

การเชื่อมโยงแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงเข้ากับระบบการไฟฟ้า  
โดยใช้เอสพีดับบลิวเอ็มอินเวอร์เตอร์  
DC-TO-UTILITY INTERFACE USING SPWM INVERTER



โดย

นายพีรศรี ลัดดาวรากรณ์  
นายพีระพงษ์ ตั้งทรัพย์ไพบูลย์  
นายฤทธิพงษ์ ยอดคี  
นายสมฤกษ์ เจริญระบิล

เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน.....42620  
วัน, เดือน, ปี..... 4 ส.ค. 2545

.b.....  
.i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2543

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปีการศึกษา 2543

การเชื่อมโยงแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงเข้ากับระบบการไฟฟ้า  
โดยใช้เอสพีดับบิวเอ็มอินเวอร์เตอร์

DC-TO-UTILITY INTERFACE USING SPWM INVERTER



โดย  
นายพีรศรี ลัดดาวารกรณ์  
นายพีระพจน์ ตั้งทรัพย์ไพบูลย์  
นายฤทธิพงษ์ ยอดดี  
นายสมฤกษ์ เจริญระบิล

อาจารย์ที่ปรึกษา

อ.คูตติ สุขสวัสดิ์  
ผศ.ดร.วิจิตร กิณเรศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้


ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2543

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การเชื่อมโยงแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงเข้ากับระบบการไฟฟ้าโดยใช้เอสพีดับบลิวเอ็ม  
อินเวอร์เตอร์

ผู้จัดทำ

- 
1. นายพีรศรี ลัดคารากรณ์
  2. นายพีระพจน์ ตั้งทรัพย์ไพบูลย์
  3. นายฤทธิพงษ์ ยอดคี
  4. นายสมฤกษ์ เจริญระบิล



อาจารย์ที่ปรึกษา

(อ. ดุสิต สุขสวัสดิ์)



อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผศ.ดร. วิจิตร กิณเรศ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเชื่อมโยงแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงเข้ากับระบบการไฟฟ้า  
โดยใช้เอสพีดับบลิวเอ็มอินเวอร์เตอร์

นาย พิรศรี ลัดดาวารกรณ์  
นาย พิระพจน์ คังทรัพย์ไพบูลย์  
นาย ฤทธิพงษ์ ยอดคี  
นาย สมฤกษ์ เจริญระบิล  
อ. คุณิต สุขสวัสดิ์ อาจารย์ที่ปรึกษา  
ผศ.ดร. วิจิตร กิณเรศ อาจารย์ที่ปรึกษา  
ปีการศึกษา 2543

บทคัดย่อ

โครงงานฉบับนี้ นำเสนอการเชื่อมโยงแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงเข้ากับระบบการไฟฟ้า เพื่อจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับระบบของการไฟฟ้า โดยใช้หลักการของเอสพีดับบลิวเอ็มอินเวอร์เตอร์ ซึ่งเป็นการนำเอาแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงส่งผ่านวงจรสวิตซ์ซึ่งความถี่สูงเพื่อยกระดับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงขึ้นและใช้วงจรเอสพีดับบลิวเอ็มอินเวอร์เตอร์เปลี่ยนแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็น ไซน์นูซอยดัล(SINUSOIDAL)

วิธีการจ่ายกำลังไฟฟ้าเข้ากับระบบการไฟฟ้านี้กระทำโดยการควบคุมมุมเพาเวอร์แองเกิล และควบคุมแรงดัน เพื่อควบคุมกำลังไฟฟ้าในการจ่ายเข้าสู่ระบบ ให้อยู่ในพิสัยที่ชุดของอุปกรณ์ สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าได้

## DC-TO-UTILITY INTERFACE USING SPWM INVERTER

Peerasri	Laddavarakorn	
Peerapoj	Tongsubpaiboon	
Ritthipong	yoddee	
Somrerak	Charoenrabil	
Dusit	Suksawat	Adviser
Dr. Vijit	Kinares	Adviser

2000

### ABSTRACT

The objective of this thesis presents the DC – to – utility by SPWM inverter. Which used high switching frequency circuits to switch the DC voltage flow through the high switching transformer for stepped up voltage. And used SPWM inverter changes the DC voltage to sinusoidal wave. In interface section with Grid, used power angle and voltage controlled for control the energy to Grid and keep in the range of devices could send the energy

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	
Abstract	
สารบัญ	I
สารบัญรูปภาพ	III
สารบัญตาราง	VII
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	5
2.1 ทฤษฎี	5
2.2 ทฤษฎีอินเวอร์เตอร์	10
2.3 ฮาร์โมนิกส์	21
2.4 เพาเวอร์มอสเฟต	22
2.5 วงจรกรองความถี่	25
บทที่ 3 หลักการของระบบและรายละเอียดของวงจร	27
3.1 หลักการของระบบ	27
3.2 วงจรกำลัง	27
3.3 สมการที่ใช้ในการวิเคราะห์	28
3.4 การทำงานของระบบ	30
3.5 วงจรควบคุม	32
3.6 ส่วนตรวจจับ	46
3.7 ส่วนป้องกัน	46
บทที่ 4 การคำนวณและการออกแบบ	48
4.1 ส่วนของตัวเหนี่ยวนำที่ใช้ในการเชื่อมโยง	48
4.2 ส่วนของตัวกรองความถี่	50
4.3 ส่วนของวงจรเอสพีดับบลิวเอ็มอินเวอร์เตอร์	52
4.4 ส่วนวงจรฟูลบริดจ์เร็คติไฟาย	54
4.5 ส่วนหม้อแปลงเพิ่มแรงดันความถี่สูง	54
4.6 ส่วนของเบคเตอร์	55
4.7 ส่วนวงจรสวิตช์โหมคอินเวอร์เตอร์	56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5 การทดลองและผลการทดลอง	57
5.1 การทดลองที่ 1 การจ่ายโหลดร่วมกับระบบการไฟฟ้า	57
5.2 การทดลองที่ 2 การจ่ายกำลังไฟฟ้าคืนให้กับระบบการไฟฟ้า	71
5.3 การทดลองที่ 3 การหาประสิทธิภาพของระบบ	83
บทที่ 6 บทวิจารณ์และสรุป	89
6.1 ข้อดีของวงจรที่ใช้	89
6.2 ข้อเสียของวงจรที่ใช้	89
6.3 ปัญหาระหว่างการทำโครงการนี้	89
6.4 สิ่งที่ดีควรจะได้รับการพัฒนาต่อไปสำหรับโครงการนี้	90

ภาคผนวก

กิตติกรรมประกาศ

เอกสารอ้างอิง



## สารบัญภาพ

รูปที่	หน้า
1.1 แสดงระบบการเปลี่ยนแปลงไฟดีซี – ดีซี	2
1.2 แสดงระบบการเปลี่ยนแปลงไฟดีซี – เอซี	3
1.3 แสดงบล็อกไดอะแกรมของระบบการเชื่อมโยงแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงเข้ากับระบบการไฟฟ้า	4
2.1 แสดงการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้า	5
2.2 กราฟแสดงค่ากำลังไฟฟ้าเมื่อทำการปรับมุมเฟาเวอร์เอนเจิล(power angle)	7
2.3 กราฟแสดงค่ากำลังไฟฟ้าเมื่อทำการปรับแรงดันไฟฟ้าที่บัส 1	8
2.4 (a) บล็อกไดอะแกรมพื้นฐานของอินเวอร์เตอร์	12
(b) ลักษณะของสัญญาณเอาต์พุตเมื่อมีโหลดแบบอินดักทีฟ	12
(c) กราฟ $V_o$ และ $i_o$ แสดงการทำงานของอินเวอร์เตอร์ใน 1 ไซเคิล	12
2.5 แสดงวงจรของอินเวอร์เตอร์	12
2.6 แสดงสัญญาณ PWM ที่เกิดจากการใช้ double-side triangular wave	
(a) และ (b) แสดงการเปรียบเทียบของสัญญาณ	16
2.7 แสดงค่าฮาร์โมนิกส์ที่เกิดขึ้นที่ค่า $m_f$ ต่างๆ ที่เกิดจากการใช้ double-side triangular wave	16
2.8 แสดงวงจรฮาล์ฟบริดจ์ คอนเวอร์เตอร์ (half bridge converter)	17
2.9 แสดงสัญญาณที่ได้จากวงจรอินเวอร์เตอร์	18
2.10 วงจรฟูลบริดจ์ อินเวอร์เตอร์ (full bridge inverter)	19
2.11 แสดงรูปคลื่นสัญญาณของ bipolar	20
2.12 แสดงรูปสมมติของวงจรกรองความถี่	25
2.13 แสดงวงจร Low pass Filter	26
3.1 แสดงวงจรที่ใช้ในการจ่ายกำลังไฟฟ้าคืนให้กับระบบการไฟฟ้า	31
3.2 แสดงวงจรที่ใช้สร้างสัญญาณขับมอสเฟตของวงจรสวิตช์โหมคอินเวอร์เตอร์	32
3.3 แสดงวงจรขับมอสเฟตทางด้านสวิตช์โหมคอินเวอร์เตอร์	33
3.4 บล็อกไดอะแกรมแสดงการสัญญาณขับเอสพีดับบลิเอ็มอินเวอร์เตอร์	33
3.5 แสดงรูปสัญญาณไซน์ของระบบการไฟฟ้าจากหม้อแปลง	35
3.6 แสดงวงจรกำเนิดสัญญาณไซน์โดยใช้อีพროม	37
3.7 แสดงวงจรคอมพาราเตอร์ที่ใช้สร้างสัญญาณสี่เหลี่ยม	38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่	หน้า
3.8 แสดงสัญญาณเอาต์พุทของชุดสร้างสี่เหลี่ยม	38
3.9 แสดงวงจรคูณความถี่ ( Multiplex frequency )	39
3.10 แสดงสัญญาณของความถี่ที่จุด A	39
3.11 แสดงสัญญาณของความถี่ที่จุด B	40
3.12 แสดงสัญญาณของความถี่ที่จุด C	40
3.13 แสดงวงจรอินทิเกรเตอร์	40
3.14 แสดงรูปสัญญาณเอาต์พุทของวงจรอินทิเกรเตอร์	41
3.15 แสดงวงจรชิฟเฟสแบบนำหน้า	41
3.16 แสดงสัญญาณที่ชิฟเฟส นำหน้าไปเป็นมุม $\theta$	42
3.17 แสดงวงจรคอมพาราเตอร์	42
3.18 แสดงสัญญาณเอสพีดับบลิวเอ็ม	42
3.19 แสดงวงจร dead time	43
3.20 แสดงวงจรขับมอสเฟทของเอสพีดับบลิวเอ็มอินเวอร์เตอร์	43
3.21 แสดงวงจรสร้างสัญญาณขับเอสพีดับบลิวเอ็มอินเวอร์เตอร์	44
3.22 แสดงวงจรควบคุมป้อนกลับ (พีไอ คอนโทรล)	45
3.23 แสดงวงจรป้องกันแรงดันเบตเตอร์ต่ำกว่าค่าปกติและวงจรป้องกันกระแสเกิน	46
3.24 แสดงวงจรป้องกันทางด้านเชื่อมโยงกับการไฟฟ้า	47
3.25 แสดงวงจรควบคุมแม่เหล็กที่เป็นสวิตช์ในการเชื่อมโยงกับระบบการไฟฟ้า	47
4.1 แสดงวงจรฟิลเตอร์	50
4.2 แสดงรูปคลื่นไซน์ที่ได้จากการ simulate	51
4.3 แสดงการเกิดเกนที่เกิดจากชุดฟิลเตอร์ซึ่งได้จากการ simulate	52
4.4 แสดงวงจรเอสพีดับบลิวเอ็มอินเวอร์เตอร์ต่อร่วมกับฟิลเตอร์	53
5.1 แสดงวงจรการทดลองช่วยจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับโหลดโหลดไฟขนาด 300 วัตต์ ร่วมกับระบบการไฟฟ้า	59
5.2 แสดงสัญญาณแรงดันเอาต์พุทตอนไม่ได้ปรับมุม	60
5.3 แสดงสเปกตรัมสัญญาณแรงดันเอาต์พุทตอนไม่ได้ปรับมุม	60
5.4 แสดงสัญญาณแรงดันเอาต์พุทตอนปรับมุม	61
5.5 แสดงสเปกตรัมสัญญาณแรงดันเอาต์พุทตอนปรับมุม	61
5.6 แสดงสัญญาณแรงดันการ ไฟฟ้าตอนไม่ได้ปรับมุม	61

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่	หน้า
5.7 แสดงสเปกตรัมสัญญาณแรงดันการไฟฟ้าตอนไม่ได้ปรับมุม	62
5.8 แสดงสัญญาณแรงดันการไฟฟ้าตอนปรับมุม	63
5.9 แสดงสเปกตรัมสัญญาณแรงดันการไฟฟ้าตอนปรับมุม	63
5.10 แสดงสัญญาณกระแสเอาต์พุตตอนจ่ายกำลังไฟฟ้า 570 วัตต์	64
5.11 แสดงสเปกตรัมสัญญาณกระแสเอาต์พุตตอนจ่ายกำลังไฟฟ้า 570 วัตต์	64
5.12 แสดงสัญญาณกระแสที่โหลดขนาด 300 วัตต์	65
5.13 แสดงสเปกตรัมสัญญาณกระแสที่โหลด	65
5.14 แสดงสัญญาณกระแสที่เข้าไปยังระบบการไฟฟ้า	66
5.15 แสดงสเปกตรัมสัญญาณกระแสของระบบการไฟฟ้า	66
5.16 กราฟแสดงค่ากำลังไฟฟ้าขณะร่วมกันจ่ายโหลด	67
5.17 กราฟแสดงค่ากำลังไฟฟ้าเสมือนขณะร่วมกันจ่ายโหลด	67
5.18 กราฟแสดงค่ากำลังไฟฟ้าปรากฏขณะร่วมกันจ่ายโหลด	68
5.19 กราฟแสดงค่ากระแสขณะร่วมกันจ่ายโหลด	68
5.20 กราฟแสดงค่าตัวประกอบกำลังขณะร่วมกันจ่ายโหลด	69
5.21 กราฟแสดงค่า DPF ขณะร่วมกันจ่ายโหลด	69
5.22 กราฟแสดงค่า THD <sub>v</sub> ขณะร่วมกันจ่ายโหลด	70
5.23 กราฟแสดงค่า THD <sub>i</sub> ขณะร่วมกันจ่ายโหลด	70
5.24 แสดงการทดลองจ่ายกำลังไฟฟ้าคืนให้กับระบบการไฟฟ้า	72
5.25 แสดงสัญญาณแรงดันของเอาต์พุตเมื่อปรับมุม 8 องศาทางไฟฟ้า	73
5.26 แสดงสเปกตรัมสัญญาณแรงดันของเอาต์พุต เมื่อปรับมุม 8 องศาทางไฟฟ้า	73
5.27 แสดงสัญญาณแรงดันของระบบการไฟฟ้าเมื่อปรับมุม 8 องศาทางไฟฟ้า	74
5.28 แสดงสเปกตรัมสัญญาณแรงดันของการไฟฟ้า เมื่อปรับมุม 8 องศาทางไฟฟ้า	74
5.29 แสดงสัญญาณกระแสของเอาต์พุตเมื่อปรับมุม 2 องศาทางไฟฟ้า	75
5.30 แสดงสเปกตรัมสัญญาณกระแสของเอาต์พุต เมื่อปรับมุม 2 องศาทางไฟฟ้า	75
5.31 แสดงสัญญาณกระแสของเอาต์พุตเมื่อปรับมุม 8 องศาทางไฟฟ้า	76
5.32 แสดงสเปกตรัมสัญญาณกระแสของเอาต์พุต เมื่อปรับมุม 8 องศาทางไฟฟ้า	76
5.33 แสดงสัญญาณกระแสของการไฟฟ้าเมื่อปรับมุม 2 องศาทางไฟฟ้า	77
5.34 แสดงสเปกตรัมสัญญาณกระแสของการไฟฟ้า เมื่อปรับมุม 2 องศาทางไฟฟ้า	77
5.35 แสดงสัญญาณกระแสของการไฟฟ้าเมื่อปรับมุม 8 องศาทางไฟฟ้า	78

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่	หน้า
5.36 แสดงสเปกตรัมสัญญาณกระแสของการไฟฟ้า เมื่อปรับมุม 8 องศาทางไฟฟ้า	78
5.37 กราฟแสดงค่ากำลังไฟฟ้าขณะจ่ายคั้นระบบการไฟฟ้า	79
5.38 กราฟแสดงค่ากำลังไฟฟ้าเสมือนขณะจ่ายคั้นระบบการไฟฟ้า	79
5.39 กราฟแสดงค่ากำลังไฟฟ้าปรากฏขณะจ่ายคั้นระบบการไฟฟ้า	80
5.40 กราฟแสดงค่ากระแสขณะจ่ายคั้นระบบการไฟฟ้า	80
5.41 กราฟแสดงค่าตัวประกอบกำลังขณะจ่ายคั้นระบบการไฟฟ้า	81
5.42 กราฟแสดงค่า DPF ขณะจ่ายคั้นระบบการไฟฟ้า	81
5.43 กราฟแสดงค่า THD <sub>v</sub> ขณะจ่ายคั้นระบบการไฟฟ้า	82
5.44 กราฟแสดงค่า THD <sub>i</sub> ขณะจ่ายคั้นระบบการไฟฟ้า	82
5.45 แสดงวงจรการทดลองประสิทธิภาพของระบบ	84
5.46 แสดงสัญญาณแรงคั้นของเบตเตอร์	85
5.47 แสดงสัญญาณกระแสของเบตเตอร์	85
5.48 แสดงสัญญาณแรงคั้นของหม้อแปลงความถี่สูงทางด้านปฐมภูมิ	86
5.49 แสดงสัญญาณแรงคั้นของหม้อแปลงความถี่สูงทางด้านทุติยภูมิ	86
5.50 แสดงสัญญาณแรงคั้นไฟตรงก่อนเข้าเอสพีคับบลิวเอ็มอินเวอร์เตอร์	87
5.51 แสดงสัญญาณกระแสไฟตรงก่อนเข้าเอสพีคับบลิวเอ็มอินเวอร์เตอร์	87
5.52 แสดงสัญญาณแรงคั้นไฟฟ้าก่อนเข้าฟิลเตอร์	88
5.53 กราฟแสดงประสิทธิภาพของระบบ	88

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 แสดงแรงดันเอาต์พุตของ 1- $\phi$ Inverter	20
3.1 แสดงข้อมูลในอีพรอม	36
5.1 แสดงผลการทดลองช่วยจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับโหลดหลอดไฟขนาด 300 วัตต์ ร่วมกับระบบการไฟฟ้า	59
5.2 แสดงการทดลองจ่ายกำลังไฟฟ้าคืนให้กับระบบการไฟฟ้าโดยการปรับมุม	69
5.3 การทดลองหาประสิทธิภาพ และกำลังการสูญเสียของวงจรที่เอาต์พุตค่าต่างๆ	81



## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ความเบื้องต้น

ปัจจุบันได้มีการนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้งานซึ่งมีการเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์มาเป็นพลังงานไฟฟ้า (ไฟฟ้ากระแสตรง) โดยการใช้เซลล์แสงอาทิตย์ (solar cells) เป็นตัวเปลี่ยนรูปพลังงาน แล้วนำพลังงานไฟฟ้าที่ได้ไปใช้งาน หรือนำพลังงานไฟฟ้าที่ได้มาเก็บไว้ในแบตเตอรี่ (battery)

ถ้าเราสามารถนำพลังงานไฟฟ้าที่เก็บอยู่ในแบตเตอรี่ จ่ายกำลังไฟฟ้าเข้าไปในระบบการไฟฟ้า เพื่อช่วยจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับโหลดในระบบ เราก็จะสามารถลดการใช้กำลังไฟฟ้าจาก โรงไฟฟ้าที่ใช้ถ่านหินและก๊าซ เป็นเชื้อเพลิงในการผลิตกระแสไฟฟ้าได้

#### 1.2 หลักการในการเชื่อมโยงแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงเข้ากับระบบการไฟฟ้า

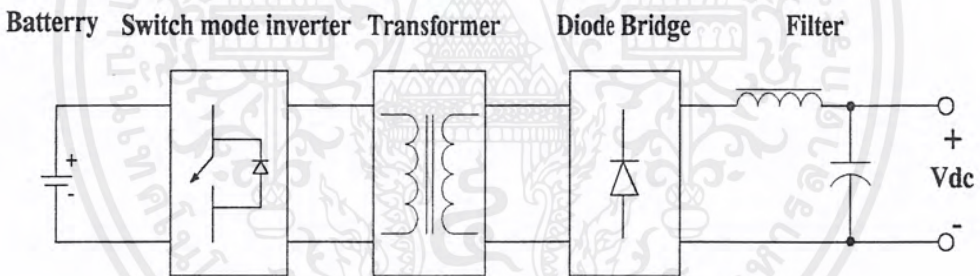
ในการเชื่อมโยงแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงเข้ากับระบบการไฟฟ้านั้น สามารถทำได้ 2 ลักษณะ คือ

1. ใช้อินเวอร์เตอร์เป็นตัวเปลี่ยนแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง ให้เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ ที่เป็นรูปคลื่นไซน์ โดยสัญญาณแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับรูปคลื่นไซน์ที่สร้างขึ้นนั้น ต้องมีขนาดเฟส และความถี่ของสัญญาณแรงดันไฟฟ้าตรงกับสัญญาณแรงดันไฟฟ้าของระบบการไฟฟ้า ก่อนซึ่งเงื่อนไขดังที่ได้อธิบายนี้ เรียกว่า การซิงโครไนซ์ แล้วจึงทำการเชื่อมโยงเข้ากับระบบการไฟฟ้า และจ่ายกำลังไฟฟ้า จากแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงไปยังระบบการไฟฟ้าโดยวิธีในการจ่ายกำลังไฟฟ้าคืนเข้าไปให้กับระบบของการไฟฟ้าทำได้โดยการควบคุมพาวเวอร์เองเกิด และควบคุมแรงดันทางด้านเอาต์พุตเพื่อควบคุมกำลังไฟฟ้า

2. ใช้วงจรคอนโทรลฟูลเวฟเร็คติฟาย เป็นตัวเชื่อมโยงแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงเข้ากับระบบการไฟฟ้า โดยการป้อนแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับจากระบบการไฟฟ้าให้กับวงจรคอนโทรลฟูลเวฟเร็คติฟายที่ทำงานในโหมดเร็คติฟายก่อน แล้วจึงควบคุมให้วงจรคอนโทรลฟูลเวฟเร็คติฟายทำงานในโหมดอินเวอร์เตอร์ เพื่อจ่ายกำลังไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงไปยังระบบการไฟฟ้า

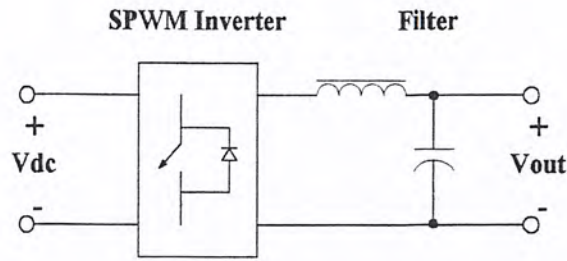
ซึ่งในลักษณะที่สองนั้น พบว่า จะเกิดฮาร์โมนิกส์ทางด้านเอาต์พุทเพราะสัญญาณกระแสทางด้านเอาต์พุทไม่เป็นรูปสัญญาณเป็นไซน์

ในโครงการนี้ ได้มีการนำเสนอวิธีการนำพลังงานแสงอาทิตย์ ที่เปลี่ยนอยู่ในรูปของพลังงานไฟฟ้า ที่เก็บอยู่ในแบตเตอรี่มาใช้งาน เพื่อช่วยจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับโหลดร่วมกับระบบการไฟฟ้าและจ่ายกำลังไฟฟ้าคืนให้กับระบบการไฟฟ้า โดยเป็นการใช้หลักการของเอสพีดับเบิลเอ็มอินเวอร์เตอร์ ซึ่งเป็นการนำเอาแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง มาต่อผ่านวงจรสวิตช์โหมดอินเวอร์เตอร์ (switch mode inverter) เพื่อทำการสวิตซ์ซึ่ง แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงให้เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่เป็นรูปคลื่นกึ่งสี่เหลี่ยม (Qusi-square) ที่มีความถี่สูง และสามารถปรับความกว้างของสัญญาณได้ แล้วนำไปผ่านหม้อแปลงความถี่สูง เพื่อเปลี่ยนระดับแรงดันให้สูงขึ้น หลังจากนั้นนำไปผ่านวงจรบริดจ์เร็คติไฟาย เพื่อเปลี่ยนแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงซึ่งแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ได้สามารถปรับค่าได้ โดยการปรับความกว้างของสัญญาณแรงดันที่ออกจากวงจรสวิตช์โหมดอินเวอร์เตอร์ ดังรูปที่ 1.1



รูปที่ 1.1 แสดงระบบการเปลี่ยนแปลงไฟดิซี - ดีซี

เมื่อได้ไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูงแล้วจะใช้งานวงจรเอสพีดับเบิลเอ็มอินเวอร์เตอร์เปลี่ยนแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงให้เป็นแรงดันไฟฟ้าที่มีรูปของสัญญาณพีดับเบิลเอ็มแล้วนำไปผ่านวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านทำให้เป็นแรงดันไฟฟ้าที่มีรูปสัญญาณเป็นไซน์ชูชอยด์ลซึ่งสามารถปรับเลือนมุมของแรงดันเอาต์พุทได้ ดังรูปที่ 1.2



รูปที่ 1.2 แสดงระบบการเปลี่ยนแปลงไฟดิซี – เอซี

ตามวิธีการข้างต้นจะได้แรงดันไฟฟ้าเป็นสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับซึ่งการที่เราจะนำไปเชื่อมโยงกับระบบของการไฟฟ้าเราต้องสร้างแรงดันเอาท์พุทให้เหมือนกับแรงดันของการไฟฟ้าทุกประการซึ่งในการเชื่อมโยงกับระบบการไฟฟ้าจะต้องมีตัวเหนี่ยวนำต่อที่เอาท์พุทก่อนที่จะเชื่อมโยงกับการไฟฟ้าซึ่งมีระบบโดยรวม ดังรูปที่ 1.3

### 1.3 วัตถุประสงค์ของโครงการ

- 1.3.1 เพื่อออกแบบและสร้างระบบเชื่อมโยงแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงเข้ากับระบบการไฟฟ้าขนาด 600วัตต์
- 1.3.2 เพื่อศึกษาการช่วยจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับโหลดร่วมกับระบบการไฟฟ้า
- 1.3.3 เพื่อศึกษาการจ่ายกำลังไฟฟ้าคืนให้กับระบบการไฟฟ้า
- 1.3.4 เพื่อศึกษาการใช้ระบบในการจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับโหลด

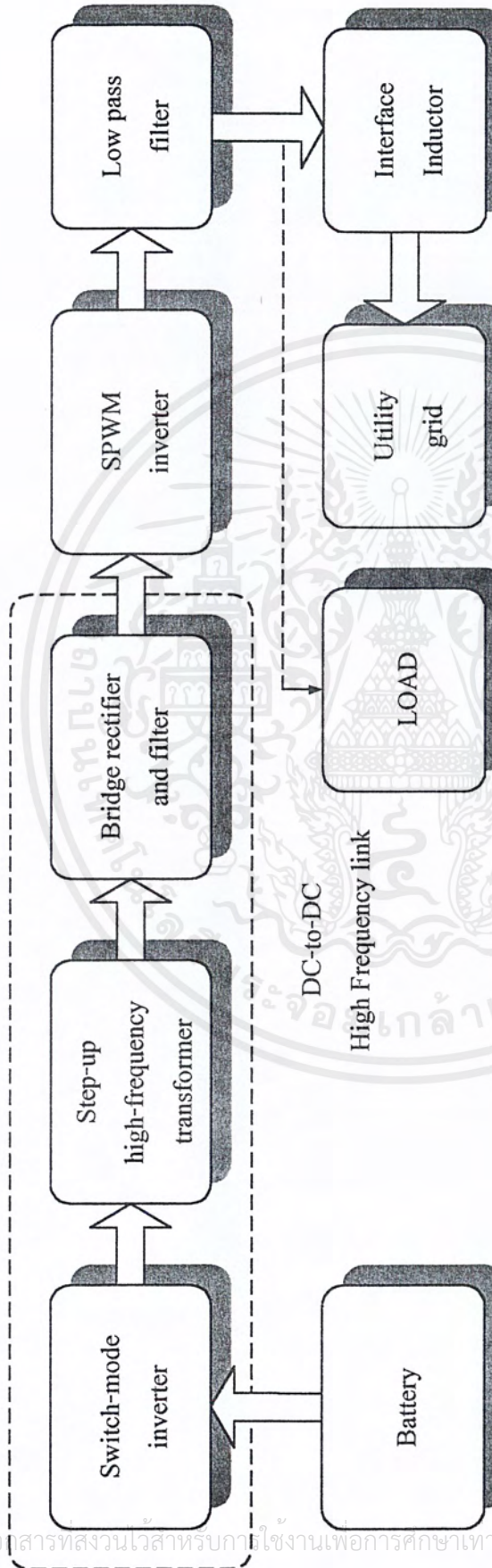
### 1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากการทำปริญญานิพนธ์

- 1.4.1 ได้เรียนรู้และเข้าใจถึงหลักการจ่ายกำลังไฟฟ้าคืนให้กับระบบการไฟฟ้า
- 1.4.2 ได้เรียนรู้และเข้าใจถึงหลักการทำงานของทฤษฎีของอินเวอร์เตอร์และอุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์
- 1.4.3 สามารถช่วยลดปริมาณการใช้กำลังไฟฟ้าจากระบบการไฟฟ้า และช่วยประหยัดค่าไฟฟ้าในครัวเรือนได้

### 1.5 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์

- 1.5.1 ออกแบบและสร้างชุดคอนโทรลและชุดเพาเวอร์ที่ใช้ในการจ่ายกำลังไฟฟ้าคืนให้กับระบบการไฟฟ้าโดยใช้เอสพีดีบลิวเอ็มอินเวอร์เตอร์
- 1.5.2 วิเคราะห์ผลของเอาท์พุทที่ได้จาก เอสพีดีบลิวเอ็มอินเวอร์เตอร์
- 1.5.3 วิเคราะห์ผลในการเชื่อมโยงของกำลังไฟฟ้าที่เอาท์พุทและของระบบการไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



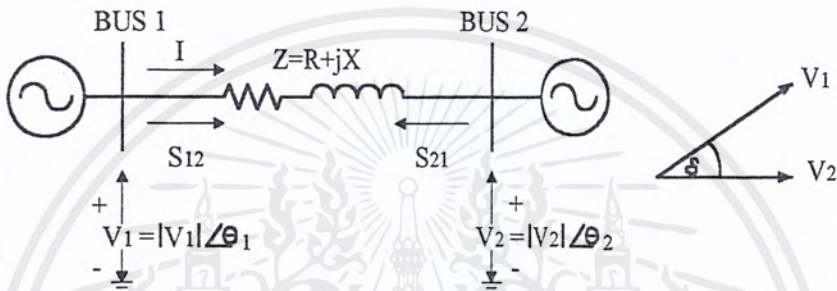
รูปที่ 1.3 บล็อกไดอะแกรมของระบบการเชื่อมโยงแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงเข้ากับระบบการไฟฟ้า

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและหลักการ

#### 2.1 ทฤษฎี

การควบคุมการจ่ายกำลังไฟฟ้าระหว่างบัสสองบัส



รูปที่ 2.1 ใช้ในการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้า

ในการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้า โดยมีทิศทางการไหลของกระแสและกำลังไฟฟ้าตามรูปที่ 1 ซึ่งเป็นวงโคจรโคจรแทนระบบส่งกำลังไฟฟ้าระหว่างบัส 1 กับบัส 2 และมีค่าอิมพีแดนซ์ของสายส่งเป็น  $Z = R + jX$  ต่ออยู่ระหว่างบัสทั้งสอง ซึ่งมีสมการในการวิเคราะห์ดังต่อไปนี้

$$S_{12} = P_{12} + jQ_{12} = V_1(I^*) \quad (2.1)$$

$$S_{21} = P_{21} + jQ_{21} = V_2(-I^*) \quad (2.2)$$

$$I = \frac{V_1 - V_2}{Z} \quad (2.3)$$

โดย:  $S_{12}$  คือ กำลังไฟฟ้ายรวมที่ไหลจากบัส 1 ไป บัส 2

$S_{21}$  คือ กำลังไฟฟ้ายรวมที่ไหลจากบัส 2 ไป บัส 1

$P_{12}$  คือ กำลังไฟฟ้าจริงที่ไหลจากบัส 1 ไป บัส 2

$P_{21}$  คือ กำลังไฟฟ้าจริงที่ไหลจากบัส 2 ไป บัส 1

$Q_{12}$  คือ กำลังไฟฟ้าเสมือนที่ไหลจากบัส 1 ไป บัส 2

$Q_{21}$  คือ กำลังไฟฟ้าเสมือนที่ไหลจากบัส 2 ไป บัส 1

$V_1, V_2$  คือ แรงดันไฟฟ้าที่บัส 1 และบัส 2 ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

I คือ กระแสไฟฟ้าที่ไหลจากบัส 1 ไปบัส 2

Z คือ อิมพีแดนซ์ของสายส่ง

จากสมการที่ (1) และ (3) ได้

$$\begin{aligned} S_{12} &= V_1 \frac{V_1^* - V_2^*}{Z^*} \\ &= \frac{|V_1|^2 - |V_1||V_2|\angle\theta_1 - \theta_2}{R + jX} \end{aligned} \quad (2.4)$$

จากสมการที่ (2) และ (3) ได้

$$\begin{aligned} S_{21} &= V_2 \frac{V_2^* - V_1^*}{Z^*} \\ &= \frac{|V_2|^2 - |V_1||V_2|\angle\theta_2 - \theta_1}{R - jX} \end{aligned} \quad (2.5)$$

กำหนดให้  $\theta_1 - \theta_2 = \delta$

เมื่อ  $\delta$  คือ มุมเฟาเวอร์เองเกิล(power angle) ซึ่งเป็นมุมต่างกันระหว่างแรงดันไฟฟ้าทั้งสอง ดังนั้นจะได้สมการ

$$P_{12} = \frac{1}{R^2 + X^2} (R|V_1|^2 - R|V_1||V_2|\cos\delta + X|V_1||V_2|\sin\delta) \quad (2.6)$$

$$Q_{12} = \frac{1}{R^2 + X^2} (X|V_1|^2 - X|V_1||V_2|\cos\delta - R|V_1||V_2|\sin\delta) \quad (2.7)$$

ในทำนองเดียวกัน

$$P_{21} = \frac{1}{R^2 + X^2} (R|V_2|^2 - R|V_1||V_2|\cos\delta - X|V_1||V_2|\sin\delta) \quad (2.8)$$

$$Q_{21} = \frac{1}{R^2 + X^2} (X|V_2|^2 - X|V_1||V_2|\cos\delta + R|V_1||V_2|\sin\delta) \quad (2.9)$$

ซึ่งโดยทั่วไป  $X \gg R$

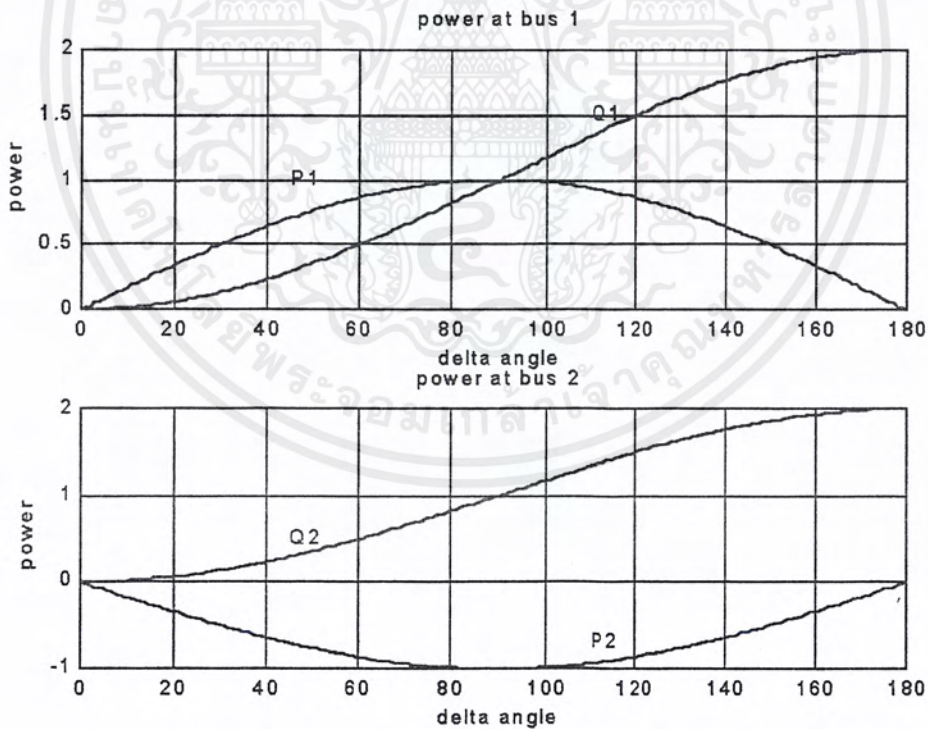
$$P_{12} = \frac{|V_1||V_2|}{X} \sin\delta \quad (2.10)$$

$$Q_{12} = \frac{1}{X} (|V_1|^2 - |V_1||V_2|\cos\delta) \quad (2.11)$$

$$P_{21} = -\frac{|V_1||V_2|}{X} \sin\delta = -P_{12} \quad (2.12)$$

$$Q_{21} = \frac{1}{X} (|V_2|^2 - |V_1||V_2|\cos\delta) \quad (2.13)$$

จากสมการที่(2.10)ถึง(2.13)สามารถนำมาเขียนกราฟความสัมพันธ์ของค่ากำลังไฟฟ้าที่แปรไปตามมุมเฟาเวอร์เองเกิด(power angle) โดยการคงที่ค่าแรงดันไฟฟ้าที่บัสทั้งสองและทำการปรับมุมเฟาเวอร์เองเกิด(power angle)ตั้งแต่ 0 ถึง 180 องศาซึ่งจะได้ลักษณะดังกราฟรูปที่ 2.2

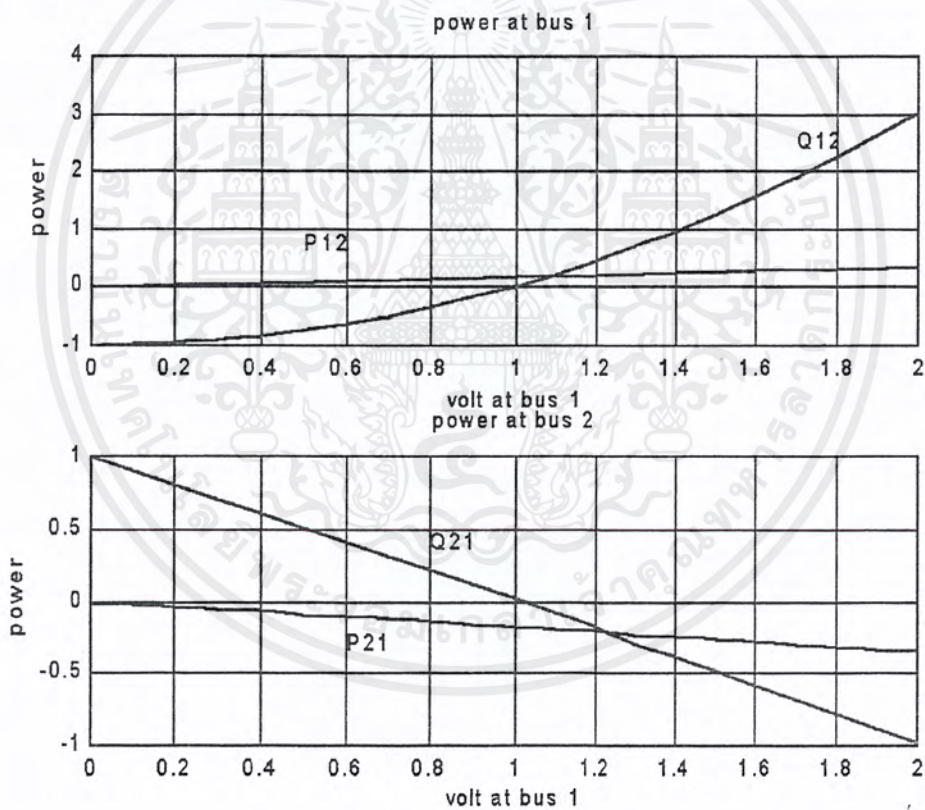


รูปที่ 2.2 กราฟแสดงค่ากำลังไฟฟ้าเมื่อทำการปรับมุมเฟาเวอร์เองเกิด(power angle)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการเมื่อนำไปวิเคราะห์และเขียนเป็นกราฟความสัมพันธ์จะพบว่าถ้าเมื่อทำการคงที่แรงดันไฟฟ้าที่บัส และทำการปรับมุมเฟาเวอร์เองเกิด (power angle) ให้เพิ่มขึ้น ซึ่งจะทำให้มีกำลังไฟฟ้าไหลจากบัส 1 ไปยังบัส 2 โดยกำลังไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ และจะสูงสุดที่มุมเฟาเวอร์เองเกิด (power angle) เท่ากับ 90 องศาและกำลังไฟฟ้าจะลดลงเรื่อยๆ เมื่อมุมเฟาเวอร์เองเกิด (power angle) เกิน 90 องศา

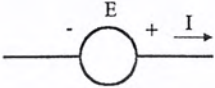
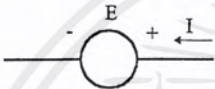
และจากสมการที่ (2.10) ถึง (2.13) สามารถนำมาเขียนกราฟความสัมพันธ์ของค่ากำลังไฟฟ้า โดยการให้มุมเฟาเวอร์เองเกิด (power angle) คงที่ที่มุม 10 องศา และคงที่แรงดันไฟฟ้าที่บัส 2 ไว้ แล้วทำการปรับแรงดันไฟฟ้าที่บัส 1 จะได้ลักษณะดังกราฟรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 กราฟแสดงค่ากำลังไฟฟ้าเมื่อทำการปรับแรงดันไฟฟ้าที่บัส 1

เมื่อทำการปรับแรงดันไฟฟ้าที่บัส 1 แล้วทำการคงที่มุมเฟาเวอร์เองเกิด (power angle) และแรงดันไฟฟ้าที่บัส 2 จะพบว่าที่บัส 1 จะจ่ายกำลังไฟฟ้าเสมือนเพิ่มขึ้น แต่ที่บัส 2 จ่ายกำลังไฟฟ้าเสมือนลดลงและจะเปลี่ยนมารับกำลังไฟฟ้าเสมือนเมื่อแรงดันไฟฟ้าที่บัส 1 มากกว่าที่บัส 2

ซึ่งมีหลักเกณฑ์ในการพิจารณาการไหลของกำลังไฟฟ้าได้จากตารางดังต่อไปนี้

วงจร	ค่ากำลังไฟฟ้า
<p>แหล่งจ่าย</p> 	<p>เมื่อ P เป็น + ; จ่ายกำลังไฟฟ้าจริง            P เป็น - ; รับกำลังไฟฟ้าจริง            Q เป็น + ; จ่ายกำลังไฟฟ้าเสมือน            Q เป็น - ; รับกำลังไฟฟ้าเสมือน</p>
<p>แหล่งรับ</p> 	<p>เมื่อ P เป็น + ; รับกำลังไฟฟ้าจริง            P เป็น - ; จ่ายกำลังไฟฟ้าจริง            Q เป็น + ; รับกำลังไฟฟ้าเสมือน            Q เป็น - ; จ่ายกำลังไฟฟ้าเสมือน</p>

### แนวคิดเบื้องต้น

จากหลักการในทฤษฎีที่ได้กล่าวมาแล้วถ้าเราสามารถสร้างแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่สามารถปรับขนาดแรงดันไฟฟ้า , ปรับมุมเฟสและปรับความถี่ได้ เราก็สามารถที่จะทำให้แรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่เราสร้างขึ้น มาใช้ในการควบคุมการไหลของกำลังไฟฟ้าให้เป็นไปตามที่เราต้องการได้ ซึ่งสามารถพิจารณาได้จากสมการที่ (2.10) , (2.12)

$$P_{12} = \frac{|V_1||V_2|}{X} \sin \delta$$

$$P_{21} = - \frac{|V_1||V_2|}{X} \sin \delta = - P_{12}$$

เมื่อเราต้องการที่จะควบคุมการไหลของกำลังไฟฟ้าก็สามารถทำได้โดยการปรับมุมเฟสเองเกิด (power angle) หรือปรับมุมเฟสนั้นเอง และจากสมการที่ (2.11) , (2.13)

$$Q_{12} = \frac{1}{X} (|V_1|^2 - |V_1||V_2| \cos \delta)$$

$$Q_{21} = \frac{1}{X} (|V_2|^2 - |V_1||V_2| \cos \delta)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.2 ทฤษฎีพื้นฐานอินเวอร์เตอร์

อินเวอร์เตอร์ หรือ การแปลงไฟตรงเป็นไฟสลับ (DC to AC converter) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการแปลงแรงดันอินพุตไฟตรง เป็นแรงดันเอาต์พุตไฟสลับ ที่สามารถปรับความถี่และขนาดได้ตามความต้องการ

