

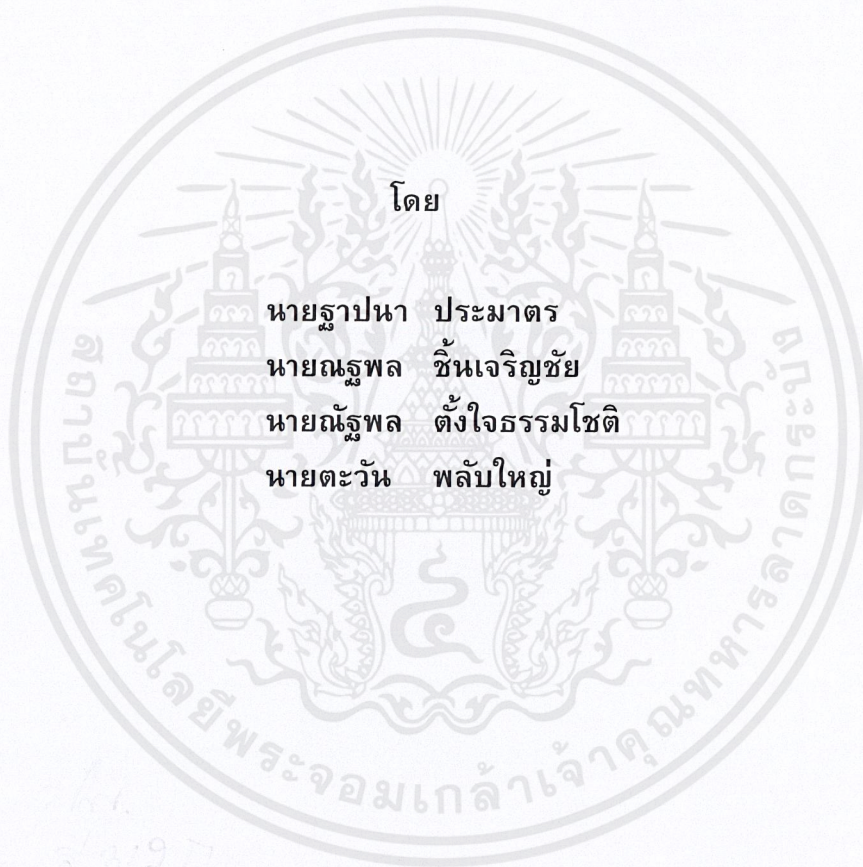
สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การควบคุมเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบสวิตซ์รีลักแตนซ์

CONTROL OF A SWITCHED-RELUCTANCE GENERATOR



T117506



โดย

นายฐาปนา ประมาต

นายณัฐพล ชื่นเจริญชัย

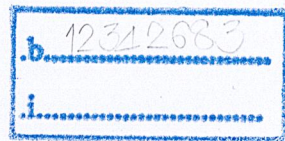
นายณัฐพล ตั้งใจธรรมโชติ

นายตะวัน พลับใหญ่

เลขหมู่.....117506

เลขทะเบียน.....

วัน,เดือน,ปี..... 5 ค.ศ. 2554



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์

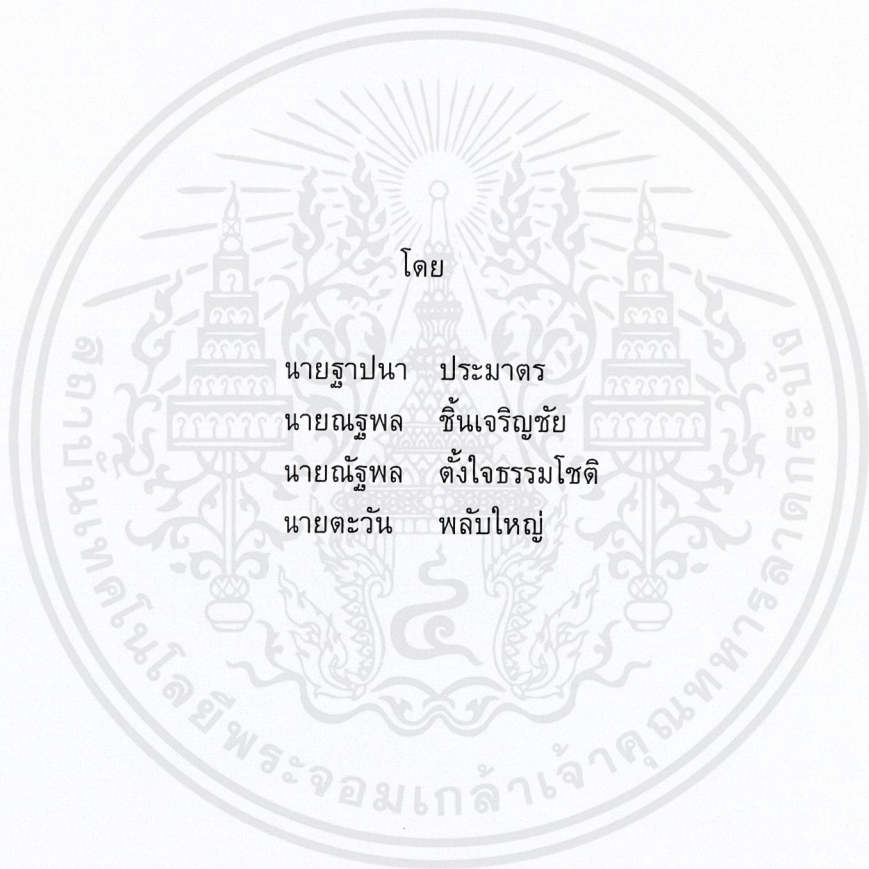
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2553

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปีการศึกษา 2553

การควบคุมเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบสวิตช์รีลักแตนซ์
CONTROL OF A SWITCHED-RELUCTANCE GENERATOR



โดย

นายฐานา ประมาตร

นายณัฐพล ชื่นเจริญชัย

นายณัฐพล ตั้งใจธรรมโชติ

นายตะวัน พลับใหญ่

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.ดร.สุวัฒน์ กิตติรัตน์สัจจา

ดร.ภาพ จันทร์เจริญสุข

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2553
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า


คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การควบคุมเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบสวิตซ์รีลักแตนซ์
Control of a Switched-Reluctance Generator

ผู้จัดทำ

1. นายฐาปนา ประมาต
2. นายณัฐพล ชื่นเจริญชัย
3. นายณัฐพล ตั้งใจธรรมโชติ
4. นายตะวัน พลับใหญ่


.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ ดร. สุตพัฒน์ กิตติรัตน์สัจจา)


.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(ดร.ภพ จันท์เจริญสุข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การควบคุมเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบสวิตช์รีลักแตนซ์

นายฐาปนา	ประมาณ	
นายณัฐพล	ชินเจริญชัย	
นายณัฐพล	ตั้งใจธรรมโชติ	
นายตะวัน	พลับใหญ่	
รศ.ดร.สุวัฒน์	กิตติรัตน์สัจจา	อาจารย์ที่ปรึกษา
ดร.ภพ	จันทร์เจริญสุข	อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2553		

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการนำเสนอโครงการควบคุมเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบสวิตช์รีลักแตนซ์ 4 เฟส แบบ 8/6 โดยนำวงจร Asymmetric half bridge converter มาใช้ในการควบคุมการทำงานของขดลวดแต่ละเฟส และได้นำ Encoder Sensor มาใช้ในการตรวจจับตำแหน่งของโรเตอร์โดยมีการป้อนสัญญาณแสดงตำแหน่งให้กับคอมพิวเตอร์ เพื่อที่จะนำมาลำดับการป้อนกระแสไฟฟ้าให้กับขดลวดแต่ละเฟสในลำดับที่เหมาะสมกับการทำงานของเจนเนอเรเตอร์ โดยการควบคุมแรงดันของเจนเนอเรเตอร์นั้นทำได้โดยการปรับเลื่อนมุมจุดฉนวนให้เหมาะสม และควบคุมกระแสเฟสของเจนเนอเรเตอร์โดยเทคนิคการควบคุมกระแสแบบ Single-Pulse, Hard-Chopping และ Soft-Chopping

ในส่วนของตัวควบคุมและประมวลผลการทำงานของระบบขับเคลื่อนได้เลือกใช้ DSP 320F2812 มาทำการควบคุมการสั่งการทำงานทั้งหมด โดยผลการทดลองนั้นสวิตช์รีลักแตนซ์เจนเนอเรเตอร์สามารถ ควบคุมระดับแรงดันได้เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของโหลดหรือความเร็วโรเตอร์ สามารถควบคุมรูปร่างของกระแสได้ทั้งแบบ Single-Pulse, Hard-Chopping และ Soft-Chopping และสามารถสับเปลี่ยนการทำงานในโหมดมอเตอร์ไปเป็นโหมดเจนเนอเรเตอร์ได้ตามต้องการ

Control of a Switched-Reluctance Generator

Thapana

Pramart

Nathaphon

Chincharoenchai

Natthapol

Tungjaitummachod

Tawan

Plubyai

Assoc.Prof.Dr.Supat

Kittiratsatcha

Supervisor

Dr.Phop

Chancharoensook

Supervisor

2010

ABSTRACT

This thesis presents the control of a 4 phase 8/6 switched reluctance generator or SRG. The power converter is an asymmetric half-bridge type. An incremental encoder is used to detect the rotor position and feed back to control the phase sequences. The DC bus voltage can be regulated by adjusting the width of conduction angles. Several control techniques such as single pulse, soft and hard chopping are used in the experiments.

DSP # 320F2812 is implemented in the system. In concluded, the system can control the DC bus voltage while the load and speed are varied moreover the system can operate in both generating and motoring mode.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ประสบความสำเร็จไปด้วยดี ไม่ได้มาจากความรู้ ความสามารถและความตั้งใจของสมาชิกภายในกลุ่มเพียงอย่างเดียว แต่ได้มาจากการให้ความช่วยเหลือจากหลายฝ่ายจึงขออนุญาตกล่าวถึงเพื่อเป็นการขอบคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้ด้วย

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร.สุวัฒน์ กิตติรัตนสัจจา และ ดร.ภพ จันท์เจริญสุข ที่เป็นที่ปรึกษาและคอยให้คำแนะนำ ถ้าปราศจากท่านทั้งสองโครงการนี้ก็คงไม่สำเร็จลุล่วงไปได้

ขอขอบพระคุณ บิดา มารดาของสมาชิกทุกคนในกลุ่มโครงการนี้ที่มอบความรักและปรารถนาดี กำลังใจ และให้โอกาสในการศึกษามาจนถึงในระดับนี้

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ทุกๆ ท่านที่ประสิทธิประสาทวิชาความรู้และอบรมสั่งสอน ซึ่งสมาชิกภายในกลุ่มได้นำความรู้และประสบการณ์มาประยุกต์ใช้กับการทำโครงการนี้จนสำเร็จ

ขอขอบพระคุณ พี่ไพรวรรณ เกิดตรวจ ที่ได้ให้ข้อมูลอุปกรณ์ต่างๆ และคอยให้คำปรึกษาในการทำโครงการโดยตลอดมา

ขอบคุณเพื่อนๆ ทุกคนในกลุ่มที่มีความสามัคคี ความเอื้อเฟื้อเผื่อแผ่ และให้ความร่วมมือกันทำงานอย่างเต็มที่ รวมไปถึงเพื่อนๆ ภายในห้อง PEARL LAB และเพื่อนๆ กลุ่มอื่นๆ ที่ให้คำแนะนำและคอยช่วยเหลือซึ่งกันและกัน สร้างบรรยากาศที่ดีในการทำงาน และรวมไปถึงน้ำใจที่มีต่อกันตลอดมา

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ธุรการ คุณแม่บ้าน ที่ให้ความช่วยเหลือในทุกๆ ด้าน และสุดท้ายนี้ขอขอบคุณ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังแห่งนี้ ที่ให้เราคณะผู้จัดทำ เป็นบุคลากรที่มีคุณภาพ ไม่ว่าจะด้านการศึกษา ด้านสังคมหรือประสบการณ์ชีวิตหลายๆ ด้าน ทางเราคณะผู้จัดทำได้ขอขอบคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

นายฐาปนา	ประมาณ
นายณัฐพล	ชินเจริญชัย
นายณัฐพล	ตั้งใจธรรมโชติ
นายตะวัน	พลับใหญ่

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ.....	I
ABSTRACT.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญภาพ.....	VII
สารบัญตาราง.....	X
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและที่มาของโครงการ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ.....	1
1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงการ.....	2
1.4 วิธีการที่ใช้ในโครงการ.....	2
1.5 แผนการดำเนินงาน.....	3
1.6 ประโยชน์ที่ได้รับจากการทำโครงการ.....	4
1.7 การจัดโครงสร้างของเนื้อหาภายในปฏิญญาฉบับนี้.....	4
บทที่ 2 ทฤษฎีเบื้องต้น.....	5
2.1 ทฤษฎีพื้นฐานของเครื่องจักรกลไฟฟ้าแบบสวิตซ์รีลักแตนซ์.....	5
2.1.1 โครงสร้างของเครื่องจักรกลไฟฟ้าแบบสวิตซ์รีลักแตนซ์.....	5
2.1.2 หลักการทำงานของเครื่องจักรกลไฟฟ้าแบบสวิตซ์รีลักแตนซ์.....	6
2.1.3 วงจรแม่เหล็ก.....	7
2.1.4 ตำแหน่ง Aligned.....	10
2.1.5 ตำแหน่ง Unaligned.....	11
2.1.6 กราฟ Magnetizing.....	12
2.1.7 แรงบิด.....	13
2.2 วงจรขับเคลื่อนแบบสองสวิตซ์ต่อเฟส.....	15
2.2.1 หลักการทำงานของวงจรขับเคลื่อนแบบสองสวิตซ์ต่อเฟส.....	16
2.2.2 การทำงานในโหมดควบคุมกระแสขณะทำงานเป็นเจนเนอเรเตอร์ ...	17
บทที่ 3 การออกแบบและสร้างระบบควบคุมเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบสวิตซ์รีลักแตนซ์.....	22
3.1 บทนำ.....	22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.2 การสร้างวงจรสำหรับควบคุมเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบสวิตช์รีลักแตนซ์	23
3.2.1 วงจรเรียงกระแสแบบ 3 เฟส	23
3.2.2 วงจรคอนเวอร์เตอร์กำลังแบบบัสร่วม	23
3.2.3 วงจรขับเกจและวงจรป้องกันกระแสเกินสำหรับไอจีบีทีกำลัง	24
3.2.4 ชุดวงจรวัดกระแส	25
3.2.5 วงจรวัดแรงดัน	26
3.2.6 ตัวตรวจจับตำแหน่งโรเตอร์	26
3.2.7 วงจรวัดความเร็ว	27
3.2.8 ตัวตรวจจับตำแหน่งโรเตอร์	29
3.2.9 วงจรเรียงกระแส	29
3.2.10 ตัวประมวลผลสัญญาณดิจิทัล	32
3.2.11 ตัวปรับความเร็วรอบสำหรับมอเตอร์เหนี่ยวนำไฟฟ้าแบบ 3 เฟส	33
3.2.12 มอเตอร์เหนี่ยวนำไฟฟ้าแบบ 3 เฟส	34
3.2.13 เครื่องจักรกลไฟฟ้าแบบสวิตช์รีลักแตนซ์	34
3.3 โปรแกรมควบคุมการทำงานเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบสวิตช์รีลักแตนซ์	35
บทที่ 4 ผลการทดลอง	37
4.1 บทนำ	37
4.2 ผลการทดลองวงจรควบคุมการทำงาน	37
4.2.1 ผลการทดลองสัญญาณขับนำเกิดจาก DSP	37
4.2.2 ผลการทดลองสร้างสัญญาณอ้างอิงตำแหน่งโรเตอร์	38
4.3 การควบคุมการทำงานขณะที่เป็นมอเตอร์ไฟฟ้า	39
4.3.1 ผลการทดลองการควบคุมกระแสแบบ Soft-chopping ขณะทำงานเป็น มอเตอร์	39
4.3.2 ผลการทดลองการควบคุมกระแสแบบ Soft-chopping ขณะทำงานเป็น มอเตอร์	39
4.3.3 ผลการทดลองการควบคุมกระแสแบบ Single Pulse ขณะทำงานเป็น มอเตอร์	40
4.4 การควบคุมการทำงานขณะที่เป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.4.1 ผลการทดลองการควบคุมกระแสแบบ Soft-chopping ขณะทำงานเป็น เครื่องกำเนิดไฟฟ้า.....	41
4.4.2 ผลการทดลองการควบคุมกระแสแบบ Hard-chopping ขณะทำงานเป็น เครื่องกำเนิดไฟฟ้า.....	42
4.4.3 ผลการทดลองการควบคุมกระแสแบบ Single Pulse ขณะทำงานเป็น เครื่องกำเนิดไฟฟ้า.....	42
4.5 การควบคุมแรงดัน DC Bus 48 โวลต์ที่ความเร็วต่างๆ.....	43
4.6 การรักษาระดับแรงดัน DC Bus 48 โวลต์เมื่อมีการปรับเปลี่ยนโหลด.....	45
4.7 การควบคุมการสับเปลี่ยนสภาวะการทำงานระหว่างมอเตอร์และเจนเนอเรเตอร์	45
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ.....	47
5.1 บทนำ.....	47
5.2 สรุปวงจรควบคุมแบบ Asymmetric Half-Bridge Converter.....	47
5.3 สรุปการควบคุมแรงดัน DC Bus 48 โวลต์ที่ความเร็วต่างๆ.....	47
5.4 สรุปการรักษาระดับแรงดัน DC Bus 48 โวลต์เมื่อมีการปรับเปลี่ยนโหลด.....	47
5.5 สรุปการควบคุมการสับเปลี่ยนสภาวะการทำงานระหว่างมอเตอร์และเจนเนอเร เตอร์.....	48
5.6 ข้อเสนอแนะในการพัฒนาต่อ.....	48
บรรณานุกรม.....	49
ภาคผนวก.....	50
ภาคผนวก ก โปรแกรมควบคุมการทำงานโดยใช้ DSP ด้วยภาษาซี (C-language)	51
ภาคผนวก ข ชุดวิจัยเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบสวิตช์รีลักแตนซ์.....	82
บทความ.....	86
ประวัติผู้เขียน.....	90

สารบัญญภาพ

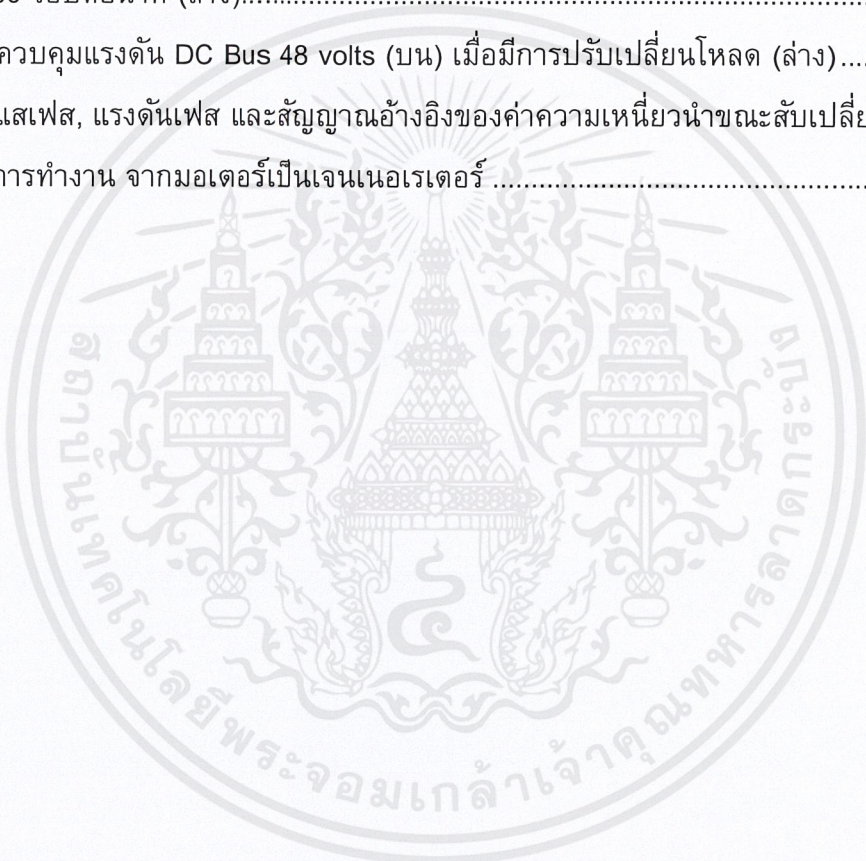
ภาพที่	หน้า
2.1 แสดงจำนวนขั้วของสเตเตอร์และโรเตอร์ในแบบต่างๆ	6
2.2 แสดงวงจรสมมูลย์ทางไฟฟ้าและแม่เหล็ก.....	7
2.3 แสดงแกนเหล็กที่มีวัตตุสองชนิดวางแบบอนุกรม.....	8
2.4 แสดงวงจรสมมูลย์ที่มีค่ารีลักแตนซ์ต่ออนุกรม	9
2.5 แสดงแกนเหล็กที่มีวัตตุสองชนิดวางแบบขนาน.....	9
2.6 แสดงวงจรสมมูลย์ที่มีค่ารีลักแตนซ์ต่อขนาน	10
2.7 SRM แบบ 4/2 ที่ตำแหน่ง Aligned	11
2.8 SRM แบบ 4/2 ที่ตำแหน่ง Unaligned	11
2.9 กราฟ Magnetizing	12
2.10 ค่าพลังงานสะสม และ Coenergy.....	13
2.11 ค่าความเหนี่ยวนำและแรงบิดเมื่อป้อนกระแสเข้าขดลวดเฟส	13
2.12 วงจรขับเคลื่อนแบบสองสวิตซ์ต่อเฟส.....	16
2.13 ความสัมพันธ์ของกระแส แรงดันเฟสของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบ SRG ขณะทำงานในโหมด Soft-Chopping	18
2.14 ความสัมพันธ์ของกระแส แรงดันเฟสของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบ SRG ขณะทำงานในโหมด Hard-Chopping.....	19
2.15 ความสัมพันธ์ของกระแส แรงดันเฟสของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบ SRG ขณะทำงานในโหมด Single Pulse ขณะที่แรงดันไฟฟ้่าต้านกลับมากกว่าดีซีบัส	20
2.16 ความสัมพันธ์ของกระแส แรงดันเฟสของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบ SRG ขณะทำงานในโหมด Single Pulse ขณะที่แรงดันไฟฟ้่าต้านกลับเท่าดีซีบัส	21
2.17 ความสัมพันธ์ของกระแส แรงดันเฟสของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบ SRG ขณะทำงานในโหมด Single Pulse ขณะที่แรงดันไฟฟ้่าต้านกลับน้อยกว่าดีซีบัส.....	21
3.1 โครงสร้างของระบบควบคุมเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบสวิตซ์รีลักแตนซ์	22
3.2 วงจรเรียงกระแส 3 เฟส.....	23
3.3 วงจรคอนเวอร์เตอร์กำลังแบบบัสร่วม.....	23
3.4 วงจรขับนำเกตและวงจรป้องกันกระแสเกินสำหรับ IGBT Module	24
3.5 ตัววัดกระแสเบอร์ ACS754SCB-200	25

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
3.6 วงจรลดระดับและวงจรถยายสัญญาณและกระแสสำหรับช่อง ADC ของ DSP	25
3.7 Current sensor	26
3.8 อุปกรณ์วัดแรงดันเบอร์ ISO124	27
3.9 วงจรวัดแรงดันดีซี	27
3.10 Encoder เบอร์ R137 ของบริษัท Gurley Precision Instrument	28
3.11 สัญญาณพัลส์ที่ได้จาก Encoder	28
3.12 วงจรวัดความเร็ว	29
3.13 วงจรเรียงกระแสดีซี 20 โวลต์สำหรับวงจรถ่ายนำเกท	30
3.14 ชุดวงจรวัดกระแสสำหรับวงจรวัดกระแสและแรงดัน	31
3.15 ตัวประมวลผลสัญญาณดิจิทัล (DSP) เบอร์ TMS320F2812	32
3.16 อินเวอร์เตอร์แบบ 3 เฟส เบอร์ ND1-4-5A5	33
3.17 แผนผังวงจรถ่ายต่อของอินเวอร์เตอร์แบบ 3 เฟส เบอร์ ND1-4-5A5	33
3.18 มอเตอร์เหนี่ยวนำไฟฟ้า (Induction Motor) แบบ 3 เฟส ขนาด 4 กิโลวัตต์	34
3.19 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบสวิตช์รีลักแตนซ์ แบบ 4 เฟส 8/6 รุ่น RA165187	34
3.20 แผนผังการทำงานของโปรแกรม	36
4.1 สัญญาณนับเกทของ IGBT ตัวบนที่ได้จากช่อง PWM ของตัว DSP	37
4.2 แสดงมุมทางกล, มุมทางไฟฟ้าของเฟส A และมุมทางไฟฟ้าของเฟส B ตามลำดับ ...	38
4.3 แสดงสัญญาณสวิตช์ตัวบน, สวิตช์ตัวล่าง, กระแส และแรงดันเฟสขณะทำงานในโหมดการควบคุมกระแสแบบ Soft-chopping (Motor)	39
4.4 แสดงสัญญาณสวิตช์ตัวบน, สวิตช์ตัวล่าง, กระแส และแรงดันเฟสขณะทำงานในโหมดการควบคุมกระแสแบบ Hard-chopping (Motor)	40
4.5 แสดงสัญญาณสวิตช์ตัวบน, สวิตช์ตัวล่าง, กระแส และแรงดันเฟสขณะทำงานในโหมดการควบคุมกระแสแบบ Single pulse (Motor)	40
4.6 แสดงสัญญาณสวิตช์ตัวบน, สวิตช์ตัวล่าง, กระแส และแรงดันเฟสขณะทำงานในโหมดการควบคุมกระแสแบบ Soft-chopping (Generator)	41
4.7 แสดงสัญญาณสวิตช์ตัวบน, สวิตช์ตัวล่าง, กระแส และแรงดันเฟสขณะทำงานในโหมดการควบคุมกระแสแบบ Hard-chopping (Generator)	42

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.8 แสดงสัญญาณสวิตช์ตัวบน, สวิตช์ตัวล่าง, กระแส และแรงดันเฟสขณะทำงานในโหมดการควบคุมกระแสแบบ Single pulse (Generator)	43
4.9 การควบคุมแรงดัน DC Bus 48 volts (บน) โดยไม่มีภาระไฟฟ้าที่ความเร็ว 3,000-6,000 รอบต่อนาที (ล่าง)	44
4.10 การควบคุมแรงดัน DC Bus 48 volts (บน) ที่ภาระไฟฟ้า 600 วัตต์ที่ความเร็ว 4,000-6,000 รอบต่อนาที (ล่าง).....	44
4.11 การควบคุมแรงดัน DC Bus 48 volts (บน) เมื่อมีการปรับเปลี่ยนโหลด (ล่าง).....	45
4.12 กระแสเฟส, แรงดันเฟส และสัญญาณอ้างอิงของค่าความเหนี่ยวนำขณะสับเปลี่ยนสภาวะการทำงาน จากมอเตอร์เป็นเจนเนอเรเตอร์	46



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 ตารางแผนการดำเนินงาน	3
2.1 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างพารามิเตอร์ของวงจรไฟฟ้าและแม่เหล็ก	7
3.1 ค่าความต้านทานที่ขาเกต (RG) เทียบกับกระแสสูงสุด IGBT เบอร์ EXB850	24



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและที่มาของโครงการ

เครื่องจักรกลไฟฟ้าแบบสวิตช์รีลักแตนซ์ซึ่งเป็นเครื่องจักรกลไฟฟ้าที่มีการออกแบบโครงสร้างง่ายไม่ซับซ้อน และราคาถูก ไม่ต้องมีการบำรุงรักษามาก แต่ตรงกันข้ามกับการควบคุม ซึ่งจะมีความซับซ้อน ทั้งการควบคุมให้ทำงานในโหมดของมอเตอร์และเจนเนอเรเตอร์ โดยจำเป็นต้องรู้ตำแหน่งของโรเตอร์และลำดับการจ่ายพลังงานให้กับขดลวดของแต่ละเฟส เพื่อที่จะป้อนพลังงานได้อย่างเหมาะสม ส่งผลให้ได้แรงบิดในทิศทางที่ต้องการ ดังนั้นในการควบคุมเครื่องจักรกลไฟฟ้าแบบสวิตช์รีลักแตนซ์จึงจำเป็นต้องใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์จำนวนมากและมีคุณสมบัติในการทำงานที่สูง แต่ในปัจจุบันการพัฒนาทางด้านเทคโนโลยีของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ได้ถูกพัฒนาความสามารถในการทำงานได้ดีขึ้นอีกทั้งการแข่งขันทางการตลาดของผู้ผลิตมีจำนวนมาก ซึ่งส่งผลให้ราคาถูกลง และขนาดของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เล็กลง แต่ประสิทธิภาพมากขึ้น ทำให้เครื่องจักรกลไฟฟ้าแบบสวิตช์รีลักแตนซ์ได้รับการค้นคว้าและพัฒนาเรื่อย ๆ ซึ่งในปัจจุบันวงการอุตสาหกรรมได้เริ่มมีความสนใจเกี่ยวกับเครื่องจักรกลไฟฟ้าแบบสวิตช์รีลักแตนซ์เป็นอย่างมาก

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

- 1) เพื่อศึกษาหลักการการทำงานและโครงสร้างของเครื่องจักรกลไฟฟ้าแบบสวิตช์รีลักแตนซ์ 4 เฟส แบบ 8/6
- 2) เพื่อศึกษาและนำวงจร Asymmetric half-bridge converter มาใช้ขับเครื่องจักรกลไฟฟ้าแบบสวิตช์รีลักแตนซ์ 4 เฟส แบบ 8/6
- 3) เพื่อศึกษาการสร้างและออกแบบระบบควบคุมการทำงานของเครื่องจักรกลไฟฟ้าแบบสวิตช์รีลักแตนซ์
- 4) เพื่อควบคุมการทำงานของเครื่องจักรกลไฟฟ้าแบบสวิตช์รีลักแตนซ์ให้ทำงานโหมดเจนเนอเรเตอร์โดยใช้เทคนิคควบคุมกระแสแบบต่าง ๆ
- 5) เพื่อควบคุมการทำงานให้รักษาระดับแรงดัน DC Bus ที่แรงดัน 48 โวลต์ที่ความเร็วต่างๆ และโหลดต่างๆ

