

การขับเคลื่อนสวิตช์รีลักแตนซ์มอเตอร์  
Switched Reluctance Motor Drives



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2546

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 เมื่อกฎกติกาที่สนับสนุนให้ตีพิมพ์ห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้ง

เลขหมู่.....  
 เลขทะเบียน 55588 /  
 วัน,เดือน,ปี 20 พ.ค. 2548

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

ปีการศึกษา 2546

การขับเคลื่อนสวิตช์รีลัคแทนซ์มอเตอร์  
Switched Reluctance Motor Drives



อาจารย์ที่ปรึกษา

ดร.สุพัฒน์ กิตติรัตน์สังจา

อ. วรกัลป์ ถิ่นเจริญ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2546

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การขับเคลื่อนสวิตช์รีลักเตนซ์มอเตอร์

ผู้จัดทำ

1. นายพรชัย ชินาสัย
2. นายวรารักษ์ ศรีสุวรรณ
3. นายสิทธิชัย แก้วไทย
4. นางสาวสุนทรี น้อยทัพ



.....อาจารย์ที่ปรึกษา  
(ดร.สุทัศน์ กิตติรัตน์สัจจา)

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## การขับเคลื่อนสวิตช์รีลักแทนซ์มอเตอร์

1. นายพรชัย ชินาสัย
  2. นายวรารักษ์ ศรีสุวรรณ
  3. นายสิทธิชัย แก้วไทย
  4. นางสาวสุนทรี น้อยทัฬห
- ดร. สุพัฒน์ กิตติรัตน์สัจจา อาจารย์ที่ปรึกษา  
อ. วรกัลป์ ลิ้มเจริญ อาจารย์ที่ปรึกษา

### บทคัดย่อ

โครงการนี้เป็นการศึกษาและออกแบบวงจร ในการควบคุมการเริ่มหมุน ของสวิตช์รีลักแทนซ์ มอเตอร์ 3 เฟสและควบคุมความเร็วรอบของสวิตช์รีลักแทนซ์มอเตอร์ให้คงที่ ด้วยกระบวนการเชิงตัวเลข หรือกระบวนการทางดิจิทัล โดยให้คีย์เอสพีเป็นตัวประมวลผล ซึ่งในโครงการใช้มอดเฟสเป็นสวิตช์ ทางด้านกำลัง จากนั้นทำการตรวจจับตำแหน่งและความเร็วรอบด้วยอุปกรณ์ตรวจจับเอ็นโคเดอร์ แล้ว ส่งสัญญาณไปให้คีย์เอสพีทำการประมวลผล โดยคีย์เอสพีจะเป็นตัวควบคุมและติดต่อกับการทำงานของ วงจรในทุกส่วน อาทิเช่นส่งสัญญาณขับไปให้วงจรขับเกต รับสัญญาณจากวงจรตรวจจับกระแสและตัว ตรวจจับตำแหน่ง ส่วนการควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์จะให้คีย์เอสพีรับสัญญาณอนาล็อกจากวงจร แปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นอนาล็อก มาทำการประมวลผลต่อไปโดยการทำงานดังกล่าวนี้เป็นการควบคุม ความเร็วรอบของมอเตอร์ด้วยการควบคุมแบบพีไอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Switched Reluctance Motor Drives

Pornchai	Chinasai
Wararak	Srisuwan
Sittichai	Keawthai
Suntaree	Noytap
Dr. Supat	Kittiratsatcha Advisor
Mr. Worrakan	Limcharoen Advisor

2003

### ABSTRACT

This project is study and design circuit for starting Switched Reluctance Motor 3-phase and speed control Switched Reluctance Motor at constant condition with digital signal processing as DSP is processing so this project be used MOSFET is power switch with sensor positions and speed with sensor encoder signal to send up DSP is processing the DSP controller and connecting with operated circuit such as signals to send up gate drive circuit signals to receive form current sensor and sensor positions . There for speed control of motor . DSP to receive analog signals form Analog signal transfer digital signal processing After the processing . As speed control of motor with PI controller

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
ABSTRACT	II
สารบัญภาพ	V
สารบัญตาราง	IX
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ปัญหาและที่เป็นมา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	1
1.3 ขอบเขตของโครงการ	1
1.4 ส่วนประกอบต่าง ๆ ของปฏิญานพนธ์	1
บทที่ 2 ทฤษฎีพื้นฐาน	3
2.1 ทฤษฎีของสวิตช์รีลัคแทนซ์มอเตอร์	3
2.2 การประมวลผลสัญญาณดิจิทัล	15
2.3 ไมโครคอนโทรลเลอร์	20
2.4 มอสเฟตกำลัง	23
2.5 อินเวอร์เตอร์	28
2.6 ชุดตรวจจับสัญญาณ	30
บทที่ 3 หลักการที่นำมาใช้	34
3.1 หลักการของระบบควบคุม	34
3.2 หลักการแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นอนาล็อก	39
บทที่ 4 วงจรที่ใช้ในโครงการและการออกแบบ	41
4.1 บล็อกไดอะแกรมรวมของโครงการ	41
4.2 บล็อกไดอะแกรมแสดงกรหลักทำงานของโครงการ	41
4.3 วงจรอินเวอร์เตอร์	42
4.4 วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์	43
4.5 วงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นอนาล็อก	43
4.6 วงจรจับเกต	44
4.7 การตรวจจับกระแส	44
4.8 วงจรตีชัตติชี่คอนเวอร์เตอร์	45
บทที่ 5 ผลการทดลอง	46
บทที่ 6 บทวิจารณ์และสรุป	56
6.1 วิเคราะห์ผลของโครงการ	56
6.2 ปัญหาและแนวทางในการแก้ไขปัญหา	56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก. รูปชิ้นงาน

ภาคผนวก ข. โปรแกรม

ภาคผนวก ค. Data Sheet

กิตติกรรมประกาศ

เอกสารอ้างอิง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญภาพ

	หน้า
รูปที่ 2.1 แสดงสวิตช์รีล็คแดนซ์มอเตอร์ขนาด 8/6	3
รูปที่ 2.2 แสดงซิงโครนัสมอเตอร์	3
รูปที่ 2.3 แสดงมอเตอร์ขนาด 6/4 ขนาด 1 เฟส ขณะที่โรเตอร์อยู่ในตำแหน่ง aligned position	5
รูปที่ 2.4 แสดงมอเตอร์ขนาด 6/4 ขนาด 1 เฟส ขณะที่โรเตอร์อยู่ในตำแหน่ง unaligned position	5
รูปที่ 2.5 แสดงมอเตอร์ขนาด 6/4 ขนาด 1 เฟส ขณะที่โรเตอร์อยู่ในตำแหน่ง partial overlap position	5
รูปที่ 2.6 แสดงมอเตอร์ขนาด 6/4 ขนาด 1 เฟส ขณะที่โรเตอร์อยู่ในตำแหน่ง partial overlap position	6
รูปที่ 2.7 แสดงค่าความเหนี่ยวนำที่เปลี่ยนไปเมื่อตำแหน่งของ โรเตอร์เปลี่ยน	7
รูปที่ 2.8 (ภาพบน) เป็นกระแส 3 เฟส, ค่าความเหนี่ยวนำในอุดมคติ, และ flux-linkage 1 เฟส (ภาพล่าง)	7
รูปที่ 2.9 coenergy และพลังงานที่สะสมในสนามแม่เหล็ก	8
รูปที่ 2.10 การคำนวณหาแรงบิดชั่วขณะจากการเปลี่ยนแปลงของ coenergy ที่กระแสคงที่	8
รูปที่ 2.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง flux-linkage กับกระแสของมอเตอร์	9
รูปที่ 2.12 แสดงตัวอย่าง เครื่องกลแบบรีล็คแดนซ์ 1 เฟส, สเตเตอร์ 2 ขั้ว, โรเตอร์ 2 ขั้ว	9
รูปที่ 2.13 แสดงตำแหน่งแบบเรียงเป็นแนวเดียวกัน	10
รูปที่ 2.14 ตำแหน่งที่เรียงไม่เป็นแนวเดียวกัน	10
รูปที่ 2.15 การเปลี่ยนแปลงของความเหนี่ยวนำและแรงบิด ด้วยตำแหน่งของโรเตอร์, กระแสที่ขดลวดคงที่	11
รูปที่ 2.16 การเปลี่ยนแปลงของความเหนี่ยวนำ, กระแส, flux-linkage, แรงบิด, emf ของตำแหน่งโรเตอร์, พลังงานในอุดมคติของ unidirection current	11
รูปที่ 2.17 แสดงสภาวะที่จ่ายพลังงานจากแหล่งจ่ายทั้งหมดที่จ่ายให้มอเตอร์	13
รูปที่ 2.18 แสดงสภาวะที่หยุดจ่ายกระแสให้กับสเตเตอร์	13
รูปที่ 2.19 แสดงสภาวะที่มอเตอร์ทำงานครบ 1 วัฏ การทำงาน	14
รูปที่ 2.20 แสดงโครงสร้างภายในของ ADMC-401	16
รูปที่ 2.21 แสดงการจัดวางขาของ ADMC-401	16
รูปที่ 2.22 แสดงการต่อแหล่งจ่ายไฟให้กับบอร์ด ADMC-401	17
รูปที่ 2.23 แสดงการต่อ Encoder เข้ากับบอร์ด ADMC-401	17
รูปที่ 2.24 แสดงการต่อพอร์ทอนุกรมให้กับบอร์ด ADMC-401	18
รูปที่ 2.25 แสดงการจัดหน่วยความจำโปรแกรมของ ADMC-401	18
รูปที่ 2.26 แสดงการจัดหน่วยความจำข้อมูลของ ADMC-401	18
รูปที่ 2.27 แสดงโครงสร้างของการแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล	19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่ 2.28 แสดงสัญญาณอนาล็อกทางด้านอินพุตที่ป้อนให้กับบอร์ด ADMC-401	19
รูปที่ 2.29 แสดงการเชื่อมต่อตัวตรวจจับความเร็วรอบเอ็นโคเดอร์ (Encoder)	20
รูปที่ 2.30 แสดงบล็อกไดอะแกรมทางด้านอินพุตของเอ็นโคเดอร์	20
รูปที่ 2.31 การจัดขามาตรฐานของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ในอนุกรม AT89C5X	21
รูป 2.32 แสดงรายละเอียดสถาปัตยกรรมภายในของไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ AT89C51	22
รูปที่ 2.33 ประเภทของเฟด	23
รูปที่ 2.34 ลักษณะโครงสร้างของ FET ชนิดหัวต่อ PN	24
รูปที่ 2.35 โครงสร้างของเฟดที่เกิดมีนนวนกัน	25
รูปที่ 2.36 โครงสร้างของ เจเฟด และมอสเฟด	25
รูปที่ 2.37 แสดงโครงสร้างของ Mode การทำงาน	26
รูปที่ 2.38 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $V_{DS}$ และ $I_D$	26
รูปที่ 2.39 แสดงการต่อขานานมอสเฟด	27
รูปที่ 2.40 แสดงวงจรอินเวอร์เตอร์เบื้องต้นที่ใช้กับสวิตช์รีลักแทนซ์มอเตอร์	28
รูปที่ 2.41 แสดงสถานะที่จ่ายกระแสให้กับขดลวดของมอเตอร์	29
รูปที่ 2.42 แสดงสถานะที่หยุดจ่ายกระแสให้กับขดลวดของมอเตอร์	29
รูปที่ 2.43 แสดงสถานะที่มอเตอร์คืนพลังงานกลับสู่แหล่งจ่าย	30
รูปที่ 2.44 แสดงสัญญาณกระแส, แรงดันและค่า flux linkage	30
รูปที่ 2.45 แสดงการต่อ current sensor ใช้งาน	31
รูปที่ 2.46 แสดง current sensor ที่ใช้ในโครงการ	31
รูปที่ 2.47 แสดงสัญญาณที่ได้จาก Encoder	32
รูปที่ 2.48 แสดง Encoder ที่ใช้ในโครงการ	32
รูปที่ 2.49 แสดงสัญญาณอินพุตที่ได้จากเอ็นโคเดอร์	33
รูปที่ 3.1 แสดงตัวอย่างของระบบควบคุมแบบเปิด	34
รูปที่ 3.2 แสดงตัวอย่างของระบบควบคุมแบบป้อนกลับ	34
รูปที่ 3.3 บล็อกไดอะแกรมตัวควบคุมแบบเปิดปิด	35
รูปที่ 3.4 บล็อกไดอะแกรมตัวควบคุมแบบพี	35
รูปที่ 3.5 บล็อกไดอะแกรมตัวควบคุมแบบไอ	35
รูปที่ 3.6 บล็อกไดอะแกรมตัวควบคุมแบบพีไอ	36
รูปที่ 3.7 บล็อกไดอะแกรมตัวควบคุมแบบพีดี	36
รูปที่ 3.8 บล็อกไดอะแกรมตัวควบคุมแบบพีไอดี	37
รูปที่ 3.9 แสดงผลการตอบสนองของกระบวนการอันดับหนึ่งที่ใช้เครื่องควบคุมแบบพี	37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่ 3.10 ผลการตอบสนองของกระบวนการที่มีการควบคุมแบบพีไอและปรับค่า $K$ ,	38
รูปที่ 3.11 บล็อกไดอะแกรมของระบบที่มีการป้อนกลับแบบพีไอ	39
รูปที่ 3.12 แสดงวงจรพื้นฐานของการแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล	39
รูปที่ 3.13 แสดงวงจร DAC แบบ R-2R ที่มีการใช้โอปแอมป์ในการแปลงค่ากระแสให้เป็น	40
รูปที่ 4.1 แสดงบล็อกไดอะแกรมรวมของโครงการงาน	41
รูปที่ 4.2 แสดงบล็อกไดอะแกรมแสดงการทำงานของโครงการงาน	41
รูปที่ 4.3 แสดงวงจรอินเวอร์เตอร์ที่ใช้ในโครงการงาน	42
รูปที่ 4.4 แสดงการต่อไมโครคอนโทรลเลอร์	43
รูปที่ 4.5 แสดงการเชื่อมต่อวงจร DAC โดยใช้ IC DAC7541A เข้ากับไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS51	43
รูปที่ 4.6 แสดงวงจรที่ใช้ในการจับมอดเฟส	44
รูปที่ 4.7 แสดงการต่อ current sensor ใช้งาน	45
รูปที่ 4.8 แสดงวงจรดีซีทูดีซีอินเวอร์เตอร์ 5 โวลต์	45
รูปที่ 4.9 แสดงวงจรดีซีทูดีซีอินเวอร์เตอร์ -5 โวลต์	45
รูปที่ 5.1 แสดงสัญญาณกระแสที่เกิดจากการลัดโรเตอร์ที่เฟส C	46
รูปที่ 5.2 แสดงสัญญาณพีคเบ็คยูเอม	47
รูปที่ 5.3 แสดงการหมุนของมอเตอร์ในทิศทางตามเข็มนาฬิกา	47
รูปที่ 5.4 แสดงการหมุนของมอเตอร์ในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา	47
รูปที่ 5.5 แสดงสัญญาณกระแสในขณะที่มอเตอร์เริ่มหมุนในทิศทางตามเข็มนาฬิกา ที่ความเร็ว 500 รอบต่อนาที	48
รูปที่ 5.6 แสดงสัญญาณกระแสในขณะที่มอเตอร์หมุนในทิศทางตามเข็มนาฬิกา ที่ความเร็ว 1500 รอบต่อนาที	48
รูปที่ 5.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสกับความเร็วมอเตอร์ ในทิศทางตามเข็มนาฬิกา ที่สภาวะ No-load	49
รูปที่ 5.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสกับความเร็วมอเตอร์ ในทิศทางตามเข็มนาฬิกา ที่สภาวะมี load	49
รูปที่ 5.9 แสดงสัญญาณกระแสในขณะที่มอเตอร์เริ่มหมุนในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา ที่ความเร็ว 800 รอบต่อนาที	50
รูปที่ 5.10 แสดงสัญญาณกระแสในขณะที่มอเตอร์หมุนในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา ที่ความเร็ว 1500 รอบต่อนาที	50
รูปที่ 5.11 แสดงสัญญาณกระแสในขณะที่มอเตอร์หมุนในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญภาพ (ต่อ)

ที่ความเร็ว 4000 รอบต่อนาที	50
รูปที่ 5.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสกับความเร็วของมอเตอร์ ในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา ที่สภาวะ No-load	51
รูปที่ 5.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสกับความเร็วของมอเตอร์ ในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา ที่สภาวะมี load	52
รูปที่ 5.14 แสดงสัญญาณกระแสในขณะที่มีมอเตอร์หมุนในทิศทางตามเข็มนาฬิกา	52
รูปที่ 5.15 แสดงสัญญาณกระแสในขณะที่มีมอเตอร์กำลังจะหยุดหมุน	53
รูปที่ 5.16 แสดงสัญญาณกระแสในขณะที่มีมอเตอร์หมุนเปลี่ยน ไปในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา	53
รูปที่ 5.17 แสดงการหมุนของมอเตอร์เมื่อมอเตอร์มีความเร็วรอบ 1000 รอบต่อนาที	53
รูปที่ 5.18 แสดงการหมุนของมอเตอร์เมื่อมอเตอร์มีความเร็วรอบ 1500 รอบต่อนาที	54
รูปที่ 5.19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสกับความเร็วของมอเตอร์ในทิศทางตามเข็ มนาฬิกา ที่สภาวะ No-load เมื่อใส่ระบบควบคุมแบบป้อนกลับ	55
รูปที่ 5.20 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสกับความเร็วของมอเตอร์ในทิศทางตามเข็ มนาฬิกา ที่สภาวะมี load เมื่อใส่ระบบควบคุมแบบป้อนกลับ	55

## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 แสดงการเปรียบเทียบสวิตช์รีลัคแทนซ์มอเตอร์กับซิงโครนัสมอเตอร์ในทางอุดมคติ	4
ตารางที่ 2.2 การเปรียบเทียบสวิตช์รีลัคแทนซ์มอเตอร์กับสเต็ปป์มอเตอร์ในทางอุดมคติ	4
ตารางที่ 2.3 แสดงการต่อสายของ Encoder ที่ใช้ในโรงงาน	32
ตารางที่ 5.1 ตารางแสดงการหมุนของมอเตอร์หมุนในทิศทางตามเข็มนาฬิกา	48
ตารางที่ 5.2 ตารางแสดงการหมุนของมอเตอร์หมุนในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา	51
ตารางที่ 5.3 ตารางแสดงการหมุนของมอเตอร์หมุนในทิศทางตามเข็มนาฬิกา เมื่อใช้ระบบควบคุมแบบป้อนกลับ	54



# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ปัญหาและที่เป็นมา

เนื่องจากสวิตช์รีลักแตนซ์มอเตอร์ในอดีตนั้นมีการควบคุมยาก เพราะต้องใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ในการควบคุมและมอเตอร์กระแสตรงที่ใช้ในปัจจุบันนี้ มีการสูญเสียเนื่องจากแรงต้านและมีขีดจำกัดแรงดันด้านอินพุตที่ทำการจ่ายให้กับมอเตอร์เพราะมอเตอร์กระแสตรงจะเกิดการอาร์คบริเวณคอมมิวเตเตอร์ที่แรงต้าน ส่วนมอเตอร์กระแสสลับจะมีประสิทธิภาพที่ต่ำกว่ามอเตอร์กระแสตรงที่พิกัดเดียวกัน ดังนั้นจึงได้มีการพัฒนาสร้างสวิตช์รีลักแตนซ์มอเตอร์ขึ้นมาใช้งานในปัจจุบันอีกครั้งหนึ่ง เนื่องจากสวิตช์รีลักแตนซ์มอเตอร์มีแรงบิดสูงกว่าเมื่อเทียบกับมอเตอร์กระแสตรง และมอเตอร์กระแสสลับที่พิกัดขนาดเดียวกัน และอิเล็กทรอนิกส์ในปัจจุบันมีการพัฒนาไปมาก ดังนั้นจึงได้มีการสร้างชุดขับให้กับสวิตช์รีลักแตนซ์มอเตอร์ขึ้น ดังนั้นในโครงการนี้จึงได้เสนอวิธีการในการขับเคลื่อนสวิตช์รีลักแตนซ์มอเตอร์ โดยใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลัง และใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นตัวสร้างสัญญาณขับให้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลัง

### 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. เพื่อศึกษาโครงสร้างและการทำงานของสวิตช์รีลักแตนซ์มอเตอร์ แบบ 3 - phase
2. เพื่อศึกษาวิธีการควบคุมสวิตช์รีลักแตนซ์มอเตอร์โดยใช้ DSP
3. เพื่อทำการออกแบบวงจรในการขับเคลื่อนสวิตช์รีลักแตนซ์มอเตอร์ด้วยอุปกรณ์เพาเวอร์อิเล็กทรอนิกส์
4. เพื่อศึกษาระบบควบคุมให้มีกระแสในเฟสให้คงที่

### 1.3 ขอบเขตของโครงการ

1. ศึกษาคุณลักษณะของสวิตช์รีลักแตนซ์มอเตอร์ได้
2. สามารถออกแบบอินเวอร์เตอร์และชุดขับเกทของสวิตช์รีลักแตนซ์มอเตอร์ได้
3. สามารถควบคุมให้มีกระแสในเฟสให้คงที่ได้

### 1.4 ส่วนประกอบต่าง ๆ ของปริยญาณิพนธ์

เนื้อหาภายในปริยญาณิพนธ์เล่มนี้ประกอบด้วย

- บทที่ 2 จะกล่าวถึงทฤษฎีพื้นฐานที่นำมาใช้เป็นแนวคิดในการทำโครงการ ซึ่งจะอธิบายทฤษฎีตามส่วนต่าง ๆ ของระบบ อันได้แก่ ทฤษฎีของสวิตช์รีลักแตนซ์มอเตอร์ (Switched Reluctance Motor) , การประมวลผลสัญญาณดิจิทัล ( Digital Signal Processing ) , ไมโครคอนโทรลเลอร์ (

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Microcontroller) , มอสเฟตกำลัง ( POWER MOSFET ) , อินเวอร์เตอร์ ( Inverter ) และการตรวจจับสัญญาณ

- บทที่ 3 จะกล่าวถึงหลักการที่นำมาใช้ ในการออกแบบระบบรวมของโครงการการขับเคลื่อน สวิตช์รีเลย์ขับเคลื่อนมอเตอร์เพื่อเป็นพื้นฐานในการพิจารณาว่าควรศึกษาเรื่องใดบ้าง

- บทที่ 4 จะแสดงถึงวงจรที่ใช้งานจริงและวิธีการคำนวณออกแบบวงจรที่ใช้งาน โดยจะแสดง วงจรและการออกแบบตามส่วนต่าง ๆ ของระบบดังที่กล่าวไว้ในบทที่ 2

- บทที่ 5 จะกล่าวถึงการทดลองต่าง ๆ ที่ได้ทำการทดลองขึ้นและผลการทดลองที่บันทึกไว้ โดย จะแสดงผลในรูปแบบของตารางและกราฟ เพื่อให้สามารถเข้าใจและวิเคราะห์ผลการทดลองได้ง่ายขึ้น

- บทที่ 6 จะเป็นบทสรุปและวิจารณ์โครงการว่าเป็นอย่างไร มีประสิทธิภาพมากน้อยเพียงใด ปัญหาที่เกิดขึ้นและแนวทางแก้ไขปรับปรุงระบบ รวมถึงคำแนะนำ คำวิจารณ์ทุกเรื่องที่เกิดขึ้นในระหว่าง ทำโครงการ เพื่อให้ผู้อ่านได้รู้ข้อมูลและเห็นแนวทางที่จะปฏิบัติได้ง่ายขึ้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2 ทฤษฎีพื้นฐาน

### 2.1 ทฤษฎีของสวิตช์รีลักแทนซ์มอเตอร์

สวิตช์รีลักแทนซ์มอเตอร์ คือ มอเตอร์ไฟฟ้าที่สร้างแรงบิดโดยการป้อนกระแสพัลส์ทำให้หมุนไปในทิศทางที่ทำให้เกิดค่าความเหนี่ยวนำสูงสุด และทำให้เกิดการเปลี่ยนตำแหน่งของส่วนที่เคลื่อนที่ การเคลื่อนที่จะเป็นแบบหมุนหรือเคลื่อนที่ในแนวราบเป็นเส้นตรง โดยที่โรเตอร์อาจจะอยู่ภายในหรือภายนอกก็ได้ ที่สเตเตอร์จะถูกพันด้วยขดลวดซึ่งโดยทั่วไปประกอบด้วยวงจรทางไฟฟ้าเฟสหรือแยกขด แต่ละเฟสสามารถป้อนกระแสแยกเป็นอิสระต่อกัน ในขณะที่ทำงานเป็นมอเตอร์ ขดลวดแต่ละเฟสจะถูกกระตุ้นด้วยกระแสพัลส์ ทำให้ค่าความเหนี่ยวนำเพิ่มขึ้นและในขณะที่ทำงานเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้า จะไม่ถูกกระตุ้นกระแสพัลส์ทำให้ค่าความเหนี่ยวนำ ลดลงซึ่งจะตรงข้ามกับในขณะที่ทำงานเป็นมอเตอร์ โดยรูปที่ 2.1 จะแสดงสวิตช์รีลักแทนซ์มอเตอร์ขนาดที่มีขนาดสเตเตอร์ 8 โพลและโรเตอร์ 6 โพล



รูปที่ 2.1 แสดงสวิตช์รีลักแทนซ์มอเตอร์ขนาด 8/6

รูปที่ 2.2 เป็นรูปแบบของซิงโครนัสมอเตอร์ ซึ่งในทางอุดมคติถือว่าซิงโครนัสมอเตอร์เป็นสวิตช์รีลักแทนซ์มอเตอร์ชนิดหนึ่ง



รูปที่ 2.2 แสดงซิงโครนัสมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.1.1 การเปรียบเทียบสวิตซ์รีลักแทนซ์มอเตอร์กับซิงโครนัสมอเตอร์ และ สเต็ปป์มอเตอร์ในทางอุดมคติ

มอเตอร์ทั้ง 3 ชนิดนี้มีความคล้ายคลึงกันและแตกต่างกันดังจะอธิบายดังต่อไปนี้

### 2.1.1.1 ความสัมพันธ์ระหว่างสวิตซ์รีลักแทนซ์มอเตอร์กับซิงโครนัสมอเตอร์

ตารางที่ 2.1 แสดงการเปรียบเทียบสวิตซ์รีลักแทนซ์มอเตอร์กับซิงโครนัสมอเตอร์ในทางอุดมคติ

Switched reluctance motor	Synchronons reluctance motor
1. stator และ rotor เป็นแบบ salientpole	1. สเตเตอร์จะเรียงทำเป็น slot
2. ขดลวดที่สเตเตอร์จะรวมกันเป็นขูดหรือ coils แต่ละขูดจะพันเป็น 1 ขั้วแม่เหล็ก	2. ที่สเตเตอร์มีขดลวด 3 เฟส ซึ่งขดลวดจะกระจายออกและเป็นรูป sine โดยประมาณ
3. ในการกระตุ้นแต่ละเฟสนั้นจะใช้ค่าคัมเพลสของกระแสพลัสส์	3. การกระตุ้นทั้ง 3 เฟส จะใช้สัญญาณกระแส sinewave แบบสมดุล(phase balance)
4. ในขณะที่มอเตอร์หมุน flux-linkage จะเป็นสัญญาณรูปสามเหลี่ยมหรือ sawtooth แต่จะไม่เปลี่ยนแปลงตามกระแส	4. ค่า L ภายใน จะเปลี่ยนตามสัญญาณ sine ตามตำแหน่งของโรเตอร์ แต่ไม่เปลี่ยนตามกระแส

### 2.1.1.2 ความสัมพันธ์ระหว่าง สวิตซ์รีลักแทนซ์มอเตอร์กับ สเต็ปป์มอเตอร์

สวิตซ์รีลักแทนซ์มอเตอร์มีองค์ประกอบทางด้าน โครงสร้างและส่วนของวงจรทางแม่เหล็ก เหมือนกับสเต็ปป์มอเตอร์ ดังรูปที่ 2.1 แต่จะแตกต่างกันที่การออกแบบวิธีการในการควบคุมและสมรรถนะของคุณลักษณะในการใช้งาน ซึ่งข้อแตกต่างจะกล่าวดังต่อไปนี้

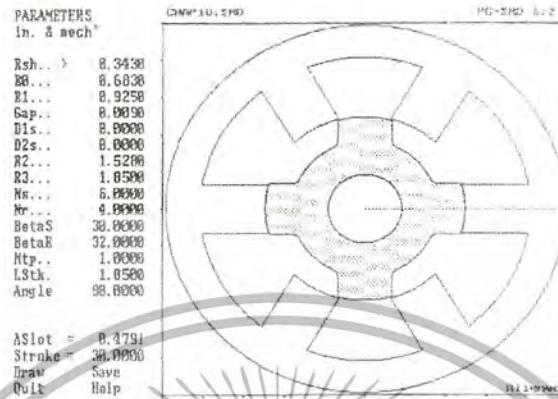
ตารางที่ 2.2 การเปรียบเทียบสวิตซ์รีลักแทนซ์มอเตอร์กับสเต็ปป์มอเตอร์ในทางอุดมคติ

Switched reluctance motor	VR stepper motor
1. ในการทำงานปกติจะต้องทำการตรวจจับตำแหน่งเพลลาและทำการป้อนกลับมายังระบบ โดยให้กระแสเฟสและตำแหน่งของโรเตอร์ไปพร้อม ๆ กัน	1. ในการทำงานปกติมอเตอร์จะหมุนแบบ open-loop โดยไม่ต้องทำการตรวจจับตำแหน่งของเพลลา
2. ออกแบบให้มีประสิทธิภาพในการให้พลังงานสูง	2. ออกแบบให้มี step มาสมบูรณ์แล้วเมื่อได้รับการป้อนพลังงาน

### 2.1.2 หลักการเปลี่ยนพลังงานของสวิตซ์รีลักแทนซ์มอเตอร์

ในรูปที่ 2.3 ถึง รูปที่ 2.6 แสดงมอเตอร์ 6/4 คือมีสเตเตอร์ 6 ขั้วและมีโรเตอร์ 4 ขั้ว มอเตอร์ 6/4 เป็นแบบ 3 เฟส แต่ละเฟสประกอบด้วย 2 ขดลวด ที่วางตรงข้ามกันและต่อถึงกันเพื่อเสริมฟลักซ์แม่เหล็ก ซึ่งอาจจะต่ออนุกรมกันหรือขนานกันก็ได้ แต่ในที่นี้จะสมมติให้ต่ออนุกรมกัน ซึ่งในรูปที่ 2.3 โรเตอร์อยู่ในตำแหน่ง aligned position เป็นตำแหน่งที่ทำให้เกิดค่าความเหนี่ยวนำมากที่สุดในรูปแบบเมื่อโรเตอร์เอ็กสาร์ทเป็นเอ็กสาร์ทสองวินาทีสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หมุนไปในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา ดังรูปที่ 2.4 โรเตอร์อยู่ในตำแหน่ง *unaligned position* เป็นตำแหน่งที่ทำให้เกิดค่าความเหนี่ยวนำน้อยที่สุด ต่อมาเมื่อโรเตอร์หมุนต่อไปในทิศทางทวนเข็มนาฬิกาอีก 2 ครั้งคือ ดังรูปที่ 2.5 และรูป 2.6 โรเตอร์อยู่ในตำแหน่ง *partial overlap position* จะเกิดค่าความเหนี่ยวนำค่าหนึ่ง



รูปที่ 2.3 แสดงมอเตอร์ขนาด 6/4 ขนาด 1 เฟส ขณะที่โรเตอร์อยู่ในตำแหน่ง *aligned position*

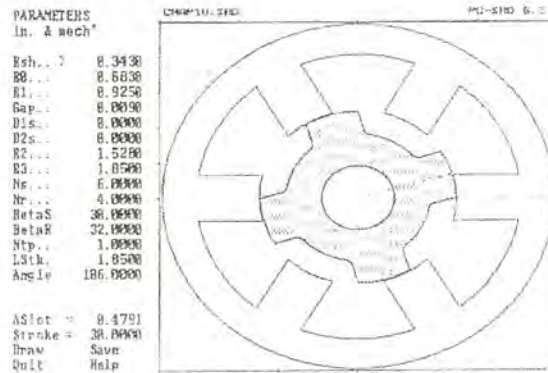


รูปที่ 2.4 แสดงมอเตอร์ขนาด 6/4 ขนาด 1 เฟส ขณะที่โรเตอร์อยู่ในตำแหน่ง *unaligned position*



รูปที่ 2.5 แสดงมอเตอร์ขนาด 6/4 ขนาด 1 เฟส ขณะที่โรเตอร์อยู่ในตำแหน่ง *partial overlap position*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 แสดงมอเตอร์ขนาด 6/4 ขนาด 1 เฟส ขณะที่โรเตอร์อยู่ในตำแหน่ง *partial overlap position*

#### - ตำแหน่งแนวตั้ง (aligned position)

เมื่อขั้วของโรเตอร์คู่ใดก็ได้มีตำแหน่งตรงกับขั้วของสเตเตอร์ของเฟส 1 เราจะเรียกตำแหน่งนี้ว่า aligned position ดังรูปที่ 2.3 [ phase 1 มีขั้วอยู่ในแกนแนวนอน ] เมื่อจ่ายกระแสให้ phase 1 จะไม่เกิดแรงบิดที่ตำแหน่งนี้ และโรเตอร์เป็นตำแหน่งที่มีค่า  $L$  มากที่สุด

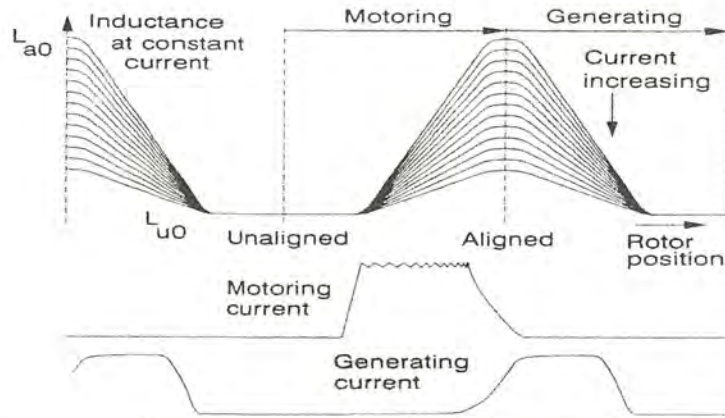
ที่ aligned position ค่า  $L$  ในเฟสจะมีค่ามากที่สุด เพราะความต้านทานของแม่เหล็กของฟลักซ์มีค่าน้อยสุด ความต้านทานแม่เหล็กใน air gap จะมีค่ากระแสต่ำมาก แต่เมื่อผ่านไปนาน ๆ สเตเตอร์จะดูดซับ EMF ได้มากจะต้องลดค่า  $L$  และค่ากระแสลง ถ้าโรเตอร์ไม่ได้อยู่ที่ aligned position (มีระยะห่าง) ดังรูปที่ 2.5 และ รูปที่ 2.6 จะเกิดแรงบิดเมื่อหมุนไปยัง aligned position ถัดไป