### 2.2.1 ประเภทของอินเวอร์เตอร์

แบ่งตามลักษณะของจำนวนเฟสของเอาต์พุตได้ 2 ประเภท คือ

1. อินเวอร์เตอร์เฟสเดียว (single phase inverter) เป็นอินเวอร์เตอร์ที่เอาต์พุตเป็นไฟกระแสสลับเฟสเดียว
2. อินเวอร์เตอร์ 3 เฟส (three phase inverter) เป็นอินเวอร์เตอร์ที่เอาต์พุต เป็นไฟกระแสสลับ 3 เฟส

แบ่งตามลักษณะการใช้งานได้ 2 ประเภทคือ

1. อินเวอร์เตอร์แบบป้อนแรงดัน (Voltage Source Inverter : VSIs) เป็นอินเวอร์เตอร์ที่อินพุตที่จ่ายให้เป็นแหล่งจ่ายแรงดันไฟตรง (DC Voltage Source)
2. อินเวอร์เตอร์แบบป้อนกระแส (Current Source Inverter : CSIs) เป็นอินเวอร์เตอร์ที่อินพุตที่จ่ายให้เป็นแหล่งจ่ายกระแสไฟตรง (DC Current Source) ซึ่งอินเวอร์เตอร์ชนิดนี้ส่วนใหญ่จะใช้กับงานที่ต้องการกำลังสูงๆ

### 2.2.2 อินเวอร์เตอร์แบบป้อนแรงดัน (Voltage Source Inverter : VSIs)

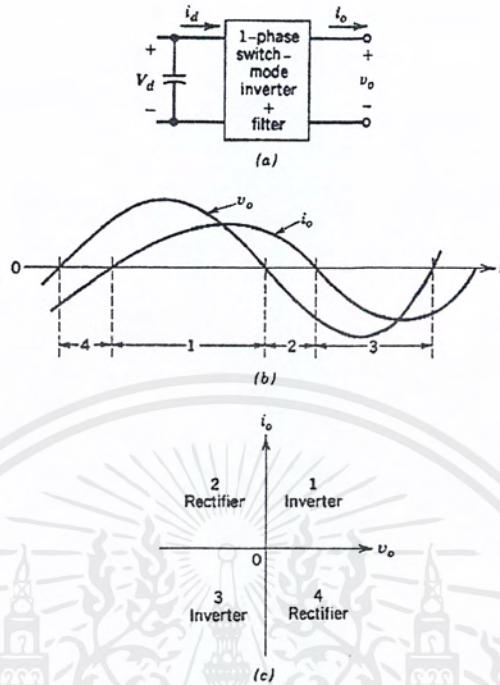
อินเวอร์เตอร์แบบป้อนแรงดัน ยังสามารถแบ่งได้อีก 3 ชนิด ตามลักษณะของสัญญาณที่ใช้ป้อนอุปกรณ์สวิตช์ ดังนี้

1. อินเวอร์เตอร์แบบมอดูเลตตามความกว้างของพัลส์ (Pulse-width-modulated inverter PWM inverter) เป็นอินเวอร์เตอร์ที่สามารถปรับขนาดและความถี่ ของเอาต์พุตได้ที่ตัวอินเวอร์เตอร์เลย โดยแรงดันอินพุตจะมีค่าคงที่ สัญญาณที่นำไปสวิตช์ตัวอุปกรณ์จะเกิดจากวิธีการที่เรียกว่า PWM มีวิธีการในการสร้างสัญญาณโดยวิธีนี้หลายวิธีซึ่งจะกล่าวต่อไป

2. อินเวอร์เตอร์แบบรูปคลื่นสี่เหลี่ยม (Square-wave inverter) เป็นอินเวอร์เตอร์ที่ขนาดแรงดันด้านเอาต์พุตถูกควบคุมโดยการปรับแรงดันทางด้านอินพุต ส่วนการปรับความถี่จะปรับที่ตัวอินเวอร์เตอร์ได้อย่างเดียว และสัญญาณที่นำมาสวิตช์จะเป็นสี่เหลี่ยมเป็นผลให้สัญญาณเอาต์พุตมีลักษณะเป็นสี่เหลี่ยมคี่วย
3. อินเวอร์เตอร์แบบเฟสเดียวที่มีโวลต์เตจแคนเซิลเลชัน (Single-phase inverter with voltage cancellation) เป็นอินเวอร์เตอร์ที่ไม่สามารถปรับความถี่ และขนาดของสัญญาณเอาต์พุตที่ตัวอินเวอร์เตอร์แต่เราจะสามารถใช้เทคนิคที่เรียกว่าโวลต์เตจแคนเซิลเลชันมาช่วยได้

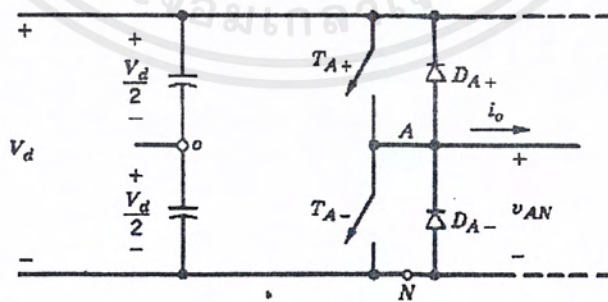
### 2.2.3 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับการทำงานของอินเวอร์เตอร์

เราสามารถอธิบายการทำงานพื้นฐานของอินเวอร์เตอร์ได้ โดยพิจารณาอินเวอร์เตอร์เฟสเดียวที่มีบด็อกโคอะแกรม ดังรูปที่ 2.4 (a) จากรูปเราจะสมมติได้ว่าแรงดันเอาต์พุต ( $V_o$ ) จะถูกกรองจนกระทั่งสัญญาณมีลักษณะเป็นรูปคลื่นไซน์และถ้าเราเอาอินเวอร์เตอร์ไปต่อเข้ากับโหลดที่มีลักษณะเป็นอินдукทีฟ (inductive load) กระแสเอาต์พุต ดังรูปที่ 2.4 (b) แสดงให้เห็นว่าช่วงหมายเลข 1  $V_o$  และ  $i_o$  จะเป็นบวกทั้งคู่ แสดงว่ามีการไหลของกำลังงาน ( $P_o = V_o I_o$ ) จากด้านไฟตรงไปด้านไฟสลับของอินเวอร์เตอร์ ในทางตรงข้ามในช่วง 2 และ 4  $V_o$  และ  $i_o$  จะมีเครื่องหมายตรงกันข้าม แสดงว่ามีการไหลของกำลังงานจากด้านไฟสลับ ไปทางด้านไฟตรง ซึ่งเป็นลักษณะของการทำงานเป็นเรกติไฟร์ (rectifier) ดังนั้น อินเวอร์เตอร์ในรูปที่ 2.4 (a) จะสามารถทำงานได้ 4 ลักษณะตามกราฟ  $V_o$  และ  $i_o$  ในรูป 2.4 (c) ในแต่ละไซเคิลของเอาต์พุตไฟสลับ



รูปที่ 2.4 (a) บล็อกโคอะแกรมพื้นฐานของอินเวอร์เตอร์  
 (b) ลักษณะของสัญญาณเอาต์พุตเมื่อมีโหลดแบบอินดักทีฟ  
 (c) กราฟ  $V_o$  และ  $i_o$  แสดงการทำงานของอินเวอร์เตอร์ใน 1 ไซเคิล

วงจรที่ใช้อธิบายหลักการการทำงานของอินเวอร์เตอร์ทุกวงจร จะมีพื้นฐานมาจากวงจรในรูปที่ 2.5 ซึ่งจะเป็นวงจรพื้นฐานง่าย ๆ ของอินเวอร์เตอร์ จะมีลักษณะเป็นวงจรฮาล์ฟเวฟอินเวอร์เตอร์นั่นเอง



รูปที่ 2.5 แสดงวงจรของอินเวอร์เตอร์

## 2.2.4 วิธีการในการควบคุมแรงดันและความถี่ของอินเวอร์เตอร์

วิธีการในการควบคุมสามารถแบ่งได้คร่าว ๆ 3 แบบ คือ

1. การมอดูเลตตามความกว้างพัลส์ (Pulse width modulation : PWM)
2. การควบคุมโดยใช้สัญญาณสี่เหลี่ยม (Square wave operation)
3. การควบคุมโดยใช้หลักการอื่น ๆ เข้าช่วย

วิธีการในการควบคุมแรงดันและความถี่ของอินเวอร์เตอร์มีอยู่หลายแบบ แต่วิธีที่นิยมมากที่สุดในปัจจุบันและมีประสิทธิภาพดี คือ วิธีควบคุมโดยการใช้น้ำสัญญาณที่ได้จากการมอดูเลตตามความกว้างของพัลส์ ซึ่งเป็นวิธีการที่ใช้ในโครงการนี้ด้วย ดังนั้นจะขอก้าวในรายละเอียดของวิธีการนี้

## 2.2.5 การมอดูเลตตามความกว้างพัลส์

เทคนิคของ PWM จะเริ่มจากการผลิตที่มีแอมพลิจูดคงที่ (อาจเป็นสามเหลี่ยมหรือฟันเลื่อยก็ได้) และนำไปเปรียบเทียบกับรูปคลื่นแบบต่าง ๆ ขึ้นอยู่กับรูปแบบในการทำ PWM รูปแบบในการมอดูเลตตามความกว้างของพัลส์แบ่งได้ 3 แบบ คือ

1. การมอดูเลตตามความกว้างของพัลส์แบบเดี่ยว (Single-pulse modulation)
2. การมอดูเลตตามความกว้างของพัลส์แบบหลายพัลส์ (Multiple-pulse modulation)
3. การมอดูเลตตามความกว้างของพัลส์แบบไซน์ (Sinusoidal pulse modulation)

### 2.2.5.1 มอดูเลตตามความกว้างของพัลส์แบบเดี่ยว (Single-pulse modulation)

เป็นการควบคุมความกว้างของพัลส์ที่สัญญาณที่นำไปสวิตซ์ไทรสเตอร์มีจำนวน 1 พัลส์ในครึ่งไซเคิลทำให้รูปคลื่นแรงดันมีจำนวน 1 ลูกคลื่นในครึ่งไซเคิลเช่นกัน

การควบคุมความกว้างของพัลส์สามารถทำได้โดย

- คงที่ขอบเขตบน (leading edge) แต่แปรเปลี่ยนขอบเขตล่าง (trailing edge) ของพัลส์
- คงที่ขอบเขตล่าง (trailing edge) แต่แปรเปลี่ยนขอบเขตบน (leading edge) ของพัลส์
- แปรเปลี่ยนทั้งขอบเขตบนและล่าง โดยคงความสมมาตรของรูปพัลส์เอาไว้

ลักษณะของการมอดูเลตตามความกว้างของพัลส์แบบเดี่ยว พัลส์จะมีเส้นสมมาตรอยู่ที่

$$\frac{\pi}{2}, \frac{3\pi}{2}, \frac{5\pi}{2}, \dots \text{ และสามารถหาอนุกรมฟูเรียร์ของ รูปคลื่นแรงดันออกมาได้ ดังนี้}$$

$$V(\omega t) = \frac{4V}{\pi} \left( \frac{\sin \delta}{2\sin \omega S} - \frac{1}{3} \frac{\sin 3\delta}{2\sin 3\omega S} + \frac{1}{5} \frac{\sin 5\delta}{2\sin 5\omega S} - + \dots \right) \quad (2.14)$$

$\delta$  เป็นความกว้างของพัลส์และมีค่าสูงสุด =  $\pi$

สำหรับฮาร์โมนิกส์ลำดับที่  $n$  ค่าสูงสุดของความกว้างพัลส์หาได้จาก

$$\delta = 2\pi / n \quad (2.15)$$

จะเห็นว่าฮาร์โมนิกส์ลำดับต่าง ๆ มาเกี่ยวข้องด้วย ทำให้ค่าของแรงดันมูลฐานมีค่าลดลงเรื่อย ๆ และค่า  $m_s$  ของรูปคลื่นแบบพัลส์เดี่ยวหาได้จาก

$$V_{ms} = \left[ \frac{2}{2\pi} \int_{\left(\frac{\pi-\alpha}{2}\right)}^{\left(\frac{\pi+\alpha}{2}\right)} V^2 d(\omega t) \right]^{\frac{1}{2}} \quad (2.16)$$

สำหรับฮาร์โมนิกส์ลำดับที่  $n$  จะมีค่าสูงสุดของรูปคลื่นแรงดัน  $V_n$  เท่ากับ

$$V_n = \frac{4V}{n\pi} \sin \frac{n\pi}{2} \quad (2.17)$$

ค่าความผิดเพี้ยนของสัญญาณ (Distortion Factor : DF) จะมีค่าเท่ากับ

$$DF = \frac{(V_1/\sqrt{2})}{V_{ms}} = \frac{2\sqrt{2}}{\sqrt{\pi\delta}} \sin \frac{\delta}{2} \quad (2.18)$$

จะเห็นว่าค่าสูงสุดมีค่า = 0.8 เมื่อ  $\delta = \pi$

#### 2.2.5.2 การมอดูเลตตามความกว้างของพัลส์แบบหลายพัลส์ (Multiple-pulse modulation)

เป็นการทำให้จำนวนพัลส์ ในแต่ละครึ่งไซเคิลของรูปคลื่นแรงดันมีจำนวนมากขึ้นกว่าเดิม และสามารถลดองค์ประกอบฮาร์โมนิกส์ ในคลื่นแรงดันเอาท์พุท จะเห็นว่าพื้นที่ใต้กราฟในครึ่งไซเคิลของการมอดูเลตตามความกว้างของพัลส์แบบหลายพัลส์ (multiple-pulse modulation) มีค่าเท่ากับของการมอดูเลตแบบพัลส์เดี่ยว เป็นผลให้ค่าของแรงดัน rms มีค่าเท่ากัน แต่ฮาร์โมนิกส์จะแตกต่างกันออกไป ถ้าความถี่ของพัลส์แครีเรีย (carrier) เป็น  $f_c$  และความถี่ของการมอดูเลตมีค่า  $f$  โดยที่  $f_c > f$  แล้วจำนวนลูกคลื่นใน 1 ไซเคิล ( $N$ ) จะมีค่าเท่ากับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$N = \frac{f_c}{2f} = \frac{\omega_c}{2\omega} \quad (2.19)$$

และค่า rms ของแรงดันเอาต์พุตหาได้จาก

$$V_{ms} = \left[ \frac{2N}{2\pi} \int_{\frac{\pi/2-\delta}{2}}^{\frac{\pi/2+\delta}{2}} V^2 d(\omega t) \right]^{\frac{1}{2}} \quad (2.20)$$

### 2.2.5.3 การมอดูเลตตามความกว้างของพัลส์แบบไซน์ (Sinusoidal pulse width modulation : SPWM)

เป็นการนำสัญญาณไซน์มาทำเป็น สัญญาณมอดูเลต (modulating signal) แทนสัญญาณที่เหลี่ยมความกว้างของพัลส์แต่ละพัลส์จะมีค่าไม่คงที่เหมือนที่ผ่านมา โดยจะแปรตามรูปของสัญญาณไซน์

สัญญาณมอดูเลต ซึ่งเป็นสัญญาณไซน์  $V_m(\omega t) = V_m \sin \omega t$  ได้ถูกนำมาเปรียบเทียบกับสัญญาณพาหะ  $V_c(\omega t)$  ที่มีค่าแอมพลิจูดเท่ากับ  $V_c$  จุดตัดของสัญญาณทั้งสองจะทำให้เกิดช่วงเวลาของการ on-off ก็จะเกิดการจำกัดสัญญาณดังกล่าวนี้ไปใช้

ความกว้างของพัลส์จะขึ้นอยู่กับ อัตราส่วนของค่าสูงสุดของสัญญาณมอดูเลต ( $V_m$ ) กับค่าสูงสุดของสัญญาณคลื่นพาหะ ( $V_c$ ) หรือเรียกว่า มอดูเลตชันอินเด็กซ์ ( $m_a$ ) นั่นคือ

$$m_a = \frac{V_m}{V_c} \quad (2.21)$$

ค่าแอมพลิจูดของแรงดันเอาต์พุตจะแปรตามค่า (modulation index) โดยที่ค่าสูงสุดของ  $m_a$  คือ 1 ถ้า  $m_a > 1$  หรือ  $V_m > V_c$  จะเกิดฮาร์โมนิกส์ต่ำๆ ที่ไม่ต้องการขึ้น

อัตราส่วน  $N = \frac{f_c}{2f} = \frac{\omega_c}{2\omega}$  ยังสามารถนำมาใช้ได้ และเราจะสามารถนำมาช่วยค่าฮาร์โมนิกส์ที่สูงที่สุดจะเกิดขึ้นที่ไหนจาก  $2N \pm 1$  การเพิ่มของ  $N$  จะทำให้ฮาร์โมนิกส์ลดลงเพิ่มขึ้น และจะมีผลให้

PWM จะทำให้จำนวนฮาร์โมนิกส์เพิ่มขึ้นแต่ขนาดของฮาร์โมนิกส์เพิ่มขึ้น

SPWM จำนวนฮาร์โมนิกส์จะเพิ่มขึ้นแต่ขนาดของฮาร์โมนิกส์ยังคงเดิม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



จากรูปที่ 2.6 ค่ามอดดูเลชั่นอินเด็กซ์ (modulation index) ของสัญญาณยังคงหาได้ดั้งเดิม คือ

$$m_a = \frac{\hat{V}_{control}}{\hat{V}_{in}} \quad (2.22)$$

ยังมีค่าอีกค่าที่จะกล่าวถึง คือ อัตราส่วนการมอดดูเลชั่นของความถี่ (frequency modulation ratio :  $m_f$ ) หาได้จาก

$$m_f = \frac{f_s}{f_1} \quad (2.23)$$

ค่า  $m_f$  จะช่วยในการหาการเกิดฮาร์โมนิกส์ว่าเกิดขึ้นที่ใดได้ (ดังรูป 2.7) และวิธีการในการหาจุดตัดต่าง ๆ บนกราฟหาได้จากสมการ

$$V_m \sin \omega t = V_c [(1 - 4N/\pi) \omega t] \quad (2.24)$$

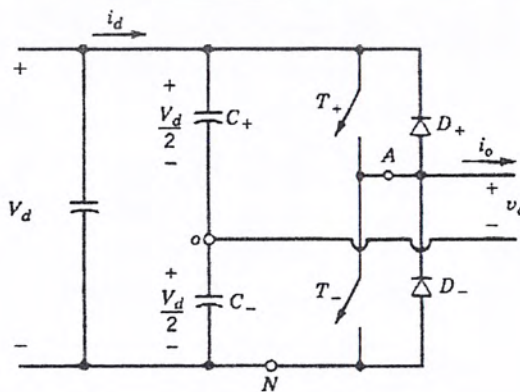
### 2.2.6 อินเวอร์เตอร์เฟสเดียว (Single phase inverter)

สามารถแบ่งเป็นชนิดย่อยได้ 3 ชนิด คือ

1. ฮาล์ฟบริดจ์อินเวอร์เตอร์ (half bridge inverter)
2. ฟูลบริดจ์อินเวอร์เตอร์ (full bridge inverter)
3. พูชพูลอินเวอร์เตอร์ (push pull inverter)

#### 2.2.6.1 ฮาล์ฟบริดจ์อินเวอร์เตอร์ (half bridge inverter)

วงจรฮาล์ฟบริดจ์อินเวอร์เตอร์เป็นวงจรที่ใช้สวิตช์ในการควบคุมเพียง 2 ตัว ดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 แสดงวงจรฮาล์ฟบริดจ์ คอนเวอร์เตอร์ (half bridge converter)

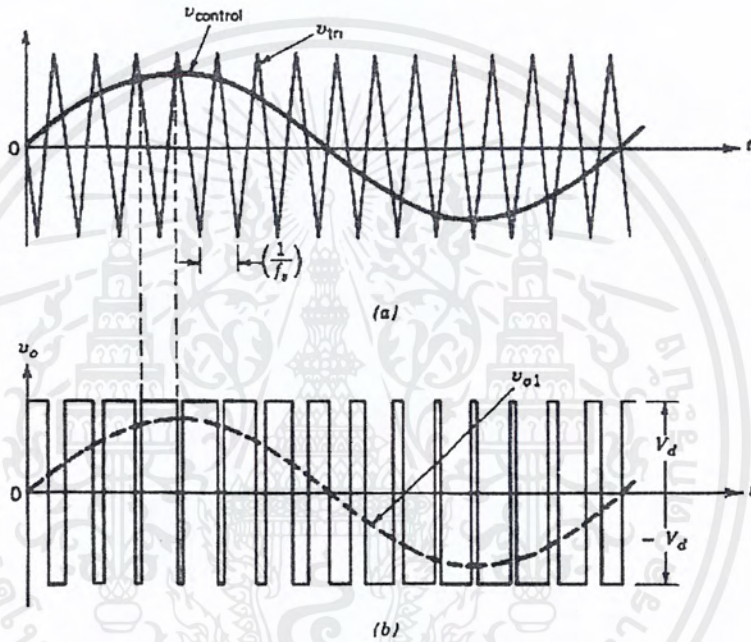
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปวงจรฮาล์ฟบริดจ์ คอนเวอร์เตอร์ (half bridge converter)

สวิตช์  $T_+$  จะเปิดเมื่อ  $V_{\text{control}} > V_{\text{tri}}$  และจะได้แรงดันสัญญาณเอาต์พุต ( $V_{AO}$ ) =  $\frac{1}{2}V_d$

สวิตช์  $T_-$  จะเปิดเมื่อ  $V_{\text{control}} < V_{\text{tri}}$  และจะได้สัญญาณแรงดันเอาต์พุต ( $V_{AO}$ ) =  $-\frac{1}{2}V_d$

ผังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 แสดงสัญญาณที่ได้จากวงจรอินเวอร์เตอร์

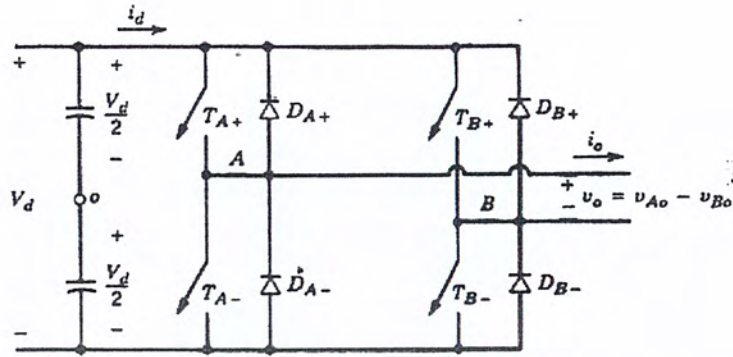
จะสังเกตได้ว่าแรงดันที่ตกคร่อมสวิตช์ ( $V_T$ ) สูงสุดจะมีค่าเท่ากับแรงดันอินพุต

$$V_T = V_d \quad (2.25)$$

และกระแสไหลผ่านสวิตช์สูงสุดจะมีค่า  $L_T = 0$  ; peak

#### 2.2.6.2 ฟูลบริดจ์อินเวอร์เตอร์ (full bridge inverter)

มีวงจรผังรูปที่ 2.10 อินเวอร์เตอร์ชนิดนี้จะประกอบด้วยสวิตช์ 4 ตัว และมี 2 สวิตช์ในแต่ละกิ่งจะ on พร้อมกันไม่ได้ อินเวอร์เตอร์ชนิดนี้จะได้เปรียบกว่าแบบแรกคือสามารถที่จะรับกำลังได้สูง ๆ เพราะสวิตช์ แต่ละตัวจะได้รับแรงดันครึ่งหนึ่งของแรงดันอินพุต ไม่เหมือนแบบฮาล์ฟบริดจ์ (half bridge) และอุปกรณ์ที่ต่อขนาดจะมีขนาดเล็กลงด้วย



รูปที่ 2.10 วงจรฟูลบริดจ์ อินเวอร์เตอร์ (full bridge inverter)

การใช้สัญญาณ PWM ควบคุมแบบไบโพลาร์โวลต์เตจสวิตชิ่ง (PWM with bipolar voltage switching)

การควบคุมในลักษณะนี้เราจะสร้างสัญญาณ PWM ขึ้นมาควบคุมสวิตช์ให้เปิดหรือปิดพร้อมกันเป็นคู่ ๆ โดยสวิตช์ที่อยู่บนกิ่งเดียวกันจะเปิดพร้อมกันไม่ได้ ดังนั้นจากรูปที่ 2.10 เราจะได้ว่า

$$T_{A+} \text{ และ } T_{B-} \text{ จะเปิดเมื่อ } V_{\text{control}} > V_{\text{tri}} \text{ และ } V_{AO} = \frac{V_d}{2}$$

$$T_{A-} \text{ และ } T_{B+} \text{ จะเปิดเมื่อ } V_{\text{control}} < V_{\text{tri}} \text{ และ } V_{BO} = -\frac{V_d}{2}$$

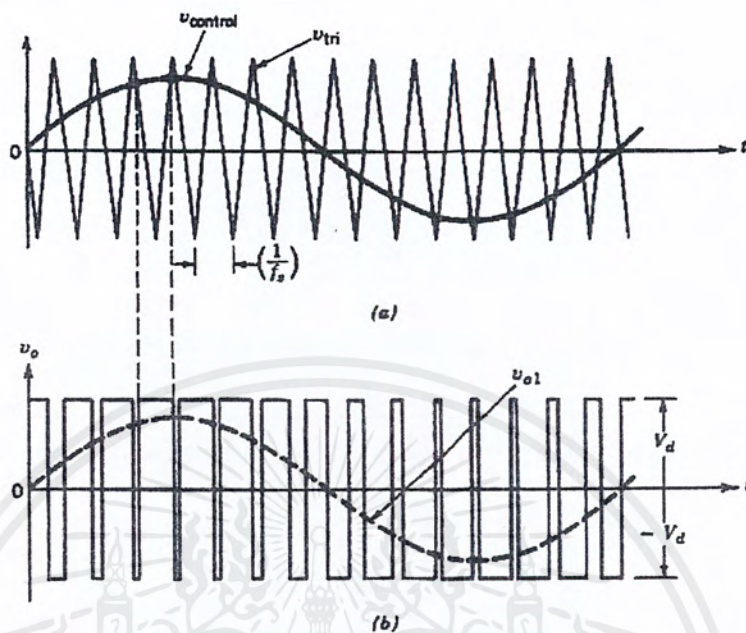
สัญญาณทั้งสองจะมีลักษณะอินเวอร์สกันและจะมี dead time ด้วยและจะได้ว่า

$$V_o(t) = V_{AO}(t) - V_{BO}(t) = 2V_{AO}(t) = V_d(\text{peak}) \quad (2.26)$$

$$\text{ถ้า } m_a \leq 1 ; \hat{V}_{o1} = m_a V_d \text{ (ค่า voltage fundamental)} \quad (2.27)$$

$$\text{ถ้า } m_a > 1 ; V_d < \hat{V}_{o1} < \frac{4V_d}{\pi} \quad (2.28)$$

รูปคลื่นสัญญาณที่เอาไปสวิตช์และรูปสัญญาณเอาท์พุท จะมีลักษณะดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 แสดงรูปคลื่นสัญญาณของ bipolar

(a) สัญญาณที่เอาเปรียบเทียบกัน

(b) สัญญาณเอาท์พุท

ฮาร์โมนิกส์ที่เอาท์พุทของอินเวอร์เตอร์สามารถวิเคราะห์ได้จาก

$$f_h = (jm_r \pm k) f_1 \tag{2.29}$$

$$h = j(mf) \pm k \tag{2.30}$$

$$(\hat{V}_{A0})_h = \frac{(\hat{V}_{A0})_1}{h} \tag{2.31}$$

ตารางที่ 2.1 แสดงแรงดันเอาท์พุทของ 1- $\phi$  Inverter

แรงดันขาออก	PWM full-bridge	Square-wave
$\hat{V}_{O1}$	$m_a V_d$	$V_d 4/\pi$
$V_{O1(rms)}$	$0.707.m_a V_d$	$0.707.V_d 4/\pi$
$\hat{V}_{O1}$	$m_a \cdot \frac{V_d}{2}$	$\frac{V_d}{2} \cdot \frac{4}{\pi}$
$(\hat{V}_{A0})_h$	$\frac{(\hat{V}_{A0})_1}{h}$	$\frac{(\hat{V}_{A0})_1}{h}$

### 2.3 ฮาร์โมนิกส์

ค่าที่ใช้บ่งชี้ถึงความผิดเพี้ยนของรูปสัญญาณของกระแสและแรงดันมีดังนี้คือ

1. ตัวประกอบความเพี้ยน (Distortion Factor) ; DF
2. ตัวประกอบฮาร์โมนิกส์ (harmonic Factor) ; HF
3. ความผิดเพี้ยนของฮาร์โมนิกส์ทั้งหมด (Total Harmonic Distortion) ; THD

ความหมายทั้งสามตัวนั้นในมาตรฐานของ IEEE ได้ให้ความหมายไว้เหมือนกันกล่าวคือค่าที่บอกถึงปริมาณของฮาร์โมนิกส์ทั้งหมด โดยเปรียบเทียบกับค่า rms ของส่วนประกอบความถี่หลักมูล

IEEE 519-1992

$$DF_v = HF_v = THD_v = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} V_n^2}}{V_1} \times 100\% \quad (2.32)$$

$$DF_i = HF_i = THD_i = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} I_n^2}}{I_1} \times 100\% \quad (2.33)$$

สำหรับมาตรฐาน IEC ได้ให้ความหมายทั้งสามตัวก็คือความผิดเพี้ยนของฮาร์โมนิกส์ (Harmonic Distortion) ; HD กล่าวคือบอกถึงปริมาณของฮาร์โมนิกส์ที่มีทั้งหมดโดยเปรียบเทียบกับค่าอาร์เอ็มเอส (rms) ของปริมาณทั้งหมด

IEC 555-1:1992

$$HD_v = THD_v = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} V_n^2}}{\sqrt{\sum_{n=1}^{\infty} V_n^2}} \times 100\% \quad (2.34)$$

$$HD_i = THD_i = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} I_n^2}}{\sqrt{\sum_{n=1}^{\infty} I_n^2}} \times 100\% \quad (2.35)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.4 เพาเวอร์มอสเฟต

เพาเวอร์มอสเฟต (mosfet power transistor) สามารถทำงานได้ที่ความถี่สูง ตั้งแต่ 50 KHz ไปจนถึงประมาณ 200 หรือ 400 KHz เนื่องจากมันใช้เวลาในการเปลี่ยนสถานะค่อนข้างสั้น และการพัฒนาในปัจจุบันมีแนวโน้มจะทำให้เพาเวอร์มอสเฟตทำงานได้ที่ความถี่สูงขึ้นไปอีกซึ่งจะเป็นผลดี ในการลดขนาดของคอนเวอร์เตอร์ ในส่วนของวงจรถับของเพาเวอร์มอสเฟตนั้น สามารถทำได้ง่าย โดยอาจจับเพาเวอร์มอสเฟตให้ทำงานได้จากไอซีควบคุมเช่น SG3526 โดยตรง เพาเวอร์มอสเฟตจึงเข้ามาแทนที่ไบโพลาร์เพาเวอร์ซีพหลายในตลาดอุตสาหกรรมปัจจุบัน

### 2.4.1 เงื่อนไขของวงจรถับเพาเวอร์มอสเฟต

การจับเพาเวอร์มอสเฟตให้นำกระแส นั้น แตกต่างจากการจับกระแสไบโพลาร์เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์เนื่องจากมีเงื่อนไขการไบแอสที่แตกต่างกัน สำหรับไบโพลาร์เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ กระแสจะไหลผ่านคอลเล็กเตอร์และอิมิตเตอร์ได้ ก็ต่อเมื่อมีกระแสไบแอสไหลผ่านที่เบสและอิมิตเตอร์ แต่เพาเวอร์มอสเฟตจะมีกระแสไหลผ่านเดรนและซอร์สได้ก็ต่อเมื่อแรงดันคกคร่อมที่ขาเกต และซอร์สมีค่าอย่างต่ำเท่ากับค่าแรงดันขีดเริ่ม (Threshold Voltage) ของมัน แต่ใช้กระแสต่ำ การจับเพาเวอร์มอสเฟตให้นำกระแสจึงทำได้ง่าย และยุ่งยากน้อยกว่าไบโพลาร์มาก อย่างไรก็ตาม เพื่อให้เพาเวอร์มอสเฟตทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด จึงจำเป็นต้องศึกษาเงื่อนไขต่าง ๆ สำหรับการบังคับให้เพาเวอร์มอสเฟตนำกระแส เป็นอันดับแรกเสียก่อน

### 2.4.2 ค่าความจุไฟฟ้าด้านอินพุท (Input Capacitor)

เนื่องจากลักษณะโครงสร้างภายในตัวเพาเวอร์มอสเฟต จึงเหมือนกับมีตัวเก็บประจุต่ออยู่รอบ ๆ ขา ต่าง ๆ ของมันตัวเก็บประจุเหล่านี้ บังคับให้เพาเวอร์มอสเฟตต้องชาร์จประจุเข้าไปที่ตัวเก็บประจุเสียก่อน เพื่อให้แรงดันคกคร่อมที่ขาเกต  $V_{gs}$  มีค่าเพิ่มขึ้นจนถึงค่าแรงดันขีดเริ่ม เพาเวอร์มอสเฟตจะเริ่มนำกระแสในทางกลับกันการหยุดการนำกระแสของเพาเวอร์มอสเฟต จะต้องทำให้ตัวเก็บประจุออกไปจนแรงดันคกคร่อมที่ขาเกต  $V_{gs}$  มีค่าลดลงต่ำกว่าค่าแรงดันขีดเริ่ม เพาเวอร์มอสเฟตจึงหยุดนำกระแสโดยทั่วไปแล้ว ค่าความจุของตัวเก็บประจุในตัวเพาเวอร์มอสเฟตนี้เอง จะเป็นตัวกำหนดความเร็วในการเปลี่ยนสถานะของมัน

### 2.4.3 ข้อพิจารณาในการเลือกใช้งานเพาเวอร์มอสเฟต

สำหรับเพาเวอร์มอสเฟต การเกิดเซคัน์ดารีเบรคดาวน์เช่น ในไบโพลาร์เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ จะไม่เกิดขึ้น เพราะค่าความต้านทานระหว่างเดรนและซอร์สขณะนำกระแส  $R_{ds}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(on) ของมันจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ทำให้กระแสที่ไหลผ่านมีค่าน้อยลง ต่างจากกรณีไบโพลาร์ทรานซิสเตอร์จะเกิดเซชันคาร์เรียเบรคดาวน์ เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นกระแสจะไหลมากยิ่งขึ้น ซึ่งจะเกิดการพังเสียหายได้อย่างรวดเร็ว เพาเวอร์มอสเฟตจึงมีพิสัยความปลอดภัยในกราฟ SOA กว้างกว่าเมื่อเทียบกับไบโพลาร์เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ และเนื่องจากเพาเวอร์มอสเฟตไม่เกิดเซชันคาร์เรียเบรคดาวน์ อัตราทนกำลังสูงสุดเสียดสูงสุดของมันจะถูกจำกัดด้วยค่าความร้อนที่เกิดที่รอยต่อภายในตัวมันเท่านั้น

#### 2.4.4 พิกัดปลอดภัย FBSOA

ขีดจำกัดกำลังที่พิกัดปลอดภัย FBSOA ของเพาเวอร์มอสเฟตนั้น อาจแบ่งออกได้เป็น 4 ลักษณะดังนี้คือ

1. ขีดจำกัดแรงดันตกคร่อมเดรนและซอร์ส  $V_{ds}$  สูงสุดที่สามารถทนได้ (Maximum Drain – Source Voltage)
2. ค่ากระแสเดรน  $I_d$  สูงสุดที่สามารถไหลผ่านได้ และไม่ทำให้โครงสร้างภายในเสียหาย (Thermal Limit)
3. ขีดจำกัดเนื่องจากค่าความต้านทานขณะนำกระแส ( $R_{ds(on)}$  Limit)
4. ขีดจำกัดการระบายความร้อนของตัวถัง (Package Limit)

### 2.5 การออกแบบหม้อแปลงความถี่สูง

#### 2.5.1 ทฤษฎีเบื้องต้นเกี่ยวกับหม้อแปลง

กระแสที่ไหลผ่านขดลวด จะทำให้เกิดฟลักซ์ ถ้าเส้นแรงแม่เหล็กไหลผ่านแกนโดยตลอด เมื่อนำขดลวดมาพันในแกนตรงข้าม ก็จะทำให้เหนี่ยวนำให้เกิดแรงดัน และมีกระแสไหลผ่านเช่นเดียวกัน ถ้าหากหม้อแปลงมีประสิทธิภาพสูงแล้ว

$$N_p/N_s = V_p/V_s \quad (2.36)$$

จะเพิ่มหรือลดแรงดันขึ้นอยู่กับขดลวดว่าจะต้องการ แรงดันเอาต์พุตค่าหรือสูงกว่าแรงดันอินพุต โดยที่ศักดาไฟฟ้าเหนี่ยวนำจะสัมพันธ์กับสมการ

$$E = N A_s (dB/dt) 10^{-6} \quad (2.37)$$

ถ้าหากว่าหม้อแปลงทำงานในช่วงลิเนียร์จะได้สมการ

$$B_{max} = V_p * (10)^8 / K_f N_p A_s \quad (2.38)$$

โดยที่ค่า  $K = 4.4$  ถ้าเป็นคลื่นไซน์

$K = 4.0$  ถ้าเป็นคลื่นสี่เหลี่ยม

การออกแบบหม้อแปลงจะเลือก  $B_{max}$  ในช่วงลิเนียร์ของ B-H curve โดยที่

$$\begin{aligned} B_{max} &= B_{SAT}/2 \\ N_p &= (V_p)^8 / 4fB_{max}A_c \end{aligned} \quad (2.39)$$

จะได้ว่าพารามิเตอร์ที่ต้องการออกแบบ จะสำคัญมากในการเลือกขนาดของแกนที่เหมาะสม พารามิเตอร์เหล่านี้ได้แก่

- บริเวณเนื้อที่แกนที่จะพันขดลวด ซึ่งจะต้องเลือกให้ใหญ่พอที่จะพันตามขนาดขดลวด เพื่อที่จะให้เกิดการสูญเสียที่น้อยที่สุด
- ขนาดของแกนที่เหมาะสม

พารามิเตอร์ทั้งสองตัวนี้ มีความสัมพันธ์กันตามสมการ

$$P_{out} = (1.16 B_{max} f A_c A_w) 10^9 \quad (2.40)$$

$d$  : ความหนาแน่นกระแสของขดลวด (แอมป์/ตารางเมตร)

$p$  : ความสามารถในการรับพลังงานของขดลวด (วัตต์)

$B$  : ความเข้มสนามแม่เหล็ก (Gauss)

$A_c$  : พื้นที่เอ็ฟเฟคทีฟ (ตารางเซนติเมตร)

$A_w$  : พื้นที่ขอบบ็อบบิ้น (ตารางเซนติเมตร)

วัสดุที่ใช้ทำแกนและการเลือก สารแม่เหล็กเกือบทุกชนิด สามารถที่จะเลือกมาออกแบบหม้อแปลงความถี่สูงได้ แต่แกน Ferrite เป็นที่นิยมใช้ในการออกแบบมากในคอนเวอร์เตอร์รุ่นใหม่ ๆ

คุณสมบัติของแกนเฟอร์ไรท์

- ไม่ต้องเลือกการทำงานที่  $B$  สูง ๆ ( $B_{sat} = 3000 - 5000$  G : ของ Ferrite)
- ค่าสูญเสียในแกนต่ำมากที่ความถี่สูง ๆ
- ง่ายต่อการประกอบ

## 2.6 วงจรกรองความถี่

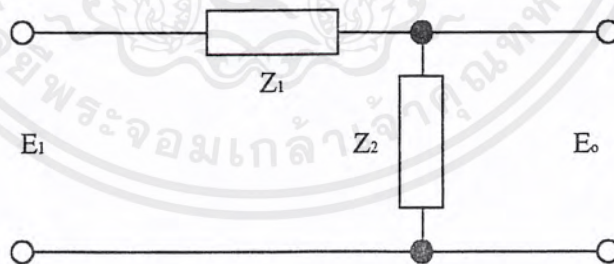
สัญญาณไฟสลับที่ได้จากการสวิตชิง หรือคลื่นสัญญาณอื่น ๆ ก็ตาม จะประกอบไปด้วยคลื่นที่มีลักษณะรูปไซน์ ที่มีความถี่ฮาร์โมนิกส์อันดับต่าง ๆ ผสมกันอยู่ มากหรือน้อยแตกต่างกัน ไปรวมทั้งสัญญาณรูปพีคดับบลิวเอ็มด้วย สำหรับรูปคลื่นพีคดับบลิวเอ็มนั้นมีฮาร์โมนิกส์หลายอันดับที่กลายเป็นศูนย์ไป ถ้าหากว่าอันดับของฮาร์โมนิกส์เพิ่มสูงขึ้น ขนาดของฮาร์โมนิกส์ก็จะลดลงด้วย คลื่นที่ปรากฏจะเป็นผลลัพธ์ทางการรวมฮาร์โมนิกส์อันดับต่าง ๆ

การทำงานของอินเวอร์เตอร์นั้น สัญญาณที่ได้จากการสวิตชิงจะยังไม่เป็นคลื่นไซน์จะต้องผ่านวงจรกรองสัญญาณ (Filter) เพื่อกรองฮาร์โมนิกส์ต่าง ๆ ที่ไม่ต้องการออกไป ให้เหลือแต่สัญญาณคลื่นไซน์ หรือสัญญาณความถี่มูลฐาน (Fundamental) ออกมายังเอาท์พุทเท่านั้น

วงจรกรองความถี่นั้นมี 2 ลักษณะด้วยกันคือ

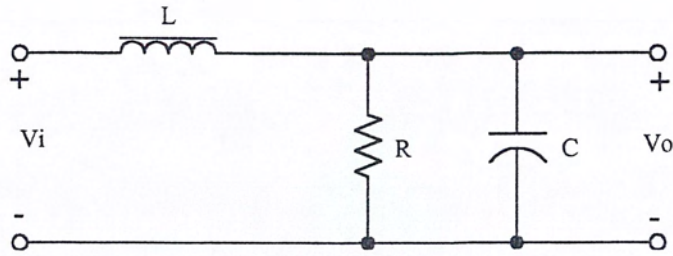
- Active Filter เป็นวงจรกรองความถี่สำหรับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ที่มีกำลังไม่สูง (Low Power)
- Passive Filter เป็นวงจรกรองความถี่สำหรับวงจรกำลังสูง ๆ (High Power) ซึ่งโครงการนี้ใช้การออกแบบวงจรในลักษณะนี้

การออกแบบวงจรกรองความถี่มีลักษณะดังนี้



รูปที่ 2.12 รูปสมมติของวงจรกรองความถี่

ที่ความถี่หลักจะต้องทำให้  $Z_1 \rightarrow 0$  และ  $Z_2 \rightarrow \infty$  เพื่อที่จะทำให้ความถี่ผ่าน  $Z_1$  มาได้โดยสะดวก โดยไม่มีแรงดันตกคร่อม  $Z_1$  เลย และไม่มีกระแสของคลื่นหลักไหลผ่านเข้าไปยัง  $Z_2$  ได้สำหรับคลื่นที่เป็นฮาร์โมนิกส์ จะทำให้  $Z_1 \rightarrow \infty$  และ  $Z_2 \rightarrow 0$  เพื่อไม่ให้กระแสฮาร์โมนิกส์ไหลผ่าน  $Z_1$  ได้ ถ้าผ่านมาได้บ้างก็จะถ่วงจรลง  $Z_2$  ดังนั้นคลื่นที่ผ่านวงจรกรองความถี่ออกมาจึงเป็นคลื่นความถี่หลักเท่านั้น



รูปที่ 2.13 วงจร Low pass Filter

$$\omega_o L = \frac{\omega_o C R^2}{1 + \omega_o^2 C^2 R^2} \quad (2.41)$$

$$\omega_o = \sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{1}{R^2 C^2}} \quad (2.42)$$

กำหนดให้ค่า R มีค่ามากๆ ก็จะทำให้หาค่า L, C ได้

## บทที่ 3

### หลักการของระบบและรายละเอียดของวงจร

#### 3.1 หลักการของระบบ

การเชื่อมโยงแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงเข้ากับระบบการไฟฟ้า สามารถเชื่อมโยงได้โดยใช้วงจรเอสพีดับบลิวเอ็มอินเวอร์เตอร์ และสามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง (แบตเตอรี่) ไปยังระบบการไฟฟ้า และโหลดที่ต่ออยู่ทางด้านระบบการไฟฟ้าได้โดยการปรับมุมเพาเวอร์เองเกิด ซึ่งเป็นการปรับมุมแรงดันเอาท์พุทของเอสพีดับบลิวเอ็มอินเวอร์เตอร์ให้เลื่อนนำหน้าแรงดันของการไฟฟ้า เป็นหลักการของการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าระหว่างบัส 2 บัส ซึ่งได้อธิบายไว้แล้วในหัวข้อ 2.1

#### 3.2 วงจรกำลัง

ระบบที่ใช้ในการเชื่อมโยงแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงเข้ากับระบบการไฟฟ้า และจ่ายกำลังไฟฟ้าคืนให้กับระบบการไฟฟ้าและโหลด แสดงดังรูปที่ 3.1 ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.2.1 แบตเตอรี่เป็นส่วนหนึ่งของแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 48 โวลต์ โดยใช้แบตเตอรี่ 12 โวลต์ 50 แอมแปร์-ชั่วโมง 4 ลูก ต่ออนุกรมกัน

3.2.2 วงจรสวิตช์โหมคอินเวอร์เตอร์เป็นส่วนที่ใช้ในการแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงให้เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ ที่เป็นรูปคลื่นกึ่งคลื่นเต็มที่มีความถี่สูง โดยใช้หลักการของวงจรฟูลบริดจ์อินเวอร์เตอร์ชนิดหนึ่งเฟส โดยมีอุปกรณ์หลักคือมอสเฟต (MOSFET) ทำหน้าที่เป็นสวิตช์ ซึ่งใช้ไอซีเบอร์ SG3526 ในการสร้างสัญญาณเพื่อควบคุมการทำงานของวงจรสวิตช์โหมคอินเวอร์เตอร์

