่วง 1 คาบเวลา (กรณี 3/4)

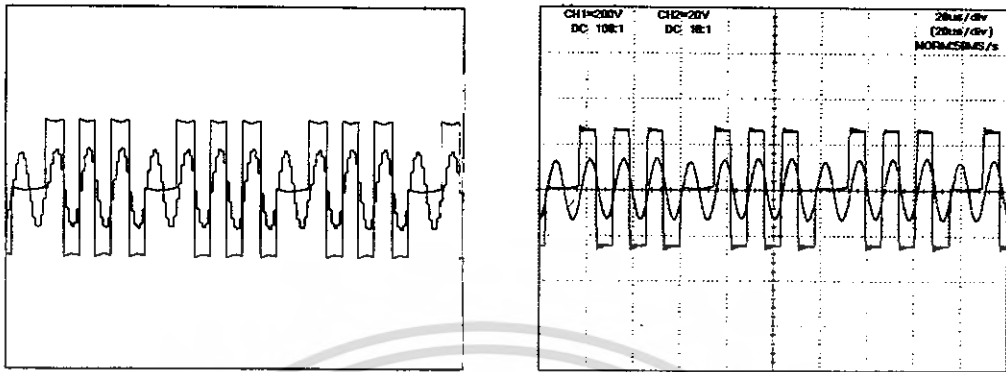
จากลักษณะคลื่นแรงดันและกระแสตามจุดต่างๆในวงจรบริดจ์อินเวอร์เตอร์ในรูปที่ 4.6 สามารถเขียนสรุปค่าแรงดันและกระแสตามจุดต่างๆในวงจรบริดจ์อินเวอร์เตอร์ได้ในลักษณะเดียวกันกับในกรณี 1/4 และ 2/4



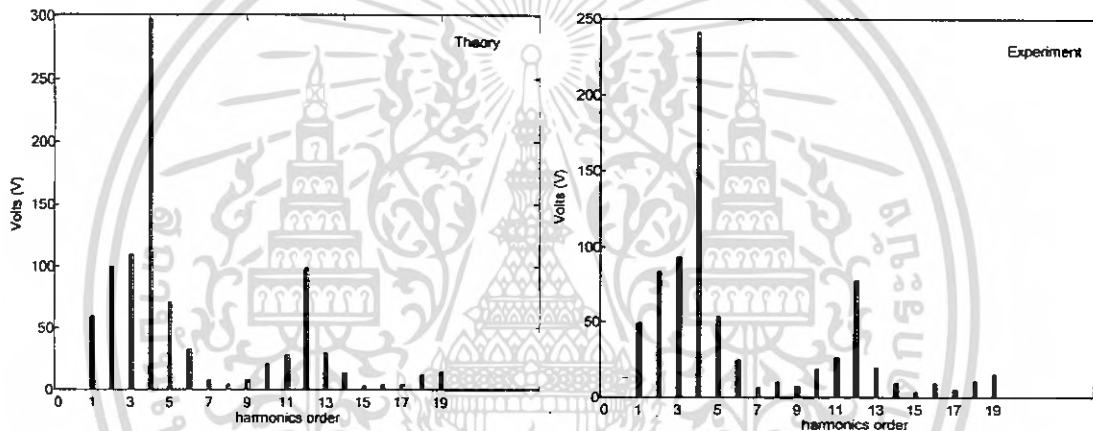
รูปที่ 4.6 ลักษณะคลื่นแรงดันและกระแสตามจุดต่างๆเฉพาะในช่วง 1 คาบเวลา สำหรับพัลส์ PDM ในรูปแบบรวมเป็นกลุ่มในกรณี 3/4 ไซเกิลต่อคาบเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

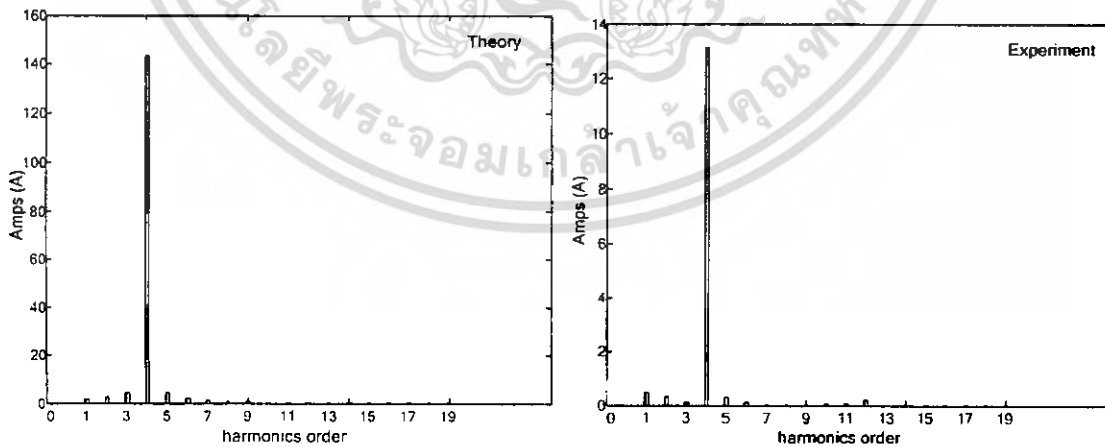
4.5.3 การเปรียบเทียบลักษณะคลื่นแรงดัน กระแส แอมป์สเปกตรัมจาก การวัดและซิมูเลต(กรณี 3/4)



a) ลักษณะคลื่นแรงดันและกระแสเอาท์พุทที่ได้จากการซิมูเลตและการทดลอง



b) ลักษณะสเปกตรัมของแรงดันเอาท์พุทที่ได้จากการซิมูเลตและการทดลอง



c) ลักษณะสเปกตรัมของกระแสเอาท์พุทที่ได้จากการซิมูเลตและการทดลอง

รูปที่ 4.7 ลักษณะคลื่นและสเปกตรัมของแรงดันและกระแสเอาท์พุทที่ได้จากการซิมูเลตและการทดลองสำหรับพัลส์ PDM ในรูปแบบการรวมกลุ่มในกรณี 3/4 ไซเคิลต่อคาบเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

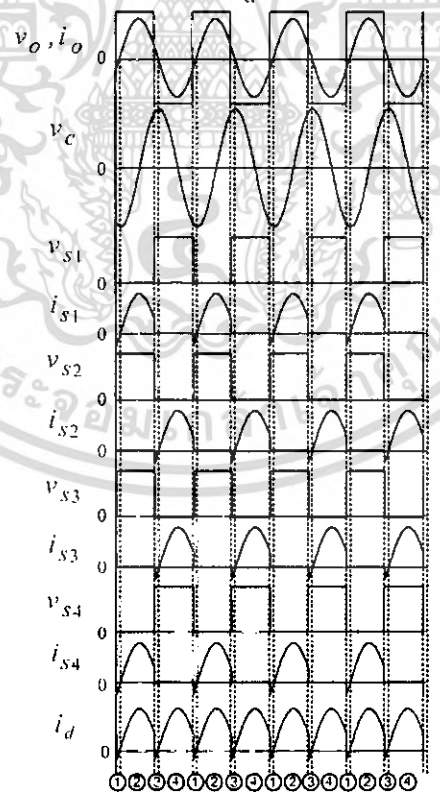
#### 4.6 หลักการปรับควบคุม จำนวนพัลส์ PDM ในรูปแบบการรวมตัวเป็นกลุ่มสำหรับ กรณี จำนวนไซเกิลต่อคาบเวลา เท่ากับ 4/4

##### 4.6.1 ลักษณะคลื่นแรงดันและกระแสตามจุดต่าง ๆ ในช่วง 1 คาบเวลา (กรณี 4/4)

ในรูปที่ 4.8 ได้แสดงคลื่น  $v_o, i_o$  จำนวนไซเกิลเท่ากับ 4 ไซเกิลเต็ม จากรูปแสดงให้เห็นถึงลักษณะการจัดแพทเทิร์นของแรงดันและกระแสเอาต์พุต แรงดันและกระแสที่ตัวสวิตช์ทั้ง 4 ( $v_{S_1}, i_{S_1}$ ), ( $v_{S_2}, i_{S_2}$ ), ( $v_{S_3}, i_{S_3}$ ) และ ( $v_{S_4}, i_{S_4}$ ) ตลอดจนลักษณะกระแสที่จ่ายออกจากแหล่งจ่ายดีซีซัพพลาย จะเห็นได้ว่าในกรณีนี้คลื่นแรงดันเอาต์พุตจะเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องโดยไม่มีการขาดช่วงของแรงดันส่งผลให้กระแสโหลด  $i_o$  มีค่ายอดของกระแสที่สม่ำเสมอและมีค่าสูงสุด ซึ่งต่างจากกรณีอื่น ๆ ที่มีค่ายอดของกระแสที่ไม่สม่ำเสมออันเนื่องมาจากการขาดหายไปของแรงดันในบางไซเกิล

##### 4.6.2 ค่าแรงดันและกระแสตามจุดต่าง ๆ ในช่วง 1 คาบเวลา (กรณี 4/4)

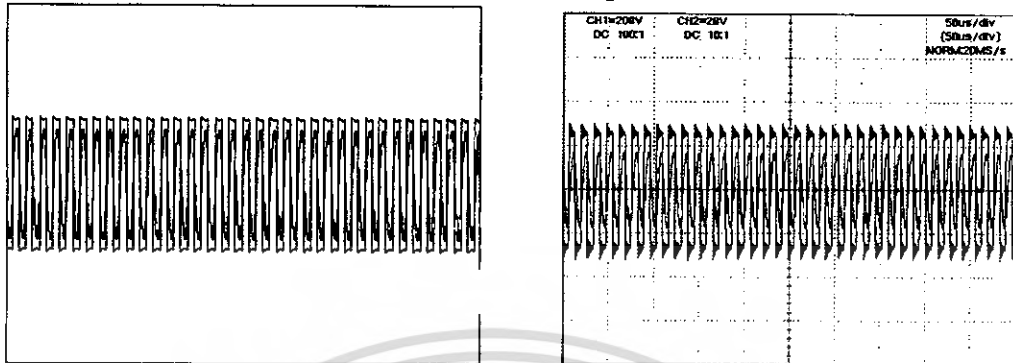
จากลักษณะคลื่นแรงดันและกระแสตามจุดต่าง ๆ ในวงจรบริดจ์อินเวอร์เตอร์ในรูปที่ 4.8 สามารถ เขียนสรุปค่าแรงดันและกระแสตามจุดต่าง ๆ ในวงจรบริดจ์อินเวอร์เตอร์ เช่น แรงดันและกระแสที่ตัวสวิตช์ทั้ง 4 ( $v_{S_1}, i_{S_1}$ ), ( $v_{S_2}, i_{S_2}$ ), ( $v_{S_3}, i_{S_3}$ ) และ ( $v_{S_4}, i_{S_4}$ ) ตลอดจนกระแสที่ออกจากแหล่งจ่ายดีซีซัพพลาย  $i_d$  ได้



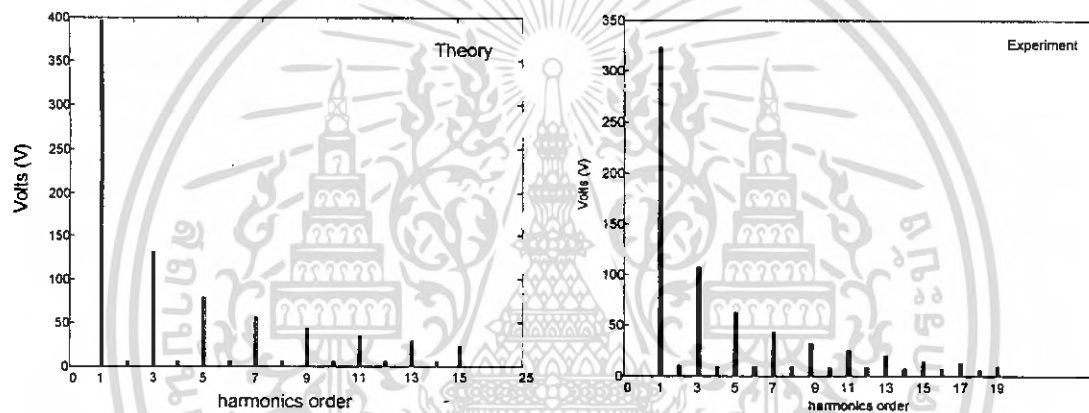
รูปที่ 4.8 ลักษณะคลื่นแรงดันและกระแสตามจุดต่าง ๆ ในช่วง 1 คาบเวลา สำหรับพัลส์ PDM ในรูปแบบรวมเป็นกลุ่มในกรณี 4/4 ไซเกิลต่อคาบเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

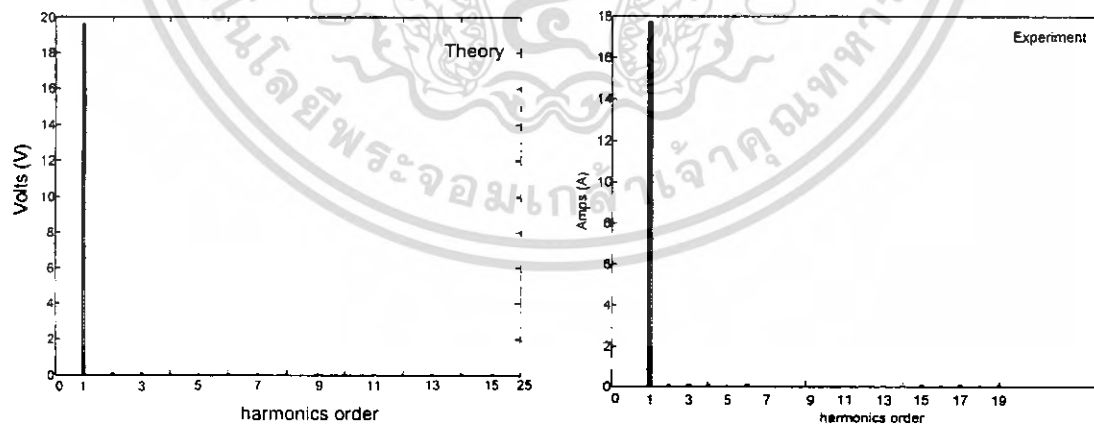
### 4.6.3 การเปรียบเทียบลักษณะคลื่นแรงดัน กระแส แอมป์สเปกตรัม จากการวัดและซิมูเลต (กรณี 4/4)



a) ลักษณะคลื่นแรงดันและกระแสเอาท์พุทที่ได้จากการซิมูเลตและการทดลอง



b) ลักษณะสเปกตรัมของแรงดันเอาท์พุทที่ได้จากการซิมูเลตและการทดลอง

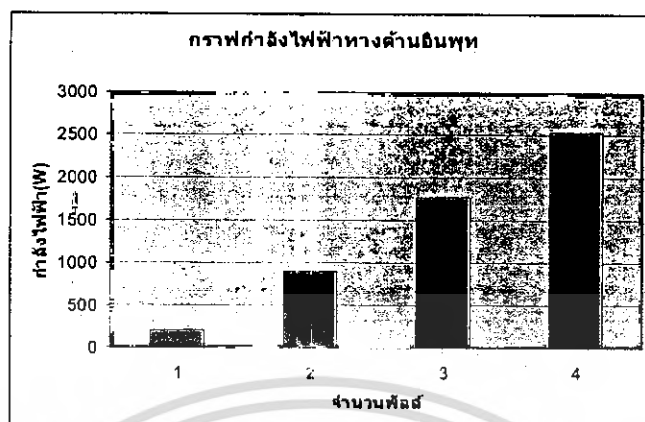


c) ลักษณะสเปกตรัมของกระแสเอาท์พุทที่ได้จากการซิมูเลตและการทดลอง

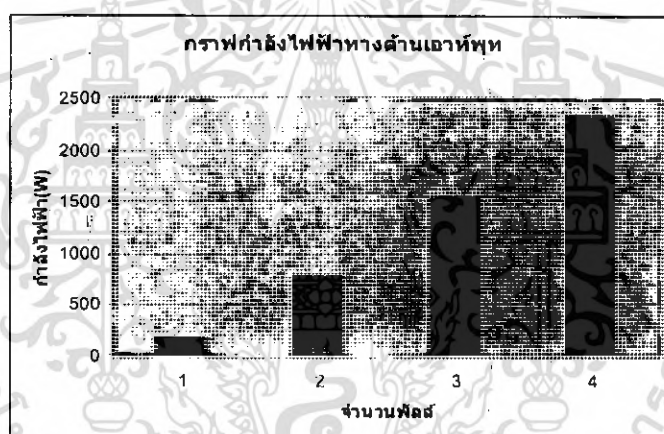
**รูปที่ 4.9** ลักษณะคลื่นและสเปกตรัมของแรงดันและกระแสเอาท์พุทที่ได้จากการซิมูเลตและการทดลองสำหรับพัลส์ PDM ในรูปแบบการรวมเป็นกลุ่มในกรณี 4/4 ซึ่เกิดขึ้นต่อคาบเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

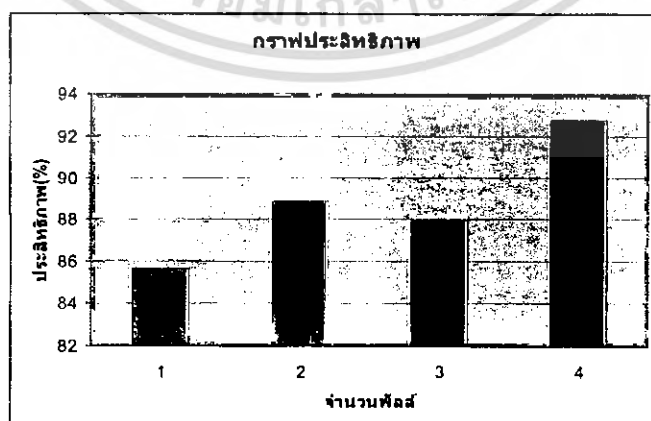
#### 4.7 รูปกราฟแสดงกำลังไฟฟ้าทางด้านอินพุท ทางด้านเอาต์พุท และประสิทธิภาพ



รูปที่ 4.10 กราฟแสดงกำลังไฟฟ้าทางด้านอินพุท



รูปที่ 4.11 กราฟแสดงกำลังไฟฟ้าทางด้านเอาต์พุท



รูปที่ 4.12 กราฟแสดงประสิทธิภาพของเอาต์พุทอินเวอร์เตอร์ที่แต่ละพัลส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

จากผลการคำนวณวิเคราะห์และทดลองเกี่ยวกับอินเวอร์เตอร์ชนิดแหล่งจ่ายแรงดันความถี่สูงเพื่อใช้ในการหลอมโลหะสามารถสรุปประเด็นสำคัญต่างๆได้ดังนี้

1) สามารถเข้าใจหลักการคำนวณค่าความต้านทานสมมูลและค่าความเหนี่ยวนำสมมูลเพื่อใช้เป็นพื้นฐานในการหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆของวงจร เช่น สเปกตรัมแรงดัน กระแส และกำลังไฟฟ้าเอาต์พุตของวงจรอินเวอร์เตอร์เรโซแนนท์ความถี่สูงได้

2) สามารถเข้าใจหลักการทำงานของวงจรเรโซแนนท์อินเวอร์เตอร์ความถี่สูงสำหรับกรณีที่มีการทำงานของวงจรในรูปแบบพัลส์ PDM รูปแบบการรวมตัวเป็นกลุ่ม โดยได้นำผลที่ได้จากการคำนวณเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการทดลองเพื่อเป็นการยืนยันความเข้าใจของการทำงานของวงจรได้อย่างถูกต้อง

3) สามารถคำนวณหาค่ากำลังไฟฟ้าเอาต์พุตของวงจรเรโซแนนท์อินเวอร์เตอร์ความถี่สูง รวมทั้งค่าประสิทธิภาพของวงจรอินเวอร์เตอร์นี้ โดยได้นำผลการคำนวณเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการทดลองซึ่งปรากฏว่าได้ค่าใกล้เคียงกัน โดยที่ประสิทธิภาพสูงสุดอยู่ในเกณฑ์ประมาณ 90% ที่กำลังไฟฟ้าเอาต์พุตขณะหลอมละลายประมาณ 2.5 KW

4) เนื่องจากงานวิจัยนี้วิเคราะห์แต่ทางด้านภาคเอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์เท่านั้นโดยไม่ได้คำนึงถึงผลทางด้านภาคอินพุตเรกติไฟเออร์ ซึ่งจากการทดสอบจะเห็นได้ว่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ทางด้านอินพุตมีค่าที่ต่ำมากรวมทั้งกระแสไฟฟ้านอนอินพุตเรกติไฟเออร์จะมีค่าฮาร์โมนิกส์ที่สูง ซึ่งส่งผลกระทบต่อระบบไฟฟ้าโดยรวม ดังนั้นปัญหานี้จึงเป็นประเด็นที่น่าสนใจในการพิจารณาว่าจะทำอย่างไรในการแก้ไขปรับปรุงเพาเวอร์แฟกเตอร์ตลอดจนฮาร์โมนิกส์ที่เกิดขึ้นในระบบต่อไป

5) เครื่องหลอมเหนี่ยวนำความถี่สูงเครื่องนี้สามารถปรับเปลี่ยนกำลังไฟฟ้าทางด้านเอาต์พุตอินเวอร์เตอร์ได้ตั้งแต่ 180 ถึง 2500 W ที่อินพุตการไฟฟ้า 220 V. 50 Hz

6) เนื่องจากเครื่องหลอมเหนี่ยวนำความถี่สูงเครื่องนี้สามารถปรับจำนวนพัลส์ได้เพียง 4 พัลส์ ซึ่งทำให้ค่ากำลังไฟฟ้าที่ต้องการมีการกระโดดห่างกันมาก ดังนั้นควรมีการสร้างให้มีการปรับจำนวนพัลส์ให้ได้มากกว่านี้ เช่น 8 พัลส์ หรือ 16 พัลส์ จะทำให้การเลือกระดับกำลังไฟฟ้าได้ละเอียดมากยิ่งขึ้น

## บรรณานุกรม

- [1] J. Davies and P. Simpson. **Induction Heating Handbook**. McGraw-Hill:London, 1979.
- [2] M.K.Kazimierczuk , D.Czarkowski. **Resonant Power Converters**. , John Wiley & Sons,Inc.1995.
- [3]. H. Fujita , H. Akagi “ **Pulse-Density-Modulated Power Control of a 4 kW , 450 kHz Voltage-Source Inverter for Induction Melting Applications** ” IEEE Trans. On Industry Applications, Vol. 32, No. 2 , 1996. pp. 279-286.
- [4] อาณัติ ถึงสาคร และ วิริยะ พิเชฐจำเริญ “ **การวิเคราะห์เครื่องหลอมโลหะเหนี่ยวนำ ความถี่สูงโดยอาศัยหลักการควบคุมจำนวนพัลส์** ” การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้าครั้งที่ 25 (EECON-25) คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง 21-22 พฤศจิกายน 2545.
- [5] D.W. Hart. **Introduction to Power Electronic**. Prentic – Hall , 1997.
- [6] P.Viriya, S.Sittichok and K.Matsuse “**Analysys of High Frequency Induction Cooker with Variable Frequency Power Control**” PCC-OSAKA Conf.Rec.,2002.pp.1502-1507.
- [7] อาณัติ ถึงสาคร “**การเปรียบเทียบวิธีการควบคุมความถี่และการควบคุมจำนวนพัลส์ใน เครื่องหลอมโลหะเหนี่ยวนำความถี่สูง**” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าบัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง.2546.



## ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Philips Components—Signetics

Document No.	853-0081
ECN No.	01039
Date of Issue	November 12, 1990
Status	Product Specification
Memory Products	

# 27C64A

## 64K-bit CMOS EPROM (8K × 8)

### DESCRIPTION

Philips Components—Signetics 27C64A CMOS EPROM is a 65,536-bit 5V read only memory organized as 8,192 words of 8 bits each. It employs advanced CMOS circuitry for systems requiring low power, high-performance speeds, and immunity to noise. The 27C64A has a non-multiplexed addressing interface and is configured in the JEDEC standard EPROM pinout.

Quick-pulse programming is employed on plastic devices which may speed up programming by as much as one hundred times. In the absence of quick-pulse programming equipment, the intelligent programming algorithm may be utilized.

The 27C64A is available in windowed Ceramic DIP, the Plastic DIP and the PLCC packages. This device can be programmed with standard EPROM programmers.

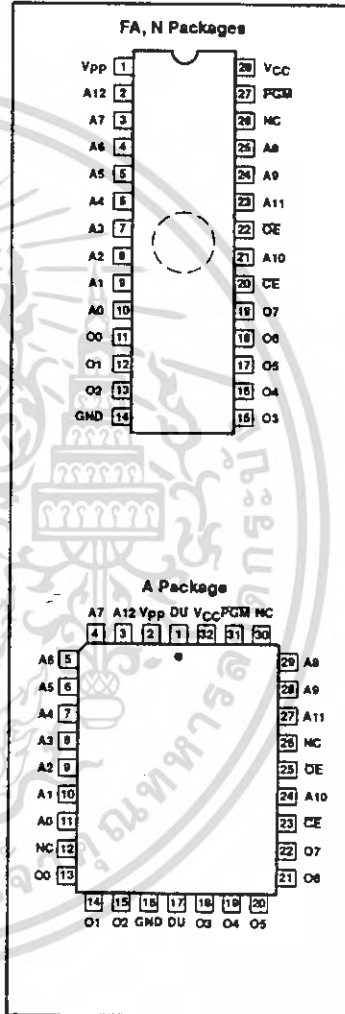
### FEATURES

- Low power consumption
  - 100µA maximum CMOS standby current
- High-performance speed
  - 90ns maximum access time
- Noise immunity features
  - ±10% V<sub>CC</sub> tolerance
  - Maximum latch-up immunity through Epitaxial processing
- Quick-pulse programming algorithm

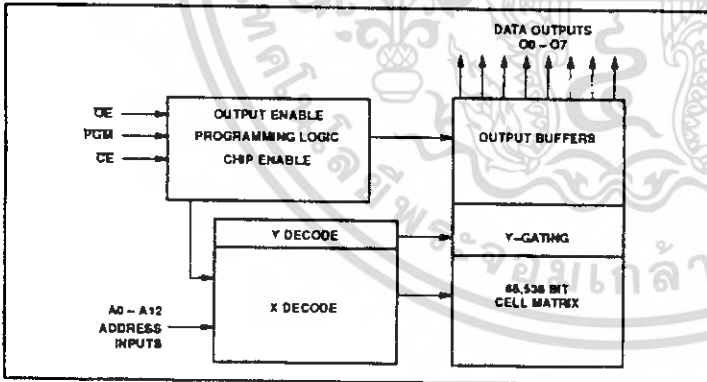
### PIN DESCRIPTION

Pin	Address
A0 - A12	Addresses
O0 - O7	Outputs
OE	Output Enable
CE	Chip Enable
NC	No Connection
GND	Ground
V <sub>pp</sub>	Program voltage
V <sub>CC</sub>	Power supply
DU	Don't Use
PGM	Program strobe

### PIN CONFIGURATIONS



### BLOCK DIAGRAM



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**64K-bit CMOS EPROM (8K × 8)**

**27C64A**

**READ MODE:**

The 27C64A has two control functions, both of which must be logically active in order to obtain data at the outputs. Chip Enable (CE) is the power control and should be used for device selection. Output Enable (OE) is the output control and should be used to gate

data from the output pins. Data is available at the outputs after a delay of  $t_{OE}$  from the falling edge of OE, assuming that CE has been low and addresses have been stable for at least  $t_{ACC} - t_{OE}$

**STANDBY MODE**

The 27C64A has a standby mode which reduces the maximum  $V_{CC}$  current to 100µA. It is placed in the Standby mode when CE is in the High state. When in the Standby mode, the outputs are in a high-impedance state, independent of the OE input.

**ORDERING INFORMATION**

PACKAGE DESCRIPTION	ORDER CODE		
	COMMERCIAL	INDUSTRIAL	AUTOMOTIVE
28-Pin Ceramic Dual In-Line with quartz window 600mil-wide	27C64A-90 FA 27C64A-12 FA 27C64A-15 FA 27C64A-17 FA 27C64A-20 FA	27C64AI12 FA 27C64AI15 FA 27C64AI20 FA	27C64AA12 FA 27C64AA15 FA 27C64AA20 FA
28-Pin Plastic Dual In-Line 600mil-wide	27C64A-90 N 27C64A-12 N 27C64A-15 N 27C64A-17 N 27C64A-20 N	27C64AI12 N 27C64AI15 N 27C64AI20 N	27C64AA12 N 27C64AA15 N 27C64AA20 N
32-Pin Plastic Leaded Chip Carrier 450mil × 550mil	27C64A-90 A 27C64A-12 A 27C64A-15 A 27C64A-17 A 27C64A-20 A	27C64AI12 A 27C64AI15 A 27C64AI20 A	27C64AA12 A 27C64AA15 A 27C64AA20 A

**ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS<sup>1</sup>**

SYMBOL	PARAMETER	RATING	UNIT
$T_{stg}$	Storage temperature range	-65 to +125	°C
$V_I, V_O$	Voltage inputs and outputs	-2.0 to ( $V_{CC} + 1$ )	V
$V_H$	Voltage on A9 <sup>2</sup> (During intelligent identifier interrogation)	-2.0 to +13.5	V
$V_{PP}$	Voltage on $V_{PP}$ (During programming)	-2.0 to +14.0	V
$V_{CC}$	Supply voltage <sup>2</sup>	-2.0 to +7.0	V

**NOTES:**

- Stresses above those listed under "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. This is a stress rating only and functional operation of the device at these or any other conditions above those indicated in the operational sections of this specification is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended periods may affect device reliability.
- All voltages are with respect to network ground.

**DEVICE OPERATION<sup>1</sup>**

MODE	CE	OE	PGM	$V_{PP}$ <sup>2</sup>	OUTPUTS
Read	$V_{IL}$	$V_{IL}$	$V_{IH}$	$V_{CC}$	$O_{OUT}$
Output Disable	$V_{IL}$	$V_{IH}$	$V_{IH}$	$V_{CC}$	Hi-Z
Standby	$V_{IH}$	X <sup>3</sup>	X <sup>3</sup>	$V_{CC}$	Hi-Z

**NOTES:**

- All voltages are with respect to network ground.
- $V_{PP}$  may be one diode voltage drop below  $V_{CC}$ , and can be connected directly to  $V_{CC}$ .
- X can be  $V_{IH}$  or  $V_{IL}$ .

**OPERATING TEMPERATURE RANGE**

PARAMETER	RATING (°C)
Operating temperature range: $T_{amb}$	<b>COMMERCIAL</b> 0 to +70
	<b>INDUSTRIAL</b> -40 to +85
	<b>AUTOMOTIVE</b> -40 to +125

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 64K-bit CMOS EPROM (8K × 8)

27C64A

## DC ELECTRICAL CHARACTERISTICS

Over operating temperature range,  $+4.5V \leq V_{CC} \leq +5.5V$ 

SYMBOL	PARAMETER	TEST CONDITIONS	LIMITS			UNIT
			MIN	TYP <sup>3</sup>	MAX	
<b>Input current</b>						
$I_{IH}$	Leakage	$V_{IN} = 5.5V = V_{CC}$		0.01	1.0	$\mu A$
$I_{IL}$	Low	$V_{IL} = 0.45V$		0.01	-1.0	$\mu A$
$I_{PP}$	$V_{PP}$ read	$V_{PP} = V_{CC}$			10	$\mu A$
<b>Output current</b>						
$I_{CO}$	Leakage	OE or CE = $V_{HI}$ , $V_{OUT} = 5.5V = V_{CC}$	-1.0		1.0	$\mu A$
$I_{OS}$	Short circuit <sup>7,9</sup>	$V_{OUT} = 0V$			100	mA
<b>Supply current</b>						
$I_{CC}$ TTL	Operating (TTL inputs) <sup>4,5</sup>	CE = OE = $V_{L}$ , $f = 11.1MHz$ $V_{PP} = V_{CC}$ , O0 - O7 = 0mA			30	mA
$I_{CC}$ CMOS	Operating (CMOS inputs) <sup>4,6</sup>	CE = GND, $f = 11.1MHz$ Inputs = $V_{CC}$ or GND, IO = 0mA			15	mA
$I_{SB}$ TTL	Standby (TTL inputs) <sup>4</sup>	CE = $V_{HI}$			1.0	mA
$I_{SB}$ CMOS	Standby (CMOS inputs) <sup>5</sup>	CE = $V_{HI}$			100	$\mu A$
<b>Input voltage<sup>2</sup></b>						
$V_{IL}$	Low (TTL)	$V_{PP} = V_{CC}$	-0.5		0.8	V
$V_{IL}$	Low (CMOS)	$V_{PP} = V_{CC}$	-0.2		0.2	V
$V_{IH}$	High (TTL)	$V_{PP} = V_{CC}$	2.0		$V_{CC} + 0.5$	V
$V_{IH}$	High (CMOS)	$V_{PP} = V_{CC}$	$V_{CC} - 0.2$		$V_{CC} + 0.2$	V
$V_{PP}$	Read <sup>8</sup>	(Operating)	$V_{CC} - 0.7$		$V_{CC}$	V
<b>Output voltage<sup>2</sup></b>						
$V_{OL}$	Low	$I_{OL} = 2.1mA$			0.45	V
$V_{OH}$	High	$I_{OH} = -2.5mA$	3.5			V
<b>Capacitance<sup>9</sup> <math>T_{amb} = 25^{\circ}C</math></b>						
$C_{IN}$	Address and control	$V_{CC} = 5.0V$ , $f = 10MHz$			6	pF
$C_{OUT}$	Outputs	$V_{IN} = 0V$ , $V_{OUT} = 0V$			12	pF

## NOTES:

1. Minimum DC input voltage is -0.5V. During transitions the inputs may undershoot to -2.0V for periods less than 20ns
2. All voltages are with respect to network ground.
3. Typical limits are at  $V_{CC} = 5V$ ,  $T_{amb} = 25^{\circ}C$ .
4. TTL inputs: Spec  $V_{L}$ ,  $V_{H}$  levels.  
CMOS inputs: GND  $\pm 0.2V$  to  $V_{CC} \pm 0.2V$ .
5. CE is  $V_{CC} \pm 0.2V$ . All other inputs can have any value within spec
6. Maximum active power usage is the sum of  $I_{PP} + I_{CC}$  and is measured at a frequency of 11.1MHz.
7. Test one output at a time, duration should not exceed 1 second.
8.  $V_{PP}$  may be one diode voltage drop below  $V_{CC}$ , and can be connected directly to  $V_{CC}$
9. Guaranteed by design, not 100% tested.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

64K-bit CMOS EPROM (8K × 8)

27C64A

AC ELECTRICAL CHARACTERISTICS

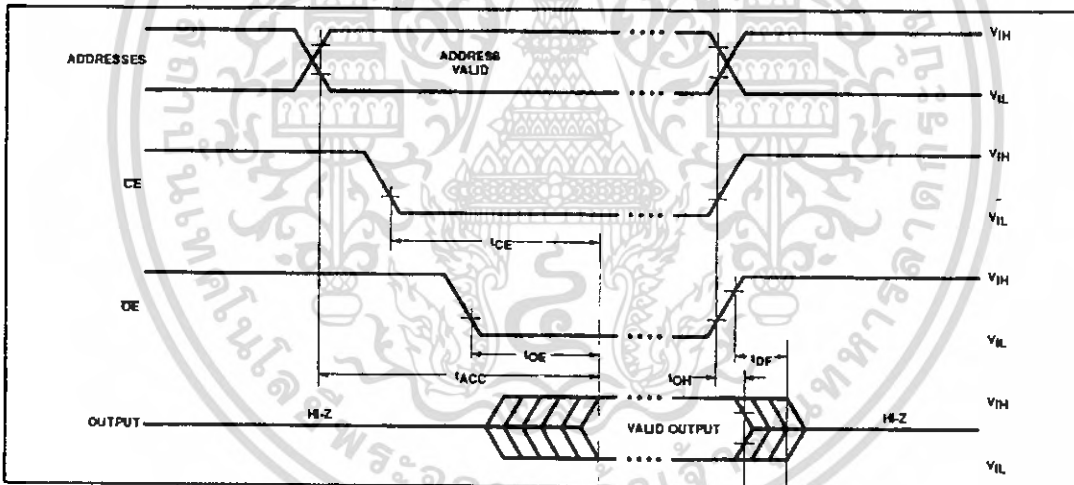
Over operating temperature range, +4.5V ≤ V<sub>CC</sub> ≤ +5.5V, R<sub>L</sub> = 660Ω, C<sub>L</sub> = 100pF<sup>4</sup>

SYMBOL	TO	FROM	27C64A-90		27C64A-12 27C64A112 27C64AA12		27C64A-15 27C64A115 27C64AA15		27C64A-17		27C64A-20 27C64A120 27C64AA20		UNIT
			MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	
<b>Access time<sup>1</sup></b>													
t <sub>ACC</sub>	Output	Address		90		120		150		170		200	ns
t <sub>CE</sub>	Output	CE		90		120		150		170		200	ns
t <sub>OE</sub> <sup>3</sup>	Output	OE		40		60		65		70		75	ns
<b>Disable time<sup>2</sup></b>													
t <sub>DF</sub>	Output Hi-Z	OE		25		30		45		50		55	ns
t <sub>OH</sub>	Output hold	Address, CE or OE	0		0		0		0		0		ns

NOTES:

1. AC characteristics are tested at V<sub>IH</sub> = 2.4V and V<sub>IL</sub> = 0.45V. Timing measurements made at V<sub>OL</sub> = 0.8V and V<sub>OH</sub> = 2.0V.
2. Guaranteed by design, not 100% tested.
3. OE may be delayed up to t<sub>CE</sub> - t<sub>OE</sub> after the falling edge of CE without impact on t<sub>CE</sub>.
4. For 90ns part, C<sub>L</sub> = 30pF.

AC VOLTAGE WAVEFORMS



AC TESTING LOAD CIRCUIT

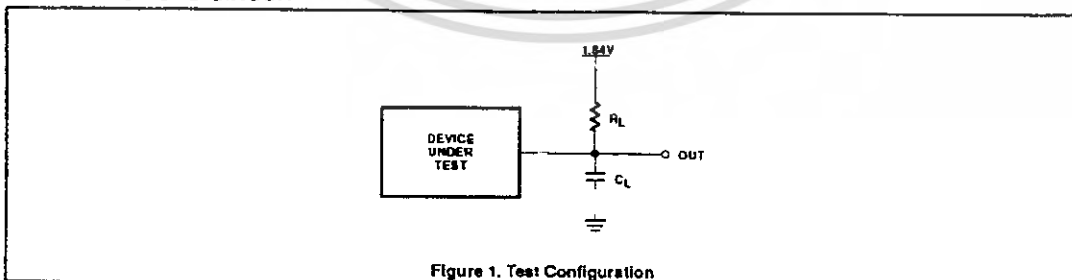


Figure 1. Test Configuration

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**64K-bit CMOS EPROM (8K × 8)****27C64A****PROGRAMMING INFORMATION**

Complete programming system specifications for both the intelligent programming method and for the quick-pulse programming method are available upon request from Signetics Memory Marketing.

Signetics encourages the purchase of programming equipment from a manufacturer who has a full line of programming products to offer. Signetics also encourages the manufacturers of EPROM programming equipment to submit their equipment for verification of electrical parameters and programming procedures. Information on manufacturers offering equipment certified by Signetics is available upon request from Signetics.

**PROGRAMMING THE 27C64A**

**Caution:** Exceeding 14.0V on  $V_{PP}$  pin may permanently damage the 27C64A.

Initially, all bits of the 27C64A are in the "1" state. Data is introduced by selectively programming "0"s into the desired bit locations. Although only "0"s will be programmed, both "1"s and "0"s can be present in the data word.

The data to be programmed is applied 8 bits in parallel to the data output pins. The levels required for the address and data inputs are standard TTL logic levels.

**QUICK-PULSE PROGRAMMING ALGORITHM**

Signetics plastic EPROMs can be programmed using the quick-pulse programming algorithm to substantially reduce the through-put time in the production environment. This algorithm typically allows plastic devices to be programmed in under four seconds, a significant improvement over previous algorithms. Actual programming time is a function of the EPROM programming equipment being used.

The quick-pulse programming algorithm uses initial pulses of 100 $\mu$ s followed by a byte verification to determine when the address byte has been successfully programmed. Up to 28 100 $\mu$ s pulses per byte are provided before a failure is recognized (refer to the following pages for algorithm specifications).

**ERASURE CHARACTERISTICS**

The erasure characteristics of the 27C64A are such that erasure begins to occur upon exposure to light with wavelengths shorter than approximately 4000 Angstroms ( $\text{\AA}$ ). It should be noted that sunlight and certain types of fluorescent lamps have wavelengths in the 3000 - 4000  $\text{\AA}$  range. Data shows that constant exposure to room level fluorescent lighting could erase the typical 27C64A in approximately three years, while it would take approximately one week to cause erasure when exposed to direct sunlight. If the 27C64A is to be exposed to these types of lighting conditions for extended periods of time, opaque labels should be placed over the window to prevent unintentional erasure.