#### - ตำแหน่งที่ไม่ใช่แนวตั้ง (unaligned position)

เมื่อแกนของโรเตอร์ไม่อยู่ตรงกับขั้วของเฟส 1 ของสเตเตอร์ เราจะเรียกตำแหน่งนี้ว่า unaligned position ดังรูป 2.4 เมื่อมีกระแสไหลในเฟส 1 จะไม่เกิดแรงบิดที่ตำแหน่งนี้ แรงบิดจะเกิดขึ้นเมื่อโรเตอร์หมุนไป aligned position ต่อไป ที่ unaligned position ค่า  $L$  ในเฟสจะมีค่าน้อยสุด เพราะความต้านทานของฟลักซ์แม่เหล็กมีค่ามากที่สุด เป็นผลมาจาก air gap ระหว่าง สเตเตอร์ และ โรเตอร์มากทำให้เส้นทางของแม่เหล็กในสเตเตอร์ยาวขึ้น มีผลทำให้ความต้านทานในช่องอากาศมากเมื่อมีช่องว่างของเหล็กมาก

#### 2.1.3 แรงบิดชั่วขณะ (Instantaneous torque)

เมื่อกระแสไหลในเฟสหนึ่ง จะทำให้เกิดแรงบิดและทำให้มอเตอร์หมุนไปในทิศทางหนึ่ง มีผลทำให้ค่า  $L$  มีค่าเพิ่มขึ้น จนกระทั่งถึงตำแหน่งที่ค่า  $L$  มีค่าสูงสุด



รูปที่ 2.7 แสดงค่าความเหนี่ยวนำที่เปลี่ยนไปเมื่อตำแหน่งของโรเตอร์เปลี่ยน

ทิศทางของแรงบิดจะเกิดใกล้ๆกับ aligned position เพราะฉะนั้นจะสามารถสร้างแรงบิดที่เป็นบวกได้ถ้าโรเตอร์อยู่ระหว่าง unaligned position กับ aligned position ถัดไปในทิศทางเดียวกัน ในขณะที่เดียวกันในขณะที่มีมอเตอร์มีแรงบิด ค่า  $L$  มีค่าเพิ่มขึ้นด้วย ดังรูป 2.5 และ 2.6 ถ้าขั้วของโรเตอร์และสเตเตอร์สมมาตรกัน แต่ละเฟสจะสามารถสร้างแรงบิดไปในทิศทางเดียวกันได้มากกว่าครึ่งหนึ่งของระยะ pole-pitch ของโรเตอร์ ผลที่ตามมาคือ อีก 2 เฟส ต้องสร้างแรงบิดไปในทิศทางเดียวกันในทุกๆตำแหน่งของโรเตอร์ ดังรูป 2.8 แสดงการสร้างแรงบิดในทิศทางเดียวกันในมอเตอร์ 6/4 โดย หมายถึง ความเหลื่อมระหว่างรูปคลื่นกระแสใน 3 เฟส ถ้ามีกระแสไหลเมื่อโรเตอร์อยู่ในตำแหน่งที่ค่า  $L$  มีค่าลดลง ในทิศทางของการหมุนนั้นจะทำให้แรงบิดเป็นลบหรือทำงานเป็นเครื่องกำเนิด (beaking or generating)



รูปที่ 2.8 (ภาพบน) เป็นกระแส 3 เฟส, ค่าความเหนี่ยวนำในอุดมคติ, และ flux-linkage 1 เฟส (ภาพล่าง) เป็นแรงบิดชั่วขณะ และ ผลรวมของแรงบิด 1 เฟส

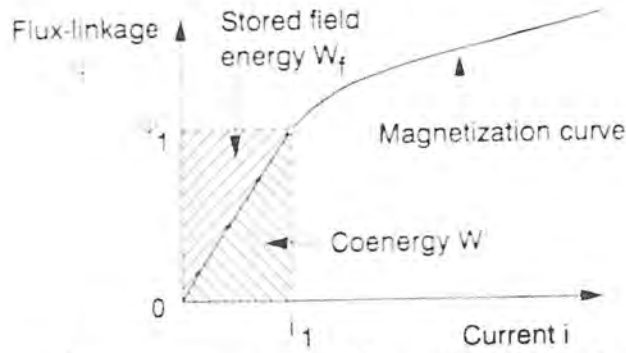
สมการทั่วไปที่ใช้หาแรงบิดที่เกิดขึ้นในหนึ่งเฟส ณ ตำแหน่งใดๆ ก็ได้

$$T = \left[ \frac{\partial W'}{\partial \theta} \right]_{I=CONST} \tag{2.1}$$

เมื่อ  $W'$  คือ coenergy ที่ตำแหน่งใด ๆ coenergy คือพื้นที่ด้านล่างของกราฟอำนาจแม่เหล็ก (magnetization curve) ดังรูปที่ 2.9

$$W' = \int \psi di \tag{2.2}$$

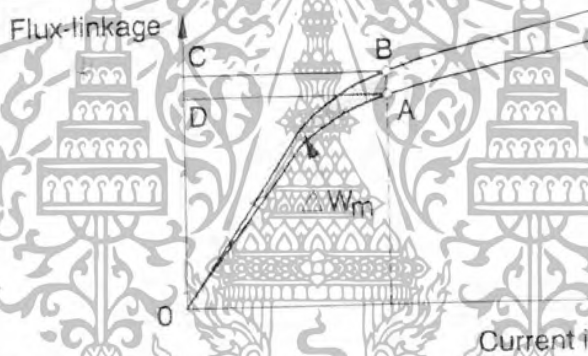
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.9 coenergy และพลังงานที่สะสมในสนามแม่เหล็ก

จากสมการแรงบิดชั่วขณะ สามารถหาได้จาก:

เมื่องาน  $(\Delta W_m)$  หารด้วย  $(\Delta \theta)$  และเมื่อ  $(\Delta W_m)$  คืองานที่น้อยๆเกิดขึ้น เมื่อกระแสคงที่ ตำแหน่งที่โรเตอร์หมุนไปคือ  $(\Delta \theta)$  จากรูปที่ 2.10 จะเกิดการแลกเปลี่ยนพลังงานระหว่างแหล่งจ่าย และเปลี่ยนในรูปของพลังงานสนามแม่เหล็กสะสม ดังนั้นงานทางกลจะเท่ากับการเปลี่ยนแปลงของ coenergy ดังนั้นจึงกำหนดได้ดังนี้



รูปที่ 2.10 การคำนวณหาแรงบิดชั่วขณะจากการเปลี่ยนแปลงของ coenergy ที่กระแสคงที่

$\Delta \theta$  คือ การเคลื่อนที่จาก A ถึง B ในรูปที่ 2.10 ในขณะที่กระแส พลังงานแลกเปลี่ยนที่แหล่งจ่าย คือ

$$\Delta W_c = ABCD \tag{2.3}$$

พลังงานแม่เหล็กสะสมที่ถูกแลกเปลี่ยน คือ

$$\Delta W_f \text{ คือ } OBC - OAD \tag{2.4}$$

เพราะฉะนั้นงานทางกลที่ได้ คือ

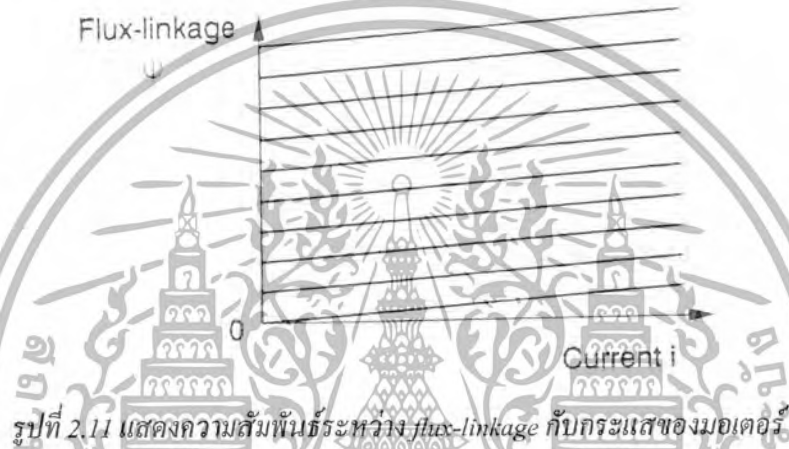
$$\begin{aligned} \Delta W_m &= T \Delta \theta \tag{2.5} \\ &= \Delta W_c - \Delta W_f \\ &= ABCD - (OBC - OAD) \\ &= (ABCD + OAD) - OBC \\ &= OAB \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นพลังงานทั้งหมดที่แหล่งจ่ายไม่ใช้พลังงานทั้งหมด ที่เปลี่ยนแปลงเป็นงานทางกลได้แต่จะถูกสะสมในรูปของสนามแม่เหล็กและพลังงานที่สะสมในรูปสนามแม่เหล็ก จะไม่สูญหายไปไหนแต่พลังงานที่เปลี่ยนจากการหมุนจาก A ถึง B ไม่สามารถใช้ประโยชน์ได้สิ่งที่สำคัญ คือจะทำให้ C filter มีขนาดที่ใหญ่ขึ้น

ในรูปที่ 2.11 จะแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง flux-linkage กับกระแสของมอเตอร์ ซึ่งจะอธิบายได้ว่าเมื่อโรเตอร์อยู่ในตำแหน่ง aligned position จะมีค่า flux-linkage สูง และเมื่อโรเตอร์อยู่ในตำแหน่ง unaligned position จะมีค่า flux-linkage ต่ำ

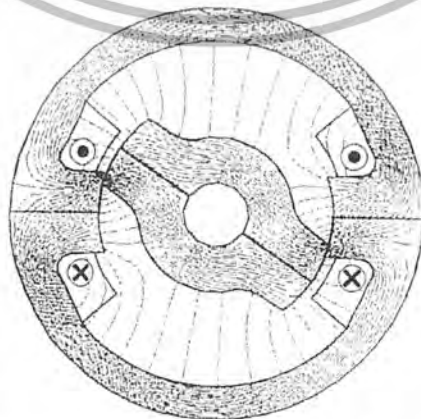
ค่า L เพิ่มขึ้นจาก 0 ( unaligned ) ถึง ( aligned ) เป็นสภาวะที่ทำงานเป็นมอเตอร์ ( Motoring ) หลังจากนั้นถ้าจ่ายกระแส แรงบิดจะเป็นเป็นลบ (-) เป็นสภาวะ Generating



2.1.3.1 การแปรผันความเหนี่ยวนำกับตำแหน่งของโรเตอร์

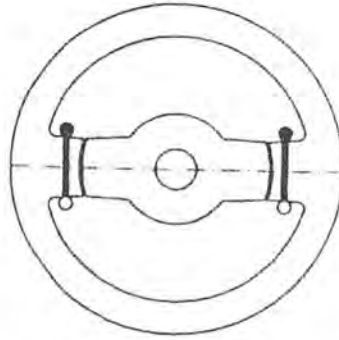
ในตัวอย่างเครื่องกลดังแสดงในรูปที่ 2.12-2.14 ขดลวดความเหนี่ยวนำ L และตำแหน่งของโรเตอร์มุมของ  $\theta$  ก็เช่นกัน ดังแสดงในรูปที่ 2.15

เมื่อมอเตอร์หมุนไปในทิศทางบวก คือ การหมุนที่สททางทวนเข็มนาฬิกา สมมติว่าขดลวดให้กระแสคงที่ เมื่อมอเตอร์หมุนไปในทิศทางบวกจะทำให้เกิดแรงบิดและทำให้เกิดค่าความเหนี่ยวนำที่เพิ่มขึ้นที่ ในขณะที่โรเตอร์ใกล้เข้าสู่สภาวะตำแหน่งแบบเรียงเป็นแนวเดียวกัน ( aligned )



รูปที่ 2.12 แสดงตัวอย่าง เครื่องกลแบบปริล็คแตนท์ 1 เฟส, สเตเตอร์ 2 ขั้ว, โรเตอร์ 2 ขั้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.13 แสดงตำแหน่งแบบเรียงเป็นแนวเดียวกัน

คือค่าระหว่างตำแหน่ง  $J$  และ  $A$  ที่ตำแหน่ง  $J$  เมื่อขอบของขั้วโรเตอร์นำหน้าเรียงเป็นแนวเดียวกันกับขอบของขั้วสเตเตอร์ เริ่มแรกที่ตำแหน่ง  $A$  เมื่อขั้วของโรเตอร์และขั้วของสเตเตอร์อยู่ตรงกัน ดังนั้นจึงอธิบายได้ว่าที่  $J$  เป็นจุดเริ่มต้นของการซ้อนกัน, ที่จุด  $A$  เป็นจุดที่มีการซ้อนกันสูงสุด และที่  $K$  เป็นจุดสิ้นสุดของการเหลื่อมซ้อนกัน

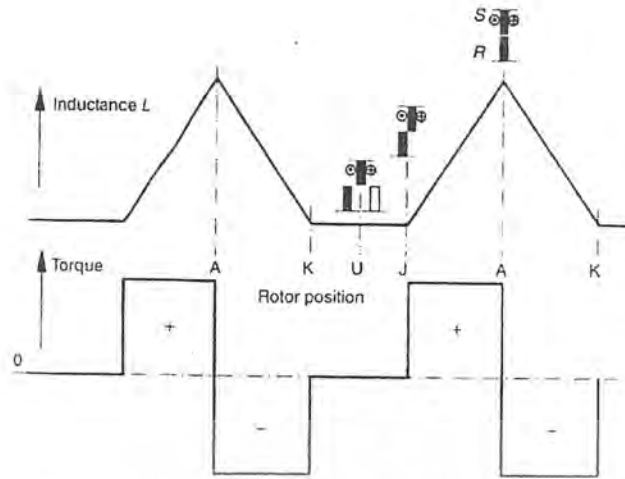
แรงบิดเปลี่ยนทิศทางที่ตำแหน่งเรียงเป็นแนวเดียวกัน ถ้าโรเตอร์อยู่ติดกับส่วน  $A$  จะเกิดแรงดึงดูดระหว่างขั้วทำให้แรงบิดลดลง

ถ้าเครื่องจักรหมุนด้วยกระแสในขดลวดคงที่แรงบิดอิมพัลส์ทั้งบวกและลบจะหักล้างกัน ดังนั้นค่าเฉลี่ยในไซเคิลนั้นจะเป็นศูนย์พอดี การที่จะกำจัดแรงบิดอิมพัลส์ที่เป็นลบนั้น ต้องทำการหยุดจ่ายกระแส ขณะที่ขั้วแยกออกจากกัน, i.e. ที่ช่องว่าง  $A_r$

รูปคลื่นของกระแสทางอุดมคติจะมีความต่อเนื่องกันของช่องว่างระหว่างพัลส์ซึ่งโครโนซ์กับการเหนี่ยวนำที่เพิ่มขึ้นและรูปคลื่นของแรงบิดในทางอุดมคติจะคล้ายกับรูปคลื่นของกระแส



รูปที่ 2.14 ตำแหน่งที่เรียงไม่เป็นแนวเดียว



รูปที่ 2.15 การเปลี่ยนแปลงของความเหนี่ยวนำและแรงบิด ด้วยตำแหน่งของ โรเตอร์, กระแสที่ขดลวดคงที่ รูปเล็กแสดงตำแหน่งที่สัมพันธ์กันของขั้ว โรเตอร์และขั้วสเตเตอร์, โรเตอร์หมุนไปทางขวา เมื่อ A คือ ตำแหน่งที่เรียงเป็นแนวเดียวกัน, U คือ ตำแหน่งที่เรียงไม่เป็นแนวเดียวกัน J คือ จุดเริ่มต้นของการเหลื่อมซ้อนกัน และ K คือ จุดสิ้นสุดของการเหลื่อมซ้อนกัน



รูปที่ 2.16 การเปลี่ยนแปลงของความเหนี่ยวนำ, กระแส, flux-linkage, แรงบิด, emf ของตำแหน่ง โรเตอร์, พัลส์ทางอุดมคติของ unidirection current

รูปคลื่นของกระแสและความเหนี่ยวนำของสนามแม่เหล็กเป็นรูปคลื่นสามเหลี่ยม

$$\psi = Li \tag{2.6}$$

ดังนั้นรูปคลื่นไม่สามารถทำงานเพราะสนามแม่เหล็กและกระแสเกิดการสูญเสียอย่างรวดเร็วจะทำให้แรงดันเป็นลบมาก( infinite)

$$\frac{d\psi}{dt} = -\infty \tag{2.7}$$

### 2.1.3.2 การวิเคราะห์เส้นตรงของแรงดันสมดุลและแรงบิด

การสมมุติค่าความเหนี่ยวนำไม่มีผลกระทบต่อกระแสคือ ไม่มีสนามแม่เหล็กอ้อมตัวผลกระทบของการโค้งตัวของสนามแม่เหล็กรอบๆ มุมตรงขั้ว และสมมุติว่าสนามแม่เหล็กทั้งหมดข้ามช่องว่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อากาศในทิศทางของรัศมีทางกลการเชื่อมต่อระหว่างเฟสโดยปกติเป็นศูนย์หรือเล็กน้อย และ ไม่สนใจ สมการแรงดันสำหรับ 1 เฟส

$$\begin{aligned}
 v &= \frac{d\psi}{dt} + \frac{d\psi}{dt} = Ri = \omega_m \frac{d\Psi}{d\theta} \\
 &= Ri + \omega_m \frac{d(Li)}{d\theta} = Ri + L \frac{di}{dt} + \omega_m i \frac{dL}{d\theta}
 \end{aligned} \tag{2.8}$$

v เป็นแรงดันที่ขั้ว

I เป็นกระแส

$\Psi$  เป็นสนามแม่เหล็กไฟฟ้าใน volt seconds

R เป็นความต้านทาน

L เป็นค่าความเหนี่ยวนำ

$\theta$  เป็นตำแหน่งของโรเตอร์

$\omega_m$  เป็นความเร็วเชิงมุม rad/s

เทอมหลังเป็นการอธิบาย back EMF

$$e = \omega_m i \frac{dL}{d\theta} \tag{2.9}$$

มันช่วยให้เข้าใจถึงแหล่งจ่ายแรงดันที่ตกคร่อมใน 3 เทอม คร่อมในความต้านทาน  $L \frac{di}{dt}$  back EMF

กำลังไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงทันทีทันใดโดย  $v_i$

$$v_i = Ri^2 + Li \frac{di}{dt} + \omega_m i^2 \frac{dL}{d\theta} \tag{2.10}$$

ระดับของการเปลี่ยนแปลงพลังงานสนามไฟฟ้าที่ทันทีทันใดโดย

$$\frac{d}{dt} \left( \frac{1}{2} Li^2 \right) = \frac{1}{2} i^2 \frac{dL}{d\theta} + Li \frac{di}{dt} = \frac{1}{2} i^2 \omega_m \frac{dL}{d\theta} + Li \frac{di}{dt} \tag{2.11}$$

จากกำลังงานทางกล  $P = \omega_m T_e$  ทางด้านซ้ายเป็นค่าการสูญเสีย  $i^2 R$  และเปลี่ยนระดับพลังงานสะสมเป็นลบจาก กำลังงานที่ป้อนให้  $v_i$ ,  $T_e$  เป็นค่าแรงบิดทางไฟฟ้าชั่วขณะ จากสมการที่ (2.9) และ (2.10) เขียนได้เป็น

$$\begin{aligned}
 T_e &= P/\omega_m = v_i - Ri^2 - \frac{d}{dt} \left( \frac{1}{2} Li^2 \right) \\
 T_e &= \frac{1}{2} i^2 \frac{dL}{d\theta}
 \end{aligned} \tag{2.12}$$

เมื่อ  $\frac{dL}{d\theta}$  คือค่าสโลปค่าความเหนี่ยวนำ

### 2.1.4 แรงบิดเฉลี่ย ( Average torque )

จากหัวข้อที่แล้วแรงบิดชั่วขณะไม่จำเป็นต้องคงที่ ซึ่งในความเป็นจริงแล้วจะทำให้เกิด torque ripple ขึ้น ผู้ใช้งานจะให้ความสนใจกับแรงบิดเฉลี่ยมากกว่าซึ่งแรงบิดเฉลี่ยสามารถหาได้จากการอินทิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

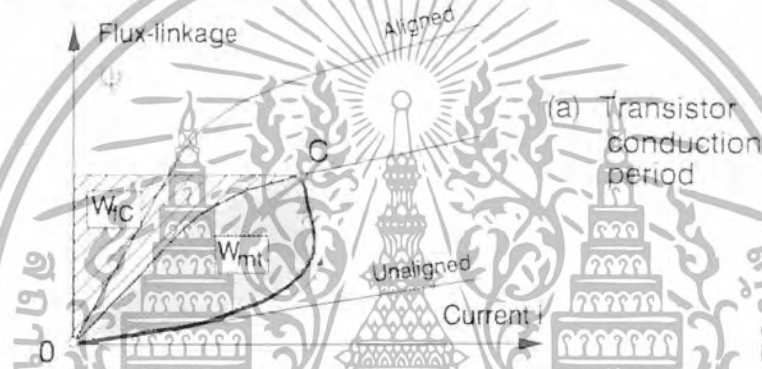
เกทสมการที่ [3] โดยหากจากกราฟการแปรรูปพลังงาน( enegy-conversion diagram ) ซึ่งเราจะทำการพิจารณาที่ละขั้นตอนดังรูปที่ 2.17 ถึง รูปที่ 2.18

ในขณะที่มอเตอร์หมุนด้วยความเร็วคงที่ แรงดันจะจ่ายให้เฟสที่ 1 ซึ่งจะใกล้เคียงกับ unaligned position (  $\theta_u$  ) ฟลักซ์คัลลิ่งจะเพิ่มขึ้นดังสมการ

$$\psi = \int (V_s - Ri) dt = \frac{1}{\omega} \int (V_s - Ri) d\theta \tag{2.13}$$

**พิจารณาในสถานะที่ 1**

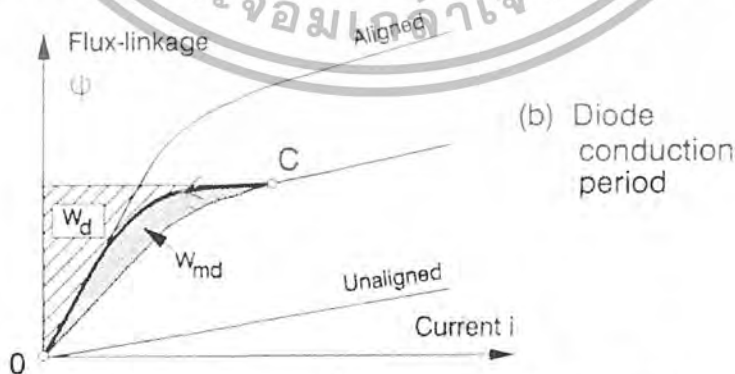
ถ้าแหล่งจ่ายแรงดัน  $V_s$  มีค่าคงที่และความต้านทานในแต่ละเฟสมีค่าน้อยมาก  $\psi$  จะเพิ่มขึ้นใกล้กับตำแหน่งของโรเตอร์ กระแสจะค่อย ๆ เพิ่มขึ้น พลังงานจากแหล่งจ่ายทั้งหมดจะเท่ากับพื้นที่รวม(total area)  $U = W_{mt} + W_{fc}$  เมื่อ  $W_{fc}$  เท่ากับพลังงานสะสมในแม่เหล็ก และ  $W_{mt}$  เท่ากับงานทางกลระหว่าง 0 ถึง C พลังงานครึ่งหนึ่งถูกเปลี่ยนเป็นพลังงานทางกลอีกครั้งหนึ่งถูกเก็บไว้ในสนามแม่เหล็กดังรูปที่ 2.17



รูปที่ 2.17 แสดงสถานะที่จ่ายพลังงานจากแหล่งจ่ายทั้งหมดที่จ่ายให้มอเตอร์

**พิจารณาในสถานะที่ 2**

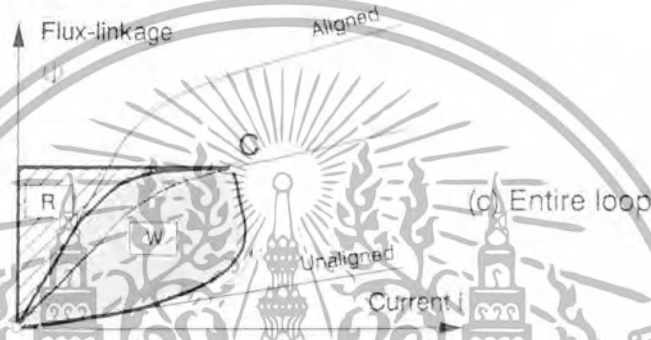
แหล่งจ่ายกลับทิศในที่นี้คือเราทำการหยุดจ่ายกระแสให้กับสเตเตอร์ พลังงาน  $W_d$  ที่สะสมอยู่ในแกนเหล็ก จะไหลกลับสู่แหล่งจ่าย ที่จุด 0 กระแส และฟลักซ์จะไม่ถูกเก็บในรูปพลังงานแม่เหล็ก เพราะฉะนั้นงานทางกลจาก C ถึง 0 คือ  $W_{md} = W_{fc} - W_d$  จากรูปที่ 2.18 งานที่ได้น้อยกว่าครึ่งหนึ่ง ของพลังงานสะสมทั้งหมดในแม่เหล็ก  $W_{fc}$



รูปที่ 2.18 แสดงสถานะที่หยุดจ่ายกระแสให้กับสเตเตอร์

พิจารณาในสภาวะที่ 3

ในกรณีนี้พลังงานถูกประมาณการให้เท่ากับ รูปที่ 2.18 และรูปที่ 2.19 พลังงานที่แหล่งจ่ายจะถูกควบคุมโดย “ fluxing ” สภาวะที่ทรานซิสเตอร์ทำงาน( transistor condition period ) ระหว่าง 0 ถึง C คือ  $U = W_{mc} + W_{ic} = 10 \text{ J}$  โดยที่พลังงาน 5 J ถูกเปลี่ยนเป็นพลังงานทางกล และพลังงาน 5 J ถูกเก็บไว้ในสนามแม่เหล็ก ในช่วง “ de-fluxing ” สภาวะที่ไดโอดทำงาน( diode condition period ) ระหว่าง C ถึง 0 พลังงาน  $W_d = 3.5 \text{ J}$  จะคืนกลับสู่แหล่งจ่าย และพลังงาน  $W_{md} = 1.5 \text{ J}$  ถูกเปลี่ยนเป็นพลังงานทางกล เพราะฉะนั้นงานทางกลรวมคือ  $W = W_{mt} + W_{md} = 5 + 1.5 = 6.5 \text{ J}$  (65%) พลังงานที่กลับสู่แหล่งจ่ายคือ  $Wd = 3.5 \text{ J}$  (35%) ซึ่งการทำงานที่อธิบายดังกล่าวนี้เป็นการทำงาน 1 ลูปการทำงาน ดังรูปที่ 2.19



รูปที่ 2.19 แสดงสภาวะที่มอเตอร์ทำงานครบ 1 ลูปการทำงาน

จากรูปที่ 2.19 เป็นการรวม 2 รูปแรกทีกล่าวไว้ตอนต้น พลังงานที่ถูกเปลี่ยนแปลงคือพื้นที่ W พลังงานที่ไหลกลับสู่แหล่งจ่าย คือ  $R = Wd$  เพราะฉะนั้นพลังงานที่จ่ายเข้าไปคือ  $U = W + R$  โดยที่อัตราส่วนของพลังงาน (energy ratio) คือ E ดังนั้นพลังงานที่เหมาะสมที่จะใช้จ่าย คือ

$$E = \frac{W}{W + R} = \frac{W}{U} \tag{2.14}$$

อัตราส่วนของพลังงาน (energy ratio) คล้ายกับ power factor ของ AC machine แต่ที่จริงแล้วเป็นพื้นฐานทั่วไปที่ใช้ในการวิเคราะห์พลังงานที่ไหลในเครื่องกลไฟฟ้ากระแสสลับ ( AC machine ) แต่ที่พิจารณาก่อนหน้านี้  $E = 0.65$

แรงบิดโดยเฉลี่ยสามารถหาได้จาก จำนวนของลูปของพลังงานที่แปรเปลี่ยนต่อความเร็วในการหมุน เมื่อจำนวนของ stroke ต่อ ความเร็วในการหมุนรอบทางกล คือ  $m Nr$  ความเร็วที่หมุนคือ  $Nr$  ,  $m$  คือจำนวน phase เพราะฉะนั้นเราจะได้แรงบิดเฉลี่ยเมื่อหมุนคือ

$$T = \frac{mNr}{2\pi} \cdot W \tag{2.15}$$

ถ้า W (หน่วย จูล) และ T (N-m) เมื่อ  $[ 1 \text{ N-m} = 0.736 \text{ ft-lb} ]$

ทฤษฎีนี้สมมติว่าเป็น พลังงานที่ถูกเปลี่ยนแปลงจากทุกเฟส ในทางปฏิบัติอาจจะมีผลกับมุมระหว่างเฟสและปัญหาที่เกิดขึ้นเป็นทาง อุดมคติของเครื่องกลไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ข้อดี ของสวิตช์รีล็กแทนซ์มอเตอร์

สวิตช์รีล็กแทนซ์มอเตอร์มีลักษณะเฉพาะพิเศษที่ถูกสร้างขึ้นมาให้มีความแข็งแรงกว่า AC และ DC มอเตอร์และมีหลายความเร็วในการหมุน ซึ่งข้อดีของสวิตช์รีล็กแทนซ์มอเตอร์ กล่าวได้ดังนี้

1. เป็นเครื่องกลที่มีโครงสร้างง่ายและราคาถูก ไม่มีขดขั้วที่โรเตอร์และแม่เหล็กถาวร
2. ไม่ช้อตถึงกันระหว่าง DC buses เพราะแต่ละขดลวดต่อในอนุกรมกัน
3. การระบายความร้อนทำได้ง่าย
4. คุณสมบัติของ torque – speed ของมอเตอร์ สามารถออกแบบสำหรับใช้งานเฉพาะได้ง่ายกว่ามอเตอร์ชนิดอื่นๆ
5. แรงบิดเริ่มเดินสูงและไม่มีปัญหากระแสอินรัช (inrush current) เพราะค่า L ภายในสูงมาก
6. แรงดันเปิดวงจร และกระแสดีดวงจร ในขณะที่เกิดโฟลต์ เป็นศูนย์หรือน้อยมาก
7. โรเตอร์ทนความร้อนได้สูงมาก เนื่องจากไม่มีแม่เหล็กถาวร
8. สามารถออกแบบมอเตอร์ให้ใช้งานที่ความเร็วรอบสูงในขณะที่ทำงานในช่วงกำลังคงที่ได้
9. ขดลวดของสเตเตอร์แยกอิสระต่อกัน ขั้วแยกเฟสเดียวหรือมากกว่านั้นพร้อมกันได้
10. เมื่อเฟสใดเฟสหนึ่งล้มเหลวก็ยังสามารถหมุนต่อไปได้

### ข้อเสีย ของสวิตช์รีล็กแทนซ์มอเตอร์

1. มีแรงบิดริบเบิลสูงมากเมื่อเทียบกับมอเตอร์ชนิดอื่น
2. กระแสที่ แหล่งจ่ายกระแสตรงมี ริบเบิล มากจำเป็นต้องใช้คาปาซิเตอร์ฟิเตอร์ตัวใหญ่ หรือสามารถแก้โดยต้องเพิ่มตัวเก็บประจุความถี่สูงเข้าไป
3. เกิดเสียงดังจากการสั่นสะเทือนของสเตเตอร์ สูงเมื่อเทียบกับมอเตอร์ชนิดอื่น
4. ต้องการเครื่องมือตรวจจับตำแหน่งของโรเตอร์

## 2.2 การประมวลผลสัญญาณดิจิทัล ( Digital Signal Processing )

การประมวลผลสัญญาณดิจิทัลเป็นการนำเอาระบบที่เราต้องการจะทำการควบคุมมาทำการแปลงให้อยู่ในระบบดิจิทัลแล้วทำการนำสัญญาณดิจิทัลนั้นมาวิเคราะห์แล้วทำการส่งค่านั้นกลับไปควบคุมระบบอีกทีหนึ่ง

### 2.2.1 คุณสมบัติทางเทคนิคของบอร์ดทดลอง ADMC-401

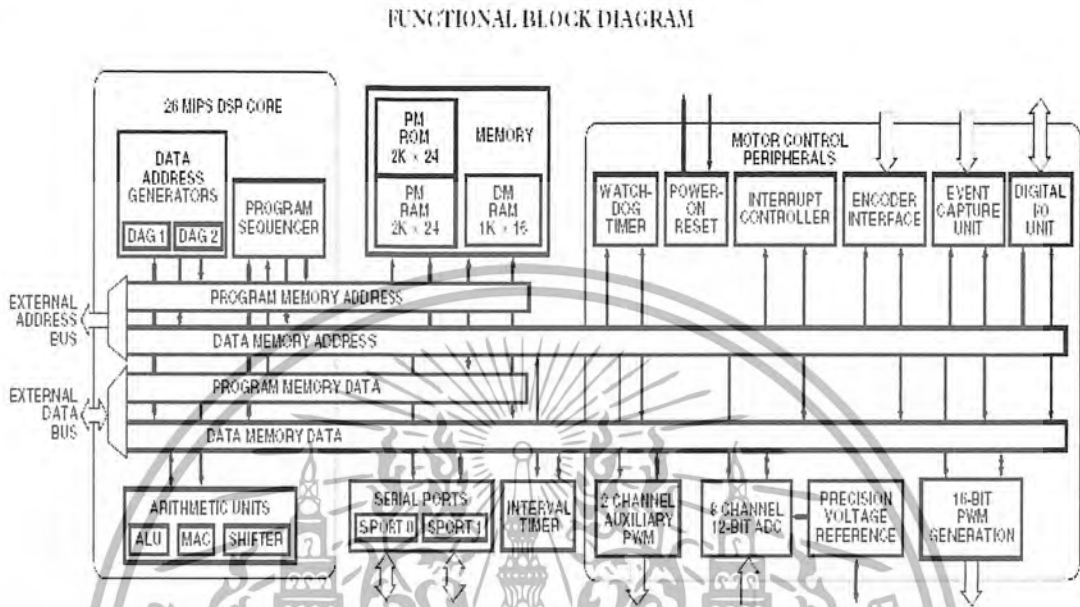
บอร์ด ADMC-401 เป็นบอร์ดทดลองที่ใช้ในการควบคุมมอเตอร์มีคุณสมบัติต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

1. ใน 1 แมกซีนไซเคิลมีความเร็วในการทำงานเท่ากับ 38.5 ns
2. การสามารถในการประมวลผลทางคณิตศาสตร์(ALU) เท่ากับ 16 บิต
3. ภายในมีหน่วยความจำโปรแกรมชนิดแรม  $2k \times 24$  บิต และชนิดรอม  $2k \times 24$  บิต
4. มีหน่วยความจำข้อมูลชนิดแรมภายใน  $1k \times 16$  บิต
5. มีแอดเดรส(Address bus)บัสขนาด 14 บิต และ คาต้าบัส(Data bus)ภายนอกขนาด 24 บิต
6. การแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัลขนาด 12 บิต
7. ใช้แรงดันอินพุต 4.0 โวลท์พีคทูพีค(peak-peak)]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