3.2.3 หม้อแปลงเพิ่มแรงดันความถี่สูง เป็นส่วนที่ใช้ในการเปลี่ยนระดับแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่ออกจากวงจรสวิตช์โหมคอินเวอร์เตอร์ให้สูงขึ้น โดยมีอัตราส่วน 1 : 7

3.2.4 วงจรฟูลบริดจ์เร็คติไฟเยอร์และฟิลเตอร์ เป็นส่วนที่ใช้ในการแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง

3.2.5 วงจรเอสพีดับบลิวเอ็มอินเวอร์เตอร์เป็นส่วนที่ใช้แปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงให้เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ ที่เป็นรูปคลื่นกึ่งคลื่นเต็มแบบพีดับบลิวเอ็ม เป็นการนำหลักการนำเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณไซน์และสัญญาณสามเหลี่ยมมาเปรียบเทียบกัน โดยให้สัญญาณทั้งสองถือไปด้วยกัน โดยใช้เฟสถือกลุ่ม ซึ่งสัญญาณไซน์นำมาเปรียบเทียบสัญญาณสามเหลี่ยมสามารถเลื่อนไปข้างหน้าได้

3.2.6 ตัวกรองสัญญาณความถี่ต่ำผ่านซึ่งเป็นวงจรแอสซิมิตรีเฟกเตอร์ใช้กรองสัญญาณเอสพีดับบลิเอ็มให้เป็นสัญญาณไซน์

3.2.7 ตัวเหนี่ยวนำที่ใช้ในการเชื่อมโยงระหว่างแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับที่ได้จากชุดเอสพีดับบลิเอ็มอินเวอร์เตอร์กับระบบการไฟฟ้าเพื่อให้ส่งกำลังไฟฟ้าได้

### 3.3 สมการที่ใช้ในการวิเคราะห์

สมการที่ใช้ในการวิเคราะห์ระบบที่ใช้ในการเชื่อมโยงแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงเข้ากับระบบการไฟฟ้าที่แสดงดังรูปที่ 3.1 มีดังนี้คือ

#### 3.3.1 ส่วนของวงจรเอสพีดับบลิเอ็มอินเวอร์เตอร์

เมื่อ  $\delta$  คือ มุมเฟาเวอร์แองเกิล(power angle) ซึ่งเป็นมุมต่างกันระหว่างแรงดันไฟฟ้าทั้งสองคั้งนั้นจะได้สมการ

$$P_1 = \frac{1}{R^2 + X^2} (R|V_1|^2 - R|V_1||V_2|\cos\delta + X|V_1||V_2|\sin\delta) \quad (3.1)$$

$$Q_1 = \frac{1}{R^2 + X^2} (X|V_1|^2 - X|V_1||V_2|\cos\delta - R|V_1||V_2|\sin\delta) \quad (3.2)$$

ซึ่งโดยทั่วไป  $X \gg R$

$$P_1 = \frac{|V_1||V_2|}{X} \sin\delta \quad (3.3)$$

$$Q_1 = \frac{1}{X} (|V_1|^2 - |V_1||V_2|\cos\delta) \quad (3.4)$$

### 3.3.2 ส่วนของระบบการไฟฟ้า

$$P_2 = \frac{1}{R^2 + X^2} (R|V_2|^2 - R|V_1||V_2|\cos\delta - X|V_1||V_2|\sin\delta) \quad (3.5)$$

$$Q_2 = \frac{1}{R^2 + X^2} (X|V_2|^2 - X|V_1||V_2|\cos\delta + R|V_1||V_2|\sin\delta) \quad (3.6)$$

ซึ่งโดยทั่วไป  $X \gg R$

$$P_2 = -\frac{|V_1||V_2|}{X} \sin\delta = -P_{12} \quad (3.7)$$

$$Q_2 = \frac{1}{X} (|V_2|^2 - |V_1||V_2|\cos\delta) \quad (3.8)$$

โดย :  $P_1$  คือ กำลังไฟฟ้าจริงที่ไหลจากอินเวอร์เตอร์ไปที่ระบบการไฟฟ้า  
 $P_2$  คือ กำลังไฟฟ้าจริงที่ไหลจากระบบการไฟฟ้าไปที่อินเวอร์เตอร์  
 $Q_1$  คือ กำลังไฟฟ้าเสมือนที่ไหลจากอินเวอร์เตอร์ไปที่ระบบการไฟฟ้า  
 $Q_2$  คือ กำลังไฟฟ้าเสมือนที่ไหลจากระบบการไฟฟ้าไปที่อินเวอร์เตอร์  
 $V_1$  คือ แรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตของเอสพีดับบลิวเอ็มอินเวอร์เตอร์  
 $V_2$  คือ แรงดันไฟฟ้าของระบบการไฟฟ้า  
 $Z$  คือ เป็นค่าอิมพีแดนซ์ของตัวเหนี่ยวนำที่ต่อระหว่างเอสพีดับบลิวเอ็มอินเวอร์เตอร์กับระบบการไฟฟ้า

### 3.3.3 ส่วนของวงจรฟูลบริดจ์เร็คติไฟเออร์

$$V_R = 2 \frac{D}{a} V_{\text{battery}} \quad (3.9)$$

$$P_R = V_R \times I_d \quad (3.10)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดย	$V_{\text{battery}}$	คือ ค่าเฉลี่ยของแรงดันของแบตเตอรี่ หน่วย โวลต์ (V)
	$D$	คือ ค่าความถี่ไซเคิล
	$a$	คือ ค่าอัตราส่วนจำนวนรอบของหม้อแปลงความถี่สูง
	$P_R$	คือ ค่าเฉลี่ยของกำลังไฟฟ้าของวงจรฟูลบริดจ์เร็คติไฟาย หน่วย วัตต์ (W)

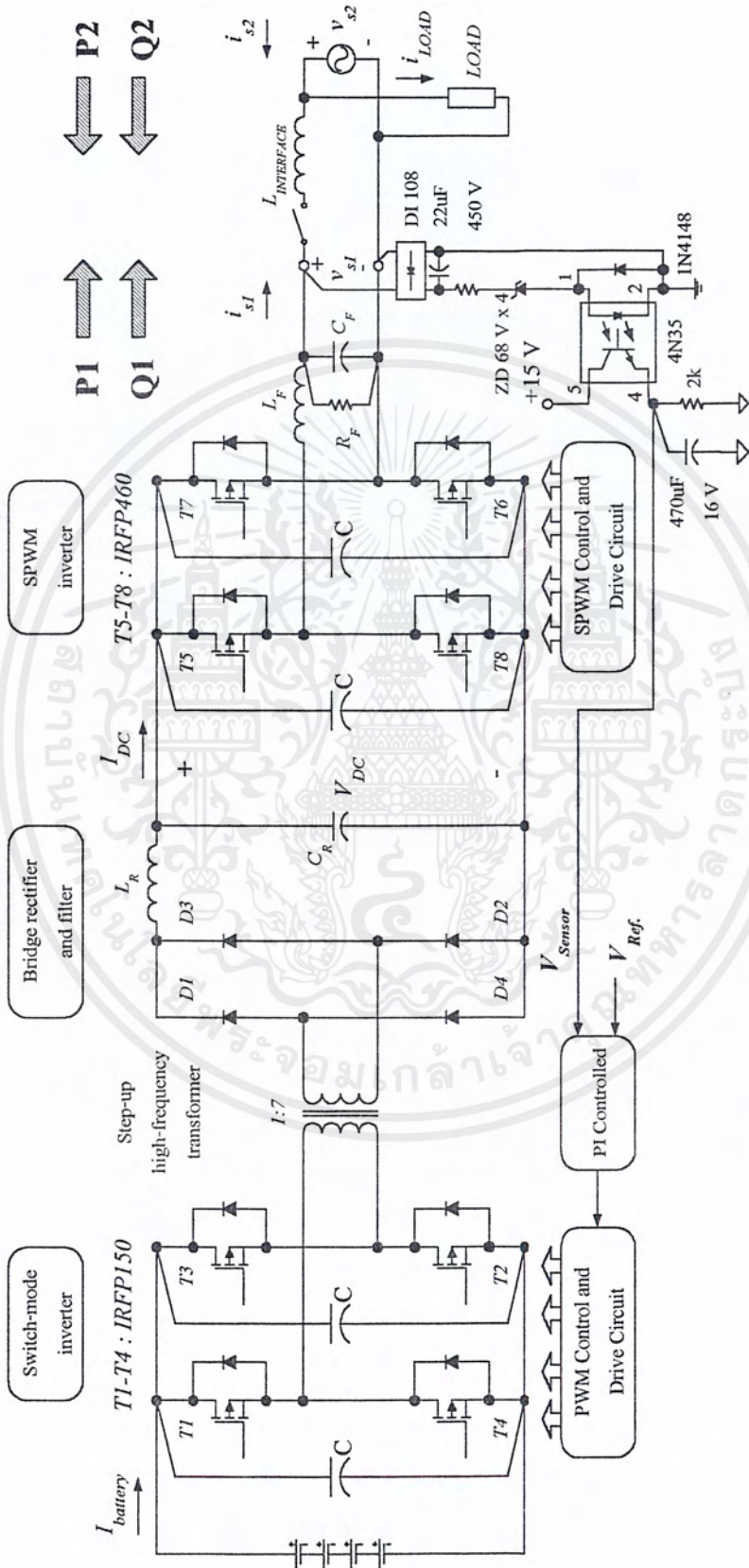
### 3.3.4 ส่วนของแบตเตอรี่

$$P_{\text{battery}} = V_{\text{battery}} \times I_{\text{battery}} \quad (3.11)$$

โดย	$P_{\text{battery}}$	คือ ค่าเฉลี่ยของกำลังไฟฟ้าของแบตเตอรี่ หน่วย วัตต์ (W)
	$V_{\text{battery}}$	คือ ค่าเฉลี่ยของแรงดันแบตเตอรี่ หน่วย โวลต์ (V)
	$I_{\text{battery}}$	คือ ค่าเฉลี่ยของกระแสแบตเตอรี่ หน่วย แอมแปร์ (A)

## 3.4 การทำงานของระบบ

จากรูปที่ 3.1 การทำงานของระบบเริ่มต้น โดยทำการเชื่อมโยงวงจรเอสพีดับลิวิตเอ็มอินเวอร์เตอร์เข้ากับระบบการไฟฟ้า โดยมีตัวเหนี่ยวนำค่ออยู่ระหว่างวงจรเอสพีดับลิวิตเอ็มกับระบบการไฟฟ้าโดยเป็นหลักการของการส่งกำลังไฟฟ้าของสองบัส เมื่อทำการต่อชุดแบตเตอรี่ 48 โวลต์ 50 แอมแปร์-ชั่วโมง ผ่านวงจรสวิตช์โหมคอินเวอร์เตอร์ หม้อแปลงความถี่สูง วงจรฟูลบริดจ์เร็คติไฟาย และฟิลเตอร์ เพื่อให้เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง ( $V_R$ ) มีค่าประมาณ 150 ถึง 250 โวลต์ (ซึ่งจะเป็นช่วงการรักษาระดับแรงดันเอาท์พุทให้ได้ 220 โวลต์ที่โหลดต่าง ๆ) และมาผ่านวงจรเอสพีดับลิวิตเอ็มอินเวอร์เตอร์และฟิลเตอร์เพื่อให้ได้เอาท์พุทมีขนาด 220 โวลต์เป็นรูปสัญญาณไซน์ โดยที่แรงดันเอาท์พุทนี้สามารถปรับเลื่อนแรงดันให้นำหน้าแรงดันของการไฟฟ้าได้ ซึ่งการปรับเลื่อนมุมนี้จะเป็นการจ่ายกำลังไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ไปสู่ระบบของการไฟฟ้าและโหลด ก็คือการจ่ายกำลังไฟฟ้าคืนให้กับระบบการไฟฟ้า และช่วยจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับโหลดร่วมกับระบบการไฟฟ้านั่นเอง และเมื่อมีการจ่ายกำลังไฟฟ้ามากขึ้นจะทำให้แรงดันทางด้านเอาท์พุทตกลง ดังนั้นจะมีการตรวจจับแรงดันเอาท์พุท ( $V_o$ ) ไปเข้าวงจรป้อนกลับเพื่อปรับแรงดันที่ คิซี บัสให้รักษาระดับแรงดันเอาท์พุทให้คงที่ และมีการตรวจจับกระแส ( $I_{\text{battery}}$ ) ที่แบตเตอรี่เพื่อไม่ให้จ่ายกระแสเกินพิกัดของเอาท์พุท ซึ่งจะได้อีกถาวรรายละเอียดในหัวข้อต่อไป



รูปที่ 3.1 แสดงวงจรที่ใช้ในการจ่ายกำลังไฟฟ้าต้นให้กับระบบการไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

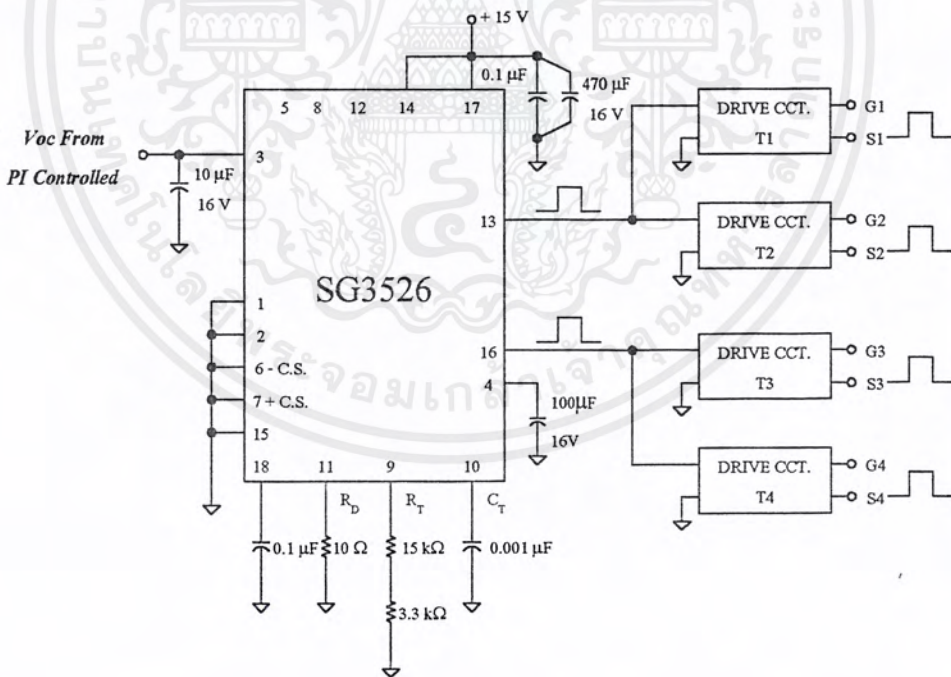
### 3.5 วงจรควบคุม

วงจรควบคุมของระบบจะมีอยู่ 3 ส่วน คือ

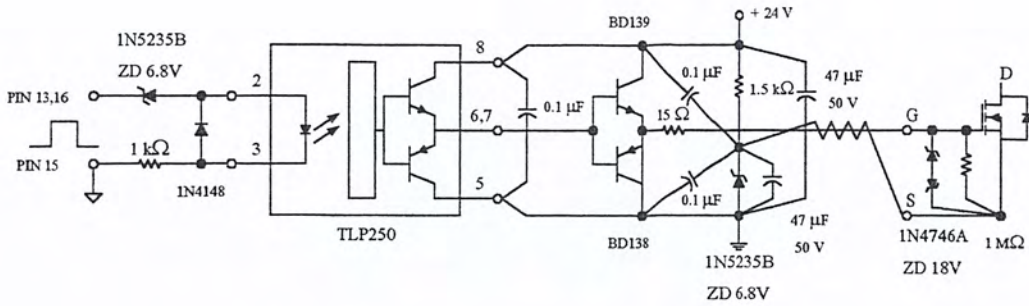
1. วงจรที่ใช้สร้างสัญญาณขับมอเตอร์เฟทของวงจรสวิตช์โหมคอินเวอร์เตอร์
2. วงจรที่ใช้สร้างสัญญาณขับมอเตอร์เฟทของวงจรเอสพีดับบลิวเอ็มอินเวอร์เตอร์
3. วงจรควบคุมป้อนกลับ

#### 3.5.1 วงจรที่ใช้สร้างสัญญาณขับ มอเตอร์เฟท ของวงจรสวิตช์โหมคอินเวอร์เตอร์

วงจรมอเตอร์เฟทใช้ไอซีเบอร์ SG3526 ในการสร้างสัญญาณขับมอเตอร์เฟท ซึ่งเราสามารถควบคุมความกว้างของพัลส์โดยการปรับแรงดันที่ขา 13 (ต่ออยู่กับเอาต์พุทของส่วนวงจรควบคุมป้อนกลับ) และสามารถปรับความถี่ของสัญญาณได้ที่ขา 9 และ 10 โดยการปรับตัวต้านทานที่ต่ออยู่กับขา 9 โดยที่ขา 10 ใส่ค่าคาปาซิเตอร์ไว้และขา 13 และ 16 เป็นขาเอาต์พุทซึ่งมี Dead time ที่เอาต์พุท อยู่แล้วไปเข้าวงจรขับซึ่งมีการแยกกราวด์และจะถูกต่อไปยังวงจรถยาย โดยใช้ไอซีเบอร์ TLP250 ก่อนที่จะนำสัญญาณไปขับมอเตอร์เฟท โดยมีวงจรแสดงดังรูปที่ 3.2 และรูปที่ 3.3



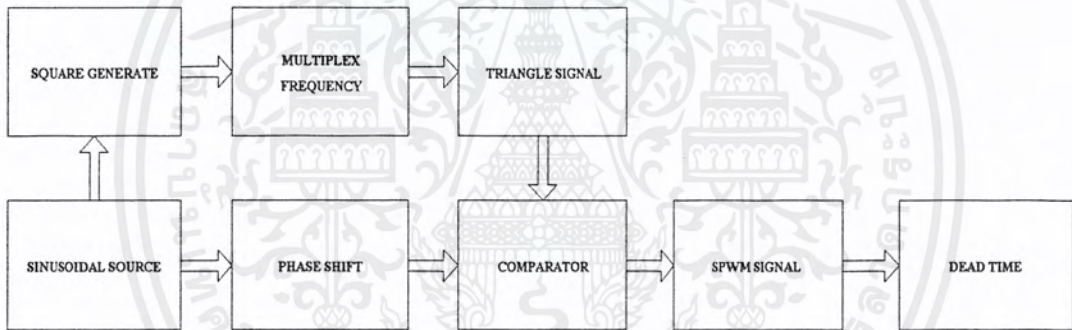
รูปที่ 3.2 แสดงวงจรที่ใช้สร้างสัญญาณขับมอเตอร์เฟทของวงจรสวิตช์โหมคอินเวอร์เตอร์



รูปที่ 3.3 แสดงวงจรขับมอเตอร์ทางด้านสวิทซ์โหมคอินเวอร์เตอร์

3.5.2 วงจรที่ใช้สร้างสัญญาณขับ มอเตอร์ ของวงจรเอสพีดับลิวเอ็มอินเวอร์เตอร์

การสร้างสัญญาณขับของเอสพีดับลิวเอ็มเป็นการสร้างสัญญาณแบบซิงโครไนท์ คือ สัญญาณไซน์กับสัญญาณสามเหลี่ยมลือกไปด้วยกัน ดังรูปที่ 3.4

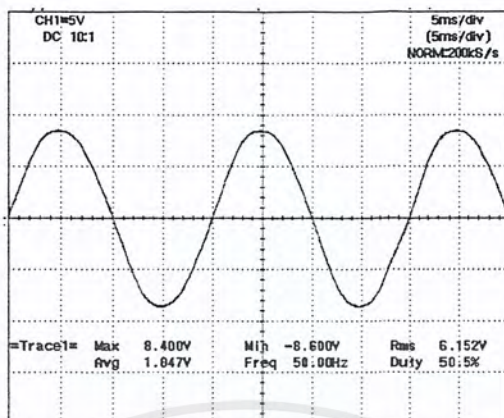


รูปที่ 3.4 บล็อกไดอะแกรมแสดงการสร้างสัญญาณขับเอสพีดับลิวเอ็มอินเวอร์เตอร์

ซึ่งมีส่วนต่าง ๆ ของวงจรดังนี้

1. แหล่งจ่ายไซน์ ซึ่งในการสร้างสัญญาณขับนั้นจะทำงานในสองกรณีคือ ใช้ในการเชื่อมโยงกับระบบการไฟฟ้าเพื่อจ่ายกำลังไฟฟ้าคืนให้กับระบบการไฟฟ้า กับใช้ในการจ่ายโหลดในกรณีเกิดไฟฟ้าดับ ดังนั้นจึงมีแหล่งกำเนิดสัญญาณไซน์อยู่สองที่คือ

1.1 หม้อแปลงไฟฟ้าขนาด 6 Vrms จะนำเอาที่พุทของหม้อแปลงที่สแต็ปดาวานไฟจากระบบการไฟฟ้าลงมาให้ได้  $V_{peak} = 9 \text{ Volt}$  ซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดสัญญาณไซน์ที่จะนำมาเมื่อคุณเลข



รูปที่ 3.5 แสดงรูปสัญญาณไซน์ของระบบการไฟฟ้าจากหม้อแปลง

1.2 อีพรอม ( EPROM ) ในการจ่ายโหลด หรือทำงานแบบ Stand Alone ซึ่งจะไม่ทำการต่อกับการไฟฟ้า ดังนั้นแหล่งจ่ายไซน์ที่ได้จะต้องมาจากการเจเนอเรตจากตัวมันเอง ในที่นี้ใช้วงจร สร้างคลื่นไซน์ หนึ่งเฟส โดยอัดข้อมูลเข้าไปใน EPROM โดยใช้หลักการ look up table โดยแต่ละข้อมูลเป็นเลขคิจิตอลที่แทนค่าแอมพลิจูดของคลื่นไซน์ที่แทนค่าที่มุมต่าง ๆ ค่าความละเอียดของคลื่นไซน์ขึ้นอยู่กับจำนวนข้อมูลที่เก็บไว้ ดังนั้นถ้าสมมุติว่ามีการเก็บข้อมูลรูปไซน์หนึ่งไซเคิลจำนวน 2 หรือ 256 ข้อมูล ดังนั้นข้อมูลแต่ละตำแหน่งจะอยู่ห่างกัน 1,406 องศา ข้อมูลที่เก็บในหน่วยความจำนี้เก็บอยู่ในรูปของเลขฐานสิบหก ซึ่งสามารถคำนวณค่าของข้อมูลเหล่านี้จากสมการ

$$V_M \sin \omega t = \frac{V_{ref} R_o}{R_{14}} \left( \frac{A_1}{2} + \frac{A_2}{4} + \frac{A_3}{8} + \frac{A_4}{16} + \frac{A_5}{32} + \frac{A_6}{64} + \frac{A_7}{128} + \frac{A_8}{256} \right) - \frac{V_{ref} R_o}{R_8} \quad (3.12)$$

- เมื่อ  $V_M$  = แรงดันสูงสุดของคลื่นไซน์  
 $V_{ref}$  = แรงดันไฟกระแสตรงซึ่งเป็นแรงดันอ้างอิง  
 $A_1 - A_8$  = ข้อมูลที่คำนวณได้เมื่อแปลงเป็นเลขฐาน 2  
 $R_o, R_{14}, R_8$  = ค่าความต้านทาน โดยที่  $R_8 = 2R_{14}$

ค่าของข้อมูลทั้ง 256 ข้อมูลนี้จะถูกแสดงในตารางการสร้างข้อมูลของสัญญาณไซน์โดยเก็บไว้ในหน่วยความจำ แล้วใช้การอ้างแอดเดรสเพื่อเรียกข้อมูลออกมาใช้งาน เป็นวิธีของการเปิดตาราง ( look up table ) การอ้างแอดเดรสจะใช้ไอซีเบอร์ 4516 ซึ่งเป็น 8 bit up/down counter เป็นตัวนับสัญญาณนาฬิกาและใช้ไอซีเบอร์ 4046 เป็น VCO เป็นตัวสร้างสัญญาณนาฬิกา ในการนับนี้จะนับขึ้นจาก 0-255 หรือนับลงจาก 255-0 ซึ่งเป็นการนับคลื่นไซน์ครบหนึ่งไซเคิล ตัวเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นับอายุแต่หากไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

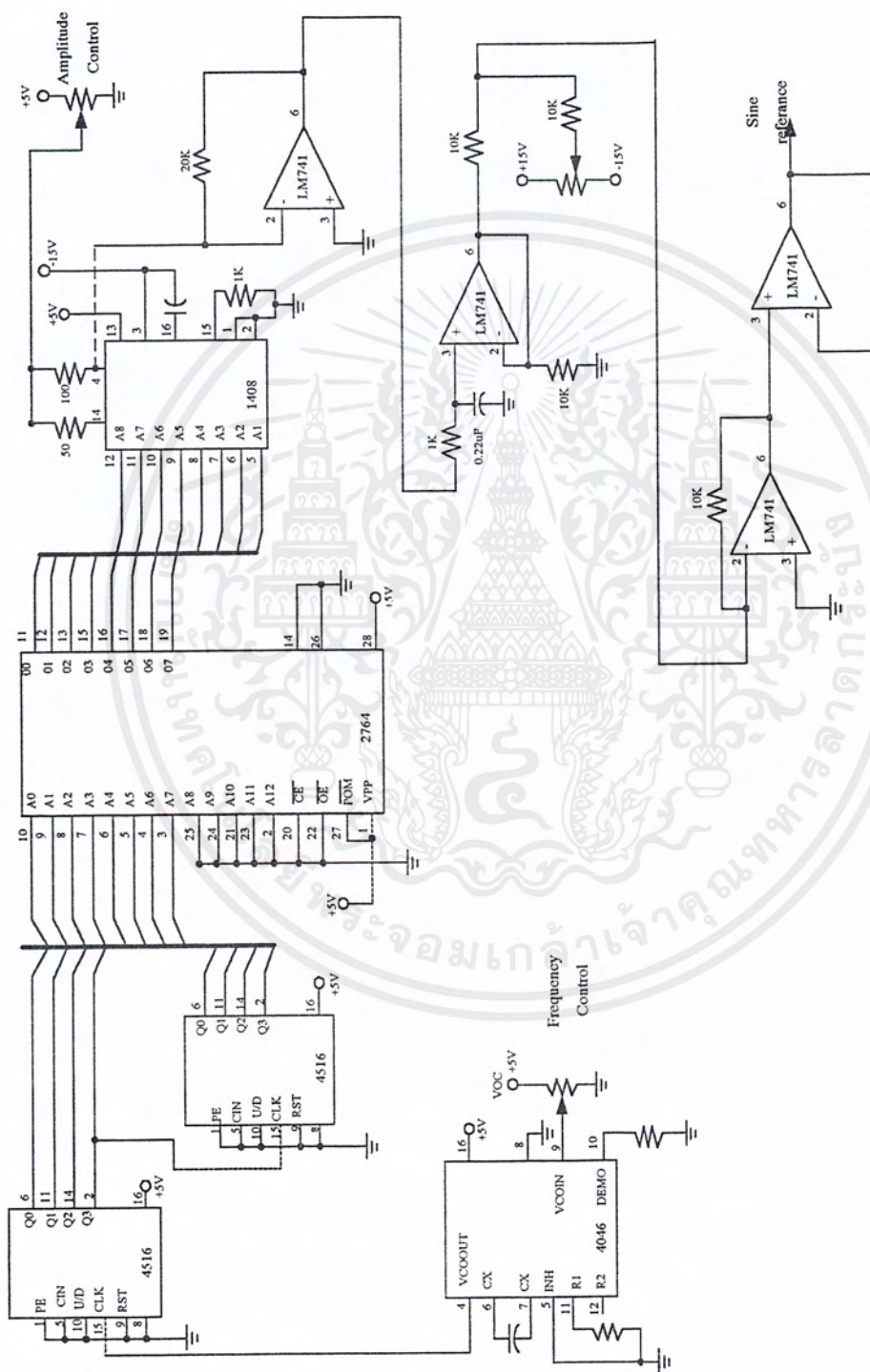
นับจะมีการรีเซ็ตแล้วกลับมาเริ่มนับใหม่เพื่อสร้างคลื่นไซน์ในไซเคิลถัดไป ในการออกแบบ สัญญาณไซน์มีความถี่จาก 0-100 Hz ความถี่ของสัญญาณนาฬิกาจึงมีค่าระหว่าง 0-25.6 kHz โดยประมาณ ซึ่งเราจะออกแบบให้ได้ 50 Hz ที่เอาท์พุทของ EPROM จะเป็นสัญญาณดิจิทัล จึงต้อง เปลี่ยนเป็นสัญญาณอนาลอกของรูปไซน์ โดยใช้ไอซีเบอร์ 1408 ที่สามารถควบคุม voltage command เพื่อปรับเปลี่ยนเป็นสัญญาณอนาลอกของรูปไซน์ โดยใช้ไอซีเบอร์ 1408 ที่สามารถ ควบคุม voltage command เพื่อปรับเปลี่ยนแอมพลิจูดของคลื่นรูปไซน์ได้ และสัญญาณอนาลอก รูปไซน์ที่จะต้องผ่านวงจร current to voltage convertor เพื่อเปลี่ยนสัญญาณอนาลอกที่อยู่ในรูป กระแสให้เป็นแรงดันที่เป็นคลื่น ไซน์สามารถนำไปใช้งานได้

ดังนั้นสัญญาณไซน์ที่สร้างจากวงจรนี้สามารถปรับเปลี่ยนความถี่ได้โดยการปรับเปลี่ยน แรงดันไฟตรงที่แทน Frequency command ที่ VCO ในขณะเดียวกันแอมพลิจูดของสัญญาณก็ สามารถปรับเปลี่ยนได้ โดยการเปลี่ยนแรงดันกระแสตรงที่ Vref ของ DAC ในขณะเดียวกันแอม พลิจูดของสัญญาณก็สามารถปรับเปลี่ยนได้ โดยการเปลี่ยนแปลงแรงดันกระแสตรงที่ Vref ของ DAC ซึ่งก็คือ voltage command  $V_r$  ลักษณะของสัญญาณ ไซน์ที่สร้างขึ้นนี้จึงเป็น VVVF ซึ่งวงจร แสดงได้ ดังรูปที่ 3.6

ตารางข้อมูลที่เก็บไว้ในหน่วยความจำอีพรอมเพื่อใช้ในการสร้างสัญญาณไซน์

Address	Data
0000	80 83 86 89 8C 8F 92 96 99 9C 9F A2 A5 A8 AB AE B1
0011	B3 B6 B9 BC BF C1 C4 C7 C9 CC CE D1 D3 D5 D8 DA DC
0022	DE E0 E2 E4 E6 E8 EA EC ED EF F0 F2 F3 F5 F6 F7 F8
0033	F9 FA FB FC FC FD FE FE FF FF FF FF FF FF FF FF
0044	FF FF FE FE FD FC FC FB FA F9 F8 F7 F6 F5 F3 F2 F0
0055	EF ED EC EA E8 E6 E4 E2 E0 DE DC DA D8 D5 D3 D1 DE
0066	CC C9 C7 C4 C1 BF BC B9 B6 B3 B1 AE AB A8 A5 A2 9F
0077	9C 99 96 92 8F 8C 89 86 83 80 7C 79 76 73 70 6D 64
0088	67 63 60 5D 5A 57 54 51 4F 4C 49 46 43 40 3E 3B 38
0099	36 33 31 2E 2C 2A 27 25 23 21 1F 1D 1B 19 17 15 13
00AA	12 10 0F 0D 0C 0A 09 08 07 06 05 04 03 03 02 01 01
00BB	01 01 01 01 01 01 01 01 01 01 01 01 01 02 03 03 04
00CC	05 06 07 08 09 0A 0C 0D 0F 10 12 13 15 17 19 1B 1B
00DD	1F 21 23 25 27 2A 2C 2E 31 33 36 35 2B 3E 40 43 46
00EE	49 4C 4F 51 54 57 5A 5D 60 63 67 64 6D 70 73 76 79
00FF	7C

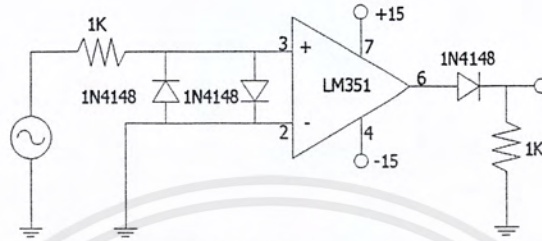
ตารางที่ 3.1 แสดงข้อมูลในอีพรอม



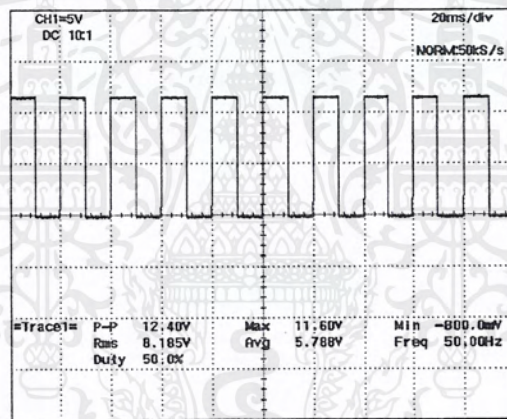
รูปที่ 3.6 แสดงวงจรกำเนิดสัญญาณไซน์ โดยใช้โอพริอม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. วงจรกำเนิดสัญญาณสี่เหลี่ยม (Square Generate) เป็นวงจรสร้างสัญญาณสี่เหลี่ยม ที่มีความถี่ 50 Hz ซึ่งสัญญาณสี่เหลี่ยมนี้จะถูกนำไปป้อนเป็นอินพุตให้อิซซี 4046 ที่อยู่ในชุดคูณความถี่ (Multiplex Frequency) การคูณความถี่ให้ได้ 5 KHz ตามที่เราต้องการ

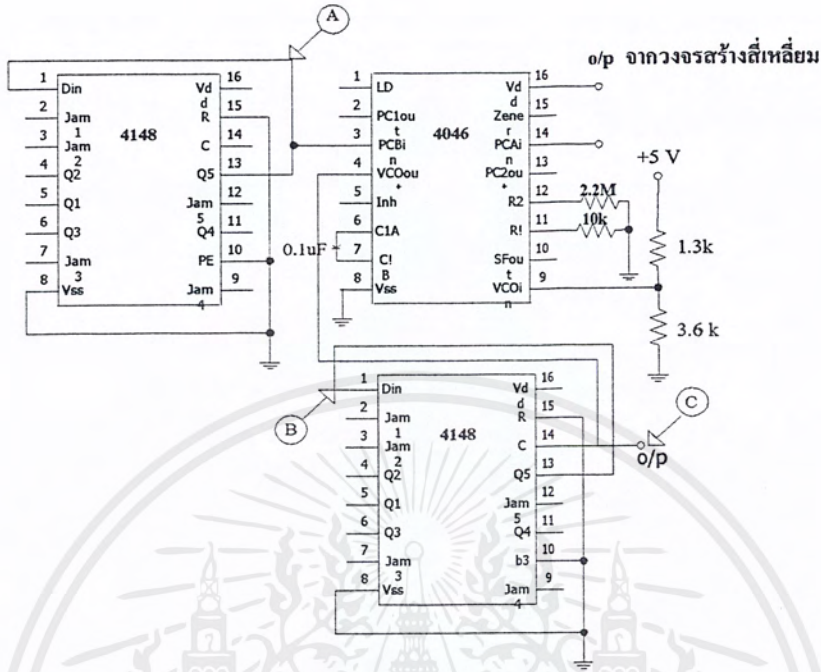


รูปที่ 3.7 แสดงวงจรคอมพาราเตอร์ที่ใช้สร้างสัญญาณสี่เหลี่ยม

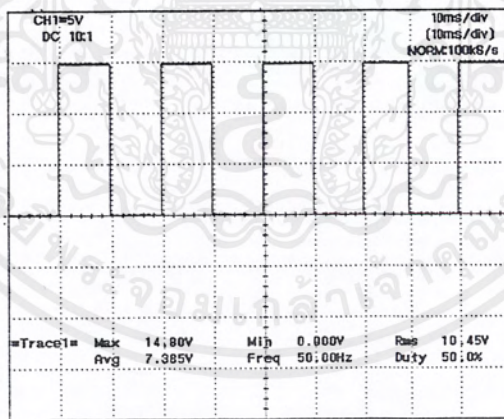


รูปที่ 3.8 แสดงสัญญาณเอาต์พุตของชุดสร้างสี่เหลี่ยม

3. วงจรคูณความถี่ (Multiplex Frequency) เป็นวงจรคูณความถี่ เพื่อให้ได้สัญญาณที่มีความถี่เป็น 5 KHz โดยใช้หลักการของเฟสล็อกคัลป์ ซึ่งใช้อิซซี 4046 และใช้อิซซี 4148 เป็นตัวหารความถี่เพื่อสร้างให้ได้ความถี่ตามที่ต้องการ

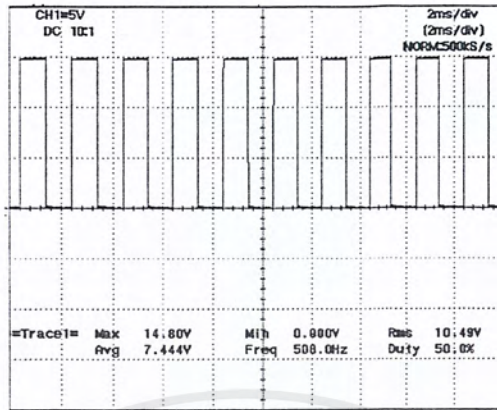


รูปที่ 3.9 แสดงวงจรคูณความถี่ (Multiplex frequency)

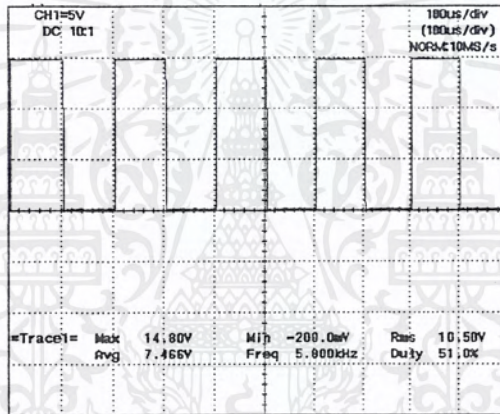


รูปที่ 3.10 แสดงสัญญาณของความถี่ที่จุด A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

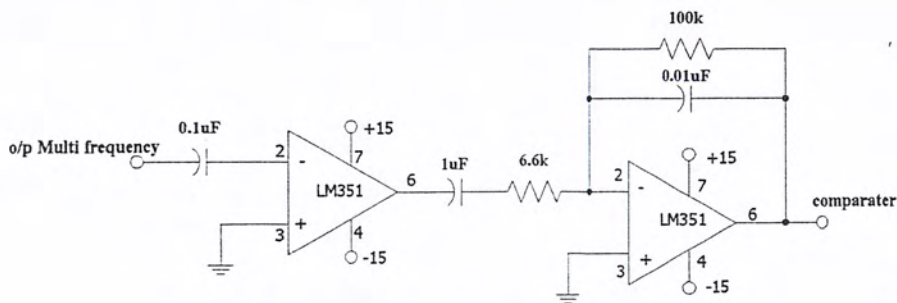


รูปที่ 3.11 แสดงสัญญาณของความถี่ที่จุด B



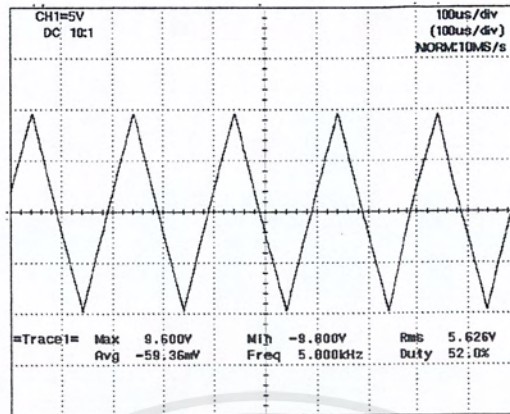
รูปที่ 3.12 แสดงสัญญาณของความถี่ที่จุด C

4. วงจรอินทิเกรเตอร์ เป็นสัญญาณที่เป็นสามเหลี่ยม 5 KHz ซึ่งสัญญาณนี้จะนำไปทำสัญญาณพาหะ (Carrier) ที่จะนำไปเข้าวงจร Comparator เพื่อเปรียบเทียบกับสัญญาณไซน์ นั่นก็คือสัญญาณหนึ่งที่น่าไปมีอคติของตนเอง



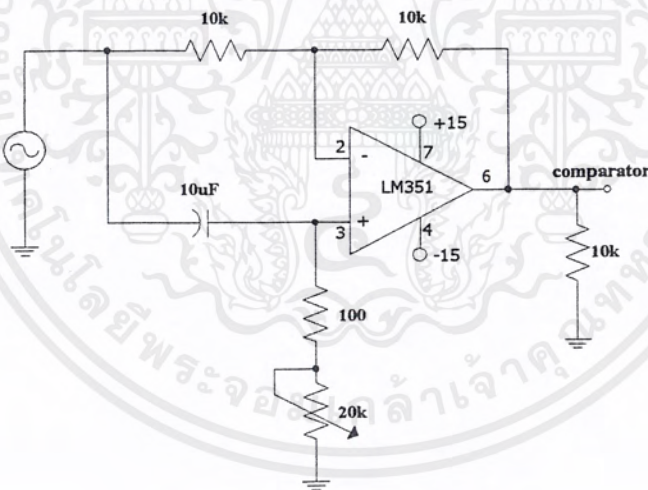
รูปที่ 3.13 แสดงวงจรอินทิเกรเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



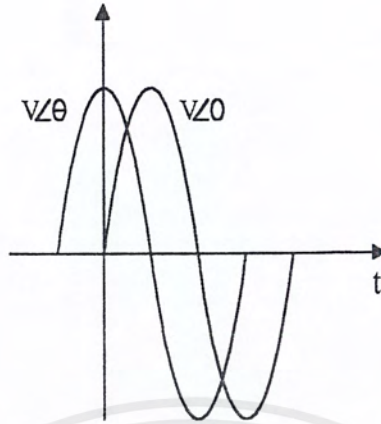
รูปที่ 3.14 แสดงรูปสัญญาณเอาต์พุตของวงจรอินทิเกรเตอร์

5. วงจรชิฟเฟส (Phase shift) เป็นวงจรที่ทำให้ขนาดของสัญญาณมีค่าคงที่ แต่จะเลื่อนเฟสไปในตำแหน่งที่เราต้องการ ซึ่งในการปรับมุนนั้นจะให้ชิฟเฟสนำหน้าสัญญาณไซน์ของการไฟฟ้าหรือเป็นการปรับเฟสชิฟแบบ Lead นั่นเอง



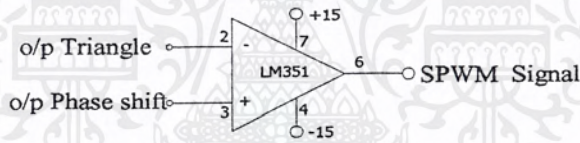
รูปที่ 3.15 แสดงวงจรชิฟเฟสแบบนำหน้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

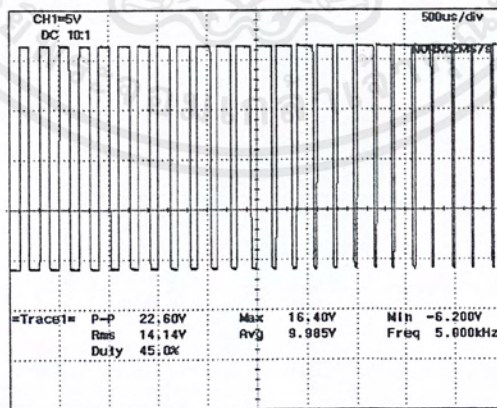


รูปที่ 3.16 แสดงสัญญาณที่ซิงเฟส นำหน้าไปเป็นมุม  $\theta$

6. คอมพาราเตอร์ (Comparater) เป็นวงจรนำสัญญาณของ Triangle และ Sine ที่สามารถปรับ Phase shift ที่ได้มาทำการเปรียบเทียบเพื่อสร้างสัญญาณ SPWM



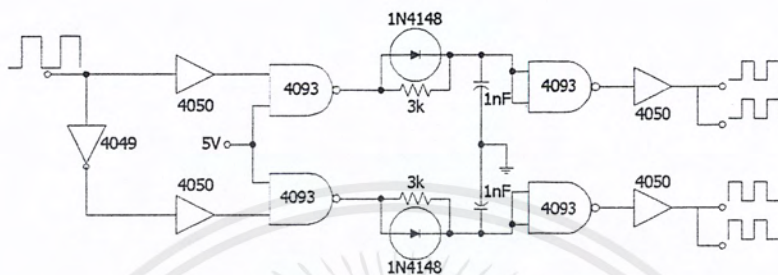
รูปที่ 3.17 แสดงวงจรคอมพาราเตอร์



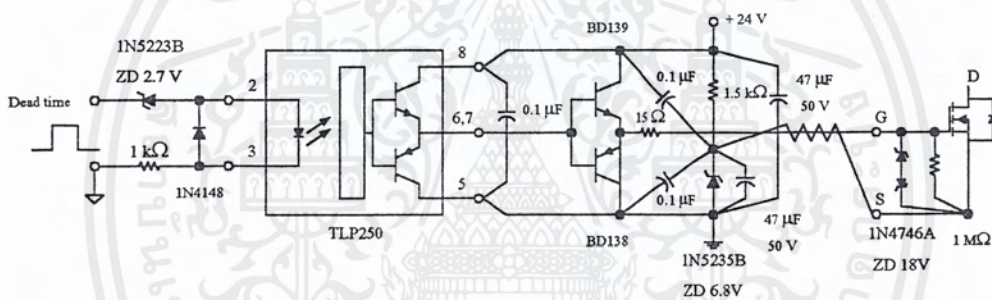
รูปที่ 3.18 แสดงสัญญาณเอสพีดับเบิลยูเอ็ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. วงจร dead time เมื่อได้สัญญาณเอสพีดับเบิลเอ็ม (SPWM Signal) ก็นำไปเข้าวงจร dead time ดังแสดงในรูปที่ 3.19 และวงจรขับมอสเฟตเพื่อนำเอาสัญญาณไปขับวงจรเพื่อไปขับมอสเฟตซึ่งมีวงจรรวม ดังรูปที่ 3.21