1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงการ

- 1) ศึกษาและออกแบบโปรแกรมควบคุมการทำงานในโหมดเจนเนอเรเตอร์
- 2) ศึกษาและเขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานในโหมดเจนเนอเรเตอร์โดยใช้ตัวประมวลผลสัญญาณดิจิทัล (DSP) เบอร์ TMS320F2812
- 3) สามารถควบคุมการทำงานโดยการรักษาแรงดัน DC Bus ที่แรงดัน 48 โวลท์ ที่ความเร็วต่างๆ ได้
- 4) สามารถควบคุมการทำงานโดยการรักษาแรงดัน DC Bus ที่แรงดัน 48 โวลท์ ที่โหลดขนาดต่างๆ ได้
- 5) สามารถควบคุมการทำงานให้มีการสับเปลี่ยนสภาวะการทำงานจากมอเตอร์เป็นเจนเนอเรเตอร์ได้

1.4 วิธีการที่ใช้ในโครงการ

จากการที่ได้ทำการศึกษาจะพบว่า โครงการนี้เป็นโครงการที่เกี่ยวกับการขับเคลื่อนสวิตช์รีลักแตนซ์เจนเนอเรเตอร์ 4 เฟส แบบ 8/6 ด้วยวงจร Asymmetric half bridge converter ซึ่งลักษณะการทำงานของโครงการจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ Hardware และ Software โดยในส่วนของ Hardware นั้น ได้ออกแบบวงจรตรวจจับกระแสและแรงดันที่ไหลในขดลวดแต่ละเฟสเพื่อใช้ในการบ่อนกลับกระแสและแรงดัน เพื่อที่จะไปควบคุมการทำงานของเจนเนอเรเตอร์ โดยมีการสร้างวงจร Gate drive เพื่อที่จะมาขยายสัญญาณขับสวิตช์ IGBT ทั้ง 8 ตัว โดยจะใช้ IGBT 2 ตัว ต่อ 1 เฟส และได้นำ Encoder Sensor มาใช้ในการบ่อนสัญญาณตรวจจับตำแหน่งโรเตอร์ เพื่อให้ทราบถึงตำแหน่งของโรเตอร์และลำดับการจ่ายพลังงานให้กับขดลวดแต่ละเฟส ส่วนในด้าน Software นั้นเริ่มแรกจะประมวลผลสัญญาณจาก Encoder เพื่อระบุตำแหน่งของโรเตอร์เมื่อเทียบกับสเตเตอร์ ต่อมาจะประมวลผลข้อมูลกระแสและแรงดันที่ส่งเข้ามาทางพอร์ต Analog to Digital (A/D) เพื่อที่จะควบคุมการจ่ายพลังงานให้กับขดลวดเฟสเพื่อรักษาระดับแรงดันให้คงที่ และควบคุมกระแส โดยการรักษาระดับแรงดันนั้นจะเลือกคงที่มุม On และปรับมุม Off ส่วนการควบคุมกระแสนั้นสามารถเลือกการทำงานได้ในสภาวะควบคุมการทำงานแบบ Single Pulse, Soft-Chopping หรือ Hard-Chopping และมีการออกแบบสวิตช์ที่จะสามารถเลือกโหมดการทำงานได้ทั้งแบบมอเตอร์และเจนเนอเรเตอร์

1.5 แผนการดำเนินงาน

แผนการดำเนินงานในการทำโครงการนี้ ได้ถูกแสดงไว้ในตารางที่ 1.1

ตารางที่ 1.1 ตารางแผนการดำเนินงาน

ขั้นตอนการดำเนินงาน	พ.ศ. 2553							พ.ศ.2554	
	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.
1. ศึกษาทฤษฎี และ วงจร ขับเคลื่อนที่ใช้กับ SRM									
2. ศึกษาโครงสร้างระบบ ควบคุม SRM ของงานวิจัย เดิม									
3. ศึกษาฟังก์ชัน และวิธีตั้ง ค่าของ DSP320F2812									
4. เขียนโปรแกรมควบคุม SRM ให้ทำงานในโหมด มอเตอร์									
5. สร้างวงจรวัดกระแสและ วงจรวัดแรงดัน									
6. เขียนโปรแกรมควบคุม SRM ให้ทำงานในโหมด เจนเนอเรเตอร์									
7. เขียนโปรแกรมรักษา แรงดันที่ดิสชีบัส 48 โวลต์									
8. เขียนโปรแกรมวัด ความเร็วรอบของ SRM									
9. พัฒนาโปรแกรมควบคุม ให้สามารถควบคุมการ ทำงานของ SRM ให้ได้ทั้ง สองโหมดอย่างต่อเนื่อง									
8. เก็บผลการทดลองและ ปรับปรุง									
9. สรุปผลการวิจัย									

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.6 ประโยชน์ที่ได้รับจากการทำโครงการ

- 1) เข้าใจทฤษฎีและหลักการทำงานของเครื่องจักรไฟฟ้าแบบสวิตช์รีลักแตนซ์ ขณะที่ทำงานเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (SRG)
- 2) สามารถใช้งานตัวประมวลผลสัญญาณดิจิทัล (DSP) โดยเฉพาะเบอร์ TMS320F2812 ได้และสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับงานรูปแบบอื่นๆ ได้
- 3) สามารถนำอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลัง (Power Electronic Devices) มาประยุกต์ใช้กับงานในลักษณะอื่นๆ ได้
- 4) ฝึกทักษะการทำงานเป็นหมู่คณะและการรับฟังความคิดเห็นของผู้อื่น
- 5) ทำให้เป็นคนตรงต่อเวลาและมีความรับผิดชอบมากขึ้น

1.7 การจัดโครงสร้างของเนื้อหาภายในปฏิญานิพนธ์

ปฏิญานิพนธ์ฉบับนี้ได้แบ่งเนื้อหาออกเป็น 5 บทด้วยกัน คือ

บทที่ 1 กล่าวถึงความเป็นมาของโครงการ วัตถุประสงค์และขอบเขตของโครงการ วิธีการที่ใช้ แผนการดำเนินงาน และประโยชน์ที่ได้รับจากการทำโครงการ

บทที่ 2 กล่าวถึงทฤษฎีพื้นฐานของเครื่องจักรกลไฟฟ้าแบบสวิตช์รีลักแตนซ์ ขณะที่ทำงานเป็นมอเตอร์ไฟฟ้า (SRM) และขณะที่เป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (SRG) รวมทั้งทฤษฎีของวงจรขับเคลื่อนแบบ 2 สวิตช์ต่อเฟส และข้อมูลเบื้องต้นของ DSP

บทที่ 3 กล่าวถึงการออกแบบและสร้างระบบควบคุมของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบสวิตช์รีลักแตนซ์ 4 เฟส แบบ 8/6 ขนาด 2.32 กิโลวัตต์ แรงดันพิกัด 48 โวลต์ ซึ่งประกอบด้วยวงจรคอนเวอร์เตอร์กำลังแบบ 2 สวิตช์ต่อเฟส วงจรขับนำเกตของ IGBT วงจรวัดกระแส วงจรวัดแรงดัน โดยใช้ตัวประมวลผลดิจิทัล (Digital Signal Processing ; DSP) เบอร์ TMS320F2812 ในการควบคุมและประมวลผลการทำงาน

บทที่ 4 กล่าวถึงผลที่ได้จากการทดลองการทำงานจากระบบควบคุมเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบสวิตช์รีลักแตนซ์ที่สร้างขึ้น และผลการทดลองตามขอบเขตของโครงการ

บทที่ 5 บทสรุปผลโครงการและข้อเสนอแนะ

บรรณานุกรม

ภาคผนวก

ประวัติผู้เขียน

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีพื้นฐานของเครื่องจักรกลไฟฟ้าแบบสวิตซ์รีลักแตนซ์

เครื่องจักรกลไฟฟ้าแบบสวิตซ์รีลักแตนซ์เป็นเครื่องจักรกลไฟฟ้าที่แรงบิดจะเกิดขึ้นในช่วงเวลาที่ส่วนที่เคลื่อนที่ได้ เคลื่อนไปยังตำแหน่งที่มีค่าอินดักแตนซ์สูงสุด และสามารถเคลื่อนไปยังตำแหน่งที่มีค่าอินดักแตนซ์สูงสุดที่ตำแหน่งอื่นได้โดยการป้อนกระแสไฟฟ้า กระตุ้นให้กับขดลวดที่อยู่ในเฟสถัดไป ในช่วงการทำงานเป็นมอเตอร์จะกระตุ้นขดลวดเฟสเมื่อค่าอินดักแตนซ์มีค่าเพิ่มขึ้น และถ้าต้องการให้ทำงานเป็นเจนเนอเรเตอร์ จะกระตุ้นขดลวดเฟสเมื่อค่าอินดักแตนซ์มีค่าลดลง เครื่องจักรกลไฟฟ้าแบบสวิตซ์รีลักแตนซ์จะมีกระแสไหลเข้าในแต่ละเฟสเพียงทิศทางเดียวและแต่ละเฟสยังเป็นอิสระต่อกัน ซึ่งจะทำให้มีเสถียรภาพมากกว่าเครื่องจักรกลไฟฟ้าชนิดอื่น ซึ่งทำให้ยากต่อการลัดวงจร จึงเหมาะในงานประเภทการขับเคลื่อน บั๊ม คอมเพรสเซอร์ พัดลม รถยนต์ไฟฟ้า และเครื่องซักผ้า เป็นต้น

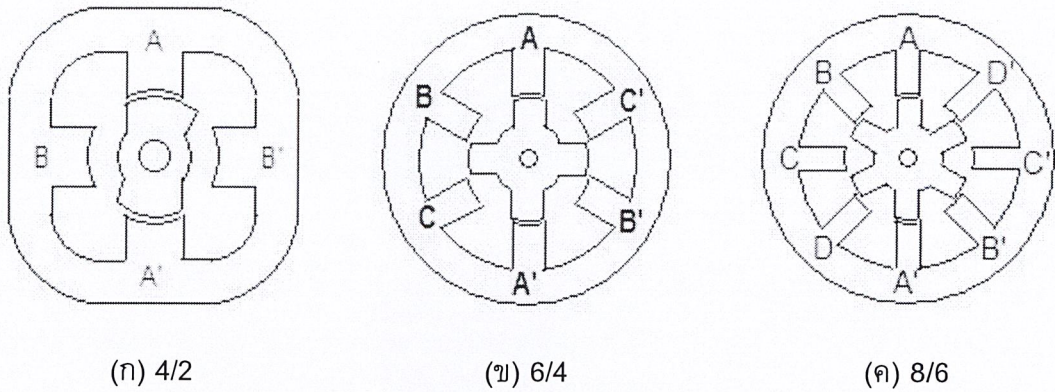
2.1.1 โครงสร้างของเครื่องจักรกลไฟฟ้าแบบสวิตซ์รีลักแตนซ์

เครื่องจักรกลไฟฟ้าแบบสวิตซ์รีลักแตนซ์มีโครงสร้างพื้นฐานที่เป็นเอกลักษณ์ดังต่อไปนี้ คือ

- 1) ทั้งสเตเตอร์และโรเตอร์เป็นแบบขั้วยื่น (Salient Poles) ดังแสดงในภาพที่ 2.1
- 2) ที่แต่ละขั้วสเตเตอร์จะมีขดลวดพันอยู่จำนวน 1 ขดเท่านั้น และสามารถนำขดลวดที่ขั้วต่าง ๆ ที่เหมาะสมมาต่อเข้าด้วยกันได้ทั้งแบบอนุกรมหรือขนาน และเรียกรวมว่าขดลวดเฟส (Phase Windings)
- 3) ที่ขั้วของโรเตอร์ไม่ได้เป็นแม่เหล็กถาวรและไม่มีขดลวดพันอยู่
- 4) จำนวนขั้วของสเตเตอร์และโรเตอร์สามารถหาได้จากสมการที่ 2.1 และ 2.2

$$N_s = 2 \cdot \text{phase} \cdot \text{polepair} \quad (2.1)$$

$$N_r = 2 \cdot (\text{phase} - 1) \cdot \text{polepair} \quad \text{or} \quad 2 \cdot (\text{phase} + 1) \cdot \text{polepair} \quad (2.2)$$



ภาพที่ 2.1 แสดงจำนวนขั้วของสเตเตอร์และโรเตอร์ในแบบต่างๆ

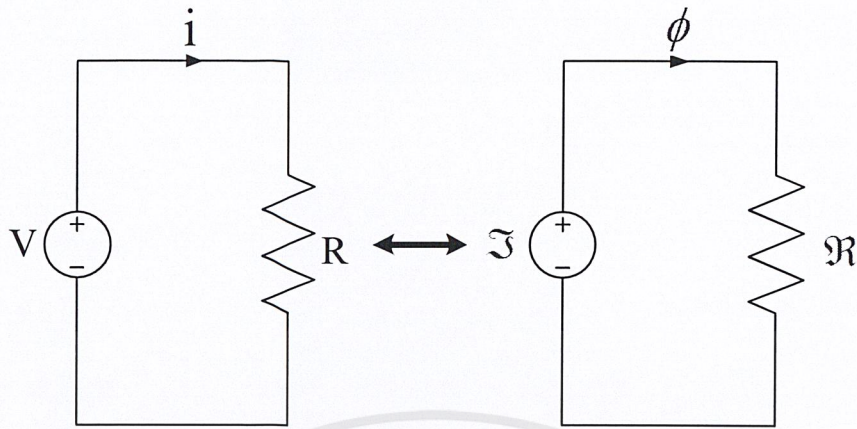
เครื่องจักรกลไฟฟ้าแบบสวิตช์รีลักแตนซ์นั้นหลายแบบด้วยกัน แต่ในลักษณะงานที่ต้องการกลับทิศทางการหมุนก็จำเป็นจะต้องเลือกใช้แบบ 3 เฟส หรือที่มีจำนวนเฟสมากกว่า 3 เฟสขึ้นไป เพราะลำดับเฟสของการหมุนในการกลับทิศ นั้นจะต่างกัน เช่น ในกรณีที่เป็น 3 เฟส ลำดับเฟสจะเป็น a-b-c และ a-c-b เป็นต้น แต่สำหรับ 2 เฟส ลำดับเฟสจะเป็น a-b-a และ b-a-b ซึ่งเหมือนกัน ทำให้กลับทางหมุนได้ยาก

เครื่องจักรกลไฟฟ้าแบบสวิตช์รีลักแตนซ์ที่มี 3 เฟส เป็นชนิดที่ได้รับความนิยมเป็นอย่างมาก เพราะควบคุมการหมุนได้ 2 ทิศทาง และยังควบคุมได้ง่ายกว่าแบบ 4 เฟส หรือมากกว่า ส่วนในแบบ 4 เฟสก็จะมีข้อดีมากกว่า 3 เฟสหลายอย่าง เช่น แรงบิดกระเพื่อมจะน้อยกว่า เสถียรภาพดีกว่า และความน่าเชื่อถือก็สูงกว่าด้วย แต่ก็จะมีค่าใช้จ่ายในส่วนของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่เพิ่มขึ้น วงจรขับก็จะราคาแพงขึ้น และการควบคุมการทำงานก็จะมีความซับซ้อนเพิ่มขึ้นตามจำนวนเฟสอีกด้วย

2.1.2 หลักการทำงานของเครื่องจักรกลไฟฟ้าแบบสวิตช์รีลักแตนซ์

เครื่องจักรกลไฟฟ้าแบบสวิตช์รีลักแตนซ์ จะใช้การจ่ายพลังงานเข้าไปที่ขดลวดที่สเตเตอร์เพื่อให้เกิดสนามแม่เหล็กขึ้นที่สเตเตอร์ จากนั้นขั้วของโรเตอร์ที่อยู่ใกล้ที่สุดจะถูกแรงแม่เหล็กทำให้เคลื่อนที่เข้าหาขั้วของสเตเตอร์ ซึ่งการจ่ายพลังงานเข้าขดลวดเฟสจะเป็นไปในลักษณะการเรียงลำดับเฟส เช่น มอเตอร์แบบสามเฟส ก็จะป้อนพลังงานหรือกระแสเข้าขดลวดเฟสในลำดับเฟส A-B-C หรือ C-B-A เป็นต้น เพื่อให้โรเตอร์สามารถหมุนไปในทิศทางที่ต้องการได้

2.1.3 วงจรแม่เหล็ก (Magnetic Circuit)



ภาพที่ 2.2 แสดงวงจรสมมูลทางไฟฟ้าและทางแม่เหล็ก

วงจรสมมูลทางแม่เหล็กจะคล้ายกับวงจรสมมูลทางไฟฟ้าแบบมีเฉพาะความต้านทานดังแสดงในภาพที่ 2.2 โดยที่จะสามารถเปรียบเทียบกันได้ดังตารางที่ 2.1 จะเห็นได้ว่า เราสามารถใช้หลักการเดียวกันกับวงจรไฟฟ้าที่มีเฉพาะตัวต้านทานในการคำนวณหาผลเฉลยของวงจรได้

mmf จะเปรียบเสมือนกับแรงดันไฟฟ้า โดยที่

$$\mathcal{F} = Ni \quad (2.3)$$

เมื่อ N คือจำนวนรอบ และ i คือกระแสไฟฟ้าในขดลวด เส้นแรงแม่เหล็กจะเปรียบเสมือนกับกระแสไฟฟ้า ดังนั้นเราสามารถกำหนดนิยามของรีลักแตนซ์ได้ดังนี้

$$\mathcal{R} = \frac{\mathcal{F}}{\phi} = \frac{N^2}{L} = \frac{l}{\mu A} \quad (2.4)$$

ตารางที่ 2.1 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างพารามิเตอร์ของวงจรไฟฟ้าและแม่เหล็ก

วงจรสมมูลทางไฟฟ้า	วงจรสมมูลทางแม่เหล็ก
Voltage, v	Magnetomotive Force (mmf), \mathcal{F}
Current, i	Magnetic Flux, ϕ
Resistance, R	Reluctance, \mathcal{R}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ l คือความยาวของวัตถุตามแนวของเส้นแรงแม่เหล็ก และ A คือพื้นที่หน้าตัดของวัตถุที่เส้นแรงแม่เหล็กไหล ดังนั้นการรวมรีลักแตนซ์ จึงสามารถรวมได้สองรูปแบบคือแบบอนุกรมและแบบขนานเหมือนกับตัวต้านทาน

กำหนดให้ค่าความซึมซาบแม่เหล็กของแกนเหล็กในภาพที่ 2.3 มีค่าเป็นอนันต์ โดยมีช่องว่างจำนวน 2 ช่อง โดยแต่ละช่องมีค่าความซึมซาบแม่เหล็กไม่เท่ากัน ดังนั้นสามารถคำนวณหาค่ารีลักแตนซ์ ของช่องว่างทั้งสองช่องได้

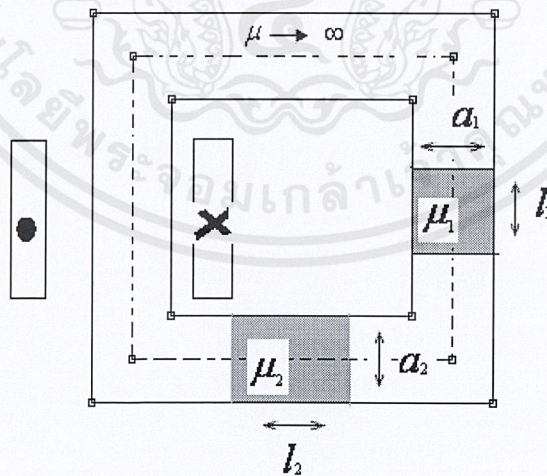
ค่ารีลักแตนซ์ของช่องว่างที่ 1 คือ

$$\mathcal{R}_1 = \frac{l_1}{\mu_1 a_1 D} \quad (2.5)$$

ค่ารีลักแตนซ์ของช่องว่างที่ 2 คือ

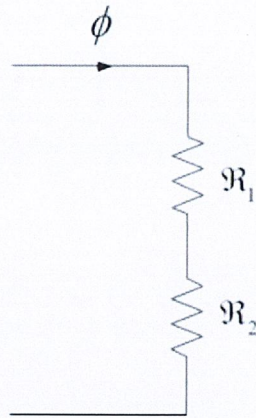
$$\mathcal{R}_2 = \frac{l_2}{\mu_2 a_2 D} \quad (2.6)$$

เนื่องจากว่าค่ารีลักแตนซ์ทั้งสองต่ออนุกรมกันอยู่ ซึ่งสามารถเขียนวงจรสมมูลย์ได้ดังภาพที่ 2.4



ภาพที่ 2.3 แสดงแกนเหล็กที่มีวัตถุสองชนิดวางแบบอนุกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.4 แสดงวงจรสมมูลย์ที่มีค่ารีลักแตนซ์ต่ออนุกรม

ดังนั้นเส้นแรงแม่เหล็ก ϕ สามารถคำนวณได้ดังนี้

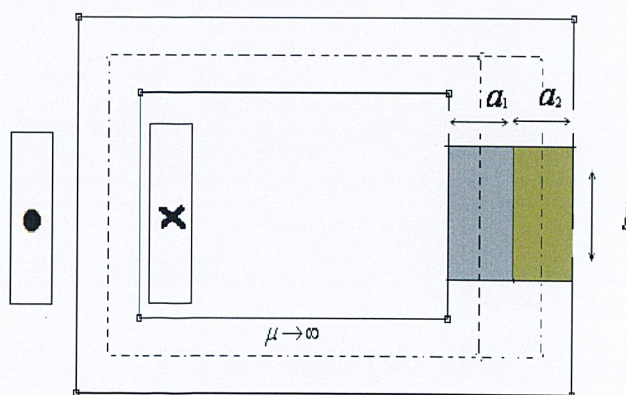
$$\phi = \frac{\mathcal{F}}{\mathcal{R}_1 + \mathcal{R}_2} \quad (2.7)$$

และค่าความเหนี่ยวนำมีค่าเท่ากับ

$$L = \frac{N\phi}{i} = \frac{N^2}{\mathcal{R}_1 + \mathcal{R}_2} \quad (2.8)$$

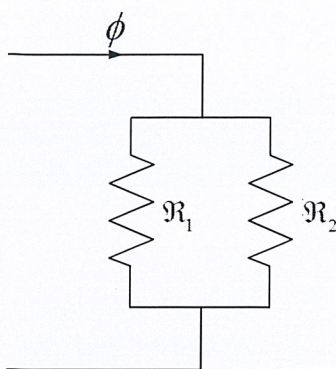
ส่วนในภาพที่ 2.5 ปรากฏว่ามีช่องว่างสองช่องขนานกันอยู่ ดังนั้นการหาค่ารีลักแตนซ์รวมจึงเป็นแบบขนาน ซึ่งสามารถเขียนวงจรสมมูลย์ได้ดังภาพที่ 2.6 โดยจะนิยามเรียกส่วนกลับของค่ารีลักแตนซ์ว่าเป็นค่า Permeance (\wp) โดยที่

$$\wp = \frac{l}{\mathcal{R}} = \frac{\mu A}{l} \quad (2.9)$$



ภาพที่ 2.5 แสดงแกนเหล็กที่มีวัสดุสองชนิดวางแบบขนาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.6 แสดงวงจรสมมูลที่มีค่ารีลักแตนซ์ต่อขนาน

ค่ารีลักแตนซ์ของช่องว่างที่ 1 คือ

$$\mathcal{R}_1 = \frac{l_1}{\mu_1 a_1 D} = \frac{1}{\wp_1} \quad (2.10)$$

ค่ารีลักแตนซ์ของช่องว่างที่ 2 คือ

$$\mathcal{R}_2 = \frac{l_2}{\mu_2 a_2 D} = \frac{1}{\wp_2} \quad (2.11)$$

เส้นแรงแม่เหล็กที่ได้คือ

$$\phi = \mathcal{F}(\wp_1 + \wp_2) \quad (2.12)$$

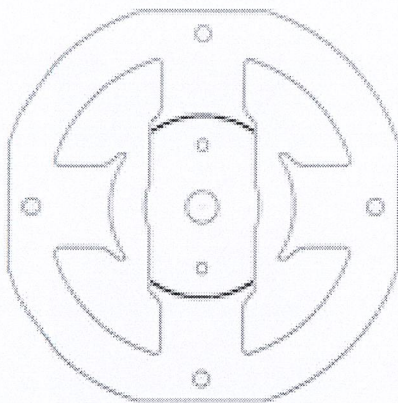
และค่าความเหนี่ยวนำที่คำนวณได้คือ

$$L = \frac{N\phi}{i} = N^2(\wp_1 + \wp_2) \quad (2.13)$$

2.1.4 ตำแหน่ง Aligned

ณ ตำแหน่ง aligned นี้คือตำแหน่งที่แกนของขั้วโรเตอร์คู่ใดๆ วางอยู่ในแนวเดียวกันกับแกนของขั้วสเตเตอร์ของเฟสใดเฟสหนึ่ง ตัวอย่างเช่นในภาพที่ 2.7 แสดงถึงมอเตอร์สองเฟสชนิด 4/2 โดยกำหนดให้เฟสที่ 1 คือเฟสในแนวตั้งฉาก ดังนั้นจะเห็นได้ว่าขั้วของโรเตอร์อยู่ตรงกับขั้วของสเตเตอร์ของเฟสที่ 1 ณ ตำแหน่งนี้เมื่อมีกระแสไหลเข้าไปยังเฟสที่ 1 แรงบิดที่เกิดขึ้นจะมีค่าเท่ากับศูนย์ นั่นคือโรเตอร์จะอยู่ในตำแหน่งที่มีค่าความเหนี่ยวนำสูงสุดและถ้าลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

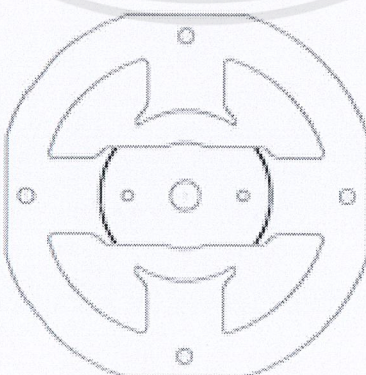


ภาพที่ 2.7 SRM แบบ 4/2 ที่ตำแหน่ง Aligned

ขั้วโรเตอร์ไปในทิศทางด้านซ้ายหรือด้านขวาเล็กน้อยจะพบว่าโรเตอร์จะถูกดึงกลับมายังตำแหน่ง aligned นี้ แสดงว่าจุดนี้เป็นจุดสมดุลแบบมีเสถียรภาพ (Stable Equilibrium)

2.1.5 ตำแหน่ง Unaligned

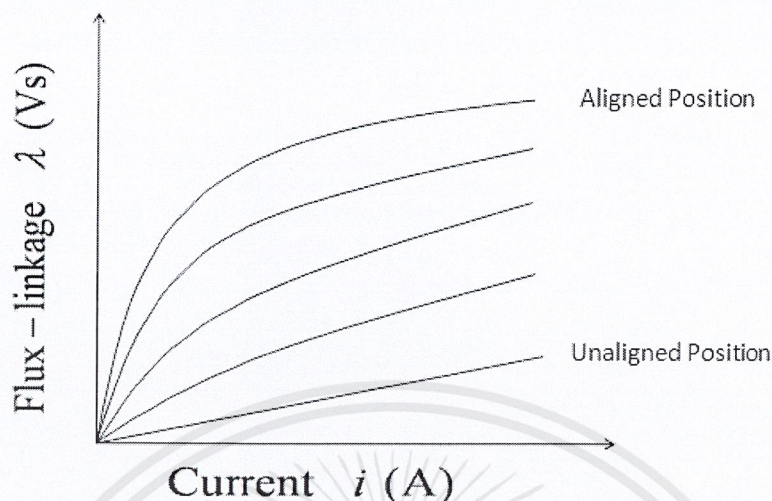
ณ ตำแหน่งนี้แกนตรงกลางระหว่างขั้วของโรเตอร์ (Interpolar Axis) อยู่ตรงกับขั้วของสเตเตอร์ของเฟสที่ 1 ดังภาพที่ 2.8 เมื่อป้อนกระแสเข้าไปในขดลวดของเฟสที่ 1 แรงบิดที่เกิดขึ้นจะมีค่าเท่ากับศูนย์ และเนื่องจากความกว้างของช่องอากาศมีค่ามากที่สุด จึงทำให้ค่ารีลักแตนซ์มีค่าสูงที่สุด ส่งผลให้ค่าความเหนี่ยวนำของวงจรมีค่าต่ำที่สุด และถ้าลองขยับโรเตอร์ไปในทิศทางด้านซ้ายหรือด้านขวาเล็กน้อยจะพบว่าโรเตอร์จะเคลื่อนที่หมุนออกจากตำแหน่งนี้และไปหยุดที่ตำแหน่ง aligned ดังนั้น ณ จุด unaligned จะเป็นจุดสมดุลแบบไม่มีเสถียรภาพ (Unstable Equilibrium)



ภาพที่ 2.8 SRM แบบ 4/2 ที่ตำแหน่ง Unaligned

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.6 กราฟ Magnetizing



ภาพที่ 2.9 กราฟ Magnetizing

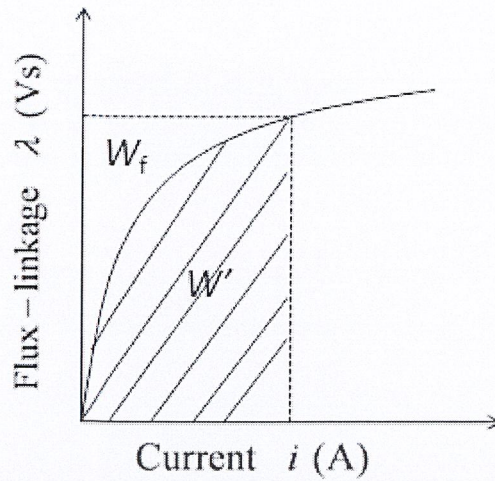
กราฟ Magnetizing คือ กราฟที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเส้นแรงแม่เหล็กเกี่ยวคล้อง λ กับ กระแสในขดลวดเฟส i ณ ตำแหน่งโรเตอร์ใดๆ ซึ่งตำแหน่งโรเตอร์ใดๆ ก็ได้ตั้งแต่ตำแหน่ง Unaligned จนถึงตำแหน่ง Aligned จึงทำให้เส้นกราฟมีได้หลายเส้นตามตำแหน่งที่เปลี่ยนไป ตามแต่จะพิจารณา จึงกล่าวได้ว่า เส้นแรงแม่เหล็กเกี่ยวคล้องเป็นฟังก์ชันของกระแสเฟส และตำแหน่งของโรเตอร์, $\lambda(i, \theta)$ ดังแสดงในภาพที่ 2.9

ถ้าเราพิจารณา ณ ตำแหน่งใดตำแหน่งหนึ่งของโรเตอร์ กราฟ Magnetizing จะเหลือเพียงเส้นเดียวแสดงดังภาพที่ 2.10 ซึ่งสามารถคำนวณ Coenergy, W' ได้จากพื้นที่ใต้กราฟของ Magnetizing ตามสมการที่ 2.5 และสามารถคำนวณ Stored field energy, W_f จากพื้นที่เหนือกราฟของ Magnetizing ตามสมการที่ 2.6

$$W' = \int_0^{i_1} \lambda di \Big|_{\theta=\text{const}} \quad (2.5)$$

$$W_f = \int_0^{\lambda_1} id\lambda \Big|_{\theta=\text{const}} \quad (2.6)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.10 ค่าพลังงานสะสม และ Coenergy