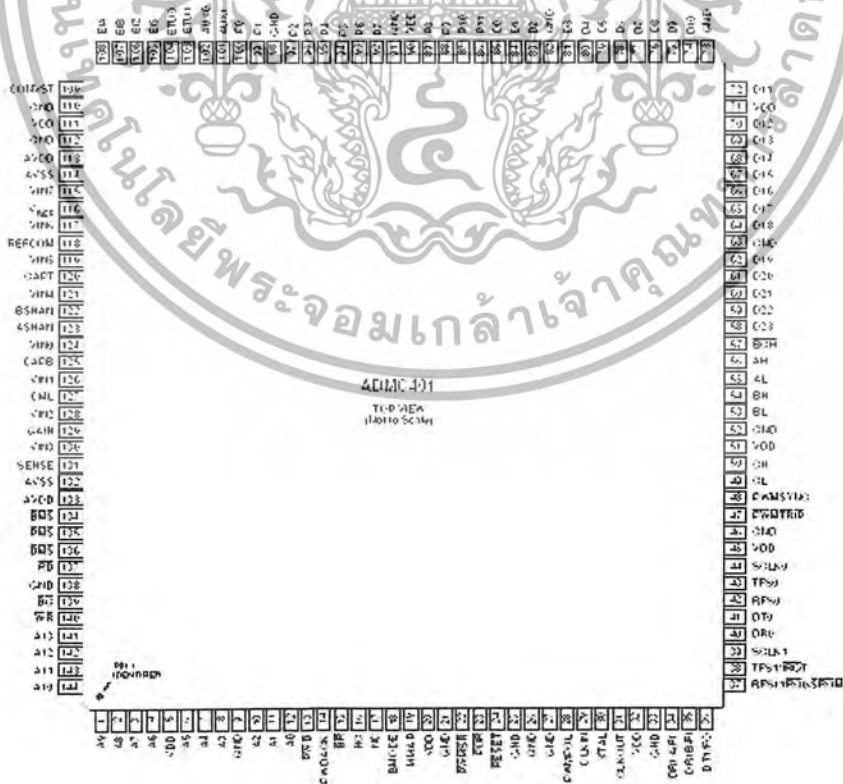
8. ใช้แรงดันอ้างอิงภายใน 2.0 โวลท์  $\pm 2.0\%$
9. สามารถสร้างสัญญาณพีคดับเบิลยูเอ็ม 3 เฟส ขนาด 16 บิตได้
10. มีโปรแกรมสร้างสัญญาณเด็ททาม(Dead time) ภายใน

2.2.2 โครงสร้างภายในของ ADMC-401



รูปที่ 2.20 แสดงโครงสร้างภายในของ ADMC-401

2.2.3 การจัดวางขาของบอร์ด ADMC-401



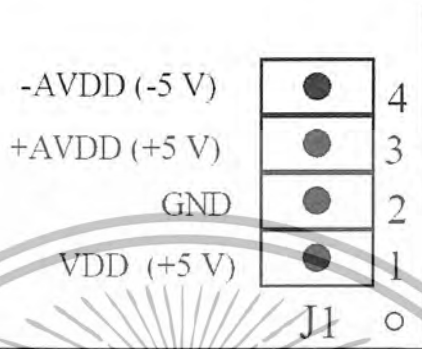
รูปที่ 2.21 แสดงการจัดวางขาของ ADMC-401

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.4 การต่อแหล่งจ่ายไฟให้กับบอร์ด ADMC-401

การต่อแหล่งจ่ายไฟให้กับบอร์ด ADMC-401 จะต่อที่จุดต่อเทอร์มินอลทั้งหมด 4 จุด ดังต่อไปนี้

- +5V ± 5%, 300 mA (VDD)
- +5V ± 5%, 30 mA (+AVDD)
- -5V ± 5%, 30 mA (-AVDD)
- Ground



รูปที่ 2.22 แสดงการต่อแหล่งจ่ายไฟให้กับบอร์ด ADMC-401

2.2.5 การต่อ Encoder เข้ากับบอร์ด ADMC-401

การสาย Encoder จะต่อเข้ากับพอร์ต ของบอร์ด ADMC-401 การต่อสายจะแสดงไว้ดังรูป

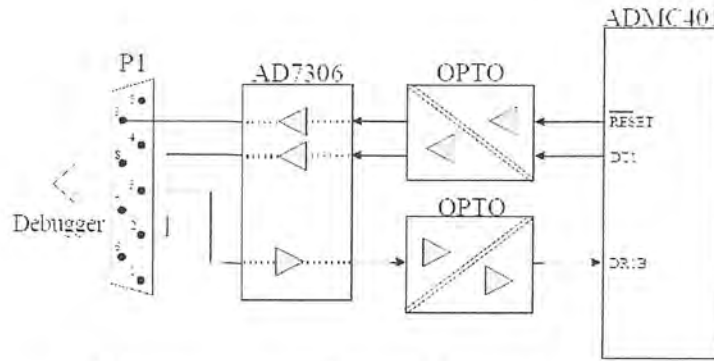


รูปที่ 2.23 แสดงการต่อ Encoder เข้ากับบอร์ด ADMC-401

2.2.6 การต่อพอร์ตอนุกรมให้กับบอร์ด ADMC-401

การควบคุมการ Start และ Stop การทำงานของบอร์ดADMC-401 นั้นจะต้องกระทำผ่านพอร์ตอนุกรมทั้งสิ้น การต่อพอร์ตอนุกรมแสดงดังรูป

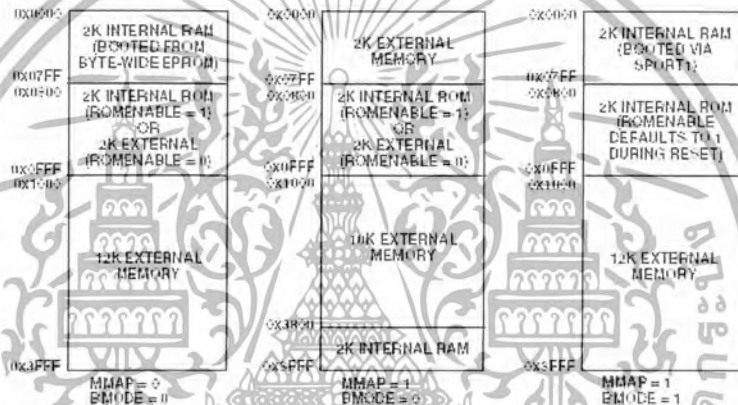
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.24 แสดงการต่อพอร์ทอนุกรมให้กับบอร์ด ADMC-401

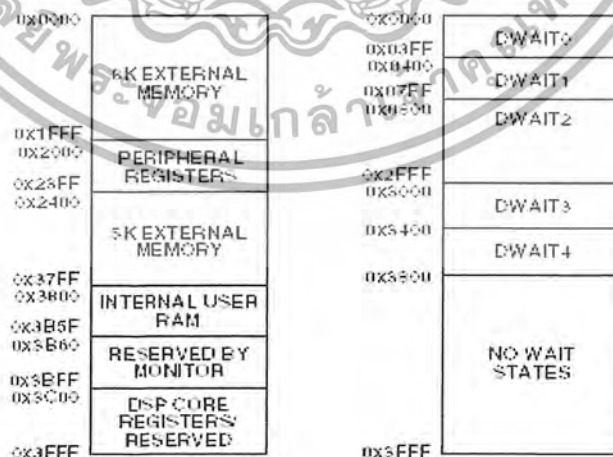
2.2.7 การจัดหน่วยความจำของ ADMC-401

1. การจัดหน่วยความจำโปรแกรมของ ADMC-401



รูปที่ 2.25 แสดงการจัดหน่วยความจำโปรแกรมของ ADMC-401

2. การจัดหน่วยความจำข้อมูลของ ADMC-401

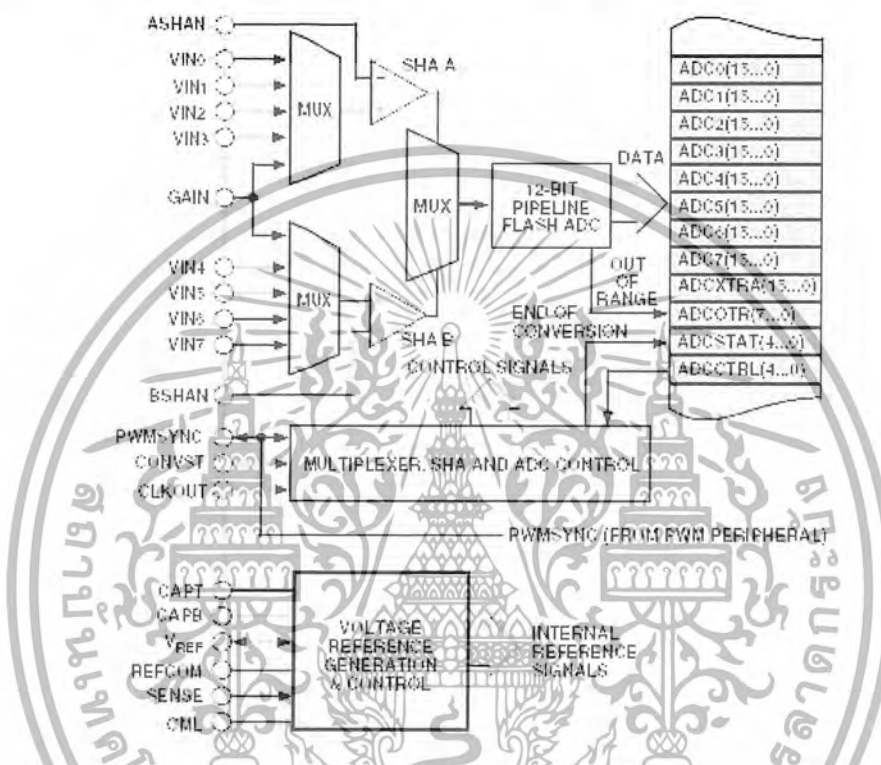


รูปที่ 2.26 แสดงการจัดหน่วยความจำข้อมูลของ ADMC-401

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

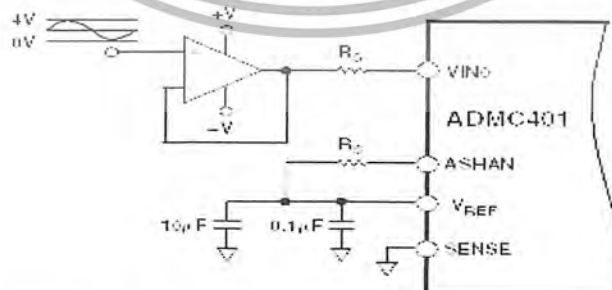
2.2.8 การแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัลของ ADCM-401

การแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัลของ ADCM-401 มีความสามารถในการแปลงสัญญาณอินพุตภายใน 2 ไมโครวินาที (μs) ที่ 26 MHz และขนาดของการแปลงสัญญาณเท่ากับ 16 bit การป้อนสัญญาณอนาล็อกทางด้านอินพุตจะใช้แรงดันขนาด 2 โวลต์ ซึ่งสามารถป้อนสัญญาณได้ทั้งหมด 4 สัญญาณ จำนวน 2 แบนจ์ โดยที่แต่ละสัญญาณจะป้อนเข้าที่ขา VIN0 ถึง VIN3, และขาVIN4 ถึง VIN7 โครงสร้างของการแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัลดังรูป 2.27



รูปที่ 2.27 แสดง โครงสร้างของการแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล

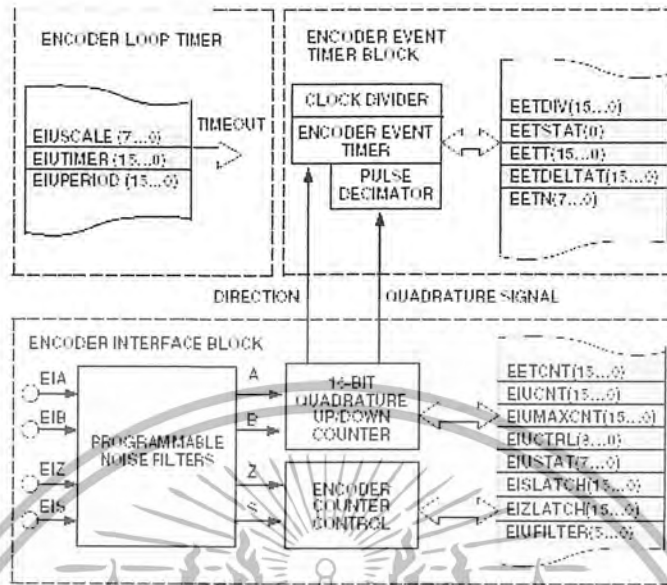
สัญญาณอนาล็อกทางด้านอินพุตที่ป้อนให้กับบอร์ด ADCM-401 จะเป็นสัญญาณที่เรานำมาใช้ในการควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ สัญญาณที่ป้อนเข้าไปจะมีขนาด 2 โวลต์ ดังรูป



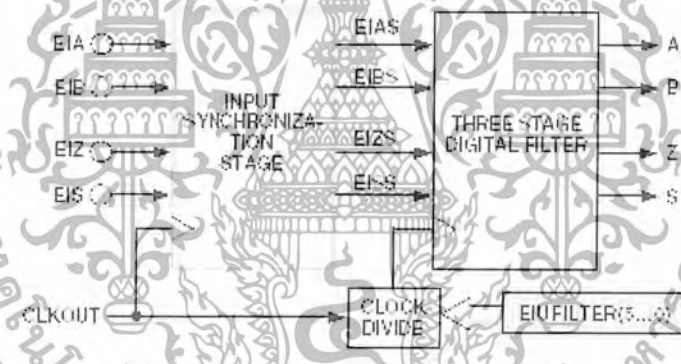
รูปที่ 2.28 แสดงสัญญาณอนาล็อกทางด้านอินพุตที่ป้อนให้กับบอร์ด ADCM-401

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเชื่อมต่อตัวตรวจจับความเร็วรอบเอ็นโครสเตอร์ (Encoder) ให้กับบอร์ด ADMC-401 จะเชื่อมต่อกับ EIA,EIB,EIZ และ EIS ดังรูป 2.30



รูปที่ 2.29 แสดงการเชื่อมต่อตัวตรวจจับความเร็วรอบเอ็นโครสเตอร์ (Encoder)



รูปที่ 2.30 แสดงบล็อกโคะแกรมทางด้านอินพุตของเอ็นโครสเตอร์

### 2.3 ไมโครคอนโทรลเลอร์ ( Microcontroller )

ไมโครคอมพิวเตอร์แบบชิปเดี่ยวประกอบด้วยอุปกรณ์พื้นฐานเหมือนไมโครคอมพิวเตอร์ เช่น หน่วยประมวลผลกลางขนาดเล็ก (8บิต -16 บิต) และหน่วยประมวลผล ที่สามารถเข้าข้อมูลแบบบิต หน่วยความจำข้อมูลพื้นฐานแบบแรม ขนาด 128 ไบต์ และบรรจุหน่วยความจำโปรแกรมประเภทรอม (บางเบอร์) สามารถใช้งานให้เป็นที่ทั้งอินพุตและเอาต์พุตมีวงจรสื่อสารอนุกรมแบบ ฟูลดูเพล็กซ์ มีวงจร Counter/Timer ที่อยู่ภายใน

#### 2.3.1 ไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์ AT89C51

คุณสมบัติของไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์ AT89C51

1. เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้ซีพียูขนาด 8 บิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ภายในมีหน่วยความจำโปรแกรมเป็นแบบแฟลชขนาด 4KBytes สามารถลบและเขียนได้เป็นพันครั้ง
3. ขาพอร์ตเป็นแบบสองทิศทาง สามารถใช้งานเป็นได้ทั้งอินพุตและเอาต์พุต
4. มีวงจรสื่อสารแบบอนุกรมแบบฟูลดูเพล็กซ์
5. มีวงจรตั้งเวลาและวงจรมับขนาด 16 บิต อย่างน้อย 2 ตัว
6. สามารถรองรับแหล่งกำเนิดอินเทอร์รัพท์ได้ 6 ประเภท
7. สามารถขยายหน่วยความจำภายนอกเพิ่มเติมได้สูงสุด 64 กิโลไบต์
8. มีวงจรกำหนดสัญญาณนาฬิกาอยู่ภายในชิป
9. แหล่งจ่ายไฟใช้ได้ตั้งแต่ 2.7 โวลต์ ถึง 6 โวลต์
10. มีหน่วยความจำแบบแรม 8 บิต ขนาด 128 Byte สำหรับ ไอซีเบอร์ AT89C51
11. ทำงานที่ความเร็วสัญญาณนาฬิกาได้สูงสุดถึง 24 MHz
12. พอร์ตสามารถ SINK กระแสได้ 20 mA
13. สามารถโปรแกรมข้อมูลเพื่อป้องกันการอ่านเขียน หรือคัดลอกโปรแกรมได้ 2 ระดับ

2.3.2 การจัดขาของไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์ AT89C51

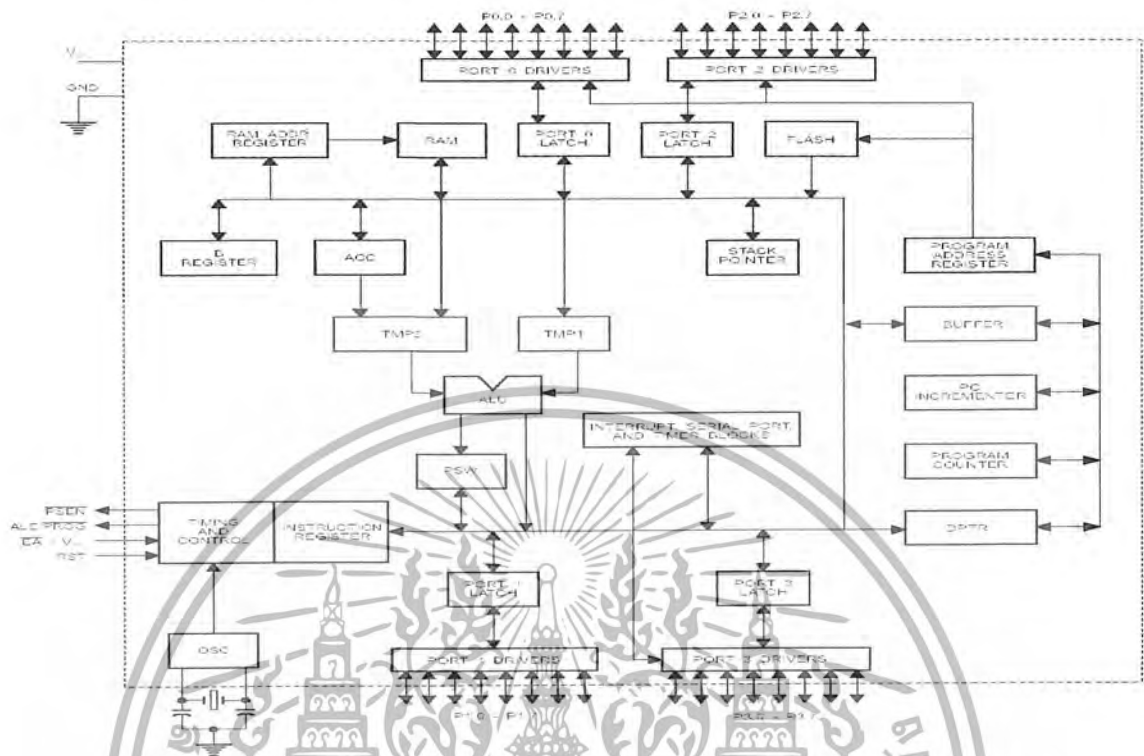


รูปที่ 2.31 การจัดขามาตรฐานของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ในอนุกรม AT89C5X

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.3.3 โครงสร้างของไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์

#### โครงสร้างภายในของไอซีเบอร์ AT89C51



รูป 2.32 แสดงรายละเอียดสถาปัตยกรรมภายในของไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ AT89C51

จากรูปที่ 2.32 แสดงให้เห็นสถาปัตยกรรมภายในของไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ AT89C51 ซึ่งภายในจะประกอบไปด้วยหน่วยการทำงานต่างๆ โดยแบ่งการทำงานออกเป็นบล็อกๆ ซึ่งประกอบไปด้วย วงจรควบคุม รีจิสเตอร์ ต่างๆ (Register) หน่วยความจำข้อมูล (RAM) และหน่วยความจำโปรแกรมที่เป็น แฟลช วงจรออสซิลเลเตอร์ (Oscillator) ส่วนที่ทำหน้าที่ทางคณิตศาสตร์และลอจิก (ALU: Arithmetic and logic Unit) โปรแกรมเคาน์เตอร์ (Program Counter) และพอร์ตที่ใช้ติดต่อกับอุปกรณ์ภายนอก ซึ่งในแต่ละส่วนจะถูกเชื่อมต่อกันด้วย บัสข้อมูล และบัสแอดเดรส

### 2.3.4 การจัดหน่วยความจำของไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ AT89C51

การจัดหน่วยความจำของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 จะแบ่งหน่วยความจำออกเป็น 3 กลุ่มคือ

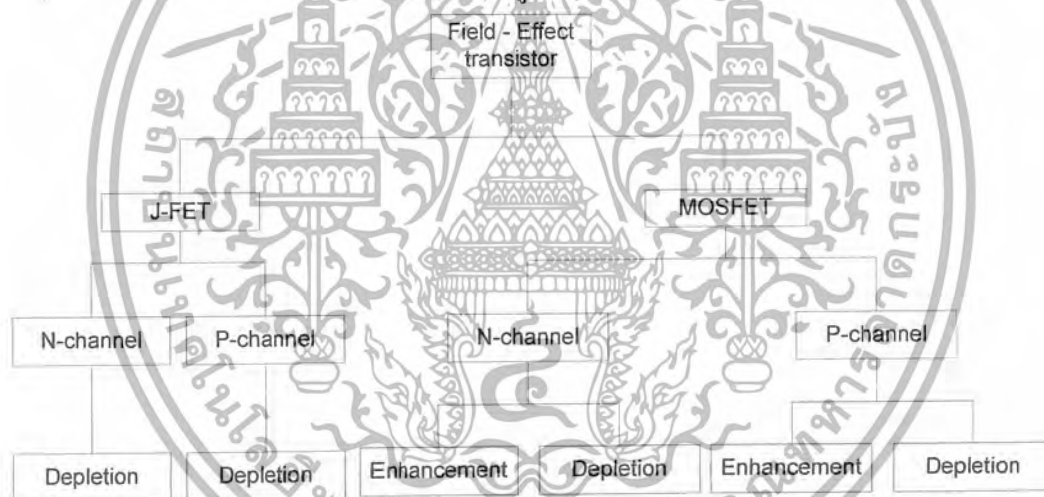
1. หน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรม (Program Memory) หรือ (Code Memory)
2. หน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูล (Data Memory)
3. รีจิสเตอร์ที่ทำหน้าที่เฉพาะ (Special Function Register)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.4 มอสเฟตกำลัง ( POWER MOSFET )

Field -Effect transistor หรือที่เรียกสั้นๆว่า (FET) มีลักษณะการทำงานที่คล้ายกับทรานซิสเตอร์มากแต่มีข้อแตกต่างกันอยู่บ้าง โดยที่เฟต (FET) เป็นสิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำชนิดยูนิโพลาร์ (unipolar) แตกต่างจากทรานซิสเตอร์ที่เป็นชนิดไบโพลาร์ ( bipolar ) ซึ่งทรานซิสเตอร์ทำงานได้โดยอาศัยการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนอิสระและโฮล เราจึงเรียกว่า ทรานซิสเตอร์ว่าเป็นสิ่งประดิษฐ์ ขั้วไฟฟ้า 2 ขั้ว หรือไบโพลาร์ ส่วนเฟตจะทำงานมีกระแสไหลเนื่องจากประจุเพียงชนิดเดียวเท่านั้น คือ อิเล็กตรอนอิสระและโฮล อย่างใดอย่างหนึ่งเท่านั้น จึงได้รับการขนานนามว่าเป็นสิ่งประดิษฐ์ขั้วไฟฟ้าเดียวหรือยูนิโพลาร์นั่นเอง

ทรานซิสเตอร์สนามไฟฟ้าแบ่งออกเป็น 2 ชนิดคือ ทรานซิสเตอร์สนามไฟฟ้าชนิดรอยต่อ ( Junction field Effect transistor ) หรือ เจเฟต (J-FET) ทรานซิสเตอร์สนามไฟฟ้าชนิดโลหะออกไซด์ – สารกึ่งตัวนำ metal –oxide-semiconductor เฟต หรือ มอสเฟต ( MOSFET ) ทรานซิสเตอร์สนามไฟฟ้าชนิดรอยต่อมีแต่แบบดีพลีชัน (Depletion Mode) เท่านั้น และมีทั้งแบบ P-Channel และ N-Channel ส่วน ทรานซิสเตอร์สนามไฟฟ้าชนิดโลหะออกไซด์นั้น มีทั้งแบบดีพลีชันและเอ็นฮานซ์เมนต์ (Enhancement Mode) และมีทั้งแบบP-Channel และ N-Channel ดังรูป



รูปที่ 2.33 ประเภทของเฟต

### 2.4.1 การทำให้ มอสเฟตกำลัง นำกระแส ( Turn On )

วงจรที่ใช้ไคร์ฟมอสเฟตจะต้องมีค่าศักดาเกิน Threshold Voltage (ค่าแรงฟ้ต่ำสุดที่สามารถทำให้มอสเฟต นำกระแสได้ ) และกระแสของวงจรไคร์ฟจะต้องมีค่าเพียงพอจะชาร์จ (Input Capacitance) ของมอสเฟตได้ในช่วงเวลาที่ต้อง

$$C_{iss} = C_{GD} + C_{GS} \tag{2.16}$$

$C_{iss}$  = In put Capacitanceของมอสเฟต

$C_{GD}$  = ค่า Capacitanceที่อยู่ระหว่างขาเกต และขาเดรน

$C_{GS}$  = ค่า Capacitanceที่อยู่ระหว่างขาเกต และขาซอร์ท

ดังนั้นวงจรไคร์ฟจึงต้องมี Output Impedance ต่ำพอที่จะรับพลังงานจากการคายประจุของค่า C และกับความเร็วในการสวิตซ์

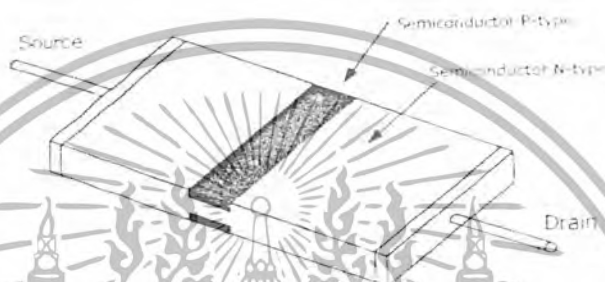
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 2.4.2 การทำให้มอสเฟตกำลังหยุดนำกระแส ( Turn Off )

มอสเฟตเป็นสารกึ่งตัวนำประเภทเจอร์รตีแคร์เรียร์ เพียงไม่มี  $V_{GS}$  มอสเฟตก็สามารถหยุดนำกระแสได้เพราะเสมือนว่ามีความต้านทานสูงมากระหว่างขาคอนกับขาซอร์ทซึ่งเป็นการบล็อกกระแสไม่ให้ไหลได้

#### 2.4.3 ลักษณะโครงสร้างและการทำงานของ เฟต ชนิดมีหัวต่อ P-N

โครงสร้างของเฟตชนิดนี้ เริ่มจากการนำเอาแท่งของสารกึ่งตัวนำมาสกัดเป็นตัวเฟต แท่งสารกึ่งตัวนำนี้จะมีคุณสมบัติ เหมือนเป็นตัวต้านทานตัวหนึ่ง โดยมีปลายข้างหนึ่งเป็นขั้ว เรียกว่า ซอร์ท (Source) ส่วนอีกปลายข้างหนึ่งเรียกว่า เดรน ( Drain )

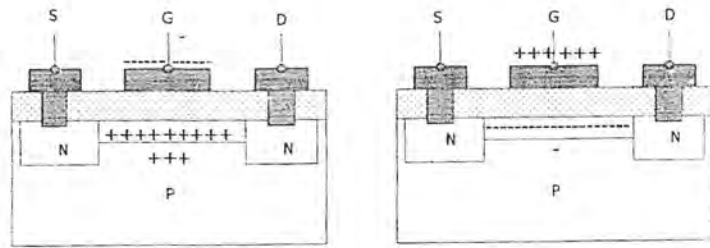


รูปที่ 2.34 ลักษณะ โครงสร้างของ FET ชนิดหัวต่อ PN

และสิ่งหนึ่งที่ทำให้เข้าใจการทำงานของ เฟต ดีขึ้นคือ กระแสที่ไหลผ่านแท่งสารนี้จะเป็นกระแสโฮล (ในกรณีที่เป็นสารชนิด P ) หรือกระแสอิเล็กตรอน ( ในกรณีที่เป็นสารชนิด N ) เท่านั้น เมื่อเพิ่มเกตให้กับแท่งสารกึ่งตัวนำ ซึ่งทำมาจากสารชนิด P จะทำให้เกิดเป็นช่องว่างระหว่างรอยต่อ PN ดังนั้นกระแสจะต้องไหลผ่านช่องว่างนี้ และถ้าเราสามารถควบคุมให้ขนาดของช่องว่างนี้เพิ่มขึ้นหรือลดลงก็จะทำให้ค่าความต้านทานระหว่างปลายทั้งสองข้างของแท่งสาร เกิดการเปลี่ยนแปลงไปการนำเอาสารชนิด P และ N มาต่อให้เกิดขึ้นบริเวณรอยต่อที่เรียกว่า ช่องรอยต่อดีพลีชัน จะยังมีค่ามากขึ้น ทำให้เป็นการยากที่ อิเล็กตรอนอิสระจะทำการเคลื่อนที่ข้ามรอยไปได้

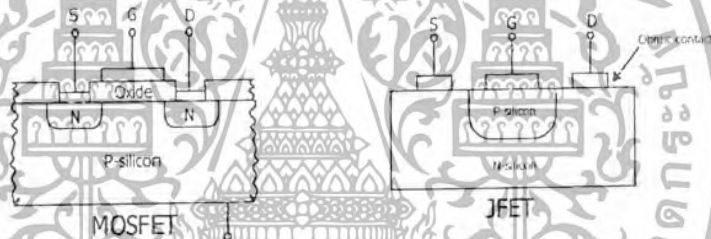
#### 2.4.4 ลักษณะโครงสร้างและการทำงานของเฟต (FET) ชนิดที่เกตมีฉนวนกัน

มีเฟต อีกแบบหนึ่งที่ถูกนิยมนำมาใช้เป็นจำนวนมาก โดยเฟตชนิดนี้จะใช้โลหะออกไซด์เคลือบที่เป็นฉนวนบน ในบางครั้งเรียกสิ่งประดิษฐ์นี้ว่า มอสเฟต (MOSFET) ซึ่งย่อมาจาก Metaloxide semiconductor field Effect transistor ลักษณะเด่นของ มอสเฟต คือ คุณสมบัติในเรื่องความต้านทานที่เกิดสูงมากเสมือนหลอดสุญญากาศ โครงสร้างของ มอสเฟต ดังรูป



รูปที่ 2.35 โครงสร้างของเฟตที่เกิดมีฉนวนกั้น

จากรูปจะเห็นว่า มอสเฟต ต่างกับ เฟต ตรงที่บริเวณขั้วเกตจะมีฉนวนกั้นกลางโดยไม่ให้ขั้วเกตติดกับสารกึ่งตัวนำ แต่ลักษณะการทำงานก็เหมือนกับ เฟต ทั่วไป ส่วนของฉนวนที่กั้นที่บริเวณเกตเป็นสารจำพวกออกไซด์ซึ่งซิลิกอน การทำงานของมอสเฟต พิจารณาได้จากรูป โดยปกติส่วนของสัปสเตรทจะถึงกับซอร์ท หรือมีฉนวนนั้นจะต่อกับกราวด์ส่วนของประจุบวกจะเกิดขึ้นและจะเหนี่ยวนำทำให้เกิดประจุซึ่งทำให้เกิดช่องทางของกระแสได้ ข้อแตกต่างระหว่าง เจเฟต และ มอสเฟต ความแตกต่างทางด้าน โครงสร้างดังรูป

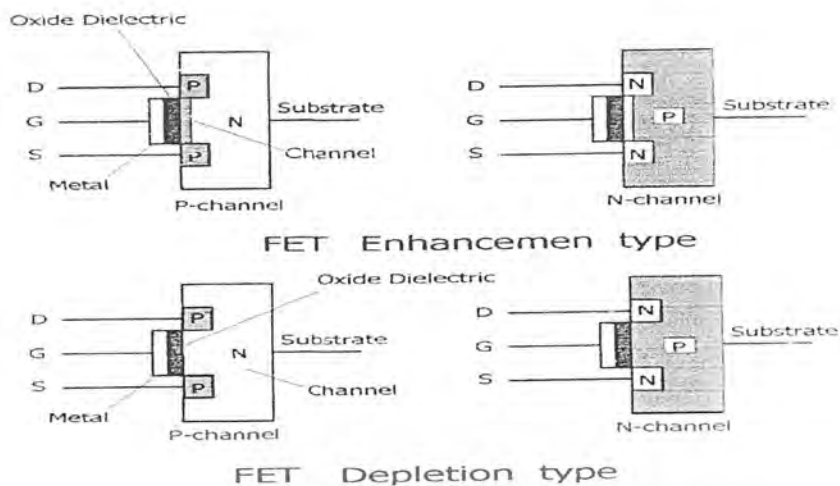


รูปที่ 2.36 โครงสร้างของ เจเฟต และมอสเฟต

ขาคัดของเจเฟต จะติดต่อกับเนื้อสาร ส่วนขาคัดของมอสเฟต จะถูกจะแยกน้อออกจาก สารด้วยฉนวน เจเฟตนั้นมีแค่ Depletion mode ส่วนมอสเฟตมีทั้ง Depletion Mode และ Enhancement Mode

2.4.5 หลักการทำงานของเฟต

เฟตสามารถแบ่งการทำงานออกเป็น Mode โดยถูกแบ่งออกเป็น 2 Mode คือ Depletion Mode และ Enhancement Mode ลักษณะโครงสร้างของ Mode การทำงานดังรูป



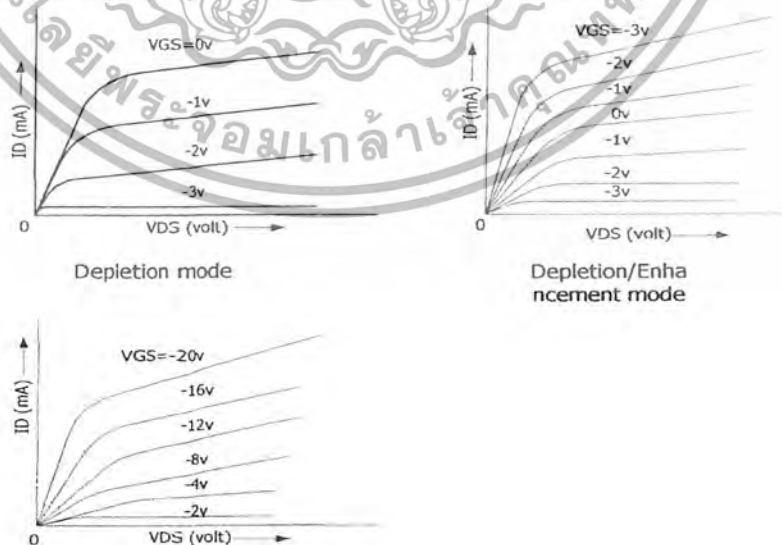
รูปที่ 2.37 แสดงโครงสร้างของ Mode การทำงาน