The recommended erasure procedure for the 27C64A is exposure to shortwave ultraviolet light which has a wavelength of 2537 Angstroms ( $\text{\AA}$ ). The integrated dose (i.e., UV intensity  $\times$  exposure time) for erasure should be minimum of 15Wsec/cm<sup>2</sup>. The erasure time with this dosage is approximately 15 to 20 minutes using an ultraviolet lamp with a 12,000 $\mu$ W/cm<sup>2</sup> power rating. The 27C64A should be placed within one inch of the lamp tubes during erasure. The maximum integrated dose a 27C64A can be exposed to without damage is 7258Wsec/cm<sup>2</sup> (1 week @ 12000 $\mu$ W/cm<sup>2</sup>). Exposure of these CMOS EPROMs to high intensity UV light for longer periods may cause permanent damage.

**INTELLIGENT PROGRAMMING ALGORITHM**

The 27C64A intelligent programming algorithms rapidly program CMOS EPROMs using an efficient and reliable method particularly suited to the production programming environment. Actual programming times may vary due to differences in programming equipment.

The intelligent identifier also provides the reading out of a binary code from an EPROM that will identify its manufacturer and type. This is intended for use by programming equipment for the purpose of automatically matching the device to be programmed with its corresponding programming algorithm. This mode is functional in the 25°  $\pm$  5°C ambient temperature range that is required when programming the 27C64A. To activate this mode, the programming equipment must force 11.5V to 12.5V on address A9 of the 27C64A. Two bytes may then be read from the device outputs by toggling address line A0 from  $V_{IL}$  to  $V_{IH}$ . The CE, OE and all other address lines must be at  $V_{IL}$  during interrogation.

The identifier information for Signetics 27C64A is as follows:

When A0 = $V_{IL}$ data is "Manufacturer"	15 <sub>(H)EX1</sub>
When A0 = $V_{IH}$ data is "Product"	0B <sub>(H)EX1</sub>

Programming reliability is also ensured as the incremental program margin of each byte is continually monitored to determine when it has been successfully programmed. The programming algorithm utilizes two different pulse types: initial and overprogram. The duration of the initial PGM pulse(s) is 1ms, which is then followed by a longer overprogram pulse of 3Xms. X is an iteration counter and is equal to the number of the initial 1ms pulses applied to a particular location before a correct verify occurs. Up to 25 1ms pulses per byte are provided for before the overprogram pulse is applied.

When the intelligent programming cycle has been completed, all bytes should be compared to the original data source with  $V_{CC} = 5.0V$  (refer to the following pages for algorithm specifications).

**CMOS NOISE CHARACTERISTICS**

Special epitaxial processing techniques have enabled Signetics to build CMOS with features that add to system reliability. These include input/output protection to latch-up for stresses up to 100mA on Address and Data pins that range from -1V to ( $V_{CC} + 1V$ ). In addition, the  $V_{PP}$  (Programming) pin is designed to resist latch-up to the 14V maximum device limit.

**SIGNETICS DISCOURAGES THE CONSTRUCTION AND USE OF "HOMEMADE" PROGRAMMING EQUIPMENT**

In order to consistently achieve excellent programming yields, periodic calibration of the programming equipment is required. Consult the equipment manufacturer for the recommended calibration interval. Signetics warranty for programmability extends only to product that has been programmed on certified equipment that has been serviced to the manufacturer's recommendation.

## 64K-bit CMOS EPROM (8K × 8)

27C64A

## INTELLIGENT PROGRAMMING ALGORITHM

## DC PROGRAMMING CHARACTERISTICS

 $T_{amb} = 25^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ ,  $V_{CC} = 6.0\text{V} \pm 0.25\text{V}$ ,  $V_{PP} = 12.5\text{V} \pm 0.5\text{V}$ 

SYMBOL	PARAMETER	TEST CONDITIONS	LIMITS		UNIT
			MIN	MAX	
$I_I$	Input current (all inputs)	$V_{IN} = V_{IL}$ or $V_{IH}$		1.0	$\mu\text{A}$
$V_{IL}$	Input low level (all inputs)		-0.1	0.8	V
$V_{IH}$	Input high level		2.4	6.5	V
$V_{OL}$	Output low voltage during verify	$I_{OL} = 2.1\text{mA}$		0.45	V
$V_{OH}$	Output high voltage during verify	$I_{OH} = -2.5\text{mA}$	3.5		V
$I_{CC2}$	$V_{CC}$ supply current	OO - 15 = 0mA		50	mA
$I_{PP2}$	$V_{PP}$ supply current (program)	$\overline{CE} = V_{IL}$		50	mA

## AC PROGRAMMING CHARACTERISTICS

SYMBOL	PARAMETER	TEST CONDITIONS	LIMITS			UNIT
			MIN	TYP	MAX	
$t_{AS}$	Address setup time		2			$\mu\text{s}$
$t_{OES}$	$\overline{OE}$ setup time		2			$\mu\text{s}$
$t_{DS}$	Data setup time		2			$\mu\text{s}$
$t_{AH}$	Address hold time		0			$\mu\text{s}$
$t_{DH}$	Data hold time		2			$\mu\text{s}$
$t_{OFP}^2$	$\overline{OE}$ high to output float delay		0		130	ns
$t_{VPS}$	$V_{PP}$ setup time		2			$\mu\text{s}$
$t_{VCS}$	$V_{CC}$ setup time		2			$\mu\text{s}$
$t_{CES}$	$\overline{CE}$ setup time		2			$\mu\text{s}$
$t_{OPW}$	$\overline{CE}$ initial program pulse width	Note 1	0.95	1.0	1.05	ms
$t_{OPW}$	$\overline{CE}$ overprogram pulse width	Note 2	2.85		78.75	ms
$t_{OE}$	Data valid from $\overline{OE}$				150	$\mu\text{s}$

## AC CONDITIONS OF TEST

Input Rise and Fall Times (10% to 90%)

Input Pulse Levels

Input Timing Reference Level

Output Timing Reference Level

20ns

0.45V to 2.4V

0.8V and 2.0V

0.8V and 2.0V

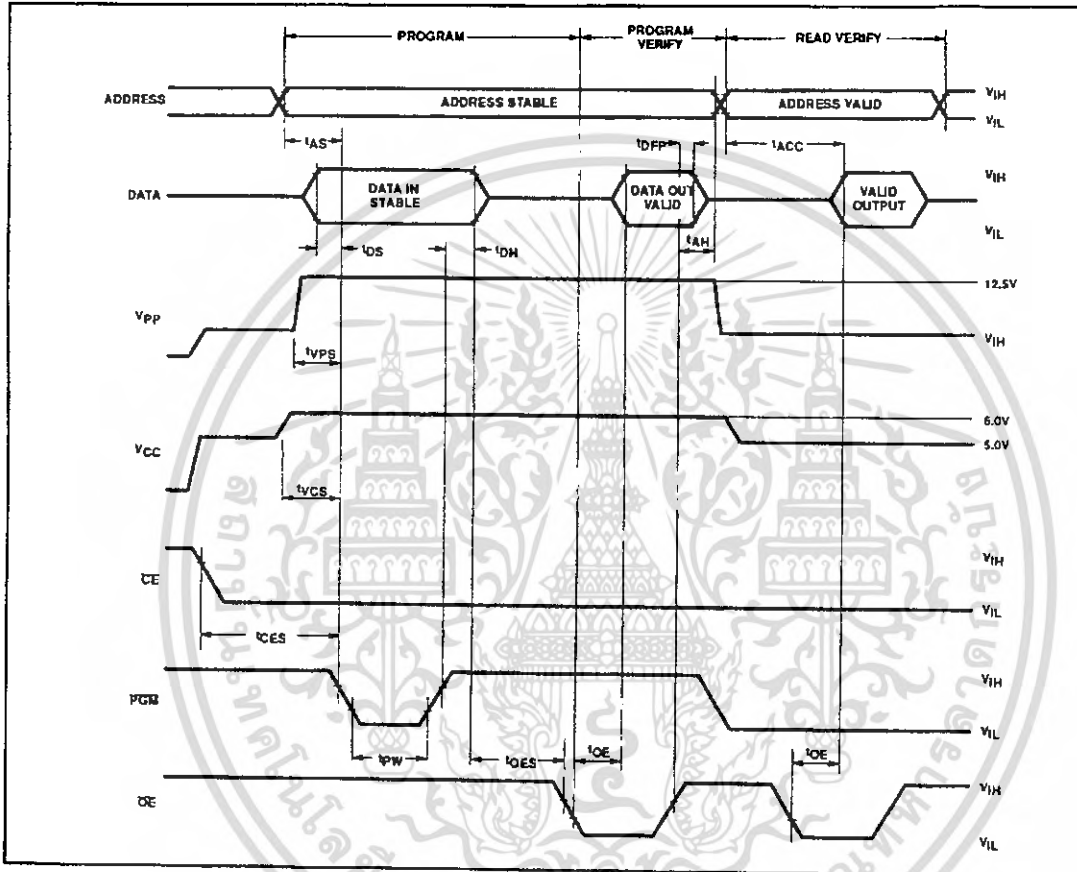
## NOTES:

1. Initial program pulse width tolerance is  $1\text{ms} \pm 5\%$ .
2. The length of the overprogram pulse may vary from 2.85msec to 78.75msec as a function of iteration counter value X.
3. The parameter is only sampled and is not 100% tested. Output Float is defined as the point where data is no longer driven - see timing diagram.
4. During programming, a 0.1 $\mu\text{f}$  capacitor is required from  $V_{PP}$  to GND node, to suppress voltage transients that can damage the device.

64K-bit CMOS EPROM (8K × 8)

27C64A

INTELLIGENT PROGRAMMING ALGORITHM WAVEFORMS

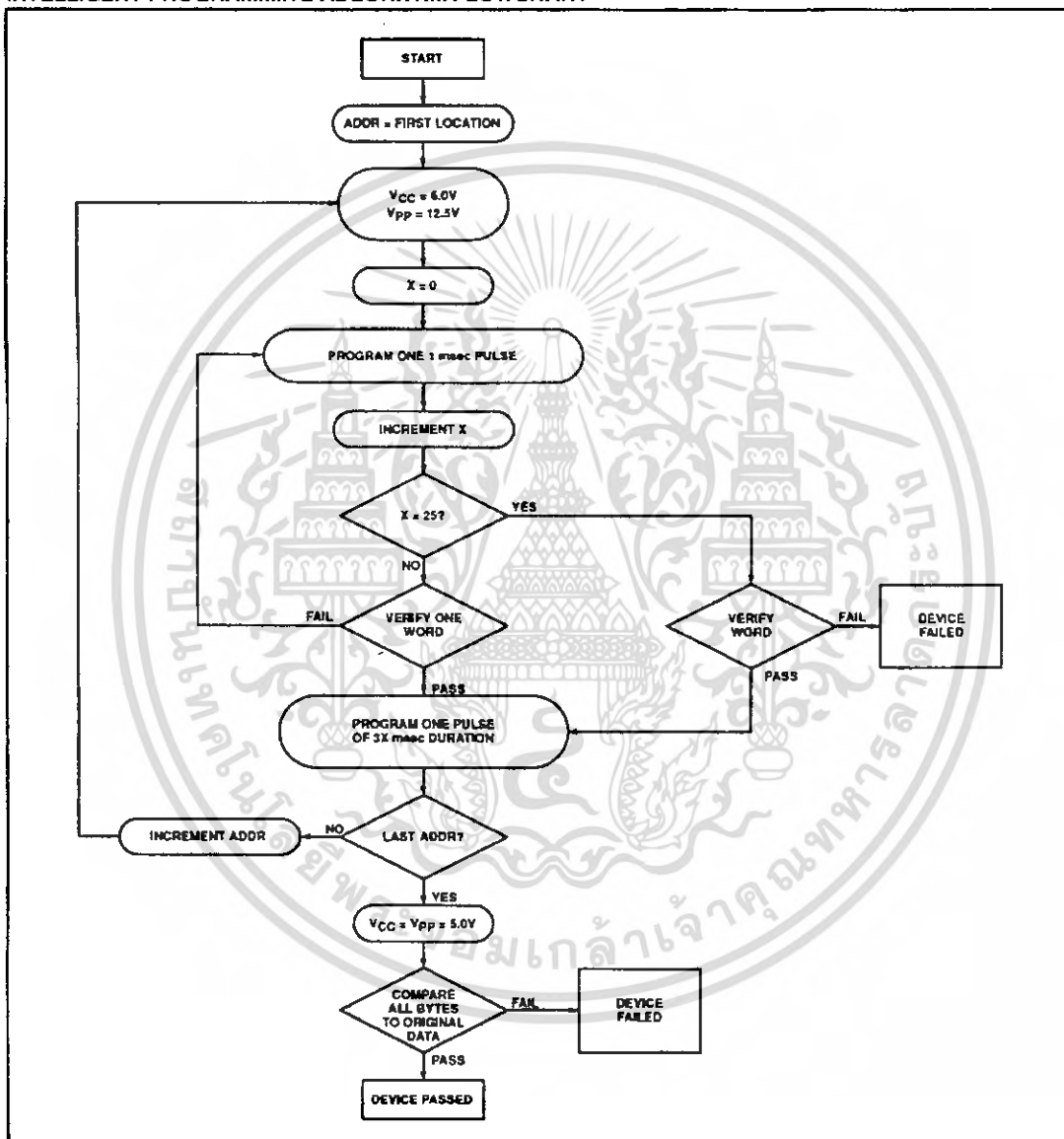


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

64K-bit CMOS EPROM (8K × 8)

27C64A

INTELLIGENT PROGRAMMING ALGORITHM FLOWCHART



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 64K-bit CMOS EPROM (8K × 8)

27C64A

## QUICK PULSE PROGRAMMING ALGORITHM

## DC PROGRAMMING CHARACTERISTICS

 $T_{amb} = 25^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ ,  $V_{CC} = 6.25\text{V} \pm 0.25\text{V}$ ,  $V_{PP} = 12.75\text{V} \pm 0.25\text{V}$ 

SYMBOL	PARAMETER	TEST CONDITIONS	LIMITS		UNIT
			MIN	MAX	
$I_i$	Input current (all inputs)	$V_{IN} = V_{IL}$ or $V_{IH}$		1.0	$\mu\text{A}$
$V_{IL}$	Input low level (all inputs)		-0.1	0.8	V
$V_{IH}$	Input high level		2.4	6.5	V
$V_{OL}$	Output low voltage during verify	$I_{OL} = 2\text{ mA}$		0.45	V
$V_{OH}$	Output high voltage during verify	$I_{OH} = -2.5\text{ mA}$	3.5		V
$I_{CC2}$	$V_{CC}$ supply current	$CE = 15 = 0\text{ mA}$		50	mA
$I_{PP2}$	$V_{PP}$ supply current (program)	$CE = V_{IL}$		50	mA
$V_{PP}$	Programming voltage		12.5	13.0	V

## AC PROGRAMMING CHARACTERISTICS

SYMBOL	PARAMETER	TEST CONDITIONS	LIMITS			UNIT
			MIN	TYP	MAX	
$t_{AS}$	Address setup time		2			$\mu\text{s}$
$t_{OES}$	OE setup time		2			$\mu\text{s}$
$t_{DS}$	Data setup time		2			$\mu\text{s}$
$t_{AH}$	Address hold time		0			$\mu\text{s}$
$t_{DH}$	Data hold time		2			$\mu\text{s}$
$t_{DFP}^3$	OE high to output float delay		0		130	ns
$t_{VPS}$	$V_{PP}$ setup time		2			$\mu\text{s}$
$t_{VCS}$	$V_{CC}$ setup time		2			$\mu\text{s}$
$t_{PW}$	CE initial program pulse width	Note 1	0.095	0.100	0.105	ms
$t_{OPW}$	CE overprogram pulse width	Note 2	2.85		78.8	ms
$t_{QE}$	Data valid from OE				150	$\mu\text{s}$

## AC CONDITIONS OF TEST

Input Rise and Fall Times (10% to 90%)

20ns

Input Pulse Levels

0.45V to 2.4V

Input Timing Reference Level

0.8V and 2.0V

Output Timing Reference Level

0.8V and 2.0V

## NOTES:

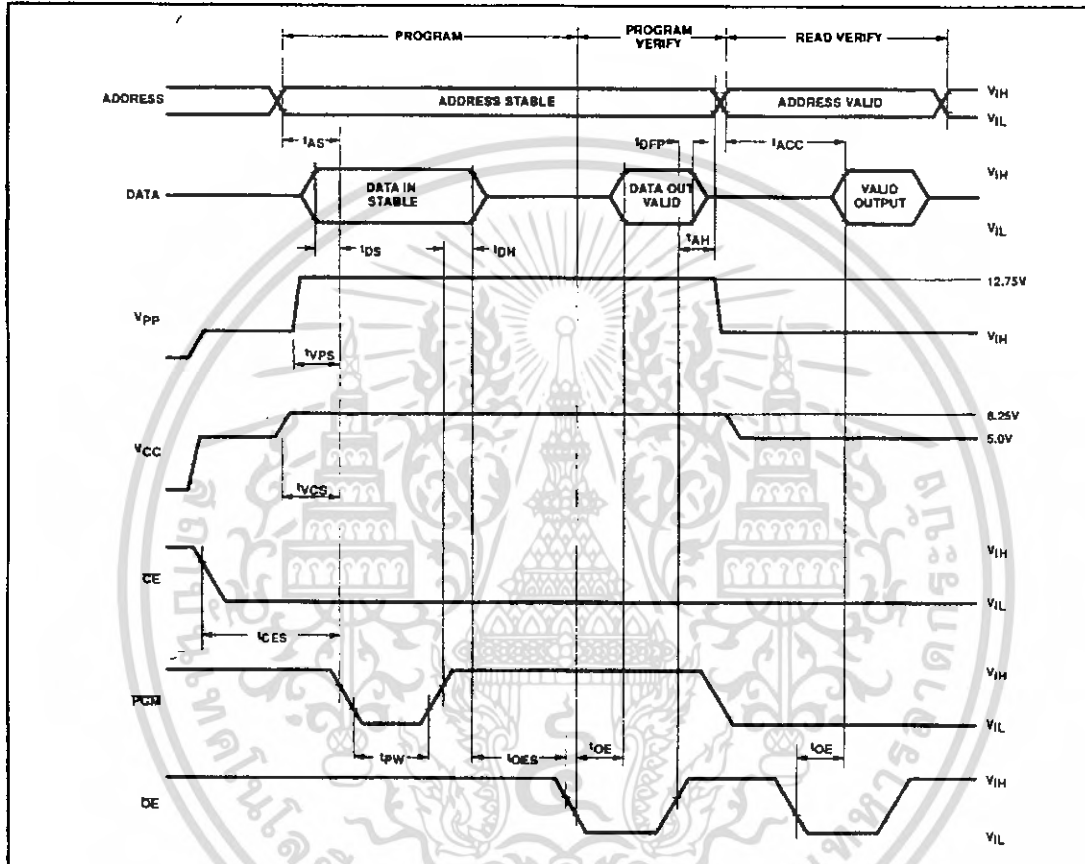
- Initial program pulse width tolerance is  $1\text{ ms} \pm 5\%$ .
- The length of the overprogram pulse may vary from 2.85msec to 78.75msec as a function of iteration counter value X.
- The parameter is only sampled and is not 100% tested. Output Float is defined as the point where data is no longer driven – see timing diagram.
- During programming, a 0.1 $\mu\text{F}$  capacitor is required from  $V_{PP}$  to GND node, to suppress voltage transients that can damage the device.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

64K-bit CMOS EPROM (8K × 8)

27C64A

QUICK PULSE PROGRAMMING ALGORITHM WAVEFORMS

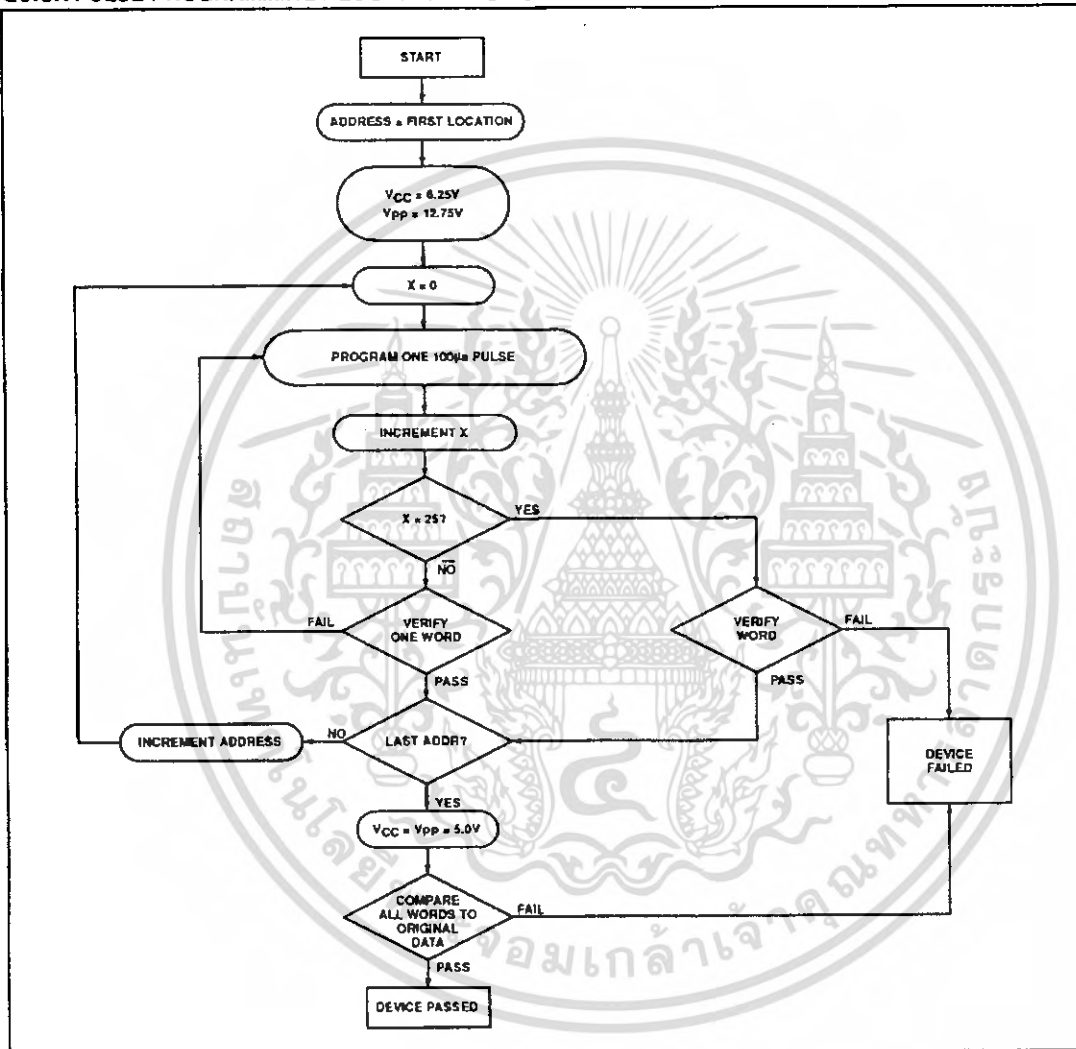


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

64K-bit CMOS EPROM (8K × 8)

27C64A

QUICK PULSE PROGRAMMING ALGORITHM FLOWCHART



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This datasheet has been download from:

[www.datasheetcatalog.com](http://www.datasheetcatalog.com)

Datasheets for electronics components.