รูปที่ 3.19 แสดงวงจร dead time

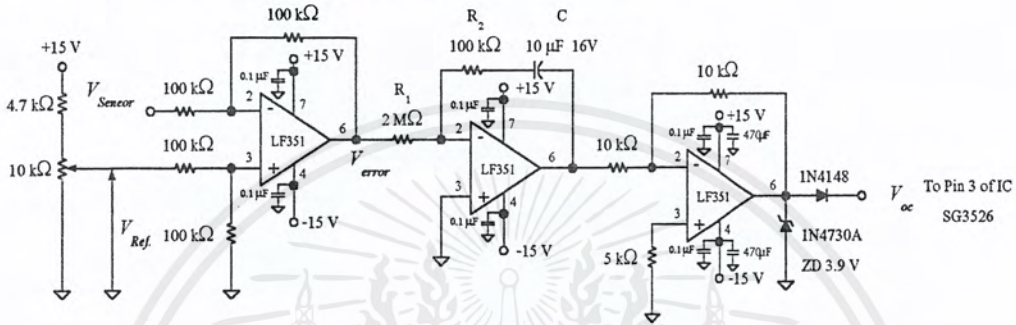


รูปที่ 3.20 แสดงวงจรขับมอสเฟตของเอสพีดับเบิลเอ็มอินเวอร์เตอร์



3.5.3 วงจรควบคุมป้อนกลับ

วงจรส่วนนี้ ทำหน้าที่ควบคุมแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุต ให้มีค่าคงที่เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของโหลด หรือมีการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้า โดยวงจรที่ใช้จะเป็นวงจรระนาลอกอนโทรล ซึ่งจะประกอบด้วยส่วนของ วงจรขยายค่าความคลาดเคลื่อน (Error Amplifier) และวงจรพีไอคอนโทรล (PI Control) แสดงดังรูปที่ 3.22



รูปที่ 3.22 แสดงวงจรควบคุมป้อนกลับ (พีไอคอนโทรล)

จากรูปที่ 3.22 ในส่วนของวงจรขยายค่าความคลาดเคลื่อน มีอัตราขยายเท่ากับ หนึ่ง ซึ่งจะมีแรงดันเอาต์พุต ( $V_{error}$ ) คือ

$$V_{error} = V_{sp} - V_{pv} \tag{3.13}$$

โดย  $V_{sp}$  เป็นค่าแรงดันที่เป็นตัวกำหนดค่าแรงดันคงที่ที่ 220 โวลต์ และ  $V_{pv}$  เป็นค่าแรงดันที่เปลี่ยนแปลงตามค่าแรงดันเอาต์พุตที่เปลี่ยนแปลงไปตามกำลังไฟฟ้าที่จ่ายไป

โดยต่อมาจากส่วนตรวจจับและในส่วนของวงจร พีไอคอนโทรล จะมีแรงดันเอาต์พุต ดังนี้

$$V_{oc} = -\frac{R_2}{R_1} V_{error} - \frac{V_{error}}{R_1 C} t + V_0 \tag{3.14}$$

ซึ่งแรงดันเอาต์พุตของวงจรระนาลอกอนโทรล ที่ออกแบบนั้นเราสามารถปรับความไวของวงจรให้เหมาะสมได้โดยการปรับค่า  $R_1$  ซึ่งถ้า  $R_1$  มีค่ามาก วงจรจะมีความไวต่ำ และถ้า  $R_1$  มีค่าน้อยวงจรจะมีความไวสูง

### 3.6 ส่วนตรวจจับ

วงจรตรวจจับและแสดงผล แสดงดังรูปที่ 3.1 โดยมีการตรวจจับแรงดัน ( $V_o$ ) โดยการแปลงแรงดันเอาท์พุทให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรงแต่ยังมีแรงดันสูงอยู่ผ่าน 4N35 จะได้เอาท์พุทของ 4N35 เป็นไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันต่ำไปเป็น  $V_{sensor}$  ให้กับวงจรฟิโคโนโทรลในส่วนควบคุมป้อนกลับเพื่อรักษาระดับแรงดันไฟฟ้าให้คงที่

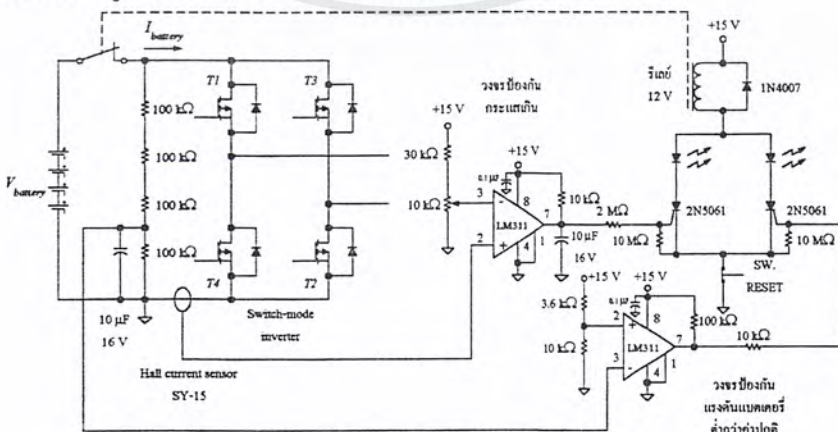
### 3.7 ส่วนป้องกัน

#### 3.7.1 การป้องกันแรงดันแบตเตอรี่ต่ำกว่าค่าปกติ

การป้องกันส่วนนี้จะใช้ ไอซีเบอร์ LM311N เป็นวงจรเปรียบเทียบแรงดันที่ตรวจจับมาจากแบตเตอรี่ โดยใช้หลักการแบ่งแรงดัน แสดงดังรูปที่ 3.23 ซึ่งได้กำหนดแรงดันของแบตเตอรี่แต่ละลูก ไม่ให้ต่ำกว่า 11 โวลท์ ที่กระแส 15 แอมแปร์ ที่พิกัดแบตเตอรี่ขนาด 12 โวลท์ 50 แอมแปร์-ชั่วโมง (ดูจากกราฟในภาคผนวก) กล่าวคือ เมื่อแรงดันของแบตเตอรี่ตกลง ต่ำกว่า 11 โวลท์ วงจรป้องกันก็จะส่งสัญญาณ สั่งให้รีเลย์ตัดแบตเตอรี่ออกจากวงจร และมีไฟแสดงบอกสถานะแรงดันต่ำแล้วค้างสถานะรีเลย์ไว้ และเมื่อเปลี่ยนเป็นแบตเตอรี่ชุดใหม่แล้ว ต้องกดสวิทช์รีเซต ให้นำสัสม์สรีเลย์ กลับสู่ตำแหน่งปกติ เพื่อต่อแบตเตอรี่เข้ากับวงจร

#### 3.7.2 การป้องกันกระแสเกิน

การป้องกันส่วนนี้จะใช้ไอซีเบอร์ LM311N เป็นวงจรเปรียบเทียบแรงดัน ที่ตรวจจับกระแสมาจาก SY-15 แสดงดังรูปที่ 3.23 เมื่อกระแสเกินกว่าค่าที่กำหนดวงจรป้องกันก็จะส่งสัญญาณสั่งให้รีเลย์ตัดแบตเตอรี่ออกจากวงจร และมีไฟแสดงบอกสถานะกระแสเกิน แล้วค้างสถานะรีเลย์ไว้ เมื่อตรวจสอบแก้ไข สาเหตุที่ทำให้กระแสเกินเรียบร้อยแล้วต้องกดสวิทช์รีเซต ให้นำสัสม์สรีเลย์กลับสู่ตำแหน่งปกติเพื่อต่อแบตเตอรี่เข้ากับวงจร

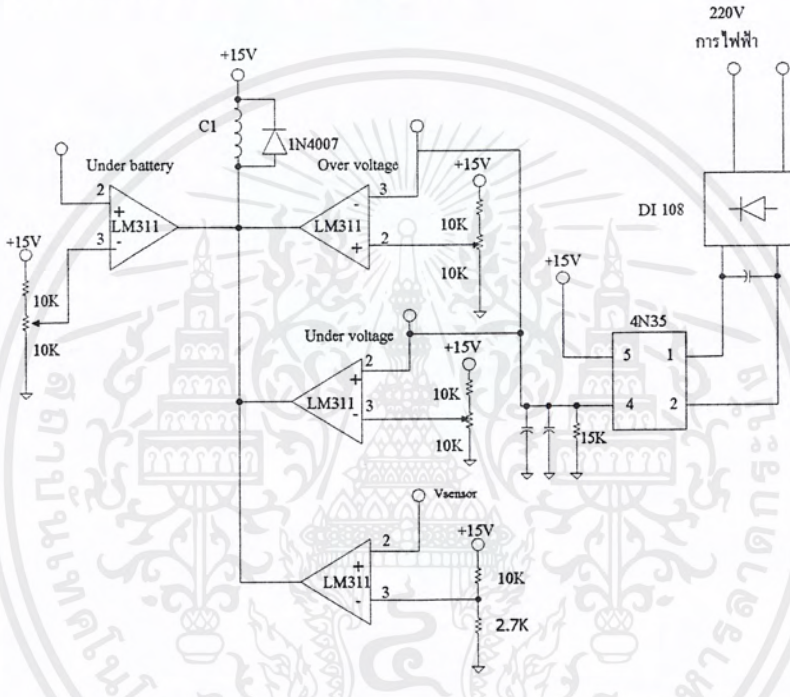


รูปที่ 3.23 แสดงวงจรป้องกันแรงดันแบตเตอรี่ต่ำกว่าค่าปกติและวงจรป้องกันกระแสเกิน

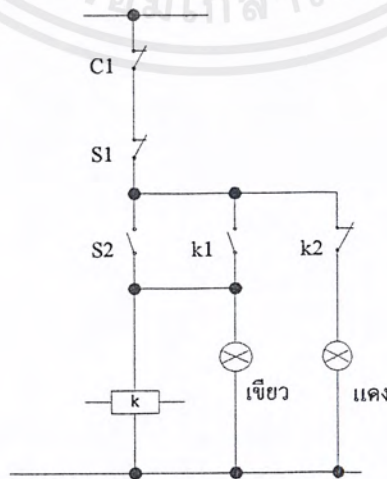
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.7.3 ส่วนที่ป้องกันทางด้านที่ต่อกับระบบการไฟฟ้า

เพื่อป้องกันการเพิ่มขึ้นและลดลงของแรงดันทางด้านระบบการไฟฟ้า ซึ่งจะมีผลต่อการส่งกำลังไฟฟ้าที่มากเกินไปเกิดความร้อนสูง ดังนั้นถ้าแรงดันไม่อยู่ในช่วงที่ตั้งไว้คือ 210 โวลต์ถึง 230 โวลต์ ก็จะทำให้การตัดการเชื่อมโยงออกหรือไม่สามารถเชื่อมโยงกับการไฟฟ้าได้และในการที่จะเชื่อมโยงกับการไฟฟ้าจะต้องมีการตรวจสอบแรงดันเอาท์พุท ถ้าตรวจสอบแล้วไม่พบก็ไม่สามารถทำการเชื่อมโยงกับระบบไฟฟ้าได้ ซึ่งมีวงจรแสดง ดังรูปที่ 3.24



รูปที่ 3.24 แสดงวงจรป้องกันทางด้านเชื่อมโยงกับการไฟฟ้า



รูปที่ 3.25 แสดงวงจรควบคุมเมื่อกเนติกที่เป็นสวิตซ์ในการเชื่อมโยงกับระบบการไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### การคำนวณและการออกแบบระบบ

ในการออกแบบระบบ ที่ใช้ในการเชื่อมโยงแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงเข้ากับ ระบบการไฟฟ้าจะเป็นการเชื่อมโยงชุดแบตเตอรี่ 48 โวลต์ เข้ากับระบบไฟฟ้าหนึ่งเฟส 220 โวลต์ 50 Hz ซึ่งมีวงจรที่ใช้ในการเชื่อมโยง แสดงดังรูปที่ 3.1 โดยในการออกแบบได้ออกแบบที่พิกัดกำลังไฟฟ้าเอาต์พุต 600 วัตต์

$$\begin{aligned} \text{กำหนด } P_1 &= 600 \text{ W} \\ V_1 &= 230 \text{ V} \\ V_2 &= 220 \text{ V} \\ \delta &= 10^\circ \end{aligned}$$

#### 4.1 ส่วนของตัวเหนี่ยวนำใช้เชื่อมโยงระบบ

จากสมการที่ (2.10)

โดยพิจารณาให้ค่า R มีค่าน้อยมาก

$$\begin{aligned} P_1 &= \frac{|V_1||V_2|}{X} \sin\delta \\ 600 &= \frac{|230||220|}{X} \sin 10 \\ X &= 15.48 \ \Omega \\ X &= 2\pi fL \\ 15.48 &= 2\pi \times 50 \times L \end{aligned}$$

จากสมการที่ (2.3)  $L = 0.049 \text{ H}$  ( $L \approx 50 \text{ mH}$ )

$$\begin{aligned} I &= \frac{V_1 \angle \delta - V_2 \angle 0}{jX} \\ I &= \frac{230 \angle 10 - 220 \angle 0}{j15.48} \\ I &= 2.61 \text{ A} \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ออกแบบ Interface inductor

$$V_L = 2\pi fL \times I \quad (4.1)$$

$$V_L = 4.44 fNBA_c \quad (4.2)$$

$$A_c = \frac{\sqrt{VA}}{5.58} \quad (4.3)$$

ต้องการออกแบบค่าตัวเหนี่ยวนำในการเชื่อมโยง Interface inductor ให้มีค่าดังต่อไปนี้

$$L = 50 \text{ mH}$$

$$I = 2.61 \text{ A}$$

$$f = 50 \text{ Hz}$$

$$V_L = 2\pi fL \times I$$

$$V_L = 2\pi \times 50 \times 0.05 \times 2.61 = 41 \text{ Vrms}$$

$$V_L = 4.44 fNBA_c$$

$$41 = 4.44 \times 50 \times N \times 1 \times A_c$$

$$A_c = \frac{\sqrt{41 \times 2.61}}{5.58} = 1.85 \text{ ตารางนิ้ว}$$

$$\text{เลือกแกน} = 1.5" \times 1.5"$$

$$A_c = 2.25 \text{ ตารางนิ้ว}$$

$$N = \frac{41}{4.44 \times 50 \times 1 \times 2.25 \times 2.54^2 \times 10^{-4}}$$

$$= 127.22 \text{ รอบ}$$

$$\text{กำหนด } J = 2 \text{ A/mm}^2$$

$$\text{ขนาดลวด} = \frac{2.61}{2} = 1.305 \text{ mm}^2$$

ใช้ลวด SWG เบอร์ 17

ซึ่งในโครงการเลือกใช้ค่าตัวเหนี่ยวนำเชื่อมโยงระบบเท่ากับ 50 มิลลิเฮนรีโดยใช้แกนเหล็กอีไอ มาตรฐานขนาด 1.5 นิ้ว ซึ่งนำมาประกอบให้มีพื้นที่หน้าตัด 2.25 ตารางนิ้ว ใช้ลวด SWG เบอร์ 17 พันจำนวน 127 รอบ และมีระยะช่องอากาศ 2 มิลลิเมตร เหตุผลที่ใช้พื้นที่หน้าตัดของแกนเหล็กมีขนาดโต เพื่อให้จำนวนรอบในการพันมีจำนวนรอบน้อย และไม่ให้แกนเหล็กเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เกิดการอิ่มตัวในการที่ใช้ลวดเส้นใหญ่ก็เพื่อให้มีความต้านทานลวดต่ำเพื่อไม่ให้เกิดกำลังสูญเสียในส่วนนี้มากนัก ซึ่งในการออกแบบตัวเหนี่ยวนำเชื่อมโยงระบบนั้นจะพิจารณาสมการดังต่อไปนี้

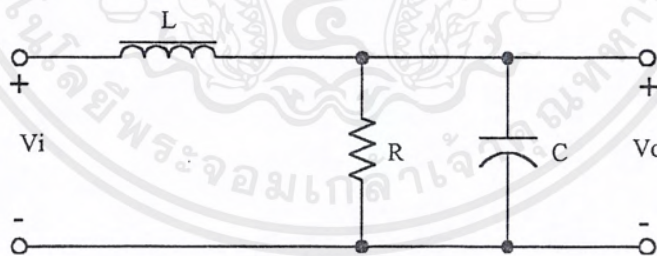
$$L = \frac{4\pi \times 10^{-7} N^2 A}{2lg} \quad (4.4)$$

$$B_{\max} = \frac{4\pi \times 10^{-7} N I_{\max}}{2lg} \quad (4.5)$$

$$B_{\max} < B_{\text{SAT}}$$

- โดย L คือ ค่าความเหนี่ยวนำ หน่วย เฮนรี่ (H)  
 N คือ จำนวนรอบ หน่วย รอบ (turn)  
 $A_C$  คือ พื้นที่หน้าตัดแกนเหล็ก หน่วย ตารางเมตร ( $m^2$ )  
 Lg คือ ระยะช่องอากาศ หน่วย เมตร (m)  
 $B_{\max}$  คือ ค่าความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็กสูงสุด หน่วย เทสลา (Tesla)  
 $B_{\text{SAT}}$  คือ ค่าความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็กอิ่มตัว หน่วย เทสลา  
 $I_{\max}$  คือ ค่าสูงสุดของกระแส หน่วย แอมแปร์ (A)

## 4.2 ส่วนของตัวกรองความถี่



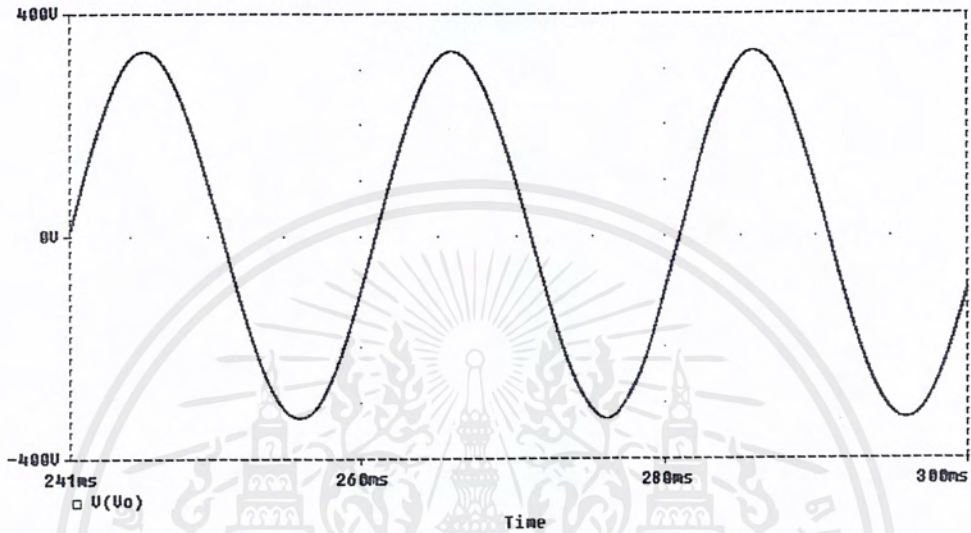
รูปที่ 4.1 แสดงวงจรฟิลเตอร์

จากการ simulate และ ทดลองพบว่าที่ค่า

$$\begin{aligned} f_o &= 50 \text{ Hz} \\ C &= 50 \mu\text{F} \\ R &\text{มีค่ามากๆ ให้มีค่าเท่ากับ } 1 \text{ M}\Omega \\ L &= 100 \text{ mH} \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะได้รูปคลื่นเอาท์พุทที่ไซน์ ดังรูปที่ 4.2 คั้งนั้นจึงเลือกใช้ค่าคาปาซิเตอร์ 50 ไมโครฟารัด ค่าความต้านทาน 1 เมกกะโอห์ม และค่าอินดักเตอร์ 100 มิลลิเฮนรี่ เพื่อนำมารองให้ได้สัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับซึ่งเป็นรูปคลื่นไซน์ ที่มีความถี่ 50 Hz



รูปที่ 4.2 แสดงรูปคลื่นไซน์ที่ได้จากการ simulate

การออกแบบตัวอินดักเตอร์กรองความถี่

$$\begin{aligned}
 \text{กำหนด } L &= 0.1 \text{ H} \\
 I &= 2.61 \text{ A} \\
 f &= 50 \text{ Hz} \\
 V_L &= 2\pi fL \times I \\
 V_L &= 2\pi \times 50 \times 0.1 \times 2.61 \\
 &= 81.99 \text{ V} \\
 V_L &= 4.44 \text{ fN } B_{\max} A_c \\
 81.99 &= 4.44 \times 50 \times N \times 1 \times A_c \\
 A_c &= \frac{\sqrt{VA}}{5.58} \\
 &= \frac{\sqrt{81.99 \times 2.61}}{5.58} \\
 &= 2.62 \text{ ตารางนิ้ว}
 \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เลือกแกน 1.5" x 1.5"

$$A_c = 2.25 \text{ ตารางนิ้ว}$$

$$81.99 = 4.44 \times 50 \times N \times 1 \times 2.25 \times 2.54^2 \times 10^{-4}$$

$$N = 254.42 \text{ รอบ}$$

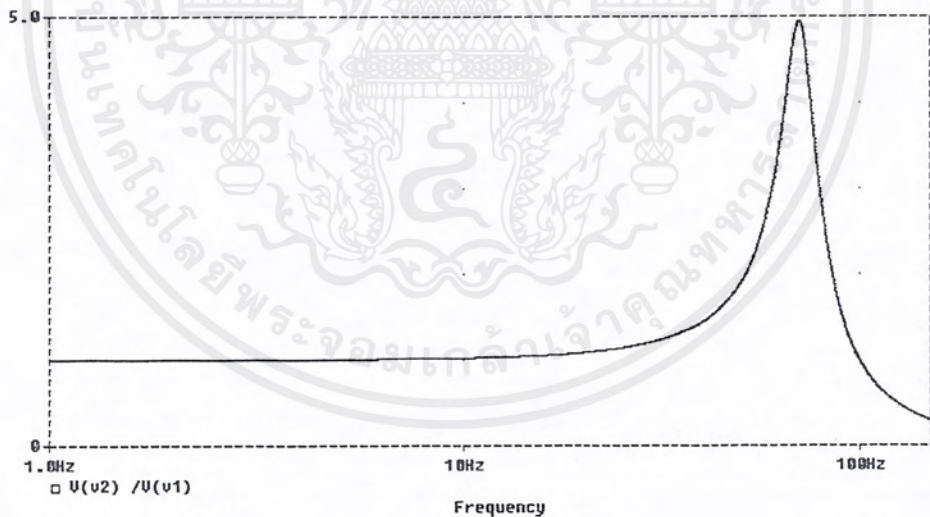
$$\text{กำหนด } J = 2 \text{ A/mm}^2$$

$$\text{ขนาดพื้นที่หน้าตัดลวด} = \frac{2.61}{2} = 1.305 \text{ mm}^2$$

ใช้ลวด SWG เบอร์ 17

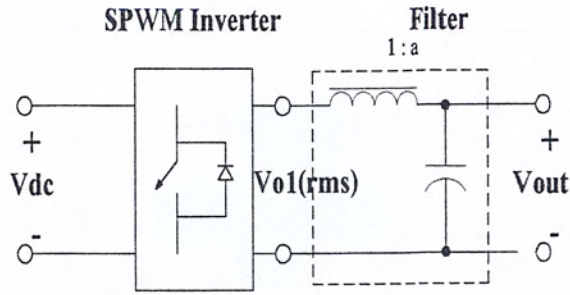
### 4.3 ส่วนวงจรเอสพีดับบลิวเอ็มอินเวอร์เตอร์

จากการทดลองพบว่าที่ชุดกรองความถี่ต่ำผ่าน (Low pass Filter) มีเกนการขยายเท่ากับ 2.34 เท่า เมื่อทำการทดลองที่โหลด 100 วัตต์ และมีเกนการขยายเท่ากับ 1.602 เท่า เมื่อทำการทดลองที่โหลด 600 วัตต์ ดังแสดงใน รูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 แสดงการเกิดเกนที่เกิดจากชุดฟิลเตอร์ซึ่งได้จากการ simulate

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 แสดงวงจรเอสพีคัมบลิวเอ็มอินเวอร์เตอร์ต่อร่วมกับฟิลเตอร์

เมื่อต้องการแรงดันเอาต์พุตที่ออกจากฟิลเตอร์มีแรงดันเท่ากับ 220 โวลต์ ดังนั้นที่ โหลด 100 วัตต์มีเกนเท่ากับ 2.34 เท่า

$$\begin{aligned} V_{O1(rms)} &= \frac{220}{2.34} \text{ V} \\ &= 102.56 \text{ V} \\ V_{O1(rms)} &= 0.707 \cdot m_a \cdot V_{dc} \end{aligned} \quad (4.6)$$

เมื่อกำหนดให้  $m_a = 0.8$  สมการที่ (4.6)

$$\begin{aligned} V_{dc} &= \frac{102.56}{0.707 \times 0.8} \text{ V} \\ &= 181.33 \text{ V} \end{aligned}$$

เมื่อต้องการแรงดันเอาต์พุตที่ออกจากฟิลเตอร์มีแรงดันเท่ากับ 220 โวลต์ ดังนั้นที่ โหลด 600 วัตต์มีเกนเท่ากับ 1.602 เท่า

$$\begin{aligned} V_{O1(rms)} &= \frac{220}{1.602} \text{ V} \\ &= 137.33 \text{ V} \end{aligned}$$

เมื่อกำหนดให้  $m_a = 0.8$  สมการที่ (4.6)

$$\begin{aligned} V_{dc} &= \frac{137.33}{0.707 \times 0.8} \text{ V} \\ &= 242.8 \text{ V} \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นที่โหลด 100 วัตต์ ถึง 600 วัตต์ แรงดันที่ ดีซี บัสจะต้องปรับค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงให้อยู่ในช่วง 180 โวลต์ ถึง 240 โวลต์เพื่อรักษาระดับแรงดันเอาต์พุตให้ได้ 220 โวลต์ แต่ในที่นี้เลือกใช้แรงดันอินพุตที่เข้ามานั้นได้มาจากวงจรฟูลบริดจ์เร็คติฟาย ซึ่งมีค่าเท่ากับ 260 โวลต์ เพื่อเป็นการเผื่อ การเกิดการ โอเวอร์โหลด

ในส่วนของวงจร SPWM อินเวอร์เตอร์ ใช้มอสเฟตเป็นอุปกรณ์สวิตช์ ซึ่งแรงดันอินพุตที่เข้ามานั้นได้มาจากวงจรฟูลบริดจ์เร็คติฟาย มีค่าเท่ากับ 260 โวลต์ กระแสที่ไหลผ่านสวิตช์มีค่าเท่ากับ 2.61 แอมแปร์ ดังนั้นควรเลือกใช้มอสเฟตที่มีพิกัดแรงดันมากกว่าหรือเท่ากับ 500 โวลต์ และมีพิกัดกระแสเฉลี่ยมากกว่า 5 แอมแปร์ ในโครงการเล่มนี้เลือกใช้มอสเฟตเบอร์ IRFP 460 โดยมีการต่อตัวเก็บประจุ 0.22 ไมโครฟารัด 400 โวลต์ (วงจรสับเบอร์) และต่อตัวเก็บประจุ 470 ไมโครฟารัด 450 โวลต์ (ทำหน้าที่ฟิลเตอร์ซึ่งต่ออยู่ทางด้านอินพุตของวงจรเอสพีดับเบิลเอ็ม อินเวอร์เตอร์)

#### 4.4 ส่วนวงจรฟูลบริดจ์เร็คติฟาย

ในส่วนของวงจรฟูลบริดจ์เร็คติฟาย ซึ่งได้รับแรงดันอินพุตที่เข้ามาจากหม้อแปลง เพิ่มแรงดันความถี่สูง มีค่าเท่ากับ 260 โวลต์ และมีกระแสที่ไหลผ่านมีค่าเท่ากับ 2.61 แอมแปร์ ดังนั้นควรเลือกใช้ไดโอดที่มีพิกัดแรงดันมากกว่า 600 โวลต์ และมีพิกัดกระแสมากกว่า 8 แอมแปร์ ในโครงการนี้เลือกใช้ไดโอดเบอร์ MUR 840 โดยมีตัวเหนี่ยวนำ ( $L_F$ ) 1 มิลลิเฮนรี่ และตัวเก็บประจุ ( $C_F$ ) 560 ไมโครฟารัด 400 โวลต์ เป็นฟิลเตอร์

#### 4.5 ส่วนหม้อแปลงเพิ่มแรงดันความถี่สูง

ในการออกแบบมีสมการที่ใช้ดังต่อไปนี้

$$\frac{N_s}{N_p} = \frac{V_o + 2V_D}{(V_{in(min)} - 2V_{DS(sat)})D_{(max)}} \quad (4.7)$$

$$N_p = \frac{(V_{in(MIN)} - 2V_{DS(sat)} \times D_{(max)})}{2 \Delta B_{max} \times A_c \times f} \quad (4.8)$$

$$\text{กำหนด } V_{in(min)} = 44 \quad \text{V}$$

$$V_o = 260 \quad \text{V}$$

$$f = 40 \quad \text{kHz}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned}
 V_D &= 1 \text{ V} \\
 V_{DS} &= 1 \text{ V} \\
 \Delta B_{\max} &= 0.12 \text{ Tesla} \\
 A_c &= 7.08 \times 10^{-4} \text{ m}^2 \\
 D_{(\max)} &= 0.9
 \end{aligned}$$

$$\text{ดังนั้น } \frac{N_s}{N_p} = \frac{(260 + 2(1))}{(44 - 2(1))(0.9)} = 6.931$$

$$\frac{N_s}{N_p} = 7$$

$$N_p = \frac{44 - 2(1)(0.9)}{2(0.12) \cdot (7.08 \times 10^{-4}) \cdot (40 \times 10^3)} = 5.56 \text{ รอบ}$$

$$N_p = 6 \text{ รอบ}$$

$$N_s = 6 \times 7 = 42 \text{ รอบ}$$

ดังนั้นในส่วนหม้อแปลงเพิ่มแรงดันความถี่สูงเลือกใช้แกนเฟอร์ไรต์ EE SS/SS/21 โดยมีจำนวนรอบทางด้านปฐมภูมิเท่ากับ 6 รอบ ใช้ลวด SWG เบอร์ 32 จำนวน 80 เส้น นำมาตีเกลียว และมีจำนวนรอบทางด้านทุติยภูมิเท่ากับ 42 รอบ ใช้ลวด SWG เบอร์ 32 จำนวน 16 เส้น นำมาตีเกลียว โดยมีสัดส่วนจำนวนรอบของหม้อแปลงเท่ากับ 1 : 7

#### 4.6 ส่วนของแบตเตอรี่

ในโครงการนี้เลือกใช้แบตเตอรี่ 12 โวลต์ 50 แอมแปร์-ชั่วโมง จำนวน 4 ลูก ต่ออนุกรมกันเพื่อให้ได้แรงดันไฟฟ้า 48 โวลต์ โดยกำหนดให้ประสิทธิภาพของระบบเท่ากับ 80 เปอร์เซ็นต์ จะได้กำลังไฟฟ้าที่แบตเตอรี่ ( $P_{\text{battery}}$ ) ดังนี้

$$P_{\text{battery}} = \frac{600}{0.8} = 750 \text{ W}$$

$$P_{\text{battery}} = V_{\text{battery}} \times I_{\text{battery}}$$

$$\text{จะได้ } I_{\text{battery}} = \frac{750}{48} = 15.62 \text{ A}$$

#### 4.7 ส่วนวงจรสวิทช์โหมคอินเวอร์เตอร์

ในส่วนวงจรสวิทช์โหมคอินเวอร์เตอร์ ใช้มอสเฟตเป็นอุปกรณ์สวิทช์ ซึ่งแรงดันอินพุทที่เข้ามาจากแบตเตอรี่ มีค่าเท่ากับ 48 โวลต์ กระแสที่ไหลผ่านสวิทช์มีค่าเท่ากับ 15.62 แอมแปร์ ดังนั้นควรเลือกใช้มอสเฟตที่มีพิกัดแรงดันมากกว่า หรือเท่ากับ 100 โวลต์ และมีพิกัดกระแสเฉลี่ยมากกว่า 20 แอมแปร์ ในโครงงานเล่มนี้เลือกใช้มอสเฟตเบอร์ IRFP 150 โดยมีการต่อตัวเก็บประจุ 2 ไมโครฟารัด 100 โวลต์ (วงจรสับเบอร์) และ ต่อตัวเก็บประจุ 4700 ไมโครฟารัด 100 โวลต์ (ทำหน้าที่ฟิลเตอร์) ซึ่งต่ออยู่ทางด้านอินพุทของวงจรสวิทช์โหมคอินเวอร์เตอร์



## บทที่ 5

### การทดลองและผลการทดลอง

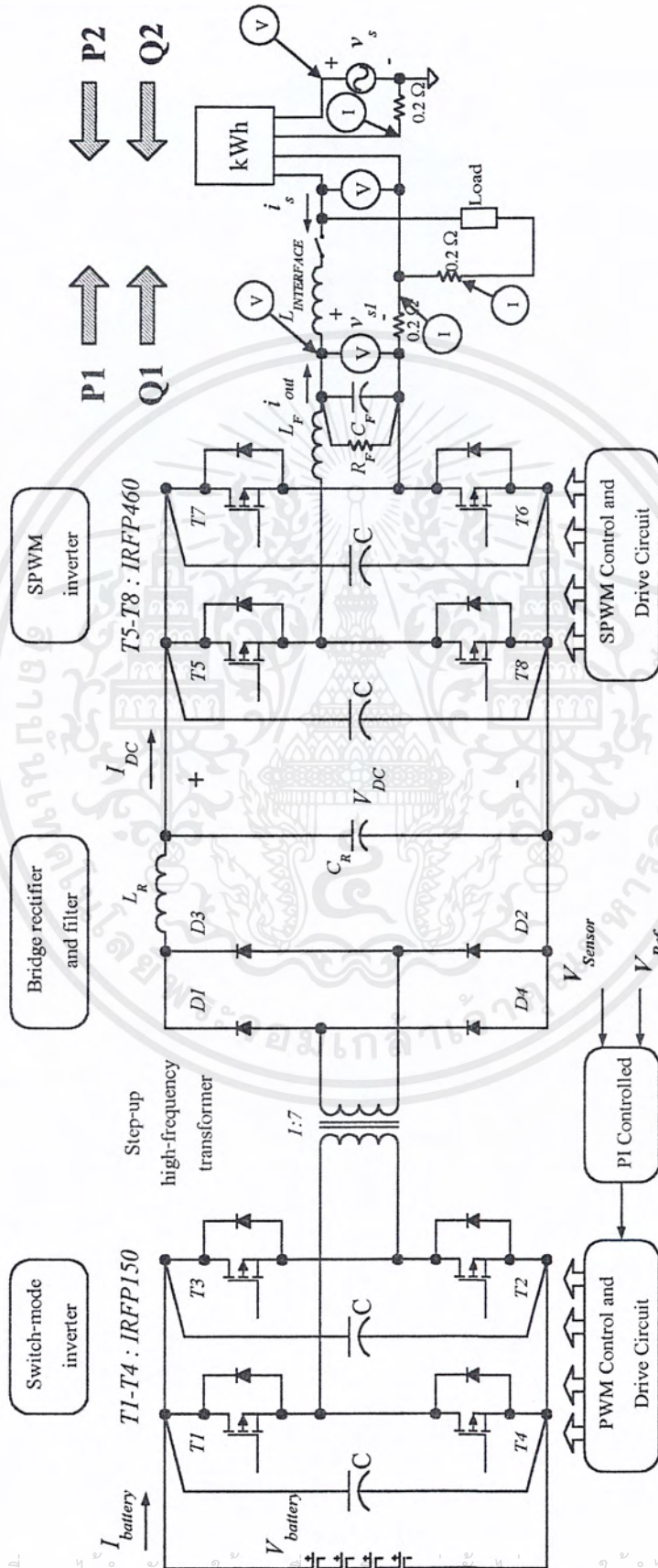
ระบบที่ใช้ในการเชื่อมโยงแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงเข้ากับระบบการไฟฟ้าโดยใช้เอสพีดับบลิวเอ็มอินเวอร์เตอร์ที่ได้ออกแบบไว้เป็นการเชื่อมโยงชุดแบตเตอรี่ 48 โวลต์ 50 แอมแปร์- ชั่วโมง เข้ากับระบบไฟ 1 เฟส 220 โวลต์ 50 เฮิร์ต เพื่อทำการช่วยจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับโหลดร่วมกับระบบการไฟฟ้าและช่วยจ่ายคืนให้ระบบการไฟฟ้า ซึ่งในการทดลองจะแบ่งการทดลองออกเป็น 3 ส่วนคือ

1. การทดลองช่วยจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับโหลดตลอดไฟขนาด 300 วัตต์ ร่วมกับระบบการไฟฟ้า
2. การทดลองจ่ายกำลังไฟฟ้าคืนให้กับระบบการไฟฟ้าโดยการปรับมุม
3. การทดลองหาประสิทธิภาพ และกำลังการสูญเสียของวงจรที่เอาท์พุทค่าต่างๆ

ซึ่งในการทดลองใช้เครื่องมือดังนี้

1. ดิจิตอลออสซิลโลสโคป รุ่น DL1520 8 bit 200 Ms/s 150 MHz YOKOGAWA ในการบันทึกรูปคลื่นสัญญาณผลการทดลอง
2. มิเตอร์แบบเข็ม ในการบันทึกค่ากระแสและแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง
3. FLUKE 39 POWER METER ในการบันทึกค่า กระแส แรงดัน กำลังไฟฟ้า และค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า ในส่วนของไฟฟ้ากระแสสลับซึ่งมีรูปคลื่นสัญญาณที่ไม่ใช่รูปคลื่นไซน์
4. กิโลวัตต์- ชั่วโมง มิเตอร์ 1 เฟส ชนิด DD28 220 V 15(45) A 50 Hz 300 r/W.h 1996 No. 698867 ในการสังเกตพฤติกรรม ในการช่วยจ่ายค่ากำลังไฟฟ้าให้กับโหลดร่วมกับระบบการไฟฟ้าและการจ่ายกำลังไฟฟ้าคืนให้กับระบบการไฟฟ้า

**5.1 การทดลองที่ 1** การทดลองช่วยจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับโหลดตลอดไฟขนาด 300 วัตต์ ร่วมกับระบบการไฟฟ้า ซึ่งมีวงจรการทดลองดังรูปที่ 5.1 และผลการทดลองดังต่อไปนี้



รูปที่ 5.1 แสดงวงจรการทดลองช่วยจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับโหลดหลอดไฟขนาด 300 วัตต์ ร่วมกับระบบการไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

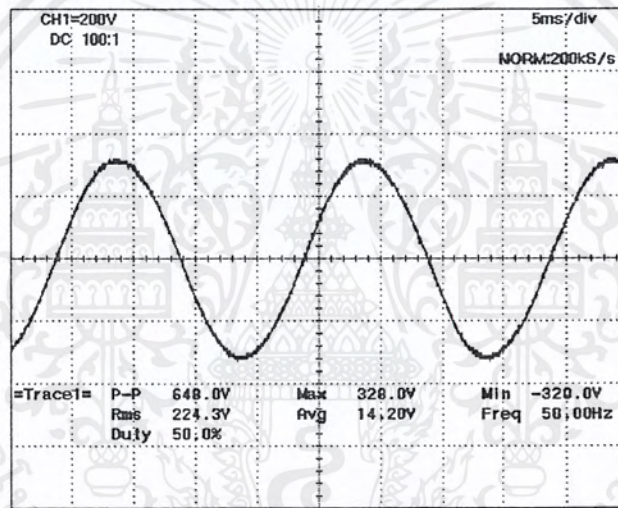
ตารางที่ 5.1 แสดงผลการทดลองช่วยจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับโหลดหลอดไฟขนาด 300 วัตต์  
ร่วมกับระบบการไฟฟ้า

power angle	1 องศา	2 องศา	3 องศา	4 องศา	5 องศา	6 องศา	7 องศา	8 องศา
(1) เอาท์พุทของวงจรอิเล็กทรอนิกส์แบบกึ่งอินเวอร์เตอร์								
Vout (V)	221	221	221	221	220	220	220	222
Iout (A)	0.36	0.6	0.87	1.14	1.4	1.68	2.01	2.17
Pout (W)	71	131	190	250	310	370	440	480
Qout (VAR)	27	17	-9	-30	-30	-40	-50	-20
Sout (VA)	79	133	191	250	310	370	440	480
DPF	0.93	0.99	1	0.99	0.99	0.99	0.99	1
PF(lead/lag)	0.9 lag	0.98 lag	0.99 lead	0.99 lead	0.99 lead	0.99 lead	0.99 lead	1 lead
THDv	1.3	1.6	2	2.2	2.5	2.9	3.3	3.3
THDi	25.6	13.5	8.6	6.9	6.1	6.1	6.3	5.7
(2) ระบบการไฟฟ้า								
V sys (V)	220	221	222	222	223	223	221	224
I sys (A)	1.17	0.88	0.67	0.53	0.5	0.64	0.76	0.95
P sys (W)	260	191	138	83	17	-48	-100	-155
Q sys (VAR)	10	25	55	81	106	130	131	142
S sys (VA)	260	193	150	117	111	143	169	214
DPF	1	0.99	0.93	0.72	0.16	-0.36	-0.62	-0.74
PF (lag)	1	0.99	0.92	0.71	0.16	(-0.34)	(-0.6)	(-0.73)
THDv	1	0.9	1	1	0.9	1.1	1	1.1
THDi	6	8.4	11.3	13.2	21.8	21.4	17.8	14.5
(3) โหลด								
V s (V)	221	221	222	222	223	223	223	224
I load (A)	1.32	1.33	1.34	1.35	1.35	1.37	1.36	1.36
P load (W)	290	290	300	300	300	300	300	300

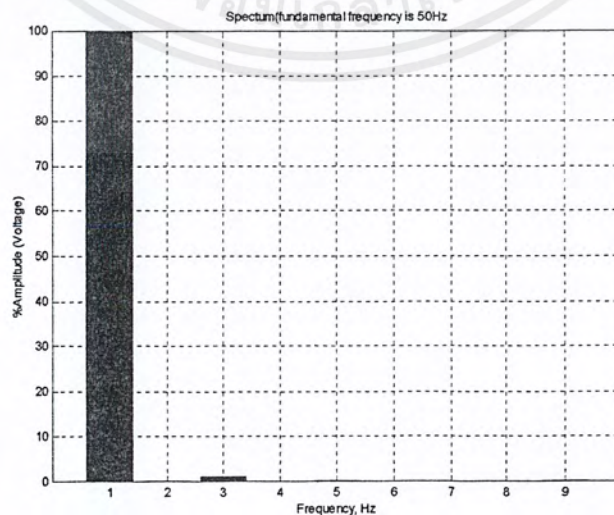
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Q load (VAR)	-30	-30	-40	-30	-40	-30	-40	-30
S load (VA)	290	290	300	300	300	300	300	300
DPF	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99
PF (lead)	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99	0.99
THDv	1	1	1	1.1	1	1.1	1.1	1
THDi	2.6	2.5	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6

ซึ่งมีรูปแสดงแรงดันและกระแสที่ได้จากการทดลองดังต่อไปนี้

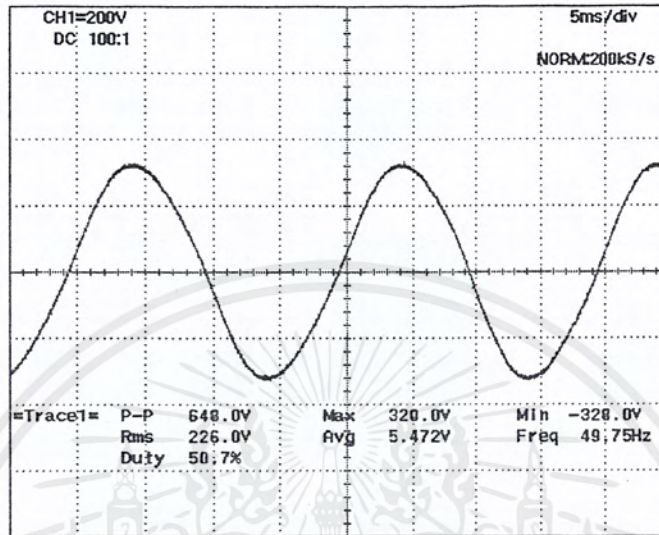


รูปที่ 5.2 แสดงสัญญาณแรงดันเอาต์พุตตอนไม่ได้ปรับมุม

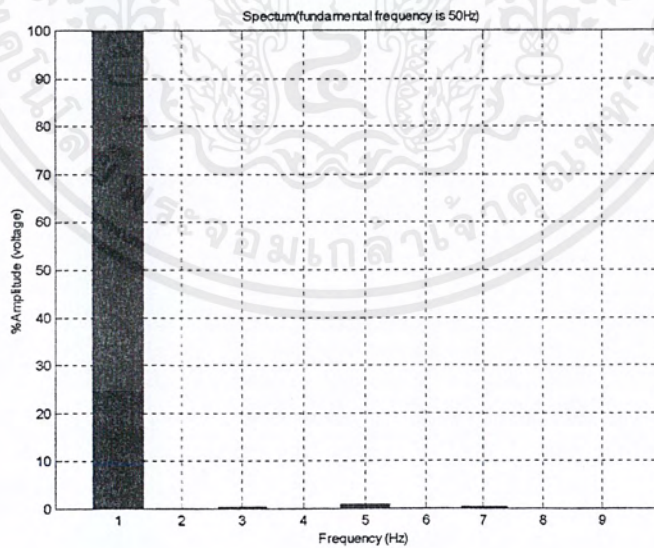


รูปที่ 5.3 แสดงสเปกตรัมสัญญาณแรงดันเอาต์พุตตอนไม่ได้ปรับมุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