1. Depletion Mode

เฟตใน Depletion Mode นี้ในสถานะปกติจะนำกระแสได้ไม่ทำการไบแอส  $V_{GS}$  ซึ่งถ้าไม่มีการไบแอส เฟต จะทำหน้าที่เสมือนเป็นไดโอด คือ จะยอมให้กระแสไหลผ่านในทิศทางเดียวกันเท่านั้น แต่เมื่อทำการไบแอสค่า  $V_{GS}$  จะทำให้กระแสของเฟตลดลง จะลดลงมากหรือน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับค่าแรง  $V_{GS}$  ที่ไบแอสอยู่

2. Enhancement Mode

เฟตใน Enhancement Mode นี้จะมีลักษณะการทำงานตรงกันข้ามกับแบบ Depletion Mode กล่าวคือ ในสถานะปกติ ( ไม่มีการไบแอส ) FET จะไม่ทำงานซึ่งมีลักษณะคล้ายกับ ทรานซิสเตอร์ แต่เมื่อเราทำการไบแอส  $V_{GS}$  เฟต จึงจะเริ่มนำกระแส และค่า  $V_{GS}$  ที่ใช้จะเป็นบวกหรือลบนั้นขึ้นอยู่กับว่าเฟตเป็น P channel และ N channel ความสัมพันธ์ ระหว่าง  $V_{DS}$  และกระแสเดรน ( $I_D$ ) ของการทำงานของเฟตทั้งแบบ Depletion Mode และแบบ Enhancement Mode ดังรูป



รูปที่ 2.38 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง  $V_{DS}$  และ  $I_D$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.4.6 ข้อดีของการใช้มอสเฟต

### 2.6.1 ความเร็ว

มอสเฟตความสามารถในการสวิตช์ซึ่งด้วยความเร็วด้วยปราศจากการสะสมประจุอย่างไบโพลาร์ทรานซิสเตอร์ดังนั้นจึงไม่คิดช่วงเวลาสะสมจึงทำให้มอสเฟตมีความเร็วกว่าทรานซิสเตอร์ในการสวิตช์ซึ่ง ความเร็วของมอสเฟตขึ้นอยู่กับการคายประจุและการอัดประจุของตัวเก็บประจุภายใน

### 2.4.7 อินพุท

ขาเกตของมอสเฟตนั้นถูกแยกออก ( isolate ) จากแหล่งด้วยชั้นออกไซด์ที่ทำให้เกิดความต้านทานกระแสสูงมาก มอสเฟตสามารถถูกไบแอสด้วยแรงดันประมาณ 10 Volt ด้วยค่าแรงดันขนาดนี้สามารถขับมอสเฟตได้ด้วย IC , TTL , CMOS ได้โดยตรงทำให้ลดลงความยุ่งยากของวงจร

### 2.4.8 ย่านความปลอดภัย

ขอบเขตย่านความปลอดภัยของมอสเฟตได้ถูกกำหนดด้วยพิกัดกระแสสูงสุด แรงดันเบรคความถี่ ขอบเขตของย่านความปลอดภัยจะกว้างเนื่องจากไม่เกิดการเบรคความถี่ด้าน Secondary ซึ่งบางทีอาจจะไม่จำเป็นต้องใช้วงจรสนับสนุนเบอร์ก็ได้

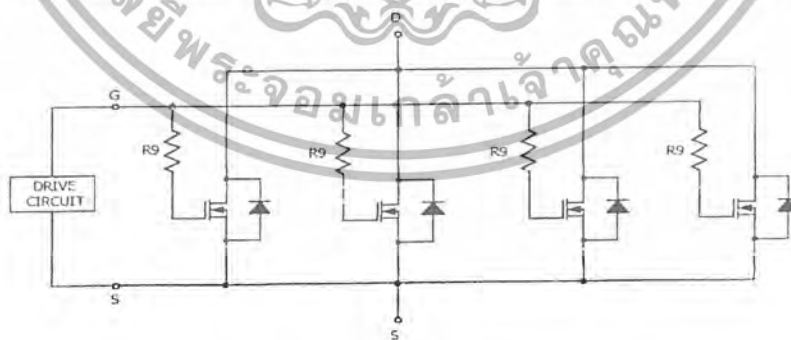
### 2.4.9 อุณหภูมิ

สัมประสิทธิ์ค่าของอุณหภูมิของมอสเฟตมีค่าตรงข้ามกับทรานซิสเตอร์ กล่าวคือ เมื่ออุณหภูมิในตัวมอสเฟตมีค่าเพิ่มสูงขึ้นจะทำให้ค่าของกระแสคร่อมมีค่าน้อยลง ดังนั้นการทำงานของมอสเฟตจะไม่มีเกิดขึ้น

### 2.4.9 แรงดัน

แรงดันต่ำสุดของมอสเฟตกำลัง หาได้จากความต้านทานของอุปกรณ์  $R_{DS}$  สำหรับอุปกรณ์แรงดันต่ำค่าของ  $R_{DS}$  จะต้องมีค่าต่ำสุดสำหรับแรงดันสูง ค่า  $R_{DS}$  ต้องมีค่าสูงขึ้น เนื่องจากสัมประสิทธิ์อุณหภูมิของ  $R_{DS}$  เป็นบวกเพิ่มกำลังได้

มอสเฟต สามารถกำลังของการสวิตช์ซึ่งได้โดยการนำเอามอสเฟตมาต่อขนานกัน ได้หลายตัว ดังรูป



รูปที่ 2.39 แสดงการต่อขนานมอสเฟต

ค่า  $R_q$  จะป้องกันการออสซิลเลท ที่อาจเกิดจากค่าขอสวิตช์ที่ในขาเกต และค่าคาปาซิแตนซ์ระหว่างขาเกตกับขาเกตในมอสเฟต สำหรับการสวิตช์ซึ่งที่ความถี่สูงๆ ค่าความต้านทานที่ใช้ควรมีค่าน้อยที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อย่างไรก็ตาม มอสเฟต ก็มีข้อเสียเช่นกัน คือว่า  $R_{DS}$  ในมอสเฟตกำลัง สูงกว่าใน ทรานซิสเตอร์ชนิดไบโพลาร์ ดังนั้นการใช้งานที่ความถี่ต่ำ ซึ่งค่าความสูญเสียขณะนำกระแสในอุปกรณ์ สวิตซ์กำลังเป็นสิ่งสำคัญ จึงไม่ควรใช้มอสเฟตกำลังที่ความถี่ต่ำ

## 2.5 อินเวอร์เตอร์ ( Inverter )

### 2.5.1 หลักการของอินเวอร์เตอร์

อินเวอร์เตอร์ เป็นอุปกรณ์ที่ใช้แปรผันแรงดันจากแหล่งจ่าย เพื่อป้อนให้กับโหลดโดย อินเวอร์เตอร์ที่ใช้ในโครงการนี้จะรับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงจากแหล่งจ่ายแบตเตอรี่ 12 โวลต์ แล้วใช้มอสเฟตเป็นตัวตัดต่อการทำงาน เพื่อป้อนแรงดันให้กับขดลวดของสวิตซ์รีลัคแทนซ์มอเตอร์ วงจร อินเวอร์เตอร์เบื้องต้นที่ใช้กับสวิตซ์รีลัคแทนซ์มอเตอร์แสดงได้ดังรูป

จากวงจรจะเห็นว่าใช้คาปาซิเตอร์ต่อขนานแหล่งจ่ายไว้ด้วยเพื่อทำให้แรงดันที่เข้าอินเวอร์เตอร์ คงที่ และเป็นการลดสัญญาณรบกวนที่มาจากอุปกรณ์ร่วมข้างเคียงด้วย เนื่องจากในโครงการจะใช้ แหล่งจ่ายจากแบตเตอรี่ 12 โวลต์ เช้าวงจรในส่วนอื่นๆ ด้วย ในส่วนของโคโอดที่ต่อไว้เพื่อให้สวิตซ์รีลัค แทนซ์มอเตอร์คืนพลังงานกลับสู่แหล่งจ่ายในสถานะที่หยุดการป้อนสัญญาณทริกเกท



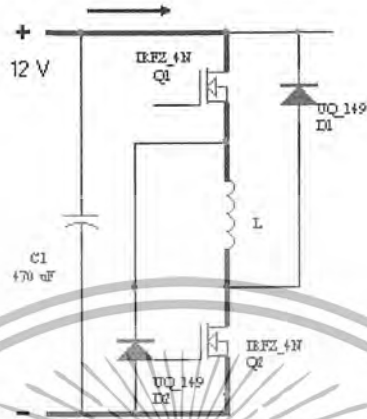
รูปที่ 2.40 แสดงวงจรอินเวอร์เตอร์เบื้องต้นที่ใช้กับสวิตซ์รีลัคแทนซ์มอเตอร์

### 2.5.3 หลักการทำงานของอินเวอร์เตอร์

หลักการทำงานของอินเวอร์เตอร์จะแบ่งออกเป็น 3 สภาวะด้วยกันคือ ช่วงที่ 1 คือช่วงจ่ายกระแส ให้กับขดลวดของมอเตอร์ ช่วงที่ 2 จะเป็นช่วงที่ลัดกระแสที่ป้อนให้กับขดลวด และช่วงสุดท้ายจะเป็นช่วง ที่หยุดจ่ายกระแสให้กับขดลวดของมอเตอร์และในช่วงสุดท้ายนี้จะเป็นช่วงที่มอเตอร์คืนพลังงานกลับสู่ แหล่งจ่าย ในการพิจารณาการทำงานทั้ง 3 สภาวะดังกล่าวสามารถอธิบายได้จากกราฟดังต่อไปนี้

**สถานะที่ 1** จ่ายกระแสให้กับขดลวดของมอเตอร์

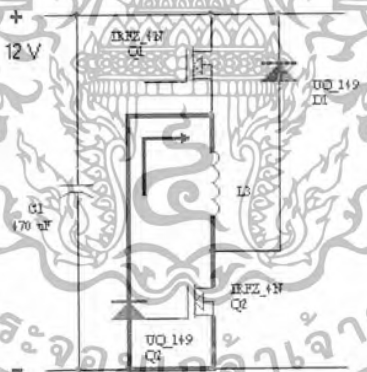
ในช่วงนี้จะทำการป้อนสัญญาณทริกเกทให้ มอสเฟต Q1 และ Q2 ทำงาน เมื่อมอสเฟตทั้ง 2 ตัวทำงานแล้วแรงดัน 12 โวลท์ จะถูกป้อนให้กับขดลวดของมอเตอร์ ดังรูป ทำให้กระแสภายในเฟสนั้นค่อย ๆ เพิ่มขึ้น



รูปที่ 2.41 แสดงสถานะที่จ่ายกระแสให้กับขดลวดของมอเตอร์

**สถานะที่ 2** สถานะที่ตัดกระแสที่ป้อนให้กับขดลวด

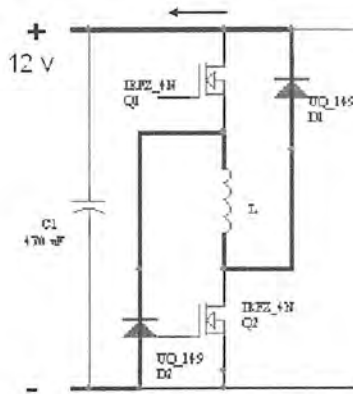
ในช่วงนี้จะทำการป้อนสัญญาณทริกเกทให้ มอสเฟต Q2 ทำงาน และหยุดการป้อนสัญญาณทริกเกทให้ มอสเฟต Q1 ช่วงนี้ไดโอด D2 ทำงาน สถานะนี้จะไม่มีแรงดัน 12 โวลท์ที่ป้อนให้กับขดลวดของมอเตอร์ ทำให้มอเตอร์มีกระแสลดลงเนื่องจากการคายพลังงานของขดลวด ดังรูป



รูปที่ 2.42 แสดงสถานะที่หยุดจ่ายกระแสให้กับขดลวดของมอเตอร์

**สถานะที่ 3** สถานะที่มอเตอร์คืนพลังงานกลับสู่แหล่งจ่าย

ในช่วงนี้จะหยุดการป้อนสัญญาณทริกเกทให้ มอสเฟต Q1 และ Q2 ทำให้ มอสเฟตหยุดทำงาน ช่วงนี้ไดโอด D1 และ D2 ทำงาน สถานะนี้จะไม่มีแรงดัน 12 โวลท์ที่ป้อนให้กับขดลวดของมอเตอร์ ทำให้มอเตอร์มีกระแสลดลงและคืนพลังงานกลับสู่แหล่งจ่าย ดังรูป



รูปที่ 2.43 แสดงสถานะที่มอเตอร์คืนพลังงานกลับสู่แหล่งจ่าย จากการที่ทำงานทั้ง 3 สถานะจะเกิดสัญญาณกระแส, แรงดันและค่า flux linkage ดังรูป



รูปที่ 2.44 แสดงสัญญาณกระแส, แรงดันและค่า flux linkage

## 2.6 ชุดตรวจจับสัญญาณ

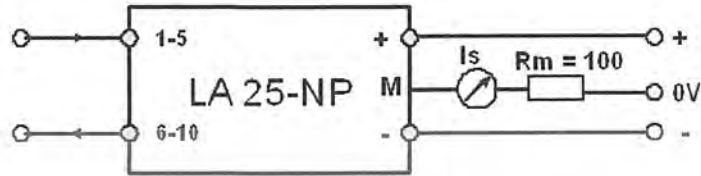
### 2.6.1 การตรวจจับกระแส

การตรวจจับกระแสจะใช้ชุดตรวจจับกระแส ( current sensor ) ในการตรวจจับกระแสที่อินเวอร์เตอร์แล้วนำกระแสที่ได้จาก current sensor มาเปลี่ยนให้เป็นแรงดันแล้วนำแรงดันที่ได้ไปให้กับบอร์ดคัสเพื่อให้คัสพินำค่าที่ได้ไปประมวลผล เพื่อให้คัสส่งสัญญาณไปให้กับวงจรขับเกท ซึ่งจะทำให้จำกัดกระแสทางด้านเอ๊าท์พุท

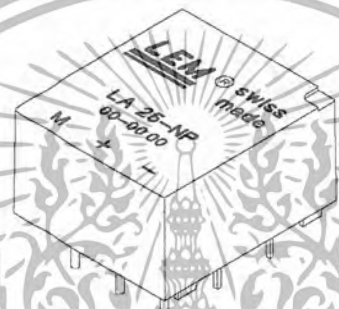
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**การใช้งาน current sensor**

current sensor เหมือนกับหลักการของ current transformer คือ มีขดลวดทางด้านปฐมภูมิรับกระแสไฟฟ้าเข้ามาและสร้างสนามแม่เหล็กไปเหนี่ยวนำขดลวดทางด้านทุติยภูมิให้เกิดกระแสไฟฟ้าไหลออกมา แต่การใช้ current sensor นั้นจะมีความเที่ยงตรงมากกว่าการใช้ current transformer และยังสามารถเลือกพิคัดของกระแสที่เราต้องการใช้งานได้อีกด้วย



รูปที่ 2.45 แสดงการต่อ current sensor ใช้งาน



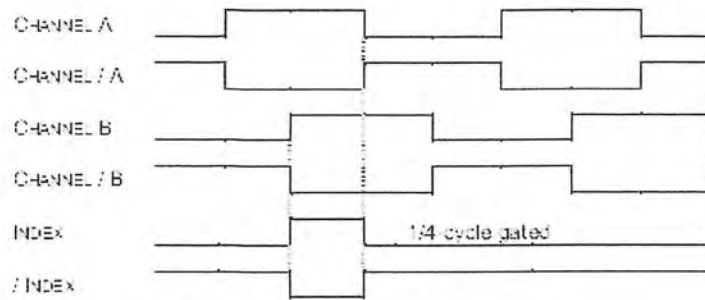
รูปที่ 2.46 แสดง current sensor ที่ใช้ในโครงการ

**2.6.2 การตรวจจับตำแหน่งของโรเตอร์**

การตรวจจับตำแหน่งของโรเตอร์จะใช้ Encoder เป็นตัวตรวจจับ โดย Encoder จะสร้างสัญญาณพัลส์ออกมาแล้วส่งให้คีย์บอร์ดประมวลผล

**การใช้งาน encoder**

ในการตรวจจับตำแหน่งของโรเตอร์จะแบ่งการตรวจจับออกเป็น การตรวจจับมอเตอร์เมื่อหมุนไปในทิศทาง Forward และการตรวจจับมอเตอร์เมื่อหมุนไปในทิศทาง Reverse โดยสัญญาณที่ได้จาก encoder จะทั้งหมด 6 สัญญาณ ดังรูป ถ้าเราได้สัญญาณ channel A ก่อน ในทิศทางที่มอเตอร์หมุนไปในทิศทาง Forward เพราะฉะนั้น ถ้าเราได้สัญญาณ channel B ก่อน ในทิศทางที่มอเตอร์หมุนไปในทิศทาง Reverse สัญญาณที่ได้จาก Channel A และ Channel B นั้นจะได้ออกมาทั้งหมด 3600 สัญญาณ ส่วนสัญญาณ Index นั้นจะเป็นสัญญาณที่บอกให้เราทราบว่ามอเตอร์ได้หมุนไปครบ 1 รอบแล้ว



รูปที่ 2.47 แสดงสัญญาณที่ได้จาก Encoder

รูปที่ 2.48 แสดง Encoder ที่ใช้ในโครงการ

Encoder ที่ใช้ในโครงการจะมีสายออกมาเพื่อให้ต่อกับบอร์ดคอมพิวเตอร์อยู่แล้วโดยที่สายแต่ละเส้นจะมีสีที่แตกต่างกันและมีสัญญาณออกมาต่างกัน การต่อใช้งานจะทำได้ตามตาราง

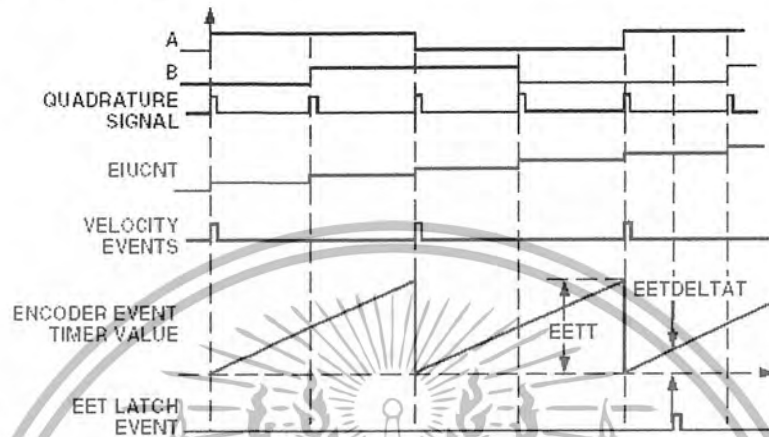
ตารางที่ 2.3 แสดงการต่อสายของ Encoder ที่ใช้ในโครงการ

	CONN. CODE	P
	CONN. TYPE:	NONE
	FUNCTION:	COLOR
	A	Yellow
	/A	Brown
Square	B	Green
Wave	/B	Orange
Output	IND	Blue
(output	/IND	White
code L)	+V	Red
	COMM	Black
	CASE	See Note 1
	MATING CONN.	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.6.3 การตรวจจับความเร็วรอบของมอเตอร์

ในการตรวจจับความเร็วรอบของมอเตอร์เราจะรู้ได้จากสัญญาณ Index จากรูปคือ สัญญาณ ENCODER EVENTTIMER VALUE สัญญาณที่ได้จาก Encoder นี้แสดงว่าถ้าโรเตอร์หมุนครบ 1 รอบ จะเกิดสัญญาณ Index ขึ้นมา 1 Hz ถ้าหากมีความถี่มากแสดงว่ามอเตอร์มีความเร็วมากแต่ถ้าหากมีความถี่น้อย แสดงว่ามอเตอร์มีความเร็วต่ำ



รูปที่ 2.49 แสดงสัญญาณอินพุตที่ได้จากเอ็นโคสเตอร์

### บทที่ 3 หลักการที่นำมาใช้

#### 3.1 หลักการของระบบควบคุม

##### 3.1.1 หลักการของระบบควบคุมแบบเปิด

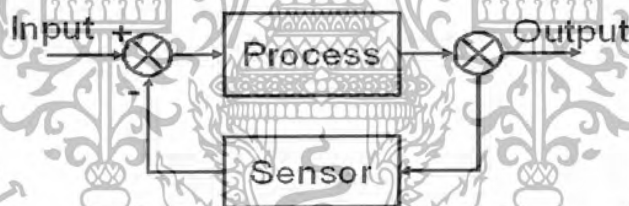
ระบบควบคุมแบบเปิดเป็นการป้อนอินพุตให้กับระบบโดยผ่านระบบและกระบวนการต่างจนได้เอาต์พุตที่ต้องการออกมา การควบคุมแบบนี้จะทำให้ระบบมีเสถียรภาพต่ำและมีค่าความผิดพลาดของระบบสูง ดังรูปเป็นตัวอย่างของระบบควบคุมแบบเปิด



รูปที่ 3.1 แสดงตัวอย่างของระบบควบคุมแบบเปิด

##### 3.1.2 หลักการของระบบควบคุมแบบป้อนกลับ

ระบบควบคุมแบบป้อนกลับเป็นการป้อนอินพุตให้กับระบบโดยผ่านระบบและกระบวนการต่างจนได้เอาต์พุตที่ต้องการออกมา และทำการตรวจจับผลของเอาต์พุตที่ได้ส่งกลับไปยังอินพุตเพื่อทำการเปรียบเทียบกับอินพุตที่เราทำการป้อนเข้าไปให้กับระบบ การควบคุมแบบนี้จะทำให้ระบบมีเสถียรภาพดีขึ้นกว่าการควบคุมแบบเปิดและมีค่าความผิดพลาดของระบบต่ำลง ดังรูปเป็นตัวอย่างของระบบควบคุมแบบป้อนกลับ



รูปที่ 3.2 แสดงตัวอย่างของระบบควบคุมแบบป้อนกลับ

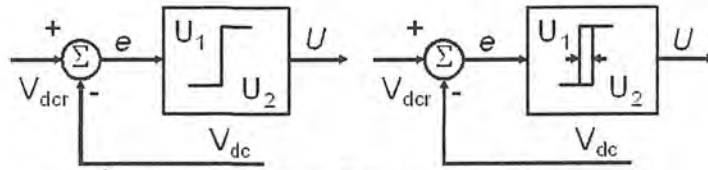
ระบบควบคุมแบบป้อนกลับที่นำมาใช้จะเป็นการควบคุมแบบพีไอ ซึ่งเป็นที่รู้จักกันโดยทั่วไป เพราะมันไม่ยุ่งยากซับซ้อน ประกอบกันกับค่อนข้างง่ายในการปรับเพื่อรับคลื่นหรือความถี่ที่ต้องการ การควบคุมป้อนกลับจะมีอยู่ 6 แบบ

1. ตัวควบคุม 2 ตำแหน่ง ( Two – Position )
2. ตัวควบคุมแบบพี (Proportion Controll )
3. ตัวควบคุมแบบอินทิกรัล ( Integral Controller )
4. ตัวควบคุมแบบสัดส่วนบวกอินทิกรัล (Proportion plus Integral Controller )
5. ตัวควบคุมแบบสัดส่วนบวกอนุพันธ์ (Proportion plus Derivative Controller )
6. ตัวควบคุมแบบสัดส่วนบวกอินทิกรัลบวกอนุพันธ์ (Proportion plus Integral plus Derivative Controller )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวควบคุมสองตำแหน่ง ( Two – Position )

ตัวควบคุมนี้เป็นแบบง่ายและราคาถูก มีที่ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมและระบบควบคุมในบ้าน ตามรูปที่ 4.8



รูปที่ 3.3 บล็อก ไดอะแกรมตัวควบคุมแบบเปิดปิด

$$U(t) = U_1 \text{ เมื่อ } e(t) > 0$$

$$= U_2 \text{ เมื่อ } e(t) < 0$$

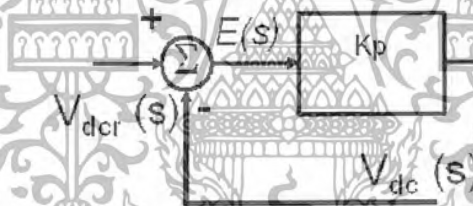
โดย  $U_1$  และ  $U_2$  เป็นค่าคงที่ ค่า  $U_2$  ส่วนมากมีเป็นศูนย์หรือค่า  $-U_1$  ตัวควบคุมนี้จะมีลักษณะเป็นแบบไม่เชิงเส้น

ตัวควบคุมแบบสัดส่วน (P)

ตัวควบคุมนี้มีสัญญาณควบคุมออกมาเป็นสัดส่วนโดยตรงกับสัญญาณเข้า

$$C(t) = K_p e(t) \text{ หรือ } C(s) = K_p E(s)$$

โดยค่า  $K_p$  คืออัตราขยายสัดส่วนที่ตัวควบคุมนี้ส่วนใหญ่เป็นเครื่องขยายที่ปรับค่าอัตราขยาย แสดงตามรูปข้างล่าง



รูปที่ 3.4 บล็อก ไดอะแกรมตัวควบคุมแบบพี

ตัวควบคุมแบบอินทิกรัล (แบบ I)

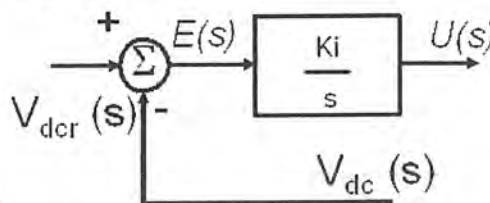
ตัวควบคุมนี้มีสัญญาณควบคุมออกมาด้วยอัตราที่เป็นสัดส่วนกับสัญญาณคลาดเคลื่อนเข้า

$$\frac{dU(t)}{dt} = K_i e(t) \text{ หรือ } U(s) = \int_0^t e(t) dt \tag{3.1}$$

โดย  $K_i$  คือค่าคงที่ที่ปรับค่าได้เมื่อทำการแปลงลาปลาซได้

$$U(s) = \frac{K_i}{s} E(s) \tag{3.2}$$

ตามแผนภาพการควบคุมที่แสดงดังรูป



รูปที่ 3.5 บล็อก ไดอะแกรมตัวควบคุมแบบไอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ตัวควบคุมแบบสัดส่วนบวกอินทิกรัล (แบบPI)

ตัวควบคุมแบบนี้เป็นการรวมตัวควบคุมแบบ P เข้ากับแบบ I

$$U(t) = K_p e(t) + \frac{K_p}{T_i} \int_0^t e(t) dt \quad (3.3)$$

หรือเขียนเป็นฟังก์ชันถ่ายโอนได้

$$\frac{U(S)}{E(S)} = K_p \left( 1 + \frac{1}{T_i S} \right) \quad (3.4)$$

โดย  $K_p$  เป็นอัตราขยายสัดส่วน

$T_i$  ช่วงเวลาอินทิกรัล

ค่า  $K_p$  และ  $T_i$  เป็นค่าคงที่ที่ปรับค่าได้ ส่วนกลับของค่า  $T_i$  เรียกว่า Reset rate ซึ่งหมายถึงจำนวนครั้งต่อเวลาที่สัญญาณควบคุมมีค่าเป็น 2 เท่าบล็อกไดอะแกรมการควบคุมแสดงในรูปที่ 4.11



รูปที่ 3.6 บล็อกไดอะแกรมตัวควบคุมแบบพีไอ

### ตัวควบคุมแบบสัดส่วนบวกอนุพันธ์ (แบบPD)

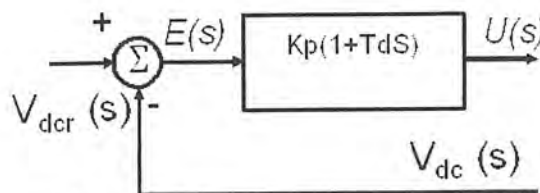
ตัวควบคุมนี้รวมแบบ P เข้ากับแบบอนุพันธ์ D มีสมการดังนี้

$$U(t) = K_p e(t) + K_p T_d \frac{de(t)}{dt} \quad (3.5)$$

และฟังก์ชันถ่ายโอน คือ

$$\frac{U(S)}{E(S)} = K_p (1 + T_d S) \quad (3.6)$$

โดย  $K_p$  เป็นอัตราขยายสัดส่วน และ  $T_d$  เรียกว่า ช่วงเวลาอนุพันธ์ (Derivative time) ค่า  $K_p$  และ  $T_d$  มีค่าคงที่และสามารถปรับค่าได้ การกระทำควบคุมแบบ D ให้สัญญาณออกมีค่าสัดส่วนกับอัตราการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณคลาดเคลื่อนเข้า ในการควบคุมนี้การควบคุมแบบ D ให้ผลต่อระบบก่อนแบบ P ซึ่งข้อดีของแบบ D แต่มีข้อเสียคือ ขยายสัญญาณรบกวนและอาจจะทำให้เกิดการอึดตัวในการเร่งสัญญาณควบคุม



รูปที่ 3.7 บล็อกไดอะแกรมตัวควบคุมแบบพีดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ตัวควบคุมแบบสัดส่วนบวกอินทิกรัลบวกอนุพันธ์ (แบบ PD)

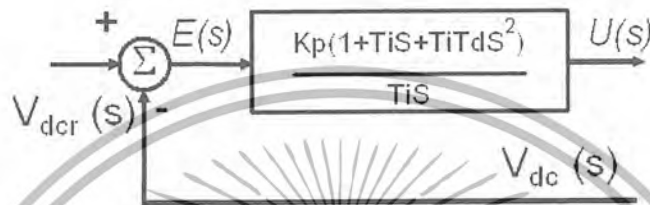
ตัวควบคุมแบบนี้เป็นการรวมกันระหว่างแบบ P, I และ D โดยมีสมการดังนี้

$$U(t) = K_p e(t) + \frac{K_p}{T_i} \int_0^t e(t) dt + K_p T_d \frac{de(t)}{dt} \quad (3.7)$$

และฟังก์ชันถ่ายโอน คือ

$$\frac{U(S)}{E(S)} = K_p \left( 1 + \frac{1}{T_i S} + T_d S \right) \quad (3.8)$$

โดย  $K_p$  คืออัตราสัดส่วน,  $T_i$  คือ ช่วงเวลาอินทิกรัล, และ  $T_d$  คือช่วงเวลอนุพันธ์ดังแสดงในรูป

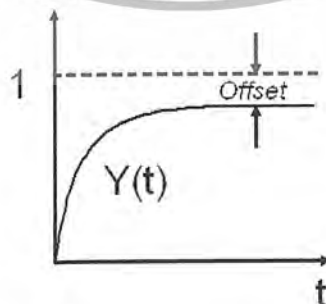


รูปที่ 3.8 บล็อกไดอะแกรมตัวควบคุมแบบพีไอดี

จากหลักการควบคุมพื้นฐานทั้งแบบ 6 แบบนั้น แต่ละการควบคุมจะมีคุณสมบัติการควบคุมที่แตกต่างกันไปการที่จะเลือกตัวควบคุมแต่ละตัวมาใช้งาน ต้องเหมาะสมกับกระบวนการ โดยมีวัตถุประสงค์ในการออกแบบ เพื่อลดค่าความคลาดเคลื่อนในการควบคุมที่เกิดสูงสุดให้มีค่าน้อยที่สุด, ลดค่าช่วงเวลาในการเข้าระบบสมดุลให้สั้นที่สุด และลดค่าความคลาดเคลื่อนรวมในการควบคุมให้มีค่าน้อยที่สุด ฟังก์ชันถ่ายโอนของสวิทช์โหมดคอนเวอร์เตอร์ดังแสดงในสมการคือ

$$\frac{V_{DS}(S)}{I_S(S)} = \frac{RV_s}{(RCS+1)V_{DC}} \quad (3.9)$$

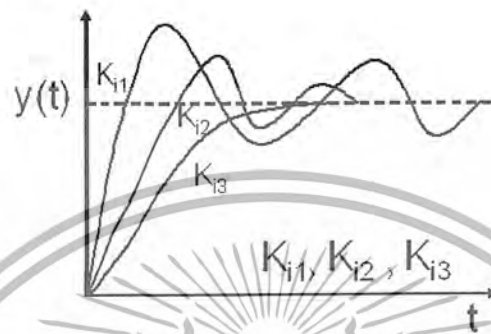
จะเห็นว่าฟังก์ชันถ่ายโอนของระบบสวิทช์โหมดคอนเวอร์เตอร์ จะเป็นสมการออร์เดอร์กำลังหนึ่ง ดังนั้นในการควบคุมระบบสวิทช์โหมดคอนเวอร์เตอร์ จำเป็นที่จะต้องใช้การควบคุมแบบเชิงเส้นในการควบคุม ดังนั้นในการควบคุมแบบพีไอเอ็นามาใช้ร่วมในกระบวนการที่มีฟังก์ชันอันดับหนึ่งจะทำให้ระบบมีผลการตอบสนองที่รวดเร็วแต่จะเกิดการคลาดเคลื่อนในกระบวนการควบคุมหรือเกิด Offset ดังแสดงในรูป จึงทำให้ระบบเสถียรภาพของกระบวนการลดลง (1)



รูปที่ 3.9 แสดงผลการตอบสนองของกระบวนการอันดับหนึ่งที่ใช้เครื่องควบคุมแบบพี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อนำการควบคุมแบบโอมาใช้ก็จะพบว่า การควบคุมแบบโอสามารถลดผลต่างการควบคุมให้หมดไปและทำให้กระบวนการเข้าสู่สภาพเป้าหมายเสมอด้วยในการควบคุมแบบโอเมื่อเพิ่มหรือลด  $K_i$  จะได้ผลการทดลองตามรูปที่ 4.15 จะเห็นได้ว่าอัตราการหน่วงของกระบวนการ  $\xi$  เปลี่ยนไปเมื่อเพิ่ม  $K_i$  มากค่าอัตราการหน่วงของกระบวนการ  $\xi$  ลดลงเช่นเดียวกันเมื่อลดค่า  $K_i$  ให้น้อยจะทำให้การตอบสนองของกระบวนการเร็วขึ้น และมีความหน่วงน้อยลงทำให้เกิดการแกว่งในลักษณะเช่นนี้จะทำให้เสถียรภาพของกระบวนการลดลง



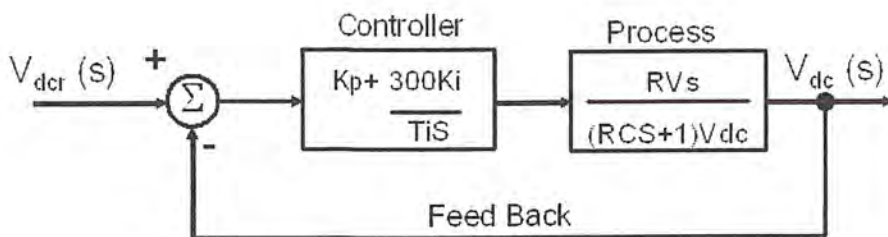
รูปที่ 3.10 ผลการตอบสนองของกระบวนการที่มีการควบคุมแบบพีโอและปรับค่า  $K_i$