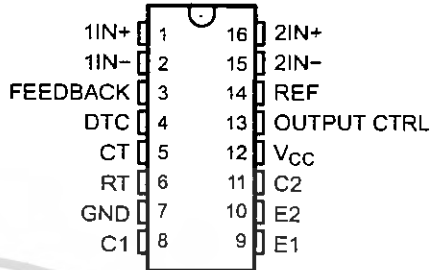


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**FEATURES**

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

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



**DESCRIPTION**

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

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

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

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

The TL494C is characterized for operation from  $0^{\circ}\text{C}$  to  $70^{\circ}\text{C}$ . The TL494I is characterized for operation from  $-40^{\circ}\text{C}$  to  $85^{\circ}\text{C}$ .

**AVAILABLE OPTIONS**

T <sub>A</sub>	PACKAGED DEVICES <sup>(1)</sup>				
	SMALL OUTLINE (D)	PLASTIC DIP (N)	SMALL OUTLINE (NS)	SHRINK SMALL OUTLINE (DB)	THIN SHRINK SMALL OUTLINE (PW)
$0^{\circ}\text{C}$ to $70^{\circ}\text{C}$	TL494CD	TL494CN	TL494CNS	TL494CDB	TL494CPW
$-40^{\circ}\text{C}$ to $85^{\circ}\text{C}$	TL494ID	TL494IN	—	—	—

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



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

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

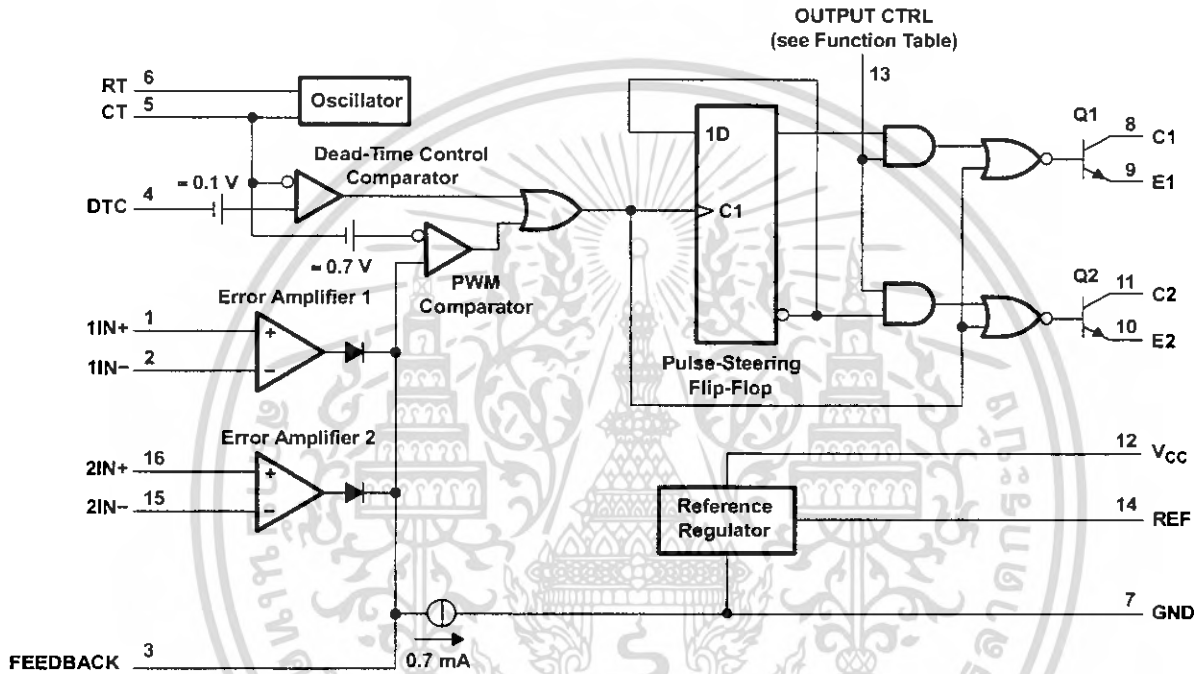
Copyright © 1983–2005, Texas Instruments Incorporated

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FUNCTION TABLE

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

FUNCTIONAL BLOCK DIAGRAM



### Absolute Maximum Ratings<sup>(1)</sup>

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

		MIN	MAX	UNIT
V <sub>CC</sub>	Supply voltage <sup>(2)</sup>		41	V
V <sub>I</sub>	Amplifier input voltage		V <sub>CC</sub> + 0.3	V
V <sub>O</sub>	Collector output voltage		41	V
I <sub>O</sub>	Collector output current		250	mA
θ <sub>JA</sub>	Package thermal impedance <sup>(3)(4)</sup>	D package	73	°C/W
		DB package	82	
		N package	67	
		NS package	64	
		PW package	108	
Lead temperature 1.6 mm (1/16 inch) from case for 10 seconds			260	°C
T <sub>stg</sub>	Storage temperature range	-65	150	°C

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

### Recommended Operating Conditions

		MIN	MAX	UNIT	
V <sub>CC</sub>	Supply voltage	7	40	V	
V <sub>I</sub>	Amplifier input voltage	-0.3	V <sub>CC</sub> - 2	V	
V <sub>O</sub>	Collector output voltage		40	V	
	Collector output current (each transistor)		200	mA	
	Current into feedback terminal		0.3	mA	
f <sub>osc</sub>	Oscillator frequency	1	300	kHz	
C <sub>T</sub>	Timing capacitor	0.47	10000	nF	
R <sub>T</sub>	Timing resistor	1.8	500	kΩ	
T <sub>A</sub>	Operating free-air temperature	TL494C	0	70	°C
		TL494I	-40	85	

# TL494 PULSE-WIDTH-MODULATION CONTROL CIRCUITS

SLVS074E—JANUARY 1983—REVISED FEBRUARY 2005



## Electrical Characteristics

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

### Reference Section

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

(1) For conditions shown as MIN or MAX, use the appropriate value specified under recommended operating conditions.

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

(3) Duration of short circuit should not exceed one second.

### Oscillator Section

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

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

(1) For conditions shown as MIN or MAX, use the appropriate value specified under recommended operating conditions.

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

(3) Standard deviation is a measure of the statistical distribution about the mean as derived from the formula:

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

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

### Error-Amplifier Section

See Figure 2

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

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

## Electrical Characteristics

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

### Output Section

PARAMETER	TEST CONDITIONS	MIN	TYP <sup>(1)</sup>	MAX	UNIT
Collector off-state current	$V_{CE} = 40\text{ V}$ , $V_{CC} = 40\text{ V}$		2	100	$\mu\text{A}$
Emitter off-state current	$V_{CC} = V_C = 40\text{ V}$ , $V_E = 0$			-100	$\mu\text{A}$
Collector-emitter saturation voltage	Common emitter		1.1	1.3	V
	Emitter follower		1.5	2.5	
Output control input current	$V_I = V_{ref}$			3.5	mA

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

### Dead-Time Control Section

See Figure 1

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

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

### PWM Comparator Section

See Figure 1

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

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

### Total Device

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

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

### Switching Characteristics

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

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

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

PARAMETER MEASUREMENT INFORMATION

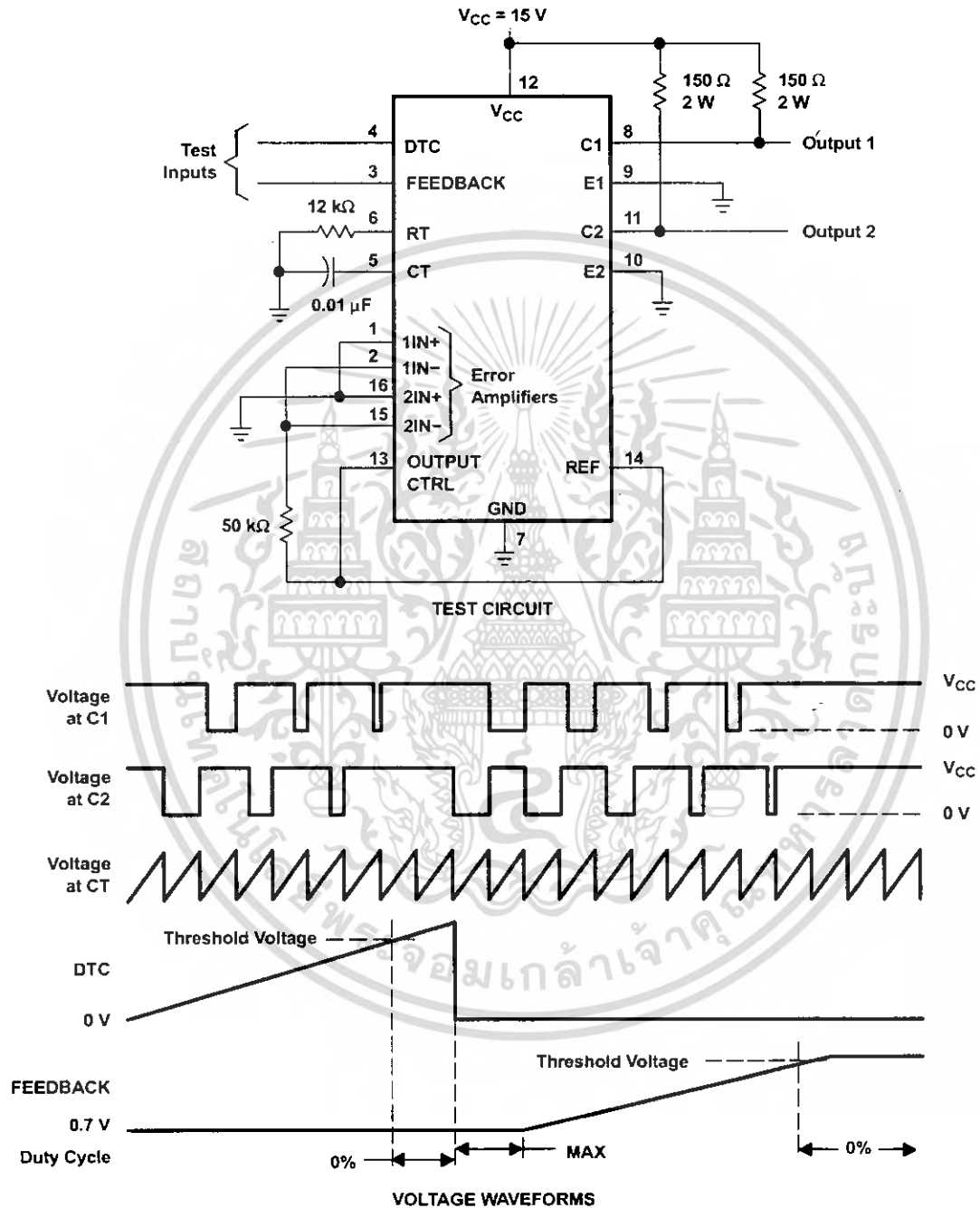


Figure 1. Operational Test Circuit and Waveforms

PARAMETER MEASUREMENT INFORMATION

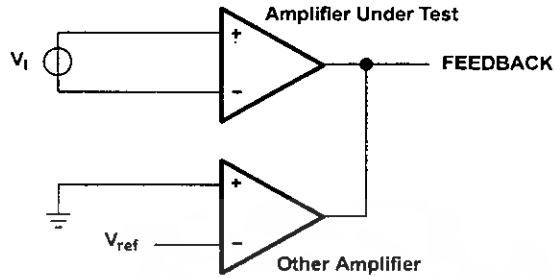
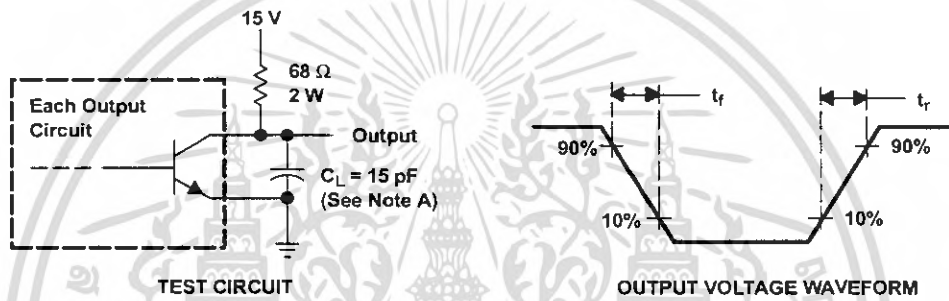
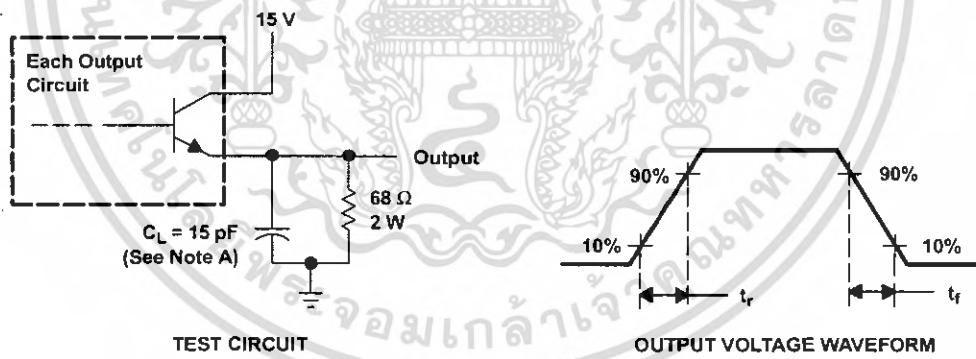


Figure 2. Amplifier Characteristics



NOTE A:  $C_L$  includes probe and jig capacitance.

Figure 3. Common-Emitter Configuration

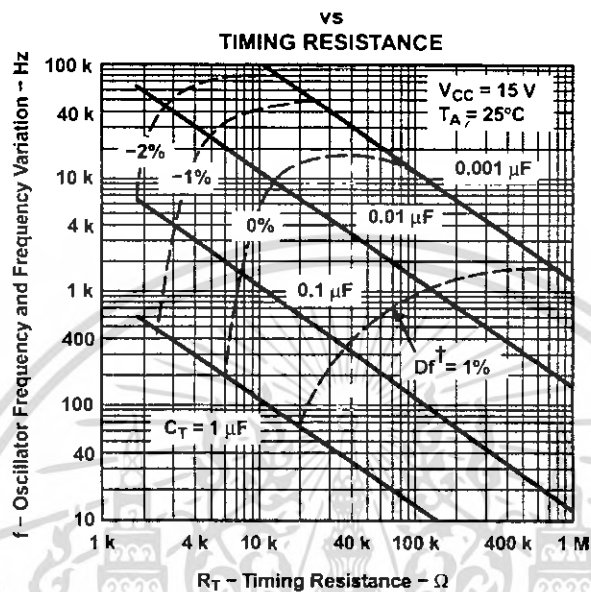


NOTE A:  $C_L$  includes probe and jig capacitance.

Figure 4. Emitter-Follower Configuration

TYPICAL CHARACTERISTICS

OSCILLATOR FREQUENCY AND  
FREQUENCY VARIATION†



† Frequency variation ( $\Delta f$ ) is the change in oscillator frequency that occurs over the full temperature range.

Figure 5.

AMPLIFIER VOLTAGE AMPLIFICATION  
vs  
FREQUENCY

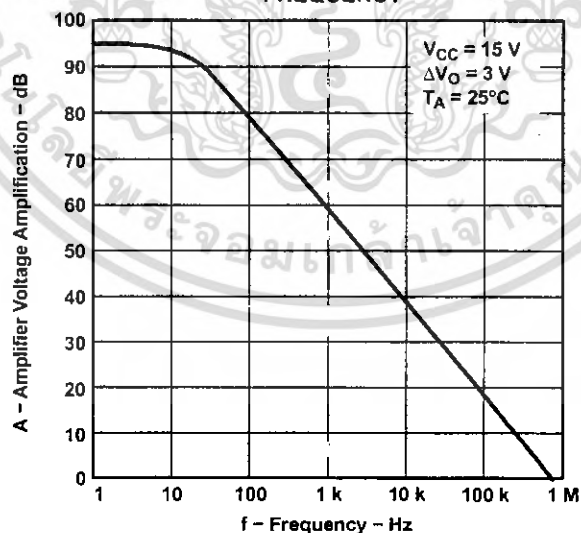


Figure 6.

**PACKAGING INFORMATION**

Orderable Device	Status <sup>(1)</sup>	Package Type	Package Drawing	Pins	Package Qty	Eco Plan <sup>(2)</sup>	Lead/Ball Finish	MSL Peak Temp <sup>(3)</sup>
TL494CD	ACTIVE	SOIC	D	16	40	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM
TL494CDBR	ACTIVE	SSOP	DB	16	2000	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM
TL494CDBRE4	ACTIVE	SSOP	DB	16	2000	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM
TL494CDE4	ACTIVE	SOIC	D	16	40	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM
TL494CDR	ACTIVE	SOIC	D	16	2500	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM
TL494CDRE4	ACTIVE	SOIC	D	16	2500	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM
TL494CJ	OBSOLETE	CDIP	J	16		TBD	Call TI	Call TI
TL494CN	ACTIVE	PDIP	N	16	25	Pb-Free (RoHS)	CU NIPDAU	Level-NC-NC-NC
TL494CNE4	ACTIVE	PDIP	N	16	25	Pb-Free (RoHS)	CU NIPDAU	Level-NC-NC-NC
TL494CNSR	ACTIVE	SO	NS	16	2000	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM
TL494CNSRG4	ACTIVE	SO	NS	16	2000	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM
TL494CPW	ACTIVE	TSSOP	PW	16	90	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM
TL494CPWG4	ACTIVE	TSSOP	PW	16	90	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM
TL494CPWLE	OBSOLETE	TSSOP	PW	16		TBD	Call TI	Call TI
TL494CPWR	ACTIVE	TSSOP	PW	16	2000	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM
TL494CPWRG4	ACTIVE	TSSOP	PW	16	2000	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM
TL494ID	ACTIVE	SOIC	D	16	40	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM
TL494IDE4	ACTIVE	SOIC	D	16	40	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM
TL494IDR	ACTIVE	SOIC	D	16	2500	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM
TL494IDRE4	ACTIVE	SOIC	D	16	2500	Green (RoHS & no Sb/Br)	CU NIPDAU	Level-1-260C-UNLIM
TL494IN	ACTIVE	PDIP	N	16	25	Pb-Free (RoHS)	CU NIPDAU	Level-NC-NC-NC
TL494INE4	ACTIVE	PDIP	N	16	25	Pb-Free (RoHS)	CU NIPDAU	Level-NC-NC-NC
TL494MJ	OBSOLETE	CDIP	J	16		TBD	Call TI	Call TI
TL494MJB	OBSOLETE	CDIP	J	16		TBD	Call TI	Call TI

<sup>(1)</sup> The marketing status values are defined as follows:

**ACTIVE:** Product device recommended for new designs.

**LIFEBUY:** TI has announced that the device will be discontinued, and a lifetime-buy period is in effect.

**NRND:** Not recommended for new designs. Device is in production to support existing customers, but TI does not recommend using this part in a new design.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**PREVIEW:** Device has been announced but is not in production. Samples may or may not be available.  
**OBSOLETE:** TI has discontinued the production of the device.