2.1.7 แรงบิด

เมื่อเราป้อนกระแสเข้าไปในขดลวดเฟสขดใดขดหนึ่ง จะทำให้เกิดแรงบิดส่งผลให้โรเตอร์หมุนในทิศทางที่ทำให้ค่าความเหนี่ยวนำเพิ่มขึ้น ซึ่งกล่าวง่าย ๆ ก็คือ แรงบิดจะทำให้โรเตอร์หมุนเข้าหาตำแหน่ง Aligned และจะหยุดที่ค่าความเหนี่ยวนำมีค่าสูงสุด ซึ่งก็คือที่ตำแหน่ง Aligned นั้นเอง ณ จุดนี้ แรงบิดจะมีค่าเท่ากับศูนย์ ซึ่งโรเตอร์จะรักษาการมีสมดุลแบบมีเสถียรภาพ (Stable Equilibrium) ดังที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อ 2.1.4 โดยที่แรงบิดจะไม่ขึ้นกับทิศทางของกระแสที่ไหลในขดลวด



ภาพที่ 2.11 ค่าความเหนี่ยวนำและแรงบิดเมื่อป้อนกระแสเข้าขดลวดเฟส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากภาพที่ 2.11 ถ้าป้อนกระแสเข้าขดลวดในช่วงความชันของค่าความเหนี่ยวนำเมื่อเทียบกับตำแหน่งโรเตอร์เป็นค่าบวก จะได้แรงบิดที่มีค่าเป็นบวก (Positive Torque) แรงบิดนี้เรียกว่า แรงบิดแบบมอเตอร์ (Motoring Torque) แต่ในทางกลับกัน ถ้าป้อนกระแสเข้าขดลวดในช่วงความชันของค่าความเหนี่ยวนำเมื่อเทียบกับตำแหน่งโรเตอร์เป็นค่าลบ จะได้แรงบิดที่มีค่าเป็นลบ (Negative Torque) แรงบิดนี้จะถูกเรียกว่าแรงบิดแบบเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generating Torque)

สมการแรงบิดที่เกิดขึ้นของเฟสใดเฟสหนึ่ง ณ ตำแหน่งของโรเตอร์ใดๆ จะสามารถหาได้จาก สมการที่ 2.7 ดังนี้

$$T = \left[\frac{\partial W'}{\partial \theta} \right]_{i=\text{constant}} \quad (2.7)$$

โดยที่ W' คือ Coenergy และ θ คือ ตำแหน่งของโรเตอร์

ข้อดีของเครื่องจักรกลไฟฟ้าแบบสวิตช์รีลักแตนซ์

เครื่องจักรกลไฟฟ้าแบบสวิตช์รีลักแตนซ์มีลักษณะพิเศษเฉพาะที่ถูกสร้างขึ้นมาให้มีความแข็งแรงกว่า AC และ DC มอเตอร์และมีหลายความเร็วในการหมุน ซึ่งข้อดีข้อของเครื่องจักรกลไฟฟ้าแบบสวิตช์รีลักแตนซ์ กล่าวได้ดังนี้

1) เป็นเครื่องจักรกลไฟฟ้าที่มีโครงสร้างง่ายและมีราคาถูก ไม่มีขดลวดที่โรเตอร์และแม่เหล็กถาวร

2) ไม่ short ถึงกันระหว่าง DC bus เพราะขดลวดต่ออนุกรมกัน

3) การระบายความร้อนทำได้ง่าย

4) คุณสมบัติของ Torque - Speed ของเครื่องจักรกลไฟฟ้า สามารถออกแบบสำหรับการใช้งานเฉพาะได้ง่ายกว่ามอเตอร์ชนิดอื่นๆ

5) แรงบิดเริ่มเดินสูง

6) แรงดันเปิดวงจร และกระแสลัดวงจรในขณะที่เกิดฟอลต์ เป็นศูนย์หรือน้อย

มาก

7) โรเตอร์ทนความร้อนได้สูงมาก เนื่องจากไม่มีแม่เหล็กถาวร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

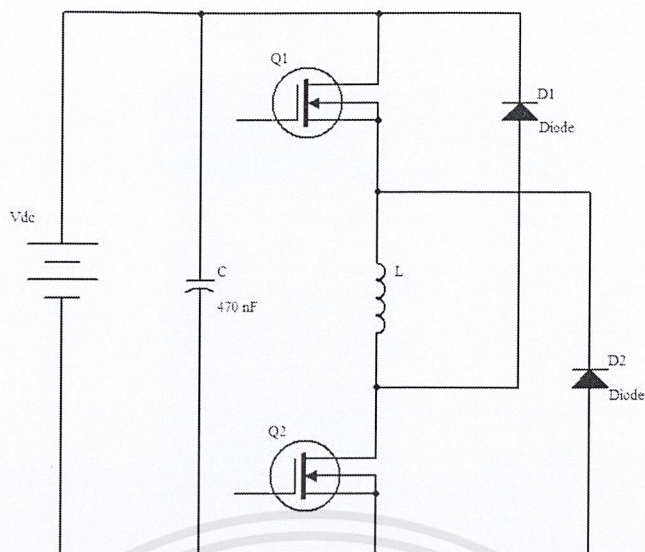
- 8) สามารถออกแบบเจนเนอเรเตอร์ให้ใช้งานที่ทั้งความเร็วรอบสูงและความเร็วรอบต่ำได้
- 9) ขดลวดสเตเตอร์แยกอิสระต่อกัน
- 10) เมื่อมีเฟสใดเฟสหนึ่งเสียหายก็สามารถทำงานต่อได้

ข้อเสียของเครื่องจักรกลไฟฟ้าแบบสวิตช์รีลักแตนซ์

- 1) เครื่องจักรกลไฟฟ้าแบบสวิตช์รีลักแตนซ์ต้องการช่องอากาศ (Air gap) ที่แคบ ซึ่งมีผลกับกำลังและแรงบิด ทำให้ยุ่งยากในการผลิต ดังนั้นแรงบิดที่สร้างจึงมีการกระเพื่อมของแรงบิดสูง
- 2) ต้องการการตรวจจับตำแหน่งโรเตอร์ที่แม่นยำ
- 3) ค่าใช้จ่ายสูงในส่วนของ การออกแบบวงจรควบคุมการทำงาน
- 4) เกิดปัญหาเสียงรบกวน ซึ่งเกิดจากโครงสร้างของโรเตอร์
- 5) สายไฟฟ้าที่ออกมาจากเครื่องจักรกลไฟฟ้าแบบสวิตช์รีลักแตนซ์มีจำนวนมาก
- 6) ไม่สามารถต่อใช้งานโดยตรงกับไฟฟ้ากระแสตรงและกระแสสลับ โดยจะต้องมีวงจรขับเคลื่อนทำงานร่วมกัน
- 7) กระแสที่แหล่งจ่ายกระแสตรงมีการกระเพื่อมมากจึงจำเป็นต้องใช้ตัวเก็บประจุที่มีขนาดใหญ่หรือต้องใช้ตัวเก็บประจุที่มีความถี่สูง

2.2 วงจรขับเคลื่อนแบบสองสวิตช์ต่อเฟส

วงจรชนิดนี้เป็นวงจรที่ได้รับความนิยมมากที่สุด เนื่องจากสามารถที่จะควบคุมแรงดันที่ตกคร่อมขดลวดเฟสให้เป็นที่ต้องการได้ทั้งค่าบวก ค่าศูนย์ หรือค่าลบ นั้นหมายถึงมีความสามารถที่จะควบคุมรูปร่างของกระแสเฟสได้อย่างมีประสิทธิภาพ ภาพที่ 2.12 แสดงวงจรขับเคลื่อนแบบสองสวิตช์ต่อเฟส ซึ่งวงจรจะประกอบไปด้วยสวิตช์ Q1 และ Q2 ที่ควบคุมได้ เช่น มอสเฟต หรือ ไอจีบีที และ ไดโอด D1 และ D2 เพื่อเป็นทางเดินของกระแสไหลวน



ภาพที่ 2.12 วงจรขับเคลื่อนแบบสองสวิตช์ต่อเฟส

2.2.1 หลักการทำงานของวงจรขับเคลื่อนแบบสองสวิตช์ต่อเฟส

หลักการทำงานจะแบ่งเป็น 3 สภาวะด้วยกัน คือ ช่วงที่ 1 คือช่วงจ่ายกระแสให้กับขดลวดเฟส ช่วงที่ 2 คือช่วงคงกระแสภายในขดลวดเฟส (กระแสจะลดลงน้อยมากเปรียบเสมือนคงกระแสไว้) และช่วงที่ 3 คือช่วงที่ลดกระแสภายในขดลวดเฟสและคืนพลังงานสู่แหล่งจ่าย

สภาวะที่ 1) ช่วงจ่ายกระแสให้กับขดลวดเฟส

ในช่วงนี้เราจะป้อนสัญญาณแรงดันให้กับสวิตช์ทั้ง Q1 และ Q2 ทำงาน แรงดันตกคร่อมขดลวดเฟสจะประมาณเท่ากับแรงดันดีซีลิงค์ จะมีกระแสที่ไหลผ่านขดลวดเฟสซึ่งจะเพิ่มขึ้นมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับค่าความเหนี่ยวนำของขดลวดตามสมการที่ 2.8

$$V_L = L \frac{di}{dt} \quad (2.8)$$

สภาวะที่ 2) ช่วงคงกระแสขดลวดเฟส

หลังจากที่เพิ่มกระแสขดลวดเฟสในสภาวะที่ 1 แล้ว เมื่อทำการหยุดป้อนสัญญาณให้กับสวิตช์ตัวใดตัวหนึ่ง เช่น หยุดป้อนสัญญาณให้กับ Q1 แต่ Q2 ยังคง ON อยู่ ขดลวดเฟสจะคายกระแสและไหลผ่านสวิตช์ Q2 และไดโอด D2 ซึ่งแรงดันตกคร่อมขดลวด

เฟสจะเท่ากับแรงดันตกคร่อมสวิตช์ Q2 รวมกับแรงดันตกคร่อมไดโอด D2 ซึ่งมีค่าน้อยมาก ทำให้กระแสเฟสลดลงน้อยมากเสมือนกระแสไว้ที่ขดลวดเฟส

สภาวะที่ 3) ช่วงลดกระแสขดลวดเฟสและคืนพลังงานกลับสู่แหล่งจ่าย

เมื่อเราหยุดบ่อนสัญญาณให้กับสวิตช์ Q1 และ Q2 พร้อมกัน กระแสจากขดลวดเฟสจะไหลผ่านไดโอด D1 และ D2 ช่วงนี้จะเป็นการสร้างแรงดันค่าลบคร่อมขดลวดเพื่อลดกระแสและคืนพลังงานกลับสู่แหล่งจ่าย

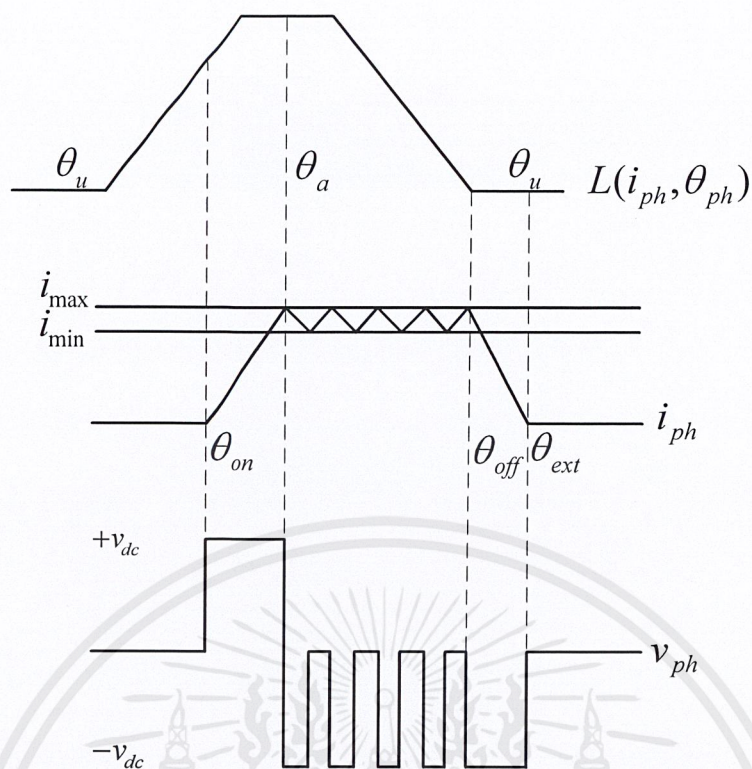
ข้อดีของวงจรขับเคลื่อนชนิดนี้คือ สามารถสร้างแรงดันคร่อมขดลวดเฟสได้ทั้งบวก ลบ และศูนย์ และเมื่อเฟสใดเฟสหนึ่งเกิดการเสียหายขึ้น มอเตอร์จะยังคงทำงานต่อไปได้ เพราะแต่ละเฟสไม่ได้มีการใช้อุปกรณ์ร่วมกัน

2.2.2 การทำงานในโหมดควบคุมกระแสขณะทำงานเป็นเจนเนอเรเตอร์

สำหรับการควบคุมกระแสของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบ SRG นี้สามารถควบคุมได้ 3 แบบซึ่งขึ้นอยู่กับความเร็วในขณะนั้น กล่าวคือ ขณะที่หมุนที่ความเร็วต่ำกว่าพิกัด (Base Speed) นั้นแรงดันไฟฟ้าต้านกลับยังมีค่าต่ำ ทำให้กระแสที่ไหลในขดลวดเฟสจะมีค่าสูง หากไม่มีการควบคุมจะทำให้เกิดความเสียหายกับตัวเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและชุดขับเคลื่อนได้ ในการควบคุมกระแสนั้นทำได้ 2 แบบ คือ แบบ Soft-chopping และแบบ Hard-chopping และถ้าทำงานที่ความเร็วรอบสูง ก็จะใช้การควบคุมกระแสแบบ Single pulse ซึ่งการทำงานในแต่ละแบบสามารถอธิบายได้ดังนี้

1) การควบคุมกระแสเฟสแบบ Soft-chopping

ในโหมดนี้เมื่อกระตุ้นขดลวดเฟสโดยการ on สวิตช์ Q1 และ Q2 ขดลวดเฟสจะได้รับแรงดันเท่ากับดีซีบัส และกระแสเฟสจะเพิ่มสูงขึ้นจนถึงค่าที่กำหนดไว้ (I_{max}) หลังจากนั้นจะทำการ off สวิตช์ Q1 และ Q2 แรงดันเฟสจะมีค่าเท่ากับลบดีซีบัส กระแสเฟสจะลดค่าให้ต่ำลง เมื่อกระแสลดลงถึงค่าต่ำสุด (I_{min}) จะทำการ on เฉพาะสวิตช์ Q1 หรือ on เฉพาะสวิตช์ Q2 เพื่อให้กระแสเฟสเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ จากผลของแรงดันต้านกลับ แรงดันเฟสจะมีค่าเท่ากับศูนย์ และกระแสเฟสเพิ่มสูงขึ้นจนถึงค่าสูงสุด (I_{max}) ที่กำหนดไว้ จากนั้นจะ off สวิตช์ Q1 และ

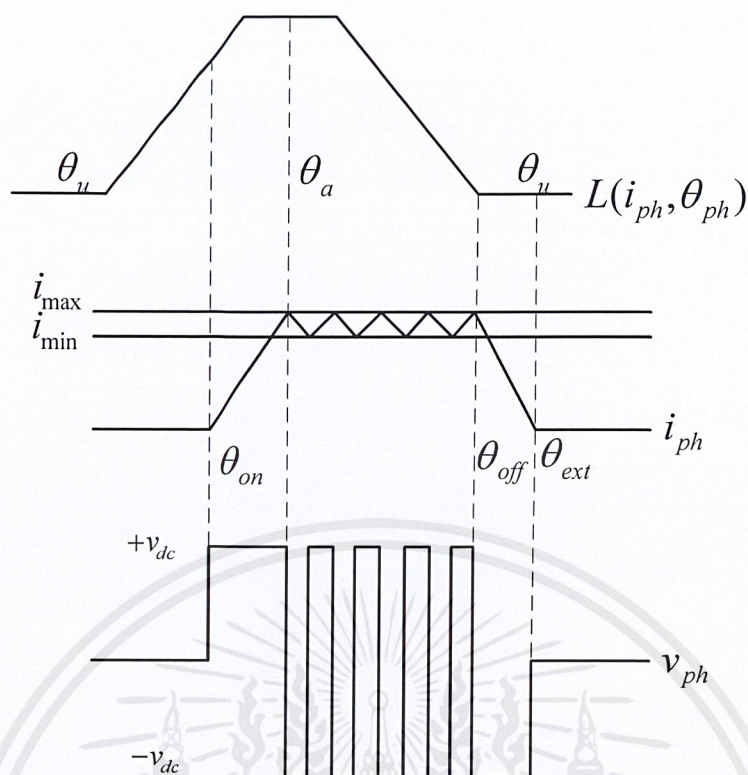


ภาพที่ 2.13 ความสัมพันธ์ของกระแส แรงดันเฟสของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบ SRG
ขณะทำงานในโหมด Soft-chopping

Q2 อีกครั้งเพื่อควบคุมกระแสให้ต่ำลง จะเห็นได้ว่ารูปปร่างของกระแสจะถูกควบคุมให้อยู่ในช่วงระหว่างค่าสูงสุด (I_{max}) และค่าต่ำสุด (I_{min}) ซึ่งการทำงานดังกล่าวแสดงดังภาพที่ 2.13

2) การควบคุมกระแสเฟสแบบ Hard-chopping

ในโหมดนี้เมื่อถึงมุม θ_{on} สวิตช์ Q1 และ Q2 จะ on ขดลวดเฟสจะได้รับแรงดันเท่ากับดีซีบัส และกระแสเฟสจะเพิ่มสูงขึ้นจนถึงค่าที่กำหนดไว้ (I_{max}) หลังจากนั้นจะทำการ off สวิตช์ Q1 และ Q2 แรงดันเฟสจะมีค่าเท่ากับลบดีซีบัส กระแสเฟสจะลดค่าต่ำลง เมื่อกระแสลดลงถึงค่าต่ำสุด (I_{min}) แล้วจะทำการ on สวิตช์ Q1 และ Q2 อีกครั้งเพื่อให้แรงดันคร่อมขดลวดเฟสเป็นบวกดีซีบัส กระแสเฟสจะเพิ่มสูงขึ้นจนถึงค่าสูงสุดที่กำหนดไว้ (I_{max}) จะเห็นได้ว่ารูปปร่างของกระแสจะถูกควบคุมให้อยู่ในช่วงระหว่างค่าสูงสุด (I_{max}) และค่าต่ำสุด (I_{min}) ซึ่งความสัมพันธ์ของกระแสและแรงดันเฟส เทียบกับค่าความเหนี่ยวนำต่อเฟส แสดงดังภาพที่ 2.14

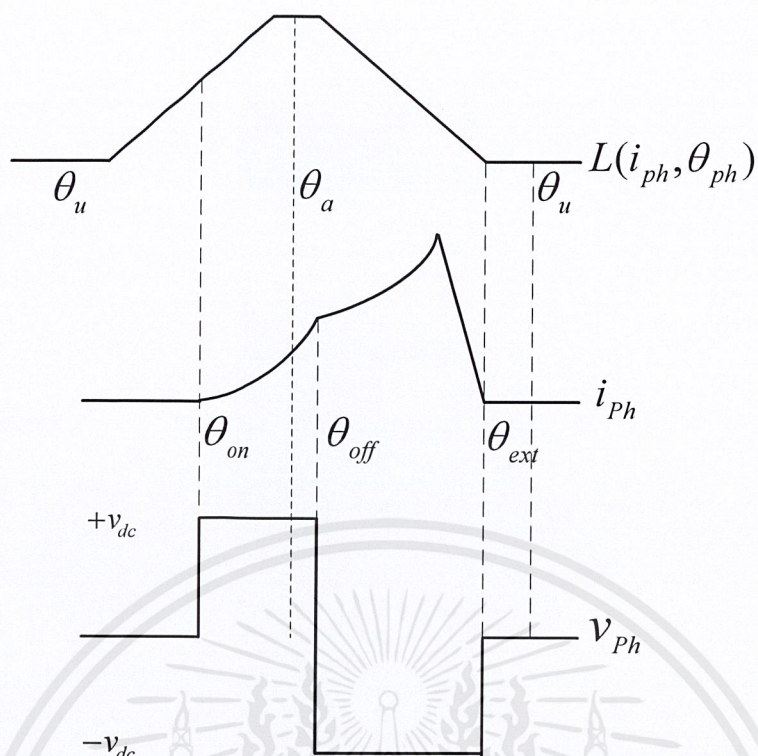


ภาพที่ 2.14 ความสัมพันธ์ของกระแส แรงดันเฟสของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบ SRG ในโหมด Hard-chopping

เมื่อเปรียบเทียบการทำงานของสองโหมดที่ความถี่ในการสวิตช์เดียวกัน พบว่าการควบคุมกระแสแบบ Hard-chopping นั้นจะมีกระแสกระเพื่อมสูงกว่าการควบคุมแบบ Soft-chopping มาก ดังนั้นการทำงานในโหมด Soft-chopping จะเหมาะสมกับการควบคุมกระแสในช่วงที่ความเร็วต่ำกว่าพิกัด (Base Speed) หรือในขณะที่ทำงานเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (SRG) นอกจากนี้การทำงานในโหมด Soft-chopping ยังทำให้มีเสียง (Acoustic Noise) ที่น้อยกว่า

3) การควบคุมกระแสเฟสแบบ Single pulse

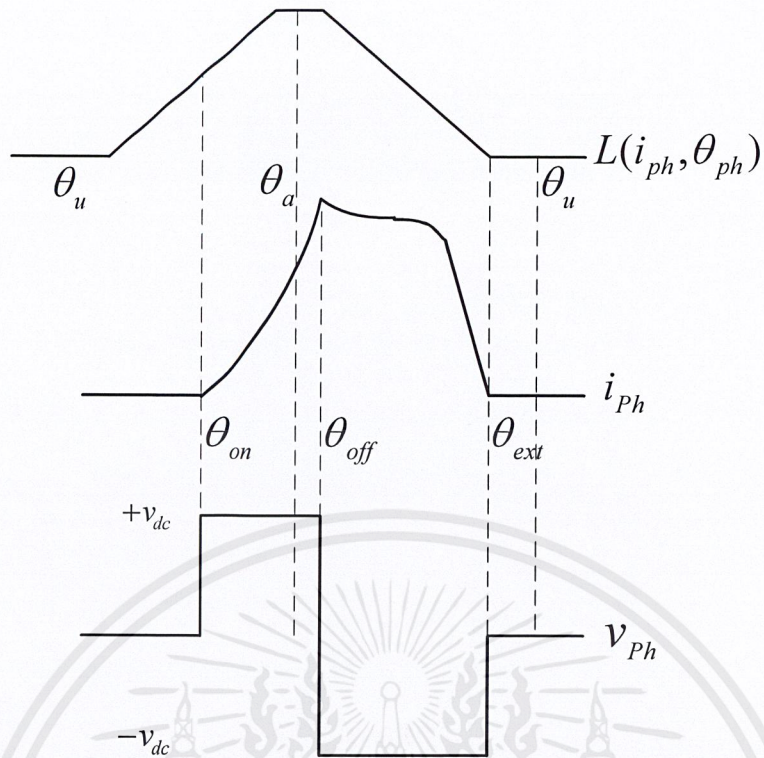
การทำงานในโหมดกระแสพัลส์นั้นค่าแรงดันไฟฟ้าต้านกลับมีความสำคัญมาก เพราะจะส่งผลกับรูปร่างของกระแส ดังภาพที่ 2.15 นั้นแสดงรูปร่างของกระแสหลังจากมุม θ_{off} ขณะที่แรงดันไฟฟ้าต้านกลับมีค่ามากกว่าแรงดันดีซีบัสส่วนภาพที่ 2.16 นั้นแสดงรูปร่างกระแสหลังจากมุม θ_{off} โดยที่แรงดันไฟฟ้าต้านกลับมีค่าเท่ากับแรงดันดีซีบัส และในภาพที่ 2.17 นั้นแสดงกระแสเฟสหลังจากมุม θ_{off} โดยที่แรงดันไฟฟ้าต้านกลับมีค่าน้อยกว่าแรงดันดีซีบัส



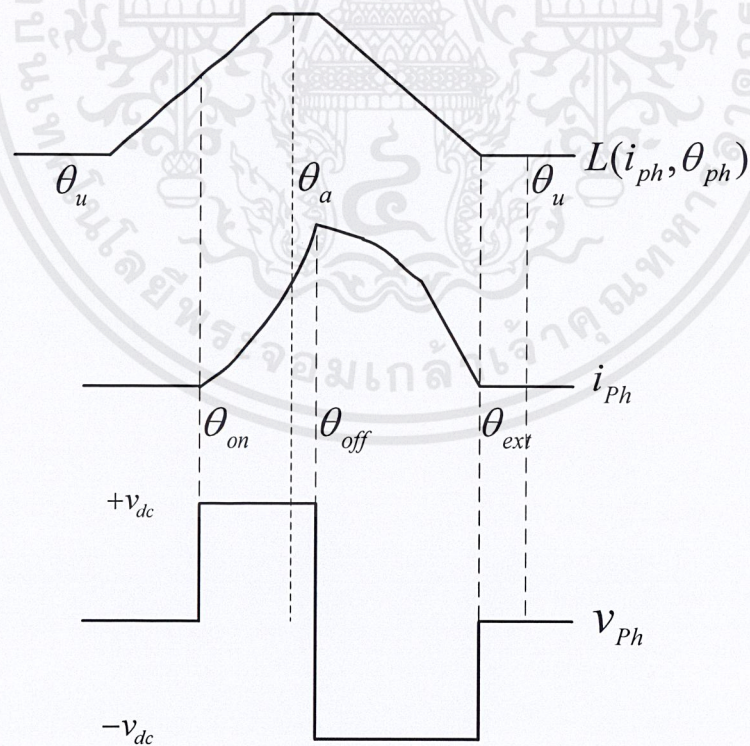
ภาพที่ 2.15 ความสัมพันธ์ของกระแส แรงดันเฟสของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบ SRG ขณะทำงานในโหมด Single Pulse ขณะที่แรงดันไฟฟ้าน่ากลับมากกว่าดีซีบัส

โดยทั่วไปการทำงานในโหมดนี้จะต้องหมุนให้เครื่องกำเนิดมีความเร็วสูงกว่าพิกัด และผลของค่าแรงดันไฟฟ้าน่ากลับที่มีค่าสูงจะทำให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีประสิทธิภาพที่สูงด้วยเช่นกัน

จากมุม θ_{on} จนถึงมุม θ_{off} กำลังไฟฟ้าที่ใช้ในการกระตุ้นถูกส่งมาจากแหล่งจ่ายไฟดีซี ผ่านวงจรคอนเวอร์เตอร์ไปยังขดลวดเฟสของเครื่องกำเนิด และพลังงานนี้ถูกเก็บไว้ในช่องอากาศในรูปของพลังงานแม่เหล็ก (Magnetic Energy) หลังจากมุม θ_{off} สวิตช์กำลัง off กระแสที่เรียกว่า Regenerated Current (I_{gen}) จะไหลผ่านไดโอด D1 และ D2 เพื่อคืนพลังงานให้กับแหล่งจ่าย หรือป้อนให้กับโหลด ถ้ากำลังไฟฟ้าผลิตขึ้นได้ (Generated Power ; P_{gen}) มากกว่าพลังงานที่กระตุ้นจากแหล่งจ่าย (Excitation Power ; P_{ext})



ภาพที่ 2.16 ความสัมพันธ์ของกระแส แรงดันเฟสของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบ SRGขณะทำงานในโหมด Single Pulse ขณะที่แรงดันไฟฟ้าต้านกลับเท่าที่ซีบัส



ภาพที่ 2.17 ความสัมพันธ์ของกระแส แรงดันเฟสของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบ SRGขณะทำงานในโหมด Single Pulse ขณะที่แรงดันไฟฟ้าต้านกลับน้อยกว่าที่ซีบัส

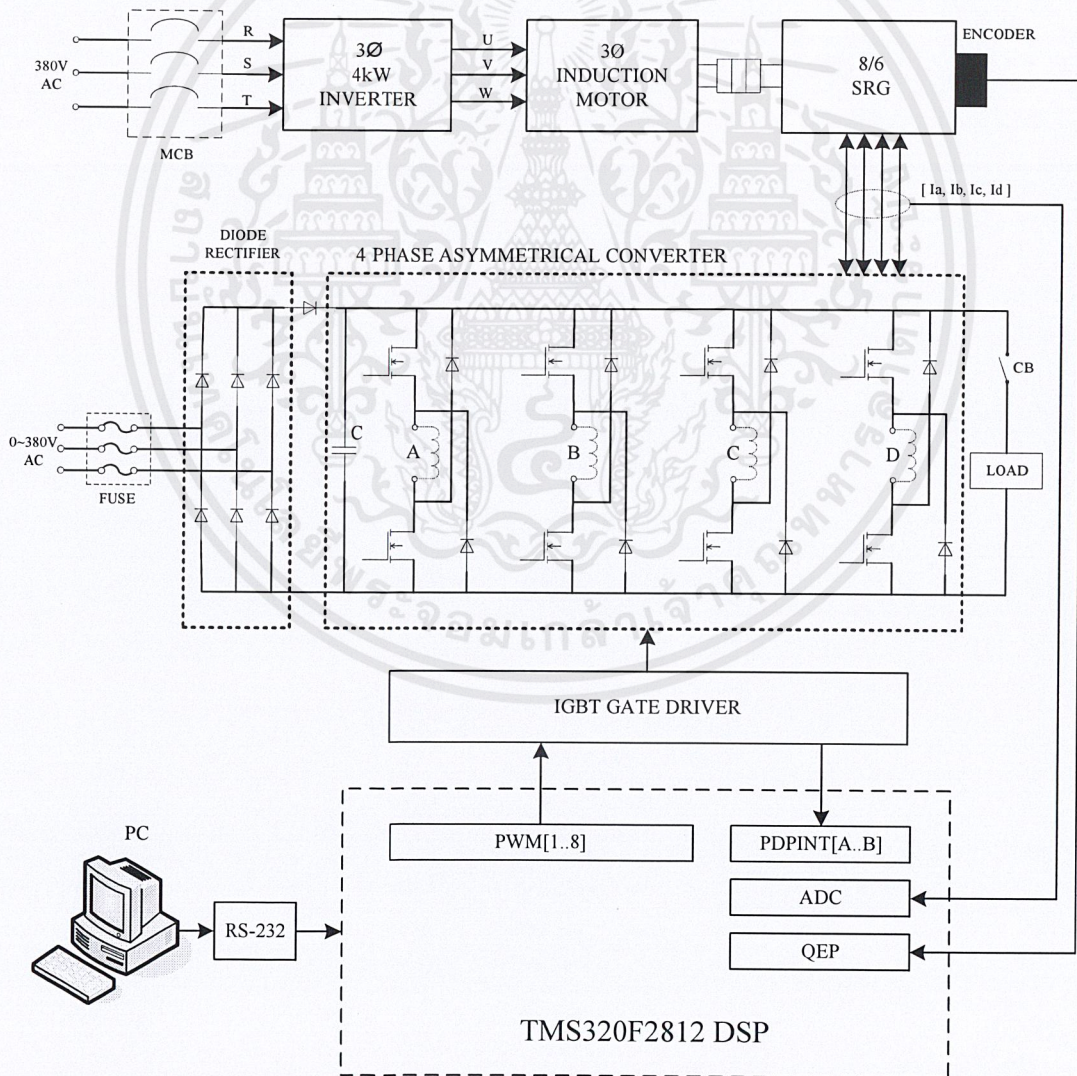
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การออกแบบและสร้างระบบควบคุม เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบสวิตช์รีลักแตนซ์