และเมื่อนำการควบคุมแบบดีกับระบบกระบวนการอันดับหนึ่ง โดยคุณสมบัติของกระบวนการอันดับหนึ่งที่มีการควบคุมแบบดีจะพบว่า การควบคุมแบบดีไม่เปลี่ยนแปลงจำนวนอันดับของกระบวนการเดิมเช่นเดียวกับการควบคุมแบบโอและค่าคงที่ การหน่วงเวลาของกระบวนการมีค่าเพิ่มขึ้นจากเดิมทำให้ผลตอบสนองของกระบวนการช้าลง เมื่อนำการควบคุมแบบพีโอมาใช้กับกระบวนการพบว่า การควบคุมแบบนี้ทำให้คุณสมบัติของกระบวนการเปลี่ยนไป ทำให้กระบวนการมีอันดับสูงขึ้นเนื่องจากการควบคุมแบบโอ

กระบวนการไม่มีการคลาดเคลื่อนในการควบคุมกระบวนการจะเข้าสู่เป้าหมายเสมอเนื่องมาจากการควบคุมแบบโอ เมื่อเพิ่มค่า  $K_p$  จะทำให้ผลการตอบสนองเร็วขึ้นเนื่องจากผลการควบคุมแบบพีโอและโอแต่กระบวนการจะมีการแกว่งมากขึ้นทำให้การตอบสนองสูงสุดเพิ่มขึ้น และมีเสถียรภาพของกระบวนการลดลงเนื่องมาจากตัวควบคุมแบบโอและเมื่อลดค่า  $T_i$  จะทำให้การตอบสนองของกระบวนการเร็วขึ้นกระบวนการจะมีการแกว่งมากขึ้น ดังนั้นถ้าการออกแบบตัวควบคุมแบบพีโอให้เหมาะสมกับกระบวนการจะทำให้ระบบมีผลการเวลาในการตอบสนองที่ดีและมีเสถียรภาพที่ดี ในการควบคุมแบบพีโอดี จะมีคุณสมบัติเหมือนการควบคุมแบบพีโอและเมื่อเพิ่มการควบคุมแบบดีเข้าไปโดยจะทำให้กระบวนการมีเสถียรภาพที่ดีขึ้น ในขณะที่เดียวกันผลการตอบสนองของกระบวนการจะมีความเร็ววงเดิมจากผลการตอบสนองแบบพีโอ

จากคุณสมบัติของการควบคุมแต่ละแบบ โดยหลักการในการเลือกตัวควบคุมให้เหมาะสมกับกระบวนการของการสวิตซ์โหมดคอนเวอร์เตอร์โดยได้เลือกใช้ตัวควบคุมแบบพีโอ ดังนั้นในการออกแบบเพื่อศึกษาลักษณะเฉพาะของ transient response ของระบบลูปปิดจึงแสดงตามรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.11 บล็อกไดอะแกรมของระบบที่มีการป้อนกลับแบบพีโอ

เมื่อนำมาเขียนสมการฟังก์ชันถ่ายโอนที่มีการป้อนกลับสามารถเขียนได้ดังนี้

$$\frac{V_{dc}(S)}{V_{dcr}(S)} = \frac{RV_s K(S + 300)}{(R(S^2 + S)V_{dcr} + KR V_s (S + 300))} \tag{3.10}$$

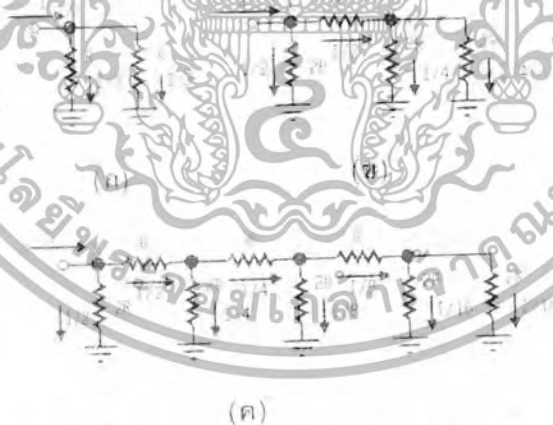
จากสมการข้างบนสามารถนำไปคำนวณเพื่อตรวจสอบและระบบการควบคุมได้

### 3.2 หลักการแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นอนาล็อก

#### 3.2.1 หลักการแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นอนาล็อก

การแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นอนาล็อกแบบ R-2R

ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับการแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นอนาล็อกแบบ R-2R วงจร DAC อีกแบบหนึ่งที่มีความนิยมคือแบบ R-2R แคลคูล์ ทั้งนี้เนื่องจากสามารถหาอุปกรณ์ในการสร้างวงจรง่าย กระบวนการสร้างวงจร DAC จะเริ่มต้นจากวงจรตัวต้านทานต่อขนานกัน 2 ตัว ดังรูป หากตัวต้านทานทั้งสองตัวมีค่าเท่ากัน กระแสที่ไหลผ่านตัวต้านทานทั้งสองตัวจะมีค่าเท่ากันคือเท่ากับ I/2

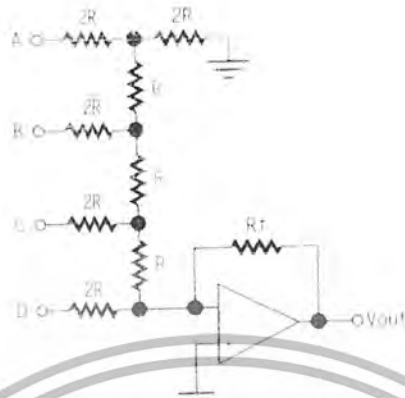


รูปที่ 3.12 แสดงวงจรพื้นฐานของการแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล

จากนั้นทำการเปลี่ยนค่าของตัวต้านทานเพื่อขยายสาขาของของวงจรดังในรูป ค่าความต้านทานที่จุด X จะเท่ากับ ซึ่งก็คือ 2R ดังนั้นค่าความต้านทานทั้งทางด้านซ้ายและขวามือของจุด X จะมีค่าเท่ากับคือ 2R ทำให้ปริมาณกระแสที่ไหลผ่านเท่ากันคือ I/2 จากจุด X มีกระแสไหลเข้า I/2 จะถูกแยกเป็นสองทางด้วยตัวต้านทาน 2R สองตัวที่ต่อขนานกัน กระแสที่ไหลผ่านวงจรในสาขานี้จึงเป็น I/4 นั้นหมายความว่า หากต่อพ่วงวงจรตัวต้านทานเข้าไปอีกหลายสาขา ก็จะทำให้กระแสถูกเฉลี่ยมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เหมือนกับการสร้างบันไดของกระแสที่ละชั้นด้วยอัตราส่วนของตัวต้านทานที่คงที่คือ  $R$  และ  $2R$  ดังในวงจรรูป จากนั้นนำวงจร  $R-2R$  แลคเตอร์นี้ต่อเข้ากับวงจรแปลงค่ากระแสเป็นแรงดันโดยใช้โอปแอมป์ดังในรูป



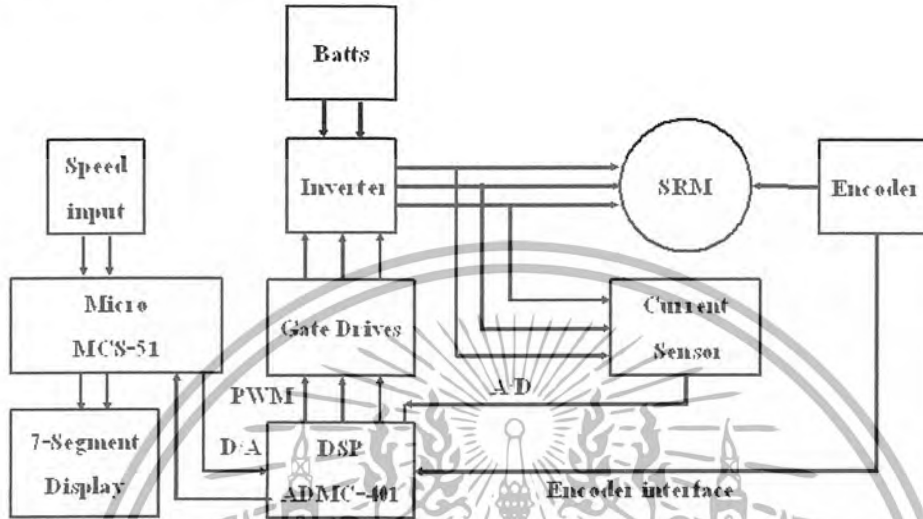
รูปที่ 3.13 แสดงวงจร DAC แบบ  $R-2R$  ที่มีการใช้โอปแอมป์ในการแปลงค่ากระแสให้เป็นแรงดันไฟฟ้า

จะเห็นได้ว่า การใช้วงจร DAC แบบ  $R-2R$  จะมีข้อดีคือ หาตัวต้านทานได้ง่ายกว่าแบบกำหนดน้ำหนักตัวต้านทานคือ ใช้ตัวต้านทานเพียง 2 ค่า ในขณะที่แบบกำหนดน้ำหนักตัวต้านทานต้องใช้ตัวต้านทานหลายค่าและต้องมีค่าที่วิฤตเกินไปเรื่อยๆ ซึ่งอาจทำให้หาตัวต้านทานได้ยากขึ้นตามลำดับ

## บทที่ 4

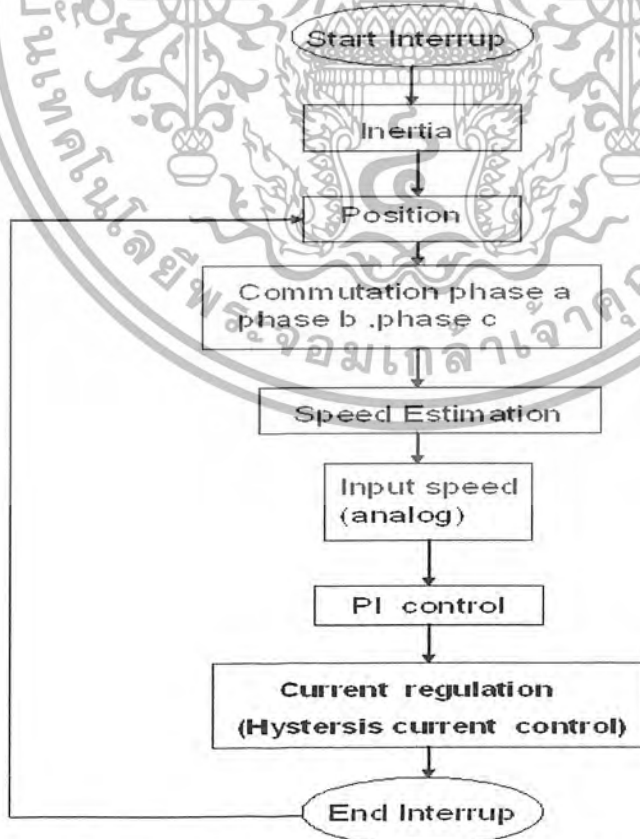
### วงจรที่ใช้ในโครงการและการออกแบบ

#### 4.1 บล็อกไดอะแกรมรวมของโครงการ



รูปที่ 4.1 แสดงบล็อกไดอะแกรมรวมของโครงการ

#### 4.2 บล็อกไดอะแกรมแสดงการทำงานหลักของโครงการ



รูปที่ 4.2 แสดงบล็อก ไดอะแกรมแสดงการทำงานหลักของโครงการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.3 วงจรอินเวอร์เตอร์

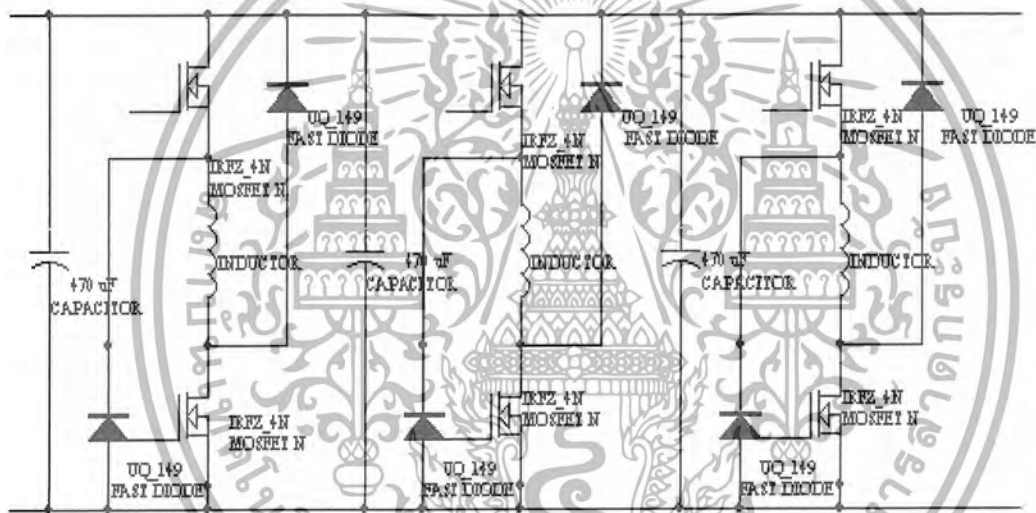
#### 4.3.1 การออกแบบวงจรอินเวอร์เตอร์

ในส่วนของการออกแบบวงจรอินเวอร์เตอร์เราจะทำการพิจารณาองค์ประกอบหลาย ๆ ส่วน คือ

1. ขนาดพิกัดของมอเตอร์
2. ขนาดของแหล่งจ่ายที่ป้อนให้กับมอเตอร์
3. ขนาดของมอเตอร์เฟสและขนาดของไดโอด

#### 4.3.2 วงจรอินเวอร์เตอร์ที่ใช้ในโครงการ

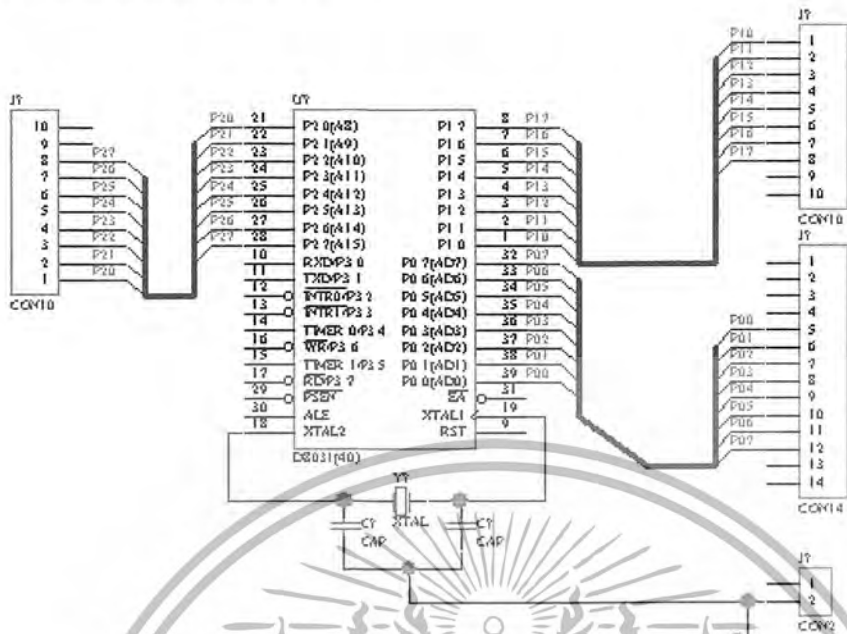
การออกแบบอินเวอร์เตอร์ที่ใช้ในโครงการ นำวงจรมาจากทฤษฎีภายในหนังสือ แต่ในการออกแบบสร้างจริงนั้น ได้ทำการใส่ค่าพารามิเตอร์เพิ่มเข้าไป และในการออกแบบเราจะคำนึงถึงขนาดพิกัดของโหลดเพื่อเลือกขนาดของมอเตอร์เฟส, ไดโอดและคาปาซิเตอร์วงจรที่สร้างแสดงไว้ดังรูป



รูปที่ 4.3 แสดงวงจรอินเวอร์เตอร์ที่ใช้ในโครงการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

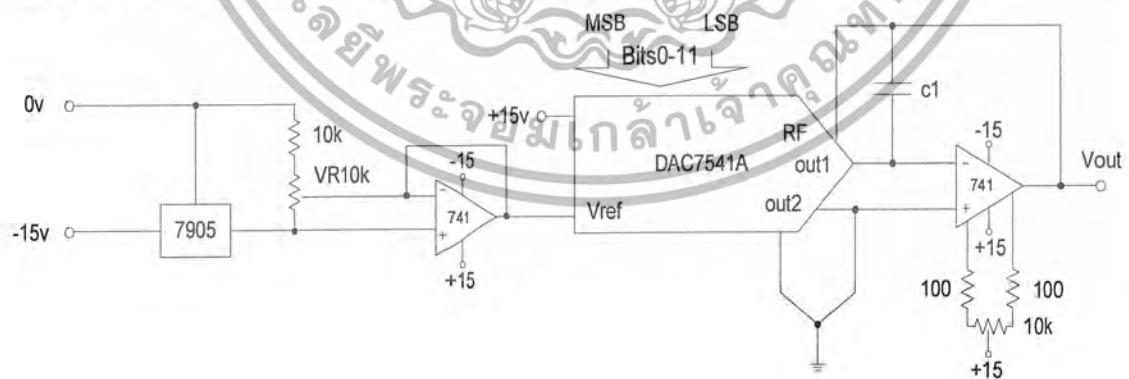
4.4 วงจร ไมโครคอนโทรลเลอร์



รูปที่ 4.4 แสดงการต่อไมโครคอนโทรลเลอร์

4.5 วงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นอนาล็อก

การเชื่อมต่อวงจร DAC โดยใช้ IC DAC7541A เข้ากับไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 สามารถต่อเข้ากับพอร์ตไดร์ได้ โดยผ่านวงจรแลตซ์ ทั้งนี้เพื่อให้สามารถข้อมูลดิจิทัลที่ส่งออกไปสามารถคงค่าอยู่ได้จนกว่าจะมีการส่งข้อมูลดิจิทัลออกไปใหม่ ดังมีตัวอย่างวงจรแสดงตามรูปที่ การเขียนโปรแกรมเพื่อติดต่อกับทำได้ง่ายมาก โดยพิจารณาวงจร DAC แบบ R-2R เป็นเหมือนกับอุปกรณ์เอาต์พุตแบบขนานตัวหนึ่งเมื่อส่งข้อมูลดิจิทัลออกไป วงจร DAC นี้ก็จะแปลงเป็นสัญญาณอนาลอกให้



รูปที่ 4.5 แสดงการเชื่อมต่อวงจร DAC โดยใช้ IC DAC7541A เข้ากับไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS51

สมการที่ใช้ในการคำนวณหาแรงดันเอาต์พุต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

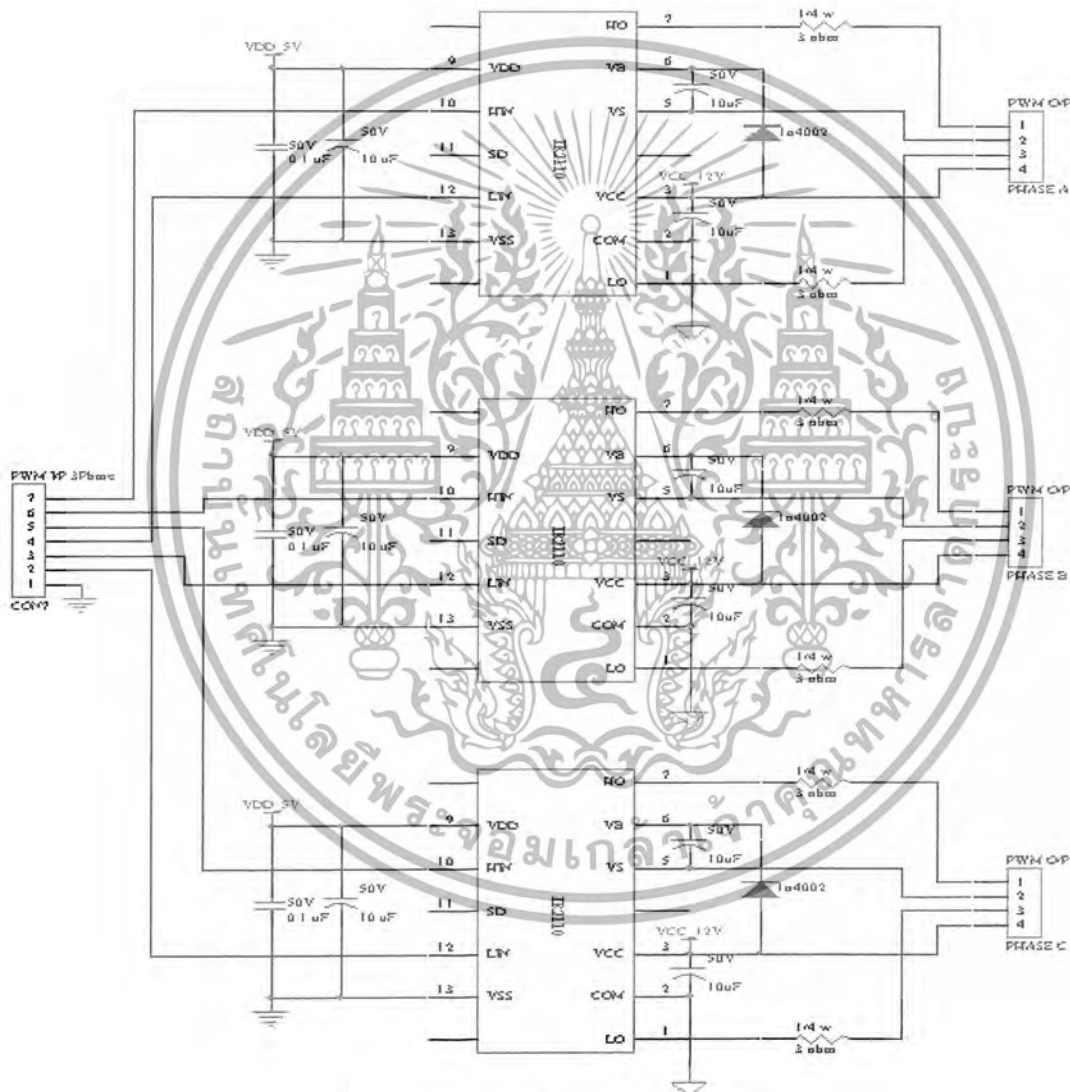
$$V_{OUT} = -V_{REF} \left( \frac{B1}{2} + \frac{B2}{4} + \frac{B3}{8} + \dots + \frac{B12}{4096} \right)$$

$$-10V \leq -V_{REF} \leq +10V$$

$$0 \leq V_{OUT} \leq -\frac{4095}{4096} V_{REF}$$

4.6 วงจรขั้วเกต

ในการขั้วมอดเฟสที่ใช้ในโครงงานนี้ จะใช้ไอซีในการขั้วเพราะจะทำให้พัลส์ที่ออกมามีความผิดเพี้ยนน้อย ทำให้สัญญาณที่ออกมาดีกว่าการใช้อนาล็อก



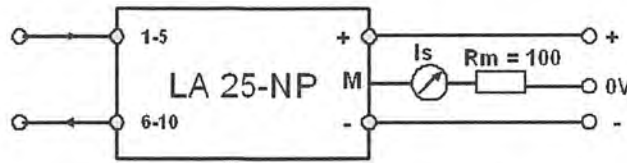
รูปที่ 4.6 แสดงวงจรที่ใช้ในการขั้วมอดเฟส

4.7 การตรวจจักระแส

จากโครงงานนี้จะเลือกตั้งพิคตกระแสทางด้านอินพุตเท่ากับ 25 แอมแปร์ และได้กระแสทางด้านเอาต์พุตเท่ากับ 25 มิลลิแอมแปร์ เพราะฉะนั้นอัตราส่วนของ turn ratio จึงมีค่าเท่ากับ 1/1000 และจากวงจรจะมีค่าความต้านทาน (Rm) หนึ่งตัวที่เราจะต้องหาค่าเพื่อนำมาต่อให้ได้แรงดันเอาต์พุตเท่ากับ 2.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

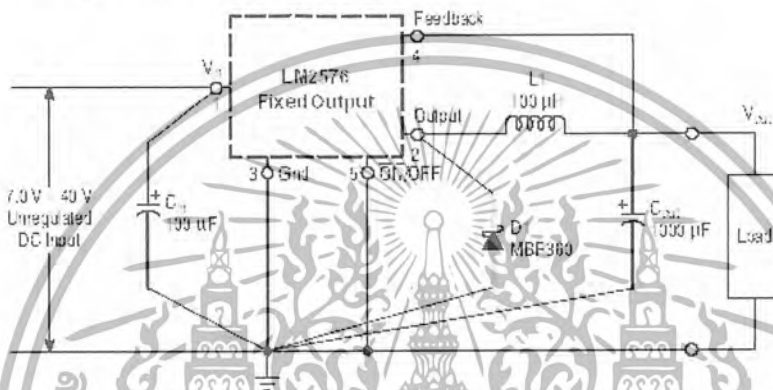
โวลเตจท์ และแรงดันที่ได้นี้จะนำไปใช้ในการควบคุมกระแสสูงสุดและต่ำสุดของมอเตอร์ ดังนั้นค่าความต้านทานที่เลือกใช้งานมีค่าเท่ากับ 2.5/2.5 mA เท่ากับ 100 โอห์ม



รูปที่ 4.7 แสดงการต่อ current sensor ใช้งาน

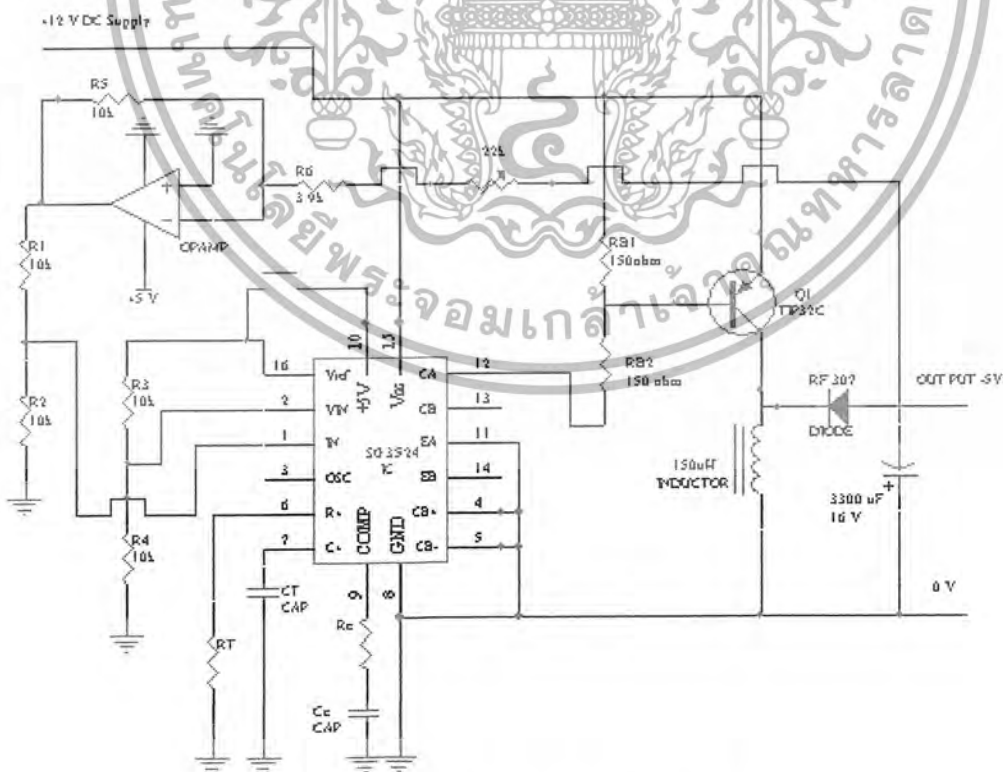
4.8 วงจรดีซีฟลูตซ์คอนเวอร์เตอร์

4.8.2 วงจรดีซีฟลูตซ์คอนเวอร์เตอร์ 5 โวลท์



รูปที่ 4.8 แสดงวงจรดีซีฟลูตซ์คอนเวอร์เตอร์ 5 โวลท์

4.8.2 วงจรดีซีฟลูตซ์คอนเวอร์เตอร์ -5 โวลท์



รูปที่ 4.9 แสดงวงจรดีซีฟลูตซ์คอนเวอร์เตอร์ -5 โวลท์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

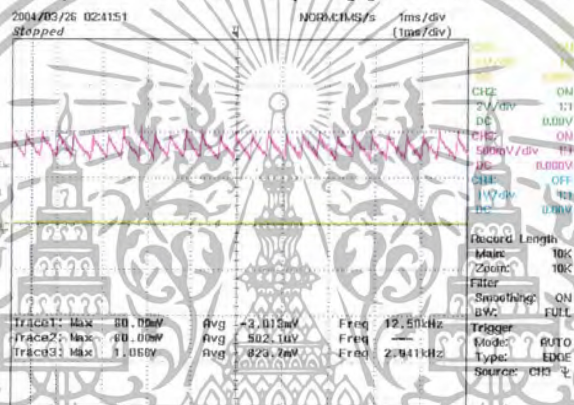
### ผลการทดลอง

การทดลองใน โครงงานนี้แบ่งการทดลองออกเป็น 2 ส่วน คือ

ส่วนที่ 1 การตั้งค่าตำแหน่งของโรเตอร์

#### 5.1 การทดลองที่ 1 การล็อกโรเตอร์(lock rotor) ของมอเตอร์

การทดลองนี้เป็นการทดลองจ่ายกระแสพัลส์ ให้กับขดลวดของมอเตอร์เฟสใดเฟสหนึ่งก็ได้ เพียงเฟสเดียว จากโครงงานทำการล็อกที่เฟส C เพื่อหาตำแหน่ง ของ aligned position ซึ่งเป็นจุดที่ทำให้เกิดค่าความเหนี่ยวนำสูงสุด โดยจุดนี้จะเป็นจุดที่มีเสถียรภาพมากที่สุด สัญญาณกระแสที่วัดได้ดังรูป



รูปที่ 5.1 แสดงสัญญาณกระแสที่เกิดจากการล็อกโรเตอร์ที่เฟส C

#### 5.2 การทดลองที่ 2 การตั้งค่าตำแหน่งศูนย์ของโรเตอร์ โดยการใช้เอ็นโคเดอร์ตรวจจับ

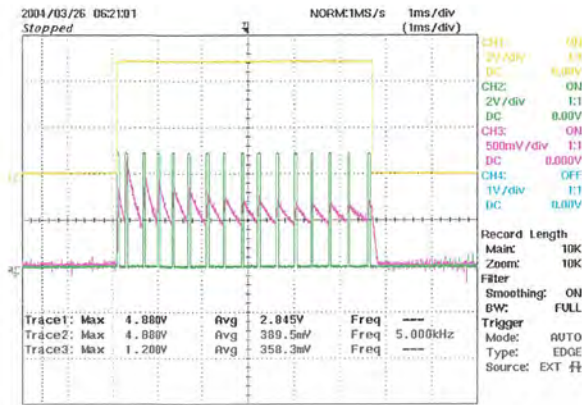
การทดลองนี้จะเป็นการตั้งค่าตำแหน่ง aligned position เฟสใดเฟสหนึ่งของ โรเตอร์ให้ตรงกับตำแหน่งที่ทำให้เอ็นโคสเตรอร์สร้างสัญญาณพัลส์ Index ออกมา การที่ตั้งค่าตำแหน่งศูนย์นี้เพื่อให้เรารู้ตำแหน่งของโรเตอร์เพื่อที่จะได้จ่ายกระแสพัลส์ให้ตรงกับเฟสที่เราตรวจจับตำแหน่ง สัญญาณ Index จากการทดลองไม่สามารถเก็บผลไว้ได้จึง ไม่มีรูปประกอบ

ส่วนที่ 2 การเก็บผลการขับเคลื่อนมอเตอร์

#### 5.3 การทดลองที่ 3 การตรวจจับสัญญาณพีคดับเบิลยูเอ็ม

การทดลองนี้เป็นการตรวจสอบสัญญาณพีคดับเบิลยูเอ็มที่ได้จากการเอาสัญญาณจาก current sensor มามือทกับ สัญญาณอ้างอิงเพื่อนำสัญญาณที่ได้ไปขับเคลื่อนรูป

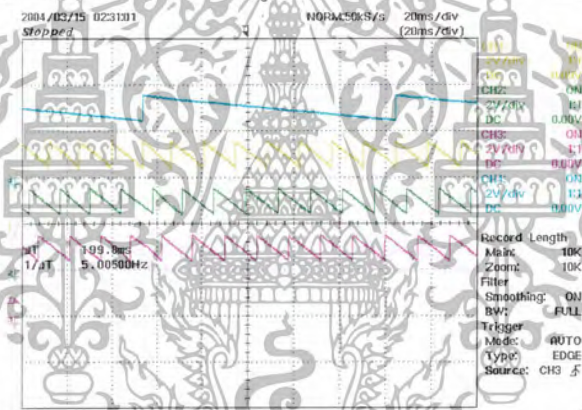
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



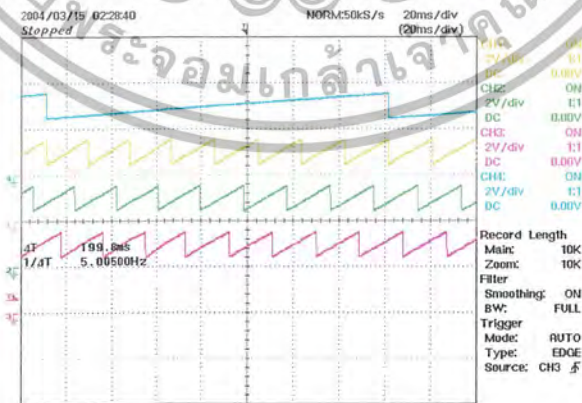
รูปที่ 5.2 แสดงสัญญาณที่คัปเบิ้ลยูเอ็ม

5.4 การทดลองที่ 4 การขับเคลื่อนมอเตอร์เพื่อตรวจสอบตำแหน่งของโรเตอร์

การทดลองนี้เป็นการตรวจสอบว่ามอเตอร์ได้รับกระแสครบทั้ง 3 เฟสหรือไม่ จากรูปแสดงสัญญาณกระแส 3 เฟส และสัญญาณ Index ของ Encoder ดังรูป



รูปที่ 5.3 แสดงการหมุนของมอเตอร์ในทิศทางตามเข็มนาฬิกา

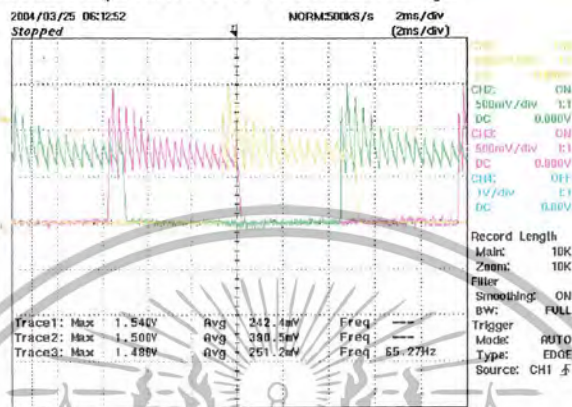


รูปที่ 5.4 แสดงการหมุนของมอเตอร์ในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา

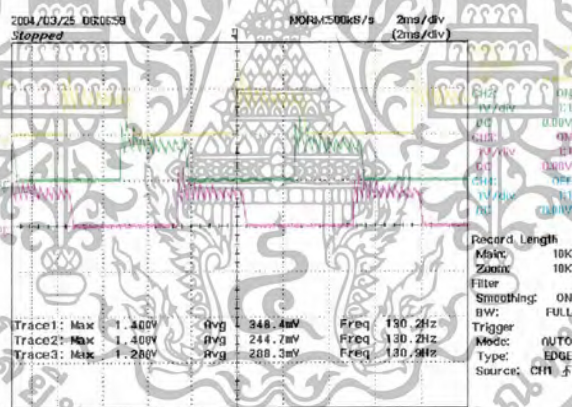
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.5 การทดลองที่ 5 การขับเคลื่อนมอเตอร์ในทิศทางตามเข็มนาฬิกาและทิศทางทวนเข็มนาฬิกา โดยใช้ระบบควบคุมแบบเปิด

การทดลองนี้เป็นการจ่ายกระแสพัลส์ให้กับมอเตอร์ครบทั้ง 3 เฟส โดยการใช้ระบบควบคุมแบบเปิด คือ ยังไม่มีการควบคุมความเร็วเข้าที่พุด ผลที่ได้จากการวัดกระแส ดังรูป



รูปที่ 5.5 แสดงสัญญาณกระแสในขณะที่มอเตอร์เริ่มหมุนในทิศทางตามเข็มนาฬิกา ที่ความเร็ว 500 รอบต่อนาที



รูปที่ 5.6 แสดงสัญญาณกระแสในขณะที่มอเตอร์หมุนในทิศทางตามเข็มนาฬิกาที่ความเร็ว 1500 รอบต่อนาที ตารางที่ 5.1 ตารางแสดงการหมุนของมอเตอร์หมุนในทิศทางตามเข็มนาฬิกา

มอเตอร์หมุนในทิศทางตามเข็มนาฬิกา				
ความเร็วอินพุทที่ป้อน	กระแสเฟสของมอเตอร์(A)		ความเร็วเข้าที่พุด(rpm)	
	ขณะ No-load	ขณะมี load	ขณะ No-load	ขณะมี load
0	1	1.5	4650	38
1000	2	3	4765	516
1500	3	4	4820	915

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2000	4	6	4900	1021
2500	5	7.5	5020	1130
3000	6	8.5	5200	1340
3500	7	9	5400	1510
4000	8	12	5630	1640

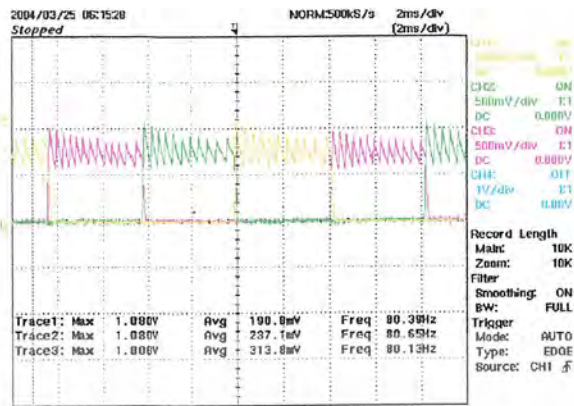


รูปที่ 5.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสกับความเร็วมอเตอร์ในทิศทางตามเข็มนาฬิกา ที่สภาวะ No-load

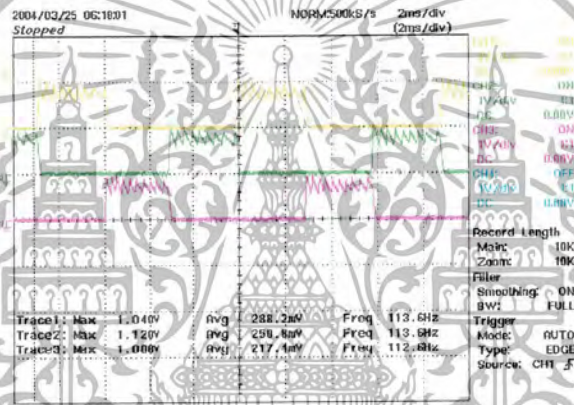


รูปที่ 5.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสกับความเร็วมอเตอร์ในทิศทางตามเข็มนาฬิกา ที่สภาวะมี load

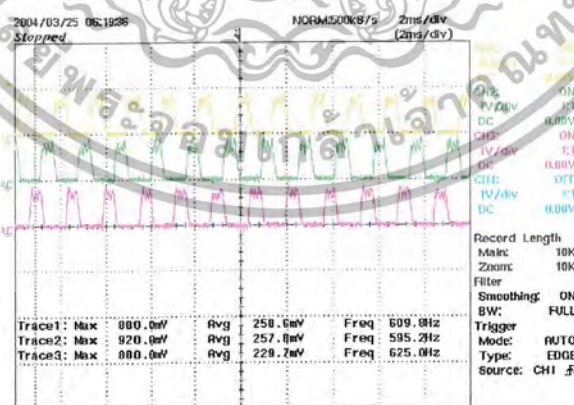
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.9 แสดงสัญญาณกระแสในขณะที่มีมอเตอร์เริ่มหมุนในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา ที่ความเร็ว 800 รอบต่อนาที



รูปที่ 5.10 แสดงสัญญาณกระแสในขณะที่มีมอเตอร์หมุนในทิศทางทวนเข็มนาฬิกาที่ความเร็ว 1500 รอบต่อนาที



รูปที่ 5.11 แสดงสัญญาณกระแสในขณะที่มีมอเตอร์หมุนในทิศทางทวนเข็มนาฬิกาที่ความเร็ว 4000 รอบต่อนาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

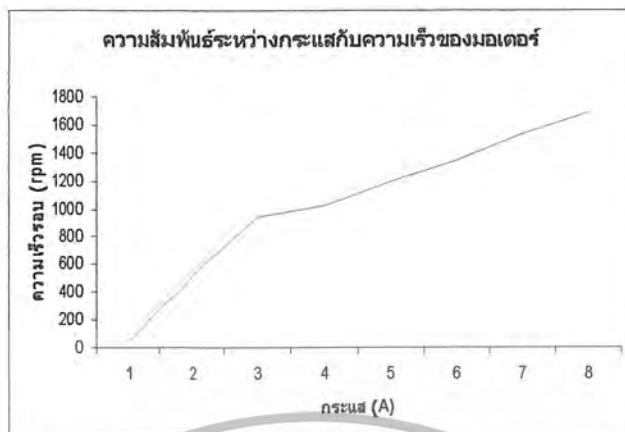
ตารางที่ 5.2 ตารางแสดงการหมุนของมอเตอร์หมุนในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา

มอเตอร์หมุนในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา				
ความเร็วอินพุตที่ ป้อนจาก keypad	กระแสไฟของมอเตอร์(A)		ความเร็วเข้าที่พุทที่เพลา(rpm)	
	ขณะ No-load	ขณะมี load	ขณะ No-load	ขณะมี load
0	1	1.5	4527	47
1000	2	3	4700	523
1500	3	4	4850	947
2000	4	6	4910	1023
2500	5	7.5	5120	1200
3000	6	8.5	5220	1346
3500	7	9	5500	1540
4000	8	12	5690	1690



รูปที่ 5.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสกับความเร็วของมอเตอร์ในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา ที่สภาวะ No-load

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสกับความเร็วมอเตอร์ในทิศทางวนเข็มนาฬิกา ที่สถานะมี load

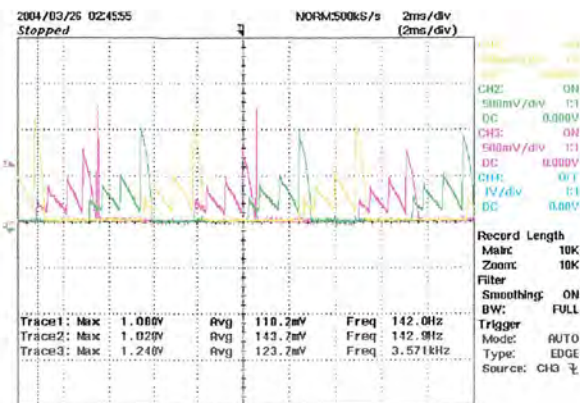
5.6 การทดลองที่ 6 การทดลองการกลับทางหมุนมอเตอร์แบบทันทีทันใด

การทดลองนี้จะเป็นการกลับทางหมุนมอเตอร์จากทิศทางตามเข็มนาฬิกาเป็นทิศทางวนเข็มนาฬิกา และจากทิศทางวนเข็มนาฬิกาเป็นทิศทางตามเข็มนาฬิกา

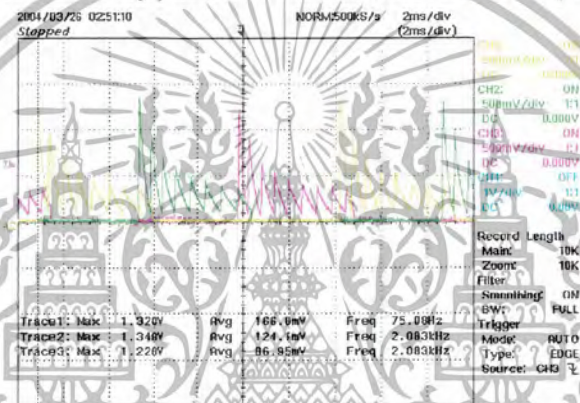


รูปที่ 5.14 แสดงสัญญาณกระแสในขณะที่มีมอเตอร์หมุนในทิศทางตามเข็มนาฬิกา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



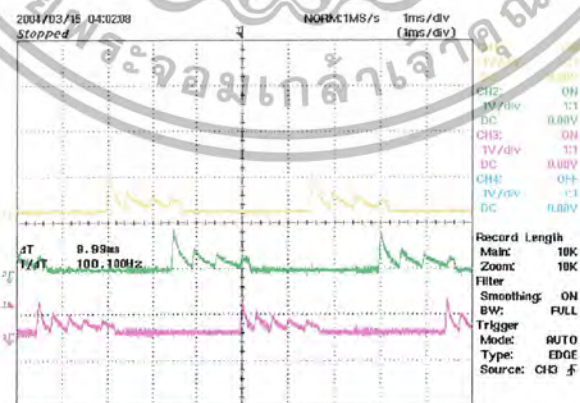
รูปที่ 5.15 แสดงสัญญาณกระแสในขณะที่มีมอเตอร์กำลังจะหยุดหมุน



รูปที่ 5.16 แสดงสัญญาณกระแสในขณะที่มีมอเตอร์หมุนเปลี่ยนไปที่ทิศทางทวนเข็มนาฬิกา

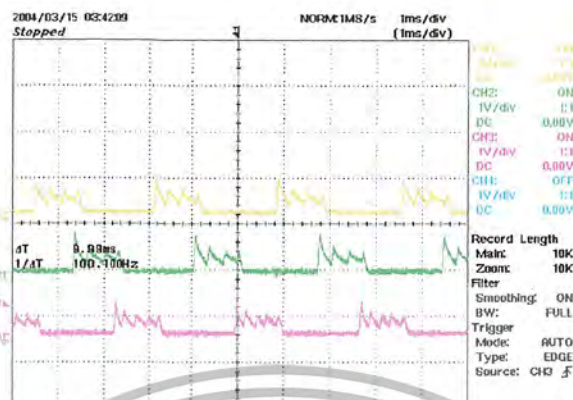
5.7 การทดลองที่ 7 การขับเคลื่อนมอเตอร์ในทิศทางตามเข็มนาฬิกา โดยการใช้ระบบควบคุมแบบ

ป้อนกลับ



รูปที่ 5.17 แสดงการหมุนของมอเตอร์เมื่อมอเตอร์มีความเร็วรอบ 1000 รอบต่อนาที

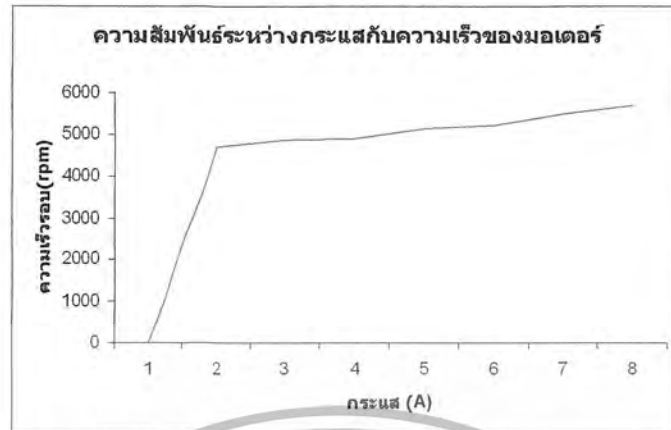
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.18 แสดงการหมุนของมอเตอร์เมื่อมอเตอร์มีความเร็วรอบ 1500 รอบต่อนาที  
ตารางที่ 5.3 ตารางแสดงการหมุนของมอเตอร์หมุนในทิศทางตามเข็มนาฬิกา เมื่อใส่ระบบควบคุมแบบ  
ป้อนกลับ

มอเตอร์หมุนในทิศทางตามเข็มนาฬิกา				
ความเร็วอินพุตที่ป้อน จาก keypad	กระแสเฟสของมอเตอร์		ความเร็วเอาต์พุตที่เฟลา (rpm)	
	ขณะ No-load	ขณะมี load	ขณะ No-load	ขณะมี load
0	0	0	0	0
1000	1	6	4700	523
1500	1	8	4850	947
2000	1	10	4910	1023
2500	1	13	5120	1200
3000	1	15	5220	1346
3500	1	17	5500	1540
4000	1	22	5690	1690

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสกับความเร็วของมอเตอร์ในทิศทางตามเข็มนาฬิกา ที่

สถานะ No-load เมื่อใส่ระบบควบคุมแบบป้อนกลับ



รูปที่ 5.20 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสกับความเร็วของมอเตอร์ในทิศทางตามเข็มนาฬิกา ที่

สถานะมี Load เมื่อใส่ระบบควบคุมแบบป้อนกลับ

## บทที่ 6

### บทวิจารณ์และสรุป

#### 6.1 วิเคราะห์ผลของโครงการ

จากการทดลองเมื่อเริ่มหมุนมอเตอร์ มอเตอร์จะมีกระแสสูงจนกระทั่งลดลง แต่เมื่อทำการใส่โหลดจะทำให้กระแสสูงขึ้นอีกครั้ง ในสถานะที่เราทำการควบคุมแบบระบบเปิด จะทำให้ความเร็วของมอเตอร์ลดลงมาก แต่ในสถานะที่เราทำการควบคุมแบบระบบป้อนกลับ จะทำให้ความเร็วของมอเตอร์ค่อนข้างคงที่ ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าถ้าไม่มีระบบควบคุมให้กับสวิทช์รีลัคแตนซ์มอเตอร์จะทำให้มอเตอร์มีความเร็วสูงคล้ายกับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงชนิดขดลวดอนุกรม เนื่องจากสวิทช์รีลัคแตนซ์มอเตอร์เป็นมอเตอร์มีความเร็วสูงเพราะฉะนั้นจึงไม่เหมาะกับการทำงานที่สถานะไร้โหลด แต่เมื่อทำการใส่โหลดให้กับมอเตอร์จะทำให้ความเร็วของมอเตอร์ลดลงอย่างมาก และเมื่อทำการใส่ระบบควบคุมให้กับสวิทช์รีลัคแตนซ์มอเตอร์จะทำให้มอเตอร์มีความเร็วที่คงที่ทั้งในสถานะที่ไร้โหลดและในสถานะที่มีโหลด แต่จะทำให้มอเตอร์มีกระแสสูงมาก

#### 6.2 ปัญหาและแนวทางในการแก้ไขปัญหาดังนี้

จากข้อผิดพลาดต่างๆ ที่กล่าวมา พอจะสรุปเป็นปัญหาที่พบและแนวทางการแก้ไขปัญหาดังนี้

##### 6.2.1 ปัญหาที่พบ

- การทำงานของวงจรจริงไม่เป็นไปตามทฤษฎีที่ใช้ในการคำนวณและออกแบบ ทำให้วงจรที่ออกแบบมานั้น ได้ค่าต่างๆ ยังไม่ใกล้เคียง เช่น วงจรดีซี – ดีซี คอนเวอร์เตอร์  $\pm 15$  โวลต์ เมื่อทำการต่อเข้ากับระบบจะทำให้เกิดสัญญาณรบกวนที่เข้ามาที่สัญญาณกระแสที่วัด
- ยังไม่สามารถควบคุมความเร็วรอบให้คงที่ได้ตามวัตถุประสงค์ เนื่องจากยังไม่มีโหลดที่แน่นอนให้กับมอเตอร์ อีกทั้งยังผิดพลาดในส่วน โปรแกรมในการควบคุม
- ขาดทักษะและความชำนาญในการปฏิบัติงานจริง ทำให้เกิดความล่าช้าในการทำงาน
- ในบางครั้งขาดความรอบคอบและความระมัดระวังในการปฏิบัติงาน ทำให้เกิดข้อผิดพลาดซึ่งก่อให้เกิดอันตรายต่อผู้ปฏิบัติงาน และเกิดความเสียหายแก่ชิ้นงานได้

##### 6.2.2 แนวทางในการแก้ไขปัญหาดังนี้

- จากปัญหาเรื่องแหล่งจ่ายดีซี – ดีซี คอนเวอร์เตอร์  $\pm 15$  โวลต์ ที่ทำให้เกิดสัญญาณรบกวนวิธีการแก้ไข ทดลองใช้แหล่งจ่ายไฟจาวจอร์เรกติไฟล์ จะทำให้กระแสที่วัดได้ไม่มีสัญญาณรบกวนที่เข้ามาที่สัญญาณกระแสที่วัด
- ในการควบคุมความเร็วรอบให้คงที่ แก้ไขโดยการจำลองโหลด เพื่อทำการทดสอบว่าระบบสามารถควบคุมความเร็วรอบได้หรือไม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ศึกษาเนื้อหาทางด้านวิชาการให้ละเอียด และครอบคลุมหลาย ๆ เรื่อง เพื่อให้มีความรู้ความเข้าใจในการออกแบบ และวิเคราะห์ปัญหาที่เกิดขึ้นได้
- ศึกษาจากข้อมูลแหล่งข้อมูลภายนอก เพื่อเปรียบเทียบลักษณะของโครงการกับข้อที่มีใช้กันอยู่จริง
- เพิ่มความรอบคอบและระมัดระวังในการทำงานมากขึ้น
- วางแผนการทำงานทุกอย่างให้ดี เพื่อที่จะได้รู้ขั้นตอนในการทำงาน ซึ่งจะส่งผลให้โครงการสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีภายในเวลาอันสั้นและเกิดข้อผิดพลาดน้อยลง

สรุปแล้วโดยภาพรวมของระบบยังไม่สามารถนำไปใช้งานได้จริง ควรจะทำการปรับปรุงแก้ไขส่วนต่างๆ ของระบบให้มีประสิทธิภาพดีกว่านี้เสียก่อน ดังนั้นจะเห็นได้ว่าโครงการนี้มีความเป็นไปได้จริงตามแนวคิดที่ได้กำหนดขอบเขตไว้ในตอนแรก และสามารถเป็นแนวทางในการศึกษาและพัฒนาสำหรับนักศึกษารุ่นน้องต่อไป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



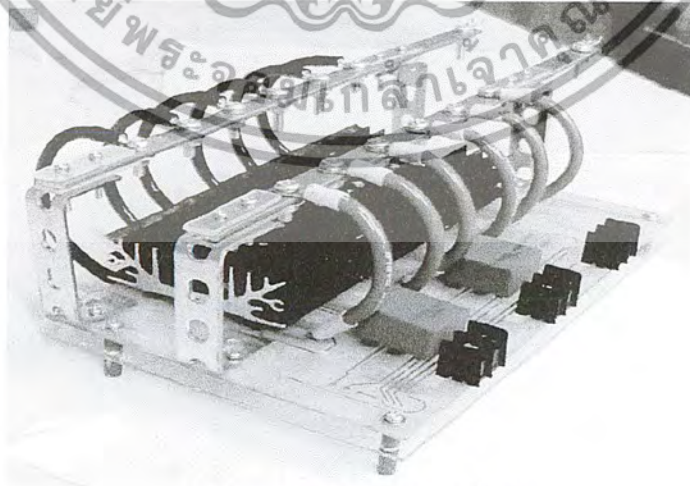
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป ก.1 แสดงโครงสร้างของสวิตช์รีลัคแทนซ์มอเตอร์

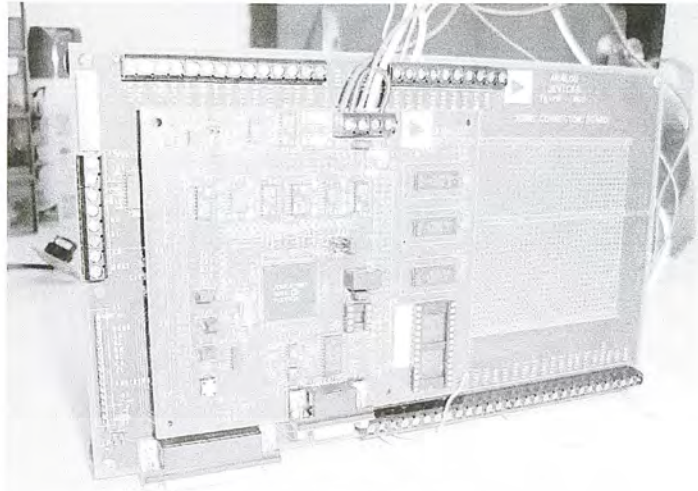


รูป ก.2 แสดงสวิตช์รีลัคแทนซ์มอเตอร์เมื่อประกอบแล้ว

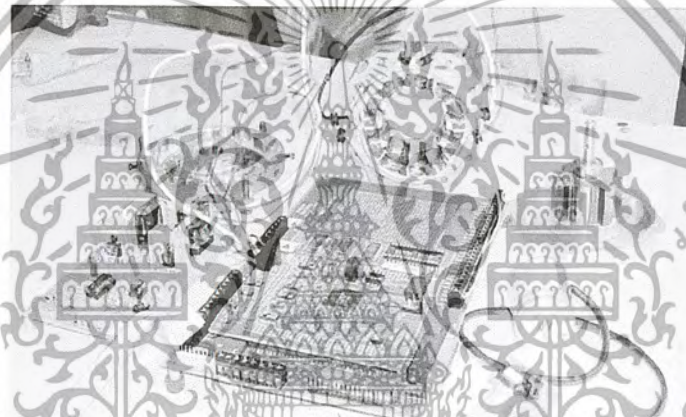


รูป ก.3 แสดงอินเวอร์เตอร์ที่ใช้

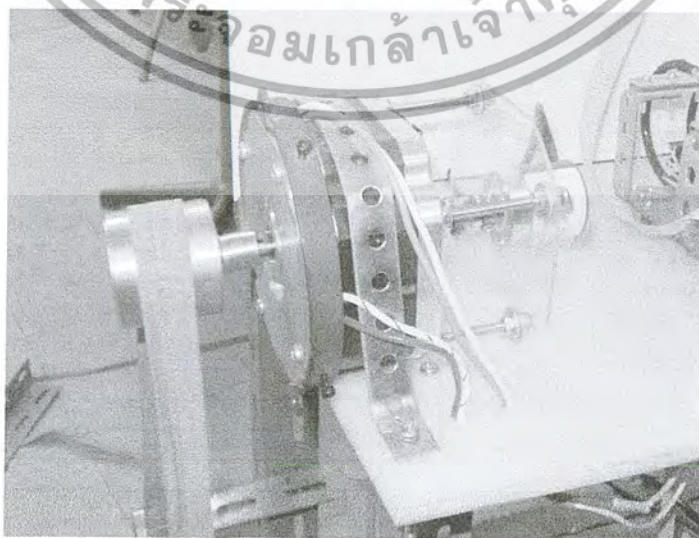
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป ก.4 แสดงบอร์ดคิเอสพี ADMC-401

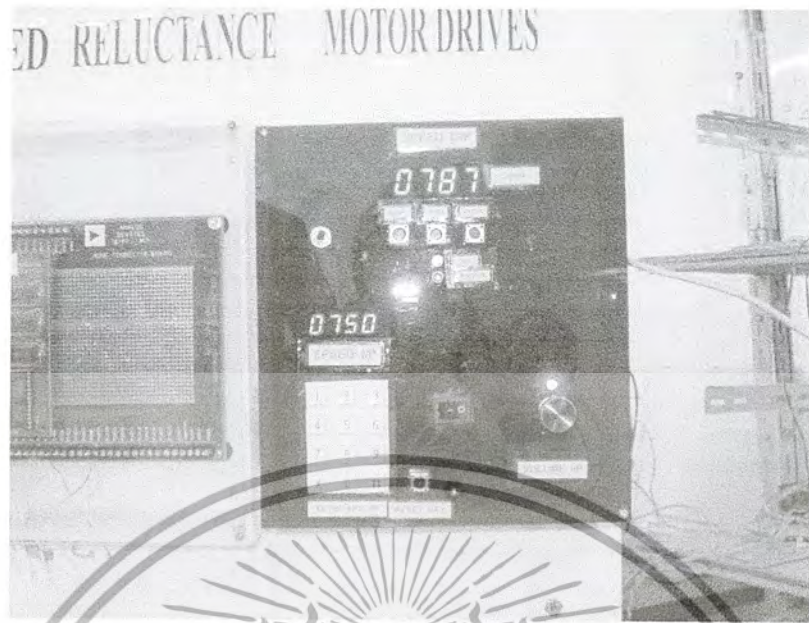


รูป ก.5 แสดงโครงการในภาคเรียนที่ 1

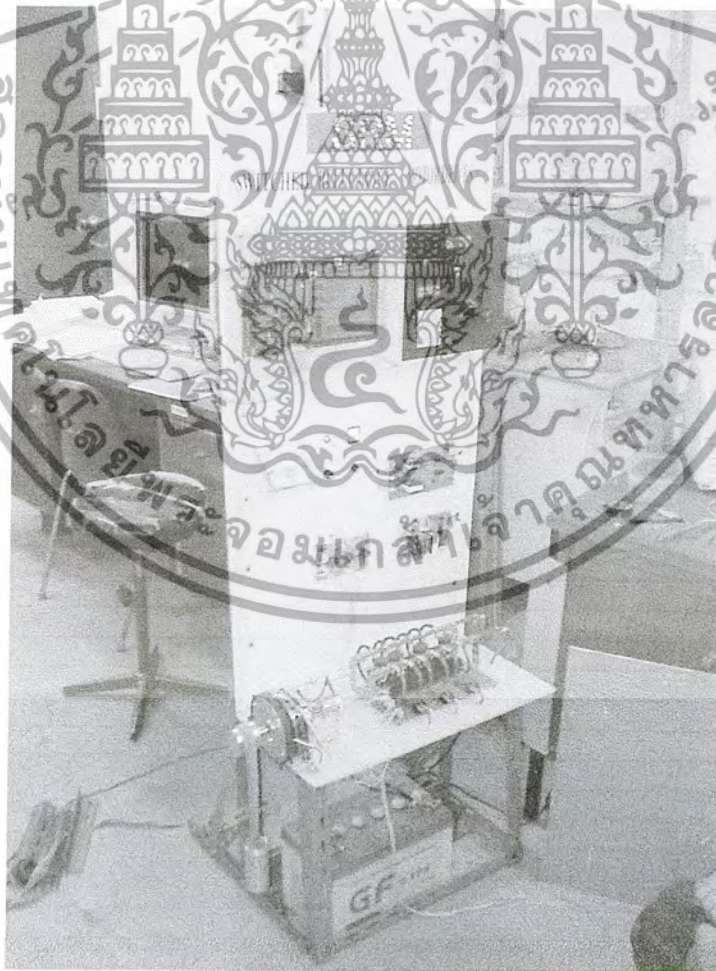


รูป ก.6 แสดงการจำลองโพลคให้กับมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป ก.7 แสดงค่าที่ได้จากการทดลอง



รูป ก.8 แสดงโครงงานในภาคเรียนที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

MODULE/RAM/SEG=USER_PM1/ABS=0x60      MAIN_program;

# include <stdincl.h>;
# include <adc401.h>;
# include <dac401.h>;
# include <pwm401.h>;
# include <mysc_enc.h>;
# include <mathfun.h>;
# include <ir_reset.h>;
# include <pi.h>;
# include <trigono.h>;      {Subroutines defined in this module }

.ENTRY PWMSYNC_ISR;
.ENTRY PWMTRIP_ISR;
.ENTRY ETU_ISR;      {CONSTANT }
!.CONST      max_pul      = 7200;      {7200 pulses per 1 rev.}
!.CONST      max_ir_cnt  = 10;      {10 interrupts for ir_cnt}
!.CONST      max_elec    = 1200;      {1200 pulses per 360 elec.degree}
.CONST      PIO_setting  = 0x00ff;      {set PIO as output}
.CONST      init_IO_data = 0x0000;      {initialize PIODATA reg {Variable definition block in this module }
.VAR/RAM/DM      speed;      {current speed}
.VAR/RAM/DM      ir_cnt;      {interrupt loop count}
.VAR/RAM/DM      delta_cnt;      {EIUCNT differences}
.VAR/DM/RAM      pos1;      {dummy for position}
.VAR/RAM/DM      new_pos;      {store new position}
.VAR/RAM/DM      old_pos;      {store old position}
.VAR/RAM/DM      full_et;      {EETT reg, no use here}
.VAR/RAM/DM      delta_et;      {EETDELTAT reg, no use here}
.VAR/RAM/DM      elec_pos_a;      {electical angle of phase A}
.VAR/RAM/DM      elec_pos_b;      {electical angle of phase B}
.VAR/RAM/DM      elec_pos_c;
.VAR/RAM/DM      theta_on_a;      {presented in elec. ang}
.VAR/RAM/DM      theta_off_a;      {presented in elec. ang}
.VAR/RAM/DM      theta_on_b;      {presented in elec. ang}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

.VAR/RAM/DM theta\_off\_b; {presented in elec. ang}

.VAR/RAM/DM theta\_on\_c;

.VAR/RAM/DM theta\_off\_c;

.VAR/RAM/DM gate\_a; {Gate signal phase A}

.VAR/RAM/DM gate\_b; {Gate signal phase B}

.VAR/RAM/DM gate\_c;

.VAR/RAM/DM i\_line; {line current}

.VAR/RAM/DM v\_line; {line voltage}

.VAR/RAM/DM v\_dc; {upper bus voltage}

.VAR/RAM/DM vl\_dc; {lower bus voltage}

.VAR/RAM/DM v\_err; {upper bus voltage error}

.VAR/RAM/DM vl\_err; {lower bus voltage error}

.VAR/RAM/DM i\_ctrl; {current command for PFC}

.VAR/RAM/DM d\_ctrl; {duty ratio command for PFC}

.VAR/RAM/DM v\_ac\_0; {zero voltage of line voltage}

.VAR/RAM/DM i\_ac\_0; {zero voltage of line voltage}

.VAR/RAM/DM v\_dc\_0; {zero voltage of line voltage}

.VAR/RAM/DM vl\_dc\_0; {zero voltage of line voltage}

.VAR/RAM/DM get\_err; {error signal between ref and actual I}

.VAR/RAM/DM pfc\_start; {pfc start up signal}

.VAR/RAM/DM flag\_0; {flag for zero crossing detection}

.VAR/RAM/DM old\_flag\_0; {flag for zero crossing detection}

.VAR/RAM/DM pi\_up; {pi controller signal for upper dc bus}

.VAR/RAM/DM pi\_dn; {pi controller signal for lower dc bus}

.VAR/RAM/DM v\_scale; {scaled ac voltage}

.VAR/RAM/DM v\_offset; {offset of the ref. voltage}

.VAR/RAM/DM offset\_pos; {positive offset of dc bus}

.VAR/RAM/DM offset\_neg; {negative offset of dc bus}

.VAR/RAM/DM v\_new; {new ref. voltage}

.VAR/RAM/DM polar\_index; {polarity index}

.VAR/RAM/DM bus\_ref; {DC bus ref. signal}

.VAR/RAM/DM theta; {angle}

.VAR/RAM/DM sine\_zero; {0 degree of sine wave}

.VAR/RAM/DM sine\_ref; {sine wave}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

.VAR/RAM/DM speed_cmd; {speed command}
.VAR/RAM/DM speed_ref; {speed ref.}
.VAR/RAM/DM pfc_index; {index for pfc start up}
.VAR/RAM/DM i_line_test_A; {line current test ; do 29/10/46 }
.VAR/RAM/DM i_line_test_B;
.VAR/RAM/DM i_line_test_C;
.VAR/RAM/DM i_line_test_up; {line current test upper=5.1A ; do 29/10/46 }
.VAR/RAM/DM i_line_test_lo; {line current test lower=4.9A ; do 29/10/46 }
.VAR/RAM/DM check_A;
.VAR/RAM/DM check_B;
.VAR/RAM/DM check_C;
.VAR/RAM/DM hy_sto_A;
.VAR/RAM/DM hy_sto_B;
.VAR/RAM/DM hy_sto_C; {Variable initialization in this module }
.init speed: 0x0000;
.init ir_cnt: 0;
.init delta_cnt: 0x0000;
.init pos1: 0x0000;
.init new_pos: 0x0000;
.init old_pos: 0x0000;
.init elec_pos_a: 0;
.init elec_pos_b: 0;
.init elec_pos_c: 0;
.init theta_on_a: 600; {400}
.init theta_on_b: 600;
.init theta_on_c: 600;
.init theta_off_a: 900;
.init theta_off_b: 900; {1200}
.init theta_off_c: 900;
.init gate_a: 0x0000;
.init gate_b: 0x0000;
.init gate_c: 0x0000;
.init i_line: 0x0000;
.init v_line: 0x0000;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

.init v_dc:      0x0000;
.init vl_dc:    0x0000;
.init v_err:    0x0000;
.init vl_err:   0x0000;
.init i_ctrl:   0x0000;
.init d_ctrl:   0x0000;
.init v_ac_0:   0x0000;
.init i_ac_0:   0x0000;
.init v_dc_0:   0x0000;
.init vl_dc_0:  0x0000;
.init get_err:  0x0000;
.init pfc_start: 0x0000;
.init flag_0:   0x0000;
.init old_flag_0: 0x0000;
.init pi_up:    0x0000;
.init pi_dn:    0x0000;
.init v_scale:  0x0000;
.init v_offset: 0x0000;
.init offset_pos: 0x0000;
.init offset_neg: 0x0000;
.init v_new:    0x0000;
.init polar_index: 0x0001;
.init bus_ref:  0x0000;
.init theta:   0x0000;
.init sine_zero: 0x0000;
.init sine_ref: 0x0000;
.init speed_cmd: 0x0000;
.init speed_ref: 0x0000;
.init pfc_index: 0x0000;
.init i_line_test_A: 0x0000; {line current test ; do 29/10/46 }
.init i_line_test_B: 0x0000;
.init i_line_test_C: 0x0000;
.init i_line_test_up: 0x3130; {line current test upper=5.1A = 100 0001 0011 0000 ; do 29/10/46 }
.init i_line_test_lo: 0x3000; {line current test lower=4.9A = 11 1110 1011 0000 3eb0 ; do 29/10/46 }