<sup>(2)</sup> Eco Plan - The planned eco-friendly classification: Pb-Free (RoHS) or Green (RoHS & no Sb/Br) - please check <http://www.ti.com/productcontent> for the latest availability information and additional product content details.

**TBD:** The Pb-Free/Green conversion plan has not been defined.

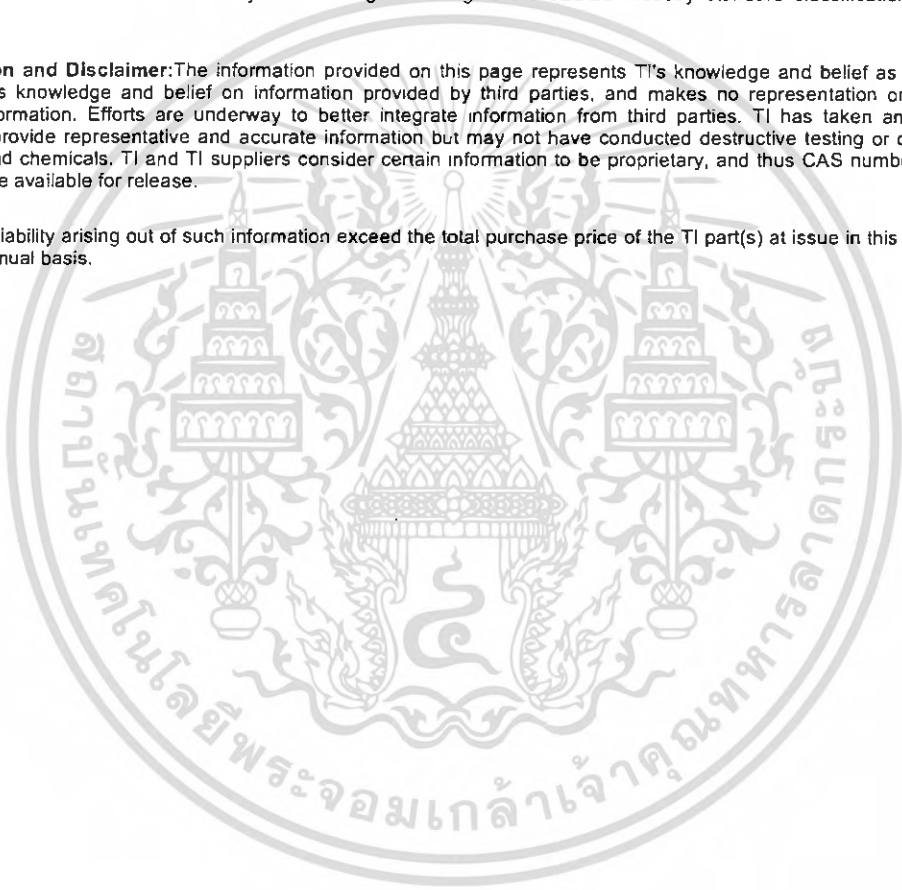
**Pb-Free (RoHS):** TI's terms "Lead-Free" or "Pb-Free" mean semiconductor products that are compatible with the current RoHS requirements for all 6 substances, including the requirement that lead not exceed 0.1% by weight in homogeneous materials. Where designed to be soldered at high temperatures, TI Pb-Free products are suitable for use in specified lead-free processes.

**Green (RoHS & no Sb/Br):** TI defines "Green" to mean Pb-Free (RoHS compatible), and free of Bromine (Br) and Antimony (Sb) based flame retardants (Br or Sb do not exceed 0.1% by weight in homogeneous material)

<sup>(3)</sup> MSL, Peak Temp. -- The Moisture Sensitivity Level rating according to the JEDEC industry standard classifications, and peak solder temperature.

**Important Information and Disclaimer:** The information provided on this page represents TI's knowledge and belief as of the date that it is provided. TI bases its knowledge and belief on information provided by third parties, and makes no representation or warranty as to the accuracy of such information. Efforts are underway to better integrate information from third parties. TI has taken and continues to take reasonable steps to provide representative and accurate information but may not have conducted destructive testing or chemical analysis on incoming materials and chemicals. TI and TI suppliers consider certain information to be proprietary, and thus CAS numbers and other limited information may not be available for release.

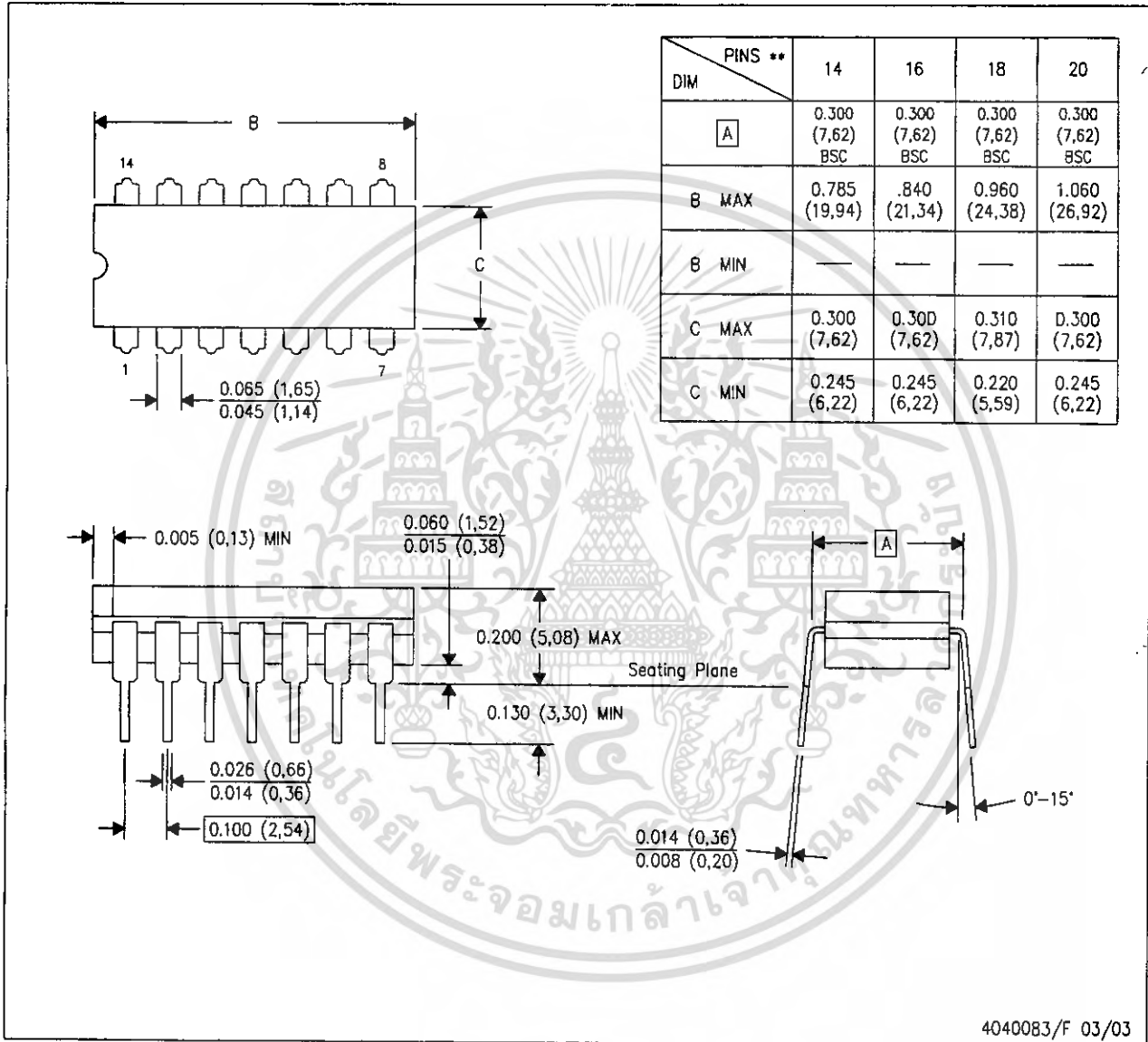
In no event shall TI's liability arising out of such information exceed the total purchase price of the TI part(s) at issue in this document sold by TI to Customer on an annual basis.



J (R-GDIP-T\*\*)

CERAMIC DUAL IN-LINE PACKAGE

14 LEADS SHOWN



- NOTES:
- A. All linear dimensions are in inches (millimeters).
  - B. This drawing is subject to change without notice.
  - C. This package is hermetically sealed with a ceramic lid using glass frit.
  - D. Index point is provided on cap for terminal identification only on press ceramic glass frit seal only.
  - E. Falls within MIL STD 1835 GDIP1-T14, GDIP1-T16, GDIP1-T18 and GDIP1-T20.

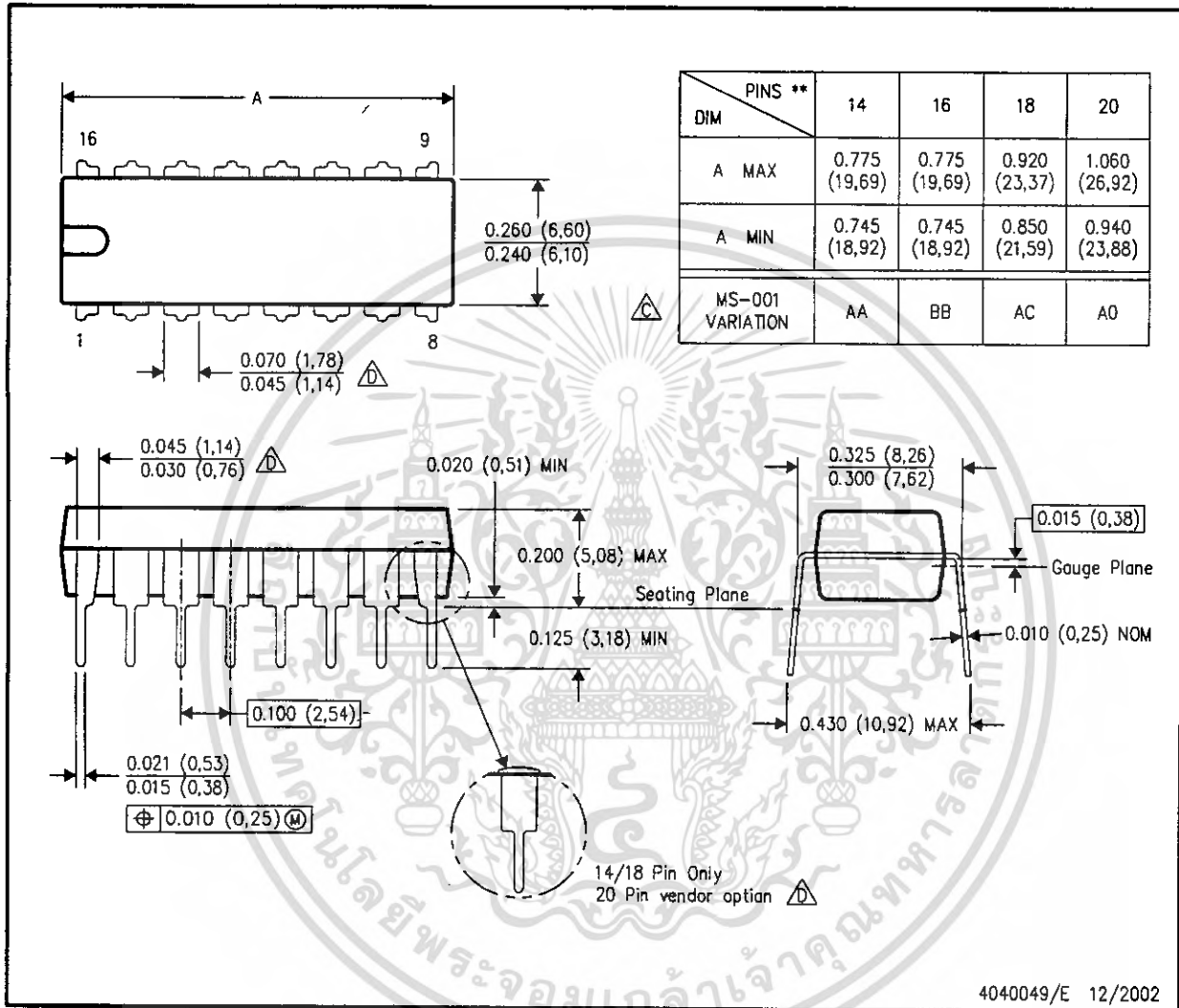
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# MECHANICAL DATA

## N (R-PDIP-T\*\*)

## PLASTIC DUAL-IN-LINE PACKAGE

16 PINS SHOWN

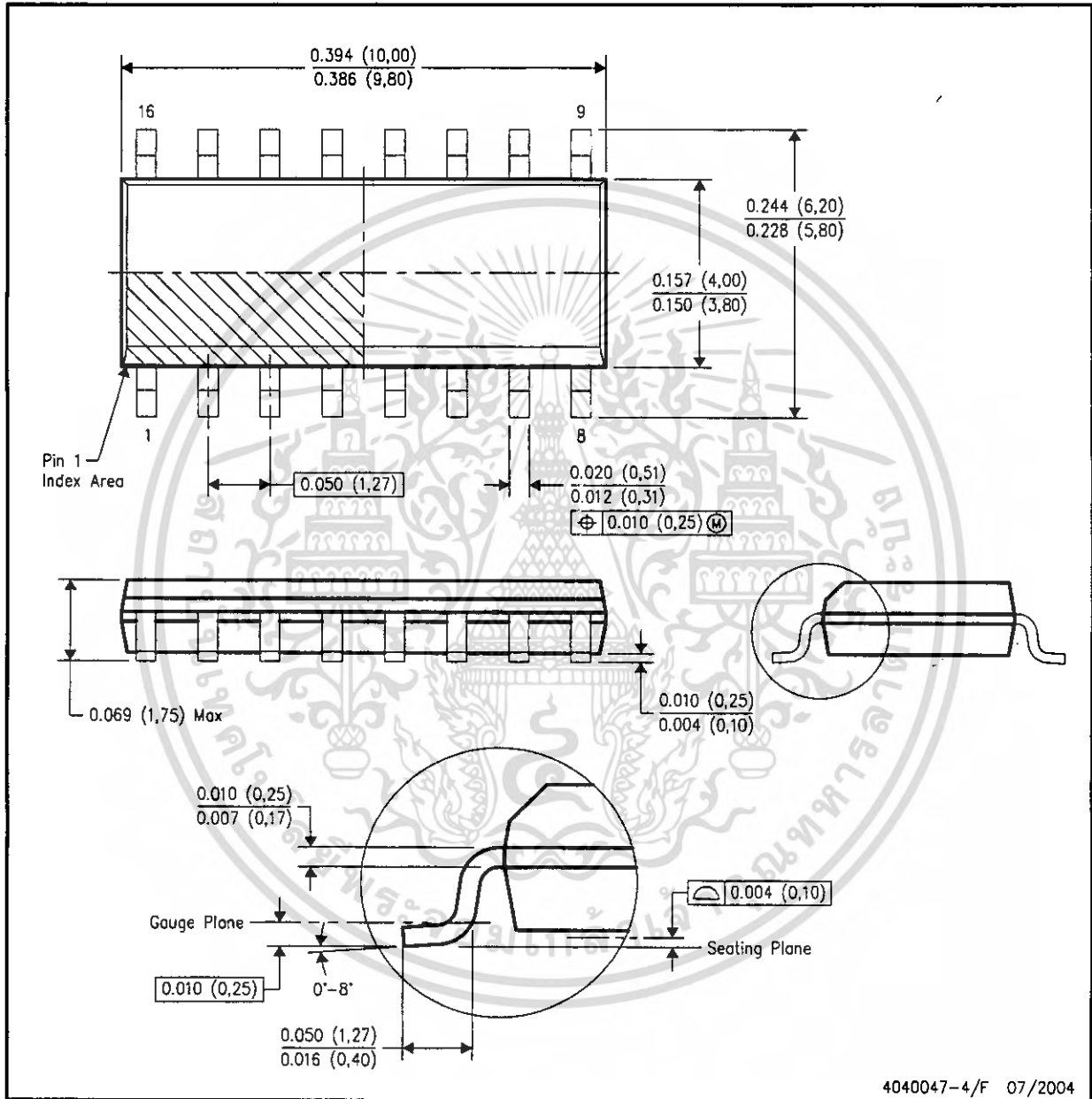


- NOTES:
- A. All linear dimensions are in inches (millimeters).
  - B. This drawing is subject to change without notice.
  - Falls within JEDEC MS-001, except 18 and 20 pin minimum body length (Dim A).
  - The 20 pin end lead shoulder width is a vendor option, either half or full width.

MECHANICAL DATA

D (R-PDSO-G16)

PLASTIC SMALL-OUTLINE PACKAGE



4040047-4/F 07/2004

- NOTES:
- A. All linear dimensions are in inches (millimeters).
  - B. This drawing is subject to change without notice.
  - C. Body dimensions do not include mold flash or protrusion not to exceed 0.006 (0,15).
  - D. Falls within JEDEC MS-012 variation AC.



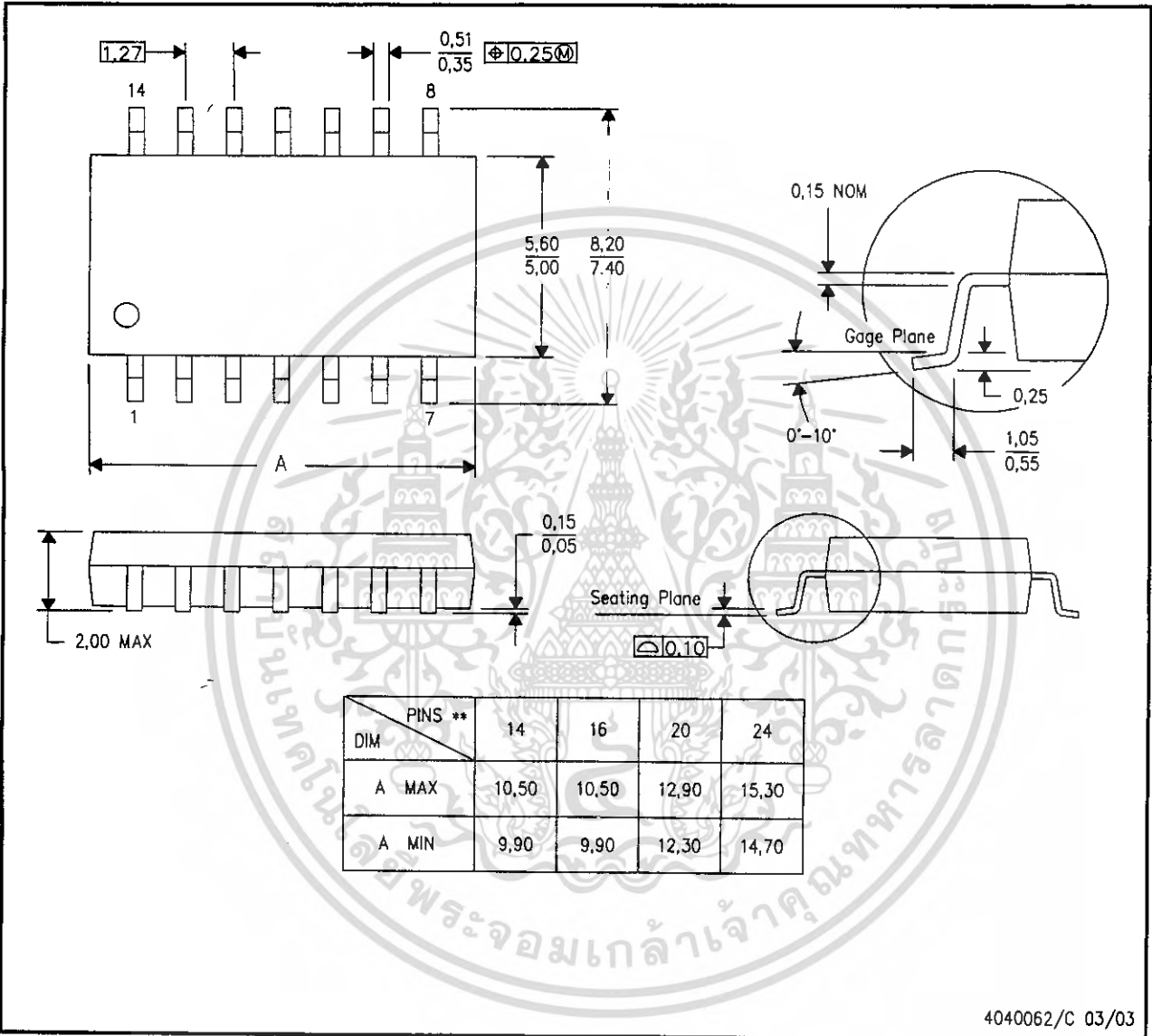
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## MECHANICAL DATA

NS (R-PDSO-G\*\*)

PLASTIC SMALL-OUTLINE PACKAGE

14-PINS SHOWN



- NOTES:
- A. All linear dimensions are in millimeters.
  - B. This drawing is subject to change without notice.
  - C. Body dimensions do not include mold flash or protrusion, not to exceed 0,15.