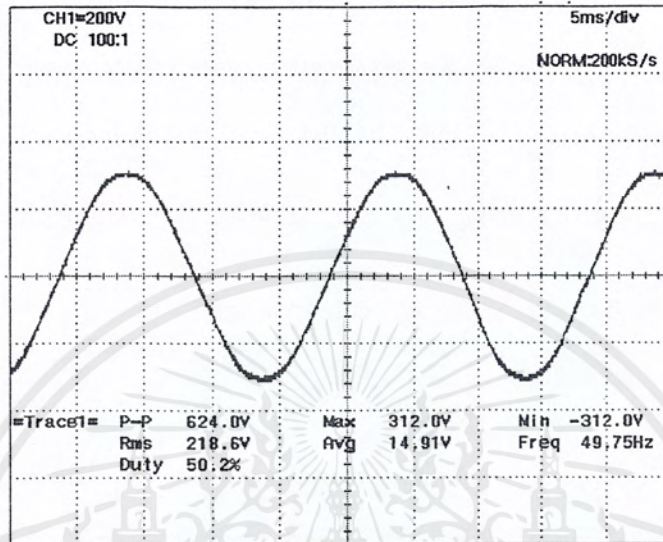


รูปที่ 5.4 แสดงสัญญาณแรงดันเอาต์พุตตอนปรับมุม

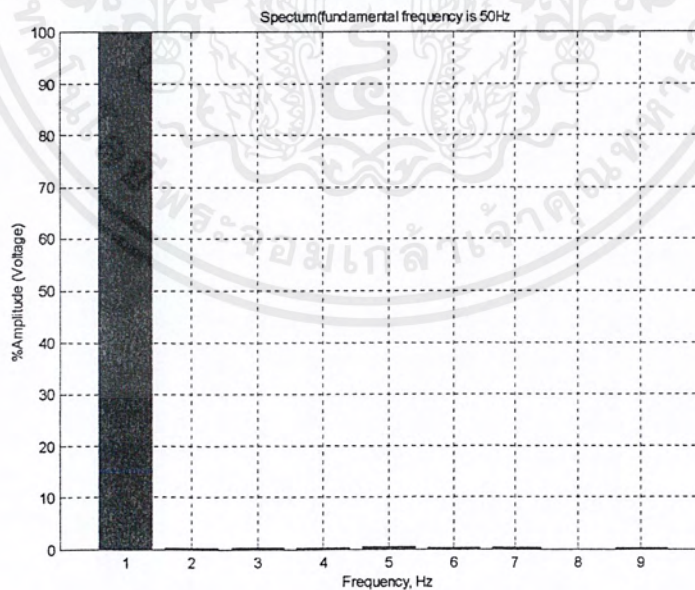


รูปที่ 5.5 แสดงสเปกตรัมสัญญาณแรงดันเอาต์พุตตอนปรับมุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

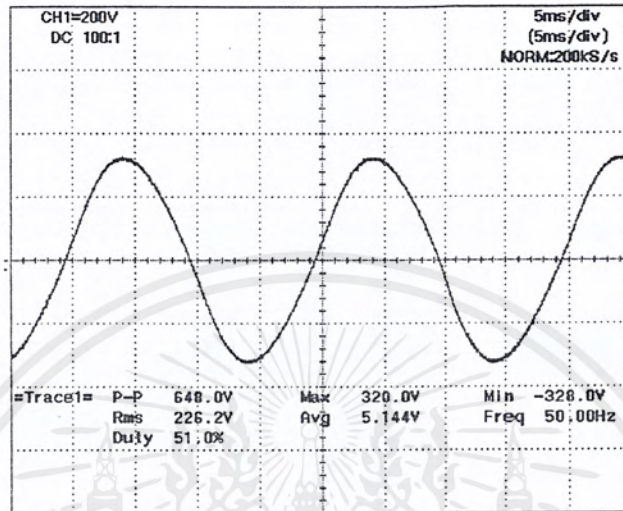


รูปที่ 5.6 แสดงสัญญาณแรงดันการไฟฟ้าคอนโมได้ปรับมุม

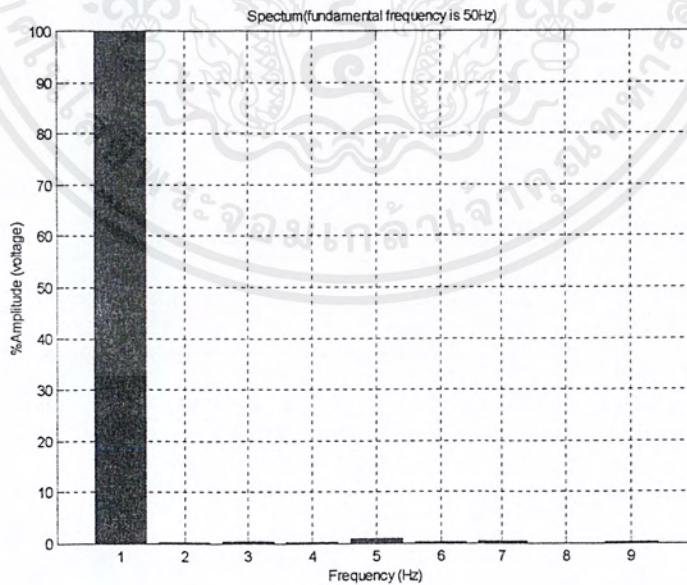


รูปที่ 5.7 แสดงสเปกตรัมสัญญาณแรงดันการไฟฟ้าคอนโมได้ปรับมุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

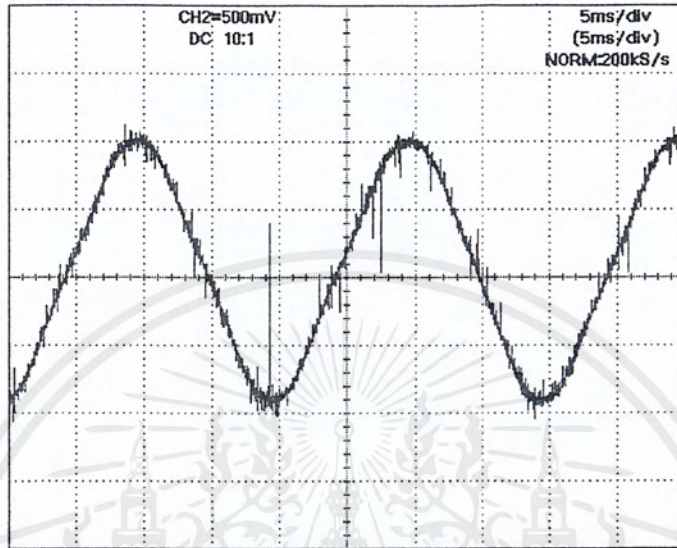


รูปที่ 5.8 แสดงสัญญาณแรงดันการไฟฟ้าตอนปรับมุม

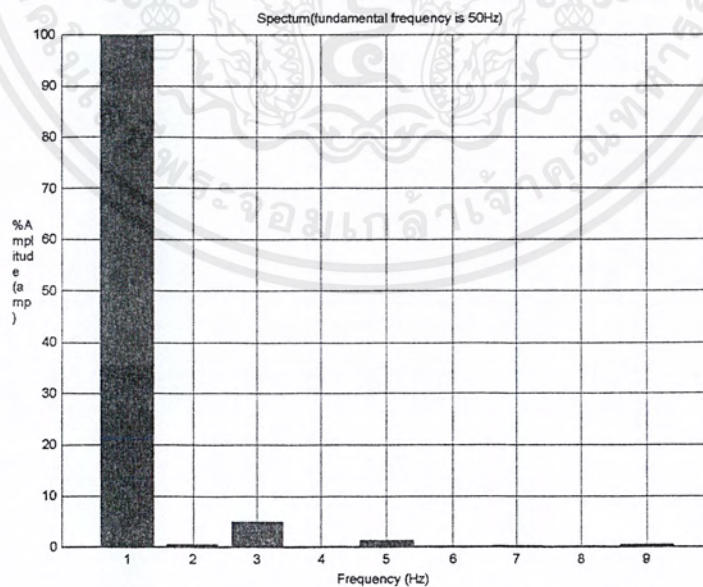


รูปที่ 5.9 แสดงสเปกตรัมสัญญาณแรงดันการไฟฟ้าตอนปรับมุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

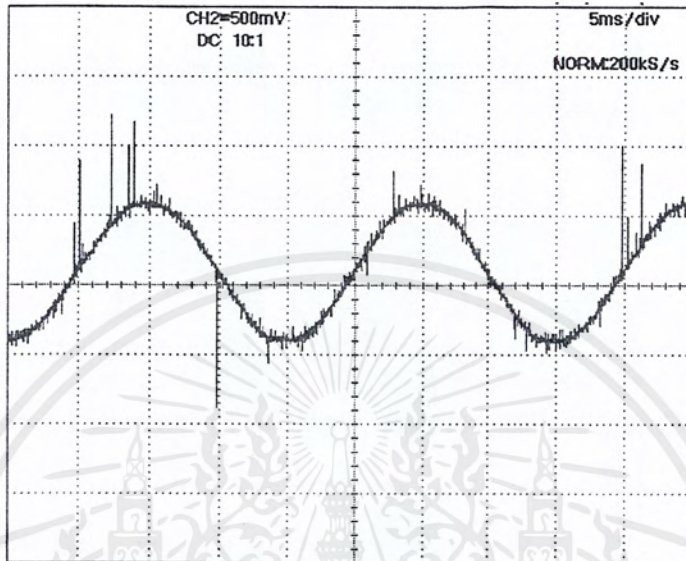


รูปที่ 5.10 แสดงสัญญาณกระแสเอาต์พุตตอนจ่ายกำลังไฟฟ้า 570 วัตต์

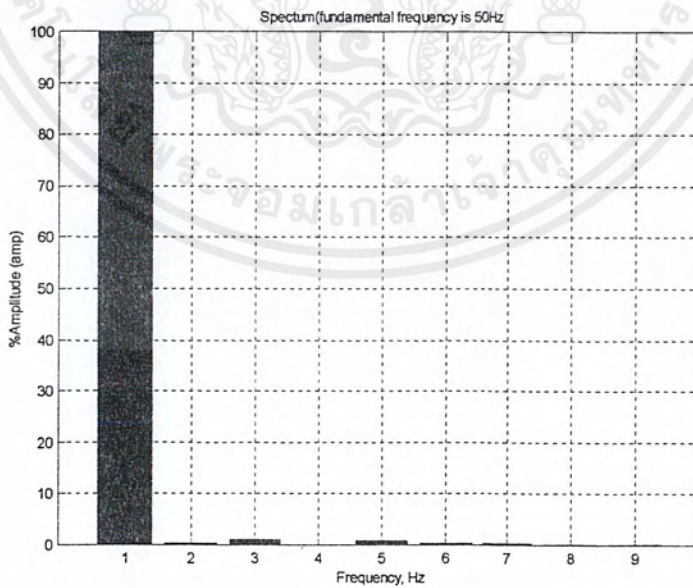


รูปที่ 5.11 แสดงสเปกตรัมสัญญาณกระแสเอาต์พุตตอนจ่ายกำลังไฟฟ้า 570 วัตต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

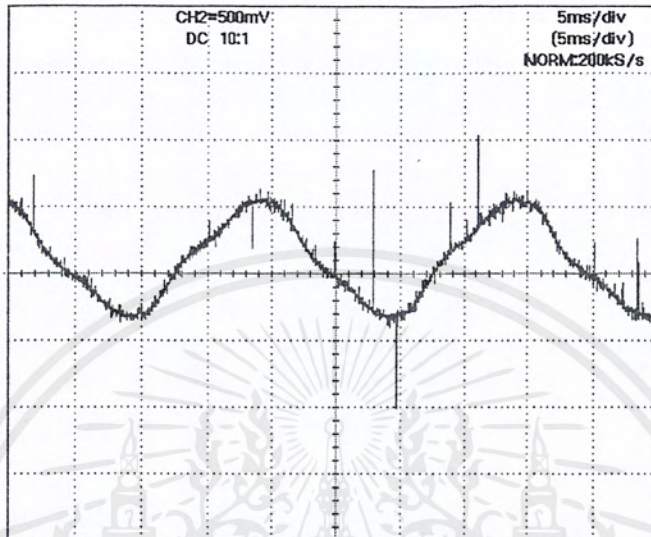


รูปที่ 5.12 แสดงสัญญาณกระแสที่โหลดขนาด 300 วัตต์

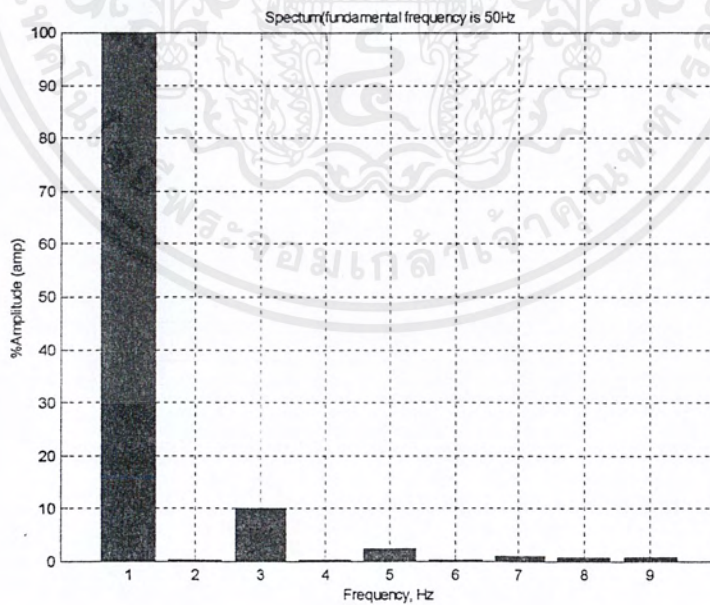


รูปที่ 5.13 แสดงสเปกตรัมสัญญาณกระแสที่โหลด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

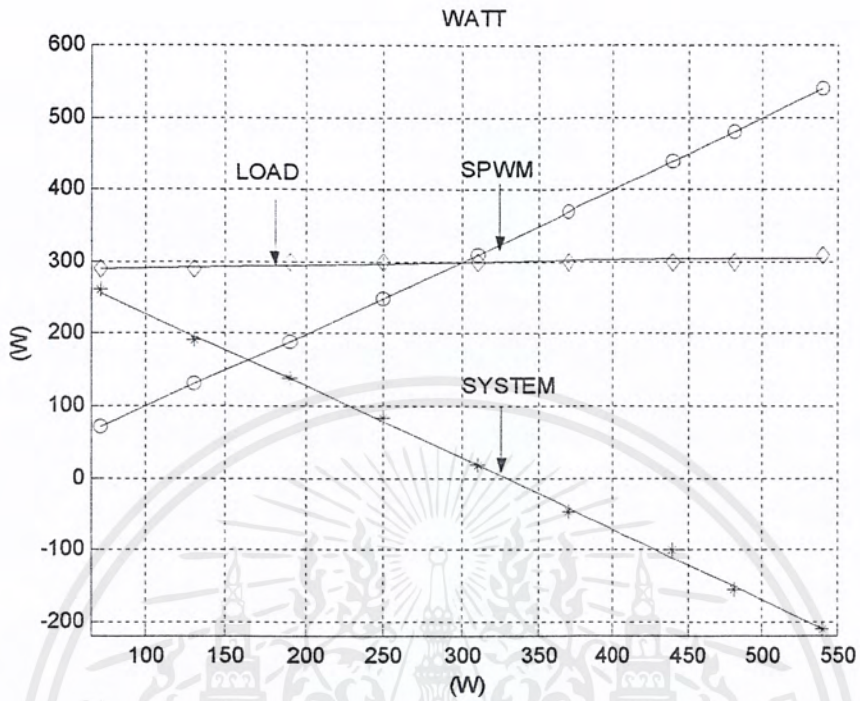


รูปที่ 5.14 แสดงสัญญาณกระแสที่เข้าไปยังระบบการไฟฟ้า

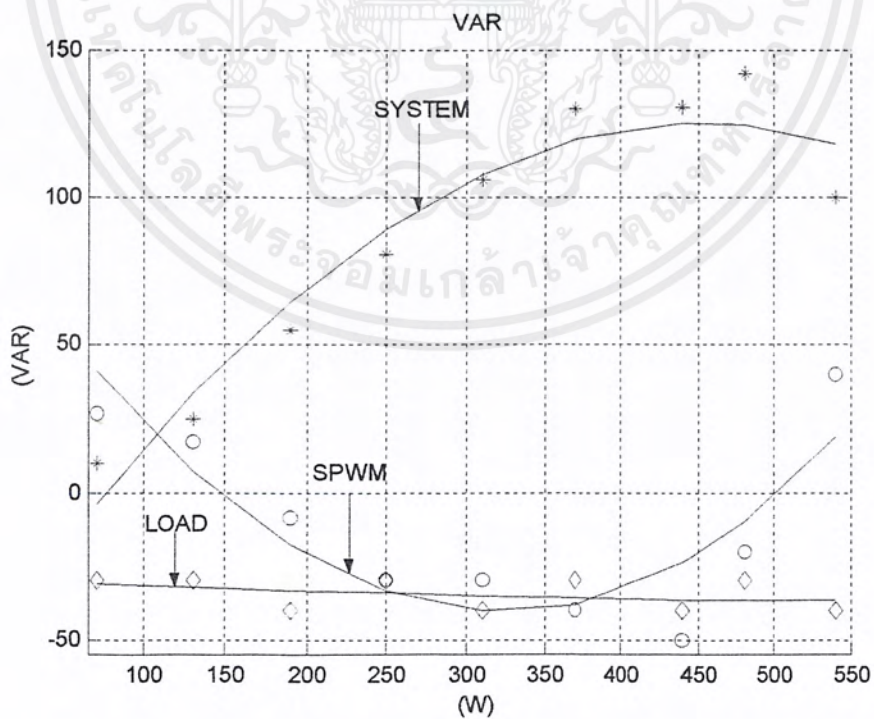


รูปที่ 5.15 แสดงสเปกตรัมสัญญาณกระแสของระบบการไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

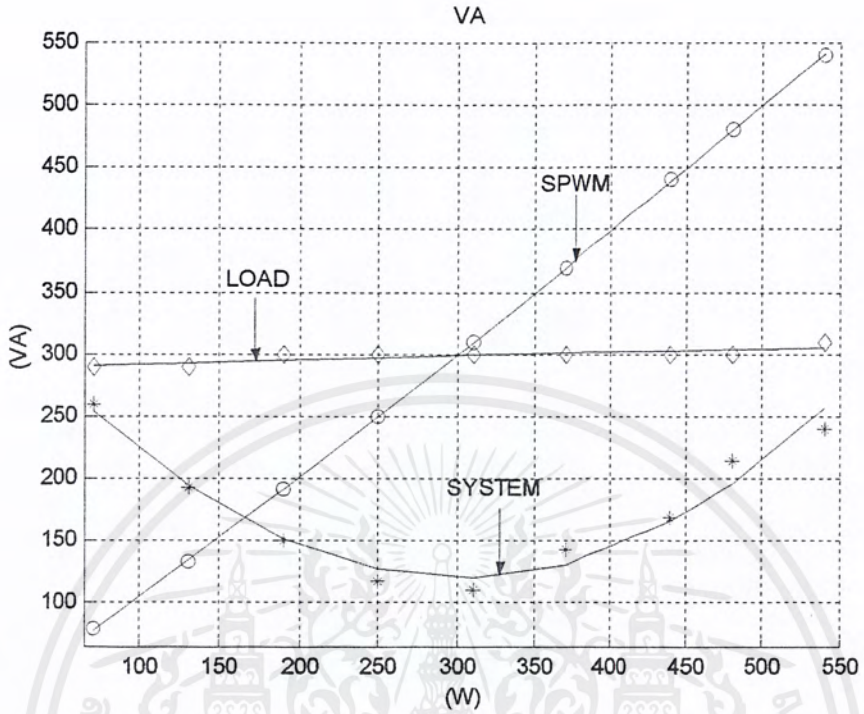


รูปที่ 5.16 กราฟแสดงค่ากำลังไฟฟ้าขณะร่วมกันจ่ายโหลด

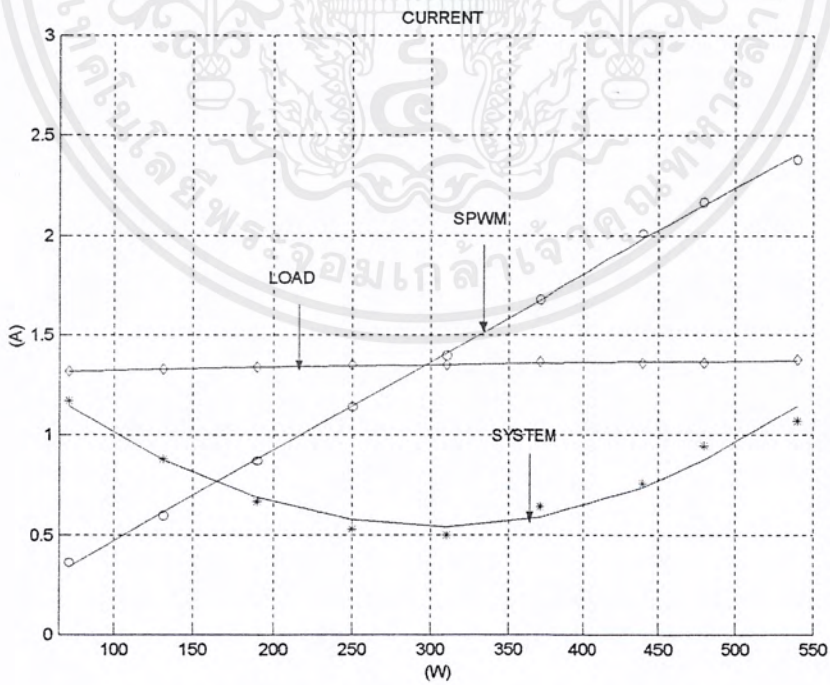


รูปที่ 5.17 กราฟแสดงค่ากำลังไฟฟ้าเสมือนขณะร่วมกันจ่ายโหลด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

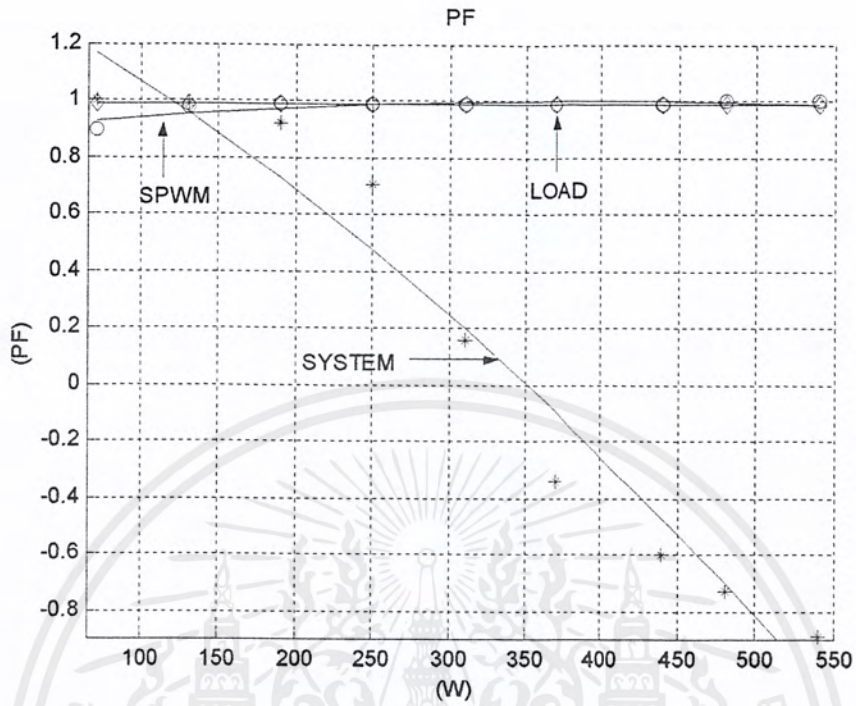


รูปที่ 5.18 กราฟแสดงค่ากำลังไฟฟ้าปรากฏขณะร่วมกันจ่ายโหลด

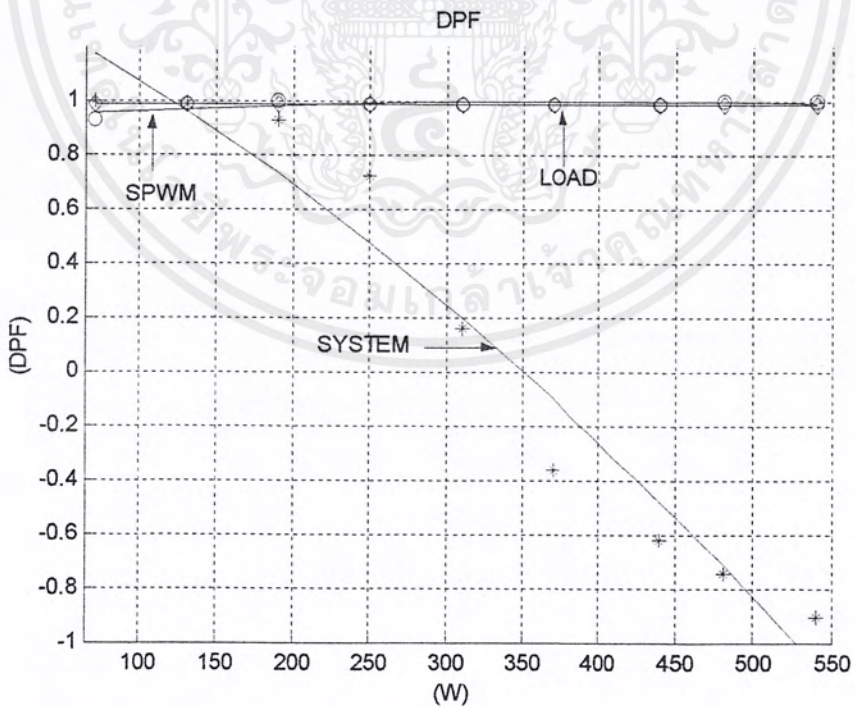


รูปที่ 5.19 กราฟแสดงค่ากระแสขณะร่วมกันจ่ายโหลด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

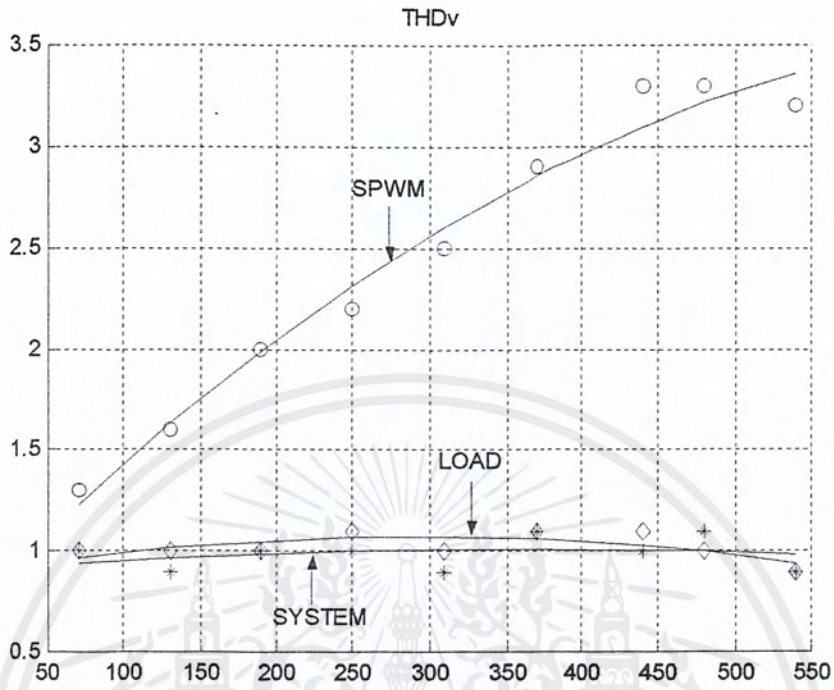


รูปที่ 5.20 กราฟแสดงค่าตัวประกอบกำลังขณะร่วมกันจ่ายโหลด

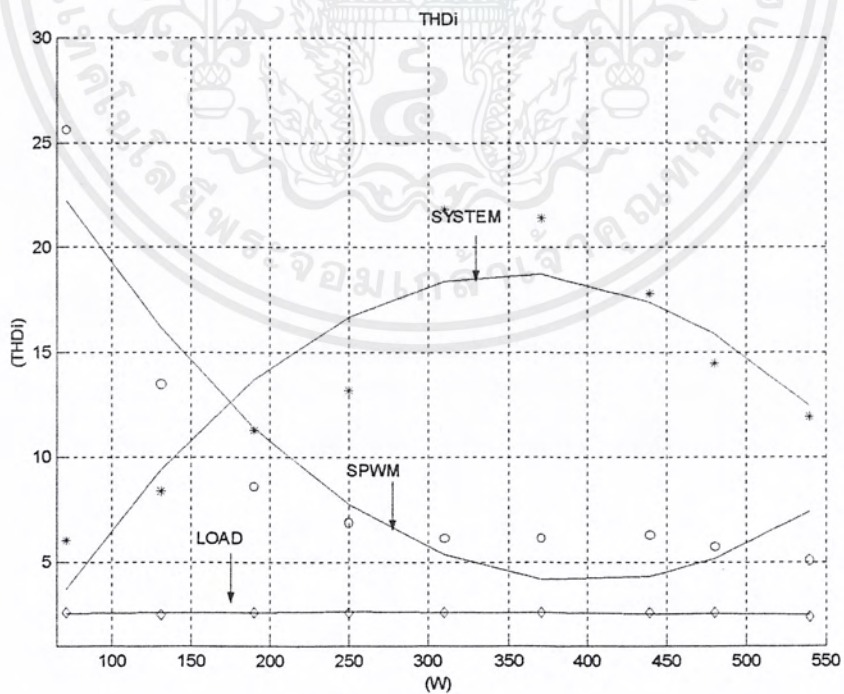


รูปที่ 5.21 กราฟแสดงค่า DPF ขณะร่วมกันจ่ายโหลด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.22 กราฟแสดงค่า THDv ขณะร่วมกันจ่ายโหลด



รูปที่ 5.23 กราฟแสดงค่า THDi ขณะร่วมกันจ่ายโหลด

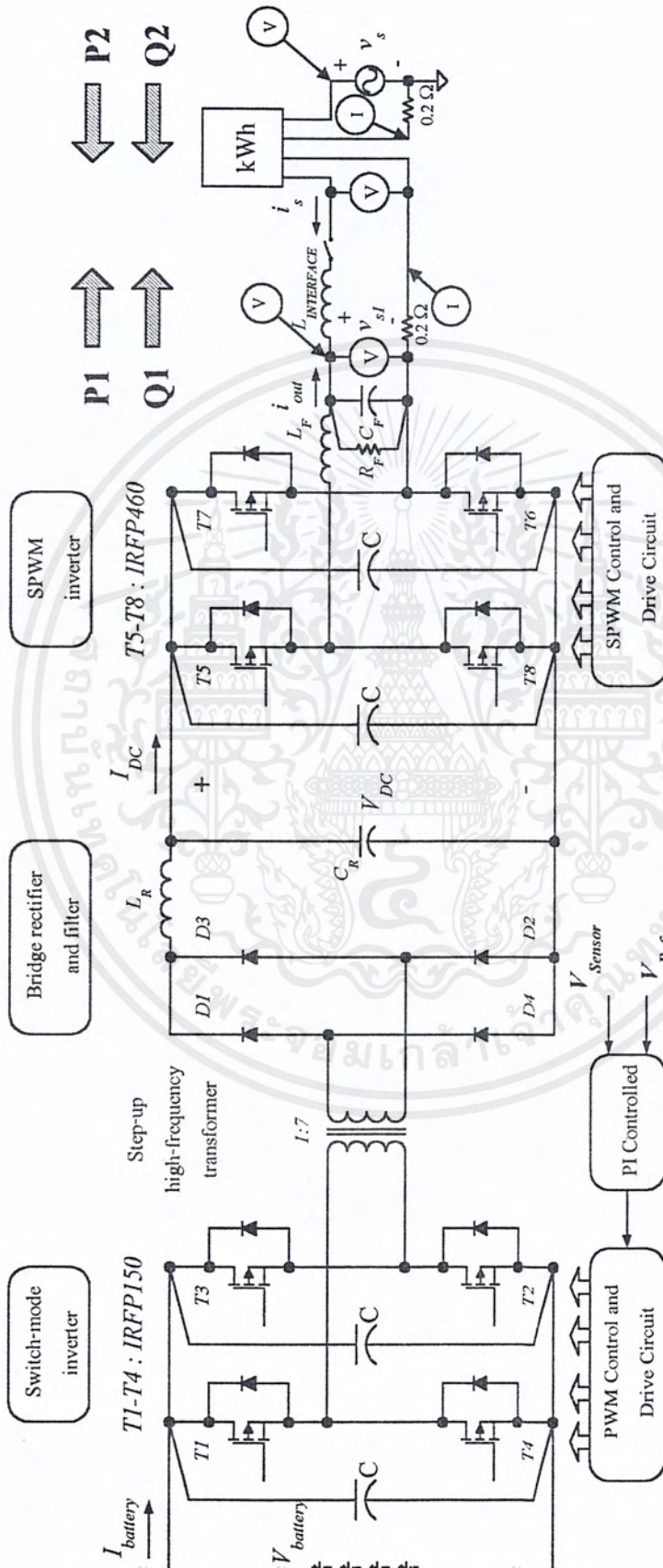
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 5.2 การทดลองที่ 1 การทดลองจ่ายกำลังไฟฟ้าคืนให้กับระบบการไฟฟ้าโดยการปรับมุม ซึ่งมีวงจรการทดลองดังรูปที่ 5.2 และผลการทดลองดังต่อไปนี้

ตารางที่ 5.2 การทดลองจ่ายกำลังไฟฟ้าคืนให้กับระบบการไฟฟ้าโดยการปรับมุม

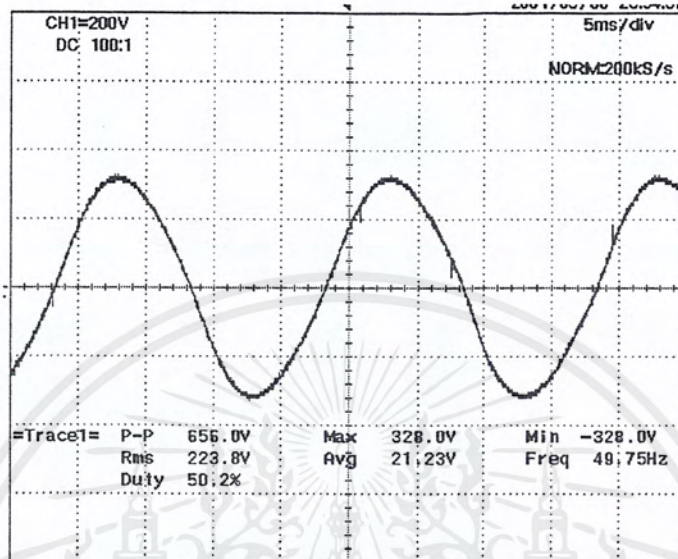
power angle	2 องศา	3 องศา	4 องศา	5 องศา	6 องศา	7 องศา	8 องศา	8.8 องศา
(1) เอาท์พุทของวงจรอิเล็กทรอนิกส์ดับลิแวมอินเวอร์เตอร์								
Vout (V)	222	222	222	221	221	221	224	227
Iout (A)	0.71	0.94	1.15	1.45	1.69	2	2.2	2.36
Pout (W)	148	206	250	320	370	440	480	530
Qout (VAR)	48	28	20	0	-10	-20	10	60
Sout (VA)	156	209	250	320	370	440	490	540
PF	0.95 lag	0.99 lag	0.99 lag	1 lag	0.99 lead	0.95 lead	1 lag	0.99 lag
DPF	0.95	0.99	1	1	1	1	1	0.99
THDv	1.5	1.8	2	2.4	2.6	3.1	3.3	3.2
THDi	13.1	8.4	7.2	6.1	5.7	5.9	5.6	5.1
(2) ระบบการไฟฟ้า								
V sys (V)	221	222	222	222	223	224	224	224
I sys (A)	0.63	0.94	1.15	1.47	1.7	2.07	2.28	2.45
P sys (W)	-116	-185	-230	-300	-350	-420	-480	-530
Q sys (VAR)	73	90	110	130	150	180	170	130
S sys (VA)	139	207	260	330	380	460	510	550
PF	-0.83 lag	-0.89 lag	-0.9 lag	-0.91 lag	-0.91 lag	-0.91 lag	-0.94 lag	-0.97 lag
DPF	-0.84	-0.9	-0.9	-0.91	-0.92	-0.92	-0.94	-0.97
THDv	1.1	1.1	1.2	1.1	1.2	1.1	1.2	1
THDi	12.2	8.2	7.4	6	5.7	5.7	5.2	4.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

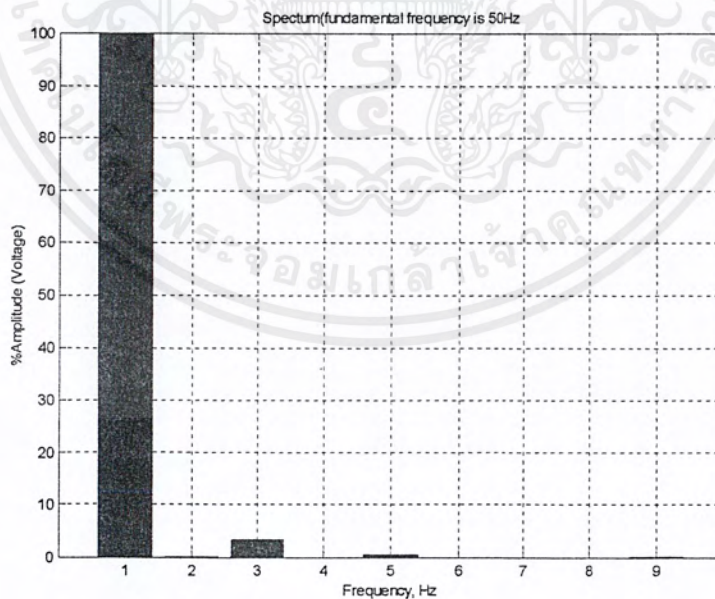


รูปที่ 5.24 แสดงการทดลองจ่ายกำลังไฟฟ้าคืนให้กับระบบการไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

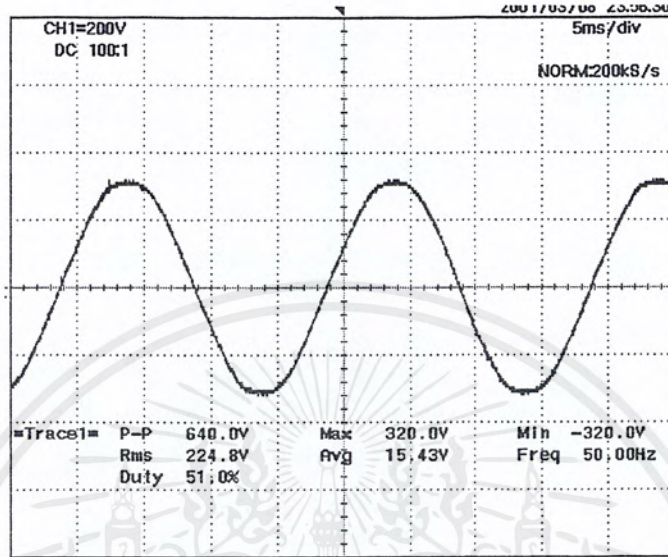


รูปที่ 5.25 แสดงสัญญาณแรงดันของเอาต์พุตเมื่อปรับมุม 8 องศาทางไฟฟ้า

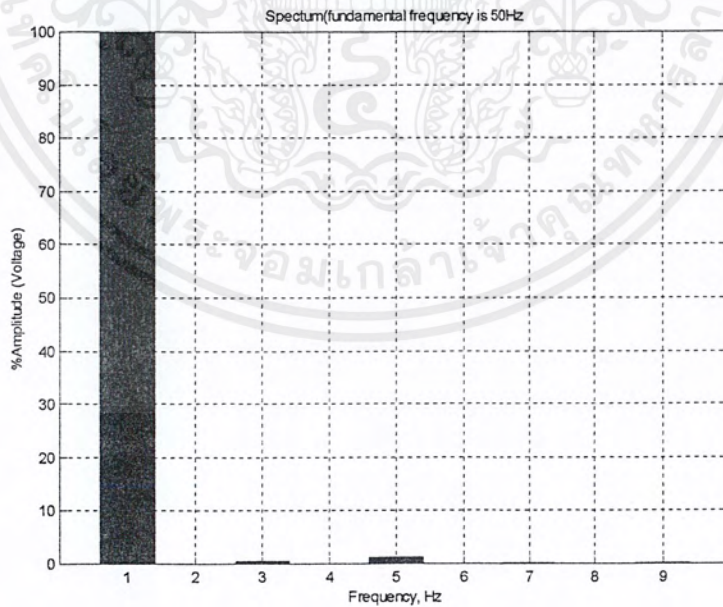


รูปที่ 5.26 แสดงสเปกตรัมสัญญาณแรงดันของเอาต์พุต เมื่อปรับมุม 8 องศาทางไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

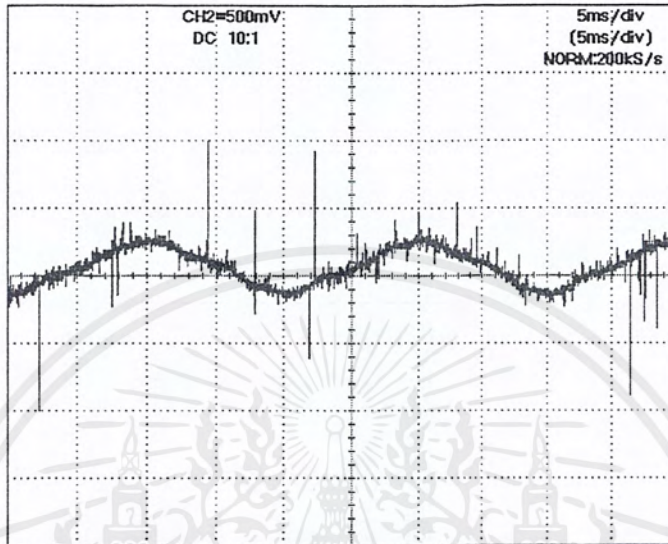


รูปที่ 5.27 แสดงสัญญาณแรงดันของระบบการไฟฟ้าเมื่อปรับมุม 8 องศาทางไฟฟ้า

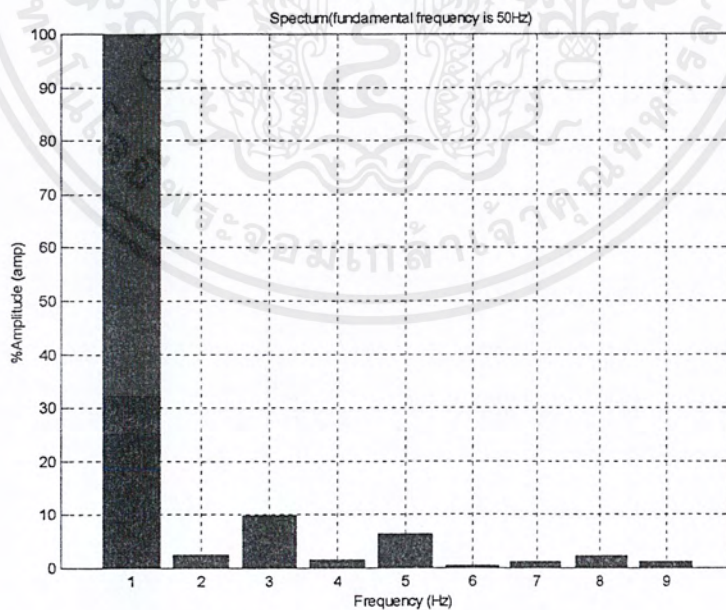


รูปที่ 5.28 แสดงสเปกตรัมสัญญาณแรงดันของระบบการไฟฟ้าเมื่อปรับมุม 8 องศาทางไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