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

.init check_A:    0x0000;
.init check_B:    0x0000;
.init check_C:    0x0000;
.init hy_sto_A:   0x0000;
.init hy_sto_B:   0x0000;
.init hy_sto_C:   0x0000; {    PI controller coeff.      } {for voltage loop control in PFC}
#define vPI_SF16 0
.VAR/RAM/PM/CIRC/SEG=USER_PM2 vPI_Coeff16[3];
.INIT vPI_Coeff16:    0xFEBC00, 0x014800, 0x7FFF00; {A0,A1,B0}
.VAR/RAM/DM/CIRC/SEG=USER_DM1 vPI_Delay16[2];
.INIT vPI_Delay16:  0x0000, 0x0000;    {Ik,Uk}{Kp=, Ki=}
#define v_1_PI_SF16 0
.VAR/RAM/PM/CIRC/SEG=USER_PM2 v_1_PI_Coeff16[3];
.INIT v_1_PI_Coeff16:  0xFEBC00, 0x014800, 0x7FFF00; {A0,A1,B0}
.VAR/RAM/DM/CIRC/SEG=USER_DM1 v_1_PI_Delay16[2];
.INIT v_1_PI_Delay16:  0x0000, 0x0000;    {Ik,Uk}{Kp=, Ki=} {for control offset}
#define ofsPI_SF16 0
.VAR/RAM/PM/CIRC/SEG=USER_PM2 ofsPI_Coeff16[3];
.INIT ofsPI_Coeff16:  0xCDC300, 0x333300, 0x7FFF00; {A0,A1,B0}
.VAR/RAM/DM/CIRC/SEG=USER_DM1 ofsPI_Delay16[2];
.INIT ofsPI_Delay16:  0x0000, 0x0000;    {Ik,Uk}{Kp=, Ki= need high ki} {for speed
control} 0xCCD300, 0x333300, 0x7FFF00}
#define spPI_SF16 0
.VAR/RAM/PM/CIRC/SEG=USER_PM2 spPI_Coeff16[3];
.INIT spPI_Coeff16:  0xCCD300, 0x333300, 0x7FFF00; {A0,A1,B0}
.VAR/RAM/DM/CIRC/SEG=USER_DM1 spPI_Delay16[2];
.INIT spPI_Delay16:  0x0000, 0x0000;    {Ik,Uk}{Kp=, Ki=}
write_dm(PIODIR, PIO_setting);    {activate PIO as output to measure} {interrupt elapsed time}
write_dm(PIODATA, init_IO_data);    {all PIO off}
STARTUP:
CALL PIO3_RESET_IR;
CALL INIT_PWM_interrupt;          {initialize PWM interrupt}
CALL Init_PWM;                    {Initialize PWM registers and ISRs}
CALL Init_ADC;                     {Initialize ADC registers}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

CALL Init_DAC;                {Initialize DAC registers}
CALL init_sc_encoder;         {Initialize EIU registers}
INIT_PI16(vPI_Delay16, 0x0000); {reset PI}
INIT_PI16(v_1_PI_Delay16, 0x0000); {reset PI}
INIT_PI16(ofsPI_Delay16, 0x0000); {reset PI}
INIT_PI16(spPI_Delay16, 0x0000); {reset PI}
AR = DM(MODECTRL);
AR = SETBIT 8 OF AR;          {activate independent AUXPWM}
DM(MODECTRL) = AR;
AY0 = 0x00D8;                {set AUXPWM to be 60kHz}
    DM(AUXTM0) = AY0;
    DM(AUXTM1) = AY0;
AY0 = 0;
    DM(AUXCH0) = AY0;        {turn off AUXCH0}
    DM(AUXCH1) = AY0;        {turn off AUXCH1}
!    CALL READ_ADC3;          {read line voltage to find offset do !}
{*** We must run program before the line voltage is increased ***}
!    DM(v_ac_0) = AR;        {store offset value of line voltage do !}
!    CALL READ_ADC4;          {read line current do !} !    DM(i_ac_0) = AR;
!CALL READ_ADC6;            {read upper DC bus voltage}
!DM(v_dc_0) = AR;
!CALL READ_ADC5;            {read lower DC bus voltage}
!DM(vl_dc_0) = AR;
ar = pass 0;                {trigonometric initialization}
DM(theta) = ar;
Set_DAG_registers_for_trigonometric;

MAINLOOP:                    {Wait interrupt to occur}
NOP;
    NOP;
    jump MAINLOOP;
RTS;{    Interrupt Service Routine for PWM block    }
PWMSYNC_ISR:
Call pause_dac;{-----use to measure time elapse during interrupt-----}
AX0 = DM(PIODATA);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
AY0 = 0x0008;
```

```
AR = AX0 OR AY0;
```

```
write_dm(PIODATA,AR); {SPEED ESTIMATION--- I will take value from EIUCNT every 30  
interrupts. Then I will use the counts differences(delta_cnt) to calculate speed. Also the frequency of  
interrupt is 20 KHz. Then every 10 interrupts will = delta_cnt*2000 count/sec *** I am using 1800  
lines incremental encoder. So in 1 revolution will have 1800*4 = 7200 counts = 2*pi rad. If we wanna  
increase resolution, simply increase # of interrupts.}
```

```
CALL resume_dac; {start DAC}  
AX0 = 20; {max interrupt count = 30}  
AY0 = DM(ir_cnt);  
AR = AX0-AY0; {check the # of interrupts}  
if GT JUMP add_one;  
AR = PASS 0;  
DM(ir_cnt) = AR; {reset ir_cnt to zero}  
AY0 = DM(pos1); {store old position}  
DM(old_pos) = AY0;  
GetPosition(new_pos,full_et,delta_et); {get new position}  
AX0 = DM(new_pos); {store new position for next calculation}  
DM(pos1) = AX0;  
AY0 = DM(old_pos);  
AR = AX0-AY0; {find differences between new_pos and old_pos}  
IF GE JUMP get_speed;  
AX1 = 7199; {max pulses per 1 rev. = 7200}  
AY0 = DM(old_pos);  
AY1 = DM(new_pos);  
AR = AX1-AY0; {7200 - old_pos}  
AR = AR+AY1; {add new_pos, then we get speed}get_speed:  
DM(speed) = AR; {store speed}  
{x} !SI = AR;  
{x} !SR = LSHIFT SI by 6(LO); {multiply by 32}  
{x} !AR = SR0;  
{x} !PUT_DAC(1,AR); {display speed to DAC1}  
DM(speed) = AR; {store speed}  
JUMP skip;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    add_one:
        AY0 = DM(ir_cnt);
        AR = AY0+1;           {increase number of interrupts}
        DM(ir_cnt) = AR;

    skip:
        NOP;{END SPEED ESTIMATION-----} {SPEED CONTROLLER}

CALL READ_ADC1;           {read speed ref. signal}

    !AR = 14000;
    DM(speed_ref) = AR;
        AX0 = AR;           {speed reference}
        AY0 = DM(speed);    {speed feedback}
    ena AR_SAT;           {compute error signal}
    AR = AX0 - AY0;
    dis AR_SAT;
Pi16(spPI_Delay16, spPI_Coeff16, spPI_SF16); {compute controller o/p}
    DM(speed_cmd) = SR1;
    !AY0 = 2500; !AR = DM(speed_cmd); !AR = AR - AY0; !IF LE JUMP pos_est; !AY0 =
2500;
    !DM(speed_cmd) = AY0; {end speed controller----} {start offset controller}
        CALL READ_ADC6;           {read DC bus voltage}
    !!AY1 = DM(v_dc_0); !AY1 = 1000;
    !AR = AR + AY1;           {eliminate offset}
    DM(v_dc) = AR;
    CALL READ_ADC5;           {read DC bus voltage}
    !!AY1 = DM(vl_dc_0);
    !!AR = AR - AY1;           {eliminate offset}
    DM(vl_dc) = AR; {use PI controller to control offset}
    AY0 = DM(vl_dc);           {sense lower dc bus voltage}
    AX0 = DM(v_dc);           {sense upper dc bus voltage}
    ena AR_SAT;           {compute error signal}
    AR = AX0 - AY0;
    dis AR_SAT;

Pi16(ofsPI_Delay16, ofsPI_Coeff16, ofsPI_SF16); {compute controller o/p}
    AR = SR1; {This section is used to scale down offset signal}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

offset\_scale:

AY0 = 0;

AR = AR - AY0;

IF GT JUMP pos\_offset;

AR = -AR;

SI = AR;

SR = LSHIFT SI by -1(LO);

AR = -SR0;

AY0 = -4000;

AR = AR - AY0;

IF GT JUMP lim\_neg;

AR = -4000;

DM(offset\_neg) = AR;

AY0 = 0;

DM(offset\_pos) = AY0;

JUMP offset\_next;

lim\_neg:

AY0 = 4000;

AR = AR - AY0;

DM(offset\_neg) = AR;

AY0 = 0;

DM(offset\_pos) = AY0;

JUMP offset\_next;

pos\_offset:

SI = AR;

SR = LSHIFT SI by -1(LO);

AR = SR0;

AY0 = 4000;

AR = AR - AY0;

IF LE JUMP lim\_pos;

AR = 4000;

DM(offset\_pos) = AR;

AY0 = 0;

DM(offset\_neg) = AY0;

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

                                JUMP offset_next;

lim_pos:
    AY0 = 4000;
    AR = AR + AY0;
    DM(offset_pos) = AR;
    AY0 = 0;
    DM(offset_neg) = AY0;
offset_next:                    {end offset controller {output module of phase current command}
    AR = DM(speed_cmd);
    AY0 = DM(offset_pos);
    AR = AR + AY0;
{x} ! Put_DAC(7,AR);

                                AR = DM(speed_cmd);
    AY0 = DM(offset_neg);
    AR = AR - AY0;
{x} ! Put_DAC(8,AR); {end- {POSITION ESTIMATION--As we know that we are using 1800
lines incremental encoder. Also the 2 phase SRM has 6 rotor poles. Then there will be 6
electrical cycles per one revolution. Then 360 electrical degree will have total 1200 quadrature
pulses. This position estimator will convert the mechanical degree to electrical degree.}
    pos_est: !CALL resume_dac;
    GetPosition(new_pos,full_et,delta_et); {get new position}
                                AR = DM(new_pos); {get current position, mech degree}
{x}                                SI = AR;
{x}                                SR = LSHIFT SI by 1(LO); {multiply by 4}
{x}                                AR = SR0;
{x}                                PUT_DAC(1,AR); {display mech-deg to DAC2}

AR = DM(new_pos);                    {get current position, mech degree}
                                AY0 = 1800; {max_elec = 1200}
                                AR = AR - AY0; {find elec. ang by subtracting 1200}
                                IF LE JUMP get_elec_degree; {do until finding negative value}
                                AR = AR - AY0;
                                IF LE JUMP get_elec_degree;
                                AR = AR - AY0;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        IF LE JUMP get_elec_degree;
        AR = AR - AY0;
        IF LE JUMP get_elec_degree;
        AR = AR - AY0;
    IF LE JUMP get_elec_degree;
        AR = AR - AY0;
        IF LE JUMP get_elec_degree;
        AR = AR - AY0;
get_elec_degree:
        AR = AR + AY0;           {plus negative value by 1200}
        DM(elec_pos_a) = AR;     {store value of elec. Ang. of phase A}
{x}
        SI = AR;
{x}
        SR = LSHIFT SI by 4(LO); {multiply by 16}
{x}
        AR = SR0;
{x}
        PUT_DAC(2,AR); { Next we will find electrical angle of phase B. Since we
know that our motor has 2 phase. And phase B will lead phase A 30 degree(mech) or 600 quadrature
pulses.}
        AR = DM(elec_pos_a);     {get value from phase A elec.ang.}
        AY0 = 600;               {180 elec.ang. = 600 pulses}
        AR = AR + AY0;           {plus to find phase B elec.ang.}
        AY1 = 1800;             {1200 = 360 elec.ang}
        AR = AR - AY1;          {check if it exceeds 360 degree}
        IF GE JUMP get_elec_b;   {yes...then jump}
        AR = AR + AY1;          {no...plus 1200 to get it}
        get_elec_b:
        DM(elec_pos_b) = AR;     {store value of elec. Ang. of phase B}
{x}
        SI = AR;
{x}
        SR = LSHIFT SI by 4(LO); {multiply by 16}
{x}
        AR = SR0;
{x}
        PUT_DAC(3,AR);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

{ Next we will find electrical angle of phase C. Since we know that our motor has 3 phase. And phase B will lead phase A 30 degree(mech) or 600 quadrature pulses.}

```

AR = DM(elec_pos_a);           {get value from phase A elec.ang.}
AY0 = 1200;                    {180 elec.ang. = 600 pulses}
AR = AR + AY0;                 {plus to find phase B elec.ang.}
AY1 = 1800;                    {1200 = 360 elec.ang}
AR = AR - AY1;                 {check if it exceeds 360 degree}
    IF GE JUMP get_elec_c;      {yes...then jump}
    AR = AR + AY1;              {no...plus 1200 to get it}
        get_elec_c:
            DM(elec_pos_c) = AR;    {store value of elec. Ang. of phase B}
{x}
    SI = AR;
{x}
    SR = LSHIFT SI by 4(LO);    {multiply by 16}
{x}
    AR = SR0;
{x}
    PUT_DAC(4,AR);
{*****COMMUTATOR.....Right now I will use fixed turn on-off*****}{*****PHASE A
commutator*****}
    AX0 = DM(elec_pos_a);       {get elec. position phase A}
    AY0 = DM(theta_on_a);       {read turn on ang. phase A}
    AR = AX0 - AY0;             {find the section according to my note}
    IF LT JUMP gate_lo_a;       {it is section 1}
    AY0 = DM(theta_off_a);      {if is section 2 or 3, get theta_off_A}
    AR = AX0 - AY0;             {see if it is section 2 or 3}
    IF LE JUMP gate_hi_a;       {it is section 2}
        gate_lo_a:
            AY0 = 0x007b;        {7D = 1111011}
            !DM(gate_a) = AY0;
            AX0 = DM(PIODATA);
            AR = AX0 AND AY0;
            DM(PIODATA) = AR;

    AR = DM(PWMSEG);           {turn off AH}
    AR = SETBIT 4 OF AR;       {turn off AH}
    AR = SETBIT 5 OF AR;       {turn off AL}
    DM(PWMSEG) = AR;           {turn off AH}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        JUMP skip_1;

gate_hi_a:
        AY0 = 0x0004;                {02 = 0000100}
        !DM(gate_a) = AY0;
        AX0 = DM(PIODATA);
        AR = AX0 OR AY0;

        DM(PIODATA) = AR;                {PIO #1}
AR = DM(PWMSEG);                {turn on AH}
AR = CLRBIT 4 OF AR;                {turn on AH}
AR = CLRBIT 5 OF AR;                {turn on AL}
DM(PWMSEG) = AR;                {turn on AH}

skip_1:
nop;        {*****PHASE B commutator*****}
AX0 = DM(elec_pos_b);                {get elec. position phase A}
AY0 = DM(theta_on_b);                {read turn on ang. phase A}
AR = AX0 - AY0;                {find the section according to my note}
        IF LT JUMP gate_lo_b;                {it is section 1}
        AY0 = DM(theta_off_b);                {it is section 2 or 3, get theta_off_A}
        AR = AX0 - AY0;                {see if it is section 2 or 3}
        IF LE JUMP gate_hi_b;                {it is section 2}

gate_lo_b:
        AY0 = 0x007D;                {7B = 1111101}
        !DM(gate_a) = AY0;
        AX0 = DM(PIODATA);
        AR = AX0 AND AY0;
        DM(PIODATA) = AR;

AR = DM(PWMSEG);                {turn off BH}
AR = SETBIT 2 OF AR;                {turn off BH}
DM(PWMSEG) = AR;                {turn off BH}

        JUMP skip_2;

gate_hi_b:
        AY0 = 0x0002;                {04 = 0000010}

        !DM(gate_a) = AY0;

        AX0 = DM(PIODATA);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        AR = AX0 OR AY0;
        DM(PIODATA) = AR;      {PIO #1}
AR = DM(PWMSEG);              {turn on BH}
AR = CLRBIT 2 OF AR;          {turn on BH}
DM(PWMSEG) = AR;              {turn on BH}
    skip_2:
        nop;      {*****PHASE C commutator*****}
        AX0 = DM(elec_pos_C);      {get elec. position phase A}
        AY0 = DM(theta_on_C);      {read turn on ang. phase A}
AR = AX0 - AY0;                {find the section according to my note}
        IF LT JUMP gate_lo_C;      {it is section 1}
        AY0 = DM(theta_off_C);     {it is section 2 or 3, get theta_off_A}
        AR = AX0 - AY0;            {see if it is section 2 or 3}
        IF LE JUMP gate_hi_C;      {it is section 2}
gate_lo_C:
        AY0 = 0x007E;              {7e= 1111110}
        !DM(gate_a) = AY0;
        AX0 = DM(PIODATA);
        AR = AX0 AND AY0;
        DM(PIODATA) = AR;      {PIO #0}
!AY0 = 0x0010;                  {01= 0010000 inv phase C}
        !DM(gate_a) = AY0;      {inv phase C}
        !AX0 = DM(PIODATA);     {inv phase C}
        !AR = AX0 OR AY0;       {inv phase C}
        !DM(PIODATA) = AR;      {PIO #4 inv phase C}
AR = DM(PWMSEG);                {turn off CH}
AR = SETBIT 0 OF AR;            {turn off CH}
DM(PWMSEG) = AR;                {turn off CH}
        JUMP skip_3;
gate_hi_C:
        AY0 = 0x0001;              {01 = 0000001}
        !DM(gate_a) = AY0;
        AX0 = DM(PIODATA);
        AR = AX0 OR AY0;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

DM(PIODATA) = AR;           {PIO #0}

!AY0 = 0x006f;             { 6F= 1101111 inv phase C }

!DM(gate_a) = AY0;         {inv phase C }

!AX0 = DM(PIODATA);        {inv phase C }

!AR = AX0 AND AY0;         {inv phase C }

!DM(PIODATA) = AR;         {PIO #4 inv phase C }

AR = DM(PWMSEG);           {turn on CH}

AR = CLRBIT 0 OF AR;       {turn on CH}

DM(PWMSEG) = AR;           {turn on CH}

skip_3:
    nop;

AR = DM(PIODATA);
{x} SI = AR;
{x} SR = LSHIFT SI by 4(LO); {multiply by 4}
{x} AR = SR0;

AR = SETBIT 0 OF AR;
AR = SETBIT 1 OF AR;
AR = SETBIT 2 OF AR;
AR = SETBIT 3 OF AR;
DM(hy_sto_A) = AR;

{ CURRENT REGULATOR..... is hardware part}
{ test adc to dac }
CALL READ_ADC4;
PUT_DAC(5,AR);
{PHASE A Hysteresis }
CALL READ_ADC1;
DM(i_line_test_A) = AR;
AX0= 0x0001;
AY0= DM(check_A);
AR = AX0 - AY0;
IF NE JUMP lo_com_A;

up_com_A:
    nop;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

AX0 = DM(i_line_test_A);
        AY0 = DM(i_line_test_up);
        AR = AX0 - AY0;           {find the section according to my note}

IF LE JUMP hi_ake_A;
        JUMP lo_ake_A;

lo_com_A:
nop;

        AX0 = DM(i_line_test_A);
        AY0 = DM(i_line_test_lo);
        AR = AX0 - AY0;
        IF GE JUMP lo_ake_A;
            JUMP hi_ake_A;

lo_ake_A:
nop;

        AR = 0X0001;
        DM(check_A) = AR;
        AY0 = 0x003f;           {5f = 0111111}
        AX0 = DM(PIODATA);
        AR = AX0 AND AY0;
        DM(PIODATA) = AR;
        JUMP out_test_A;

hi_ake_A:
nop;

        AR = 0x0000;
        DM(check_A) = AR;

        AY0 = 0x0040;           {20 = 0100 0000}
        AX0 = DM(PIODATA);
        AR = AX0 OR AY0;
        DM(PIODATA) = AR;           {PIO #6}

out_test_A:
nop;    { PHASE B Hysteresis }

CALL READ_ADC2;
        DM(i_line_test_B) = AR;

        AX0 = 0x0001;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        AY0= DM(check_B);
AR = AX0 - AY0;
        IF NE JUMP lo_com_B;

up_com_B:
        nop;
AX0 = DM(i_line_test_B);
        AY0 = DM(i_line_test_up);
        AR = AX0 - AY0;           {find the section according to my note}
        IF LE JUMP hi_ake_B;
        JUMP lo_ake_B;

lo_com_B:
nop;

        AX0 = DM(i_line_test_B);
        AY0 = DM(i_line_test_lo);
        AR = AX0 - AY0;
        IF GE JUMP lo_ake_B;
        JUMP hi_ake_B;

lo_ake_B:
nop;
AR = 0X0001;
        DM(check_B) = AR;
        AY0 = 0x005f;           {5f = 101 1111}
        AX0 = DM(PIODATA);
        AR = AX0 AND AY0;
        DM(PIODATA) = AR;

        JUMP out_test_B;

hi_ake_B:

nop;

        AR = 0x0000;
        DM(check_B) = AR;
        AY0 = 0x0020;           {20= 0010 0000}
        AX0 = DM(PIODATA);
        AR = AX0 OR AY0;
        DM(PIODATA) = AR;           {PIO #5}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        out_test_B:
nop;    {PHASE C Hysteresis }
        CALL READ_ADC3;
        DM(i_line_test_C) = AR;
AX0=    0x0001;
        AY0= DM(check_C);
        AR = AX0 - AY0;
        IF NE JUMP lo_com_C;

up_com_C:
        nop;
AX0 = DM(i_line_test_C);
        AY0 = DM(i_line_test_up);
        AR = AX0 - AY0;    {find the section according to my note}
        IF LE JUMP hi_ake_C;
        JUMP lo_ake_C;
lo_com_C:
nop;
        AX0 = DM(i_line_test_C);
        AY0 = DM(i_line_test_lo);
        AR = AX0 - AY0;
        IF GE JUMP lo_ake_C;
        JUMP hi_ake_C;
lo_ake_C:
nop;
        AR = 0X0001;
        DM(check_B) = AR;
        AY0 = 0x006f;    {5f = 110 1111}
        AX0 = DM(PIODATA);
        AR = AX0 AND AY0;
        DM(PIODATA) = AR;
        JUMP out_test_C;
hi_ake_C:
nop;
        AR = 0x0000;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

DM(check_C) = AR;

AY0 = 0x0010;                                {20= 0001 0000}

AX0 = DM(PIODATA);
AR = AX0 OR AY0;
DM(PIODATA) = AR;                            {PIO #5}

out_test_C:

nop;

AY0 = DM(hy_sto_A);

AX0 = DM(PIODATA);
AR = AX0 AND AY0 ;
DM(PIODATA) = AR ;

{UTILITY INTERFACE..... the 50KHz. switching frequency chopping is used to control position
of switches. We are able to control dc bus voltage level by adjusting the number in the *** line. We
have to keep dc bus voltage higher than ac line voltage then we can control power factor. In case the dc
bus voltage is less than ac line voltage, the line current will rise very high. But we already add surge
protector in order to limit that current. We will see this problem when we start up dc bus. This is the
disadvantage of the half bridge voltage doubler rectifier.}

CALL READ_ADC7;                               {read pfc start up signal}
DM(pfc_start) = AR;
CALL READ_ADC8;                               {read DC bus ref.}
DM(bus_ref) = AR;
! CALL READ_ADC3;                             {read line voltage ake do !}
!AY1 = DM(v_ac_0);
!AR = AR - AY1;                               {eliminate offset}
!AR = -AR;                                   {flip signal ake do !}
! DM(v_line) = AR;                            {ake do !}
{x} ! PUT_DAC(4,AR);                          {ake do plea}
! CALL READ_ADC4;                             {read line current ake do plea}
!AY1 = DM(i_ac_0);
!AR = AR - AY1;                               {eliminate offset}

DM(i_line) = AR; {over voltage protection...If the dc bus voltage is over
certain value,
AUXCH0 and AUXCH1 will be shut down}

!AY0 = 18000; !AR = AR - AY0; !IF GT JUMP aux_sd;{end....} {dc bus start up}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

AX1 = DM(pfc_start);
AY0 = 15000;
AR = AX1 - AY0;
IF LT JUMP aux_sd; {Zero crossing detector and sine wave generator.....}
zero_detect:
    AR = DM(v_line);
AY0 = 200;          {100 is hysteresis band}
AR = AR - AY0;
IF GT JUMP reset_flag;
AR = DM(v_line);
AY0 = -200;        {-100 is hysteresis band}
AR = AR - AY0;
IF LE JUMP set_flag;
reset_flag:
AR = 20000;
DM(flag_0) = AR;
JUMP zero_start;
set_flag:
AR = -20000;
DM(flag_0) = AR;
zero_start:
AY0 = DM(old_flag_0);
AR = DM(flag_0);
AR = AR - AY0;
IF LE JUMP zero_start_1;
AY0 = 20000;      {use to test polarity}
DM(sine_zero) = AY0;
AR = DM(flag_0);
DM(old_flag_0) = AR;
JUMP do_sine;
zero_start_1:
AY0 = -20000;     {use to test polarity}
DM(sine_zero) = AY0;
AR = DM(flag_0);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

DM(old_flag_0) = AR;
do_sine:
    MX0 = DM(theta);
    MY0 = 197;
    ena m_mode;           {use integer mode for multiplication}
    MR = MX0*MY0(su);     {new current command}
    if mv sat MR;
    dis m_mode;
        Sin(MR0);

AY0 = 0;
AR = AR - AY0;
IF GT JUMP sin_pos;
AR = -AR;
    SI = AR;
    SR = LSHIFT SI by -3(LO);
    AR = -SR0;
DM(sine_ref) = AR;
JUMP sin_cont_1;
sin_pos:
    SI = AR;
    SR = LSHIFT SI by -3(LO);
    AR = SR0;
    DM(sine_ref) = AR;
sin_cont_1:
    AY0 = 30;
    AR = DM(theta);
    AR = AR - AY0;
    IF LT JUMP sin_cont;
    AY0 = 300;
    AR = DM(theta);
    AR = AR - AY0;
    IF GT JUMP sin_cont;
    JUMP sine_0;
    sin_cont:

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

AY0 = 0;
AR = DM(sine_zero);
AR = AR - AY0;
IF LE JUMP sine_0;

AR = 15;                                     {15 is the adjustable phase shift}
DM(theta)=AR;

AY1 = 20000;    {use for pfc start up}
DM(pfc_index) = AY1;    {use for pfc start up}
JUMP end_sine;
sine_0:
AX1 = DM(theta);
AR = AX1 +1;
AY0 = 333;
AR = AR - AY0;
IF GE JUMP sine_cont_2;
AY0 = 333;
AR = AR + AY0;
DM(theta)=AR;
JUMP end_sine;
sine_cont_2:
DM(theta)=AR;
end_sine: {.....end zero crossing detector and sine wave generator.....}

AR = DM(v_dc);
AY0 = AR;
{***} AX0 = DM(bus_ref);    {ref. dc bus voltage}
!AX0 = 2500;    {6500 ~ 60 Vdc bus}
ena AR_SAT;    {compute error signal}
AR = AX0 - AY0;
dis AR_SAT;
Pi16(vPI_Delay16, vPI_Coef16, vPI_SF16); {compute controller o/p}

DM(v_err) = SR1;
AR = SR1;
AY0 = 0;
AR = AR - AY0;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

IF GT JUMP cont1;
AY0 = 0;           {limit control command to zero}
AR = AY0;
cont1:    {x}           !PUT_DAC(6,AR);
SI = AR;
!SI = SR1;
SR = LSHIFT SI by -5(LO);  {scale down v_err by 6}
MY0 = SR0;
DM(pi_up) = MY0
AR = DM(vl_dc);
AY0 = AR;
{***} AX0 = DM(bus_ref);   {ref. dc bus voltage}
!AX0 = 2500;             {6500 ~ 60 Vdc bus}
ena AR_SAT;             {compute error signal}
AR = AX0 - AY0;
dis AR_SAT;
Pi16(v_1_PI_Delay16, v_1_PI_Cocf16, v_1_PI_SF16); {compute ctrl o/p}
DM(vl_err) = SR1;
AR = SR1;
AY0 = 0;
AR = AR - AY0;
IF GT JUMP cont2;
AY0 = 0;           {limit control command to zero}
AR = AY0;
cont2:
SI = AR;
!SI = SR1;
SR = LSHIFT SI by -6(LO);  {scale down v_err by 6}
MY0 = SR0;
DM(pi_dn) = MY0;