**TEXAS  
INSTRUMENTS**  
[www.ti.com](http://www.ti.com)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ทำแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

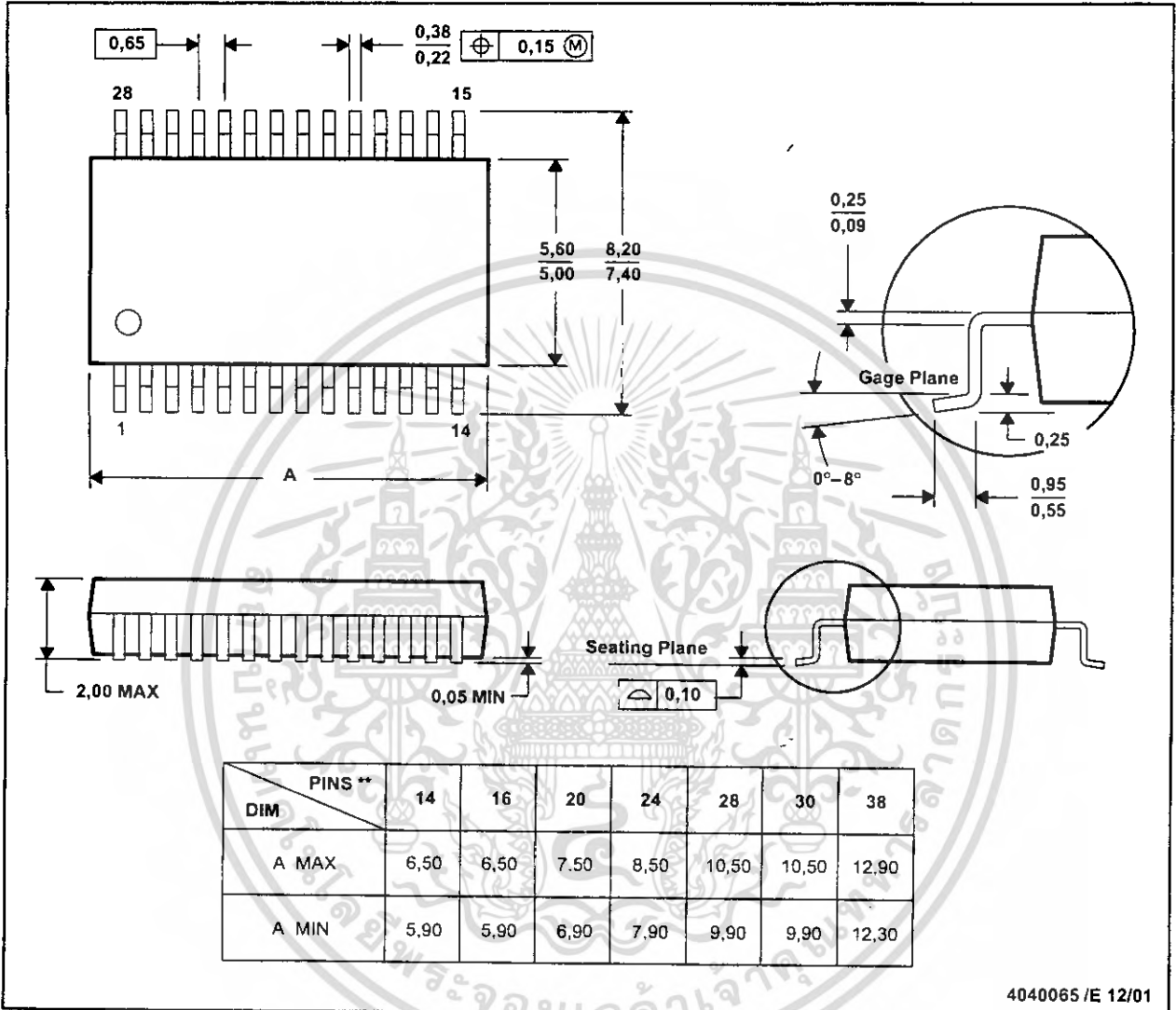
# MECHANICAL DATA

MSS0002E -- JANUARY 1995 -- REVISED DECEMBER 2001

DB (R-PDSO-G\*\*)

PLASTIC SMALL-OUTLINE

28 PINS SHOWN



- NOTES: A. All linear dimensions are in millimeters.  
 B. This drawing is subject to change without notice.  
 C. Body dimensions do not include mold flash or protrusion not to exceed 0,15.  
 D. Falls within JEDEC MO-150



POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

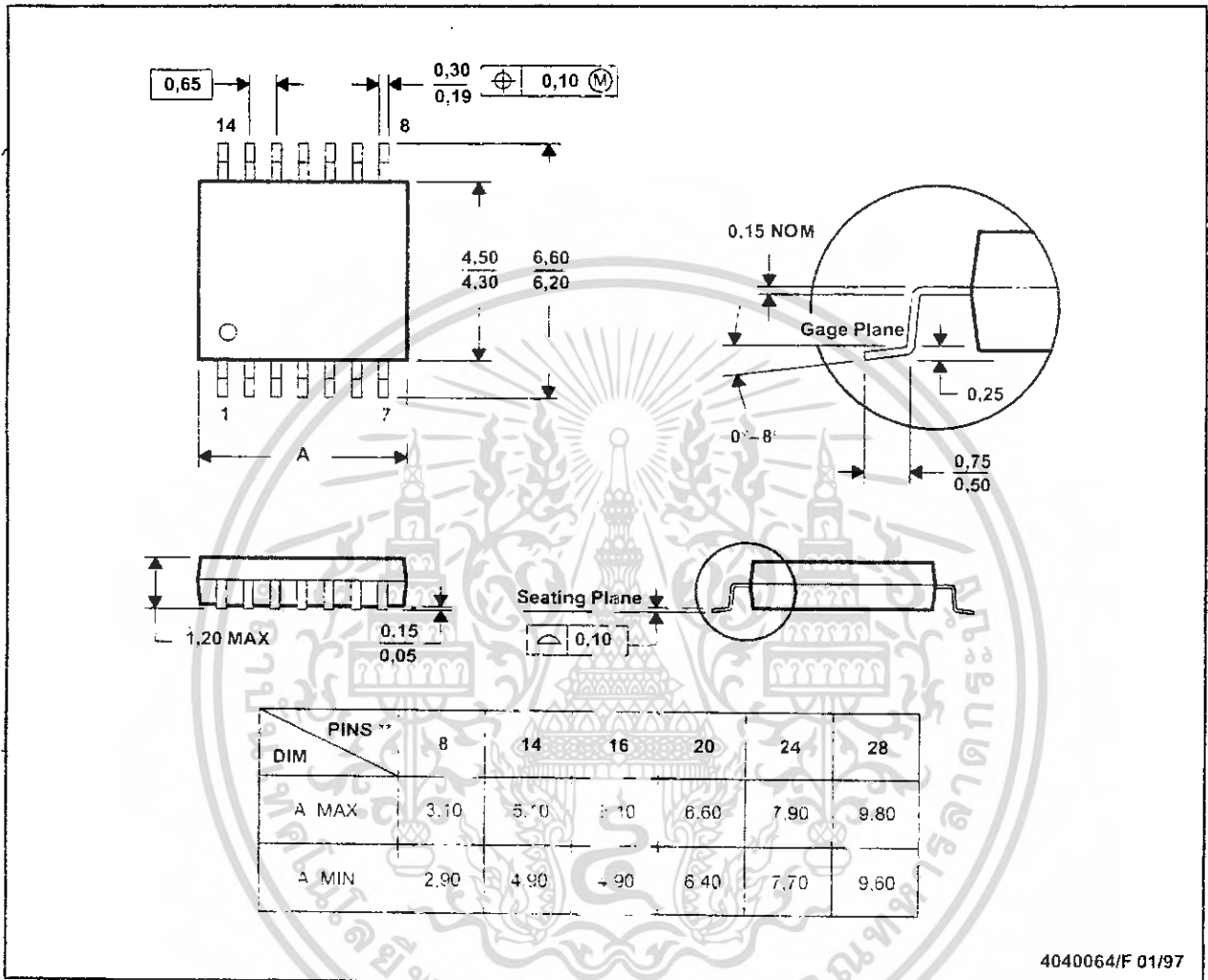
# MECHANICAL DATA

MTSS001C - JANUARY 1995 - REVISED FEBRUARY 1999

PW (R-PDSO-G\*\*)

PLASTIC SMALL-OUTLINE PACKAGE

14 PINS SHOWN



4040064/F 01/97

- NOTES:
- A All linear dimensions are in millimeters.
  - B This drawing is subject to change without notice.
  - C Body dimensions do not include mold flash or protrusion that may exceed 0.15.
  - D Falls within JEDEC MO-183.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## IMPORTANT NOTICE

Texas Instruments Incorporated and its subsidiaries (TI) reserve the right to make corrections, modifications, enhancements, improvements, and other changes to its products and services at any time and to discontinue any product or service without notice. Customers should obtain the latest relevant information before placing orders and should verify that such information is current and complete. All products are sold subject to TI's terms and conditions of sale supplied at the time of order acknowledgment.

TI warrants performance of its hardware products to the specifications applicable at the time of sale in accordance with TI's standard warranty. Testing and other quality control techniques are used to the extent TI deems necessary to support this warranty. Except where mandated by government requirements, testing of all parameters of each product is not necessarily performed.

TI assumes no liability for applications assistance or customer product design. Customers are responsible for their products and applications using TI components. To minimize the risks associated with customer products and applications, customers should provide adequate design and operating safeguards.

TI does not warrant or represent that any license, either express or implied, is granted under any TI patent right, copyright, mask work right, or other TI intellectual property right relating to any combination, machine, or process in which TI products or services are used. Information published by TI regarding third-party products or services does not constitute a license from TI to use such products or services or a warranty or endorsement thereof. Use of such information may require a license from a third party under the patents or other intellectual property of the third party, or a license from TI under the patents or other intellectual property of TI.

Reproduction of information in TI data books or data sheets is permissible only if reproduction is without alteration and is accompanied by all associated warranties, conditions, limitations, and notices. Reproduction of this information with alteration is an unfair and deceptive business practice. TI is not responsible or liable for such altered documentation.

Resale of TI products or services with statements different from or beyond the parameters stated by TI for that product or service voids all express and any implied warranties for the associated TI product or service and is an unfair and deceptive business practice. TI is not responsible or liable for any such statements.

Following are URLs where you can obtain information on other Texas Instruments products and application solutions:

Products		Applications	
Amplifiers	<a href="http://amplifier.ti.com">amplifier.ti.com</a>	Audio	<a href="http://www.ti.com/audio">www.ti.com/audio</a>
Data Converters	<a href="http://dataconverter.ti.com">dataconverter.ti.com</a>	Automotive	<a href="http://www.ti.com/automotive">www.ti.com/automotive</a>
DSP	<a href="http://dsp.ti.com">dsp.ti.com</a>	Broadband	<a href="http://www.ti.com/broadband">www.ti.com/broadband</a>
Interface	<a href="http://interface.ti.com">interface.ti.com</a>	Digital Control	<a href="http://www.ti.com/digitalcontrol">www.ti.com/digitalcontrol</a>
Logic	<a href="http://logic.ti.com">logic.ti.com</a>	Military	<a href="http://www.ti.com/military">www.ti.com/military</a>
Power Mgmt	<a href="http://power.ti.com">power.ti.com</a>	Optical Networking	<a href="http://www.ti.com/opticalnetwork">www.ti.com/opticalnetwork</a>
Microcontrollers	<a href="http://microcontroller.ti.com">microcontroller.ti.com</a>	Security	<a href="http://www.ti.com/security">www.ti.com/security</a>
		Telephony	<a href="http://www.ti.com/telephony">www.ti.com/telephony</a>
		Video Imaging	<a href="http://www.ti.com/video">www.ti.com/video</a>
		Wireless	<a href="http://www.ti.com/wireless">www.ti.com/wireless</a>

Mail: Dallas, Texas 75243  
Post Office Box 6555, Dallas, Texas 75265

©2006 Texas Instruments Incorporated

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**CMOS Hex Buffers/Converter**

CD4009UBMS Hex Buffer/Converter may be used as a CMOS to TTL or DTL logic-level converter or a CMOS high-sink-current driver.

The CD4049UB is the preferred hex buffer replacement for the CD4009UBMS in all applications except multiplexers. For applications not requiring high sink current or voltage conversion, the CD4069UB Hex Inverter is recommended.

The CD4009UBMS is supplied in these 16 lead outline packages:

- Braze Seal DIP H4S
- Frit Seal DIP H1E
- Ceramic Flatpack H3X

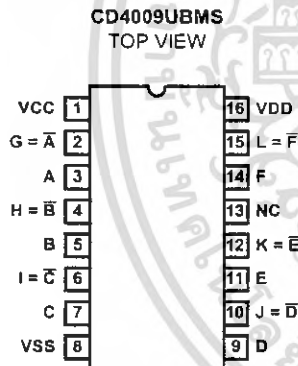
**Features**

- Inverting Type
- High-Voltage Type (20V Rating)
- 100% Tested for Quiescent Current at 20V
- Maximum Input Current of 1µA at 18V Over Full Package-Temperature Range;
  - 10nA at 18V and +25°C
- 5V, 10V and 15V Parametric Ratings

**Applications**

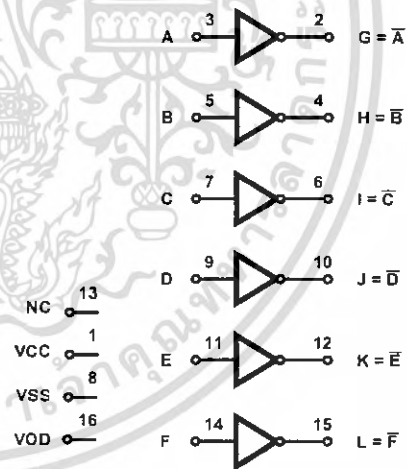
- CMOS To DTL/TTL Hex Converter
- CMOS Current "Sink" or "Source" Driver
- CMOS High-to-Low Logic-Level Converter
- Multiplexer - 1 to 6 or 6 to 1

**Pinout**



NC = NO CONNECTION

**Functional Diagram**



NC = NO CONNECTION

# CD4009UBMS

## Absolute Maximum Ratings

DC Supply Voltage Range, (VDD) ..... -0.5V to +20V  
 (Voltage Referenced to VSS Terminals)  
 Input Voltage Range, All Inputs ..... -0.5V to VDD +0.5V  
 DC Input Current, Any One Input ..... ±10mA  
 Operating Temperature Range ..... -55°C to +125°C  
 Package Types D, F, K, H  
 Storage Temperature Range (TSTG) ..... -65°C to +150°C  
 Lead Temperature (During Soldering) ..... +265°C  
 At Distance 1/16 ± 1/32 Inch (1.59mm ± 0.79mm) from case for  
 10s Maximum

## Reliability Information

Thermal Resistance .....  $\theta_{ja}$   $\theta_{jc}$   
 Ceramic DIP and FRIT Package .... 80°C/W 20°C/W  
 Flatpack Package ..... 70°C/W 20°C/W  
 Maximum Package Power Dissipation (PD) at +125°C  
 For TA = -55°C to +100°C (Package Type D, F, K) ..... 500mW  
 For TA = +100°C to +125°C (Package Type D, F, K) ..... Derate  
 Linearity at 12mW/°C to 200mW  
 Device Dissipation per Output Transistor ..... 100mW  
 For TA = Full Package Temperature Range (All Package Types)  
 Junction Temperature ..... +175°C

**TABLE 1. DC ELECTRICAL PERFORMANCE CHARACTERISTICS**

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS (NOTE 1)		GROUP A SUBGROUPS	TEMPERATURE	LIMITS		UNITS
						MIN	MAX	
Supply Current	IDD	VDD = 20V, VIN = VDD or GND		1	+25°C	-	2	µA
				2	+125°C	-	200	µA
		VDD = 18V, VIN = VDD or GND		3	-55°C	-	2	µA
Input Leakage Current	IIL	VIN = VDD or GND	VDD = 20	1	+25°C	-100	-	nA
				2	+125°C	-1000	-	nA
			VDD = 18V	3	-55°C	-100	-	nA
Input Leakage Current	IIH	VIN = VDD or GND	VDD = 20	1	+25°C	-	100	nA
				2	+125°C	-	1000	nA
			VDD = 18V	3	-55°C	-	100	nA
Output Voltage	VOL15	VDD = 15V, No Load		1, 2, 3	+25°C, +125°C, -55°C	-	50	mV
Output Voltage	VOH15	VDD = 15V, No Load (Note 3)		1, 2, 3	+25°C, +125°C, -55°C	14.95	-	V
Output Current (Sink)	IOL5	VDD = 5V, VOUT = 0.4V		1	+25°C	3.0	-	mA
Output Current (Sink)	IOL10	VDD = 10V, VOUT = 0.5V		1	+25°C	8.0	-	mA
Output Current (Sink)	IOL15	VDD = 15V, VOUT = 1.5V		1	+25°C	24.0	-	mA
Output Current (Source)	IOH5A	VDD = 5V, VOUT = 4.6V		1	+25°C	-	-0.2	mA
Output Current (Source)	IOH5B	VDD = 5V, VOUT = 2.5V		1	+25°C	-	-0.8	mA
Output Current (Source)	IOH10	VDD = 10V, VOUT = 9.5V		1	+25°C	-	-0.45	mA
Output Current (Source)	IOH15	VDD = 15V, VOUT = 13.5V		1	+25°C	-	-1.5	mA
N Threshold Voltage	VNTH	VDD = 10V, ISS = -10µA		1	+25°C	-2.8	-0.7	V
P Threshold Voltage	VPTH	VSS = 0V, IDD = 10µA		1	+25°C	0.7	2.8	V
Functional	F	VDD = 2.8V, VIN = VDD or GND		7	+25°C	VOH > VDD/2	VOL < VDD/2	V
		VDD = 20V, VIN = VDD or GND		7	+25°C			
		VDD = 18V, VIN = VDD or GND		8A	+125°C			
		VDD = 3V, VIN = VDD or GND		8B	-55°C			
Input Voltage Low (Note 2)	VIL	VDD = 5V, VOH > 4.5V, VOL < 0.5V		1, 2, 3	+25°C, +125°C, -55°C	-	1.0	V
Input Voltage High (Note 2)	VIH	VDD = 5V, VOH > 4.5V, VOL < 0.5V		1, 2, 3	+25°C, +125°C, -55°C	4.0	-	V
Input Voltage Low (Note 2)	VIL	VDD = 15V, VOH > 13.5V, VOL < 1.5V		1, 2, 3	+25°C, +125°C, -55°C	-	2.5	V
Input Voltage High (Note 2)	VIH	VDD = 15V, VOH > 13.5V, VOL < 1.5V		1, 2, 3	+25°C, +125°C, -55°C	12.5	-	V

NOTES: 1. All voltages referenced to device GND, 100% testing being implemented. 2. Go/No Go test with limits applied to inputs 3. For accuracy, voltage is measured differentially to VDD. Limit is 0.050V max.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## CD4009UBMS

**TABLE 2. AC ELECTRICAL PERFORMANCE CHARACTERISTICS**

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS (NOTE 1, 2)	GROUP A SUBGROUPS	TEMPERATURE	LIMITS		UNITS
					MIN	MAX	
Propagation Delay	TPHL	VDD = 5V, VIN = VDD or GND	9	+25°C	-	60	ns
			10, 11	+125°C, -55°C	-	81	ns
Propagation Delay	TPLH	VDD = 5V, VIN = VDD or GND	9	+25°C	-	140	ns
			10, 11	+125°C, -55°C	-	189	ns
Transition Time	TTHL	VDD = 5V, VIN = VDD or GND	9	+25°C	-	70	ns
			10, 11	+125°C, -55°C	-	95	ns
Transition Time	TTLH	VDD = 5V, VIN = VDD or GND	9	+25°C	-	350	ns
			10, 11	+125°C, -55°C	-	473	ns