3.1 บทนำ

บทนี้จะกล่าวถึงโครงสร้างของระบบควบคุมเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบสวิตช์รีลักแตนซ์ ซึ่งจะค่อนข้างซับซ้อนต่างจากโครงสร้างของตัวเครื่องจักรกลไฟฟ้า โดยระบบควบคุมจะประกอบด้วย ชุดควบคุมต้นกำลังขับ ชุดคอนเวอร์เตอร์กำลังแบบไม่สมมาตร (Asymmetrical Converter) ชุดขับนำเกต และตัวประมวลผลสัญญาณดิจิทัล (DSP) โครงสร้างโดยรวมดังแสดงไว้ในภาพที่ 3.1



ภาพที่ 3.1 โครงสร้างของระบบควบคุมเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบสวิตช์รีลักแตนซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

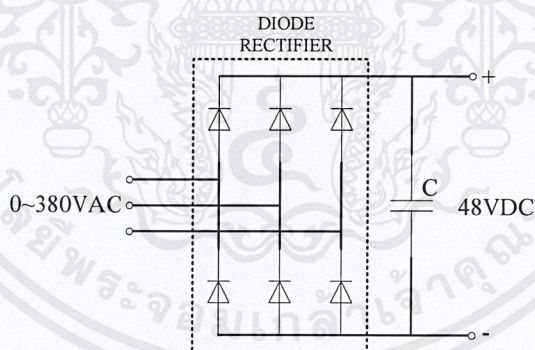
3.2 การสร้างวงจรสำหรับควบคุมเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบสวิตช์รีลักแตนซ์

3.2.1 วงจรเรียงกระแสแบบ 3 เฟส

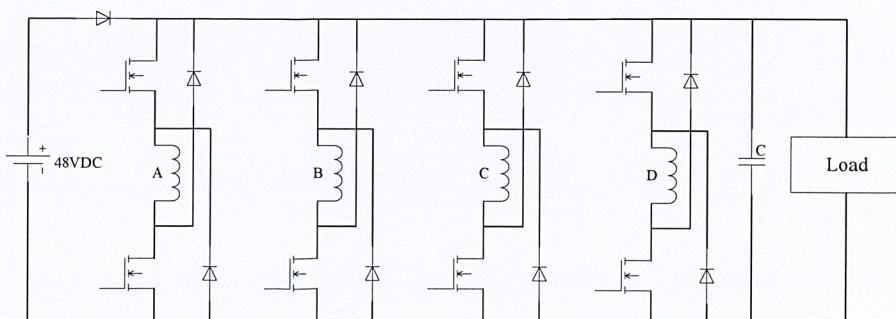
เนื่องจากพิกัดแรงดันของตัวเครื่องกำเนิดไฟฟ้าตัวนี้นั้นมีค่าเท่ากับ 48 โวลต์ ดีซี ดังนั้นจึงได้สร้างวงจรเรียงกระแสไฟฟ้าแบบ 3 เฟสโดยใช้ไดโอดกำลังเบอร์ DF40AA120 เป็นตัวเรียงกระแสแบบ 3 เฟส โดยที่ปรับแรงดันเอซีด้านอินพุทไว้ที่ 34.8 โวลต์ เพื่อที่จะได้แรงดันกระแสตรงเท่ากับ 48 โวลต์ วงจรเรียงกระแส 3 เฟสนี้แสดงดังภาพที่ 3.2

3.2.2 วงจรคอนเวอร์เตอร์กำลังแบบบัสร่วม

วงจรคอนเวอร์เตอร์กำลังสำหรับขับเคลื่อนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบสวิตช์รีลักแตนซ์ แบบ 8/6 ขนาด 2.32 กิโลวัตต์ ที่พิกัดแรงดัน 48 โวลต์ นั้นได้เลือกใช้ IGBT Module เบอร์ CM200DY-12NF ของบริษัท POWEREX ซึ่งมีพิกัดกระแส 200 แอมแปร์ และแรงดันพิกัด 600 โวลต์ และเนื่องจากว่าเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเป็นแบบ 4 เฟส ใน 1 เฟสจะใช้ IGBT จำนวน 2 ตัว ดังนั้น จึงใช้ IGBT ทั้งหมดจำนวน 8 ตัว ต่ออยู่บนดีซีบัสเดียวกัน ดังแสดงในภาพที่ 3.3



ภาพที่ 3.2 วงจรเรียงกระแส 3 เฟส



ภาพที่ 3.3 วงจรคอนเวอร์เตอร์กำลังแบบบัสร่วม

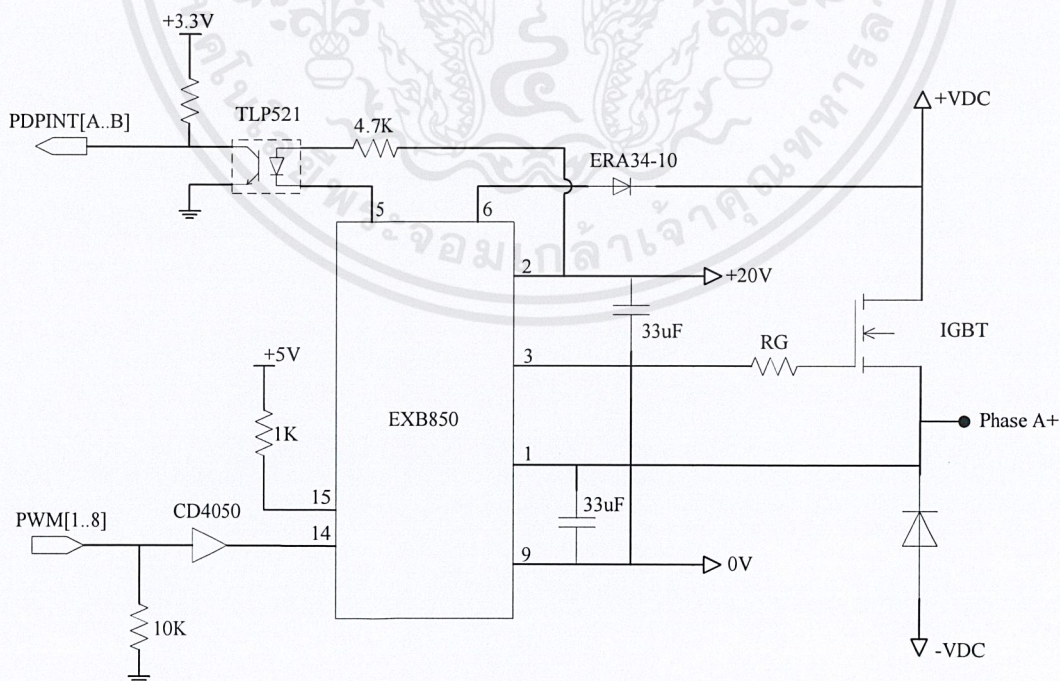
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.3 วงจรขับเกทและวงจรป้องกันกระแสเกินสำหรับไอจีบีทีกำลัง (IGBT Driver and Over Current Protection Circuit)

สำหรับวงจรขับนำเกทนั้นได้เลือกใช้ตัวขับเกทของ Fuji Electric เบอร์ EXB850 ซึ่งสามารถขับ IGBT Module ได้ขณะที่กระแสไหลได้สูงสุด 150 แอมแปร์ที่แรงดันพิกัด 600 โวลต์ ดังรายละเอียดในตารางที่ 3.1 และนอกจากนี้ยังมีวงจรป้องกันกระแสเกิน (Over Current Detection) อยู่ภายในตัวโดยที่สัญญาณป้องกันนี้จะถูกส่งไปที่ขา PDPINTA สำหรับ PWM1-6 และ PDPINTB สำหรับ PWM7 และ PWM8 ซึ่ง PDPINTA และ PDPINTB นี้จะเป็นอินเตอร์ลอร์ดับสูงสุดของ DSP เบอร์ TMS320F2812 ที่ใช้ในงานวิจัยเพื่อป้องกันความเสียหายที่จะเกิดกับ IGBT Module วงจรขับนำเกทและวงจรป้องกันกระแสเกินนี้แสดงดังภาพที่ 3.4

ตารางที่ 3.1 ค่าความต้านทานที่ขาเกท (RG) เทียบกับกระแสสูงสุดของ IGBT เบอร์ EXB850

พิกัดกระแส (IGBT)	600 V	10A	15A	30A	50A	75A	100A	150A
	1200V	-	8A	15A	25A	-	50A	75A
RG	-	250Ω	150Ω	32Ω	50Ω	33Ω	25Ω	15Ω



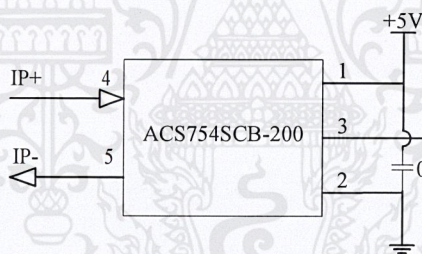
ภาพที่ 3.4 วงจรขับนำเกทและวงจรป้องกันกระแสเกินสำหรับ IGBT Module

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

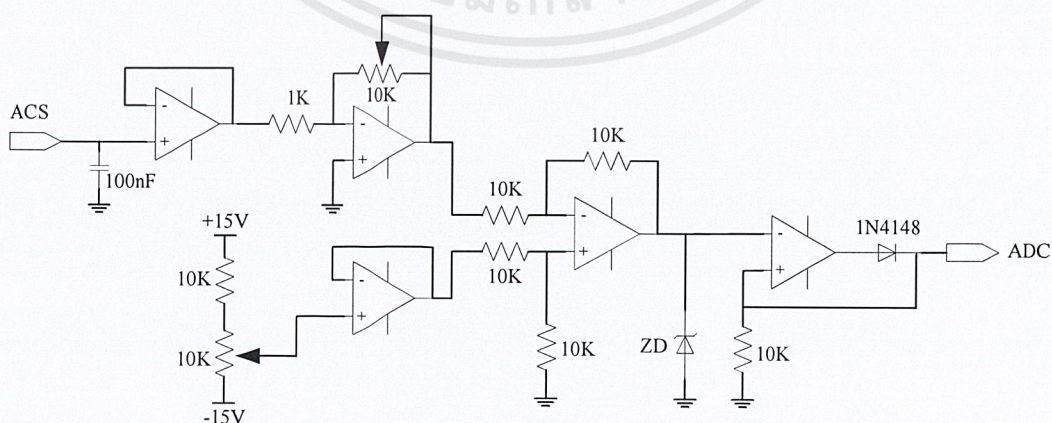
3.2.4 ชุดวงจรวัดกระแส (Current Sensor Circuit)

วงจรวัดกระแสที่ได้อาศัยตัววัดกระแสของบริษัท Allegro เบอร์ ACS754SCB-200 ขนาดพิกัด 200 แอมแปร์ ซึ่งในการทำงานต้องใช้แหล่งจ่ายขนาด +5 โวลต์ และแรงดันเอาต์พุตขณะที่ไม่มีการไหลจะอยู่ที่ $VCC/2$ หรือเท่ากับ 2.5 โวลต์ และมีอัตราส่วนของกระแสอินพุตกับแรงดันเอาต์พุตหรือความไว (Sensitivity) ในการวัดกระแสเท่ากับ 10 mV/A วงจรของตัววัดกระแสดังแสดงในภาพที่ 3.5

เนื่องจากว่าแรงดันที่ช่อง ADC ของตัว DSP นั้นรับแรงดันได้ในช่วง 0-3 โวลต์ ดีซี ดังนั้นเราจึงต้องสร้างวงจรขยายสัญญาณและลดระดับแรงดันลงจาก 2.5 โวลต์ มาเป็นศูนย์ โวลต์ เพื่อให้ DSP รับรู้ว่าขณะแรงดันที่ช่อง ADC เป็นศูนย์นั้นเท่ากับว่ากระแสเฟสของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่มีค่าเป็นศูนย์ด้วยเช่นกันและในการจำกัดแรงดันไม่ให้เกิน 3 โวลต์ที่ช่อง ADC นั้นได้ใช้ซีเนอร์ไดโอด เบอร์ 1N5225B และนอกจากนี้ในวงจรขยายและวงจรรองความถี่ในย่านต่ำ (Low Pass Filter) โดยใช้อปแอมป์ เบอร์ TL082 ซึ่งเป็นไปตามวงจรดังภาพที่ 3.6



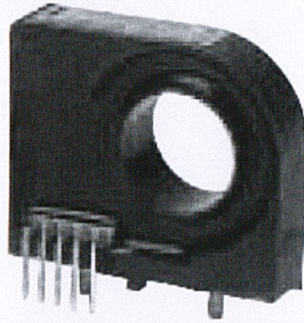
ภาพที่ 3.5 ตัววัดกระแสเบอร์ ACS754SCB-200



ภาพที่ 3.6 วงจรลดระดับแรงดันและวงจขยายสัญญาณกระแสสำหรับช่อง ADC ของ DSP

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.5 อุปกรณ์ตรวจจับกระแส



ภาพที่ 3.7 Current sensor

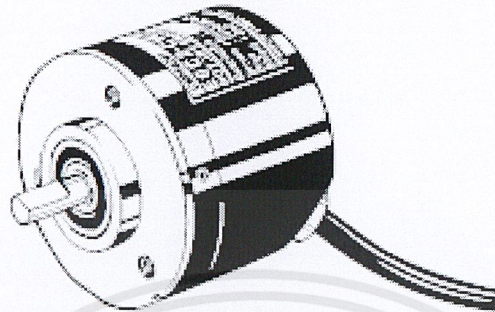
รายละเอียดของ Current sensor ที่นำมาใช้งานที่เหมาะสมสำหรับการเปลี่ยนแปลงกำลังและการเคลื่อนที่ของสวิทช์รีเลย์กระแสเหนอเรเตอร์ โดยพิจารณาจากผลกระทบต่อสัญญาณรบกวน ใช้ได้กับความถี่สูง ความน่าเชื่อถือ การจัดการกับความร้อน และทางด้านเศรษฐศาสตร์

อุปกรณ์ตรวจจับกระแส Hall Effect แบบ Open loop ตัว Hall generator ติดตั้งที่บริเวณ Air gap ของแกนเหล็กและการวางตัวของตัวนำกระแสคือวางตัวผ่านช่องของแกนเหล็ก เมื่อมีกระแสไหลจะเกิดการเหนี่ยวนำให้เกิดสนามแม่เหล็กในแกนเหล็ก ซึ่งตัว Hall generator จะเป็นตัวตรวจจับสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้น เนื่องจากสัญญาณที่ได้จาก Hall generator มีค่าน้อยมาก ดังนั้นจึงทำการติดตั้ง Amplifier เข้าไปเพื่อให้ ได้ค่าเอาต์พุตที่เหมาะสม ลักษณะภายนอกของ Hall Effect แบบ Open loop แสดงในภาพที่ 3.7

3.2.6 วงจรวัดแรงดัน (Voltage Sensor Circuit)

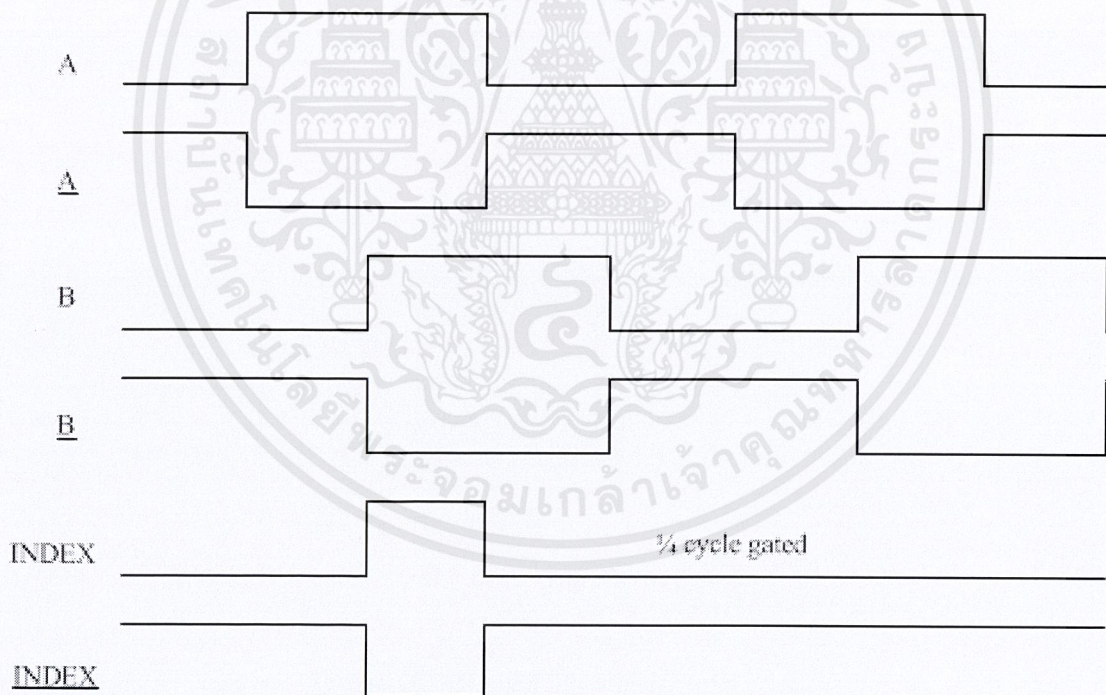
วงจรวัดแรงดันดีซีนั้นได้ใช้ตัววัดแรงดันของบริษัท BURR-BROWN เบอร์ ISO124 ซึ่งในการทำงานต้องใช้แหล่งจ่ายขนาด ± 15 โวลต์ 2 ชุดแบบแยกกราวด์ สำหรับภาคอินพุตและภาคเอาต์พุต ซึ่ง ISO124 นี้สามารถทนแรงดันสูงสุดระหว่าง 2 ภาคได้ 1500 โวลต์ มีอัตราขยายสัญญาณเท่ากับ 1 พิกัดแรงดันอินพุตและเอาต์พุตเท่ากับ ± 10 โวลต์ ซึ่งรายละเอียดของ ISO124 ดังแสดงในภาพที่ 3.8

(INDEX) 1 พัลส์ ดังแสดงในภาพที่ 3.11 ซึ่งในการทำงานต้องการแหล่งจ่าย +5 โวลท์เป็นไฟเลี้ยง รูปร่างของสัญญาณจะมีสองเฟส คือ A และ B จะต่างเฟสกัน 90 องศาทางไฟฟ้า



ภาพที่ 3.10 Encoder เบอร์ R137 ของบริษัท Gurley Precision Instrument

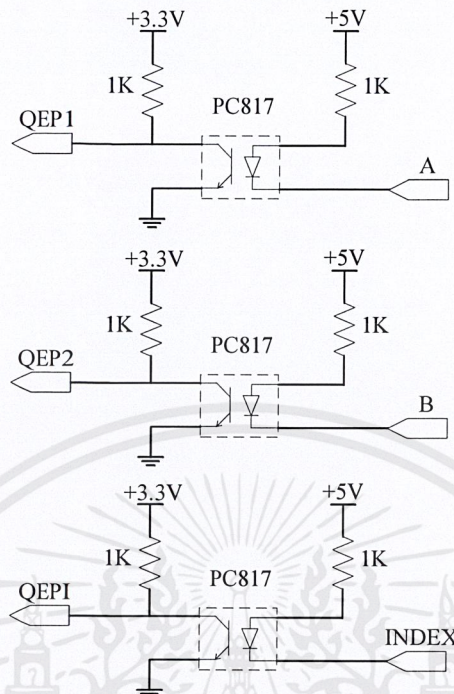
(CW Rotation Direction)



ภาพที่ 3.11 สัญญาณพัลส์ที่ได้จาก Encoder

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.8 วงจรวัดความเร็ว (Speed Sensor Circuit)



ภาพที่ 3.12 วงจรวัดความเร็ว

วงจรวัดความเร็วรอบนี้ใช้ไอซี Opto-coupler เบอร์ PC817 ในการแยกกราวด์และลดระดับแรงดันให้เท่ากับ 3.3 โวลต์ ซึ่งวงจรนี้จะทำหน้าที่ในการแยกกราวด์ระหว่างตัวเอนโค้ดเดอร์ กับพอร์ต QEP ของตัวประมวลผลสัญญาณดิจิทัล (DSP) ซึ่งรายละเอียดดังแสดงในภาพที่ 3.12

3.2.9 วงจรเรียงกระแส (Rectifier Circuits)

การสร้างวงจรเรียงกระแสไฟตีซีสำหรับภาคการควบคุมนั้นจะประกอบดังนี้คือ

1) วงจรเรียงกระแสไฟตีซีสำหรับไอซีขับเคลื่อนของ IGBT เบอร์ EXB850 ซึ่งจำเป็นต้องใช้แรงดัน +20 โวลต์ จำนวน 8 ชุด ในวงจรในแต่ละชุดประกอบด้วยอุปกรณ์ต่างๆ ดังนี้

- หม้อแปลงไฟฟ้าแบบลดแรงดันขนาด 220/24 โวลต์ จำนวน 1 ลูก
- ไดโอดเรียงกระแสแบบบริดจ์ เบอร์ KBP206G จำนวน 1 ตัว
- คาปาซิเตอร์ฟิลเตอร์แบบอิเล็กโทรไลต์ ขนาด 2,200 ไมโครฟารัด จำนวน 1

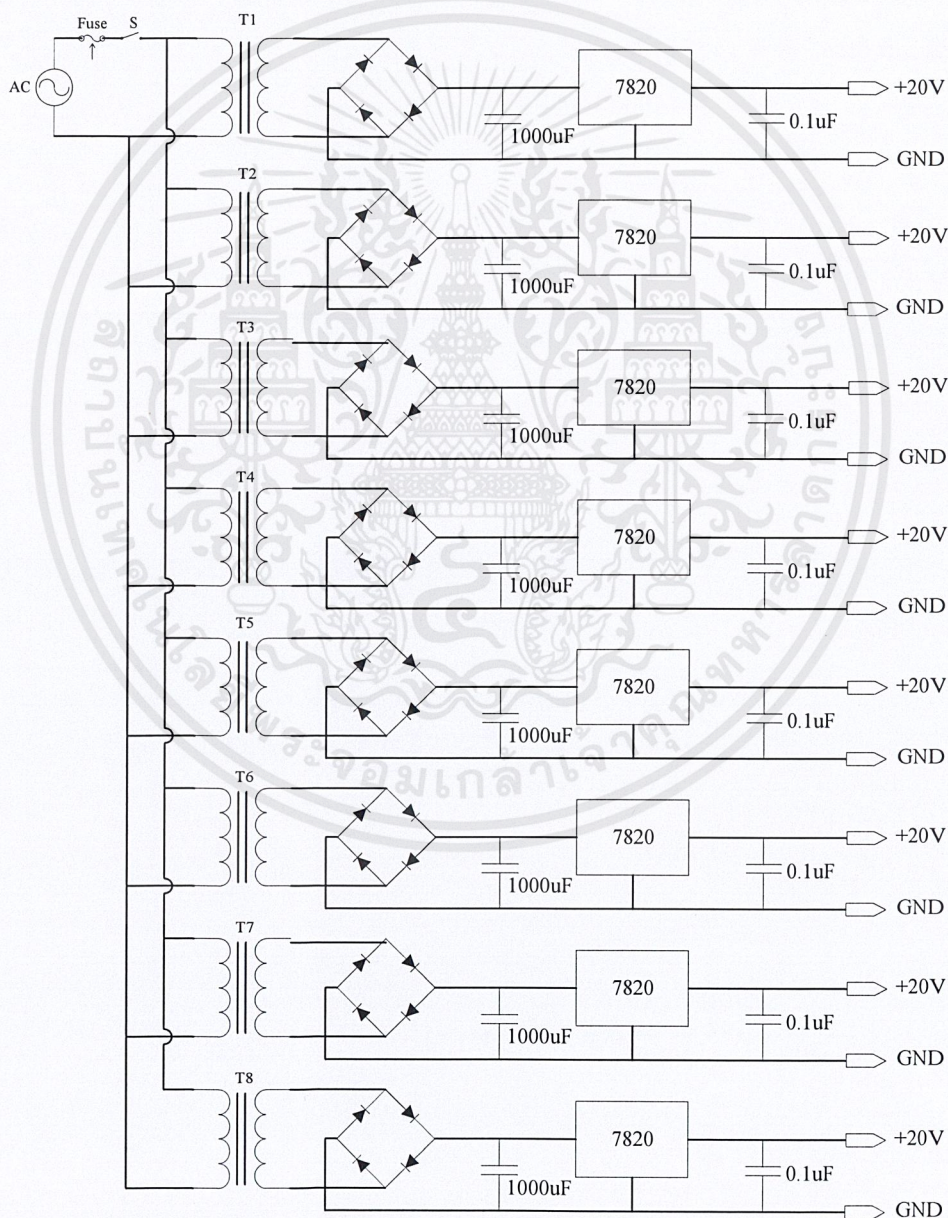
ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ไอซีเรกกูเรเตอร์ เบอร์ 7820 จำนวน 1 ตัว
- คาปาซิเตอร์ทำหน้าที่ป้องกันสัญญาณรบกวน (Noise filter) ขนาด 0.1 ไมโครฟารัด

โครฟารัด

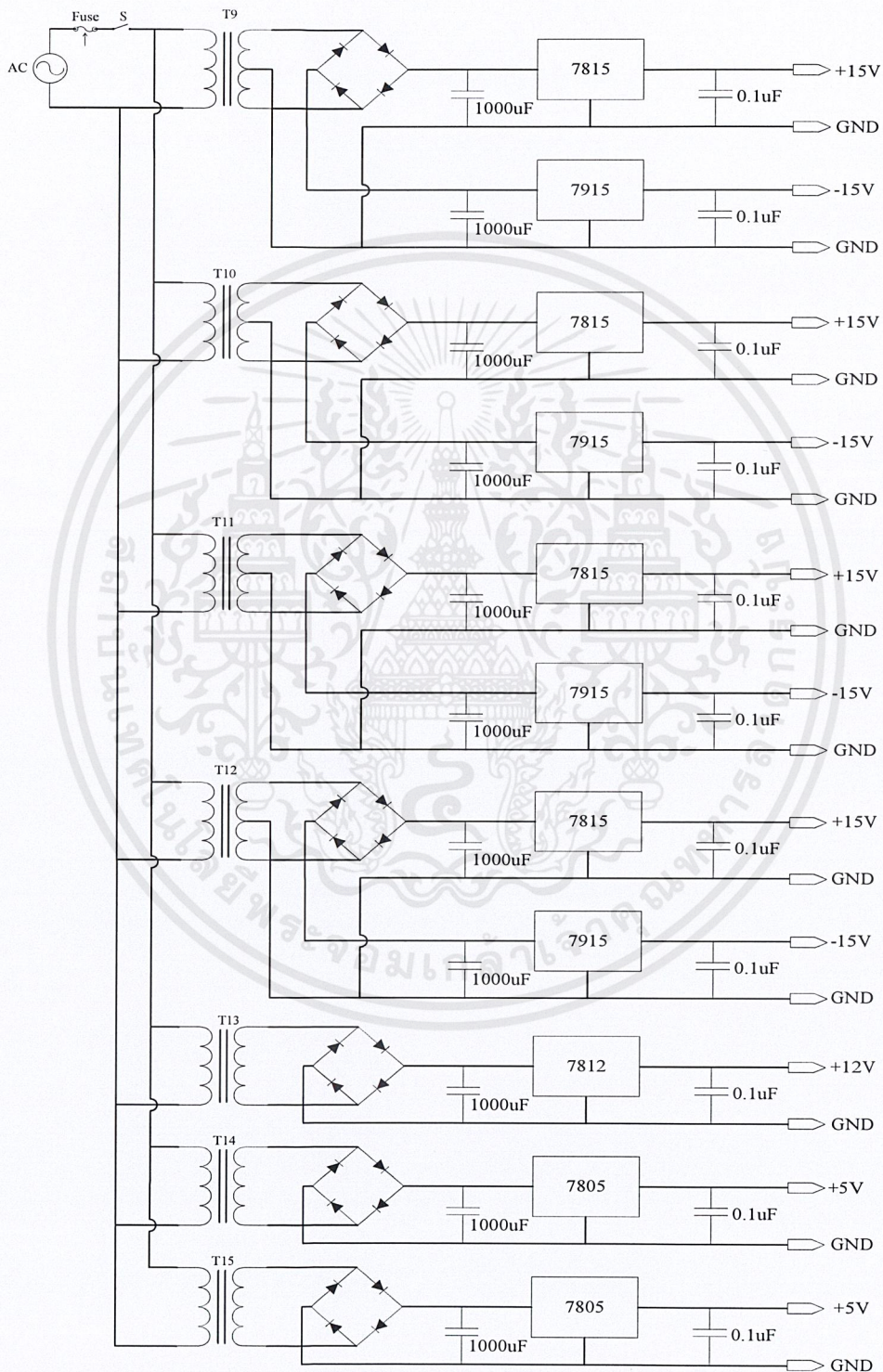
สำหรับชุดวงจรเรียงกระแสสำหรับไอซีขับนำเกทนี้ได้เขียนรวมเป็นลายวงจรบนแผ่น PCB เดียวกันและเชื่อมต่อกับวงจรกับวงจบบีบเกทด้วยสายไฟตีเกลียวเพื่อป้องกันสัญญาณรบกวนจากวงจรกำลังขณะทำงาน รายละเอียดของวงจรเรียงกระแสไฟตรงดังกล่าวนี้แสดงในภาพที่ 3.13