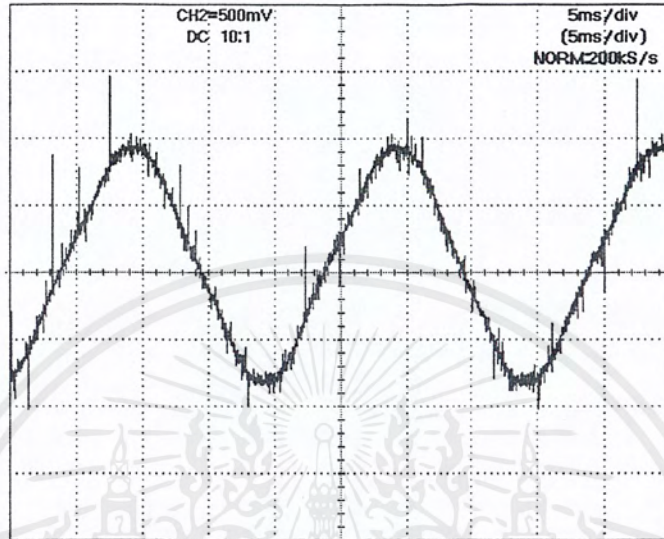


รูปที่ 5.29 แสดงสัญญาณกระแสของเอาต์พุตเมื่อปรับมุม 2 องศาทางไฟฟ้า

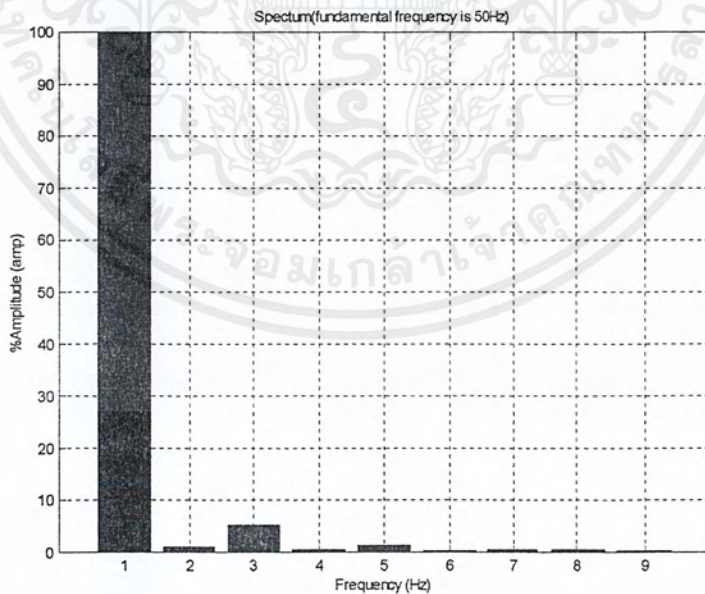


รูปที่ 5.30 แสดงสเปกตรัมสัญญาณกระแสของเอาต์พุต เมื่อปรับมุม 2 องศาทางไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

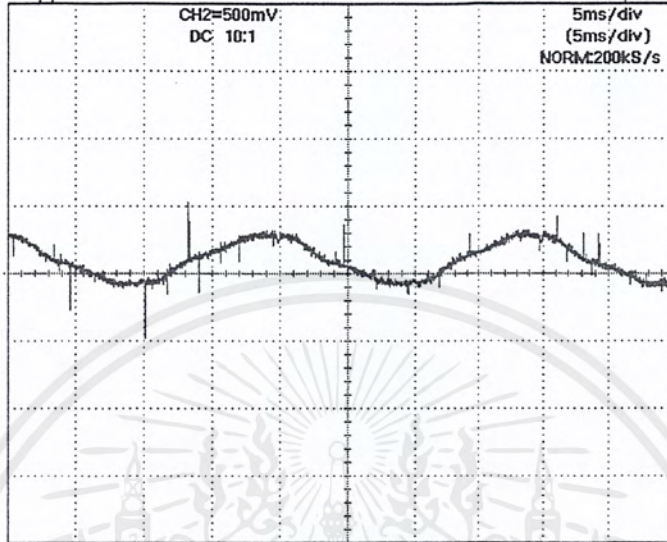


รูปที่ 5.31 แสดงสัญญาณกระแสของเอาต์พุตเมื่อปรับมุม 8 องศาทางไฟฟ้า

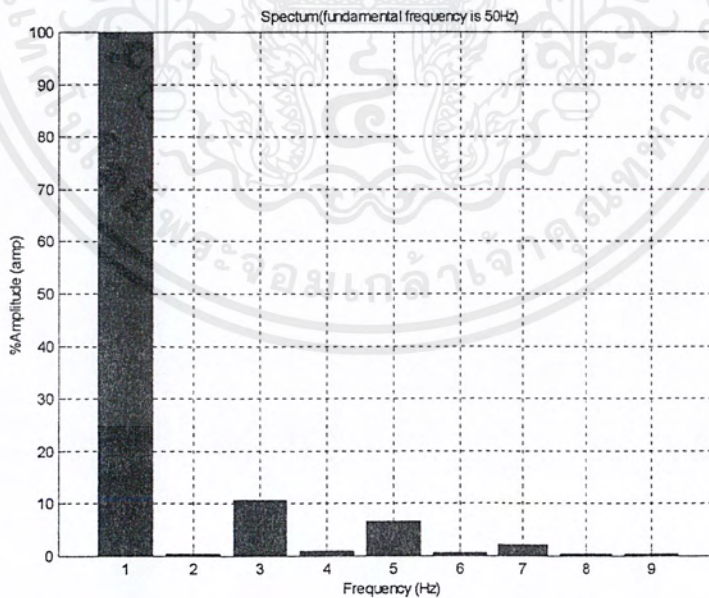


รูปที่ 5.32 แสดงสเปกตรัมสัญญาณกระแสของเอาต์พุต เมื่อปรับมุม 8 องศาทางไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

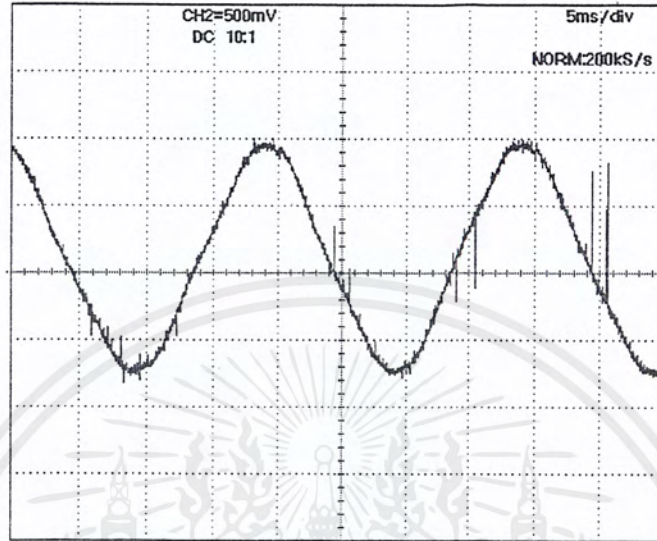


รูปที่ 5.33 แสดงสัญญาณกระแสของการไฟฟ้าเมื่อปรับมุม 2 องศาทางไฟฟ้า

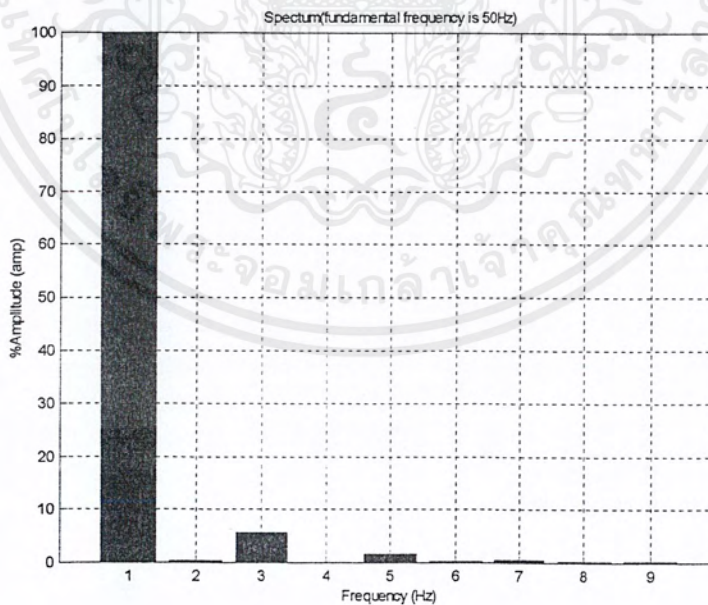


รูปที่ 5.34 แสดงสเปกตรัมสัญญาณกระแสของการไฟฟ้า เมื่อปรับมุม 2 องศาทางไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

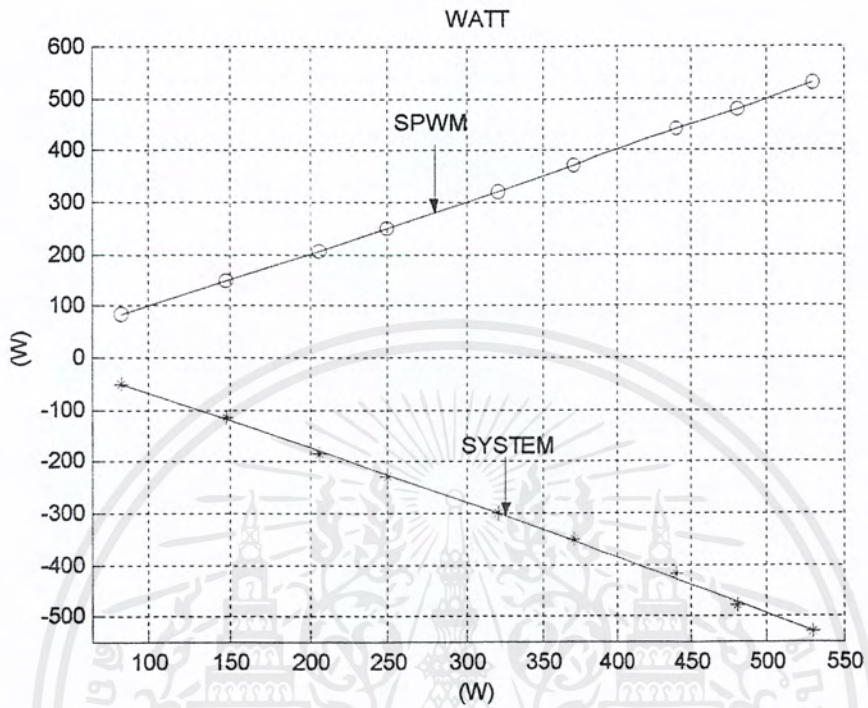


รูปที่ 5.35 แสดงสัญญาณกระแสของการไฟฟ้าเมื่อปรับมุม 8 องศาทางไฟฟ้า

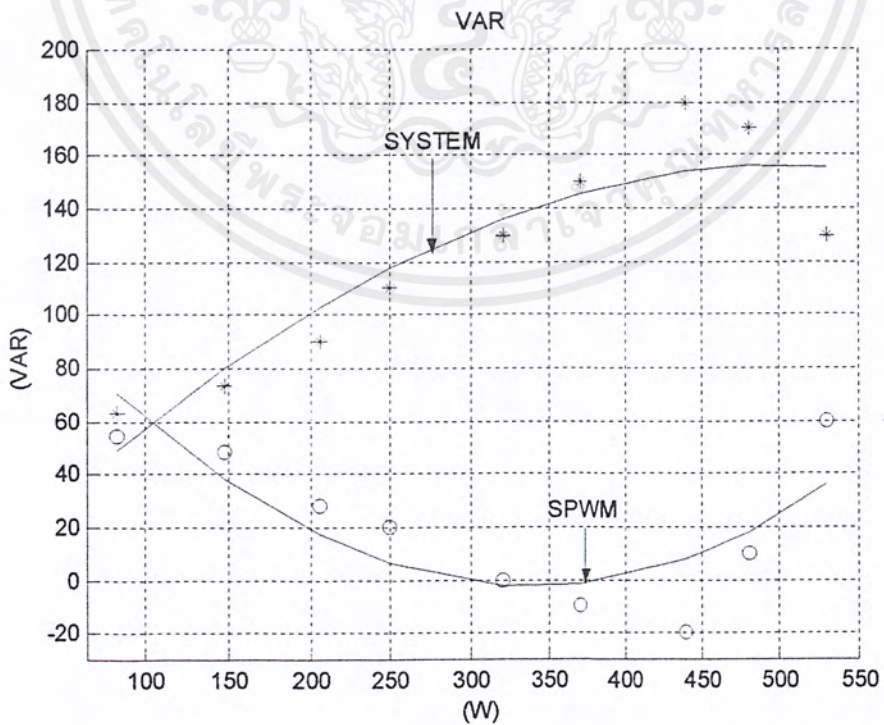


รูปที่ 5.36 แสดงสเปกตรัมสัญญาณกระแสของการไฟฟ้า เมื่อปรับมุม 8 องศาทางไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

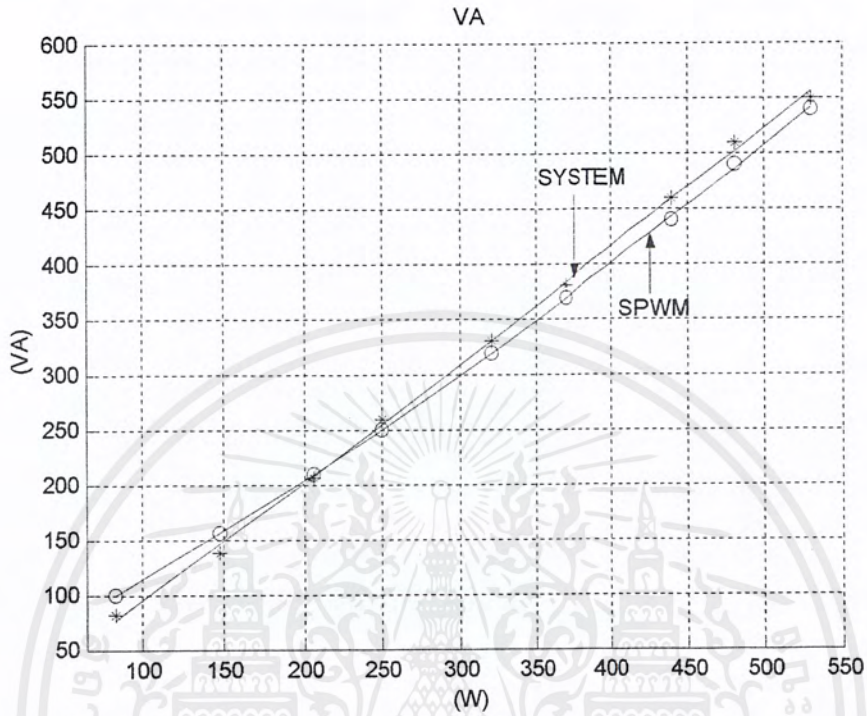


รูปที่ 5.37 กราฟแสดงค่ากำลังไฟฟ้าขณะจ่ายคืนระบบการไฟฟ้า

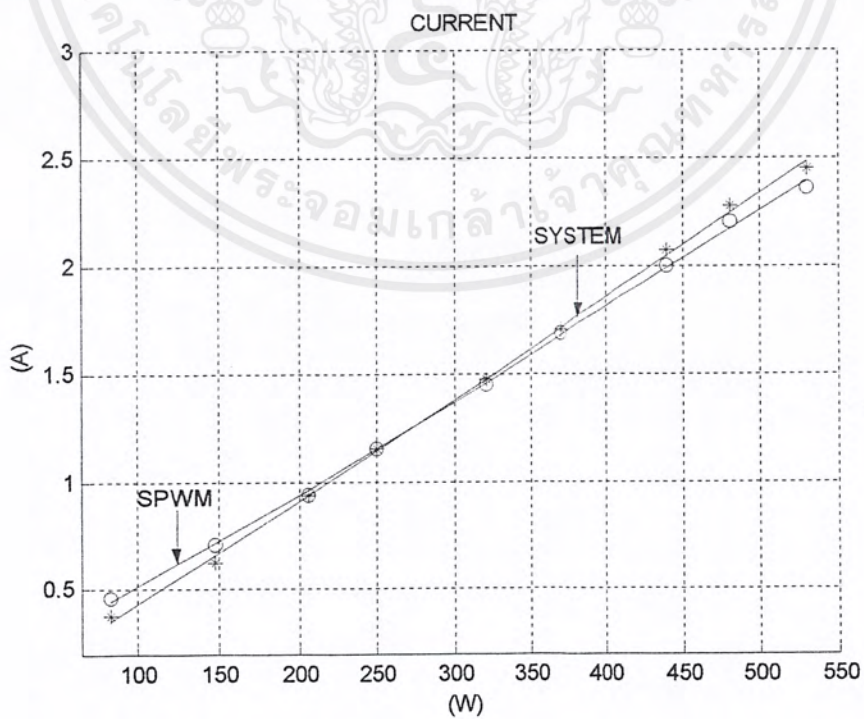


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 5.38 กราฟแสดงค่ากำลังไฟฟ้าเสมือนขณะจ่ายคิ่ระบบการไฟฟ้า

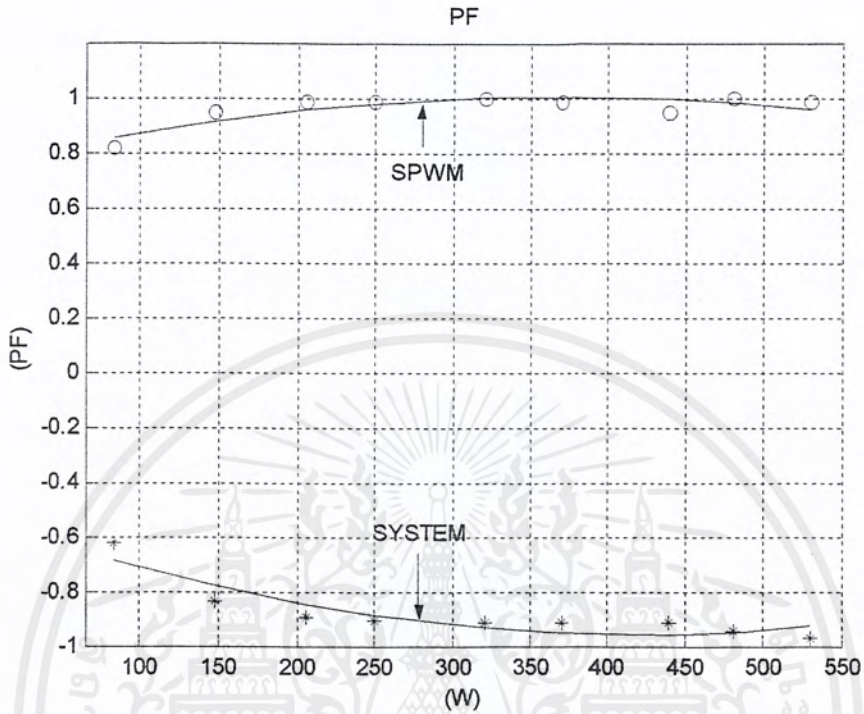


รูปที่ 5.39 กราฟแสดงค่ากำลังไฟฟ้าปรากฏขณะจ่ายคิ่ระบบการไฟฟ้า

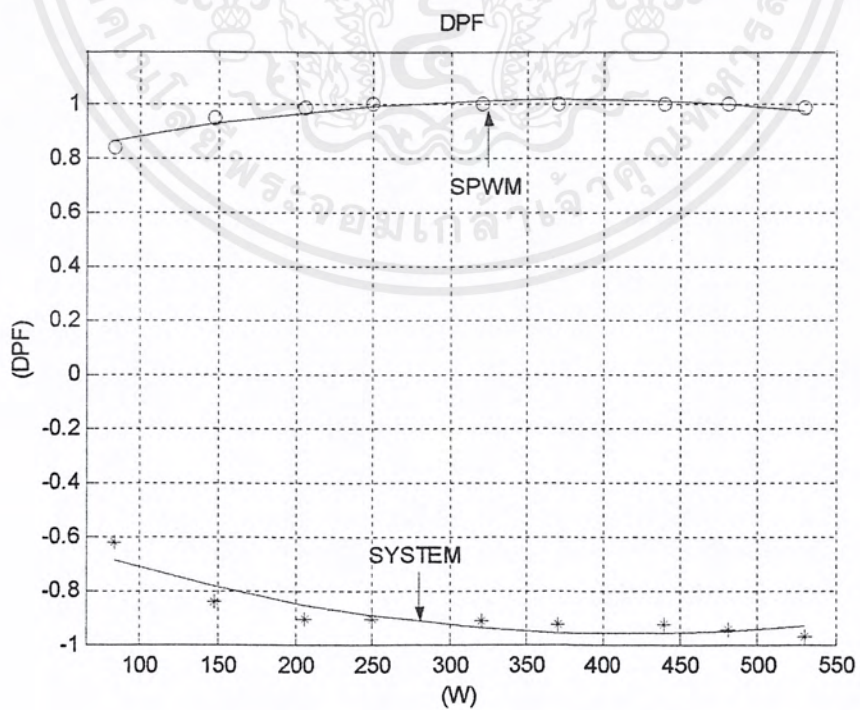


รูปที่ 5.40 กราฟแสดงค่ากระแสขณะจ่ายคิ่ระบบการไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

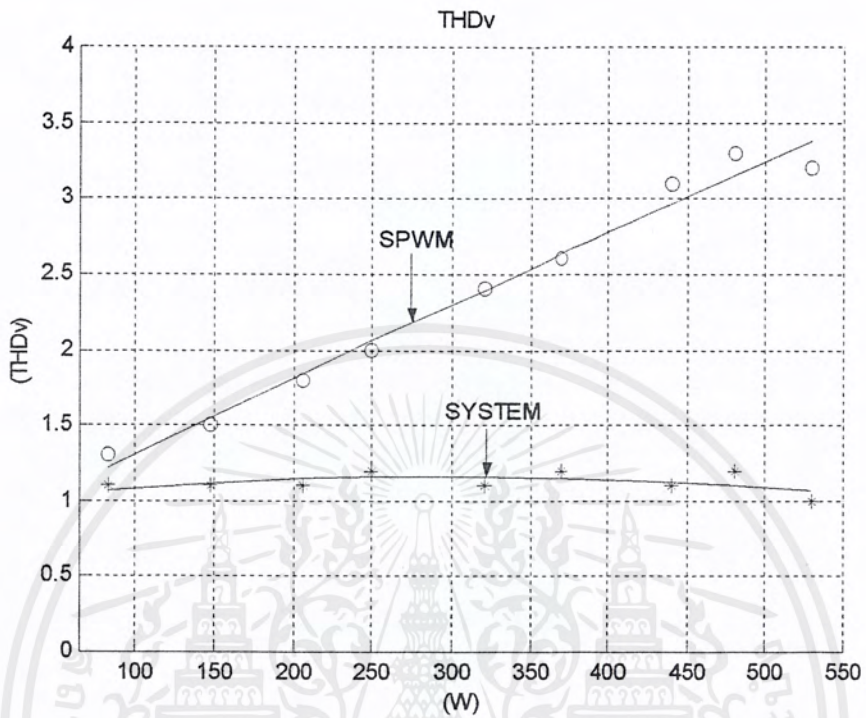


รูปที่ 5.41 กราฟแสดงค่าตัวประกอบกำลังขณะจ่ายค่านระบบการไฟฟ้า

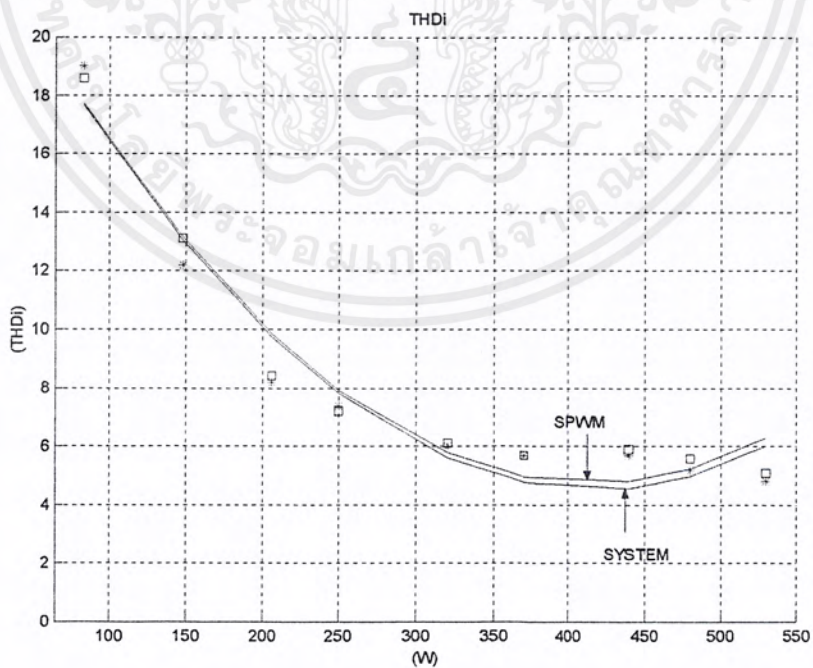


รูปที่ 5.42 กราฟแสดงค่า DPF ขณะจ่ายค่านระบบการไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.43 กราฟแสดงค่า THDv ขณะจ่ายคีนระบบการไฟฟ้า



รูปที่ 5.44 กราฟแสดงค่า THDi ขณะจ่ายคีนระบบการไฟฟ้า

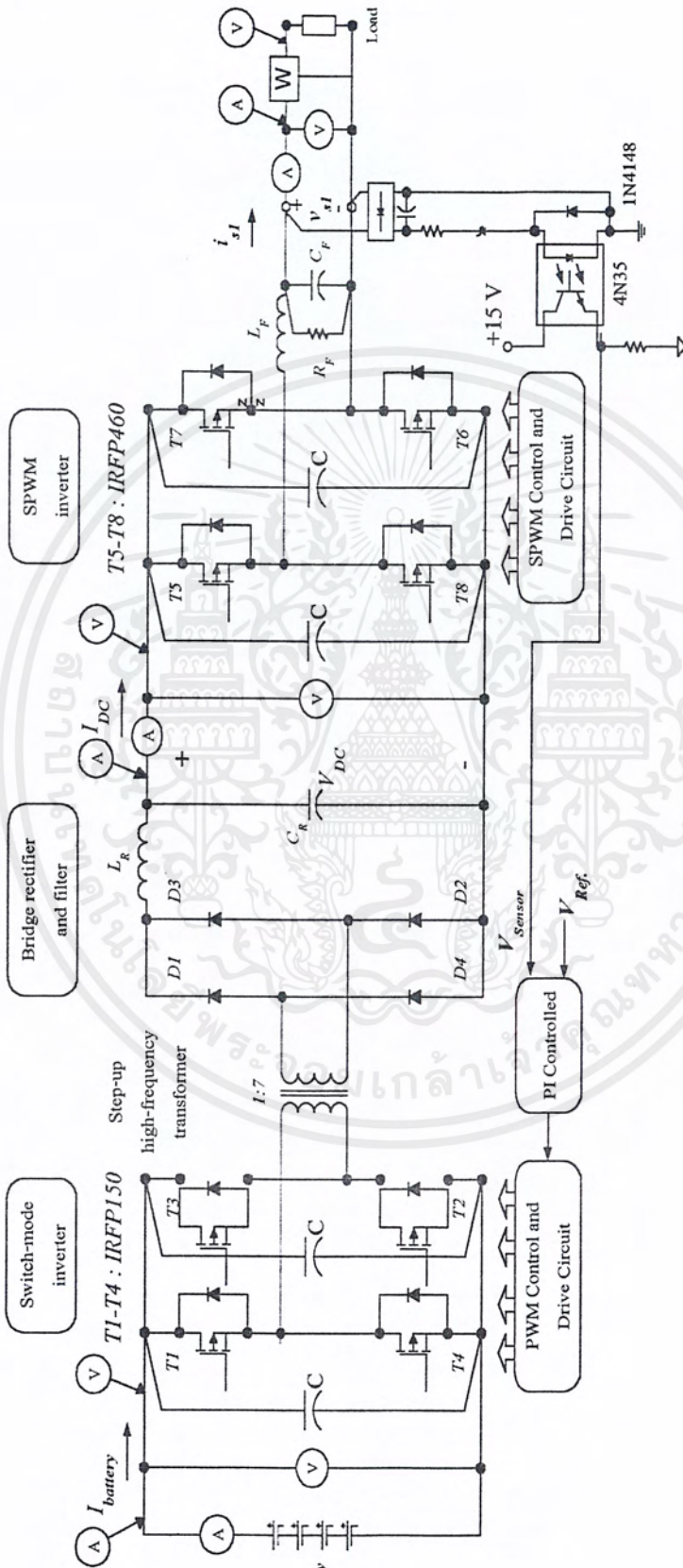
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 5.3 การทดลองที่ 1 การทดลองหาประสิทธิภาพ และกำลังการสูญเสียของวงจรที่เอาท์พุทค่าต่างๆ

ตารางที่ 5.3 การทดลองหาประสิทธิภาพและกำลังการสูญเสียของวงจรที่เอาท์พุทค่าต่างๆ

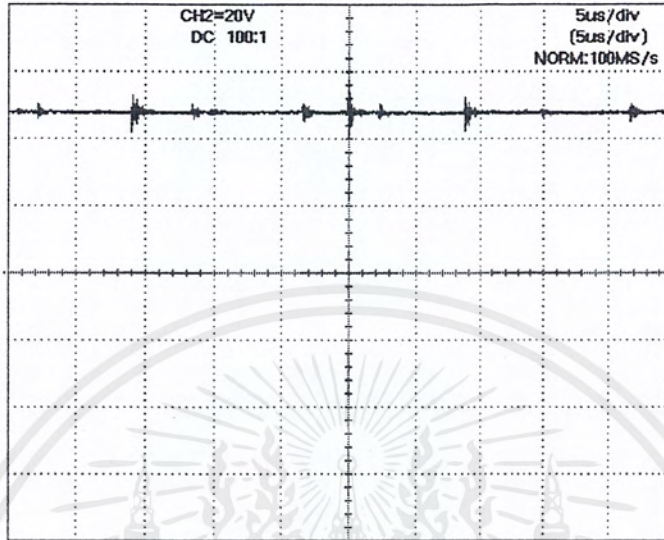
LOAD	100	200	300	400	500	600
$V_{\text{battery}}$ (v)	48	47.5	47.1	46.7	46.3	45.5
$I_{\text{battery}}$ (A)	2.9	5.2	7.5	9.9	12.4	15
$V_{\text{dc}}$ (v)	157.2	167.7	181.8	198.3	217	237
$I_{\text{dc}}$ (A)	0.82	1.37	1.81	2.17	2.46	2.7
$V_{\text{out}}$ (v)	220	220	220	219.9	219.9	219.8
$I_{\text{out}}$ (A)	0.45	0.9	1.35	1.79	2.24	2.7
$P_{\text{battery}}$ (W)	139.2	247	353.25	462.33	574.12	682.5
$P_{\text{dc}}$ (W)	128.9	229.7	329	430.3	533.8	640
$P_{\text{out}}$ (W)	99	198	297	393.62	492.57	593.46
Converter loss (W)	10.29	17.25	24.19	32.01	40.3	47.1
Inverter loss (W)	29.9	31.74	32.05	36.69	41.24	46.44
Total loss (W)	40.2	49	56.25	68.70	81.54	93.54
% $\eta$ converter	92.6	93.01	93.15	93.07	92.98	93.75
% $\eta$ inverter	76.8	86.18	90.25	91.47	92.27	92.74
% $\eta$ total	71.12	80.16	84.35	85.13	85.79	86.94

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

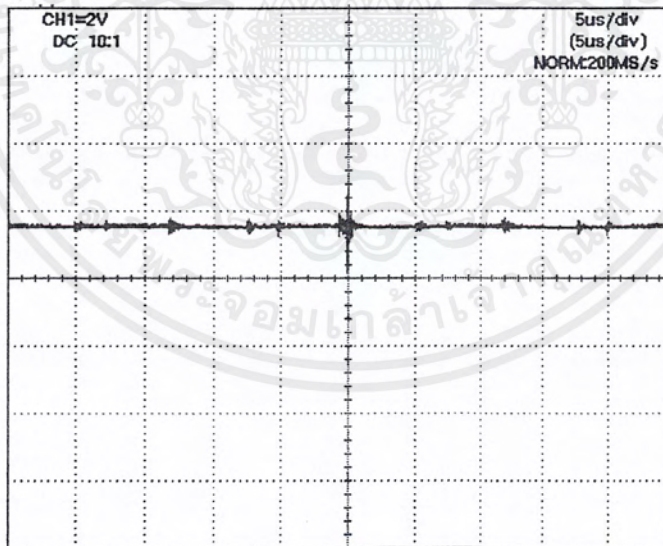


รูปที่ 5.45 แสดงวงจรทดลองประสิทธิภาพของระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

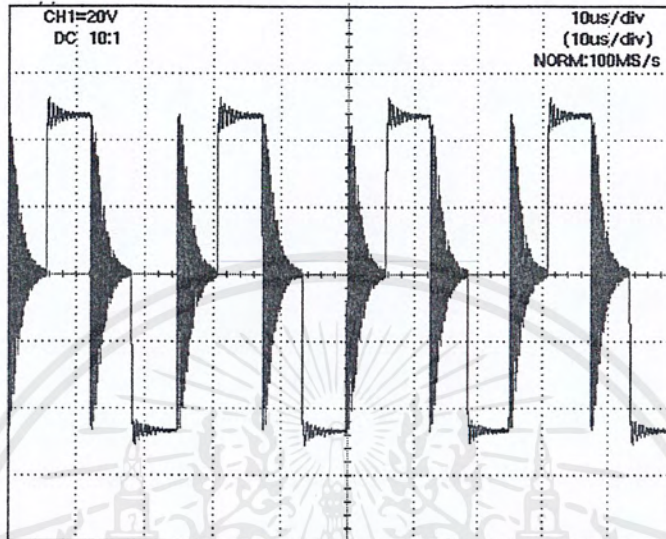


รูปที่ 5.46 แสดงสัญญาณแรงดันของเบตเตอร์

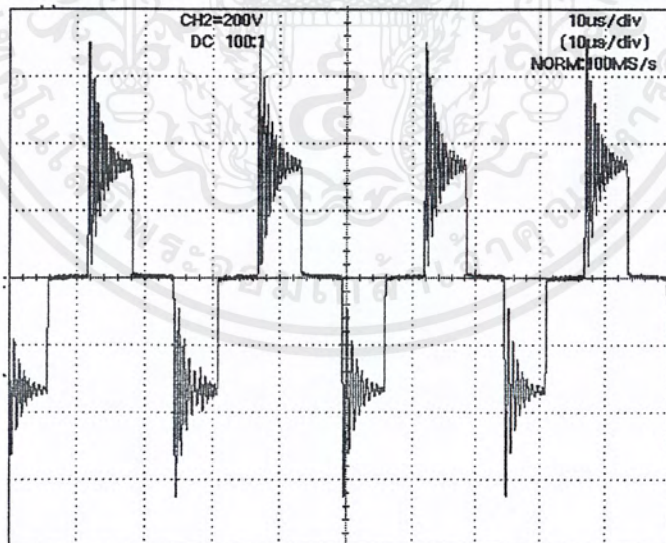


รูปที่ 5.47 แสดงสัญญาณกระแสของเบตเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

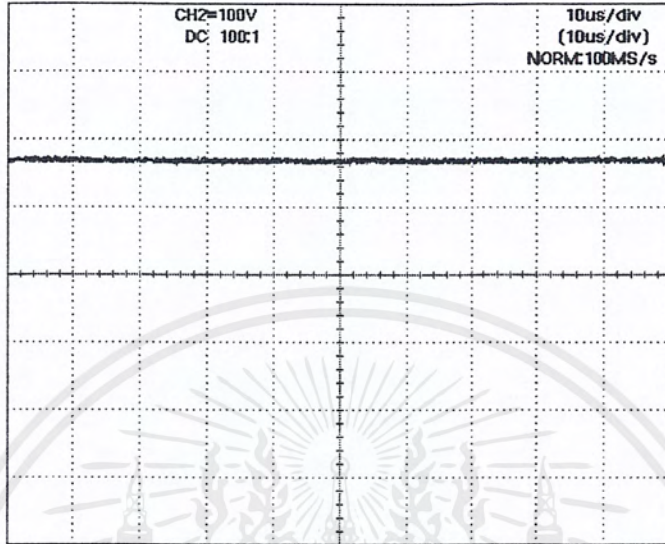


รูปที่ 5.48 แสดงสัญญาณแรงดันของหม้อแปลงความถี่สูงทางค่านปฐมภูมิ

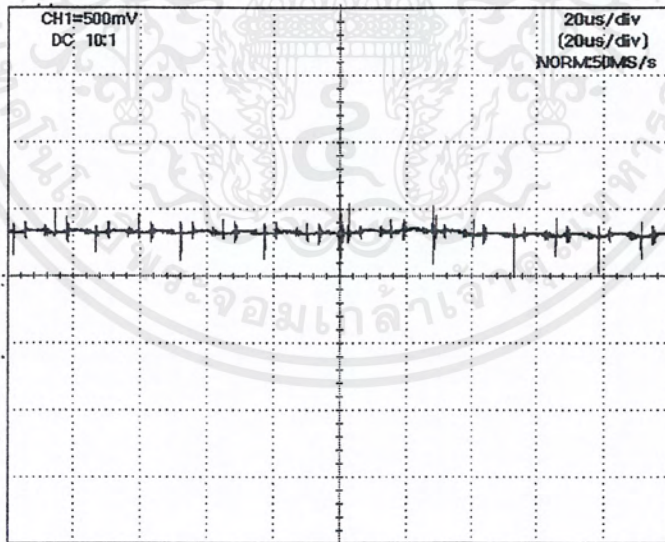


รูปที่ 5.49 แสดงสัญญาณแรงดันของหม้อแปลงความถี่สูงทางค่านทุติยภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

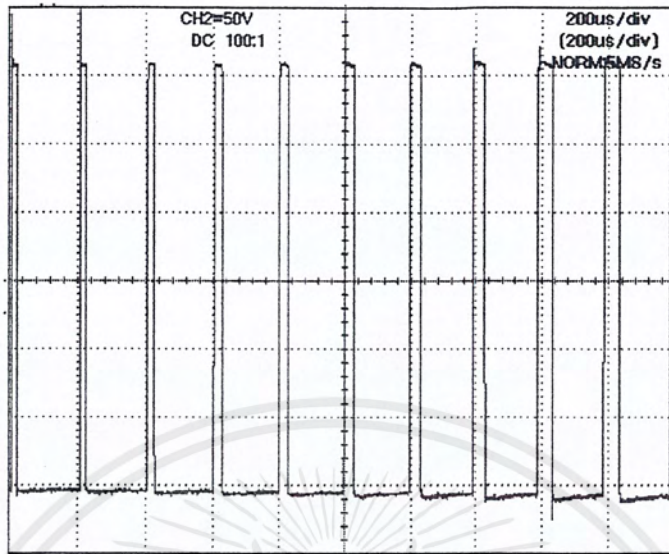


รูปที่ 5.50 แสดงสัญญาณแรงดัน ไฟตรงก่อนเข้าเอสพีดับบลิวเอ็มอินเวอร์เตอร์

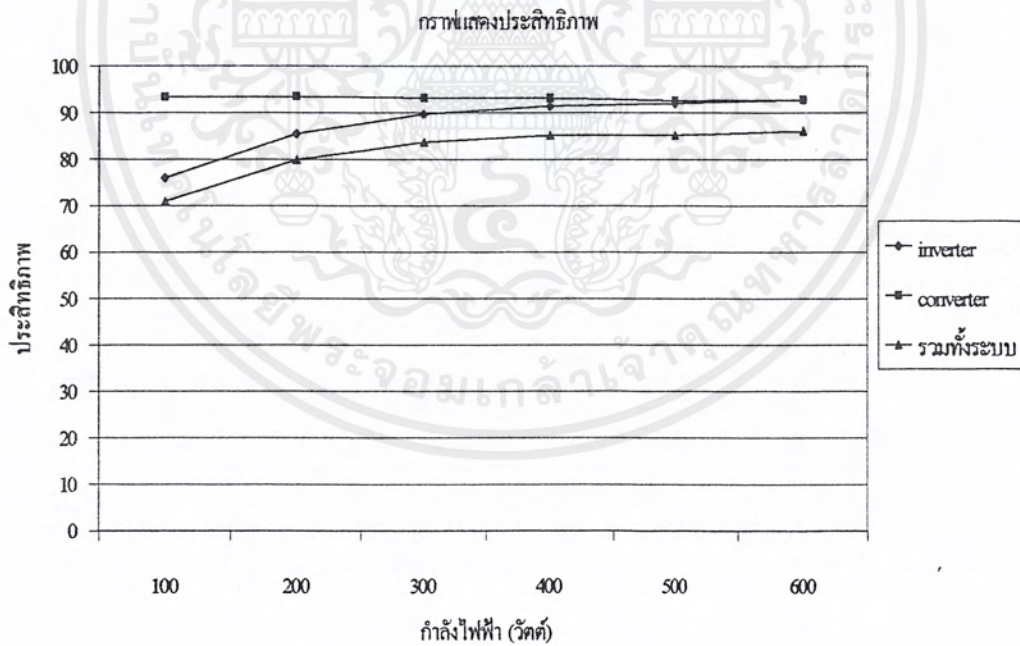


รูปที่ 5.51 แสดงสัญญาณกระแสไฟตรงก่อนเข้าเอสพีดับบลิวเอ็มอินเวอร์เตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.52 แสดงสัญญาณแรงดัน ไฟฟ้าก่อนเข้าฟิลเตอร์



รูปที่ 5.53 กราฟประสิทธิภาพของระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 6

### บทวิจารณ์และสรุป

จากวัตถุประสงค์และทฤษฎีเบื้องต้นได้ทำการออกแบบระบบที่ใช้ในการเชื่อมโยงแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง เข้ากับระบบการไฟฟ้าที่พิกัดกำลังไฟฟ้า 600 วัตต์ และได้ทำการทดลองเชื่อมโยงชุดแบตเตอรี่ 48 โวลต์ เข้ากับระบบการไฟฟ้า 1 เฟส 220 โวลต์ 50 เฮิรท์ ซึ่งพบว่าระบบที่ได้ออกแบบไว้นั้น สามารถช่วยจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับโหลดร่วมกับระบบการไฟฟ้า และจ่ายกำลังไฟฟ้าคืนให้กับระบบการไฟฟ้าได้จริง

#### 6.1 ข้อดีของวงจรที่ใช้

- 6.1.1 ลักษณะรูปคลื่นกระแสของเอาต์พุตและกระแสของระบบการไฟฟ้า มีลักษณะเป็นรูปคลื่นไซน์ ซึ่งมีความผิดเพี้ยนค่อนข้างน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับกระแสของการเชื่อมโยงกับระบบการไฟฟ้าโดยใช้ทรานซิสเตอร์อินเวอร์เตอร์
- 6.1.2 มีประสิทธิภาพถึง 86 เปอร์เซ็นต์ ที่พิกัดกำลังไฟฟ้าเอาต์พุต 600 วัตต์
- 6.1.3 สามารถควบคุมการจ่ายกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟที่มีค่าเป็นบวกเข้าไปในระบบการไฟฟ้าได้

#### 6.2 ข้อเสียของวงจรที่ใช้

- 6.2.1 การสร้างวงจรสร้างสัญญาณขับมีความยุ่งยากและซับซ้อน
- 6.2.2 ในการเชื่อมโยงเข้ากับระบบการไฟฟ้ามีขั้นตอนที่ยุ่งยากโดยต้องคำนึงถึงเรื่องขนาดแรงดันและมุมเฟสก่อนทำการเชื่อมโยง

#### 6.3 ปัญหาในระหว่างการทำโครงการนี้

- 6.3.1 ด้านวงจรอิเล็กทรอนิกส์ เนื่องจากผู้ร่วมงานไม่มีประสบการณ์ในการต่อวงจรจึงทำให้ช่วงเริ่มต้นมีปัญหาอยู่บ้าง แต่ก็สามารถแก้ไขให้ลุล่วงได้
- 6.3.2 เครื่องมือในการทดลอง ยังขาดเครื่องมือที่ใช้ในการวัดค่ากำลังไฟฟ้า วัตต์สัญญาณแรงดัน และกระแสไม่ใช่อุปกรณ์

#### 6.4 สิ่งที่จะได้รับการพัฒนาต่อไปสำหรับโครงการนี้

- 6.4.1 ควรจะมีการเพิ่มพิกัดของเครื่องให้สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าให้มีพิกัดสูงชันกว่านี้
- 6.4.2 ควรจะมีการเพิ่มความถี่สวิตช์ของชุดเอสพีดับบลิวเอ็มให้อยู่ในช่วงที่เราไม่ได้ยินเสียงเพื่อลดปัญหาเสียงรบกวน
- 6.4.1 ควรมีการพัฒนาให้สามารถเชื่อม โยงกับ โซล่าเซลล์ได้และควรมีการพัฒนาให้สามารถนำไปใช้ในชีวิตประจำวันได้จริง





ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Part Number	V <sub>(BR)DSS</sub> Drain-to-Source Breakdown Voltage (V)	R <sub>DS(on)</sub> On-State Resistance ( $\Omega$ )	I <sub>D</sub> Continuous Drain Current 25°C (A)	I <sub>D</sub> Continuous Drain Current 100° (A)	R <sub>θ</sub> Max. Thermal Resistance (°C/W)	P <sub>D</sub> Max. Power Dissipation (W)	Fax on Demand Number	Case Outline Key
-------------	------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------	----------------------------------------------------	-------------------------------	------------------------

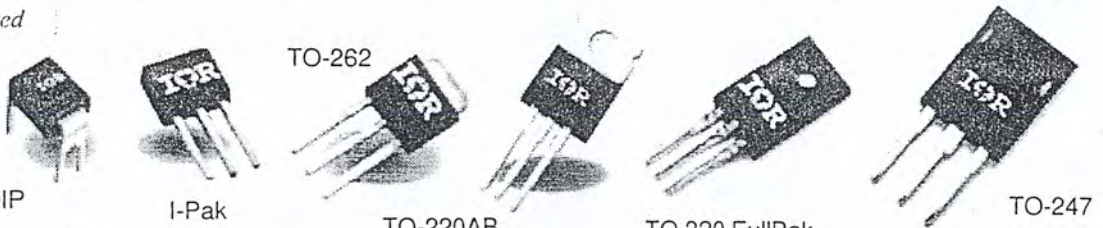
Through-Hole Packages

TO-247

N-Channel

IRFP044N	55	0.02	49	35	1.5	100	91410	H16
IRFP048N	55	0.016	62	44	1.2	130	91409	
IRFP054N	55	0.012	72	51	1.2	130	91382	
IRFP064N	55	0.008	98	69	1.0	150	91383	
IRFP140N	100	0.052	27	19	1.6	94	91343	
IRFP150N	100	0.036	39	28	1.1	140	91503	
IRFP3710	100	0.028	51	36	.83	180	91490	
IRFP240	200	0.18	20	12	0.83	150	90444	
IRFP250	200	0.085	30	19	0.65	190	90443	
IRFP260	200	0.055	46	29	0.45	280	90755	
IRFP244	250	0.28	15	9.7	0.83	150	90588	
IRFP254	250	0.14	23	15	0.65	190	90540	
IRFP264	250	0.075	38	24	0.45	280	90756	
IRFP340	400	0.55	11	6.9	0.83	150	90456	
IRFP350	400	0.30	16	10	0.65	190	90445	
IRFP360	400	0.20	23	14	0.45	280	90586	
IRFP344	450	0.63	9.5	6.0	0.83	150	90998	
IRFP354	450	0.35	14	9.1	0.65	190	90995	
IRFP440	500	0.85	8.8	5.6	0.83	150	90457	
IRFP448	500	0.60	11	6.6	0.70	180	90595	
IRFP450	500	0.40	14	8.7	0.65	190	90458	
IRFP460	500	0.27	20	13	0.45	280	90512	
IRFPC30	600	2.2	4.3	2.7	1.2	100	90596	

\*\* Not rated



Illustrations not to scale



www.irf.com

E-40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# IRFP460 IRFP462

N-Channel Power MOSFETs  
Avalanche-Energy Rated

August 1991

### Features

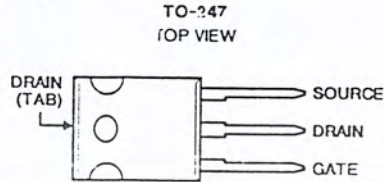
- 20A and 17A, 500V
- $r_{DS(on)} = 0.27\Omega$  and  $0.35\Omega$
- Single Pulse Avalanche Energy Rated
- SOA is Power-Dissipation Limited
- Nanosecond Switching Speeds
- Linear Transfer Characteristics
- High Input Impedance

### Description

The IRFP460 and IRFP462 are advanced power MOSFETs designed, tested, and guaranteed to withstand a specified level of energy in the breakdown avalanche mode of operation. These are n-channel enhancement-mode silicon gate power field-effect transistors designed for applications such as switching regulators, switching converters, motor drivers, relay drivers, and drivers for high-power bipolar switching transistors requiring high speed and low gate-drive power. These types can be operated directly from integrated circuits.