NOTES:

1. CL = 50pF, RL = 200K, Input TR, TF < 20ns.
2. -55°C and +125°C limits guaranteed, 100% testing being implemented.

**TABLE 3. ELECTRICAL PERFORMANCE CHARACTERISTICS**

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	NOTES	TEMPERATURE	LIMITS		UNITS
					MIN	MAX	
Supply Current	IDD	VDD = 5V, VIN = VDD or GND	1, 2	-55°C, +25°C	-	1	μA
				+125°C	-	30	μA
		VDD = 10V, VIN = VDD or GND	1, 2	-55°C, +25°C	-	2	μA
				+125°C	-	60	μA
VDD = 15V, VIN = VDD or GND	1, 2	-55°C, +25°C	-	2	μA		
		+125°C	-	120	μA		
Output Voltage	VOL	VDD = 5V, No Load	1, 2	+25°C, +125°C, -55°C	-	50	mV
Output Voltage	VOL	VDD = 10V, No Load	1, 2	+25°C, +125°C, -55°C	-	50	mV
Output Voltage	VOH	VDD = 5V, No Load	1, 2	+25°C, +125°C, -55°C	4.95	-	V
Output Voltage	VOH	VDD = 10V, No Load	1, 2	+25°C, +125°C, -55°C	9.95	-	V
Output Current (Sink)	IOL4	VDD = 4.5V, VOUT = 0.4V	1, 2	+25°C	2.6	-	mA
				+125°C	1.8	-	mA
				-55°C	3.2	-	mA
Output Current (Sink)	IOL5	VDD = 5V, VOUT = 0.4V	1, 2	+125°C	2.1	-	mA
				-55°C	3.75	-	mA
Output Current (Sink)	IOL10	VDD = 10V, VOUT = 0.5V	1, 2	+125°C	5.6	-	mA
				-55°C	10.0	-	mA
Output Current (Sink)	IOL15	VDD = 15V, VOUT = 1.5V	1, 2	+125°C	16.0	-	mA
				-55°C	30.0	-	mA
Output Current (Source)	IOH5A	VDD = 5V, VOUT = 4.6V	1, 2	+125°C	-	-0.15	mA
				-55°C	-	-0.25	mA
Output Current (Source)	IOH5B	VDD = 5V, VOUT = 2.5V	1, 2	+125°C	-	-0.58	mA
				-55°C	-	-1.0	mA
Output Current (Source)	IOH10	VDD = 10V, VOUT = 9.5V	1, 2	+125°C	-	-0.33	mA
				-55°C	-	-0.55	mA
Output Current (Source)	IOH15	VDD = 15V, VOUT = 13.5V	1, 2	+125°C	-	-1.1	mA
				-55°C	-	-1.65	mA
Input Voltage Low	VIL	VDD = 10V, VOH > 9V, VOL < 1V	1, 2	+25°C, +125°C, -55°C	-	2	V

## CD4009UBMS

**TABLE 3. ELECTRICAL PERFORMANCE CHARACTERISTICS (Continued)**

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	NOTES	TEMPERATURE	LIMITS		UNITS
					MIN	MAX	
Input Voltage High	VIH	VDD = 10V, VOH > 9V, VOL < 1V	1, 2	+25°C, +125°C, -55°C	8	-	V
Propagation Delay	TPHL	VDD = 10V, VCC = 10V	1, 2, 3	+25°C	-	40	ns
		VDD = 15V, VCC = 15V	1, 2, 3	+25°C	-	30	ns
Propagation Delay	TPLH	VDD = 10V, VCC = 10V	1, 2, 3	+25°C	-	80	ns
		VDD = 15V, VCC = 15V	1, 2, 3	+25°C	-	60	ns
Propagation Delay	TPHL	VDD = 10V, VCC = 5V	1, 2, 3	+25°C	-	30	ns
		VDD = 15V, VCC = 5V	1, 2, 3	+25°C	-	20	ns
Propagation Delay	TPLH	VDD = 10V, VCC = 5V	1, 2, 3	+25°C	-	70	ns
		VDD = 15V, VCC = 5V	1, 2, 3	+25°C	-	60	ns
Transition Time	TTHL	VDD = 10V	1, 2, 3	+25°C	-	40	ns
		VDD = 15V	1, 2, 3	+25°C	-	30	ns
Transition Time	TTLH	VDD = 10V	1, 2, 3	+25°C	-	150	ns
		VDD = 15V	1, 2, 3	+25°C	-	110	ns
Input Capacitance	CIN	Any Input	1, 2	+25°C	-	22.5	pF

NOTES:

1. All voltages referenced to device GND.
2. The parameters listed on Table 3 are controlled via design or process and are not directly tested. These parameters are characterized on initial design release and upon design changes which would affect these characteristics.
3. CL = 50pF, RL = 200K, Input TR, TF < 20ns.

**TABLE 4. POST IRRADIATION ELECTRICAL PERFORMANCE CHARACTERISTICS**

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	NOTES	TEMPERATURE	LIMITS		UNITS
					MIN	MAX	
Supply Current	IDD	VDD = 20V, VIN = VDD or GND	1, 4	+25°C	-	7.5	μA
N Threshold Voltage	VNTH	VDD = 10V, ISS = -10μA	1, 4	+25°C	-2.8	-0.2	V
N Threshold Voltage Delta	ΔVNTH	VDD = 10V, ISS = -10μA	1, 4	+25°C	-	±1	V
P Threshold Voltage	VPTH	VSS = 0V, IDD = 10μA	1, 4	+25°C	0.2	2.8	V
P Threshold Voltage Delta	ΔVPTH	VSS = 0V, IDD = 10μA	1, 4	+25°C	-	±1	V
Functional	F	VDD = 18V, VIN = VDD or GND	1	+25°C	VOH > VDD/2	VOL < VDD/2	V
		VDD = 3V, VIN = VDD or GND					
Propagation Delay Time	TPHL	VDD = 5V, VCC = 5V	1, 2, 3, 4	+25°C	-	1.35 x +25°C Limit	ns
	TPLH						

NOTES: 1. All voltages referenced to device GND.

2. CL = 50pF, RL = 200K, Input TR, TF < 20ns.

3. See Table 2 for +25°C limit.

4. Read and Record

**TABLE 5. BURN-IN AND LIFE TEST DELTA PARAMETERS +25°C**

PARAMETER	SYMBOL	DELTA LIMIT
Supply Current - MSI-1	IDD	± 0.2μA
Output Current (Sink)	IOL5	± 20% x Pre-Test Reading
Output Current (Source)	IOH5A	± 20% x Pre-Test Reading

# CD4009UBMS

**TABLE 6. APPLICABLE SUBGROUPS**

CONFORMANCE GROUP		MIL-STD-883 METHOD	GROUP A SUBGROUPS	READ AND RECORD
Initial Test (Pre Burn-In)		100% 5004	1, 7, 9	IDD, IOL5, IOH5A
Interim Test 1 (Post Burn-In)		100% 5004	1, 7, 9	IDD, IOL5, IOH5A
Interim Test 2 (Post Burn-In)		100% 5004	1, 7, 9	IDD, IOL5, IOH5A
PDA (Note 1)		100% 5004	1, 7, 9, Deltas	
Interim Test 3 (Post Burn-In)		100% 5004	1, 7, 9	IDD, IOL5, IOH5A
PDA (Note 1)		100% 5004	1, 7, 9, Deltas	
Final Test		100% 5004	2, 3, 8A, 8B, 10, 11	
Group A		Sample 5005	1, 2, 3, 7, 8A, 8B, 9, 10, 11	
Group B	Subgroup B-5	Sample 5005	1, 2, 3, 7, 8A, 8B, 9, 10, 11, Deltas	Subgroups 1, 2, 3, 9, 10, 11
	Subgroup B-6	Sample 5005	1, 7, 9	
Group D		Sample 5005	1, 2, 3, 8A, 8B, 9	Subgroups 1, 2, 3

NOTE: 1. 5% Parametric, 3% Functional; Cumulative for Static 1 and 2.

**TABLE 7. TOTAL DOSE IRRADIATION**

CONFORMANCE GROUPS	MIL-STD-883 METHOD	TEST		READ AND RECORD	
		PRE-IRRAD	POST-IRRAD	PRE-IRRAD	POST-IRRAD
Group E Subgroup 2	5005	1, 7, 9	Table 4	1, 9	Table 4

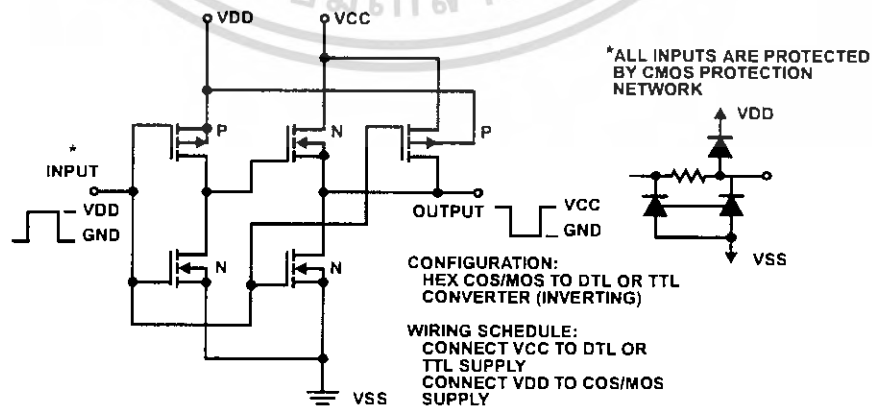
**TABLE 8. BURN-IN AND IRRADIATION TEST CONNECTIONS**

FUNCTION	OPEN	GROUND	VDD	9V ± 0.5V	OSCILLATOR	
					50kHz	25kHz
Static Burn-In 1 Note 1	2, 4, 6, 10, 12, 13, 15	3, 5, 7 - 9, 11, 14	1, 16			
Static Burn-In 2 Note 1	2, 4, 6, 10, 12, 13, 15	8	1, 3, 5, 7, 9, 11, 14, 16			
Dynamic Burn-In Note 1	13	8	1, 16	2, 4, 6, 10, 12, 15	3, 5, 7, 9, 11, 14	
Irradiation Note 2	2, 4, 6, 10, 12, 13, 15	8	1, 3, 5, 7, 9, 11, 14, 16			

NOTE:

- Each pin except VDD and Pin 1 and GND will have a series resistor of  $10K \pm 5\%$ ; VDD =  $18V \pm 0.5V$
- Each pin except VDD and Pin 1 and GND will have a series resistor of  $47K \pm 5\%$ ; Group E, Subgroup 2, sample size is 4 dice/wafer, 0 failures, VDD =  $10V \pm 0.5V$

## Schematic Diagram



Typical Performance Characteristics

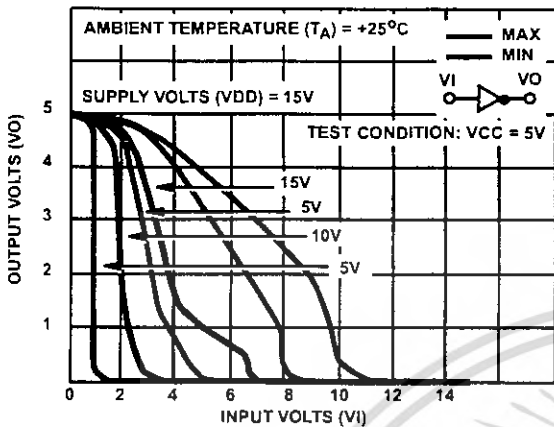


FIGURE 1. MINIMUM AND MAXIMUM VOLTAGE TRANSFER CHARACTERISTICS

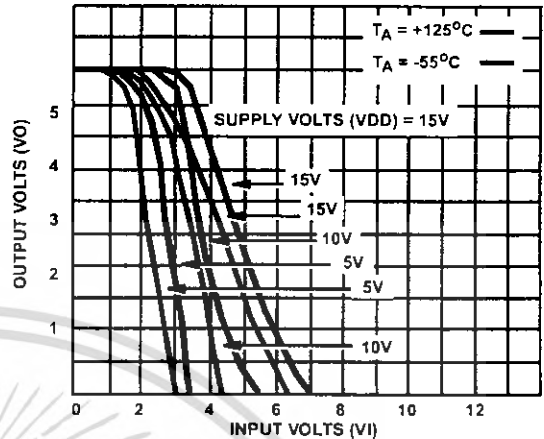


FIGURE 2. TYPICAL VOLTAGE TRANSFER CHARACTERISTICS AS FUNCTION OF TEMPERATURE

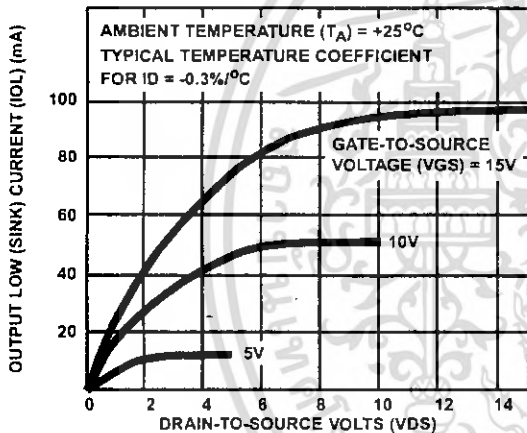


FIGURE 3. TYPICAL OUTPUT LOW (SINK) CURRENT CHARACTERISTICS

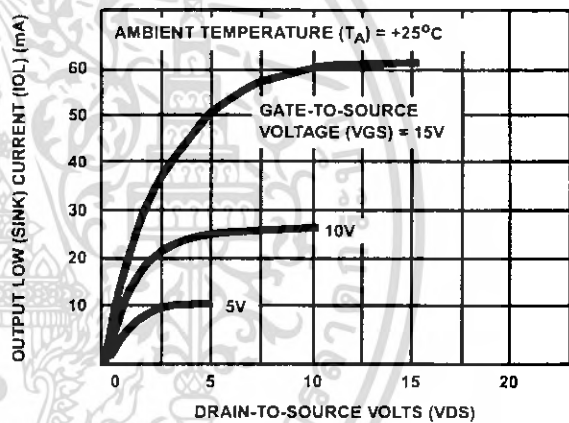


FIGURE 4. MINIMUM OUTPUT LOW (SINK) CURRENT CHARACTERISTICS

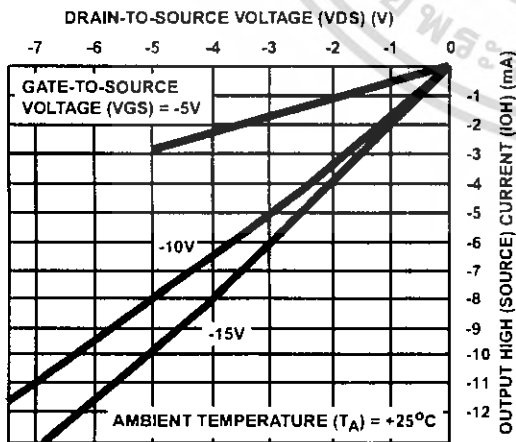


FIGURE 5. TYPICAL OUTPUT HIGH (SOURCE) CURRENT CHARACTERISTICS

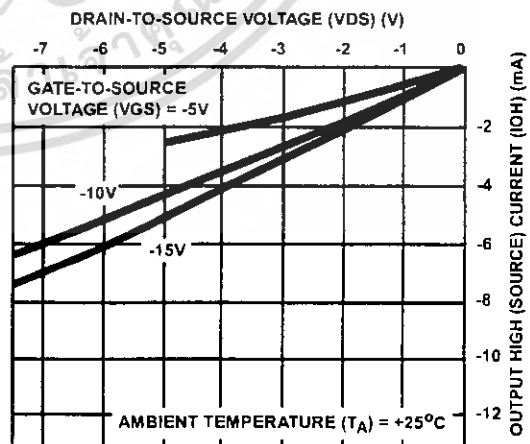


FIGURE 6. MINIMUM OUTPUT HIGH (SOURCE) CURRENT CHARACTERISTICS

# CD4009UBMS

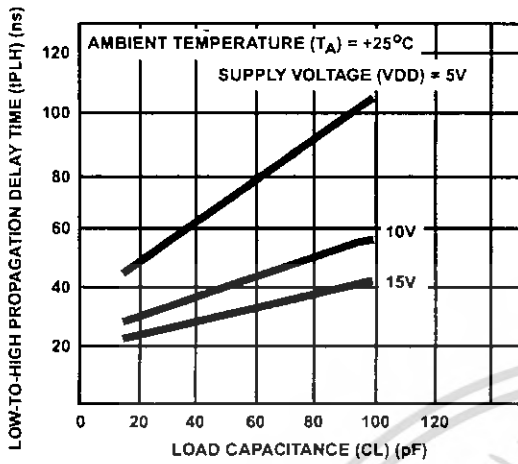


FIGURE 7. TYPICAL LOW-TO-HIGH PROPAGATION DELAY TIME vs LOAD CAPACITANCE

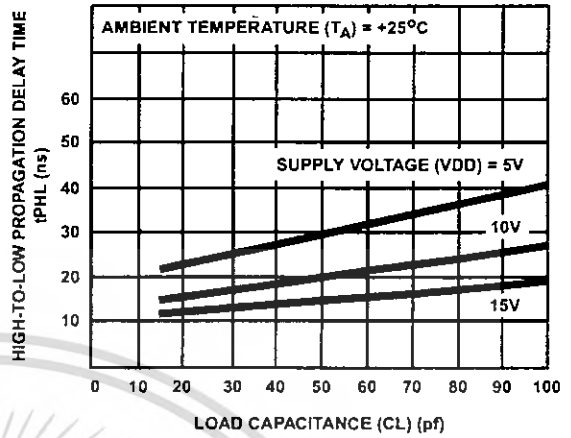


FIGURE 8. TYPICAL HIGH-TO-LOW PROPAGATION DELAY TIME vs LOAD CAPACITANCE

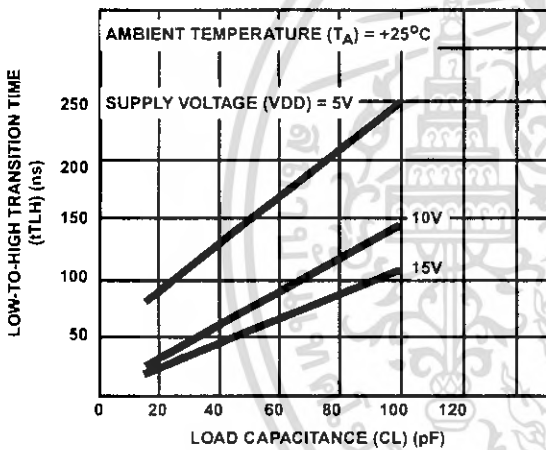


FIGURE 9. TYPICAL LOW-TO-HIGH TRANSITION TIME vs LOAD CAPACITANCE

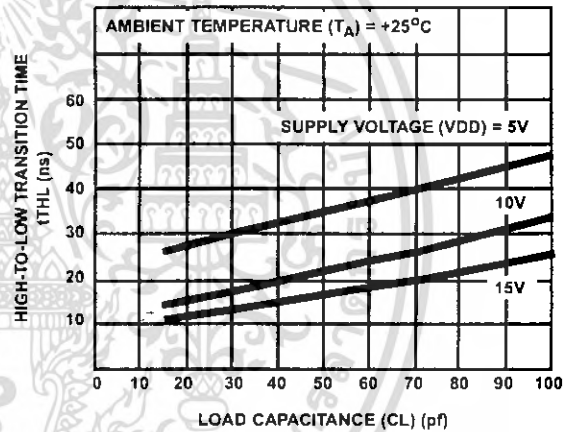


FIGURE 10. TYPICAL HIGH-TO-LOW TRANSITION TIME vs LOAD CAPACITANCE

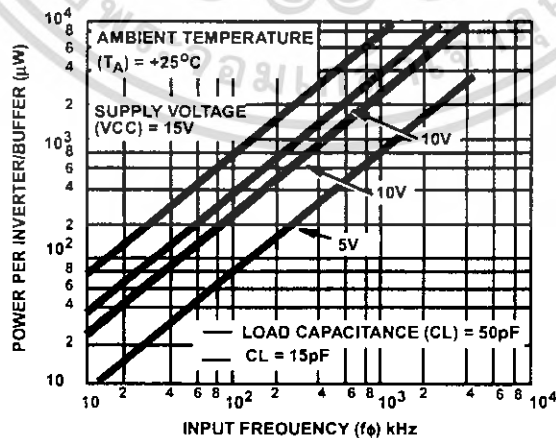
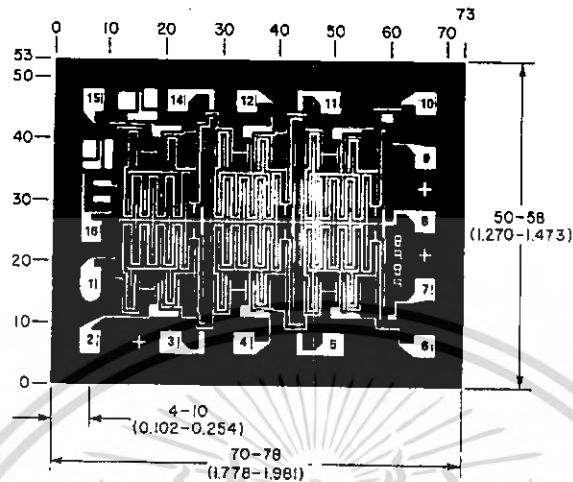


FIGURE 11. TYPICAL DISSIPATION CHARACTERISTICS

## CD4009UBMS

### Chip Dimensions and Pad Layout



Dimensions in parentheses are in millimeters and are derived from the basic inch dimensions as indicated. Grid graduations are in mils ( $10^{-3}$  inch)

**METALLIZATION:** Thickness: 11kÅ - 14kÅ, AL

**PASSIVATION:** 10.4kÅ - 15.6kÅ, Silane

**BOND PADS:** 0.004 inches X 0.004 inches MIN

**DIE THICKNESS:** 0.0198 inches - 0.0218 inches

All Intersil semiconductor products are manufactured, assembled and tested under ISO9000 quality systems certification.