ภาพที่ 3.13 วงจรเรียงกระแสดีซี 20 โวลต์สำหรับวงจรขับนำเกท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) วงจรเรียงกระแสไฟดีซีสำหรับวงจรวัดกระแส วงจรวัดแรงดัน วงจรวัดความเร็ว วงจรไอซีบีพเพอร์แรงดัน และวงจรพัดลมระบายความร้อน ดังแสดงในภาพที่ 3.14 ซึ่งต้องการไฟตรงขนาด ± 15 โวลท์, $+12$ โวลท์ และ $+5$ โวลท์ ตามลำดับ



ภาพที่ 3.14 ชุดวงจรเรียงกระแสสำหรับวงจรวัดกระแสและแรงดัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชุดวงจรในภาพที่ 3.14 ประกอบด้วยอุปกรณ์ต่างๆ ดังนี้

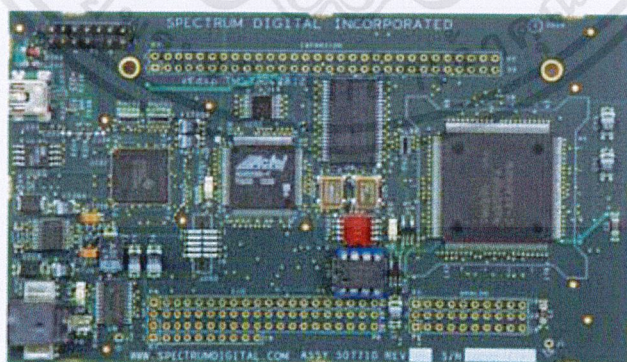
- หม้อแปลงไฟฟ้าขนาด 220/15-0-15 โวลท์, 220/15 โวลท์ และ 220/9 โวลท์
- ไดโอดเรียงกระแสแบบบริดจ์ เบอร์ KBP206G
- คาปาซิเตอร์ฟิลเตอร์แบบอิเล็กโทรไลต์ ขนาด 2,200 ไมโครฟารัด
- ไอซีเรกกูเลเตอร์ เบอร์ 7815, 7915, 7812 และ 7805
- คาปาซิเตอร์ทำหน้าที่ป้องกันสัญญาณรบกวน (Noise filter) ขนาด 0.1 ไมโครฟารัด

ไมโครฟารัด

3.2.10 ตัวประมวลผลสัญญาณดิจิทัล (Digital Signal Processing; DSP)

งานวิจัยนี้ได้เลือกใช้ตัวประมวลผลสัญญาณดิจิทัล (DSP) เบอร์ TMS320F2812 ของบริษัท Texas Instruments ดังภาพที่ 3.15 ซึ่งมีรายละเอียดต่างๆ ดังนี้คือ

- ความเร็วของตัวประมวลผล 150 MHz (6.67 ns / cycle time)
- ตัวประมวลผลขนาด 32 บิต สถาปัตยกรรมแบบฮาร์วาร์ด (Harvard Bus Architecture)
- มีพอร์ตเอาต์พุตสำหรับสร้าง PWM จำนวน 16 พอร์ต
- มีพอร์ตรองรับสัญญาณอะนาล็อก จำนวน 16 พอร์ต
- มีพอร์ตรองรับสัญญาณจากเอนโค้ดเดอร์ แบบ Incremental Encoder ได้จำนวน 2 ชุด

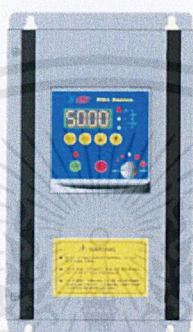


ภาพที่ 3.15 ตัวประมวลผลสัญญาณดิจิทัล (DSP) เบอร์ TMS320F2812

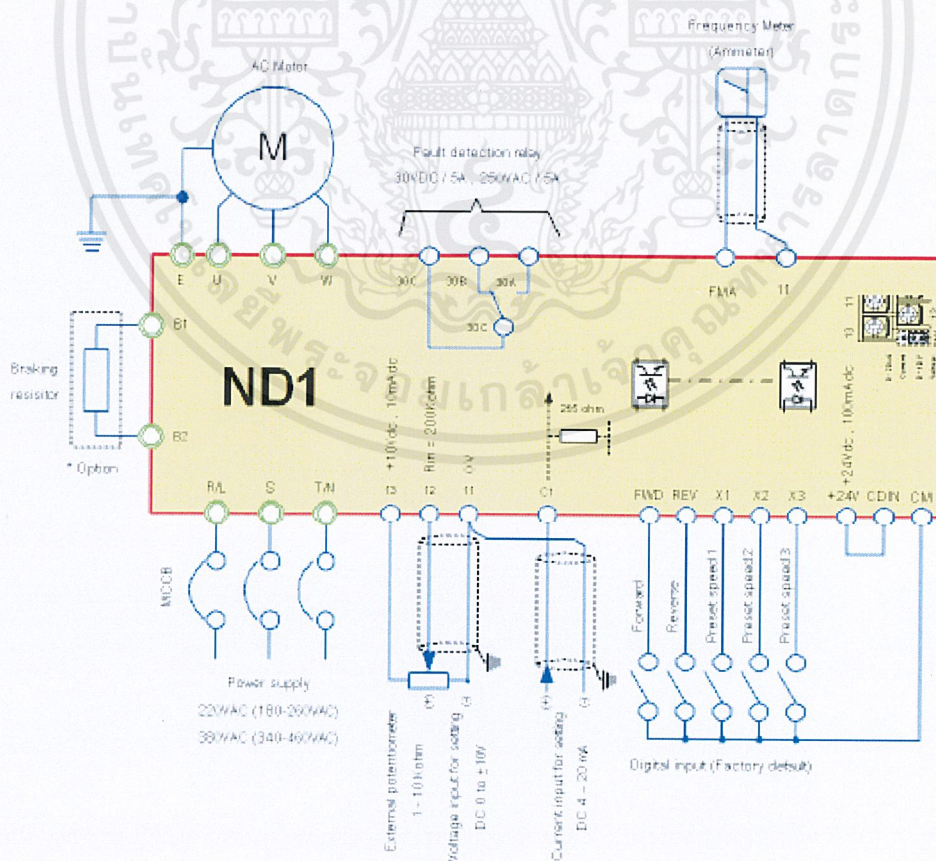
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.11 ตัวปรับความเร็วรอบสำหรับมอเตอร์เหนี่ยวนำไฟฟ้าแบบ 3 เฟส (3 Phase Inverter)

ในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้ อินเวอร์เตอร์แบบ 3 เฟส 380 โวลท์ พิกัดกระแส 11 แอมแปร์ ขนาดกำลัง 5.5 แรงม้า เบอร์ ND1-4-5A5 ของบริษัท Novem Engineering ซึ่งสามารถปรับความถี่สำหรับมอเตอร์เหนี่ยวนำไฟฟ้าได้ตั้งแต่ 0-200 เฮิรท์ ลักษณะทั่วไปของอินเวอร์เตอร์นี้ดังในภาพที่ 3.16 และผังวงจรการต่อของอินเวอร์เตอร์แสดงในภาพที่ 3.17



ภาพที่ 3.16 อินเวอร์เตอร์แบบ 3 เฟส เบอร์ ND1-4-5A5



ภาพที่ 3.17 แผนผังวงจรการต่อของอินเวอร์เตอร์แบบ 3 เฟส เบอร์ ND1-4-5A5

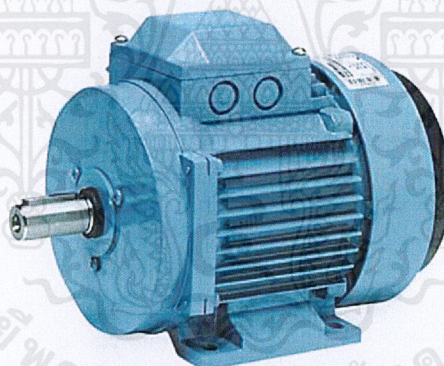
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.12 มอเตอร์เหนี่ยวนำไฟฟ้าแบบ 3 เฟส (3 Phase Induction Motor)

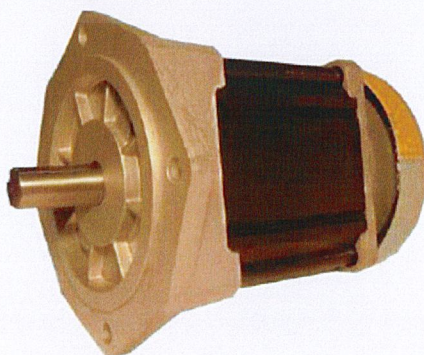
ในส่วนมอเตอร์ที่ทำหน้าที่เป็นตัวขับเคลื่อนเครื่องกำเนิดไฟฟ้านั้น ได้เลือกใช้มอเตอร์เหนี่ยวนำไฟฟ้า (Induction Motor) รุ่น M2QA112M2A ของบริษัท ABB ซึ่งมีพิกัดต่างๆ คือ แรงดันไฟฟ้า 3 เฟส 380 โวลท์, กำลังไฟฟ้า 4 กิโลวัตต์, 2 ขั้วแม่เหล็ก ความเร็วพิกัด 3,000 รอบต่อนาที ลักษณะของมอเตอร์แสดงในภาพที่ 3.18

3.2.13 เครื่องจักรกลไฟฟ้าแบบสวิตช์รีลักแตนซ์

สำหรับงานวิจัยนี้ได้เลือกเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบสวิตช์รีลักแตนซ์ 4 เฟส แบบ 8/6 รุ่น RA165187 ของบริษัท Motion System Technology (ประเทศญี่ปุ่น) ซึ่งมีพิกัดต่างๆ ดังนี้คือ พิกัดแรงดันไฟฟ้า 48 โวลท์, พิกัดกำลังไฟฟ้า 2.2 กิโลวัตต์, ความเร็วพิกัดเท่ากับ 6,000 รอบต่อนาที, ความเร็วสูงสุดที่ 12,000 รอบต่อนาที, แรงบิดพิกัดและแรงบิดสูงสุดเท่ากับ 3.69 และ 4.20 นิวตัน-เมตร ตามลำดับ ลักษณะโดยทั่วไปแสดงในภาพที่ 3.19



ภาพที่ 3.18 มอเตอร์เหนี่ยวนำไฟฟ้า (Induction Motor) แบบ 3 เฟส ขนาด 4 กิโลวัตต์



ภาพที่ 3.19 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบสวิตช์รีลักแตนซ์ แบบ 4 เฟส 8/6 รุ่น RA165187

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 โปรแกรมควบคุมการทำงานเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบสวิตช์รีลักแตนซ์

ในการเขียนโปรแกรมเพื่อควบคุมเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบสวิตช์รีลักแตนซ์ จะเขียนผ่านโปรแกรม Code Composer Studio (CCStudio) 3.1 ซึ่งโปรแกรมสามารถเขียนได้จากทั้งภาษา C และภาษา Assembly แต่ในงานวิจัยนี้จะเลือกใช้ภาษา C เพราะ ภาษา C นั้นสามารถเข้าใจได้ง่ายกว่าภาษา Assembly อีกทั้งเอกสารให้การค้นคว้ายังหาได้ง่ายกว่า จึงเป็นผลดีต่อนักวิจัยอื่นๆ ที่จะนำโปรแกรมไปพัฒนาต่อ

หลักการของโปรแกรมที่ใช้งานวิจัยนี้ เริ่มแรกจะเป็นการประกาศค่าตัวแปรต่างๆ และเริ่มการใช้งานของฟังก์ชันต่างๆที่ต้องการใช้ (เช่น ฟังก์ชัน A/D ฟังก์ชันอินเตอร์รัป) ต่อมารับค่าสัญญาณการสับเปลี่ยนโหมตเพื่อกำหนดมุมจุดชนวนของการทำงานว่าเป็นมอเตอร์หรือเจนเนอเรเตอร์ ซึ่งสามารถดูรายละเอียดการทำงานของแต่ละโหมตตามที่ได้กล่าวไว้แล้วในบทที่ 2 จากนั้นจะนำค่ากระแสที่ถูกแปลงจากพอร์ต A/D มาทำการเปรียบเทียบกับค่ากระแสอ้างอิง จากนั้นโปรแกรมจะส่งสัญญาณควบคุมวงจรถับนำเกิด ตามโหมตการควบคุมกระแสที่ได้เลือกไว้ (Soft Chopping Hard Chopping หรือ Single Pulse) ซึ่งสามารถดูรายละเอียดการทำงานของแต่ละโหมตตามที่ได้กล่าวไว้แล้วในบทที่ 2 โดยที่แผนผังของโปรแกรมสามารถดูได้ในภาพที่ 3.20

สำหรับการรักษาระดับแรงดันที่ความเร็วต่างๆ จะเริ่มจากการรับค่าแรงดันที่ถูกแปลงจากพอร์ต A/D มาทำการเปรียบเทียบกับค่าแรงดันอ้างอิง ซึ่งในงานวิจัยนี้จะศึกษารักษาระดับแรงดันที่ 48 โวลต์ และคงที่มุม On โดยมีการกำหนดขอบเขตบน และขอบเขตล่างของแรงดัน หากค่าแรงดันที่รับมาได้มีค่ามากกว่าแรงดันอ้างอิงของขอบเขตบน โปรแกรมจะทำการปรับค่ามุม Off ให้น้อยลง แต่หากค่าแรงดันที่รับมาได้น้อยกว่าขอบเขตล่างของแรงดันอ้างอิง โปรแกรมจะทำการปรับค่ามุม Off ให้มากขึ้น ซึ่งในกรณีของการรักษาระดับแรงดัน 48 โวลต์ เมื่อมีการปรับเปลี่ยนโหลด ก็จะใช้หลักการเดียวกันกับการรักษาระดับแรงดันที่ความเร็วต่างๆ

บทที่ 4

ผลการทดลอง

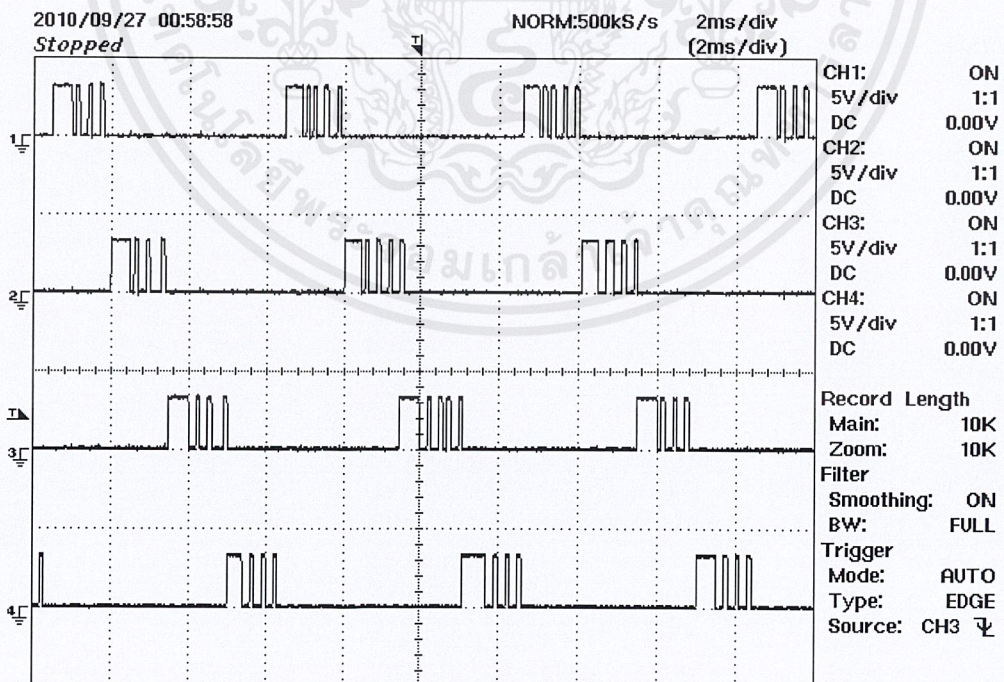
4.1 บทนำ

บทนี้เป็นการนำเสนอผลการทดลองในรูปแบบต่างๆ จากขอบเขตของโครงการ ที่ได้ถูกนำมาศึกษาและพัฒนาชุดทดลองจนสามารถควบคุมการทำงานของเครื่องจักรกลไฟฟ้าแบบสวิตช์รีลักแตนซ์ให้ทำงานในสภาวะของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าโดยการใช้เทคนิคควบคุมกระแสแบบต่างๆ และการสับเปลี่ยนสภาวะการทำงานจากมอเตอร์ไปเป็นเจนเนอเรเตอร์อย่างต่อเนื่อง

4.2 ผลการทดลองวงจรควบคุมการทำงาน

ในการทดลองวงจรควบคุมการทำงาน จะทดลองโดยตรวจสอบสัญญาณสวิตช์และสัญญาณอ้างอิงตำแหน่งของโรเตอร์ (Commutation) เพื่อตรวจสอบว่าเป็นไปตามคำสั่งที่ได้โปรแกรมไว้

4.2.1 ผลการทดลองสัญญาณขั้วนำเกิดจาก DSP



ภาพที่ 4.1 สัญญาณขั้วนำของ IGBT ตัวบนที่ได้จากช่อง PWM ของตัว DSP

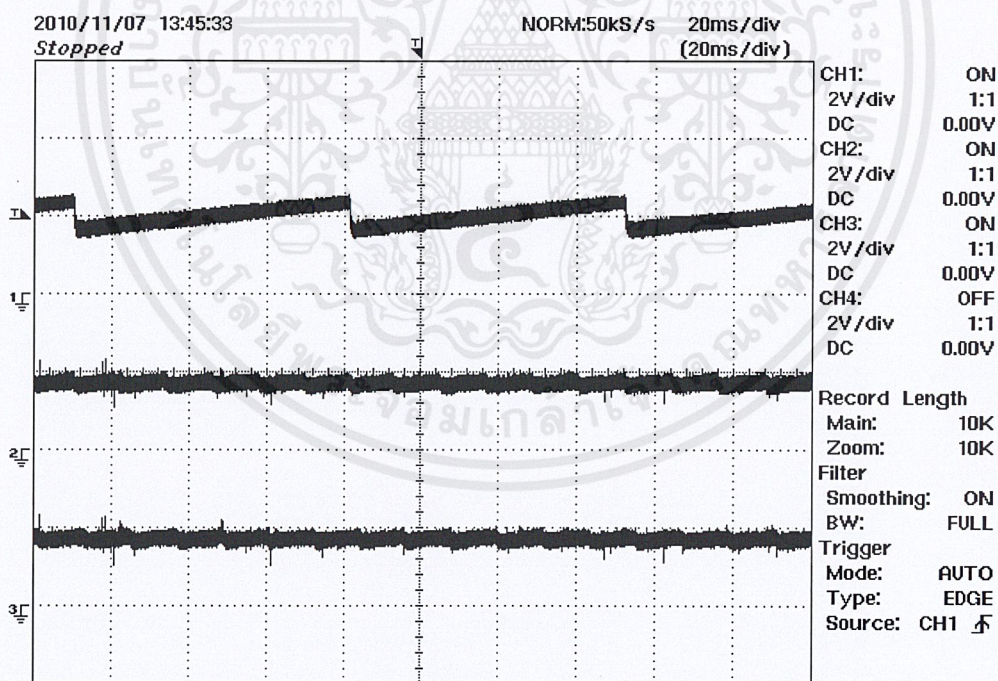
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการทดสอบการทำงานของสัญญาณขับนำเกิดที่ได้จากตัว DSP นั้นได้ทำการวัดที่ช่อง PWM [1-8] ซึ่งแรงดันขับเกิดที่ออกมาจะอยู่ที่ 3.3 โวลท์ ดังแสดงในภาพที่ 4.1 เป็นสัญญาณขับเกิดของ IGBTs ตัวบน ทั้ง 4 เฟส คือ เฟส A, เฟส B, เฟส C และ เฟส D ตามลำดับ

4.2.2 ผลการทดลองสร้างสัญญาณอ้างอิงตำแหน่งของโรเตอร์ (Commutation)

ในการคำนวณหาตำแหน่งของโรเตอร์นั้นทำได้โดยการวัดสัญญาณจากตัว Encoder ซึ่งประกอบด้วย QEP1, QEP2 และสัญญาณ Index (QEPI) เข้ามาที่ตัวประมวลผลสัญญาณดิจิทัล (DSP) แล้วนับจำนวนพัลส์ทั้งหมดใน 1 รอบทางกลจะนับได้ 14400 พัลส์ จากนั้นจึงแปลงเป็นมุมทางไฟฟ้าของแต่ละเฟส

จากภาพที่ 4.2 เป็นการแสดงสัญญาณมุมทางกลที่รับค่ามาจาก Encoder แล้วประมวลผล และสัญญาณอ้างอิงตำแหน่งของโรเตอร์ (Commutation) ของเฟส A และ B ตามลำดับ ซึ่งได้มาจากการแปลงค่าสัญญาณมุมทางกล



ภาพที่ 4.2 แสดงมุมทางกล, มุมทางไฟฟ้าของเฟส A และมุมทางไฟฟ้าของเฟส B ตามลำดับ

4.3 การควบคุมการทำงานขณะที่เป็นมอเตอร์ไฟฟ้า (SRM)

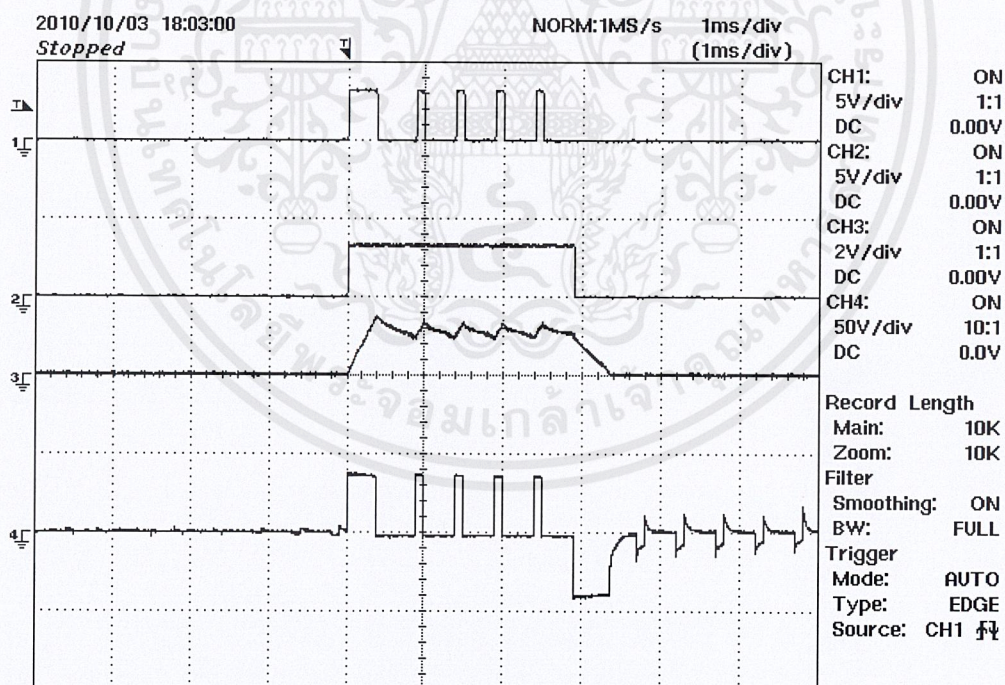
การควบคุมการทำงานขณะที่เป็นมอเตอร์ไฟฟ้านั้น สามารถใช้เทคนิคการควบคุมกระแสได้ 3 แบบ คือ Soft-chopping, Hard-chopping และ Single pulse ซึ่งผลการทดลองที่ได้นั้นตรงตามทฤษฎีที่ได้ศึกษามา

4.3.1 ผลการทดลองการควบคุมกระแสแบบ Soft-chopping ขณะทำงานเป็นมอเตอร์

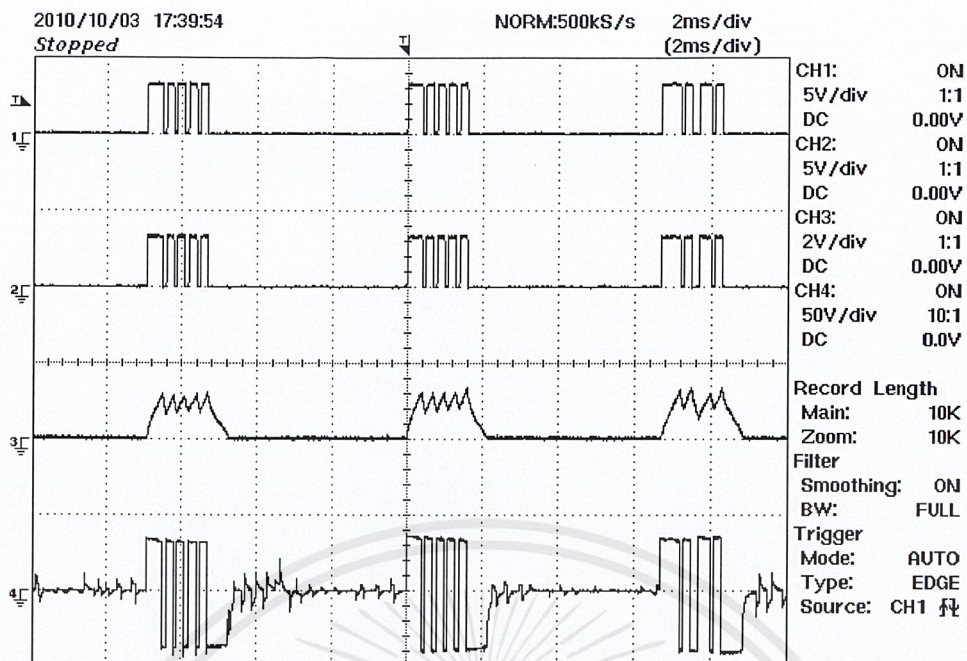
ในการทดลองนั้นได้กำหนดให้สัญญาณขับสวิตช์ตัวบนเป็นตัว Chopping ส่วนสัญญาณตัวขับสวิตช์ล่างเป็นแบบพัลส์ ซึ่งผลการทดลองแสดงดังภาพที่ 4.3

4.3.2 ผลการทดลองการควบคุมกระแสแบบ Hard-chopping ขณะทำงานเป็นมอเตอร์

ในการทดลองได้กำหนดให้สัญญาณขับสวิตช์ตัวบน และตัวล่างทำงานพร้อมกัน ซึ่งผลการทำงานแบบนี้จะทำให้กระแสเฟสของมอเตอร์เป็นแบบ Hard-chopping โดยผลที่ได้จากการทดลองการทำงานในโหมดนี้แสดงดังภาพที่ 4.4

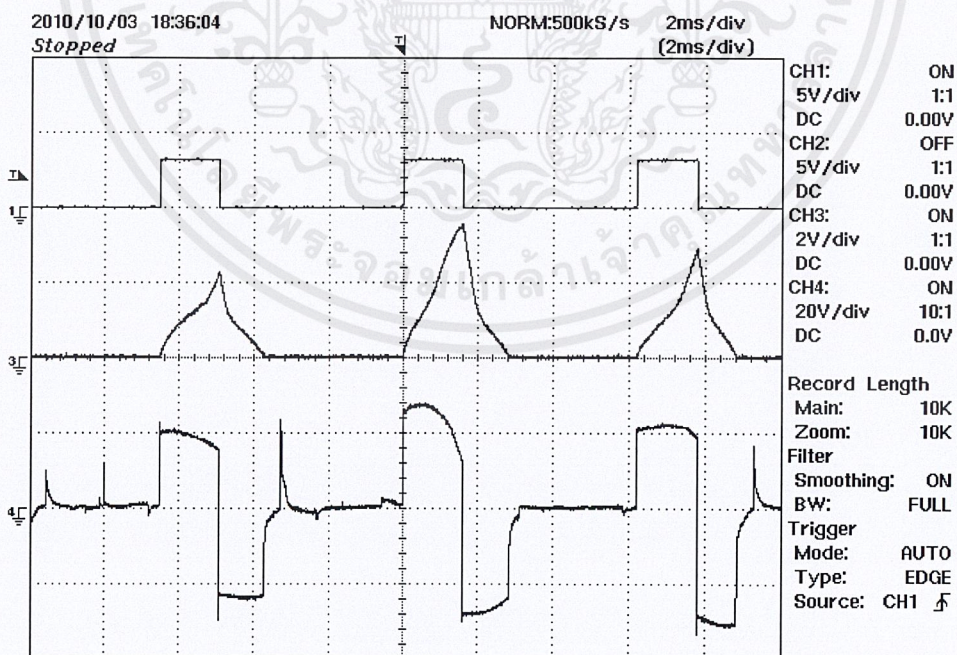


ภาพที่ 4.3 แสดงสัญญาณขับสวิตช์ตัวบน, สวิตช์ตัวล่าง, กระแสเฟส และแรงดันเฟสขณะทำงานในโหมดการควบคุมกระแสแบบ Soft-chopping (Motor)



ภาพที่ 4.4 แสดงสัญญาณขับสวิตช์ตัวบน, สวิตช์ตัวล่าง, กระแสเฟส และแรงดันเฟสขณะทำงานในโหมดการควบคุมกระแสแบบ Hard-chopping (Motor)

4.3.3 ผลการทดลองการควบคุมกระแสแบบ Single pulse ขณะทำงานเป็นมอเตอร์



ภาพที่ 4.5 แสดงสัญญาณขับสวิตช์แบบพัลส์, กระแสเฟส และแรงดันเฟสขณะทำงานในโหมดการควบคุมกระแสแบบ Single pulse (Motor)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

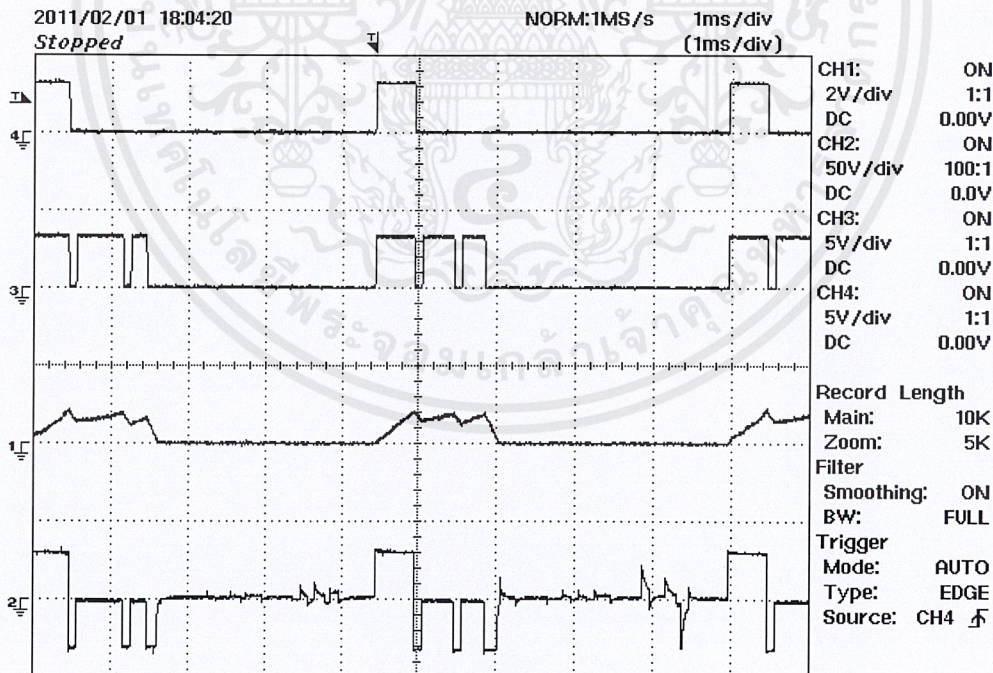
การทดลองในโหมดนี้จะให้สัญญาณขับสวิทช์ทั้งตัวบน และตัวล่างทำงานพร้อมกันในลักษณะพัลส์ ซึ่งส่งผลให้รูปคลื่นกระแสไม่สามารถควบคุมได้ ดังแสดงในภาพที่ 4.5