The IRFP-types are supplied in the JEDEC TO-247 plastic package.

### Package



### Terminal Diagram

N-CHANNEL ENHANCEMENT MODE



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

	IRFP450	IRFP462	UNITS
Continuous Drain Current			
$T_C = +25^\circ\text{C}$ .....	$I_D$ 20	17	A
$T_C = +100^\circ\text{C}$ .....	$I_D$ 12	11	A
Pulsed Drain Current (1) .....	$I_{DM}$ 80	68	A
Gate-Source Voltage .....	$V_{GS}$ $\pm 20$	$\pm 20$	V
Maximum Power Dissipation			
$T_C = +25^\circ\text{C}$ .....	$P_D$ 250	250	W
Linear Derating Factor .....	2.0	2.0	W/ $^\circ\text{C}$
Single Pulse Avalanche Energy Rating (2) .....	EAS 960	960	mJ
See Figure 14			
Operating and Storage Junction .....	$T_J, T_{STG}$ -55 to +150	-55 to +150	$^\circ\text{C}$
Temperature Range			
Maximum Lead Temperature for Soldering .....	$T_L$ 300	300	$^\circ\text{C}$
(0.063" (1.6mm) from case for 10s)			

### NOTES:

1. Repetitive rating: Pulse width limited by maximum junction temperature. See Transient Thermal Impedance Curve (Figure 5).
2.  $V_{DD} = 50\text{V}$ , starting  $T_J = +25^\circ\text{C}$ ,  $L = 4.3\text{mH}$ ,  $R_{GS} = 25\Omega$ , Peak  $I_L = 20\text{A}$ . See Fig. 14.
3. Pulse Test: Pulse width  $\leq 300\mu\text{s}$ , Duty Cycle  $\leq 2\%$ .

CAUTION: These devices are sensitive to electrostatic discharge. Proper I.C. handling procedures should be followed.  
Copyright © Harris Corporation 1991

File Number 2291.1

4-533

4  
N-CHANNEL  
POWER MOSFETs

## IRFP460, IRFP462

### ELECTRICAL CHARACTERISTICS At Case Temperature ( $T_J$ ) = 25°C Unless Otherwise Specified

Parameter	Type	Min.	Typ.	Max.	Units	Test Conditions
$BV_{DSS}$ Drain-to-Source Breakdown Voltage	ALL	500	—	—	V	$V_{GS} = 0V, I_D = 250 \mu A$
$R_{DS(on)}$ Static Drain-to-Source On-State Resistance ①	IRFP460	—	0.24	0.27	$\Omega$	$V_{GS} = 10V, I_D = 11A$
	IRFP462	—	0.27	0.35		
$I_{D(on)}$ On-State Drain Current ③	IRFP460	20	—	—	A	$V_{DS} > I_{D(on)} \times R_{DS(on)}$ Max. $V_{GS} = 10V$
	IRFP462	17	—	—		
$V_{GS(th)}$ Gate Threshold Voltage	ALL	2.0	—	4.0	V	$V_{DS} = V_{GS}, I_D = 250 \mu A$
$g_{fs}$ Forward Transconductance ③	ALL	13	19	—	S/W	$V_{DS} = \geq 50V, I_{DS} = 11A$
$I_{DSS}$ Zero Gate Voltage Drain Current	ALL	—	—	250	$\mu A$	$V_{DS} = \text{Max. Rating}, V_{GS} = 0V$ $V_{DS} = 0.8 \times \text{Max. Rating}$ $V_{GS} = 0V, T_J = 125^\circ C$
		—	—	1000		
$I_{GSS}$ Gate-to-Source Leakage Forward	ALL	—	—	500	nA	$V_{GS} = 20V$
$I_{GSS}$ Gate-to-Source Leakage Reverse	ALL	—	—	-500	nA	$V_{GS} = -20V$
$Q_g$ Total Gate Charge	ALL	—	120	190	nC	$V_{GS} = 10V, I_D = 21A$
$Q_{gs}$ Gate-to-Source Charge	ALL	—	18	—	nC	$V_{DS} = 0.8 \times \text{Max. Rating}$ See Fig. 16
$Q_{gd}$ Gate-to-Drain ("Miller") Charge	ALL	—	62	—	nC	(Independent of operating temperature)
$t_{d(on)}$ Turn-On Delay Time	ALL	—	23	35	ns	$V_{DD} = 250V, I_D = 21A, R_G = 4.3\Omega$
$t_r$ Rise Time	ALL	—	81	120	ns	$R_D = 12\Omega$
$t_{d(off)}$ Turn-Off Delay Time	ALL	—	85	130	ns	See Fig. 15
$t_f$ Fall Time	ALL	—	65	98	ns	(Independent of operating temperature)
$L_D$ Internal Drain Inductance	ALL	—	5.0	—	nH	Measured from the drain lead, 6mm (0.25 in.) from package to center of die
$L_S$ Internal Source Inductance	ALL	—	13	—	nH	Measured from the source lead, 6mm (0.25 in.) from package to source bonding pad
$C_{iss}$ Input Capacitance	ALL	—	4100	—	pF	$V_{GS} = 0V, V_{DS} = 25V$
$C_{oss}$ Output Capacitance	ALL	—	480	—	pF	$f = 1.0 \text{ MHz}$
$C_{rss}$ Reverse Transfer Capacitance	ALL	—	34	—	pF	See Fig. 10
$R_{thJC}$ Junction-to-Case	ALL	—	—	0.50	$^\circ C/W$	
$R_{thCS}$ Case-to-Sink	ALL	—	0.10	—	$^\circ C/W$	Mounting surface flat, smooth, and greased
$R_{thJA}$ Junction-to-Ambient	ALL	—	—	30	$^\circ C/W$	Free air operation
Mounting Torque	ALL	—	—	10	in. • lbs.	Standard 6-32 screw

- ① Repetitive Rating; Pulse width limited by maximum junction temperature (see figure 5) Refer to current HEXFET reliability report
- ② Pulse width  $\leq 300 \mu s$ , Duty Cycle  $\leq 2\%$
- ③ @  $V_{DD} = 50V$ , Starting  $T_J = 25^\circ C$ ,  $L = 4.3 \text{ mH}$ ,  $R_G = 25\Omega$ , Peak  $I_L = 20A$ . See Fig. 14.



### SOURCE-DRAIN DIODE RATINGS AND CHARACTERISTICS

Parameter	Type	Min.	Typ.	Max.	Units	Test Conditions
$I_S$ Continuous Source Current (Body Diode)	ALL	—	—	20	A	Modified MOSFET symbol showing the integral Reverse p-n junction rectifier
$I_{SM}$ Pulsed Source Current (Body Diode) ①	ALL	—	—	80	A	
$V_{SD}$ Diode Forward Voltage ③	ALL	—	—	1.6	V	$T_J = 25^\circ C, I_S = 21A, V_{GS} = 0V$
$t_{rr}$ Reverse Recovery Time	ALL	280	580	1200	ns	$T_J = 25^\circ C, I_F = 21A, di/dt = 100 \text{ A}/\mu s$
$Q_{RR}$ Reverse Recovery Charge	ALL	3.8	8.1	18	$\mu C$	
$t_{on}$ Forward Turn-On Time	ALL	Intrinsic turn-on time is negligible. Turn-on speed is substantially controlled by $L_S + L_D$				

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## IRFP460, IRFP462

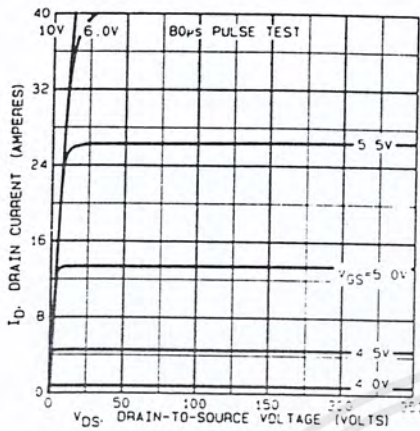


Fig. 1 - Typical output characteristics.

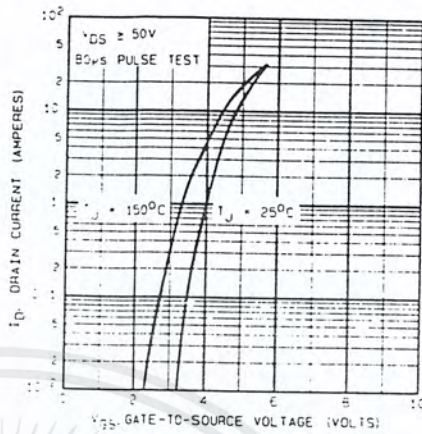


Fig. 2 - Typical transfer characteristics.

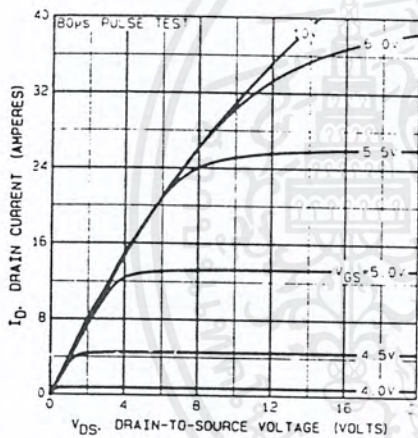


Fig. 3 - Typical saturation characteristics.

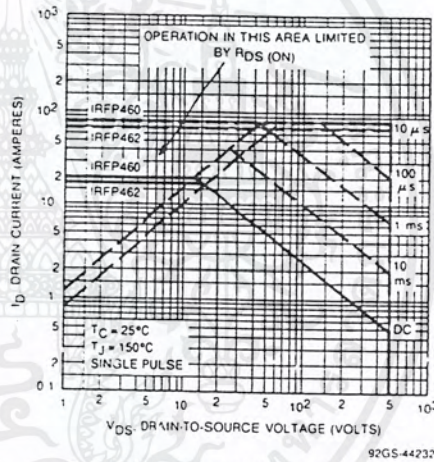


Fig. 4 - Maximum safe operating area.

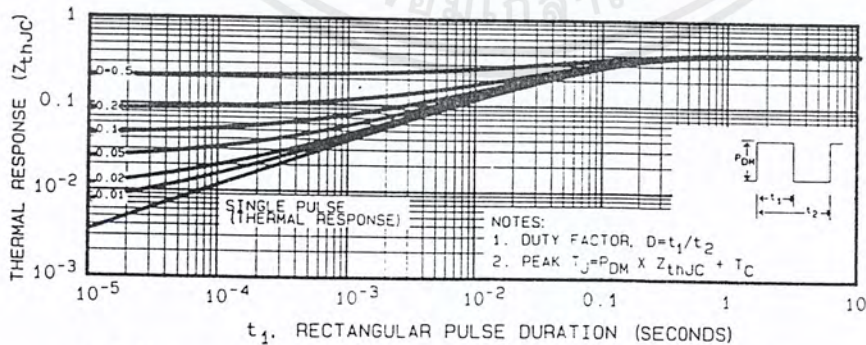


Fig. 5 - Maximum effective transient thermal impedance, junction-to-case vs. pulse duration.

**4**  
N-CHANNEL  
POWER MOSFETS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IRFP460, IRFP462

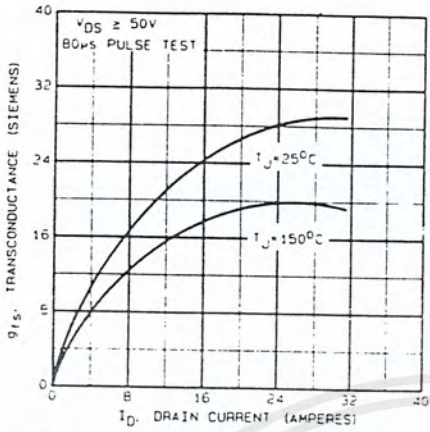


Fig. 6 - Typical transconductance vs. drain current.

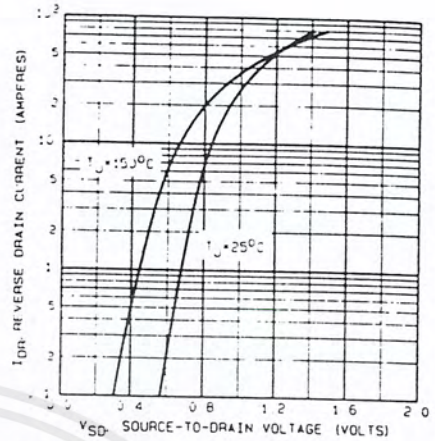


Fig. 7 - Typical source-drain diode forward voltage.

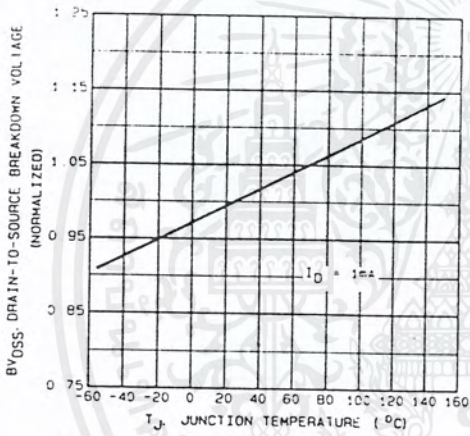


Fig. 8 - Breakdown voltage vs. temperature.

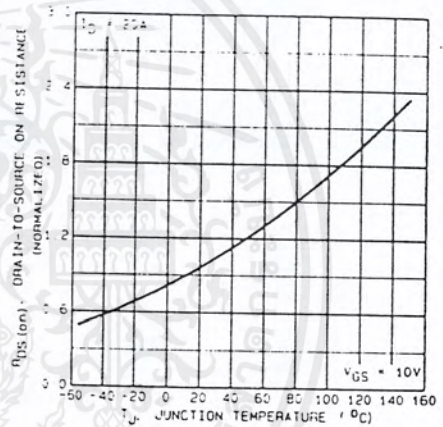


Fig. 9 - Normalized on-resistance vs. temperature.

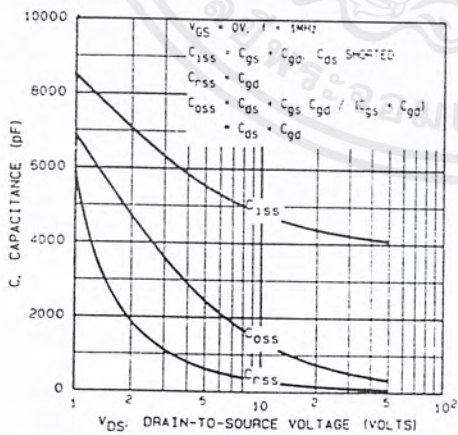


Fig. 10 - Typical capacitance vs. drain-to-source voltage.

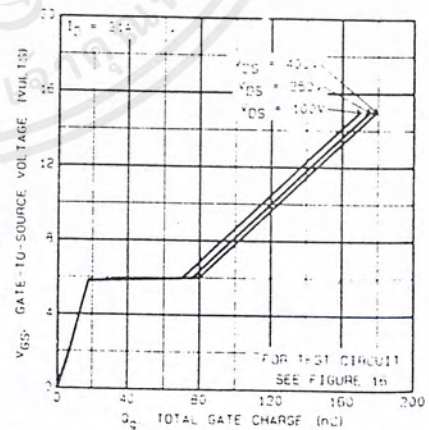


Fig. 11 - Typical gate charge vs. gate-to-source voltage.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# IRFP460, IRFP462

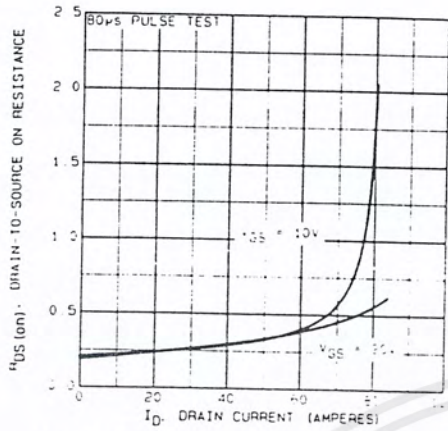


Fig. 12 - Typical on-resistance vs. drain current.

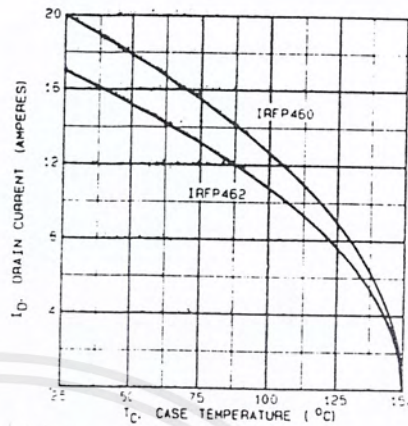


Fig. 13 - Maximum drain current vs. case temperature.

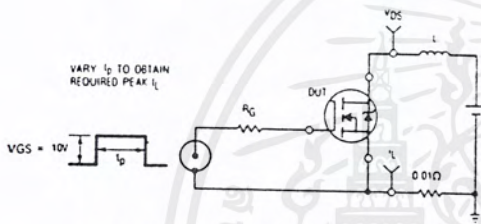


Fig. 14a - Unclamped inductive test circuit.

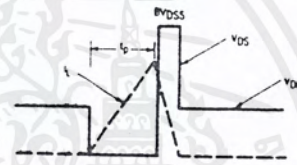


Fig. 14b - Unclamped inductive waveforms.

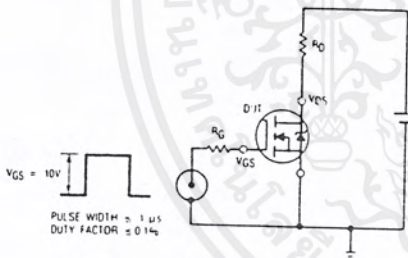


Fig. 15a - Switching time test circuit.

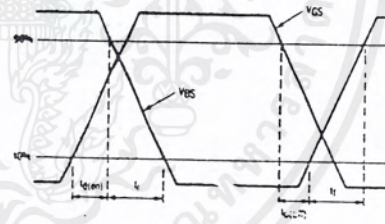


Fig. 15b - Switching time waveforms.

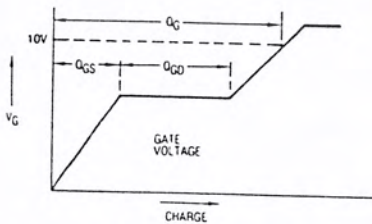


Fig. 16a - Basic gate charge waveform.

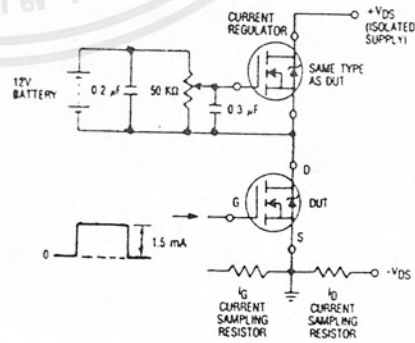


Fig. 16b - Gate charge test circuit.

4  
N-CHANNEL  
POWER MOSFETS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# Switchmode Power Rectifiers

... designed for use in switching power supplies, inverters and as free wheeling diodes, these state-of-the-art devices have the following features:

- Ultrafast 35 and 60 Nanosecond Recovery Time
- 175°C Operating Junction Temperature
- High Voltage Capability to 600 Volts
- Low Forward Drop
- Low Leakage Specified @ 150°C Case Temperature
- Current Derating Specified @ Both Case and Ambient Temperatures
- Epoxy Meets UL94, V<sub>O</sub> @ 1/8"
- High Temperature Glass Passivated Junction

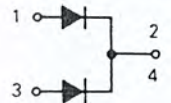
**Mechanical Characteristics:**

- Case: Epoxy, Molded
- Weight: 4.3 grams (approximately)
- Finish: All External Surfaces Corrosion Resistant and Terminal Leads are Readily Solderable
- Lead Temperature for Soldering Purposes: 260°C Max. for 10 Seconds
- Shipped 30 units per plastic tube
- Marking: U3020, U3040, U3060

**MUR3020PT**  
**MUR3040PT**  
**MUR3060PT**

MUR3020PT and MUR3060PT are Motorola Preferred Devices

**ULTRAFAST RECTIFIERS**  
**30 AMPERES**  
**200-400-600 VOLTS**



**MAXIMUM RATINGS**

Rating	Symbol	MUR			Unit
		3020PT	3040PT	3060PT	
Peak Repetitive Reverse Voltage Working Peak Reverse Voltage DC Blocking Voltage	V <sub>RRM</sub> V <sub>RWM</sub> V <sub>R</sub>	200	400	600	Volts
Average Rectified Forward Current (Rated V <sub>R</sub> ) Per Leg Per Device	I <sub>F(AV)</sub>	15 30	T <sub>C</sub> = 150°C	15 30	T <sub>C</sub> = 145°C Amps
Peak Rectified Forward Current, Per Leg (Rated V <sub>R</sub> , Square Wave, 20 kHz, T <sub>C</sub> = 150°C)	I <sub>FRM</sub>	30	@ T <sub>C</sub> = 150°C	30	@ T <sub>C</sub> = 145°C Amps
Nonrepetitive Peak Surge Current (Surge applied at rated load conditions halfwave, single phase, 60 Hz) Per Leg	I <sub>FSM</sub>	200		150	Amps
Operating Junction Temperature and Storage Temperature	T <sub>J</sub> , T <sub>Stg</sub>	-65 to +175			°C

**THERMAL CHARACTERISTICS PER DIODE LEG**

Maximum Thermal Resistance, Junction to Case Junction to Ambient	R <sub>θJC</sub> R <sub>θJA</sub>	1.5 40	°C/W
---------------------------------------------------------------------	--------------------------------------	-----------	------

**ELECTRICAL CHARACTERISTICS PER DIODE LEG**

Characteristic	Symbol	3020PT	3040PT	3060PT	Unit
Maximum Instantaneous Forward Voltage (1) (I <sub>F</sub> = 15 Amps, T <sub>C</sub> = 150°C) (I <sub>F</sub> = 15 Amps, T <sub>C</sub> = 25°C)	V <sub>F</sub>	0.85 1.05	1.12 1.25	1.2 1.5	Volts
Maximum Instantaneous Reverse Current (1) (Rated dc Voltage, T <sub>C</sub> = 150°C) (Rated dc Voltage, T <sub>C</sub> = 25°C)	I <sub>R</sub>	500 10		1000 10	μA
Maximum Reverse Recovery Time (I <sub>F</sub> = 1 Amp, di/dt = 50 Amps/μs)	t <sub>rr</sub>	35		60	ns

(1) Pulse Test: Pulse Width = 300 μs. Duty Cycle ≤ 2%

# MUR3020PT, MUR3040PT, MUR3060PT

MUR3020PT

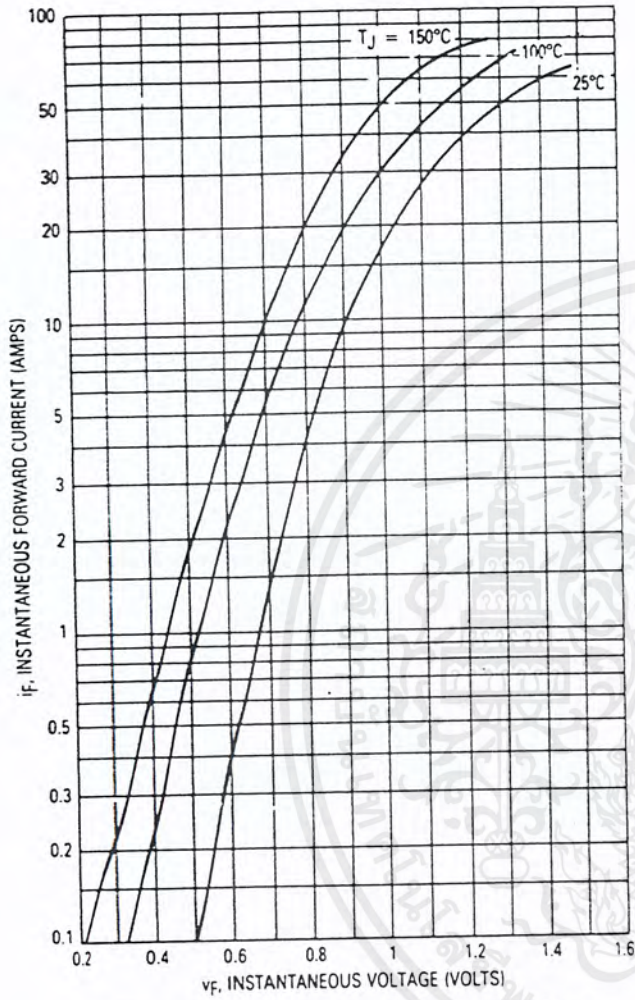


Figure 1. Typical Forward Voltage (Per Leg)

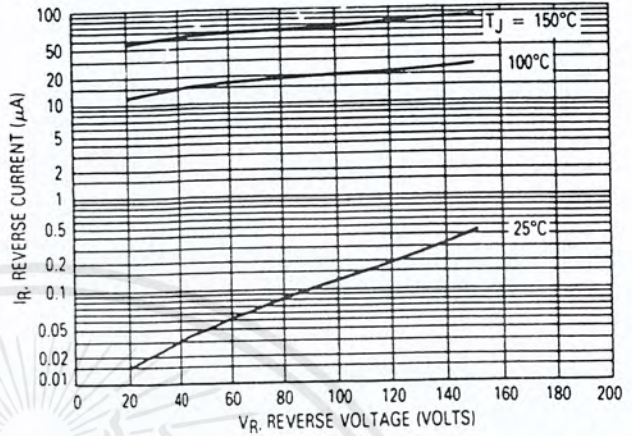


Figure 2. Typical Reverse Current (Per Leg)

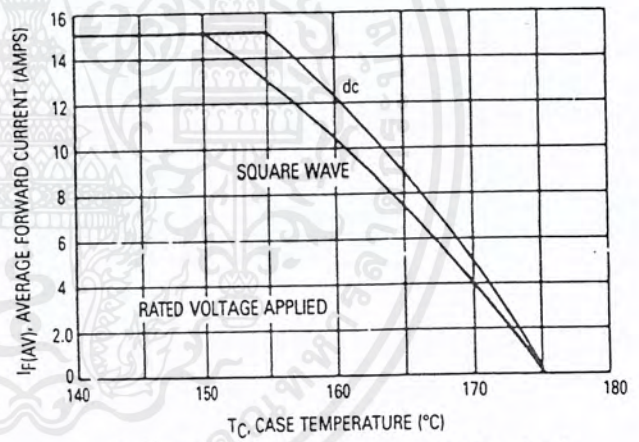


Figure 3. Current Derating, Case (Per Leg)

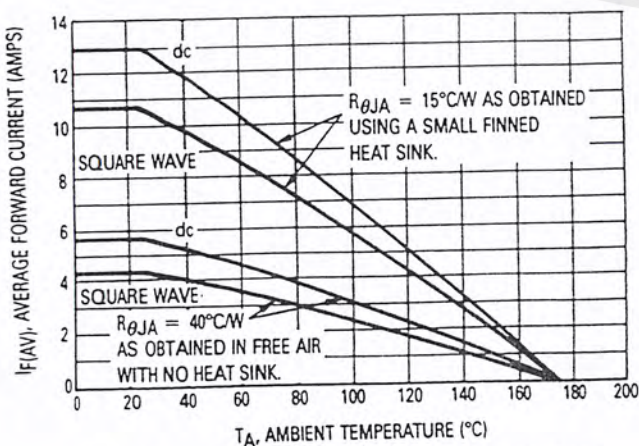


Figure 4. Current Derating, Ambient (Per Leg)

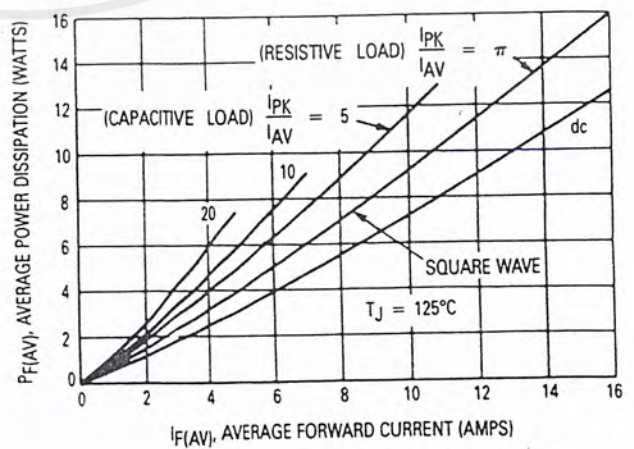


Figure 5. Power Dissipation (Per Leg)

4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# MUR3020PT, MUR3040PT, MUR3060PT

## MUR3040PT

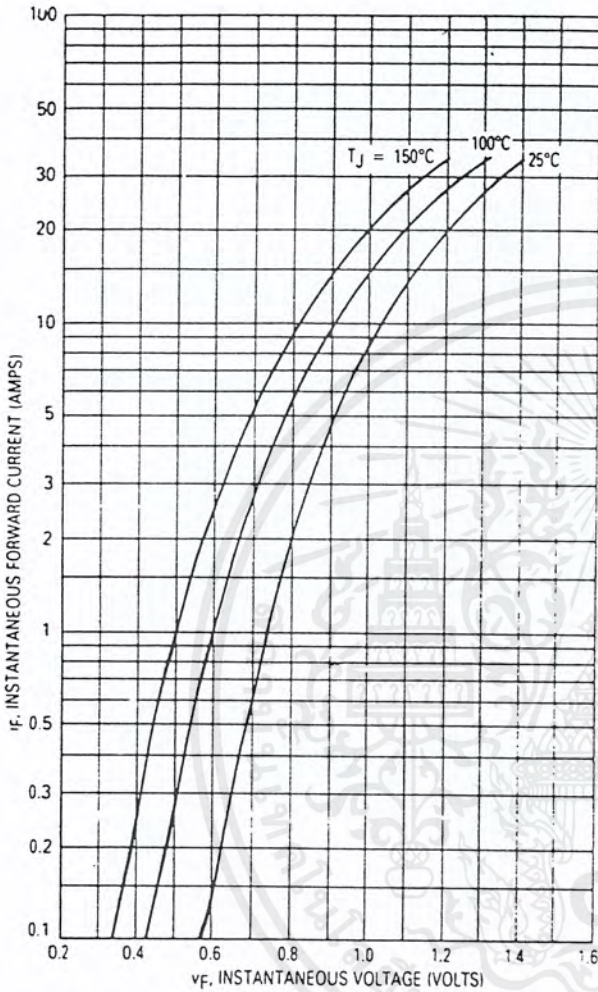


Figure 6. Typical Forward Voltage (Per Leg)

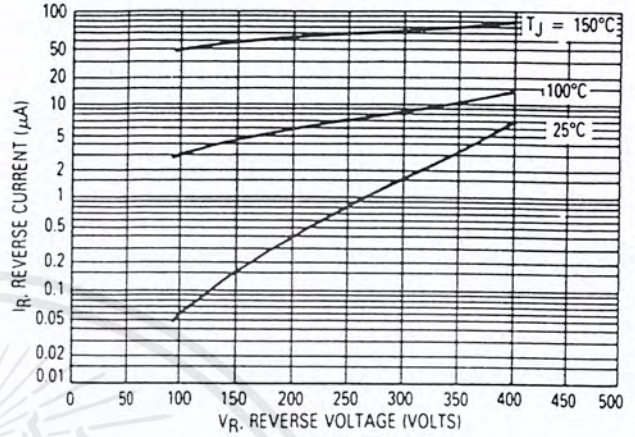


Figure 7. Typical Reverse Current (Per Leg)

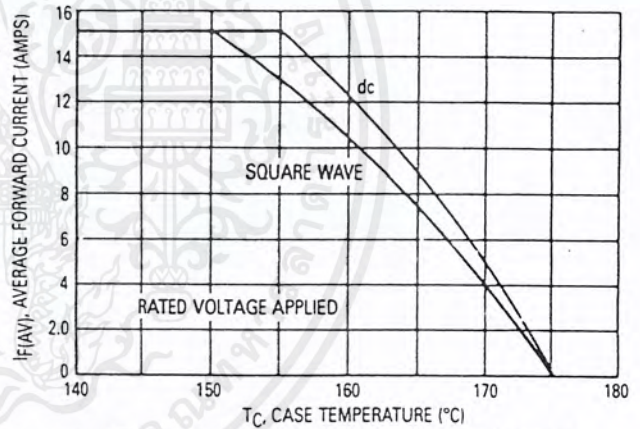


Figure 8. Current Derating, Case (Per Leg)

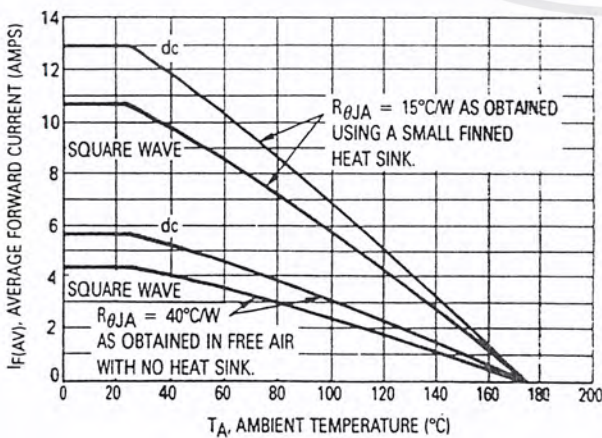


Figure 9. Current Derating, Ambient (Per Leg)

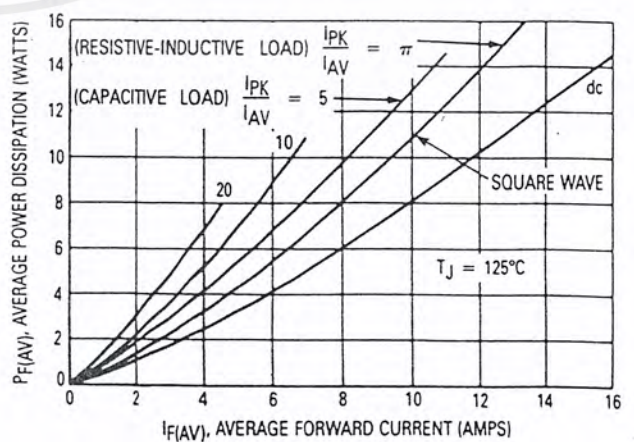


Figure 10. Power Dissipation (Per Leg)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# MUR3020PT, MUR3040PT, MUR3060PT

MUR3060PT

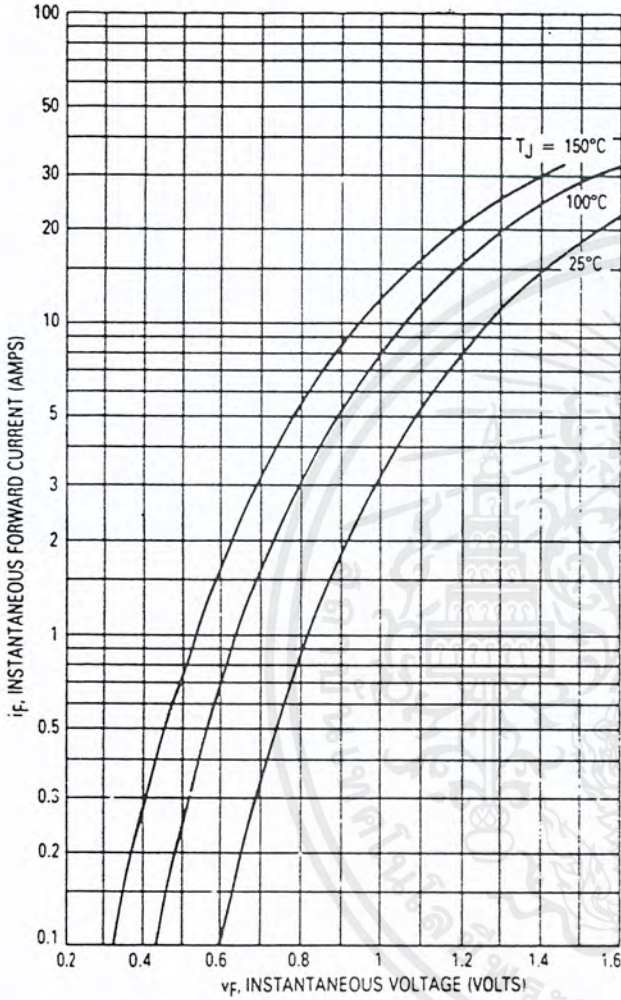


Figure 11. Typical Forward Voltage

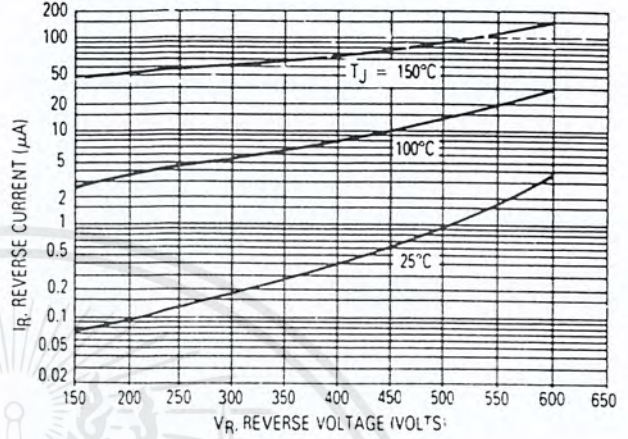


Figure 12. Typical Reverse Current

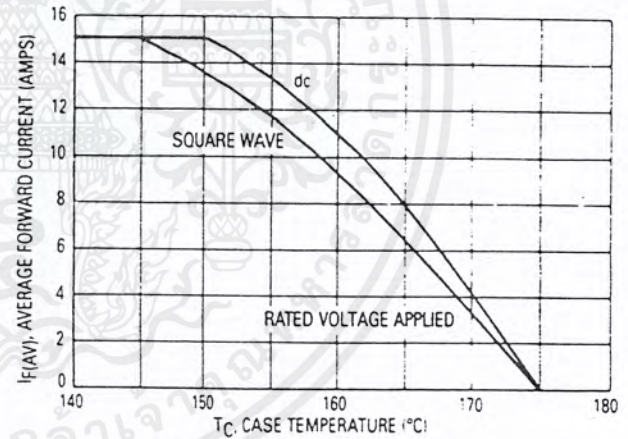


Figure 13. Current Derating, Case

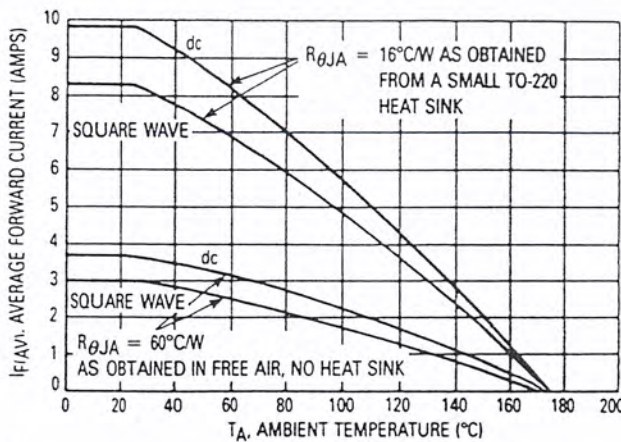


Figure 14. Current Derating, Ambient

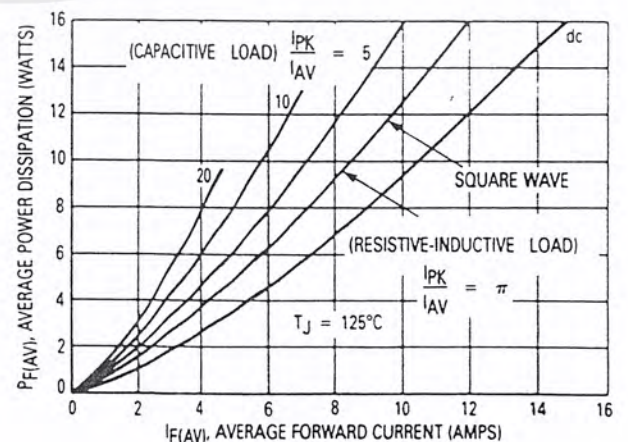


Figure 15. Power Dissipation

4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นับผูกขาดหรือไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# MUR3020PT, MUR3040PT, MUR3060PT

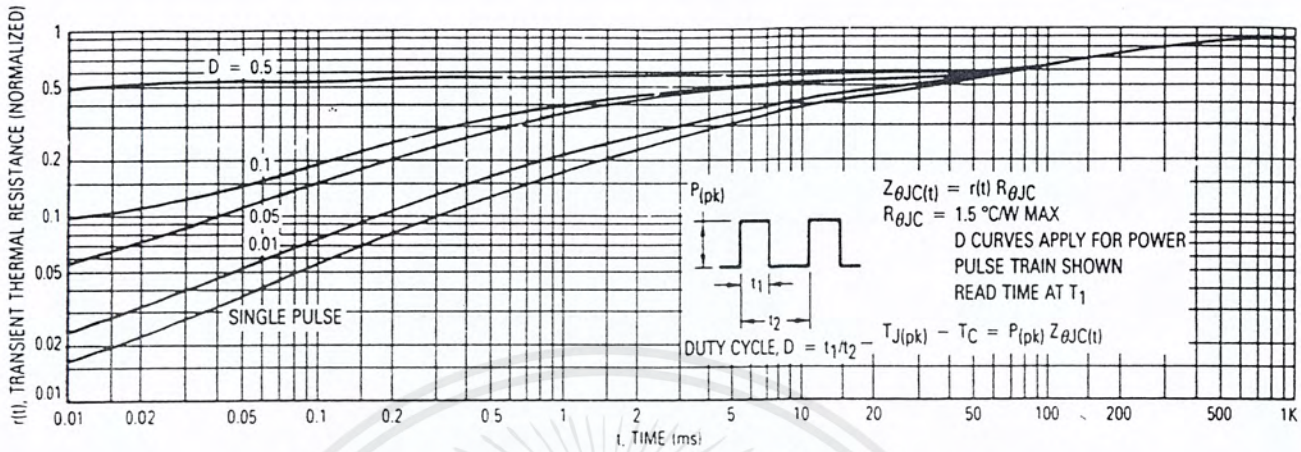


Figure 16. Thermal Response

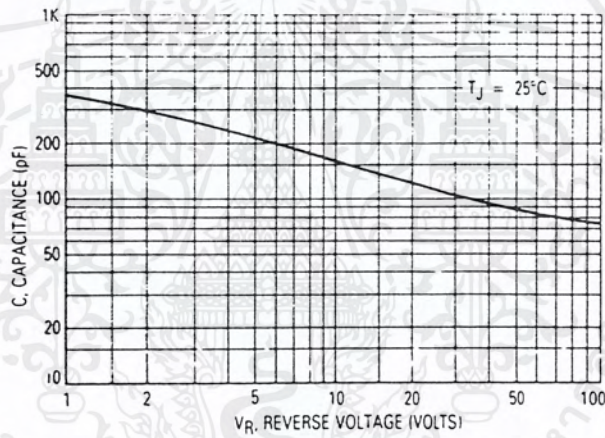


Figure 17. Typical Capacitance (Per Leg)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(TLP250)

TRANSISTOR INVERTER  
 INVERTER FOR AIR CONDITIONOR  
 IGBT GATE DRIVE  
 POWER MOS FET GATE DRIVE

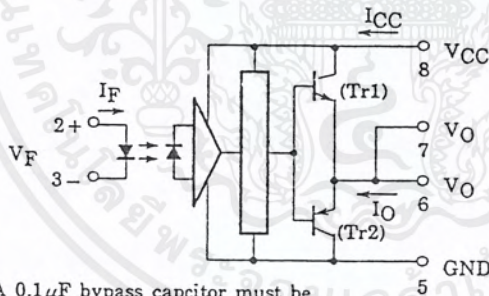
The Toshiba TLP250 consists of a GaAlAs light emitting diode and a integrated photodetector.  
 This unit is 8-lead DIP package.  
 TLP250 is suitable for gate driving circuit of IGBT or power MOS FET.