```

{I use this module to scale down bipolar signal. It should take time shorter than using division. Simply just flip the negative value to positive value before I shift it down}

```

!AR = DM(sine_ref);
AR = DM(v_line);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

DM(v_new) = AR;
AY0 = 0;
AR = AR - AY0;
IF GT JUMP do_pos;
AR = -AR;

        SI = AR;
        SR = LSHIFT SI by -6(LO);          {scale down sine_ref,2}
        AR = -SR0;

MX0 = AR;
DM(v_scale) = MX0;
{x}      !      PUT_DAC(5,MX0);
        JUMP chk_polar;
do_pos:
        SI = AR;
        SR = LSHIFT SI by -6(LO);          {scale down sine_ref,2}
        MX0 = SR0;
        DM(v_scale) = MX0;
{x}      !      PUT_DAC(5,MX0);          end bipolar scale down module;
chk_polar:
        {this section is used to check if it is the first time
        zero crossing or not by compare the 'pfc_index'. It will
        skip to 'aux_sd' if PFC is not starting from zero crossing.
        Once it starts up , 'pfc_index' will be latched the same.}
        AY0 = 10000;
        AR = DM(pfc_index);
        AR = AR - AY0;
        IF LT JUMP aux_sd;          {end pfc start up module-----}
        !!AR = DM(sine_ref);          {check the polarity}
        !AR = DM(v_new);          {check the polarity}
        !AY0 = 0;
        !AR = AR - AY0;
        !IF GT JUMP positive_cycle; {jump to positive cycle}
        AR = DM(v_new);
        AY0 = 200;          {200 is hysteresis band}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

AR = AR - AY0;
IF GT JUMP positive_cycle;
AR = DM(v_new);
AY0 = -200;          {-200 is hysteresis band}
AR = AR - AY0;
IF LE JUMP negative_cycle;
JUMP aux_sd; {negative cycle...}
negative_cycle:
AR = PASS -1;
AY0 = AR;
AX0 = DM(polar_index);
AR = AX0 - AY0;
IF EQ JUMP neg_next;
AR = PASS -1;
DM(polar_index) = AR;
AY1 = 0;
DM(AUXCH0) = AY1;
AY0 = 0;
DM(AUXCH1) = AY0;
JUMP end_ui;
neg_next:
AR = PASS -1;
DM(polar_index) = AR;
MX0 = DM(v_scale);
MY0 = DM(pi_up);
!MY0 = 1;
ena m_mode;          {use integer mode for multiplication}
MR = MX0*MY0(su);    {new current command}
if mv sat MR;
dis m_mode;
DM(i_ctrl) = MR0;
AX0 = MR0;
AY0 = DM(i_line);
ena AR_SAT;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

AR = AX0 - AY0;
dis AR_SAT;
DM(get_err) = AR;
!AR = DM(get_err);
AY0 = 0;
AR = AR - AY0;
IF GT JUMP get_d_n;
AY1 = 217;          {100% if err<0,Iref<Iact}
!AY1 = 0;
DM(AUXCH1) = AY1;
AY0 = 0;
DM(AUXCH0) = AY0;
JUMP end_ui;
  get_d_n:          {calculate duty cycle}
  AY1 = 0;          {duty ratio = 0}
DM(AUXCH1) = AY1;
AY0 = 0;
DM(AUXCH0) = AY0;
JUMP end_ui;
positive_cycle:
AR = PASS I;
AY0 = AR;
AX0 = DM(polar_index);
AR = AX0 - AY0;
IF EQ JUMP pos_next;
AR = PASS I;
DM(polar_index) = AR;
AY1 = 0;
DM(AUXCH0) = AY1;
AY0 = 0;
DM(AUXCH1) = AY0;
JUMP end_ui;
pos_next:
AR = PASS I;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

DM(polar_index) = AR;
MX0 = DM(v_scale);
MY0 = DM(pi_up);
!MY0 = 1;
ena m_mode;           {use integer mode for multiplication}
MR = MX0*MY0(su);     {new current command}
if mv sat MR;
dis m_mode;
DM(i_ctrl) = MR0;
AX0 = MR0;
AY0 = DM(i_line);
ena AR_SAT;
AR = AX0 - AY0;
dis AR_SAT;
DM(get_err) = AR;
!AR = DM(get_err);
AY0 = 0;
AR = AR - AY0;
IF GT JUMP get_d_p_1;
AY1 = 0;              {0% if err < 0, Iref < Iact}
DM(AUXCH0) = AY1;
AY0 = 0;
DM(AUXCH1) = AY0;
JUMP end_ui;
get_d_p_1:
AY1 = 217;
!AY1 = 0;             {duty ratio = 100}
DM(AUXCH0) = AY1;
AY0 = 0;
DM(AUXCH1) = AY0;
JUMP end_ui;
aux_sd:               {shut down both AUX channels}
AY0 = 0;
DM(AUXCH0) = AY0;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

DM(AUXCH1) = AY0;
AX0 = DM(PIODATA);

AY0 = 0x007F;                                {3F = 0111 1111}
AR = AX0 AND AY0;
write_dm(PIODATA,AR);

end_ui:
CALL update_dac;    {DAC ends} {-----use to measure time elapse-----}
AX0 = DM(PIODATA);
AY0 = 0x0077;                                {77 = 11101111}
AR = AX0 AND AY0;
write_dm(PIODATA,AR); {END POSITION ESTIMATION-----}
RTI; {PWM_TRIP interrupt routine}
PWMTRIP_ISR:
NOP;    {do nothing for this interrupt}
NOP;
RTI; {Event Timer Unit interrupt routine } {I will use for speed command later}
ETU_ISR:
NOP;
RTI;
.ENDMOD;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

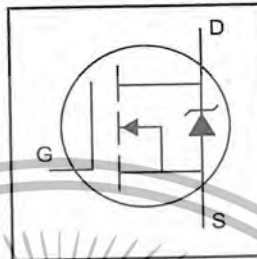


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# IRFZ44N

HEXFET® Power MOSFET

- Advanced Process Technology
- Ultra Low On-Resistance
- Dynamic dv/dt Rating
- 175°C Operating Temperature
- Fast Switching
- Fully Avalanche Rated



$V_{DSS} = 55V$
$R_{DS(on)} = 17.5m\Omega$
$I_D = 49A$

### Description

Advanced HEXFET® Power MOSFETs from International Rectifier utilize advanced processing techniques to achieve extremely low on-resistance per silicon area. This benefit combined with the fast switching speed and ruggedized device design that HEXFET power MOSFETs are well known for, provides the designer with an extremely efficient and reliable device for use in a wide variety of applications.

The TO-220 package is universally preferred for all commercial-industrial applications at power dissipation levels to approximately 50 watts. The low thermal resistance and low package cost of the TO-220 contribute to its wide acceptance throughout the industry.



### Absolute Maximum Ratings

Parameter	Max.	Units
$I_D @ T_C = 25^\circ C$	49	A
$I_D @ T_C = 100^\circ C$	35	
$I_{DM}$	160	
$P_D @ T_C = 25^\circ C$	94	W
	0.63	W/°C
$V_{GS}$	$\pm 20$	V
$I_{AR}$	25	A
$E_{AR}$	9.4	mJ
dv/dt	5.0	V/ns
$T_J$	-55 to +175	°C
$T_{STG}$		
	300 (1.6mm from case)	
	10 lbf·in (1.1N·m)	

### Thermal Resistance

Parameter	Typ.	Max.	Units
$R_{\theta JC}$	—	1.5	°C/W
$R_{\theta CS}$	0.50	—	
$R_{\theta JA}$	—	62	

## Electrical Characteristics @ $T_J = 25^\circ\text{C}$ (unless otherwise specified)

	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units	Conditions
$V_{(BR)DSS}$	Drain-to-Source Breakdown Voltage	55	—	—	V	$V_{GS} = 0V, I_D = 250\mu A$
$\Delta V_{(BR)DSS}/\Delta T_J$	Breakdown Voltage Temp. Coefficient	—	0.058	—	V/ $^\circ\text{C}$	Reference to $25^\circ\text{C}, I_D = 1\text{mA}$
$R_{DS(on)}$	Static Drain-to-Source On-Resistance	—	—	17.5	m $\Omega$	$V_{GS} = 10V, I_D = 25A$ ④
$V_{GS(th)}$	Gate Threshold Voltage	2.0	—	4.0	V	$V_{DS} = V_{GS}, I_D = 250\mu A$
$g_{fs}$	Forward Transconductance	19	—	—	S	$V_{DS} = 25V, I_D = 25A$ ⑤
$I_{DSS}$	Drain-to-Source Leakage Current	—	—	25	$\mu A$	$V_{DS} = 55V, V_{GS} = 0V$
		—	—	250		$V_{DS} = 44V, V_{GS} = 0V, T_J = 150^\circ\text{C}$
$I_{GSS}$	Gate-to-Source Forward Leakage	—	—	100	nA	$V_{GS} = 20V$
	Gate-to-Source Reverse Leakage	—	—	-100		$V_{GS} = -20V$
$Q_g$	Total Gate Charge	—	—	63	nC	$I_D = 25A$
$Q_{gs}$	Gate-to-Source Charge	—	—	14		$V_{DS} = 44V$
$Q_{gd}$	Gate-to-Drain ("Miller") Charge	—	—	23		$V_{GS} = 10V$ , See Fig. 6 and 13
$t_{d(on)}$	Turn-On Delay Time	—	12	—	ns	$V_{DD} = 28V$
$t_r$	Rise Time	—	60	—		$I_D = 25A$
$t_{d(off)}$	Turn-Off Delay Time	—	44	—		$R_G = 12\Omega$
$t_f$	Fall Time	—	45	—		$V_{GS} = 10V$ , See Fig. 10 ④
$L_D$	Internal Drain Inductance	—	4.5	—	nH	Between lead, 6mm (0.25in.) from package and center of die contact
$L_S$	Internal Source Inductance	—	7.5	—		
$C_{iss}$	Input Capacitance	—	1470	—	pF	$V_{GS} = 0V$
$C_{oss}$	Output Capacitance	—	360	—		$V_{DS} = 25V$
$C_{riss}$	Reverse Transfer Capacitance	—	38	—		$f = 1.0\text{MHz}$ , See Fig. 5
$E_{AS}$	Single Pulse Avalanche Energy ②	—	530 ③	150 ⑥	mJ	$I_{AS} = 25A, L = 0.47\text{mH}$

## Source-Drain Ratings and Characteristics

	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units	Conditions
$I_S$	Continuous Source Current (Body Diode)	—	—	49	A	MOSFET symbol showing the integral reverse p-n junction diode.
$I_{SM}$	Pulsed Source Current (Body Diode) ①	—	—	160		
$V_{SD}$	Diode Forward Voltage	—	—	1.3	V	$T_J = 25^\circ\text{C}, I_S = 25A, V_{GS} = 0V$ ④
$t_{rr}$	Reverse Recovery Time	—	63	95	ns	$T_J = 25^\circ\text{C}, I_F = 25A$
$Q_{rr}$	Reverse Recovery Charge	—	170	260	nC	$di/dt = 100A/\mu s$ ④
$t_{on}$	Forward Turn-On Time	Intrinsic turn-on time is negligible (turn-on is dominated by $L_S + L_D$ )				

### Notes:

① Repetitive rating; pulse width limited by max. junction temperature. (See fig. 11)

② Starting  $T_J = 25^\circ\text{C}, L = 0.48\text{mH}$   
 $R_G = 25\Omega, I_{AS} = 25A$ . (See Figure 12)

③  $I_{SD} \leq 25A, di/dt \leq 230A/\mu s, V_{DD} \leq V_{(BR)DSS}$ ,  
 $T_J \leq 175^\circ\text{C}$

④ Pulse width  $\leq 400\mu s$ ; duty cycle  $\leq 2\%$ .

⑤ This is a typical value at device destruction and represents operation outside rated limits.

⑥ This is a calculated value limited to  $T_J = 175^\circ\text{C}$ .

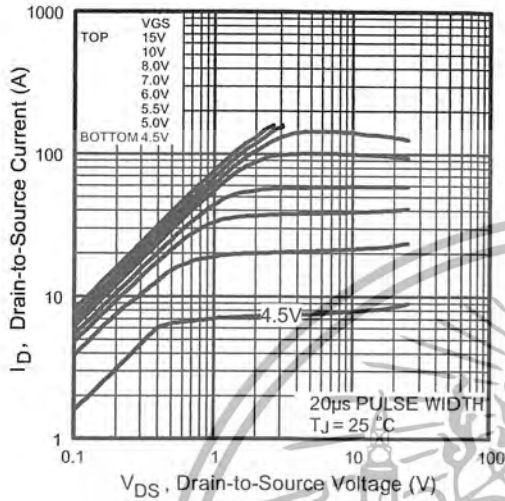


Fig 1. Typical Output Characteristics

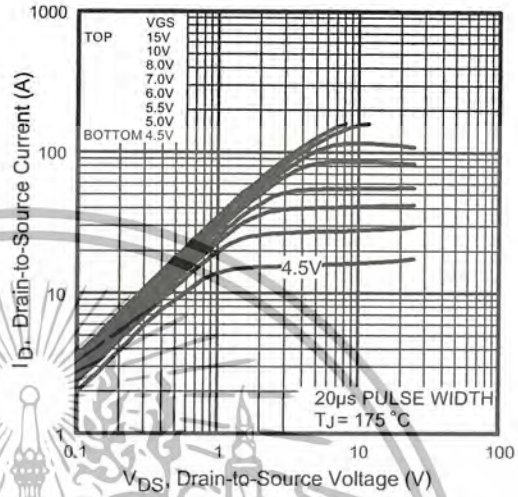


Fig 2. Typical Output Characteristics

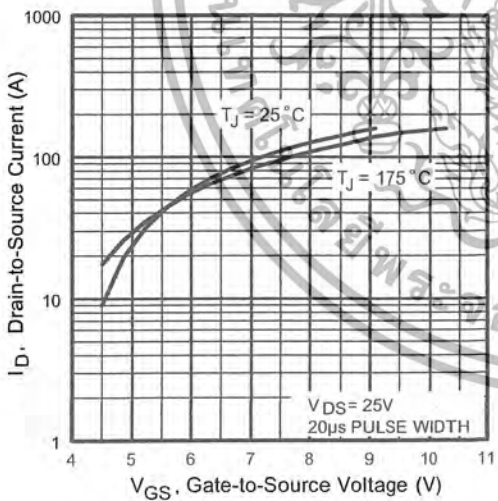


Fig 3. Typical Transfer Characteristics

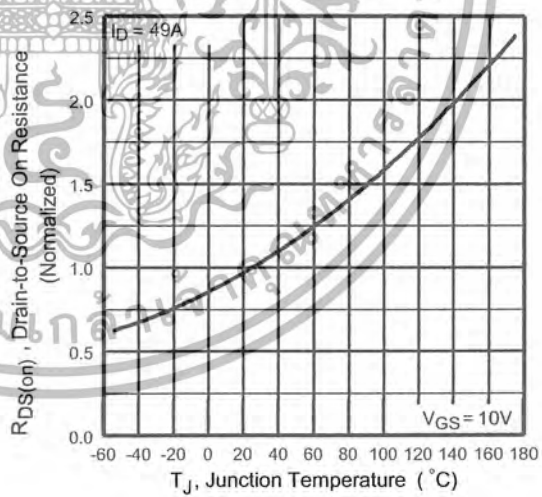
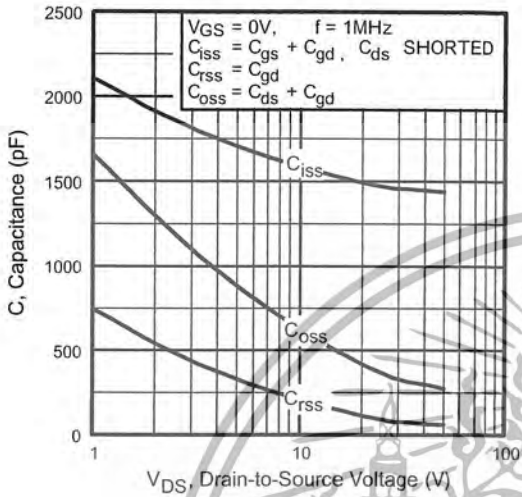
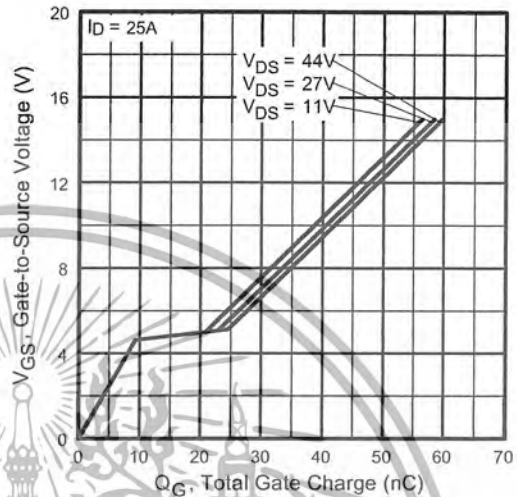


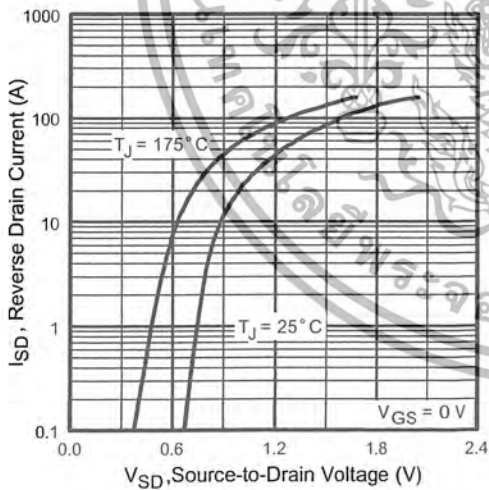
Fig 4. Normalized On-Resistance Vs. Temperature



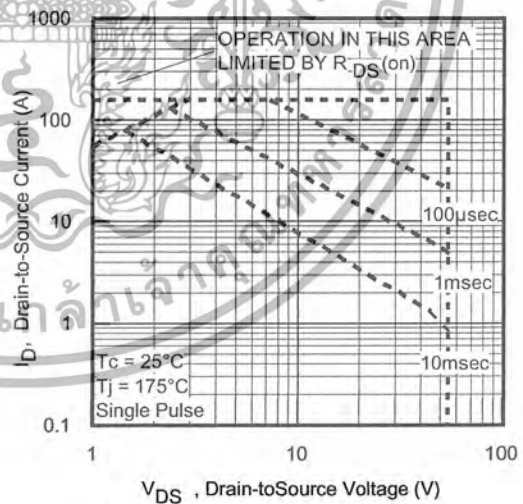
**Fig 5.** Typical Capacitance Vs. Drain-to-Source Voltage



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



**Fig 7.** Typical Source-Drain Diode Forward Voltage



**Fig 8.** Maximum Safe Operating Area

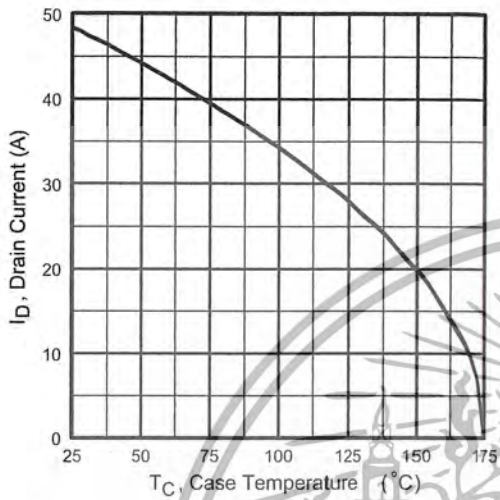


Fig 9. Maximum Drain Current Vs. Case Temperature

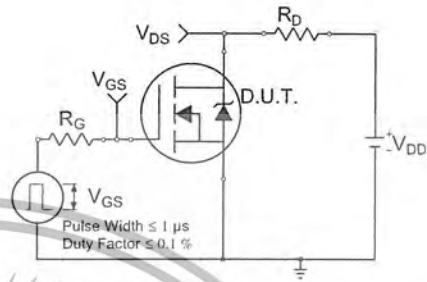


Fig 10a. Switching Time Test Circuit

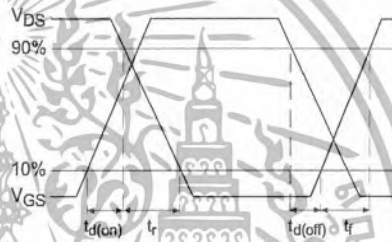


Fig 10b. Switching Time Waveforms

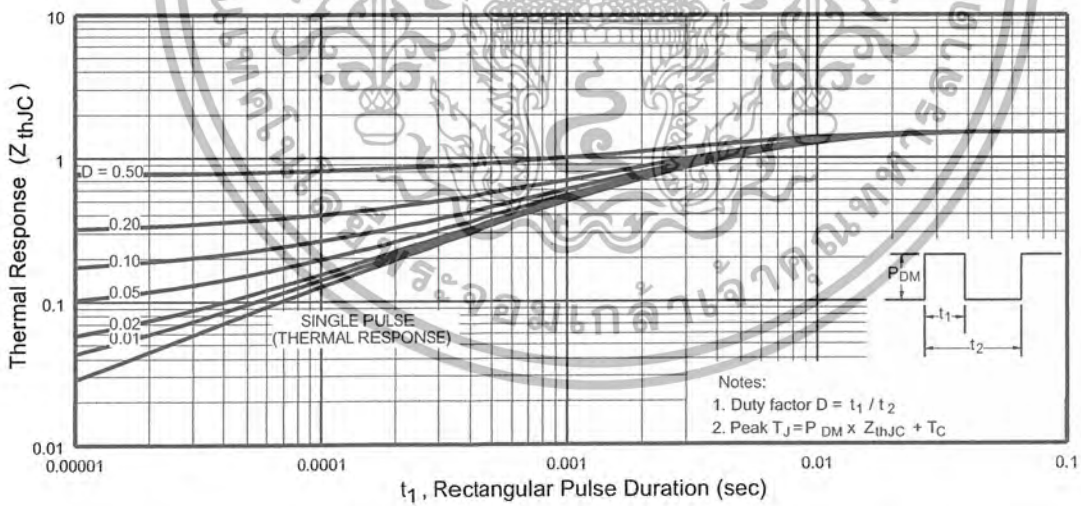
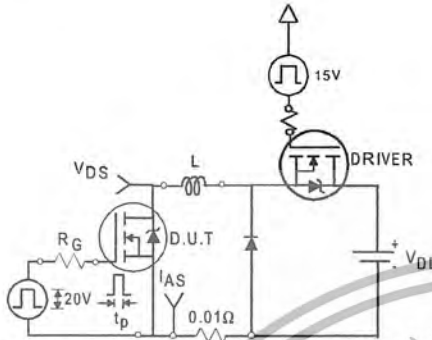
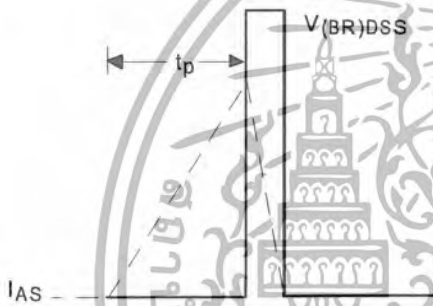


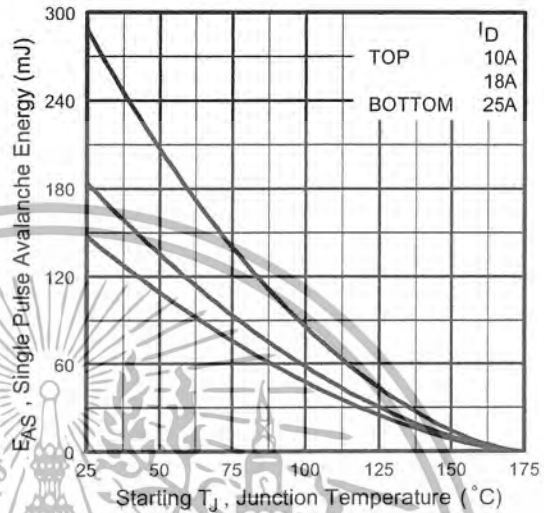
Fig 11. Maximum Effective Transient Thermal Impedance, Junction-to-Case



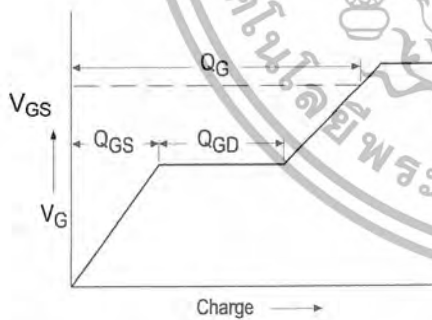
**Fig 12a.** Unclamped Inductive Test Circuit



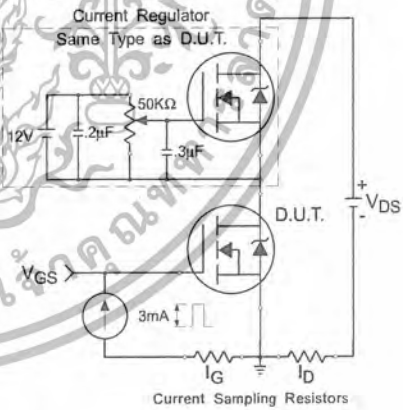
**Fig 12b.** Unclamped Inductive Waveforms



**Fig 12c.** Maximum Avalanche Energy Vs. Drain Current



**Fig 13a.** Basic Gate Charge Waveform



**Fig 13b.** Gate Charge Test Circuit

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Peak Diode Recovery dv/dt Test Circuit

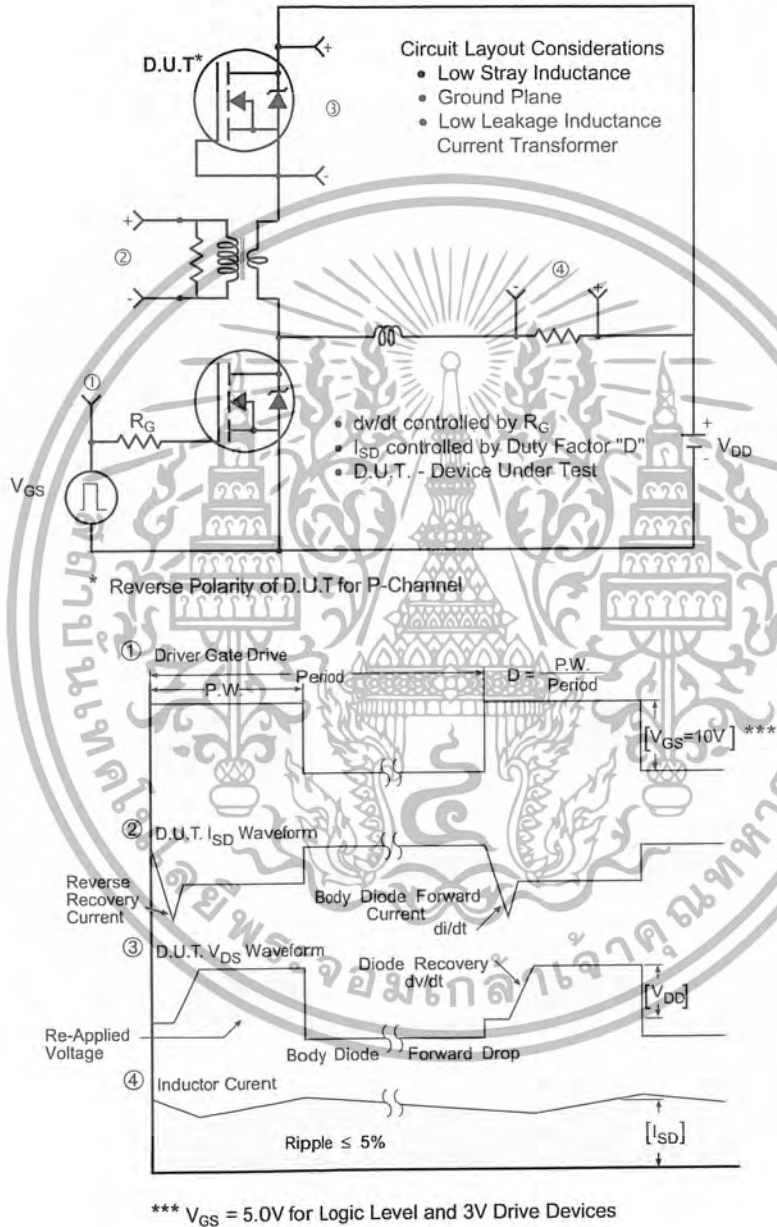


Fig 14. For N-channel HEXFET® power MOSFETs

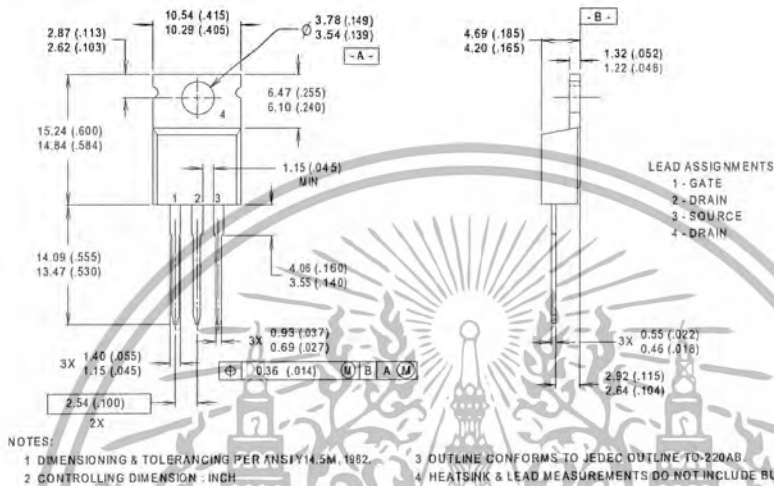
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# IRFZ44N

International  
**IR** Rectifier

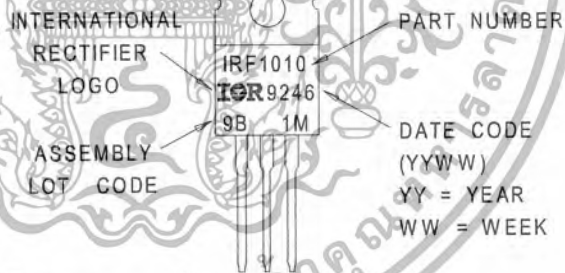
## Package Outline TO-220AB

Dimensions are shown in millimeters (inches)



## Part Marking Information TO-220AB

EXAMPLE: THIS IS AN IRF1010  
WITH ASSEMBLY  
LOT CODE 9B1M



Data and specifications subject to change without notice.  
This product has been designed and qualified for the Automotive [Q101] market.  
Qualification Standards can be found on IR's Web site.

International  
**IR** Rectifier

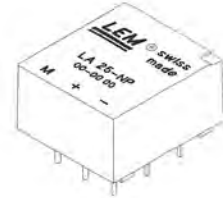
IR WORLD HEADQUARTERS: 233 Kansas St., El Segundo, California 90245, USA Tel: (310) 252-7105  
TAC Fax: (310) 252-7903

Visit us at [www.irf.com](http://www.irf.com) for sales contact information.01/01  
[www.irf.com](http://www.irf.com)

# Stromwandler LA 25-NP

$I_{PN} = 5-6-8-12-25 A$

Für die elektronische Strommessung : DC, AC, Impuls...,  
mit galvanischer Trennung zwischen dem Primärkreis  
(Starkstromkreis) und dem Sekundärkreis (elektronischer Kreis).



## Elektrische Daten

$I_{PN}$	Primärnennstrom, effektiv	25	At
$I_P$	Primärstrom, Messbereich	0 .. ± 36	At
$R_M$	Messwiderstand mit ± 15 V	$R_{M \min}$	$R_{M \max}$
		@ ± 25 At <sub>max</sub>	100 320 Ω
		@ ± 36 At <sub>max</sub>	100 190 Ω
$I_{SN}$	Sekundärnennstrom, effektiv	25	mA
$K_N$	Übersetzungsverhältnis	1-2-3-4-5 : 1000	
$V_C$	Versorgungsspannung (± 5 %)	± 15	V
$I_C$	Stromaufnahme	10 + $I_S$	mA
$V_d$	Prüfspannung, effektiv, 50 Hz, 1 mn	2.5	kV
$V_b$	Bemessungsspannung <sup>1)</sup> , sichere Trennung Basisisolierung	600	V
		1700	V

## Eigenschaften

- Halleffekt -
- Mehrbereichskompensationswandler
- Gehäuse aus isolierendem selbstlöschendem Material UL 94-V0.

## Vorteile

- Hervorragende Messgenauigkeit
- Sehr gute Linearität
- Geringe Temperaturdrift
- Kurze Ansprechzeit
- Weiter Frequenzbereich
- Keine Zusatzverluste im Messkreis
- Geringe Störanfälligkeit gegenüber Fremdfeldern
- Überstehen Überströme ohne Schaden.

## Genauigkeit - Dynamisches Verhalten

$X$	Genauigkeit @ $I_{PN}, T_A = 25^\circ C$	± 0.5	%
$E_L$	Linearität	< 0.2	%
$I_o$	Offsetstrom <sup>2)</sup> @ $I_P = 0, T_A = 25^\circ C$	Typ	Max
		± 0.05	± 0.15 mA
$I_{OM}$	Reststrom <sup>3)</sup> @ $I_P = 0$ , als Folge eines Primärstroms von $3 \times I_{PN}$	± 0.05	± 0.15 mA
		± 0.06	± 0.25 mA
$I_{OT}$	Temperaturdrift von $I_o$	0°C .. + 25°C	± 0.10 ± 0.35 mA
		+ 25°C .. + 70°C	
$t_r$	Ansprechzeit <sup>4)</sup> @ 90 % von $I_{P \max}$	< 1	µs
$di/dt$	$di/dt$ bei optimaler Kopplung	> 50	A/µs
$f$	Frequenzbereich (- 1 dB)	DC .. 150	kHz

## Anwendungen

- Drehstrom- und Servoantriebe, Generatoren
- Stromrichter für Gleichstromantriebe
- Batteriebetriebene Anwendungen
- Unterbrechungsfreie Stromversorgungen (USV)
- Schaltnetzteile
- Stromversorgungen für Schweißanlagen.

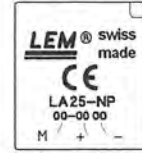
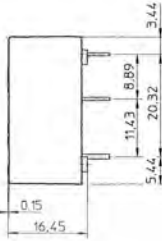
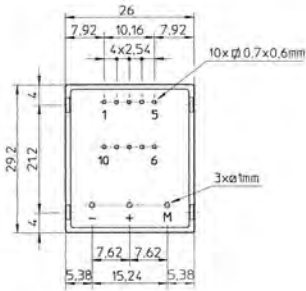
## Allgemeine Daten

$T_A$	Umgebungstemperatur	0 .. + 70	°C
$T_S$	Lagertemperatur	- 25 .. + 85	°C
$R_P$	Widerstand einer Primärwindung @ $T_A = 25^\circ C$	< 1.25	mΩ
$R_S$	Sekundärspulenwiderstand @ $T_A = 70^\circ C$	110	Ω
$R_{IS}$	Isolationswiderstand @ 500 V, $T_A = 25^\circ C$	> 1500	MΩ
$m$	Masse	22	g
	Normen <sup>5)</sup>	EN 50178	

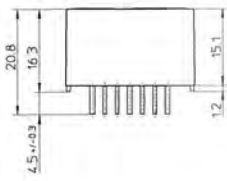
- Anmerkungen : <sup>1)</sup> Verschmutzungsgrad 2  
<sup>2)</sup> 15 mn nach Anlegen der Speisespannung gemessen  
<sup>3)</sup> Folge des Koerzitivfeldes des Magnetkreises  
<sup>4)</sup> Mit einem  $di/dt$  von 100 A/µs  
<sup>5)</sup> Die Liste der durchgeführten Versuche ist auf Anfrage erhältlich

980908/8

Abmessungen LA 25-NP (in mm)



Standard 00 oder N° SP.. Jahr Woche



Sekundäranschlüsse

Anschlussbeispiel

Klemme + : Versorgungsspannung +15 V  
 Klemme M : Messausgang  
 Klemme - : Versorgungsspannung -15 V



Anzahl Primäranschlüsse	Primärstrom		Ausgangsstrom nominal $I_{SN}$ [mA]	Übersetzungsverhältnis $K_N$	Primärwiderstand $R_p$ [mΩ]	Primärinduktivität $L_p$ [μH]	Empfohlene Verbindungen
	nominal $I_{PN}$ [A]	maximal $I_p$ [A]					
1	25	36	25	1 / 1000	0.3	0.023	
2	12	18	24	2 / 1000	1.1	0.09	
3	8	12	24	3 / 1000	2.5	0.21	
4	6	9	24	4 / 1000	4.4	0.37	
5	5	7	25	5 / 1000	6.3	0.58	

mechanische Eigenschaften

Allgemeine Toleranz ± 0.2 mm  
 Befestigung und Primäranschlüsse 10 Stifte  
 Befestigung und Sekundäranschlüsse 3 Stifte  
 Empfohlener Bohrungsdurchmesser 1.2 mm

Bemerkungen

- $I_s$  ist positiv, wenn  $I_p$  von den Anschlüssen 1, 2, 3, 4, 5 zu den Anschlüssen 10, 9, 8, 7, 6 fließt.
- Dieser Wandler ist ein Standardmodell. Sollten davon abweichende Parameter (Versorgungsspannung, Übersetzungsverhältnis, unipolare Messungen...) benötigt werden, nehmen Sie bitte Kontakt mit uns auf.

LEM behält sich das Recht vor, Änderungen im Sinne einer Verbesserung vorzunehmen, ohne Sie zu informieren.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ ดร.สุวัฒน์ กิตติรัตนัสจจา และ อ. วรศิลป์ สิมเจริญ ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลทางด้านทฤษฎีของมอเตอร์ ดีเอสพี Encoder บอร์ดทดลองดีเอสพีและสวิตซ์รีเลย์แทนซ์มอเตอร์ ในการทำโครงการ และเป็นอาจารย์ที่ปรึกษา

ขอขอบคุณ อาจารย์ ชัยทัศน์ มณีอินทร์ เป็นอย่างยิ่ง ที่ได้ให้คำปรึกษา และช่วยเหลือในเรื่องการใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ ตลอดจนเอกสารอ้างอิง และ เทคนิคการเขียนโปรแกรม ต่างๆและให้กำลังใจในการทำโครงการ

ขอขอบคุณ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ปฏิบัติงานตลอด 24 ชม.

ขอขอบคุณ อาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าทุกท่าน ที่ได้สั่งสอนความรู้ให้กับพวกเรามาโดยตลอดเป็นระยะเวลา 3 ปี

ขอขอบคุณ พี่ติ พี่ตุง พี่ลลิต พี่มิน พี่นิว พี่ดี ที่ได้ให้ความรู้และทักษะเกี่ยวกับการต่อโหนดให้มอเตอร์ การทำระบบพีโอ ข้อมูลดีเอสพี แนะนำเรื่องไมโครคอนโทรลเลอร์ และช่วยที่ให้คำปรึกษาในเรื่องเทคนิคการออกแบบวงจรต่างๆ และขอขอบคุณพี่หนูๆ ที่แนะนำให้พวกเราขอไอซีตัวอย่างจากต่างประเทศมาใช้งาน

ขอขอบคุณพี่ ๆ ป. โท-ทุก ๆ คนที่ไม่ได้กล่าวชื่อไว้ข้างต้นที่ให้กำลังใจในการทำงานกับพวกเราตลอดมา

ขอขอบคุณเพื่อนๆห้อง 3 W ที่ให้กำลังใจในการทำงานและอยู่เป็นเพื่อนกันจนคึกๆคั่นๆ และที่สำคัญโครงการนี้จะสำเร็จลุล่วงไปไม่ได้เลยถ้าขาดพ่อแม่ ผู้ปกครองและผู้มีพระคุณทุก ๆ ท่านของพวกเราซึ่งเป็นผู้มีพระคุณสูงสุดที่ได้ให้การศึกษและเป็นกำลังใจในการทำงานให้กับพวกเรา โดยตลอด

คณะผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง

- [1] มงคล เดชนครินทร์, ชาตรี ศรีไพพรรณ, “อิเล็กทรอนิกส์,” คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2521
- [2] สุวัฒน์ คั่น, “สวิตซ์িংเพาเวอร์ซัพพลาย,” ฝ่ายวิจัยและพัฒนา บริษัทเอนเทลไทย จำกัด, 2538
- [3] “คู่มือไอซี ไมโครโปรเซสเซอร์ MCS-51,” บริษัท อีทีที จำกัด.
- [4] “คู่มือคูหาไอซี.” สำนักพิมพ์ซีเอ็ด.
- [5] “ADSP-2100 Family User’s Manual,” 1995 Analog Devices, Inc. USA., 1995
- [6] T J E Miller, “Electronic Control of Switched Reluctance Machines,” Reed Education and Professional Publishing Ltd, UK., 2001
- [7] T J E Miller, “Switched Reluctance Motors and Their Control,” Oxford University Press Inc., UK., 1993
- [8] Timothy L. Skvarenina, “The Power Electronics,” No Claim to Original U.S., USA., 2001
- [9] Mohan, Ned and Undeland, Tore, “Power Electronics,” John Wiley and Sons, Inc., USA., 1989
- [10] Rashid M.H., “Power Electronics,” Pentice – Hall, Inc., USA., 1988

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้