4.4 การ ควบคุมการทำงานขณะที่เป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (SRG)

การควบคุมการทำงานขณะที่เป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้านั้น จะมีลักษณะเดียวกับการทำงานในโหมดมอเตอร์ ซึ่งจะมีเทคนิคการควบคุมกระแสได้ 3 แบบเช่นเดียวกับมอเตอร์ คือ Soft-chopping , Hard-chopping และ Single pulse แต่กระแสเฟสที่ได้จะต่างกับการทำงานในโหมดมอเตอร์ ซึ่งผลการทดลองที่ได้นั้นตรงตามทฤษฎีที่ได้ศึกษามา

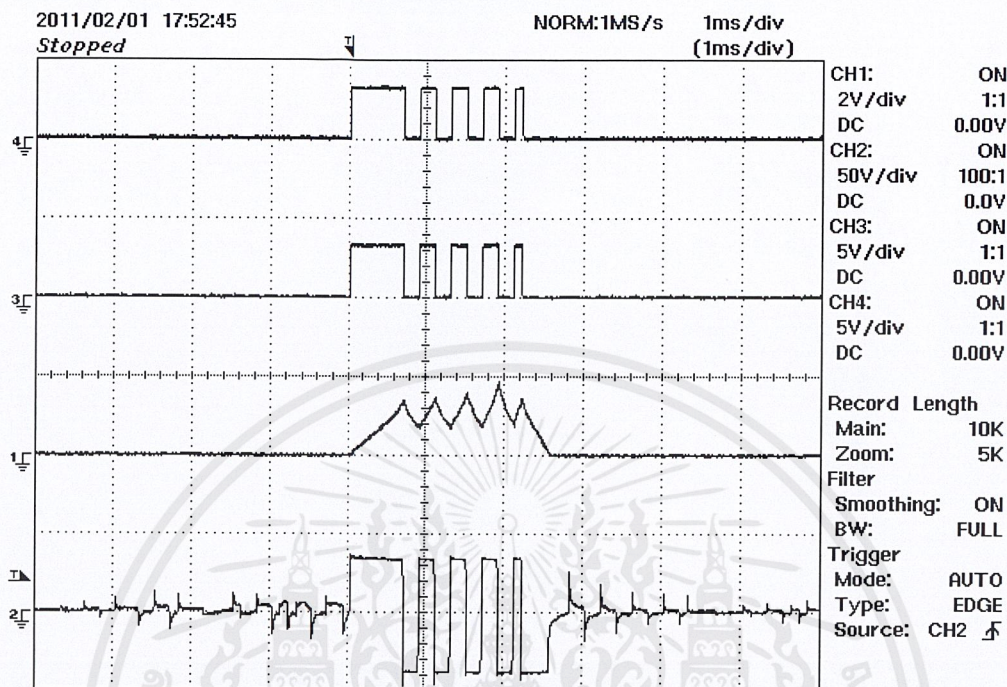
4.4.1 ผลการทดลองการควบคุมกระแสแบบ Soft-chopping ขณะทำงานเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

ในการทดลองนั้นได้กำหนดให้สัญญาณขับสวิทช์ตัวบนทำงานเป็นแบบพัลส์ แต่สัญญาณพัลส์นั้นจะมีความกว้างแคบในช่วงสั้นๆ ซึ่งต่างกับแบบมอเตอร์ที่จะให้สัญญาณพัลส์กว้างจนไปถึงมุม Off ส่วนสัญญาณตัวขับสวิทช์ล่างจะให้เป็นตัว Chopping ซึ่งผลการทดลองแสดงดังภาพที่ 4.6



ภาพที่ 4.6 แสดงสัญญาณขับสวิทช์ตัวบน, สวิทช์ตัวล่าง, กระแสเฟส และแรงดันเฟสขณะทำงานในโหมดการควบคุมกระแสแบบ Soft-chopping (Generator)

4.4.2 ผลการทดลองการควบคุมกระแสแบบ Hard-chopping ขณะทำงานเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

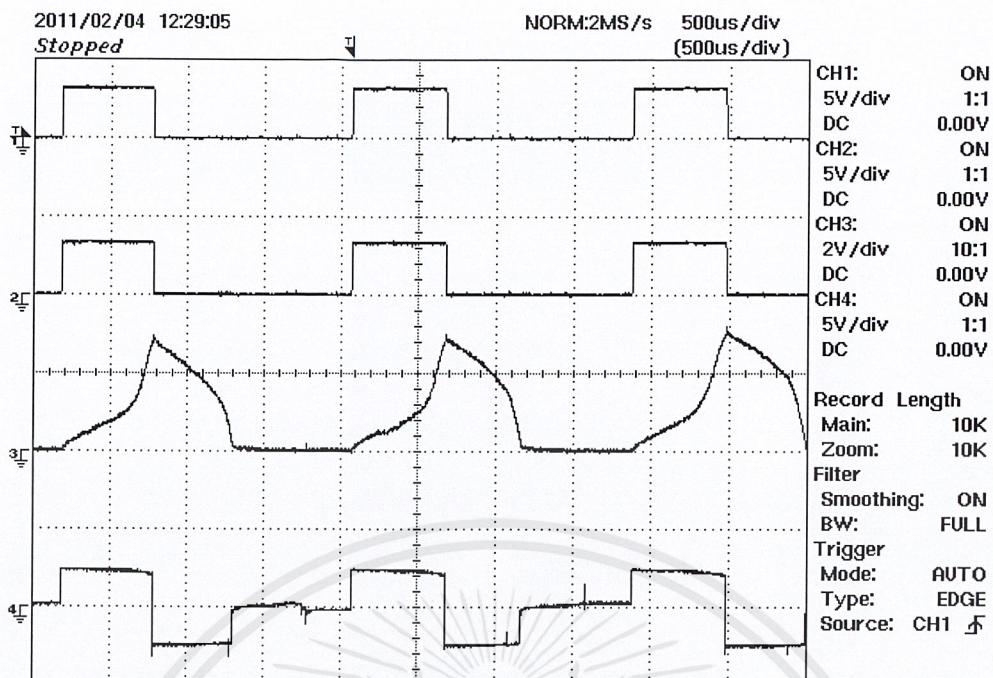


ภาพที่ 4.7 แสดงสัญญาณขับสวิทช์ตัวบน, สวิทช์ตัวล่าง, กระแสเฟส และแรงดันเฟสขณะทำงานในโหมดการควบคุมกระแสแบบ Hard-chopping (Generator)

ในการทดลองได้กำหนดให้สัญญาณขับสวิทช์ตัวบน และตัวล่างทำงานพร้อมกัน ซึ่งผลการทำงานแบบนี้จะทำให้กระแสเฟสของเจนเนอเรเตอร์เป็นแบบ Hard-chopping ซึ่งผลที่ได้จากการทดลองการทำงานในโหมดนี้แสดงดังภาพที่ 4.7

4.4.3 ผลการทดลองการควบคุมกระแสแบบ Single pulse ขณะทำงานเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

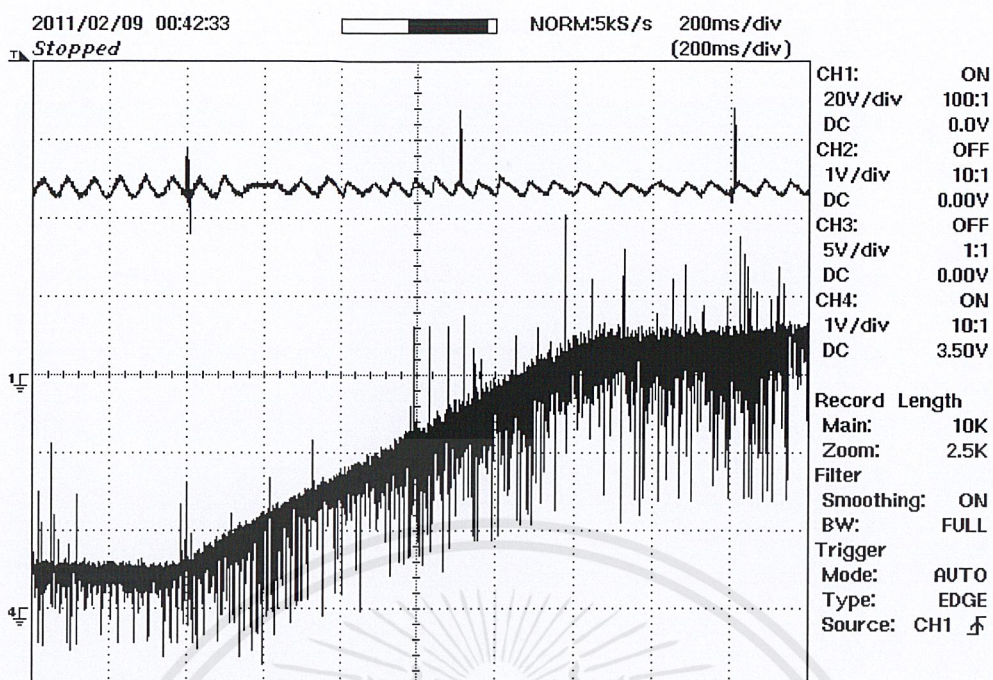
การทดลองในโหมดนี้จะให้สัญญาณขับสวิทช์ทั้งตัวบน และตัวล่างทำงานพร้อมกันในลักษณะพัลส์ ซึ่งส่งผลให้รูปคลื่นกระแสไม่สามารถควบคุมได้เช่นเดียวกับในโหมดมอเตอร์ ดังแสดงในภาพที่ 4.8



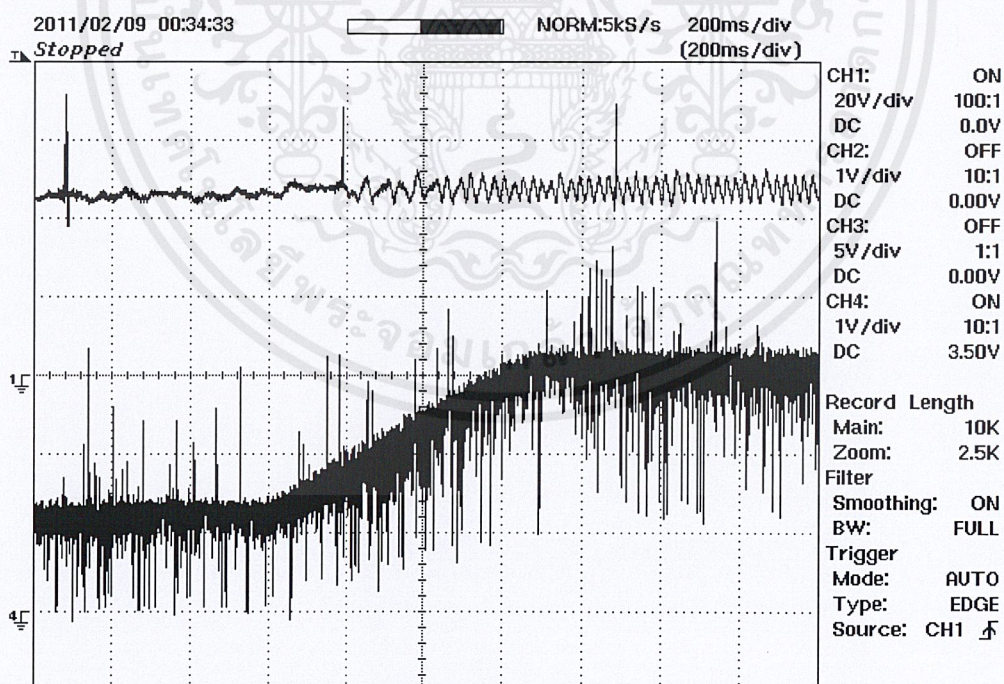
ภาพที่ 4.8 แสดงสัญญาณขับสวิทช์ตัวบน, สวิทช์ตัวล่าง, กระแสเฟส และแรงดันเฟสขณะทำงานในโหมดการควบคุมกระแสแบบ Single pulse (Generator)

4.5 การควบคุมแรงดัน DC bus 48 โวลต์ที่ความเร็วต่าง ๆ

สำหรับการควบคุมให้เครื่องจักรกลไฟฟ้าแบบสวิทช์รีลักแตนซ์ให้สามารถรักษา ระดับแรงดัน DC Bus 48 โวลต์นั้น จะใช้วิธีการป้อนกลับแรงดันเพื่อเข้าไปประมวลผลที่ DSP หากแรงดันที่ป้อนกลับเข้ามานั้นมากกว่าขอบเขตบนของแรงดันอ้างอิงที่กำหนดไว้ ตัวประมวลผล DSP จะปรับมุม Off ให้น้อยลงที่ละ 20 count (0.5 องศา) แต่ถ้าหากแรงดันที่ป้อนกลับเข้ามานั้นมีค่าน้อยกว่าขอบเขตล่างของแรงดันอ้างอิงที่กำหนดไว้ ตัวประมวลผล DSP ก็ จะปรับมุม Off ให้มากขึ้นที่ละ 20 count (0.5 องศา) โดยทำการทดลองที่ความเร็วรอบ 3,000-6,000 รอบต่อนาที ขณะที่ไม่มีภาระฟ้า และที่ความเร็วรอบ 4,000-6,000 รอบต่อนาที ขณะมีภาระไฟฟ้าคงที่ที่ 600 วัตต์ ดังแสดงในภาพที่ 4.9 และ 4.10 ตามลำดับ



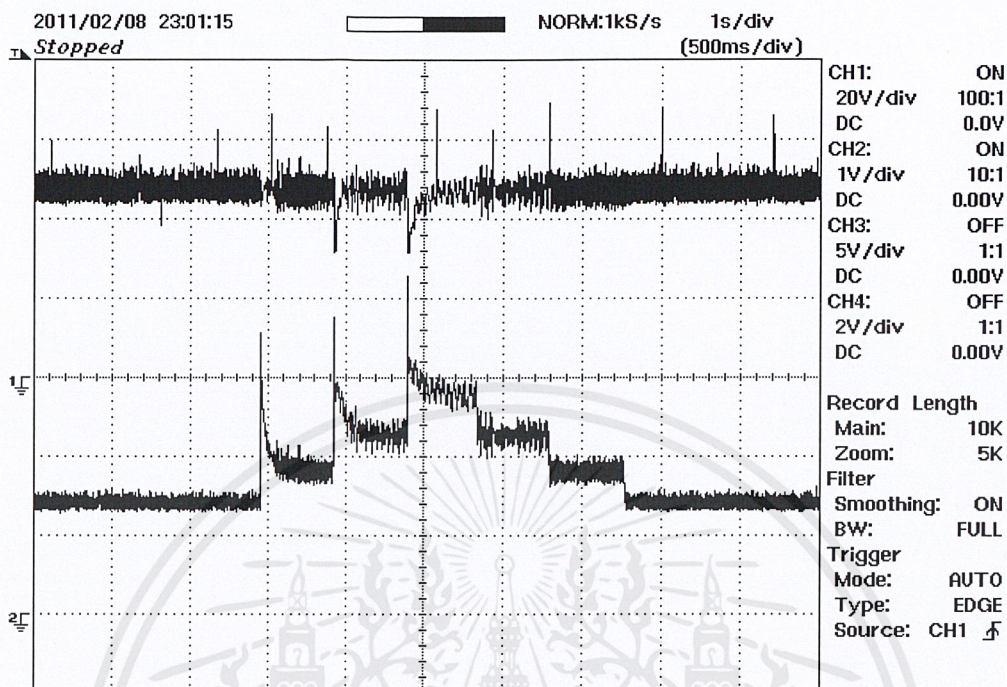
ภาพที่ 4.9 การควบคุมแรงดัน DC Bus 48 volts (บน) โดยไม่มีภาระไฟฟ้าที่ความเร็ว 3,000 - 6,000 รอบต่อนาที (ล่าง)



ภาพที่ 4.10 การควบคุมแรงดัน DC Bus 48 volts (บน) ที่ภาระไฟฟ้า 600 วัตต์ที่ความเร็ว 4,000-6,000 รอบต่อนาที (ล่าง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6 การรักษาระดับแรงดัน DC bus 48 โวลต์เมื่อมีการปรับเปลี่ยนโหลด



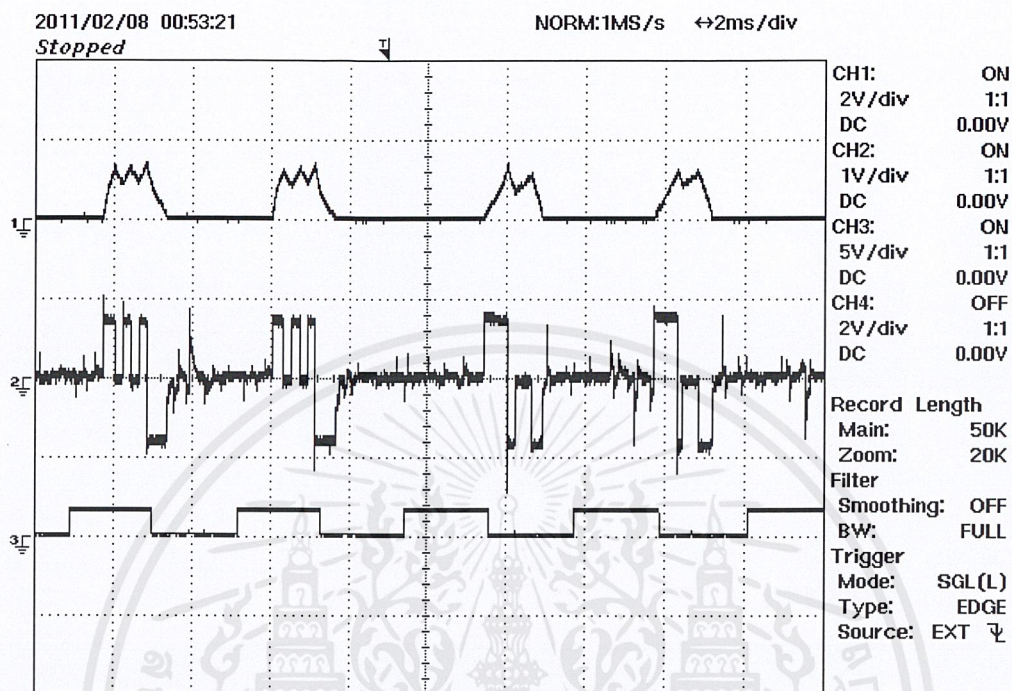
ภาพที่ 4.11 การควบคุมแรงดัน DC Bus 48 volts (บน) เมื่อมีการปรับเปลี่ยนโหลด (ล่าง)

การรักษาระดับแรงดัน DC bus 48 โวลต์เมื่อมีการปรับเปลี่ยนโหลด จะมีลักษณะการประมวลผลเช่นเดียวกับ การรักษาระดับแรงดัน DC bus ที่ความเร็วต่างๆ คือเมื่อมีการเพิ่มโหลด จะทำให้แรงดัน DC bus ลดลงแต่จะทำการควบคุมมุม On และมุม Off ให้มีการรักษาระดับแรงดัน DC Bus 48 โวลต์ โดยการทดลองนี้ เริ่มแรกจะควบคุมการทำงานของเจนเนอเรเตอร์ที่โหลด 600 วัตต์ และมีความเร็วคงที่ที่ 6,750 รอบต่อนาที จากนั้นจะเพิ่มโหลดเข้าไปในระบบที่ละ 400 วัตต์ (400 วัตต์ = หลอด Incandescent 49 หลอดต่อขนานกัน) และลดโหลดทีละ 400 วัตต์ จนเหลือโหลด 600 วัตต์ตามเดิม ซึ่งผลการทดลองแสดงดังภาพที่ 4.11

4.7 การควบคุมการสับเปลี่ยนสภาวะการทำงานระหว่างมอเตอร์และเจนเนอเรเตอร์

ในการควบคุมการสับเปลี่ยนสภาวะการทำงานระหว่างมอเตอร์และเจนเนอเรเตอร์นี้ ถูกสร้างขึ้นมาเพื่อรองรับสำหรับการพัฒนาโดยการต่อล้อช่วยแรงเพิ่มเข้ามาในระบบ แต่ในการทดลองนั้น จะควบคุมการทำงานจากมอเตอร์ไปเป็นเจนเนอเรเตอร์อย่างต่อเนื่องเพียงแค่นีกรอบการทำงาน ดังแสดงในภาพที่ 4.12 ซึ่งสังเกตการณ์ทำงานได้จากรูปคลื่นกระแสเฟส

ในช่วงที่เป็นมอเตอร์ กระแสในช่วงขึ้นจะมีความชันมากกว่าเจนเนอเรเตอร์ และกระแสในช่วงลงนั้น ของมอเตอร์จะลงช้ากว่าของเจนเนอเรเตอร์



ภาพที่ 4.12 กระแสเฟส, แรงดันเฟส และสัญญาณอ้างอิงของค่าความเหนี่ยวนำขณะสับเปลี่ยนสภาวะการทำงาน จากมอเตอร์เป็นเจนเนอเรเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 บทนำ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเสนอการศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมเครื่องจักรกลไฟฟ้าแบบสวิตช์รีลักแตนซ์ให้ทำงานในสภาวะของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แต่ก็อาจนำไปประยุกต์ใช้กับการควบคุมให้ทำงานในสภาวะของมอเตอร์ด้วยได้เช่นกัน ซึ่งในบทนี้จะสรุปเป็นองค์ความรู้เพื่อการศึกษา การนำไปพัฒนาต่อยอดต่อไป

5.2 สรุปวงจรควบคุมแบบ Asymmetric Half-bridge Converter

จากการศึกษาโครงสร้างของเครื่องจักรกลไฟฟ้าแบบสวิตช์รีลักแตนซ์ พบว่าเป็นเครื่องจักรกลไฟฟ้าที่มีโครงสร้างง่าย แต่ตรงกันข้ามกับการควบคุมจะมีความซับซ้อนมากกว่า ซึ่งในการวิจัยนี้จะเลือกใช้วงจรควบคุมแบบ Asymmetric Half-bridge Converter ซึ่งมีข้อดีคือ การควบคุมของแต่ละเฟสจะแยกอิสระต่อกัน แต่จำเป็นจะต้องใช้อุปกรณ์ที่มาใช้เป็นตัวสวิตช์จำนวนมาก จากการทดลองสามารถควบคุมแรงดันของเฟสต่างๆ ได้ทั้งค่า บวก ลบ และ ศูนย์ ซึ่งวงจรควบคุมนี้สามารถให้ผลได้ตามทฤษฎี

5.3 สรุปการรักษาระดับแรงดัน DC bus 48 โวลต์ที่ความเร็วต่าง ๆ

การควบคุมเครื่องจักรกลไฟฟ้าแบบสวิตช์รีลักแตนซ์ให้สามารถรักษาระดับแรงดันได้ที่ความเร็วต่าง ๆ นั้น จำเป็นจะต้องปรับความเร็วไปที่ความเร็วขั้นต่ำที่ทำให้ได้แรงดัน DC bus 48 โวลต์ก่อน จากนั้นเมื่อเราปรับความเร็วที่สูงขึ้น ก็จะทำให้ยังสามารถรักษาระดับแรงดัน 48 โวลต์ได้ ซึ่งการรักษาระดับแรงดัน DC bus 48 โวลต์จะอยู่ในย่านความเร็ว 4000-9,000 รอบต่อนาที

5.4 สรุปการรักษาระดับแรงดัน DC bus 48 โวลต์เมื่อมีการปรับเปลี่ยนโหลด

จากผลการทดลอง เมื่อใช้โหลดคงที่ เครื่องจักรกลไฟฟ้าแบบสวิตช์รีลักแตนซ์สามารถให้กำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ 1,800 วัตต์ และการปรับเปลี่ยนโหลดสามารถเพิ่ม หรือลดได้ไม่

เกิน 1,800 วัตต์ โดยที่การคงแรงดันดีซีบัสให้ได้ 48 โวลต์นั้น จำเป็นจะต้องปรับความเร็วไปที่ ความเร็วขั้นต่ำที่ทำให้ได้แรงดัน 48 โวลต์มีไหลดนั้นๆ จึงจะสามารถรักษาระดับแรงดันดีซีบัส 48 โวลต์ได้

5.5 สรุปการควบคุมการสับเปลี่ยนสภาวะการทำงานระหว่างมอเตอร์และเจนเนอเรเตอร์

ชุดการวิจัยนี้สามารถนำไปพัฒนาต่อยอดโดยการเพิ่มล้อย่อยแรงมาประกอบ กับเครื่องจักรกลไฟฟ้าแบบสวิตช์รีลักแตนซ์ให้ในสภาวะปกติทำงานเป็นมอเตอร์ขับเคลื่อนด้วยแรง เพื่อเก็บพลังงานให้อยู่ในรูปของพลังงานศักย์ แต่ถ้าหากระบบไฟฟ้าเกิดการขัดข้อง จะ สับเปลี่ยนโหมดการทำงานให้อยู่ในโหมดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า โดยที่จะอาศัยพลังงานจากล้อย่อย แรงเป็นต้นกำลังขับเคลื่อน

แต่ในการทดลองหัวข้อนี้เป็นเพียงการสับเปลี่ยนสภาวะการทำงานเท่านั้น ไม่ รวมถึงการควบคุม ในขณะที่เครื่องจักรกลไฟฟ้าแบบสวิตช์รีลักแตนซ์ทำงานในโหมดของเครื่อง ก่อเกิดไฟฟ้า หากแต่จะต้องเพิ่มการควบคุมในขณะที่ล้อย่อยแรงมีความเร็วลดลง โดยการ ควบคุมมุม On และมุม Off ให้สัมพันธ์กับความเร็วที่ลดลงเพื่อให้ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

5.6 ข้อเสนอแนะในการพัฒนาต่อ

- 1) ในการควบคุม SRG ในการทำงานที่มีภาระไฟฟ้าสูง ควรใช้เทคนิคควบคุม กระแสแบบ Single Pulse เพราะจะทำให้ได้กำลังสูงกว่าเทคนิคอื่น ที่ความเร็วเดียวกัน
- 2) หากนำไปพัฒนาต่อโดยการเพิ่มล้อย่อยแรง ควรเพิ่มการควบคุมในขณะที่ ล้อย่อยแรงมีความเร็วลดลง โดยการควบคุมมุม On และมุม Off ให้สัมพันธ์กับความเร็วที่ลดลง
- 3) สามารถนำระบบขับเคลื่อนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบสวิตช์รีลักแตนซ์นี้ไปเป็น แนวทางในการพัฒนาไปสู่ ระบบป้องกันไฟฟ้าฉุกเฉิน (UPS) ได้
- 4) สามารถพัฒนาไปสู่ระบบผลิตไฟฟ้าแบบเชื่อมต่อกับกริด (Grid Connected) ของการไฟฟ้าได้

บรรณานุกรม

- [1] สุพัฒน์ กิตติรัตน์สัจจา, “มอเตอร์สวิตซ์รีลักแตนซ์: ทฤษฎี และ การออกแบบ”, แผนกตำรา คณะวิศวกรรมศาสตร์สถาบัน เทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2550
- [2] วรารักษ์ ศรีสุวรรณ, สิทธิชัยแก้วไทย, สุนทร น้อยทัพ, “การขับเคลื่อนสวิตซ์รีลักแตนซ์มอเตอร์”, ปรินูญานิพนธ์ (วศ.บ.วิศวกรรมไฟฟ้า) สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง, 2546.
- [3] P. Chancharoensook and M. F. Rahman, “Control of a Four-Phase Switched Reluctance Generator: Experimental Investigations”, in Proceedings of the IEEE International Electric Machines and Drives Conference, (IEMDC’03.), Madison, WI, USA, June 2003, Vol.7, pp.842-848.
- [4] T.J.E Miller, “Switched Reluctance Motors and Their Control”, New York; Oxford University Press, 1993
- [5] T.J.E Miller., Ed., “Electronic Control of Switched Reluctance Machines”, Power Engineering Series, Newnes, Oxford, 2001