- Input Threshold Current :  $I_F = 5\text{mA (Max.)}$
- Supply Current ( $I_{CC}$ ) :  $11\text{mA (Max.)}$
- Supply Voltage ( $V_{CC}$ ) :  $10\text{-}35\text{V}$
- Output Current ( $I_O$ ) :  $\pm 0.5\text{A (Min.)}$
- Switching Time ( $t_{pLH}/t_{pHL}$ ) :  $0.5\mu\text{s (Max.)}$
- Isolation Voltage :  $2500\text{V}_{\text{rms (Min.)}}$
- UL Recognized : UL1577, File No.E67349
- Option (D4) type  
 VDE Approved : DIN VDE0884/06.92, Certificate No.76823  
 Maximum Operating Insulation Voltage :  $630\text{V}_{\text{PK}}$   
 Highest Permissible Over Voltage :  $4000\text{V}_{\text{PK}}$

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

- Creepage Distance :  $6.4\text{mm (Min.)}$   
 Clearance :  $6.4\text{mm (Min.)}$

SCHMATIC

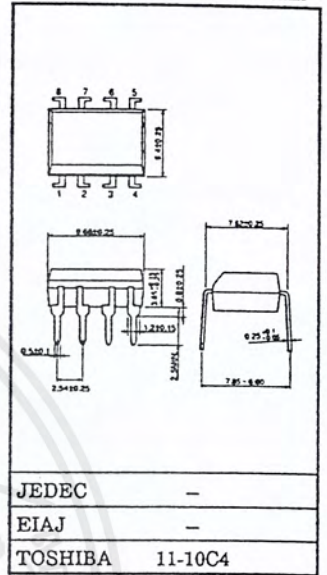


A  $0.1\mu\text{F}$  bypass capacitor must be connected between pin 8 and 5 (See more 5).

TRUTH TABLE

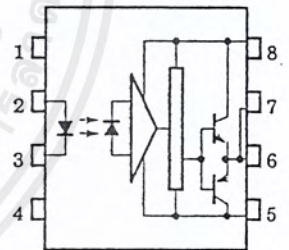
	Tr1	Tr2
Input LED ON	ON	OFF
Input LED OFF	OFF	ON

Unit in mm



Weight : 0.54g

PIN CONFIGURATION (TOP VIEW)



- 1 : N.C.
- 2 : ANODE
- 3 : CATHODE
- 4 : N.C.
- 5 : GND
- 6 :  $V_O$  (OUTPUT)
- 7 :  $V_O$
- 8 :  $V_{CC}$

(TLP250)

## ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS (Ta = 25°C)

CHARACTERISTIC		SYMBOL	RATING	UNIT	
LED	Forward Current	I <sub>F</sub>	20	mA	
	Forward Current Derating (Ta ≥ 70°C)	ΔI <sub>F</sub> /ΔTa	-0.36	mA/°C	
	Peak Transient Forward Current (Note 1)	I <sub>FPT</sub>	1	A	
	Reverse Voltage	V <sub>R</sub>	5	V	
Junction Temperature		(T <sub>j</sub> )	125	°C	
DETECTOR	"H" Peak Output Current (P <sub>W</sub> ≤ 2.5μs, f ≤ 15kHz)(Note 2)	I <sub>OPH</sub>	-1.5	A	
	"L" Peak Output Current (P <sub>W</sub> ≤ 2.5μs, f ≤ 15kHz)(Note 2)	I <sub>OPL</sub>	+1.5	A	
	Output Voltage	V <sub>O</sub>	(Ta ≤ 70°C)	35	V
			(Ta = 85°C)	24	
	Supply Voltage	V <sub>CC</sub>	(Ta ≤ 70°C)	35	V
			(Ta = 85°C)	24	
	Output Voltage Derating (Ta ≥ 70°C)	ΔV <sub>O</sub> /ΔTa	-0.73	V/°C	
	Supply Voltage Derating (Ta ≥ 70°C)	ΔV <sub>CC</sub> /ΔTa	-0.73	V/°C	
	Junction Temperature	(T <sub>j</sub> )	125	°C	
Operating Frequency (Note 3)	f	25	kHz		
Operating Temperature Range	T <sub>opr</sub>	-20~85	°C		
Storage Temperature Range	T <sub>stg</sub>	-55~125	°C		
Lead Solder Temperature (10s)	T <sub>sol</sub>	260	°C		
Isolation Voltage (AC, I <sub>min.</sub> , R.H. ≤ 60%, Ta = 25°C) (Note 4)	BV <sub>S</sub>	2500	V <sub>rms</sub>		

Note 1 : Pulse width P<sub>W</sub> ≤ 1μs, 300pps

Note 2 : Exponential Waveform

Note 3 : Exponential Waveform, I<sub>OPH</sub> ≤ -1.0A (≤ 2.5μs), I<sub>OPL</sub> ≤ +1.0A (≤ 2.5μs)

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

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

## RECOMMENDED OPERATING CONDITIONS

CHARACTERISTIC	SYMBOL	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
Input Current, ON	I <sub>F</sub> (ON)	7	8	10	mA
Input Voltage, OFF	V <sub>F</sub> (OFF)	0	—	0.8	V
Supply Voltage	V <sub>CC</sub>	15	—	30   20	V
Peak Output Current	I <sub>OPH</sub> /I <sub>OPL</sub>	—	—	±0.5	A
Operating Temperature	T <sub>opr</sub>	-20	25	70   85	°C

(TLP250)

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (Ta = -20~70°C, Unless otherwise specified)

CHARACTERISTIC	SYMBOL	TEST CIRCUIT	TEST CONDITION	MIN.	TYP.*	MAX.	UNIT		
Input Forward Voltage	V <sub>F</sub>	—	I <sub>F</sub> =10mA, Ta=25°C		1.6	1.8	V		
Temperature Coefficient of Forward Voltage	ΔV <sub>F</sub> /ΔTa	—	I <sub>F</sub> =10mA	—	-2.0	—	mV/°C		
Input Reverse Current	I <sub>R</sub>	—	V <sub>R</sub> =5V, Ta=25°C		—	10	μA		
Input Capacitance	C <sub>T</sub>	—	V=0, f=1MHz, Ta=25°C		45	250	pF		
Output Current	"H" Level	I <sub>OPH</sub>	3	V <sub>CC</sub> =30V (*1) I <sub>F</sub> =10mA V <sub>B-6</sub> =4V	-0.5	-1.5	—	A	
	"L" Level	I <sub>OPL</sub>	2		I <sub>F</sub> =0 V <sub>B-5</sub> =2.5V	0.5			2
Output Voltage	"H" Level	V <sub>OH</sub>	4	V <sub>CC1</sub> =+15V, V <sub>EE1</sub> =-15V R <sub>L</sub> =200Ω, I <sub>F</sub> =5mA	11	12.8	—	V	
	"L" Level	V <sub>OL</sub>	5	V <sub>CC1</sub> =+15V, V <sub>EE1</sub> =-15V R <sub>L</sub> =200Ω, V <sub>F</sub> =0.8V	—	-14.2			-12.5
Supply Current	"H" Level	I <sub>CCH</sub>	—	V <sub>CC</sub> =30V, I <sub>F</sub> =10mA Ta=25°C	—	7	—	mA	
				V <sub>CC</sub> =30V, I <sub>F</sub> =10mA	—	—			11
	"L" Level	I <sub>CCL</sub>	—	V <sub>CC</sub> =30V, I <sub>F</sub> =0mA Ta=25°C	—	7.5			—
				V <sub>CC</sub> =30V, I <sub>F</sub> =0mA	—	—	11		
Threshold Input Current	"Output L→H"	I <sub>FLH</sub>	—	V <sub>CC1</sub> =+15V, V <sub>EE1</sub> =-15V R <sub>L</sub> =200Ω, V <sub>O</sub> >0V	—	1.2	5	mA	
Threshold Input Voltage	"Output H→L"	V <sub>FHL</sub>	—	V <sub>CC1</sub> =+15V, V <sub>EE1</sub> =-15V R <sub>L</sub> =200Ω, V <sub>O</sub> <0V	0.8	—	—	V	
Supply Voltage	V <sub>CC</sub>	—			10	—	35	V	
Capacitance (Input-Output)	C <sub>S</sub>	—	V <sub>S</sub> =0, f=1MHz Ta=25°C		—	1.0	2.0	pF	
Resistance (Input-Output)	R <sub>S</sub>	—	V <sub>S</sub> =500V, Ta=25°C R.H. ≤ 60%	5×10 <sup>10</sup>	10 <sup>14</sup>	—	—	Ω	

\* All typical values are at Ta=25°C (\*1) : Duration of I<sub>O</sub> time ≤ 50μs

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(TLP250)

SWITCHING CHARACTERISTICS ( $T_a = -20 \sim 70^\circ\text{C}$ , Unless otherwise specified)

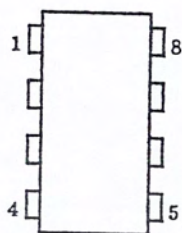
CHARACTERISTIC		SYMBOL	TEST CIRCUIT	TEST CONDITION	MIN.	TYP.*	MAX.	UNIT		
Propagation Delay Time	L→H	$t_{PLH}$	6	$I_F = 8\text{mA}$ $V_{CC1} = +15\text{V}$ , $V_{EE1} = -15\text{V}$ $R_L = 200\Omega$	—	0.15	0.5	$\mu\text{s}$		
	H→L	$t_{PHL}$			—	0.15	0.5			
Output Rise Time		$t_r$				—			—	
Output Fall Time		$t_f$				—			—	
Common Mode Transient Immunity at High Level Output		CMH	7	$V_{CM} = 600\text{V}$ , $I_F = 8\text{mA}$ $V_{CC} = 30\text{V}$ , $T_a = 25^\circ\text{C}$	-5000	—	—	$\text{V} / \mu\text{s}$		
Common Mode Transient Immunity at Low Level Output		CML	7	$V_{CM} = 600\text{V}$ , $I_F = 0\text{mA}$ $V_{CC} = 30\text{V}$ , $T_a = 25^\circ\text{C}$	5000	—	—	$\text{V} / \mu\text{s}$		

\* All typical values are at  $T_a = 25^\circ\text{C}$ 

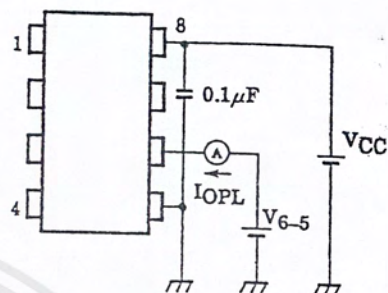
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(TLP250)

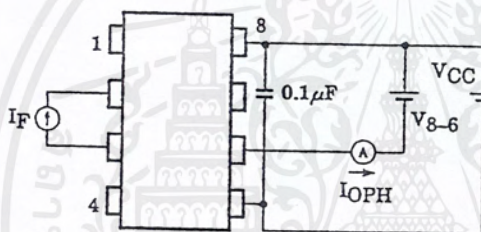
TEST CIRCUIT 1 :



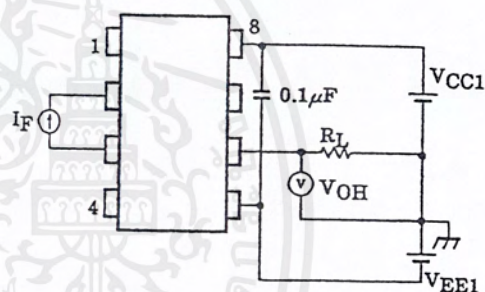
TEST CIRCUIT 2 : IOPL



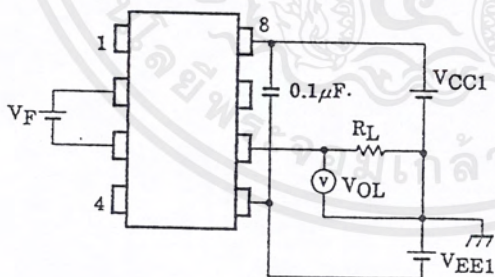
TEST CIRCUIT 3 : IOPH



TEST CIRCUIT 4 : VOH



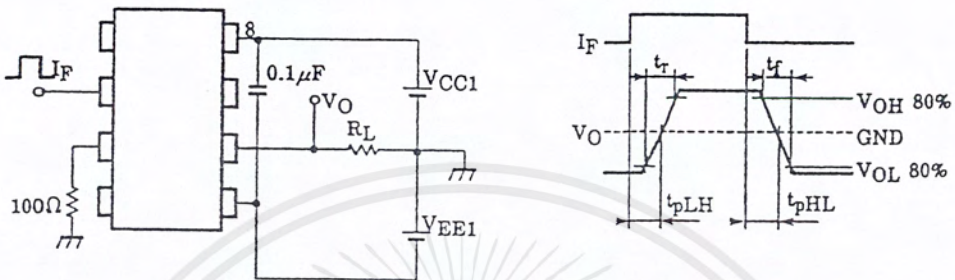
TEST CIRCUIT 5 : VOL



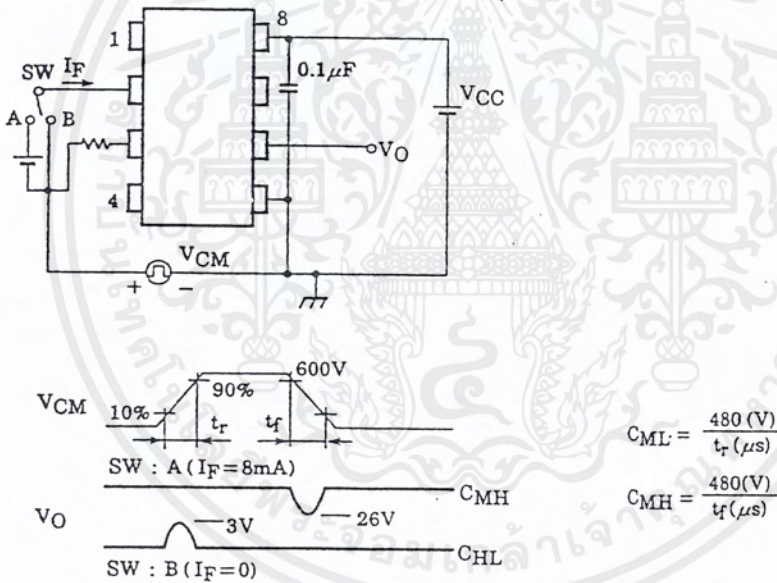
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(TLP250)

TEST CIRCUIT 6 :  $t_{pLH}$ ,  $t_{pHL}$ ,  $t_r$ ,  $t_f$

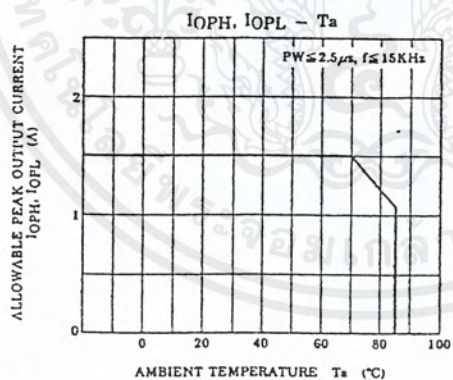
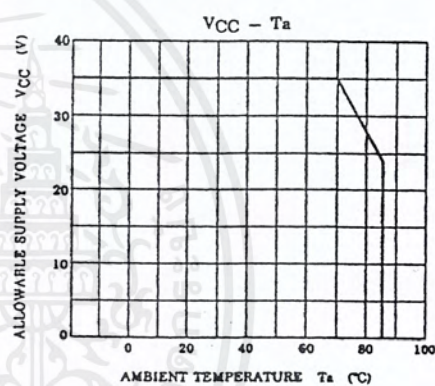
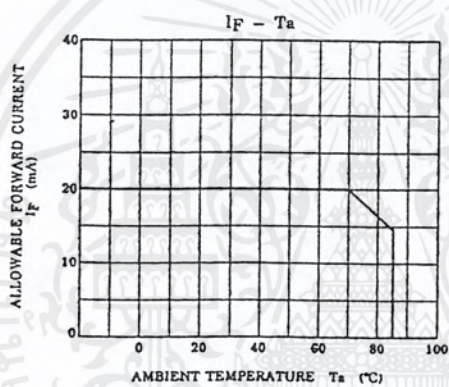
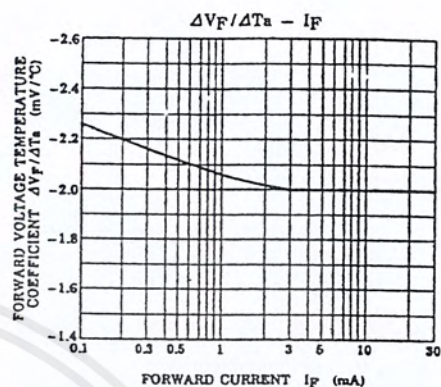
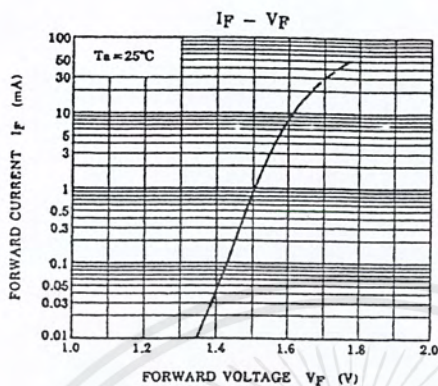


TEST CIRCUIT 7 :  $C_{MH}$ ,  $C_{ML}$



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

(TLP250)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



MOTOROLA

Order this document by LF347/D

# LF347, B LF351 LF353

## JFET Input Operational Amplifiers

These low cost JFET input operational amplifiers combine two state-of-the-art analog technologies on a single monolithic integrated circuit. Each internally compensated operational amplifier has well matched high voltage JFET input devices for low input offset voltage. The JFET technology provides wide bandwidths and fast slew rates with low input bias currents, input offset currents, and supply currents.

These devices are available in single, dual and quad operational amplifiers which are pin-compatible with the industry standard MC1741, MC1458, and the MC3403/LM324 bipolar devices.

- Input Offset Voltage of 5.0 mV Max (LF347B)
- Low Input Bias Current: 50 pA
- Low Input Noise Voltage:  $16 \text{ nV}/\sqrt{\text{Hz}}$
- Wide Gain Bandwidth: 4.0 MHz
- High Slew Rate: 13V/ $\mu\text{s}$
- Low Supply Current: 1.8 mA per Amplifier
- High Input Impedance:  $10^{12} \Omega$
- High Common Mode and Supply Voltage Rejection Ratios: 100 dB

### MAXIMUM RATINGS

Rating	Symbol	Value	Unit
Supply Voltage	$V_{CC}$ $V_{EE}$	+18 -18	V
Differential Input Voltage	$V_{ID}$	$\pm 30$	V
Input Voltage Range (Note 1)	$V_{IDR}$	$\pm 15$	V
Output Short Circuit Duration (Note 2)	$t_{SC}$	Continuous	
Power Dissipation at $T_A = +25^\circ\text{C}$ Derate above $T_A = +25^\circ\text{C}$	$P_D$ $1/\theta_{JA}$	900 10	mW mW/ $^\circ\text{C}$
Operating Ambient Temperature Range	$T_A$	0 to +70	$^\circ\text{C}$
Operating Junction Temperature Range	$T_J$	115	$^\circ\text{C}$
Storage Temperature Range	$T_{stg}$	-65 to +150	$^\circ\text{C}$

- NOTES: 1. Unless otherwise specified, the absolute maximum negative input voltage is limited to the negative power supply.  
2. Any amplifier output can be shorted to ground indefinitely. However, if more than one amplifier output is shorted simultaneously, maximum junction temperature rating may be exceeded.

### FAMILY OF JFET OPERATIONAL AMPLIFIERS

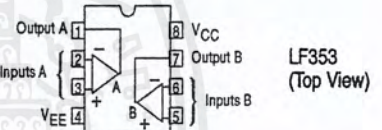
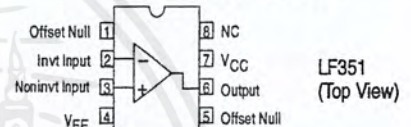


N SUFFIX  
PLASTIC PACKAGE  
CASE 626



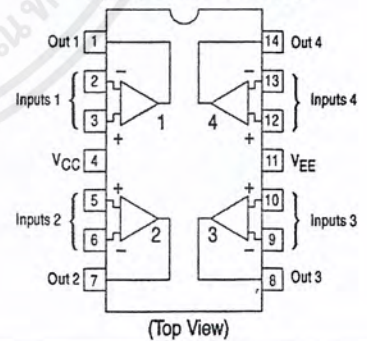
D SUFFIX  
PLASTIC PACKAGE  
CASE 751  
(SO-8)

#### PIN CONNECTIONS



N SUFFIX  
PLASTIC PACKAGE  
CASE 646

#### PIN CONNECTIONS



### ORDERING INFORMATION

Device	Function	Operating Temperature Range	Package
LF351D LF351N	Single Single	$T_A = 0^\circ$ to $+70^\circ\text{C}$	SO-8 Plastic DIP
LF353D LF353N	Dual Dual		SO-8 Plastic DIP
LF347BN LF347N	Quad Quad		Plastic DIP Plastic DIP

© Motorola, Inc. 1996

Rev 0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## LF347, B LF351 LF353

**ELECTRICAL CHARACTERISTICS** ( $V_{CC} = +15$  V,  $V_{EE} = -15$  V,  $T_A = 25^\circ\text{C}$ , unless otherwise noted.)

Characteristic	Symbol	LF347B			LF347, LF351, LF353			Unit
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Input Offset Voltage ( $R_S \leq 10$ k, $V_{CM} = 0$ ) $T_A = +25^\circ\text{C}$ $0^\circ\text{C} \leq T_A \leq +70^\circ\text{C}$	$V_{IO}$	–	1.0	5.0	–	5.0	10	mV
		–	–	8.0	–	–	13	
Avg. Temperature Coefficient of Input Offset Voltage $R_S \leq 10$ k, $0^\circ\text{C} \leq T_A \leq +70^\circ\text{C}$	$\Delta V_{IO}/\Delta T$	–	10	–	–	10	–	$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
Input Offset Current ( $V_{CM} = 0$ , Note 3) $T_A = +25^\circ\text{C}$ $0^\circ\text{C} \leq T_A \leq +70^\circ\text{C}$	$I_{IO}$	–	25	100	–	25	100	pA
		–	–	4.0	–	–	4.0	nA
Input Bias Current ( $V_{CM} = 0$ , Note 3) $T_A = +25^\circ\text{C}$ $0^\circ\text{C} \leq T_A \leq +70^\circ\text{C}$	$I_{IB}$	–	50	200	–	50	200	pA
		–	–	8.0	–	–	8.0	nA
Input Resistance	$r_i$	–	$10^{12}$	–	–	$10^{12}$	–	$\Omega$
Common Mode Input Voltage Range	$V_{ICR}$	$\pm 11$	+15 –12	–	$\pm 11$	+15 –12	–	V
Large-Signal Voltage Gain ( $V_O = \pm 10$ V, $R_L = 2.0$ k) $T_A = +25^\circ\text{C}$ $0^\circ\text{C} \leq T_A \leq +70^\circ\text{C}$	$A_{VOL}$	50 25	100 –	– –	25 15	100 –	– –	V/mV
Output Voltage Swing ( $R_L = 10$ k)	$V_O$	$\pm 12$	$\pm 14$	–	$\pm 12$	$\pm 14$	–	V
Common Mode Rejection ( $R_S \leq 10$ k)	CMR	80	100	–	70	100	–	dB
Supply Voltage Rejection ( $R_S \leq 10$ k)	PSRR	80	100	–	70	100	–	dB
Supply Current	$I_D$	–	–	–	–	–	–	mA
LF347		–	7.2	11	–	7.2	11	
LF351		–	–	–	–	1.8	3.4	
LF353		–	–	–	–	3.6	6.5	
Short Circuit Current	$I_{SC}$	–	25	–	–	25	–	mA
Slew Rate ( $A_V = +1$ )	SR	–	13	–	–	13	–	V/ $\mu\text{s}$
Gain-Bandwidth Product	BWp	–	4.0	–	–	4.0	–	MHz
Equivalent Input Noise Voltage ( $R_S = 100$ $\Omega$ , $f = 1000$ Hz)	$e_n$	–	24	–	–	24	–	nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$
Equivalent Input Noise Current ( $f = 1000$ Hz)	$i_n$	–	0.01	–	–	0.01	–	pA/ $\sqrt{\text{Hz}}$
Channel Separation (LF347, LF353) 1.0 Hz $\leq f \leq 20$ kHz (Input Referred)	–	–	–120	–	–	–120	–	dB

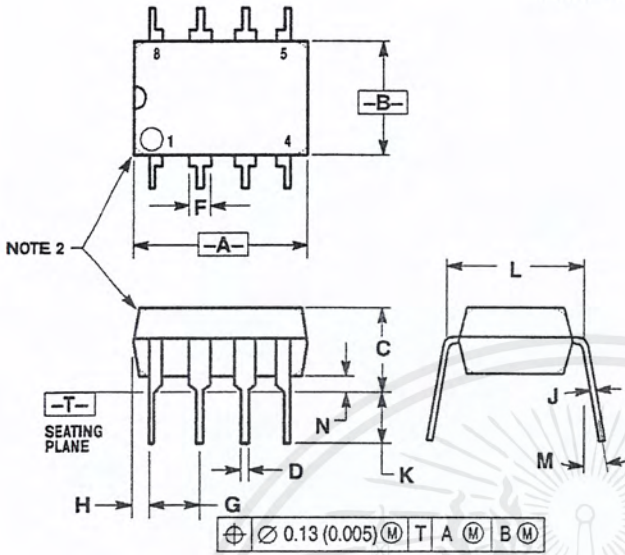
For Typical Characteristic Performance Curves, refer to MC34001, 34002, 34004 data sheet.

**NOTE:** 3. Input bias currents of JFET input op amps approximately double for every  $10^\circ\text{C}$  rise in junction temperature. To maintain junction temperatures as close to ambient as is possible, pulse techniques are utilized during test.

# LF347, B LF351 LF353

## OUTLINE DIMENSIONS

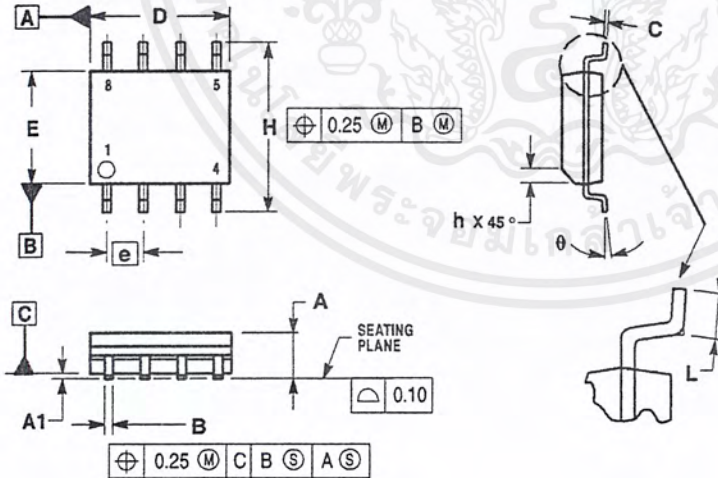
N SUFFIX  
PLASTIC PACKAGE  
CASE 626-05  
ISSUE K



- NOTES:
1. DIMENSION L TO CENTER OF LEAD WHEN FORMED PARALLEL.
  2. PACKAGE CONTOUR OPTIONAL (ROUND OR SQUARE CORNERS).
  3. DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ANSI Y14.5M, 1982.

DIM	MILLIMETERS		INCHES	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	9.40	10.16	0.370	0.400
B	6.10	6.60	0.240	0.260
C	3.94	4.45	0.155	0.175
D	0.38	0.51	0.015	0.020
F	1.02	1.78	0.040	0.070
G	2.54 BSC		0.100 BSC	
H	0.76	1.27	0.030	0.050
J	0.20	0.30	0.008	0.012
K	2.92	3.43	0.115	0.135
L	7.62 BSC		0.300 BSC	
M	—		10°	10°
N	0.76	1.01	0.030	0.040

D SUFFIX  
PLASTIC PACKAGE  
CASE 751-05  
(SO-8)  
ISSUE R



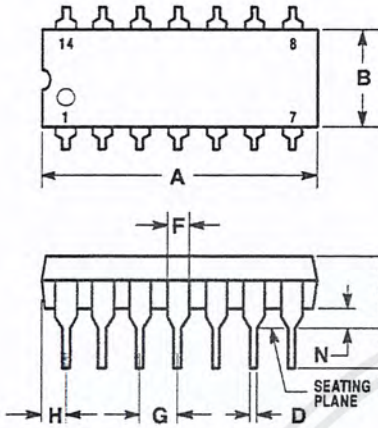
- NOTES:
1. DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ASME Y14.5M, 1994.
  2. DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS.
  3. DIMENSION D AND E DO NOT INCLUDE MOLD PROTRUSION.
  4. MAXIMUM MOLD PROTRUSION 0.15 PER SIDE.
  5. DIMENSION B DOES NOT INCLUDE MOLD PROTRUSION. ALLOWABLE DAMBAR PROTRUSION SHALL BE 0.127 TOTAL IN EXCESS OF THE B DIMENSION AT MAXIMUM MATERIAL CONDITION.

DIM	MILLIMETERS	
	MIN	MAX
A	1.35	1.75
A1	0.10	0.25
B	0.35	0.49
C	0.18	0.25
D	4.80	5.00
E	3.80	4.00
e	1.27 BSC	
H	5.80	6.20
h	0.25	0.50
L	0.40	1.25
θ	0°	7°

# LF347, B LF351 LF353

## OUTLINE DIMENSIONS

N SUFFIX  
PLASTIC PACKAGE  
CASE 646-06  
ISSUE L



NOTES:

- LEADS WITHIN 0.13 (0.005) RADIUS OF TRUE POSITION AT SEATING PLANE AT MAXIMUM MATERIAL CONDITION.
- DIMENSION L TO CENTER OF LEADS WHEN FORMED PARALLEL.
- DIMENSION B DOES NOT INCLUDE MOLD FLASH.
- ROUNDED CORNERS OPTIONAL

DIM	INCHES		MILLIMETERS	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	0.715	0.770	18.16	19.56
B	0.240	0.260	6.10	6.60
C	0.145	0.185	3.69	4.69
D	0.015	0.021	0.38	0.53
F	0.040	0.070	1.02	1.78
G	0.100 BSC		2.54 BSC	
H	0.052	0.095	1.32	2.41
J	0.008	0.015	0.20	0.38
K	0.115	0.135	2.92	3.43
L	0.300 BSC		7.62 BSC	
M	0°	10°	0°	10°
N	0.015	0.039	0.39	1.01

Motorola reserves the right to make changes without further notice to any products herein. Motorola makes no warranty, representation or guarantee regarding the suitability of its products for any particular purpose, nor does Motorola assume any liability arising out of the application or use of any product or circuit, and specifically disclaims any and all liability, including without limitation consequential or incidental damages. "Typical" parameters which may be provided in Motorola data sheets and/or specifications can and do vary in different applications and actual performance may vary over time. All operating parameters, including "Typicals" must be validated for each customer application by customer's technical experts. Motorola does not convey any license under its patent rights nor the rights of others. Motorola products are not designed, intended, or authorized for use as components in systems intended for surgical implant into the body, or other applications intended to support or sustain life, or for any other application in which the failure of the Motorola product could create a situation where personal injury or death may occur. Should Buyer purchase or use Motorola products for any such unintended or unauthorized application, Buyer shall indemnify and hold Motorola and its officers, employees, subsidiaries, affiliates, and distributors harmless against all claims, costs, damages, and expenses, and reasonable attorney fees arising out of, directly or indirectly, any claim of personal injury or death associated with such unintended or unauthorized use, even if such claim alleges that Motorola was negligent regarding the design or manufacture of the part. Motorola and are registered trademarks of Motorola, Inc. Motorola, Inc. is an Equal Opportunity/Affirmative Action Employer.

**How to reach us:**

USA/EUROPE/ Locations Not Listed: Motorola Literature Distribution;  
P.O. Box 20912; Phoenix, Arizona 85036. 1-800-441-2447 or 602-303-5454

JAPAN: Nippon Motorola Ltd.; Tatsumi-SPD-JLDC, 6F Seibu-Butsuryu-Center,  
3-14-2 Tatsumi Koto-Ku, Tokyo 135, Japan. 03-81-3521-8315

MFAX: RMFAXO@email.sps.mot.com - TOUCHTONE 602-244-6609  
INTERNET: http://Design-NET.com

ASIA/PACIFIC: Motorola Semiconductors H.K. Ltd.; 8B Tai Ping Industrial Park,  
51 Ting Kok Road, Tai Po, N.T., Hong Kong. 852-26629298



**MOTOROLA**

ที่ส่งให้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานั้น ไม่อนุญาตให้ไปใช้ประโยชน์อื่น

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสาร

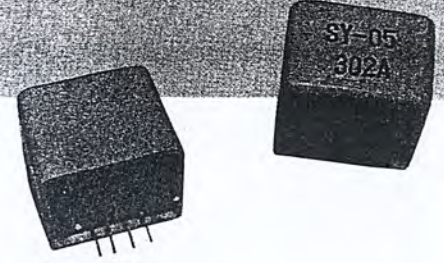


LF347/D

## Open-loop type Hall current sensor

SY-03, SY-05, SY-10  
SY-15,

プリント基板用



## FEATURES

- 小型軽量
- 応答速度が早い
- 温度特性が良い
- 直線性が優れている
- 過電流で破壊しない
- 回路と絶縁して計測できる
- 直流から交流まで連続使用出来る

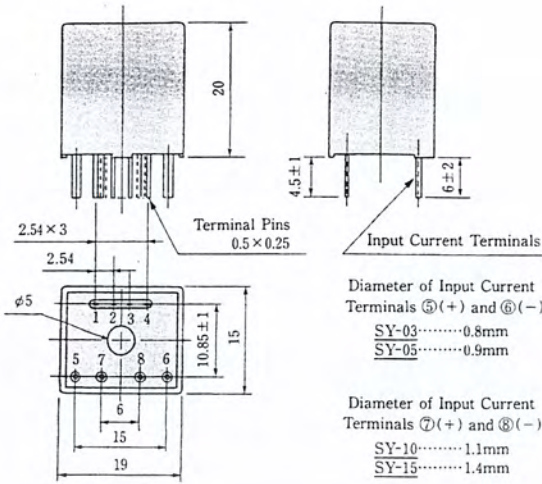
型 名		SY-03	SY-05	SY-10	SY-15
項 目	Symbol				
検 出 電 流 (F.S.)	If	±3 A	±5 A	±10 A	±15 A
直 線 性 範 囲	—	0 to ±6 A	0 to ±10 A	0 to ±20 A	0 to ±30 A
出 力 電 圧	Vh	4 V ±1% at If=F.S. and RL=10 KΩ			
残 留 電 圧	Vo	Within ±40 mV at If=0			
出力電圧の直線性	ρ	Within ±1% of the output at If: F.S.			
電 源 電 圧	Vcc	±15 V DC			
電 源 電 圧 変 動	—	Within ±5%			
電 源 ノ イ ズ 耐 量	—	Within ±30 V × 1 μ sec			
応 答 速 度	Trr	3 μ sec MAX at di/dt=If/μ sec			
出力電圧の温度特性	—	Within ±0.1%/°C between -10 °C and +75 °C			
残留電圧の温度特性	—	Within ±1.5 mV/°C at If=0 between -10 °C and +75 °C			
ヒステリシス幅	—	Within 20 mV at If: F.S.→0			
耐 電 圧	—	2 KV AC with 50 or 60 Hz × 1 minute			
絶 縁 抵 抗	—	500 M ohm Min at 500 V DC			
使用温度範囲	Ta	-10 °C to +75 °C			
保存温度範囲	Ts	-15 °C to +85 °C			
一次端子の線径	—	0.8 mm	0.9 mm	1.1 mm	1.4 mm

電源ノイズに依る誤動作防止のため、1μF程度のコンデンサを±電源に付加されるようお勧めします。



NANA ELECTRONICS CO., LTD.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นับญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



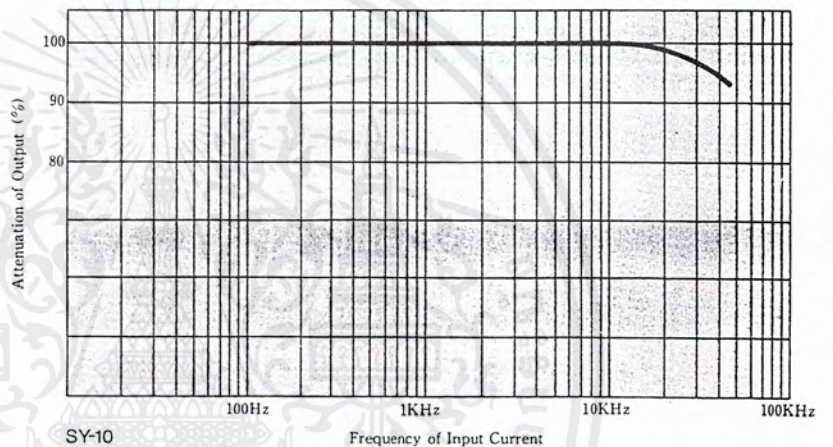
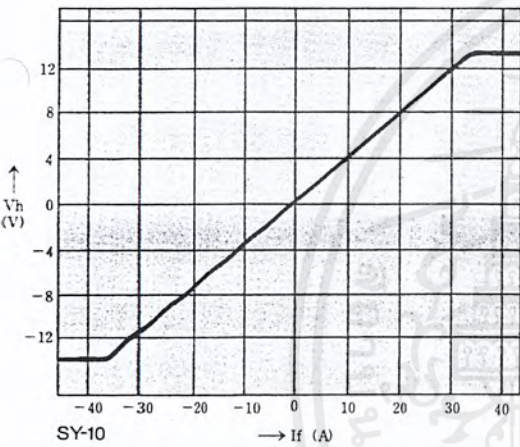
**Terminal Pin Identification**

- ①.....-15V
- ②.....0V
- ③.....+15V
- ④.....Output

UNIT : mm

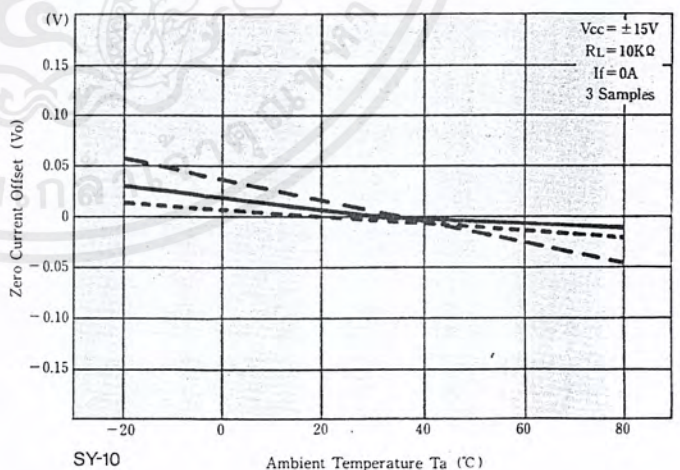
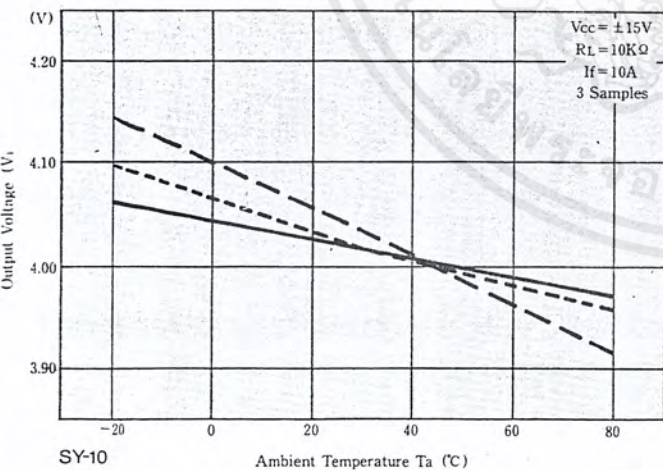
Output voltage vs. input current

Frequency of input current vs. attenuation of output (%)



Ambient temp. Ta(°C) vs. variation of output with temp.

Ambient temp. Ta(°C) vs. drift of zero current offset with temp.



Marketed by :

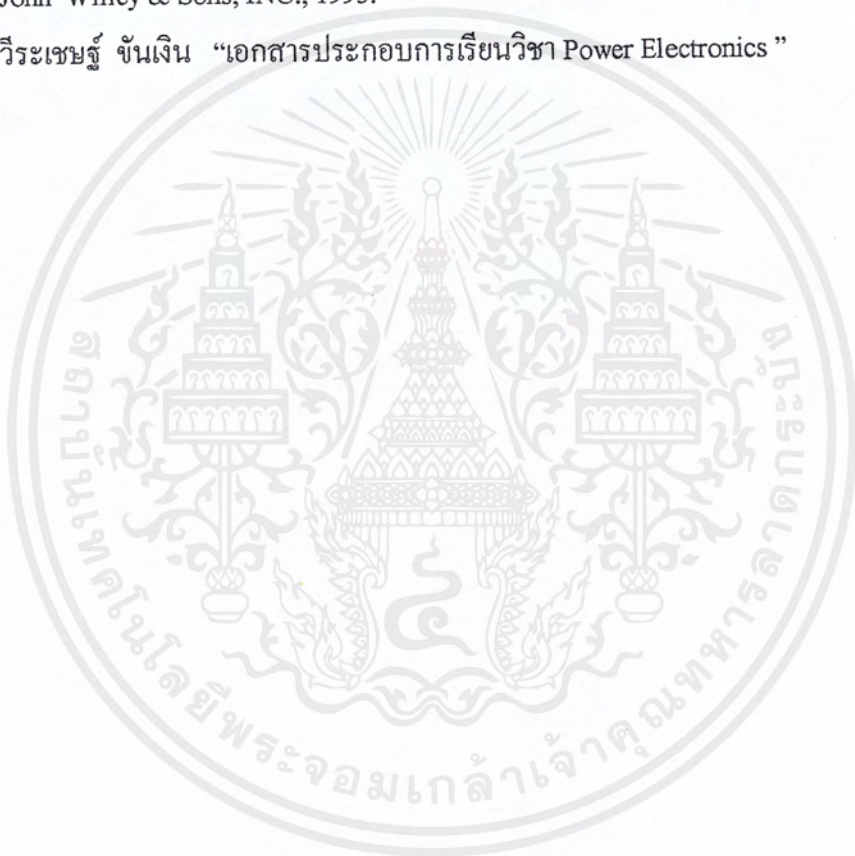
## กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่ให้กำเนิดและสนับสนุนเรื่องของทุนการศึกษา และ  
โครงการนี้สามารถสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี โดยได้รับความช่วยเหลือสนับสนุน และอำนวยความสะดวก  
จากหลายท่าน ผู้จัดทำ ขอกล่าวขอบพระคุณ อ.ดุสิต สุขสวัสดิ์ , ผศ.ดร.วิจิตร กิณเรศ ที่  
ช่วยให้คำปรึกษาแนะนำให้แง่คิดต่างๆ และให้ความช่วยเหลือในทุก ๆ ด้าน และขอขอบคุณ  
คุณจรินทร์ หาลาภี ที่ช่วยให้คำปรึกษาและความช่วยเหลือต่าง ๆ และนาย อ้วน,ทีป เพื่อนรักที่  
ช่วยยืมเครื่องมือวัดกำลังไฟฟ้า FLUKE 39 ให้ ร้านโกวิทการช่าง ที่ช่วยประกอบตัวเหนียวนาและ  
กล่อง ภาควิศวกรรมไฟฟ้า สจล. ที่สนับสนุนเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง รวมทั้งห้อง  
สมุดที่เป็นแหล่งสนับสนุนด้านตำราและหนังสืออ้างอิง และคุณยุวดี วัฒนาสถาพร ที่ช่วยพิมพ์  
ปริญญานิพนธ์ จึงขอกราบขอบพระคุณบุคคลทุกท่านไว้ ณ โอกาสนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] ศิริวัฒน์ โพรวิเขตกุล , “พื้นฐานระบบไฟฟ้าเล่ม 1” สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง [ P.P.83-86]
- [2] Daniel W.Hart, “Introduction to power electronics” , Prentice-Hall International,INC., 1997. [P.291-P.325]
- [3] Ned mohan, Tore M. Undeland and William P. Robbin, “Power electronic” ,second edition, John Willey & Sons, INC., 1995.
- [4] ดร. วีระเชษฐ จันเงิน “เอกสารประกอบการเรียนวิชา Power Electronics ”



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้