*Intersil semiconductor products are sold by description only. Intersil Corporation reserves the right to make changes in circuit design and/or specifications at any time without notice. Accordingly, the reader is cautioned to verify that data sheets are current before placing orders. Information furnished by Intersil is believed to be accurate and reliable. However, no responsibility is assumed by Intersil or its subsidiaries for its use; nor for any infringements of patents or other rights of third parties which may result from its use. No license is granted by implication or otherwise under any patent or patent rights of Intersil or its subsidiaries.*

For information regarding Intersil Corporation and its products, see web site [www.intersil.com](http://www.intersil.com)

### Sales Office Headquarters

#### NORTH AMERICA

Intersil Corporation  
P. O. Box 883, Mail Stop 53-204  
Melbourne, FL 32902  
TEL: (321) 724-7000  
FAX: (321) 724-7240

#### EUROPE

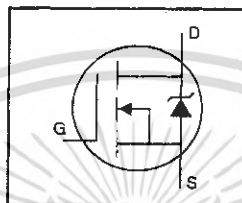
Intersil SA  
Mercurie Center  
100, Rue de la Fusee  
1130 Brussels, Belgium  
TEL: (32) 2.724.2111  
FAX: (32) 2.724.22.05

#### ASIA

Intersil (Taiwan) Ltd.  
7F-6, No. 101 Fu Hsing North Road  
Taipei, Taiwan  
Republic of China  
TEL: (886) 2 2716 9310  
FAX: (886) 2 2715 3029

HEXFET® Power MOSFET

- Dynamic dv/dt Rating
- Repetitive Avalanche Rated
- Isolated Central Mounting Hole
- Fast Switching
- Ease of Paralleling
- Simple Drive Requirements

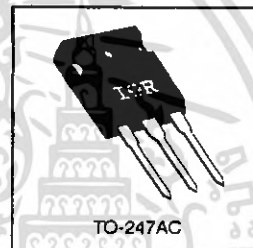


$V_{DSS} = 500V$
$R_{DS(on)} = 0.27\Omega$
$I_D = 20A$

**Description**

Third Generation HEXFETs from International Rectifier provide the designer with the best combination of fast switching, ruggedized device design, low on-resistance and cost-effectiveness.

The TO-247 package is preferred for commercial-industrial applications where higher power levels preclude the use of TO-220 devices. The TO-247 is similar but superior to the earlier TO-218 package because of its isolated mounting hole. It also provides greater creepage distance between pins to meet the requirements of most safety specifications.



DATA SHEETS

**Absolute Maximum Ratings**

Parameter	Max.	Units
$I_D @ T_C = 25^\circ C$ Continuous Drain Current, $V_{GS} @ 10 V$	20	A
$I_D @ T_C = 100^\circ C$ Continuous Drain Current, $V_{GS} @ 10 V$	13	A
$I_{DM}$ Pulsed Drain Current ①	80	A
$P_D @ T_C = 25^\circ C$ Power Dissipation	280	W
Linear Derating Factor	2.2	W/°C
$V_{GS}$ Gate-to-Source Voltage	$\pm 20$	V
$E_{AS}$ Single Pulse Avalanche Energy ②	960	mJ
$I_{AR}$ Avalanche Current ③	20	A
$E_{AR}$ Repetitive Avalanche Energy ④	28	mJ
dv/dt Peak Diode Recovery dv/dt ⑤	3.5	V/ns
$T_J$ Operating Junction and Storage Temperature Range	-55 to +150	°C
$T_{STG}$ Soldering Temperature, for 10 seconds	300 (1.6mm from case)	
Mounting Torque, 6-32 or M3 screw	10 lbf-in (1.1 N-m)	

**Thermal Resistance**

Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units
$R_{\theta JC}$ Junction-to-Case	—	—	0.45	°C/W
$R_{\theta CS}$ Case-to-Sink, Flat, Greased Surface	—	0.24	—	
$R_{\theta JA}$ Junction-to-Ambient	—	—	40	

# IRFP460



## Electrical Characteristics @ T<sub>J</sub> = 25°C (unless otherwise specified)

	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units	Test Conditions
V <sub>(BR)DSS</sub>	Drain-to-Source Breakdown Voltage	500	—	—	V	V <sub>GS</sub> =0V, I <sub>D</sub> =250μA
ΔV <sub>(BR)DSS/ΔT<sub>J</sub></sub>	Breakdown Voltage Temp. Coefficient	—	0.63	—	V/°C	Reference to 25°C, I <sub>D</sub> =1mA
R <sub>DS(on)</sub>	Static Drain-to-Source On-Resistance	—	—	0.27	Ω	V <sub>GS</sub> =10V, I <sub>D</sub> =12A ⓐ
V <sub>GS(th)</sub>	Gate Threshold Voltage	2.0	—	4.0	V	V <sub>DS</sub> =V <sub>GS</sub> , I <sub>D</sub> =250μA
g <sub>fs</sub>	Forward Transconductance	13	—	—	S	V <sub>DS</sub> =50V, I <sub>D</sub> =12A ⓐ
I <sub>DSS</sub>	Drain-to-Source Leakage Current	—	—	25	μA	V <sub>GS</sub> =500V, V <sub>GS</sub> =0V
I <sub>GSS</sub>	Gate-to-Source Forward Leakage	—	—	100	nA	V <sub>DS</sub> =20V
	Gate-to-Source Reverse Leakage	—	—	-100	nA	V <sub>GS</sub> =-20V
Q <sub>g</sub>	Total Gate Charge	—	—	210	nC	I <sub>D</sub> =20A
Q <sub>gs</sub>	Gate-to-Source Charge	—	—	29	nC	V <sub>GS</sub> =400V
Q <sub>gd</sub>	Gate-to-Drain ("Miller") Charge	—	—	110	nC	V <sub>GS</sub> =10V See Fig. 6 and 13 ⓐ
t <sub>d(on)</sub>	Turn-On Delay Time	—	18	—	ns	V <sub>DD</sub> =250V
t <sub>r</sub>	Rise Time	—	59	—	ns	I <sub>D</sub> =20A
t <sub>d(off)</sub>	Turn-Off Delay Time	—	110	—	ns	R <sub>G</sub> =4.3Ω
t <sub>f</sub>	Fall Time	—	58	—	ns	R <sub>D</sub> =13Ω See Figure 10 ⓐ
L <sub>D</sub>	Internal Drain Inductance	—	5.0	—	nH	Between lead, 6 mm (0.25in.) from package and center of die contact
L <sub>S</sub>	Internal Source Inductance	—	13	—	nH	
C <sub>iss</sub>	Input Capacitance	—	4200	—	pF	V <sub>GS</sub> =0V
C <sub>oss</sub>	Output Capacitance	—	870	—	pF	V <sub>DS</sub> =25V
C <sub>rss</sub>	Reverse Transfer Capacitance	—	350	—	pF	f=1.0MHz See Figure 5

## Source-Drain Ratings and Characteristics

	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units	Test Conditions
I <sub>S</sub>	Continuous Source Current (Body Diode)	—	—	20	A	MOSFET symbol showing the integral reverse p-n junction diode.
I <sub>SM</sub>	Pulsed Source Current (Body Diode) ⓐ	—	—	80	A	
V <sub>SD</sub>	Diode Forward Voltage	—	—	1.8	V	T <sub>J</sub> =25°C, I <sub>S</sub> =20A, V <sub>GS</sub> =0V ⓐ
t <sub>rr</sub>	Reverse Recovery Time	—	570	860	ns	T <sub>J</sub> =25°C, I <sub>F</sub> =20A
Q <sub>rr</sub>	Reverse Recovery Charge	—	5.7	8.6	μC	di/dt=100A/μs ⓐ
t <sub>on</sub>	Forward Turn-On Time	Intrinsic turn-on time is negligible (turn-on is dominated by L <sub>S</sub> +L <sub>D</sub> )				

### Notes:

- ⓐ Repetitive rating; pulse width limited by max. junction temperature (See Figure 11)
- ⓑ I<sub>S</sub>≤20A, di/dt≤160A/μs, V<sub>DD</sub>≤V<sub>(BR)DSS</sub>, T<sub>J</sub>≤150°C
- ⓒ V<sub>DD</sub>=50V, starting T<sub>J</sub>=25°C, L=4.3mH, R<sub>G</sub>=25Ω, I<sub>A3</sub>=20A (See Figure 12)
- ⓓ Pulse width ≤ 300 μs; duty cycle ≤2%.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

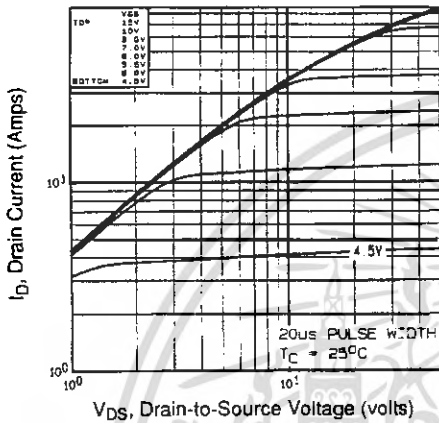


Fig 1. Typical Output Characteristics,  $T_C=25^\circ\text{C}$

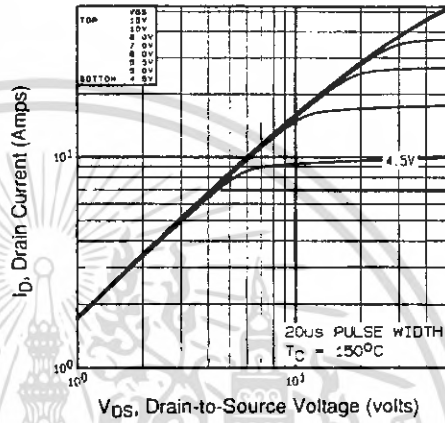


Fig 2. Typical Output Characteristics,  $T_C=150^\circ\text{C}$

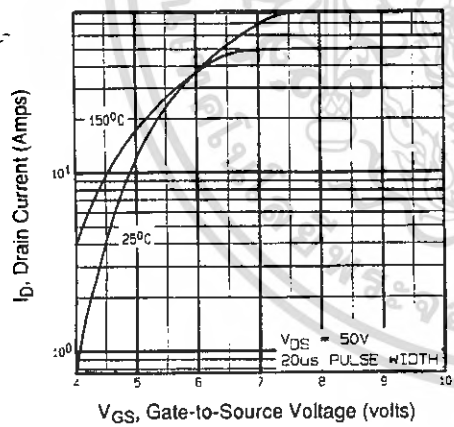


Fig 3. Typical Transfer Characteristics

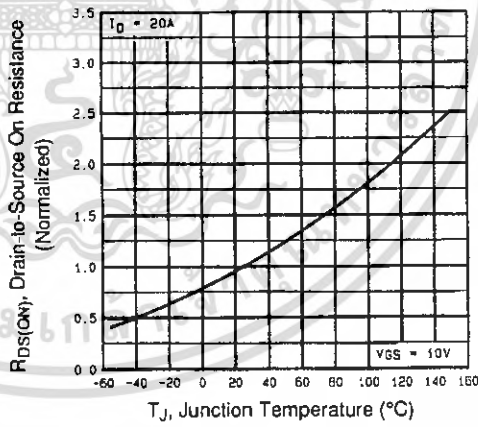


Fig 4. Normalized On-Resistance Vs. Temperature

DATA SHEETS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

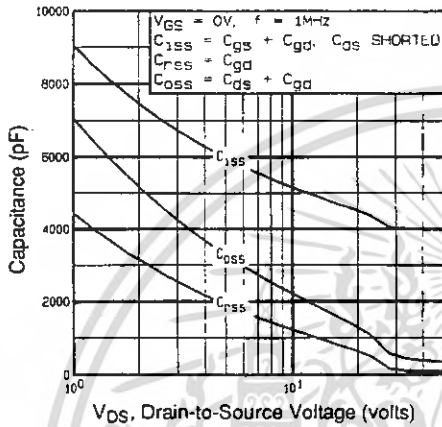


Fig 5. Typical Capacitance Vs. Drain-to-Source Voltage

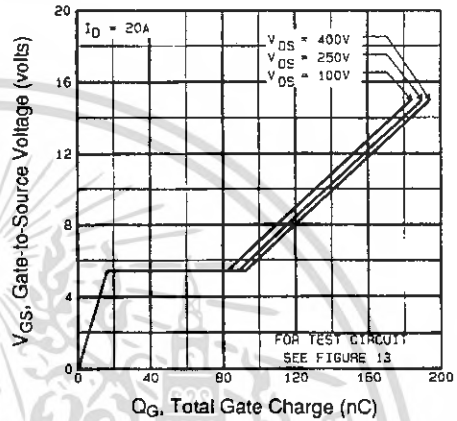


Fig 6. Typical Gate Charge Vs. Gate-to-Source Voltage

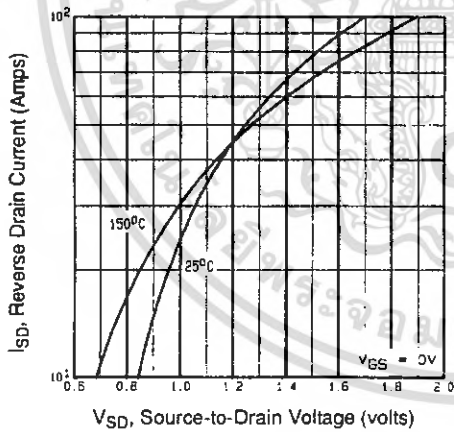


Fig 7. Typical Source-Drain Diode Forward Voltage

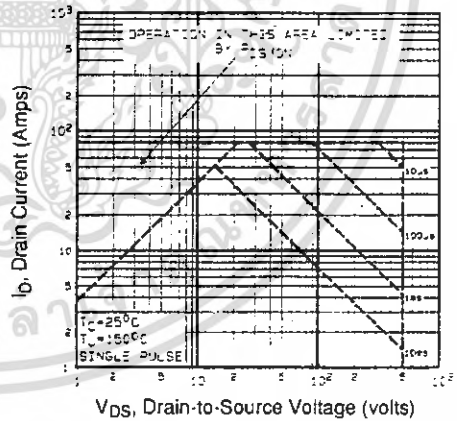


Fig 8. Maximum Safe Operating Area

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

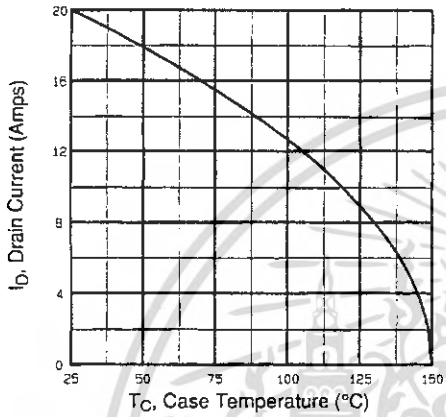


Fig 9. Maximum Drain Current Vs. Case Temperature

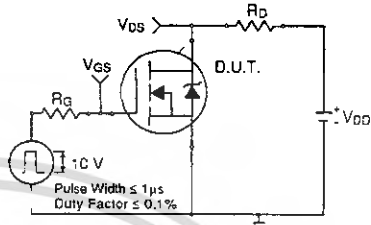


Fig 10a. Switching Time Test Circuit

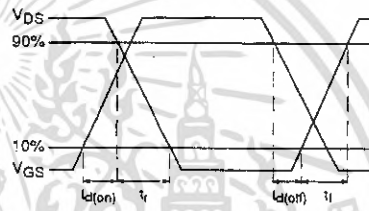


Fig 10b. Switching Time Waveforms

DATA SHEETS

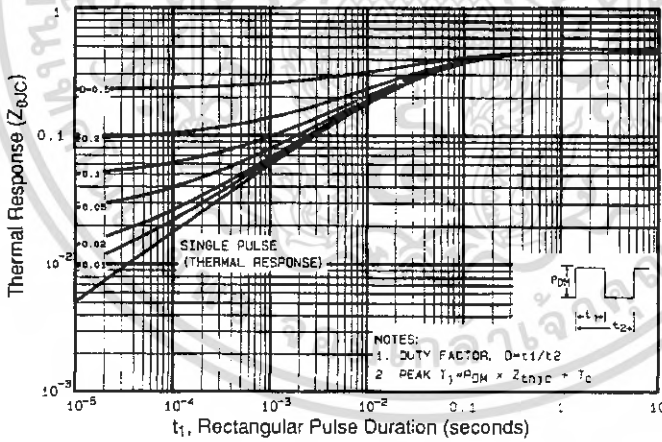


Fig 11. Maximum Effective Transient Thermal Impedance, Junction-to-Case

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

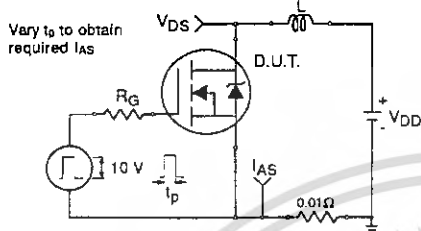


Fig 12a. Unclamped Inductive Test Circuit

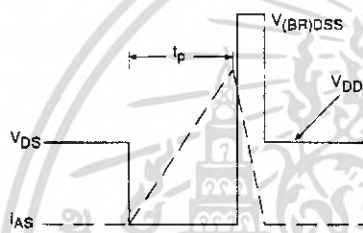


Fig 12b. Unclamped Inductive Waveforms

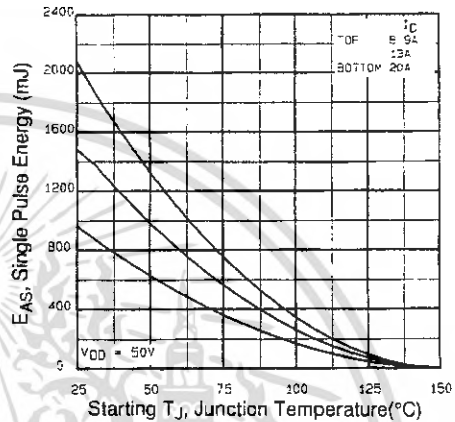


Fig 12c. Maximum Avalanche Energy Vs. Drain Current

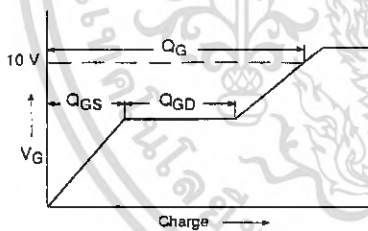


Fig 13a. Basic Gate Charge Waveform

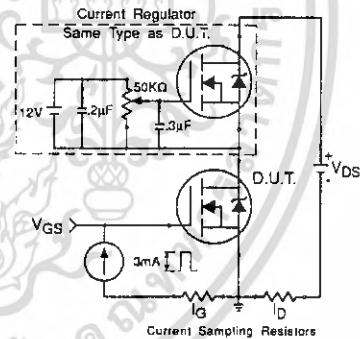


Fig 13b. Gate Charge Test Circuit

Appendix A: Figure 14, Peak Diode Recovery dv/dt Test Circuit – See page 1505

Appendix B: Package Outline Mechanical Drawing – See page 1511

Appendix C: Part Marking Information – See page 1517