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

โปรแกรมควบคุมการทำงานโดยใช้ DSP ด้วยภาษาซี (C-Language)

```

//#####
// FILE:      MainProgram.c
//#####

#include "DSP281x_Device.h"
#include "DSP281x_Examples.h"
#include "DSP281x_Gpio.h"
#include "f281xqep.h"
#include "f281xpwmDAC.h"
#include "DSP281x_Spi.h"
#include "DSP281x_Adc.h"

//Local Variable declaration

int16 check=0;
int16 CheckA=0;
int16 CheckB=0;
int16 CheckC=0;
int16 CheckD=0;
int16 CheckVdc=0;

int16 ElecTheta;
int16 MechTheta;
int16 LineEncoder;
int16 PolePairs;
int16 RawTheta;
int16 QepPpr = 3600; // QEP pulse per revolution

int16 i;
int16 j;

int16 A;
int16 B;
int16 C;
int16 D;

int16 ThetaA;
int16 ThetaB;
int16 ThetaC;
int16 ThetaD;

int16 ElecThetaA;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
int16 ElecThetaB;
int16 ElecThetaC;
int16 ElecThetaD;
```

```
int16 ComA;
int16 ComB;
int16 ComC;
int16 ComD;
```

```
int16 Ia=0;
int16 Ib=0;
int16 Ic=0;
int16 Id=0;
int16 Iref;
int16 Imax;
int16 Imin;
int16 Ihys;
float Iref_actual;
float Ihys_actual;
```

```
int16 Va;
int16 Vb;
int16 Vc;
int16 Vd;
int16 Vdc;
int16 Vref;
int16 Vmax;
int16 Vmin;
int16 Vhys;
float Vref_actual;
float Vhys_actual;
```

```
int16 Gate_Drive_A;
int16 Gate_Drive_B;
int16 Gate_Drive_C;
int16 Gate_Drive_D;
```

```
int16 Gate_Drives;
int16 Gate_Drive_Lo;
```

```
int16 Gate_DriveA_Hi;
int16 Gate_DriveB_Hi;
int16 Gate_DriveC_Hi;
int16 Gate_DriveD_Hi;
```

```
int16 Gate_DriveA_Lo;
int16 Gate_DriveB_Lo;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

int16 Gate_DriveC_Lo;
int16 Gate_DriveD_Lo;

int16 PwmDacCh1 = 0;
int16 PwmDacCh2 = 0;
int16 PwmDacCh3 = 0;

Uint32 DAC_Ch_A;
Uint32 DAC_Ch_B;
Uint32 DAC_Ch_C;
Uint32 DAC_Ch_D;
Uint32 DAC_Ch_E;
Uint32 DAC_Ch_F;
Uint32 DAC_Ch_G;
Uint32 DAC_Ch_H;

int CheckSpeed = 0;
int Speed1;
int Speed2;
int Speed3;
float Speed;

int16 Tune;
int16 y;

// Flag for Mode Operation : 0 = Gen , 1 = Motor
int16 x=0;

// Setting For SRG Drive
int16 ThetaOn = 1900;
int16 ThetaOff = 600;
int16 ThetaOff_Reg = 600;
// 1 = Soft Chopping , 2 = Hard Chopping
int16 ModeGenerator = 2;
int16 ThetaOn_Reg = 1900;
// Setting For SRM Drive
int16 ThetaOn_SRM = 1300; // SRM, [1400]
int16 ThetaOff_SRM = 1800; // SRM, [2200]
// 1 = Soft Chopping , 2 = Hard Chopping
int16 ModeMotor = 2;

// -----
// To find maximum and minimum value of phase
current
// -----
float Iref_actual = 50;
// Reference Current at 150A

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

float Ihys_actual = 1;          // Hysteresis Band
// -----
// To find maximum and minimum value of DC-Bus
voltage
// -----
float Vref_actual = 47;
// Reference Voltage at 47V
float Vhys_actual = 2;
// Hysteresis Band = 2V

QEP qep1 = QEP_DEFAULTS;
PWMDAC pwmdac1 = PWMDAC_DEFAULTS;

// Prototype statements for functions found within
this file.
void delay_loop(void);
interrupt void adc_isr(void);
interrupt void EvaTimer2(void);
interrupt void cpu_timer0_isr(void);
interrupt void PDPINTA_ISR(void);
interrupt void PDPINTB_ISR(void);

void main(void)
{
    InitSysCtrl();
    EALLOW;
    GpioMuxRegs.GPAMUX.all = 0x0700;
    GpioMuxRegs.GPADIR.all = 0x0FFF;
    SysCtrlRegs.HISPCP.all = 0x3;
    GpioMuxRegs.GPDMUX.bit.T1CTRIP_PDPA_GPIOD0 = 0;
    GpioMuxRegs.GPDDIR.bit.GPIOD0 = 1;
    GpioMuxRegs.GPAMUX.bit.TDIRA_GPIOA11 = 0;
    GpioMuxRegs.GPADIR.bit.GPIOA11 = 1;
    GpioMuxRegs.GPFMUX.bit.SPISOMIA_GPIOF1 = 0;
    GpioMuxRegs.GPFDIR.bit.GPIOF1 = 1;
    EDIS;
    DINT;
    InitPieCtrl();

// -----
// Disable CPU interrupts and clear all CPU
interrupt flags:
// -----
    IER = 0x0000;
    IFR = 0x0000;
    InitPieVectTable();

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

// -----
// ISR functions found within this file.
// -----
EALLOW;
PieVectTable.TINT0 = &cpu_timer0_isr;
PieVectTable.CAPINT3 = &EvaTimer2;
PieVectTable.ADCINT = &adc_isr;
EDIS;
InitCpuTimers();

// -----
// Configure CPU-Timer 0 to int every 0.1 mSec:
// 150MHz CPU Freq, 0.1mSec. Period (in uSeconds)
// -----
// Switching Frequency = 10 kHz.
ConfigCpuTimer(&CpuTimer0, 150, 100);
StartCpuTimer0();

// -----
// Enable CAP3 interrupt bits for GP Timer2
// -----
EvaRegs.EVAIMRC.bit.CAP3INT = 1;
EvaRegs.EVAIFRC.bit.CAP3INT = 1;

// -----
// Set up the capture pins to primary functions
// -----
EALLOW;
GpioMuxRegs.GPAMUX.all |= 0x0700;
EDIS;

// -----
// Initialize ADC Module
// -----
InitAdc();

// -----
// Initialize PWMDAC Module
// -----
pwm dac1.PeriodMax = 2500;
pwm dac1.PwmDacInPointer0 = &PwmDacCh1;
pwm dac1.PwmDacInPointer1 = &PwmDacCh2;
pwm dac1.PwmDacInPointer2 = &PwmDacCh3;
pwm dac1.init(&pwm dac1);

// -----

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

// Initialize QEP module
// -----
    qep1.LineEncoder = QepPpr;
    qep1.init(&qep1);

// -----
// Enable ADCINT in the PIE; Group 1 interrupt 6
// -----
    PieCtrlRegs.PIEIER1.bit.INTx6 = 1;

// -----
// Enable TINT0 in the PIE: Group 1 interrupt 7
// -----
    PieCtrlRegs.PIEIER1.bit.INTx7 = 1;

// -----
// Enable PIE group 3 interrupt 7 for CAP3INT
// -----
    PieCtrlRegs.PIEIER3.all = M_INT7;

// -----
// Enable CPU INT1 which is connected to CPU-Timer
// 0 and INT3 for CAP3INT:
// -----
    IER |= (M_INT1 | M_INT3 | M_INT7);

// -----
// Enable global Interrupts and higher priority
// real-time debug events:
// -----
    EINT;    // Enable Global interrupt INTM
    ERTM;    // Enable Global real-time interrupt
DBGM

// -----
// Configuration of ADC Module
// -----

    AdcRegs.ADCMAXCONV.all = 0x0006;           // Setup
2 conv's on SEQ1
    AdcRegs.ADCCHSELSEQ1.bit.CONV00 = 0x0; // Setup
ADCINA0 as 1st SEQ1 conv.
    AdcRegs.ADCCHSELSEQ1.bit.CONV01 = 0x1; // Setup
ADCINA1 as 2nd SEQ1 conv.
    AdcRegs.ADCCHSELSEQ1.bit.CONV02 = 0x2; // Setup
ADCINA2 as 3rd SEQ1 conv.

```

```

    AdcRegs.ADCCHSELSEQ1.bit.CONV03 = 0x3; // Setup
ADCINA3 as 4th SEQ1 conv.
    AdcRegs.ADCCHSELSEQ2.bit.CONV04 = 0x4; // Setup
ADCINA4 as 4th SEQ1 conv.
    AdcRegs.ADCCHSELSEQ2.bit.CONV05 = 0x5; // Setup
ADCINA5 as 5th SEQ1 conv. // edit new line
    AdcRegs.ADCCHSELSEQ2.bit.CONV06 = 0x6; // Setup
ADCINA6 as 6th SEQ1 conv. // edit new line tan
    AdcRegs.ADCTRL2.bit.EVA_SOC_SEQ1 = 1; //
Enable EVASOC to start SEQ1
    AdcRegs.ADCTRL2.bit.INT_ENA_SEQ1 = 1; //
Enable SEQ1 interrupt (every EOS)

// -----
// Assumes EVA Clock is already enabled in
InitSysCtrl();
// -----
    EvaRegs.T1CMPR = 750; //Setup T1 compare value
    EvaRegs.T1PR = 1250; //Setup period register
// Enable EVASOC in EVA
    EvaRegs.GPTCONA.bit.T1TOADC = 1;
// Enable timer 1 compare (upcount mode)
    EvaRegs.T1CON.all = 0x1042;

// IDLE loop
for(;;);

}

void delay_loop()
{
    short    i;
    for (i = 1; i < 2500; i++) {}
}

interrupt void  adc_isr(void)
{
// -----
// To check actual value of Current and DC-Bus
voltage
// -----
    while (AdcRegs.ADCST.bit.SEQ1_BSY == 1);
    {};
    Ib = AdcRegs.ADCRESULT1 >>4;
    Ic = AdcRegs.ADCRESULT2 >>4;
    Id = AdcRegs.ADCRESULT3 >>4;
    Vdc= AdcRegs.ADCRESULT4 >>4;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

Ia = AdcRegs.ADCRESULT6 >>4;
// -----
// Reinitialize for next ADC sequence
// -----
    AdcRegs.ADCTRL2.bit.RST_SEQ1 = 1; // Reset SEQ1
    AdcRegs.ADCST.bit.INT_SEQ1_CLR = 1;
    PieCtrlRegs.PIEACK.all = PIEACK_GROUP1;
}
interrupt void cpu_timer0_isr(void)
{
//=====
// To check maximum range of the ISR program
    GpioDataRegs.GPADAT.bit.GPIOA11 = 1;
    x = GpioDataRegs.GPADAT.bit.GPIOA12;
//=====
// -----
// To find maximum and minimum value of phase
current
// -----
// Iref_actual = 10;
    Iref = (((Iref_actual*4)/150)*4095)/3;
// Ihys_actual = 0.1; // Hysteresis band
    Ihys = (((Ihys_actual*4)/150)*4095)/3;
    Imax = Iref + Ihys; // Maximum current
    Imin = Iref - Ihys; // Minimum current

// -----
// To find maximum and minimum value of DC-Bus
voltage
// -----

// Vref_actual = 47;
// Reference voltage at 20V
    Vref = (Vref_actual*0.04166*4095)/3;
// Compute for DSP
// Vhys_actual = 2;
// Hysteresis band = 2V
    Vhys = (Vhys_actual*0.04166*4095)/3;
// Compute for DSP
    Vmax = Vref + Vhys;
// Maximum voltage at 22V
    Vmin = Vref - Vhys;
// Minimum voltage at 18V
// -----
// Check Pulse Counts from QEP Encoder ( 4*3600 =
14400 Pulse / Rev. )
// -----

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    qep1.calc(&qep1);
    MechTheta = EvaRegs.T2CNT;
    RawTheta = MechTheta;
// -----
// Find Commutation
// -----
    ComputeCommutation();    // See Commutaion.c
// -----
// To find the Speed of SRM
// -----
    ComputeSpeed();        // See Speed.c
// -----
// Connect to DC-Bus voltage regulation module
// -----
    VoltageRegulator();    // See Vregulator.c
// -----
// For SRG control
// -----
    if(x ==0 && Speed>100)
        Generator(ModeGenerator);    // See SRG.c
    else if (x==1)
        Motor(ModeMotor);
// -----
// Connected to Gate Drive Module
// -----
// Phase A
    GpioDataRegs.GPADAT.bit.GPIOA0 =
Gate_DriveA_Hi;
    GpioDataRegs.GPADAT.bit.GPIOA1 =
Gate_DriveA_Lo;
// Phase B
    GpioDataRegs.GPADAT.bit.GPIOA2 =
Gate_DriveB_Hi;
    GpioDataRegs.GPADAT.bit.GPIOA3 =
Gate_DriveB_Lo;
// Phase C
    GpioDataRegs.GPADAT.bit.GPIOA4 =
Gate_DriveC_Hi;
    GpioDataRegs.GPADAT.bit.GPIOA5 =
Gate_DriveC_Lo;
// Phase D
    GpioDataRegs.GPADAT.bit.GPIOA6 =
Gate_DriveD_Hi;
    GpioDataRegs.GPADAT.bit.GPIOA7 =
Gate_DriveD_Lo;
// -----
// Connected input of the PWMDAC Module

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

// -----
    PwmDacCh1 = MechTheta;
    PwmDacCh2 = ThetaA;
    PwmDacCh3 = ThetaB;
// -----
// Call the PWMDAC update function
// -----
    pwmdac1.update(&pwmdac1);
// -----
// Acknowledge this interrupt to receive more
interrupts from group 1
// -----
    PieCtrlRegs.PIEACK.all = PIEACK_GROUP1;
// -----
// End of programe lenght check
// -----
    GpioDataRegs.GPADAT.bit.GPIOA11 = 0;
}
interrupt void EvaTimer2(void)
{
// -----
// Connect to QEP driver to update with next ISR
// -----
    qep1.isr(&qep1);
// -----
// Enable more interrupts from this timer
// -----
    EvaRegs.EVAIMRC.bit.CAP3INT = 1;
    EvaRegs.EVAIFRC.all = BIT2;
// -----
// Acknowledge interrupt to recieve more
interrupts from PIE group 3
// -----
    PieCtrlRegs.PIEACK.all |= PIEACK_GROUP3;
}
//-----
// No more for MainProgram.c
//-----

```

```

//#####
//FILE:      Commutaion.c
//#####

#include "DSP281x_Device.h"

extern int16 MechTheta;
extern int16 RawTheta;
extern int16 ElecTheta;

extern int16 A;
extern int16 B;
extern int16 C;
extern int16 D;

extern int16 ThetaA;
extern int16 ThetaB;
extern int16 ThetaC;
extern int16 ThetaD;

extern int16 ComA;
extern int16 ComB;
extern int16 ComC;
extern int16 ComD;

// To find ElecTheta of Phase A

void ComputeCommutation()
{
    if ( MechTheta >=0 & MechTheta <=2399 )
// Angle = 60 degree => 2400 Pulse
        RawTheta = MechTheta;

    else if ( MechTheta > 2399 & MechTheta <=4799
) // Angle = 120 degree => 4800 pulse
        RawTheta = MechTheta - 2399;

    else if ( MechTheta > 4799 & MechTheta <=7199
) // Angle = 180 degree => 7200 pulse
        RawTheta = MechTheta - 4799;

    else if ( MechTheta > 7199 & MechTheta <=9599
) // Angle = 240 degree => 9600 pulse
        RawTheta = MechTheta - 7199;
}

```

```

    else if ( MechTheta > 9599 & MechTheta
<=11999)    // Angle = 300 degree => 12000 pulse
        RawTheta = MechTheta - 9599;

    else if ( MechTheta >11999 & MechTheta
<=14399)    // Angle = 360 degree => 14400 pulse
        RawTheta = MechTheta - 11999;

    ElecTheta = RawTheta;

// To find ElecTheta of Phase A
    A = ElecTheta+261;
    if (A>2399)
        ThetaA = A-2399;
    else
        ThetaA = A;

// To find ElecTheta of Phase B
    B = ThetaA;
    B = B + 1800;
    if (B > 2399)
        ThetaB = B-2399;
    else
        ThetaB = B;

// To find ElecTheta of Phase C
    C = ThetaB;
    C = C + 1800;
    if (C > 2399)
        ThetaC = C-2399;
    else
        ThetaC = C;

// To find ElecTheta of Phase D
    D = ThetaC;
    D = D + 1800;
    if (D > 2399)
        ThetaD = D-2399;
    else
        ThetaD = D;

// To find the Commutation of Phase A
    ComA = ThetaA;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
// To find the Commutation of Phase B
ComB = ThetaB;

// To find the Commutation of Phase C
ComC = ThetaC;

// To find the Commutation of Phase D
ComD = ThetaD;

}
//-----
// No more for Commutaion.c
//-----
```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

//#####
//FILE:      SRG.c
//#####

#include "DSP281x_Device.h"

void Generator(char Mode)
{

extern int16 Ia;
extern int16 Ib;
extern int16 Ic;
extern int16 Id;

extern int16 Imax;
extern int16 Imin;

extern int16 CheckA;
extern int16 CheckB;
extern int16 CheckC;
extern int16 CheckD;

extern int16 ThetaOn;
extern int16 ThetaOff;

extern int16 ComA;
extern int16 ComB;
extern int16 ComC;
extern int16 ComD;

extern int16 Gate_DriveA_Hi;
extern int16 Gate_DriveB_Hi;
extern int16 Gate_DriveC_Hi;
extern int16 Gate_DriveD_Hi;

extern int16 Gate_DriveA_Lo;
extern int16 Gate_DriveB_Lo;
extern int16 Gate_DriveC_Lo;
extern int16 Gate_DriveD_Lo;

// -----
//  Soft Chopping Phase A
// -----
if(Mode==1)
{
    if (ComA >= ThetaOn || ComA <= ThetaOff)

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

{
    if (CheckA == 0)
    {
        if (Ia <= Imin )
        {
            Gate_DriveA_Hi = 1;
            Gate_DriveA_Lo = 1;
        }
        else if (Ia >= Imax )
        {
            Gate_DriveA_Hi = 0;
            Gate_DriveA_Lo = 0;
            CheckA = 1;
        }
    }
    else if (CheckA == 1)
// Current Regulation of Phase A
    {
        if (Ia <= Imin )
        {
            Gate_DriveA_Hi = 1;
            Gate_DriveA_Lo = 0;
        }
        else if (Ia >= Imax )
        {
            Gate_DriveA_Hi = 0;
            Gate_DriveA_Lo = 0;
        }
    }
}
else
{
    Gate_DriveA_Hi = 0;
    Gate_DriveA_Lo = 0;
    CheckA = 0;
}

// -----
// Soft Chopping Phase B
// -----

    if (ComB >= ThetaOn || ComB <= ThetaOff)
    {
        if (CheckB == 0)
        {
            if (Ib <= Imin )
            {

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        Gate_DriveB_Hi = 1;
        Gate_DriveB_Lo = 1;
    }
    else if (Ib >= Imax )
    {
        Gate_DriveB_Hi = 0;
        Gate_DriveB_Lo = 0;
        CheckB = 1;
    }
}
else if (CheckB == 1)
// Current Regulation of Phase B
{
    if (Ib <= Imin )
    {
        Gate_DriveB_Hi = 1;
        Gate_DriveB_Lo = 0;
    }
    else if (Ib >= Imax )
    {
        Gate_DriveB_Hi = 0;
        Gate_DriveB_Lo = 0;
    }
}
else
{
    Gate_DriveB_Hi = 0;
    Gate_DriveB_Lo = 0;
    CheckB = 0;
}

// -----
// Soft Chopping Phase C
// -----

if (ComC >= ThetaOn || ComC <= ThetaOff)
{
    if (CheckC == 0)
    {
        if (Ic <= Imin )
        {
            Gate_DriveC_Hi = 1;
            Gate_DriveC_Lo = 1;
        }
        else if (Ic >= Imax )
        {

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        Gate_DriveC_Hi = 0;
        Gate_DriveC_Lo = 0;
        CheckC = 1;
    }
}
else if (CheckC == 1)
// Current Regulation of Phase C
{
    if (Ic <= Imin )
    {
        Gate_DriveC_Hi = 1;
        Gate_DriveC_Lo = 0;
    }
    else if (Ic >= Imax )
    {
        Gate_DriveC_Hi = 0;
        Gate_DriveC_Lo = 0;
    }
}
}
else
{
    Gate_DriveC_Hi = 0;
    Gate_DriveC_Lo = 0;
    CheckC = 0;
}

// -----
// Soft Chopping Phase D
// -----

    if (ComD >= ThetaOn || ComD <= ThetaOff)
    {
        if (CheckD == 0)
        {
            if (Id <= Imin )
            {
                Gate_DriveD_Hi = 1;
                Gate_DriveD_Lo = 1;
            }
            else if (Id >= Imax )
            {
                Gate_DriveD_Hi = 0;
                Gate_DriveD_Lo = 0;
                CheckD = 1;
            }
        }
    }
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    }
    else if (CheckD == 1)
// Current Regulation of Phase D
    {
        if (Id <= Imin )
        {
            Gate_DriveD_Hi = 1;
            Gate_DriveD_Lo = 0;
        }
        else if (Id >= Imax )
        {
            Gate_DriveD_Hi = 0;
            Gate_DriveD_Lo = 0;
        }
    }
}
else
{
    Gate_DriveD_Hi = 0;
    Gate_DriveD_Lo = 0;
    CheckD = 0;
}
}
else if (Mode==2)
{
// For SRG control [ Hard Chopping Mode ]
    if (ComA >= ThetaOn || ComA <= ThetaOff)
    {
        if (Ia <= Imin )
        {
            Gate_DriveA_Hi = 1;
            Gate_DriveA_Lo = 1;
        }
        else if (Ia >= Imax )
        {
            Gate_DriveA_Hi = 0;
            Gate_DriveA_Lo = 0;
        }
    }
}
else
{
    Gate_DriveA_Hi = 0;
    Gate_DriveA_Lo = 0;
}
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

// For SRG control [ Hard Chopping Mode ]

if (ComB >= ThetaOn || ComB <= ThetaOff)
{
    if (Ib <= Imin )
    {
        Gate_DriveB_Hi = 1;
        Gate_DriveB_Lo = 1;
    }
    else if (Ib >= Imax )
    {
        Gate_DriveB_Hi = 0;
        Gate_DriveB_Lo = 0;
    }
}
else
{
    Gate_DriveB_Hi = 0;
    Gate_DriveB_Lo = 0;
}

// For SRG control [ Hard Chopping Mode ]

if (ComC >= ThetaOn || ComC <= ThetaOff)
{
    if (Ic <= Imin )
    {
        Gate_DriveC_Hi = 1;
        Gate_DriveC_Lo = 1;
    }
    else if (Ic >= Imax )
    {
        Gate_DriveC_Hi = 0;
        Gate_DriveC_Lo = 0;
    }
}
else
{
    Gate_DriveC_Hi = 0;
    Gate_DriveC_Lo = 0;
}

```

```

// For SRG control [ Hard Chopping Mode ]

if (ComD >= ThetaOn || ComD <= ThetaOff)
{
    if (Id <= Imin )
    {
        Gate_DriveD_Hi = 1;
        Gate_DriveD_Lo = 1;
    }
    else if (Id >= Imax )
    {
        Gate_DriveD_Hi = 0;
        Gate_DriveD_Lo = 0;
    }
}
else
{
    Gate_DriveD_Hi = 0;
    Gate_DriveD_Lo = 0;
}
}
else if (Mode == 3)
{
// ==> For SRG control [ Soft Chopping Mode ]

if (ComA >= ThetaOn & ComA <= ThetaOff)
{
    if ( Ia <= Imin )
// Current Regulation of Phase A
    {
        Gate_DriveA_Hi = 1;
        Gate_DriveA_Lo = 1;
    }
    else if( Ia >= Imax )
    {
        Gate_DriveA_Hi = 1;
        Gate_DriveA_Lo = 0;
    }
}

else
{
    Gate_DriveA_Hi = 0;
    Gate_DriveA_Lo = 0;
}
}
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

// ==> For SRG control [ Soft Chopping Mode ]
    if (ComB >= ThetaOn & ComB <= ThetaOff)
    {
        if ( Ib <= Imin )
        {
            Gate_DriveB_Hi = 1;
            Gate_DriveB_Lo = 1;
        }
        else if( Ib >= Imax )
        {
            Gate_DriveB_Hi = 1;
            Gate_DriveB_Lo = 0;
        }
    }
else
{
    Gate_DriveB_Hi = 0;
    Gate_DriveB_Lo = 0;
}

// ==> For SRG control [ Soft Chopping Mode ]
if (ComC >= ThetaOn & ComC <= ThetaOff)
{
    if ( Ic <= Imin )
    {
        Gate_DriveC_Hi = 1;
        Gate_DriveC_Lo = 1;
    }
    else if( Ic >= Imax )
    {
        Gate_DriveC_Hi = 1;
        Gate_DriveC_Lo = 0;
    }
}
else
{
    Gate_DriveC_Hi = 0;
    Gate_DriveC_Lo = 0;
}

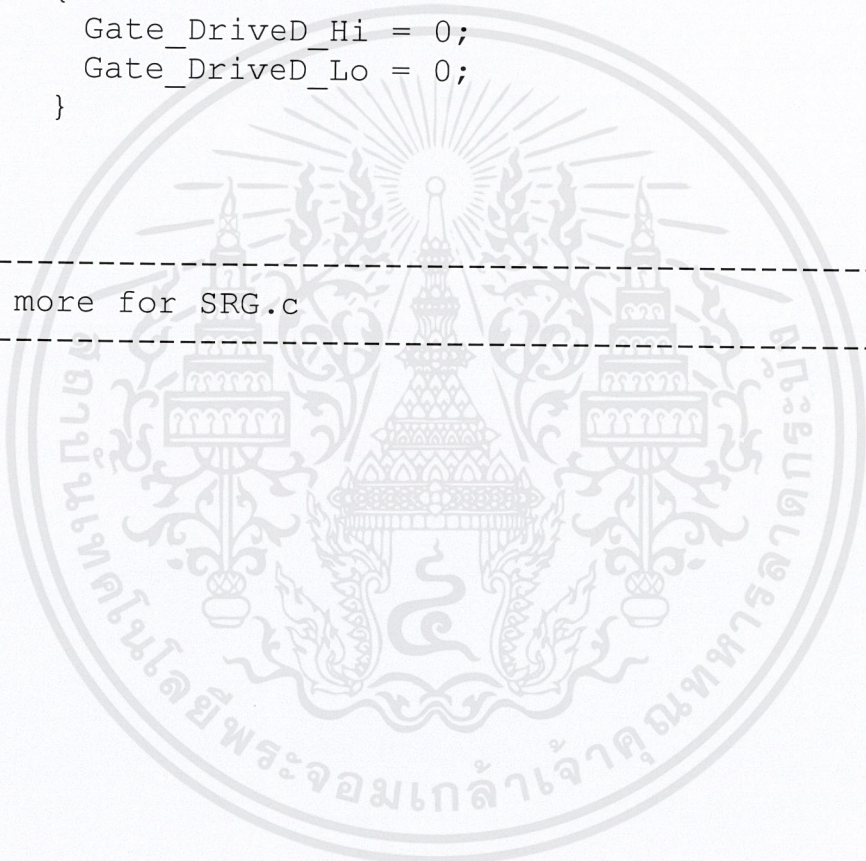
// ==> For SRG control [ Soft Chopping Mode ]

    if (ComD >= ThetaOn & ComD <= ThetaOff)
    {

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
if ( Id <= Imin )
{
    Gate_DriveD_Hi = 1;
    Gate_DriveD_Lo = 1;
}
else if( Id >= Imax )
{
    Gate_DriveD_Hi = 1;
    Gate_DriveD_Lo = 0;
}
}
else
{
    Gate_DriveD_Hi = 0;
    Gate_DriveD_Lo = 0;
}
}
}
//-----
// No more for SRG.c
//-----
```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

//#####
//FILE:      SRM.c
//#####

#include "DSP281x_Device.h"

void Motor(int Mode)
{

extern int16 ThetaOn_SRM;
extern int16 ThetaOff_SRM;

extern int16 Ia;
extern int16 Ib;
extern int16 Ic;
extern int16 Id;

extern int16 Imax;
extern int16 Imin;

extern int16 CheckA;
extern int16 CheckB;
extern int16 CheckC;
extern int16 CheckD;

extern int16 ThetaOn;
extern int16 ThetaOff;

extern int16 ComA;
extern int16 ComB;
extern int16 ComC;
extern int16 ComD;

extern int16 Gate_DriveA_Hi;
extern int16 Gate_DriveB_Hi;
extern int16 Gate_DriveC_Hi;
extern int16 Gate_DriveD_Hi;

extern int16 Gate_DriveA_Lo;
extern int16 Gate_DriveB_Lo;
extern int16 Gate_DriveC_Lo;
extern int16 Gate_DriveD_Lo;

if (Mode==1)
{
// ==> For SRM control [ Soft Chopping Mode ]

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

if (ComA >= ThetaOn_SRM & ComA <= ThetaOff_SRM)
{
    if ( Ia <= Imin )
// Current Regulation of Phase A
    {
        Gate_DriveA_Hi = 1;
        Gate_DriveA_Lo = 1;
    }
    else if( Ia >= Imax )
    {
        Gate_DriveA_Hi = 0;
        Gate_DriveA_Lo = 1;
    }
}
else
{
    Gate_DriveA_Hi = 0;
    Gate_DriveA_Lo = 0;
}
// ==> For SRM control [ Soft Chopping Mode ]
if (ComB >= ThetaOn_SRM & ComB <=
ThetaOff_SRM)
{
    if ( Ib <= Imin )
    {
        Gate_DriveB_Hi = 1;
        Gate_DriveB_Lo = 1;
    }
    else if( Ib >= Imax )
    {
        Gate_DriveB_Hi = 0;
        Gate_DriveB_Lo = 1;
    }
}
else
{
    Gate_DriveB_Hi = 0;
    Gate_DriveB_Lo = 0;
}
// ==> For SRM control [ Soft Chopping Mode ]

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    if (ComC >= ThetaOn_SRM & ComC <=
ThetaOff_SRM)
    {
        if ( Ic <= Imin )
        {
            Gate_DriveC_Hi = 1;
            Gate_DriveC_Lo = 1;
        }
        else if( Ic >= Imax )
        {
            Gate_DriveC_Hi = 0;
            Gate_DriveC_Lo = 1;
        }
    }
else
{
    Gate_DriveC_Hi = 0;
    Gate_DriveC_Lo = 0;
}

// ==> For SRM control [ Soft Chopping Mode ]
if (ComD >= ThetaOn_SRM & ComD <=
ThetaOff_SRM)
{
    if ( Id <= Imin )
    {
        Gate_DriveD_Hi = 1;
        Gate_DriveD_Lo = 1;
    }
    else if( Id >= Imax )
    {
        Gate_DriveD_Hi = 0;
        Gate_DriveD_Lo = 1;
    }
}
else
{
    Gate_DriveD_Hi = 0;
    Gate_DriveD_Lo = 0;
}
}

else if (Mode==2)
{
    // ==> For SRM control [ Hard Chopping Mode ]

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    if (ComA >= ThetaOn_SRM & ComA <=
ThetaOff_SRM)
    {
        if ( Ia <= Imin )
// Current Regulation of Phase A
        {
            Gate_DriveA_Hi = 1;
            Gate_DriveA_Lo = 1;
        }
        else if( Ia >= Imax )
        {
            Gate_DriveA_Hi = 0;
            Gate_DriveA_Lo = 0;
        }
    }
else
{
    Gate_DriveA_Hi = 0;
    Gate_DriveA_Lo = 0;
}
// ==> For SRM control [ Hard Chopping Mode ]
    if (ComB >= ThetaOn_SRM & ComB <=
ThetaOff_SRM)
    {
        if ( Ib <= Imin )
        {
            Gate_DriveB_Hi = 1;
            Gate_DriveB_Lo = 1;
        }
        else if( Ib >= Imax )
        {
            Gate_DriveB_Hi = 0;
            Gate_DriveB_Lo = 0;
        }
    }
else
{
    Gate_DriveB_Hi = 0;
    Gate_DriveB_Lo = 0;
}

// ==> For SRM control [ Hard Chopping Mode ]

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    if (ComC >= ThetaOn_SRM & ComC <=
ThetaOff_SRM)
    {
        if ( Ic <= Imin )
        {
            Gate_DriveC_Hi = 1;
            Gate_DriveC_Lo = 1;
        }
        else if( Ic >= Imax )
        {
            Gate_DriveC_Hi = 0;
            Gate_DriveC_Lo = 0;
        }
    }
else
{
    Gate_DriveC_Hi = 0;
    Gate_DriveC_Lo = 0;
}

// ==> For SRM control [ Hard Chopping Mode ]
if (ComD >= ThetaOn_SRM & ComD <=
ThetaOff_SRM)
{
    if ( Id <= Imin )
    {
        Gate_DriveD_Hi = 1;
        Gate_DriveD_Lo = 1;
    }
    else if( Id >= Imax )
    {
        Gate_DriveD_Hi = 0;
        Gate_DriveD_Lo = 0;
    }
}
else
{
    Gate_DriveD_Hi = 0;
    Gate_DriveD_Lo = 0;
}
}
}
//-----
// No more for SRM.c
//-----

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
//#####
//FILE:    Vregulator.c
//#####
```

```
#include "DSP281x_Device.h"
```

```
extern int16 CheckVdc;
extern int16 Vdc;
extern int16 Vmax;
extern int16 Vmin;
extern int16 ThetaOff;
extern int16 ThetaOff_Reg;
extern int16 ThetaOn_Reg;
extern int16 ThetaOn;
```

```
void VoltageRegulator()
{
if (CheckVdc == 0)
{
if (Vdc <= Vmin)
ThetaOn = ThetaOn_Reg;
else if (Vdc >= Vmax)
{
ThetaOn = ThetaOn + 5;
CheckVdc = 1;
}
else
ThetaOn = ThetaOn;
}
else if (CheckVdc == 1)
{
if (Vdc >= Vmax)
{
if (ThetaOn >=1800 && ThetaOn <= 2400)
ThetaOn = ThetaOn+5;

if (ThetaOn > 2400)
// If ThetaOff is more than 100.It will not be
reduced.
ThetaOn = (ThetaOn+5)-2400;

if (ThetaOn >=0 && ThetaOn <= 500)
ThetaOn = ThetaOn+5;
}
else if (Vdc <= Vmin)
{
if (ThetaOn >=0 && ThetaOn <= 500)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        ThetaOn = ThetaOn-5;

    if (ThetaOn <= 0)
        ThetaOn = 2400+ThetaOn;

    if (ThetaOn <= 2400 && ThetaOn >=1800)
        ThetaOn = 2400-5;
    }
else
    ThetaOn = ThetaOn;

    if (Vdc < 100)
        CheckVdc = 0;

}

}

void VoltageRegulator()
{
    if (CheckVdc == 0)
    {
        if (Vdc <= Vmin)
            ThetaOff = ThetaOff_Reg;
        else if (Vdc >= Vmax)
        {
            ThetaOff = ThetaOff - 5;
            CheckVdc = 1;
        }
        else
            ThetaOff = ThetaOff;
    }

    else if (CheckVdc == 1)
    {
        if (Vdc >= Vmax)
        {
            if (ThetaOff >= 100)
                // If ThetaOff is more than 100.It will not be
                reduced.
                ThetaOff = ThetaOff-5;
            else
                ThetaOff = ThetaOff;
        }
        else if (Vdc <= Vmin)
        {
            if (ThetaOff <= 1000)

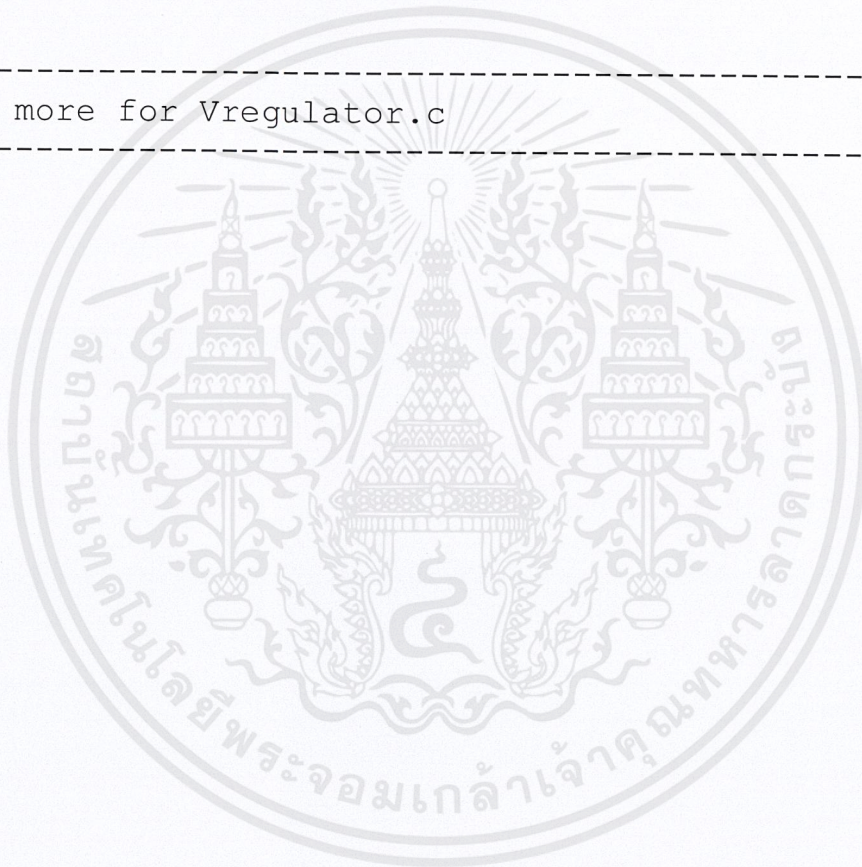
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
// If ThetaOff is less than 1000.It will not be
added.
    ThetaOff = ThetaOff+5;
else
    ThetaOff = ThetaOff;
}
else
    ThetaOff = ThetaOff;

if (Vdc < 100)
    CheckVdc = 0;

}
}
//-----
// No more for Vregulator.c
//-----
```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

//#####
//FILE:      Speed.c
//#####

#include "DSP281x_Device.h"

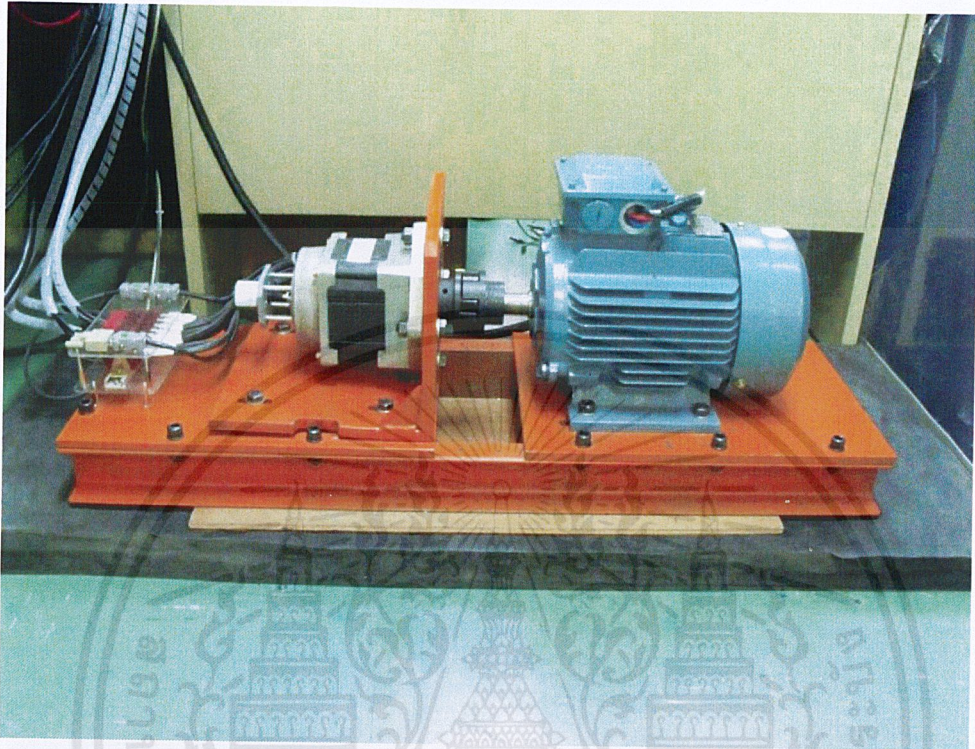
float ComputeSpeed()
{
    extern int16 MechTheta;
    extern float Speed;
    extern int Speed1;
    extern int Speed2;
    extern int Speed3;
    extern int CheckSpeed;

    if(CheckSpeed == 0 )
    {
        Speed1 = MechTheta;
        CheckSpeed = 1;
    }
    else if(CheckSpeed ==1)
    {
        Speed2 = MechTheta;
        Speed3 = Speed2-Speed1;
        Speed = (Speed3*600000)/14400;
        CheckSpeed = 0;
    }
    return Speed;
}
//-----
// No more for Speed.c
//-----

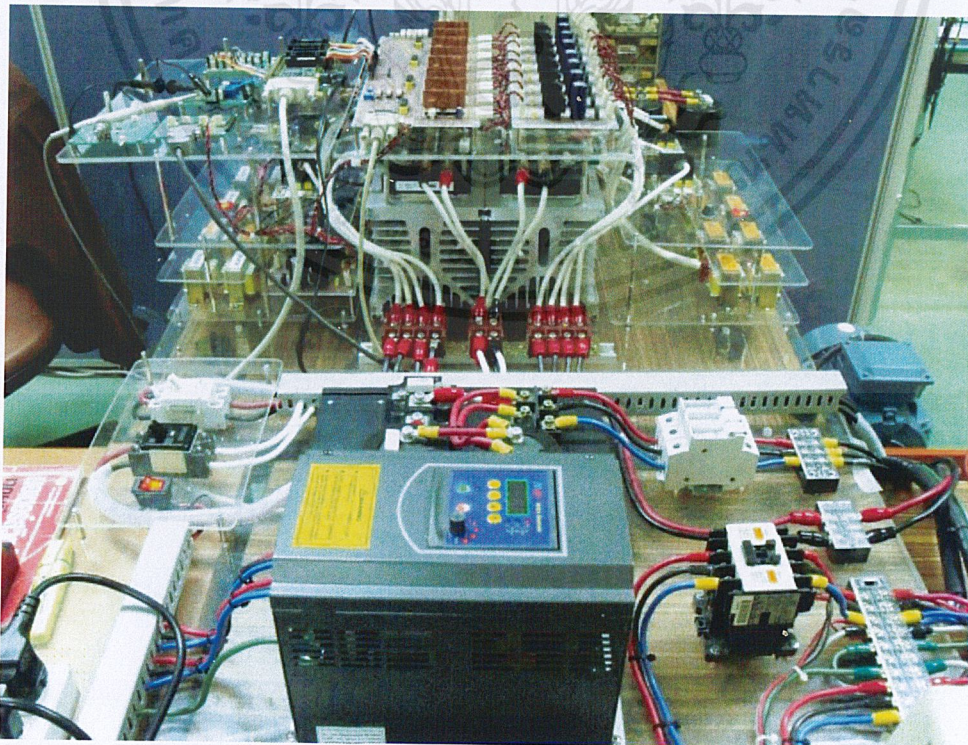
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

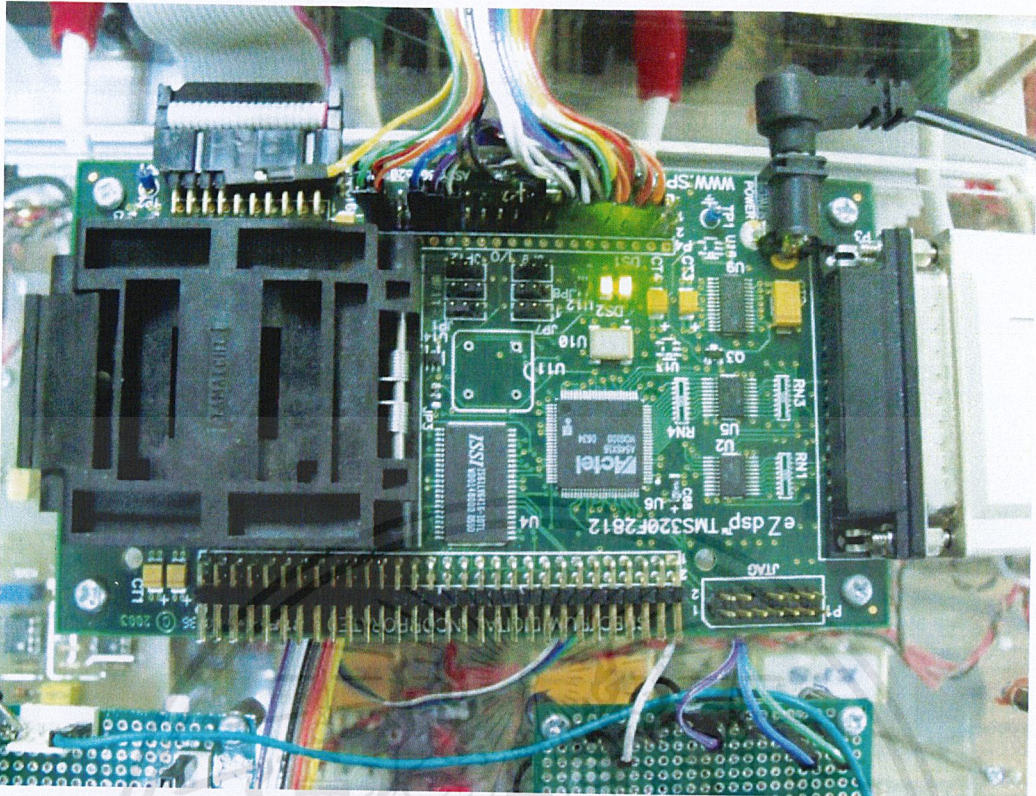
ภาคผนวก ข
ชุดวิจัยเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบสวิตช์รีลัคแตนซ์



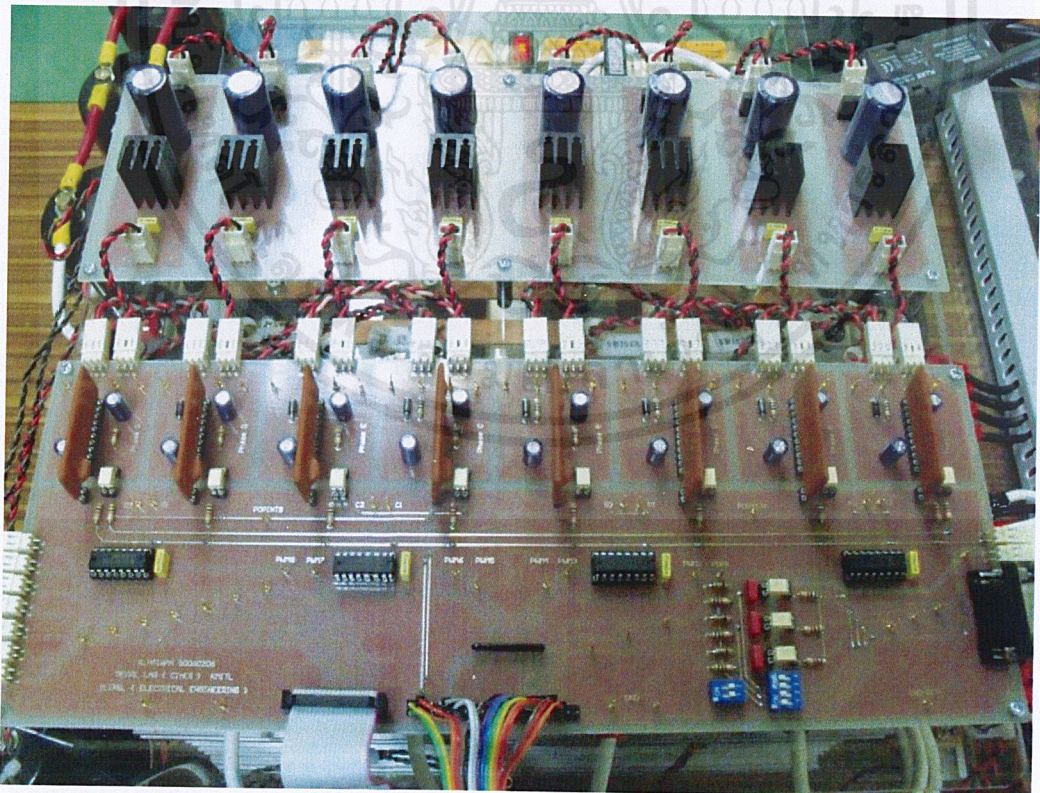
ภาพที่ ข.1 เครื่องจักรกลไฟฟ้าแบบสวิตช์รีลัคแตนซ์ (ซ้าย) มอเตอร์เหนี่ยวนำไฟฟ้า (ขวา)



ภาพที่ ข.2 ภาพรวมของอุปกรณ์ขับเคลื่อนเครื่องจักรกลไฟฟ้าแบบสวิตช์รีลัคแตนซ์
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่ขึ้นด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

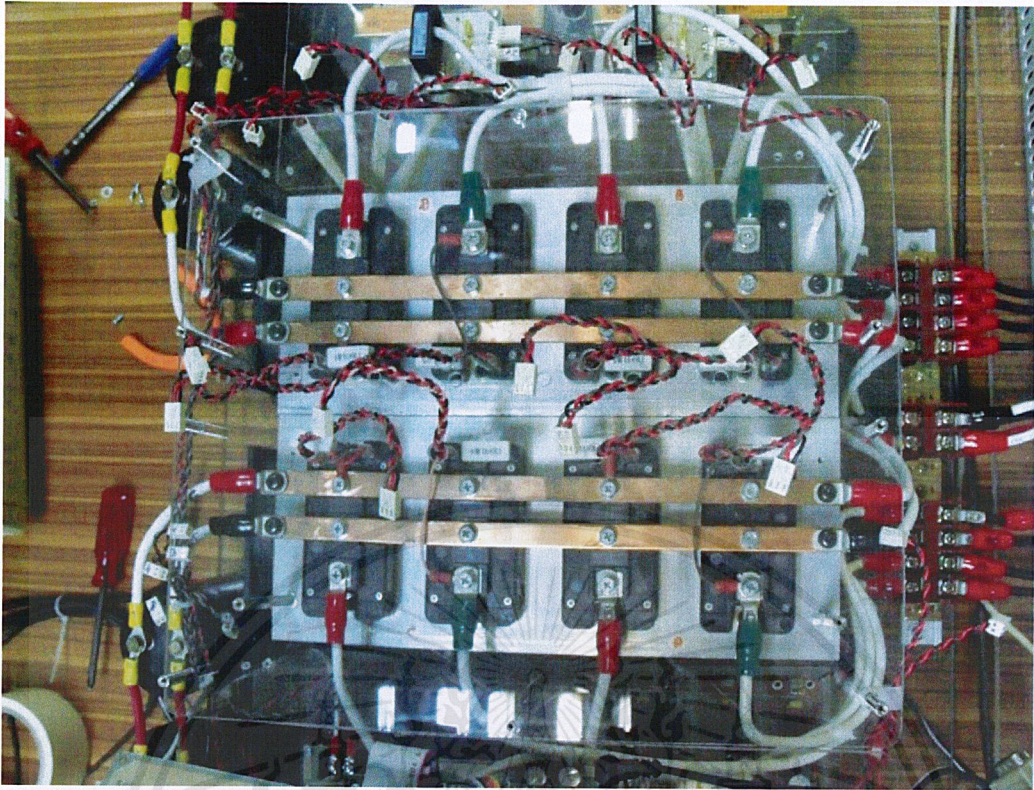


ภาพที่ ข.3 ตัวประมวลผล DSP320F2812

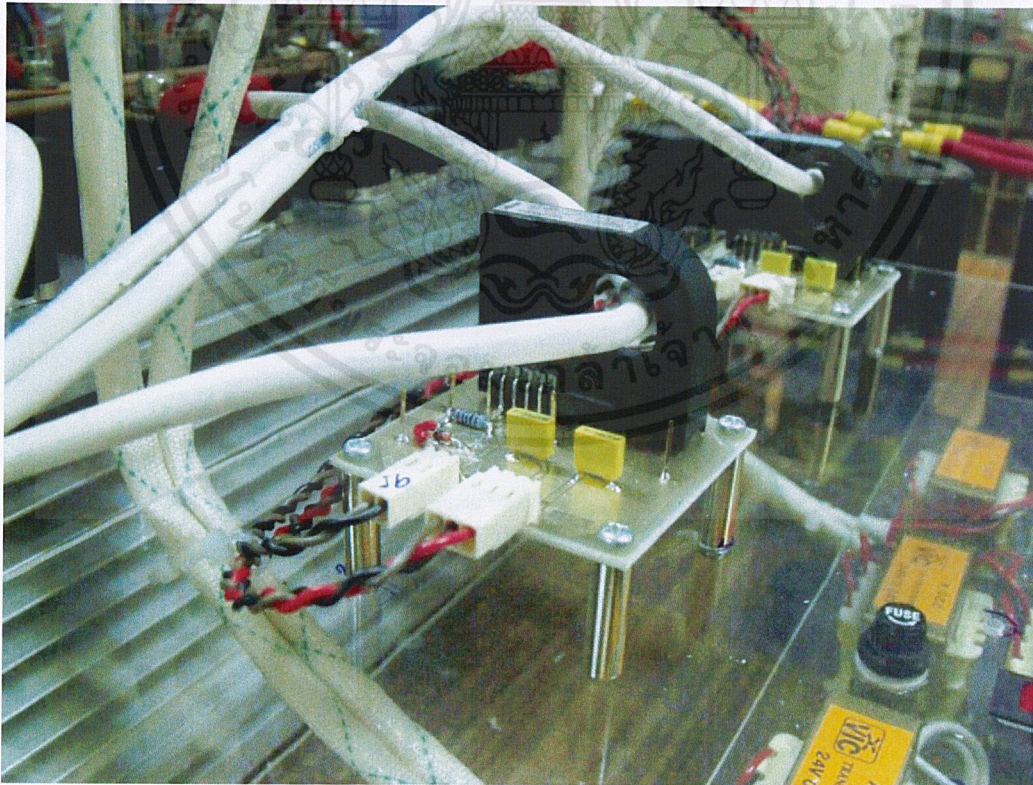


ภาพที่ ข.4 วงจร IGBT Gate Drives

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

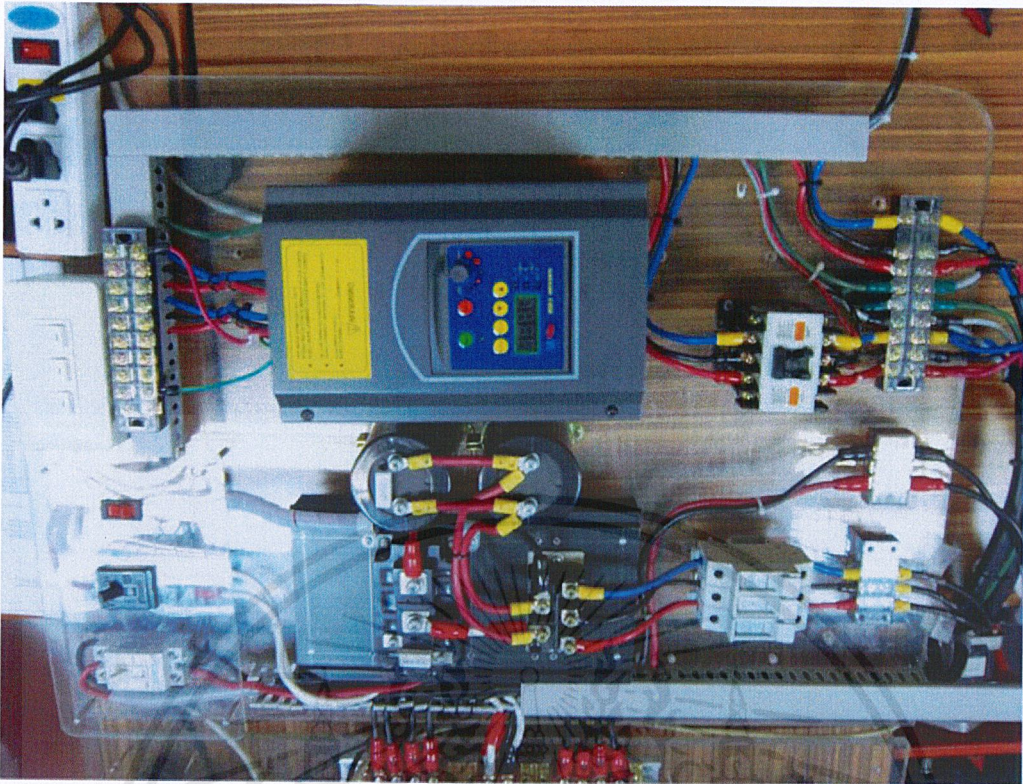


ภาพที่ ข.5 วงจร Asymmetrical Half- Bridge Converter



ภาพที่ ข.6 วงจรวัดกระแสแต่ละเฟส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ ข.7 Inverter (บน) และ Rectifier (ล่าง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การควบคุมเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบสวิตซ์รีลักแตนซ์

Control of a Switched-Reluctance Generator

ธำปนา ประมาต ฐนพล ชื่นเจริญชัย ฐนพล ตั้งใจธรรมโชติ และตะวัน พลับใหญ่
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ถนนลาดกองกรุง แขวงลำปลาทิว เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520 โทร/โทรสาร. 0-2739-2478

บทคัดย่อ

บทความฉบับนี้นำเสนอผลการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการควบคุมเครื่องจักรกลไฟฟ้าแบบสวิตซ์รีลักแตนซ์ (Switched-reluctance machine ; SRM) ชนิดสเตเตอร์ 8 ขั้ว โรเตอร์ 6 ขั้ว (8/6) เพื่อควบคุมให้ทำงานอยู่ในสภาวะของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และสามารถรักษาระดับแรงดัน DC Bus เท่ากับ 48 โวลต์ที่ความเร็วต่างๆ ซึ่งใช้วงจรคอนเวอร์เตอร์กำลังแบบไม่สมมาตรเป็นตัวขับเคลื่อน และมีการควบคุมกระแสโดยใช้ Hysteresis Band Control โดยใช้ DSP 320F2812 ประมวลผลตามทีโปรแกรมไว้เพื่อเป็นตัวควบคุมการทำงานของ IGBT ทั้ง 8 ตัวในช่วงที่แรงบิดมีค่าลบ ซึ่งส่งผลให้อยู่ในสภาวะการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า โดยการกำหนดมุมนำกระแสและมี Induction motor เป็นต้นกำลัง

คำสำคัญ: เครื่องจักรกลไฟฟ้าแบบสวิตซ์รีลักแตนซ์, วงจรคอนเวอร์เตอร์กำลังแบบไม่สมมาตร

Abstract

This article presents the results of a control of a 4-phase 8/6 switched-reluctance machine (SRM). The purpose of the paper is to operate SRM as a generator and to regulate DC bus voltage at 48 V_{dc} during speed of the rotor is varied. The power electronic converter used in this scheme control is an asymmetric half-bridge converter. Regulation of phase current is using hysteresis band control. Meanwhile, the real-time control is implemented in DSP 320F2812 digital signal processor (DSP) environment. It controls phase currents while the slope of inductance profiles is negative so that SRM can operate as a generator by an induction motor as a prime mover.

Keywords: Switched-reluctance machine, Asymmetric half-bridge converter

1. บทนำ

เครื่องจักรกลไฟฟ้าแบบสวิตซ์รีลักแตนซ์ เริ่มได้รับความนิยมและสนใจในยุโรปและอเมริกา อันเนื่องมาจากโครงสร้างที่มีซับซ้อน

ราคาถูก ไม่ต้องมีการบำรุงรักษามาก รวมทั้งสามารถทำงานได้แม้กระทั่งเฟสใดเฟสหนึ่งเกิดความเสียหาย

เครื่องจักรกลไฟฟ้าแบบสวิตซ์รีลักแตนซ์ (SRM) เป็นเครื่องจักรกลไฟฟ้าที่มีโครงสร้างที่ง่าย ประกอบด้วยสเตเตอร์และโรเตอร์แบบขั้วยื่น โดยที่สเตเตอร์มีขดลวดพันอยู่ ส่วนโรเตอร์นั้นเป็นเพียงแผ่นเหล็กลามิเนตประกอบ และไม่มีขดลวดพัน[1]

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการสร้างระบบควบคุม จะใช้ DSP 320F2812 ประมวลผลตามโปรแกรมที่ได้ออกแบบไว้ และจะส่งสัญญาณไปยังวงจรขับเคลื่อนแบบ 2 สวิตซ์ต่อเฟสเพื่อควบคุมการป้อนพลังงานให้กับขดลวดเฟส อีกทั้งยังเป็นการควบคุมให้สัญญาณของกระแสเป็นไปตามที่ต้องการ

จุดประสงค์ของบทความนี้จะเป็นการนำเสนอการควบคุมเครื่องจักรกลไฟฟ้าแบบสวิตซ์รีลักแตนซ์ให้เป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และสามารถรักษาระดับแรงดัน 48 โวลต์ ที่ดีซีบัส

2. เครื่องจักรกลไฟฟ้าแบบสวิตซ์รีลักแตนซ์ (SRM)

เครื่องจักรกลไฟฟ้าแบบสวิตซ์รีลักแตนซ์ จะมีแรงบิดที่เกิดจากการที่ส่วนเคลื่อนที่ได้ หมุนไปยังตำแหน่งที่ทำให้ค่าความเหนี่ยวนำมากที่สุด และสามารถเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งที่ให้ค่าความเหนี่ยวนำมากที่สุดตำแหน่งอื่นได้โดยการเลือกป้อนกระแสให้กับขดลวดเฟสที่อยู่ถัดไป [1]

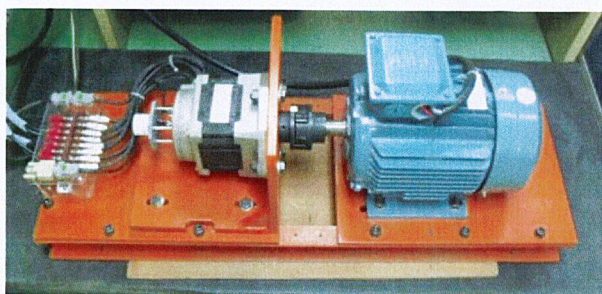
สำหรับงานวิจัยนี้ได้เลือกเครื่องจักรกลไฟฟ้าแบบสวิตซ์รีลักแตนซ์ 4 เฟส แบบ 8/6 รุ่น RA165187 (Motion System Technology)ซึ่งมีพิกัดต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 1 และลักษณะโดยทั่วไปแสดงดังรูปที่ 1

ตารางที่ 1 พิกัดของเครื่องจักรกลไฟฟ้าสวิตซ์รีลักแตนซ์

Model	RA 165187-15T
Rated output	2.32 kW
Rated speed/Max speed	6,000/12,000 rpm
Torque/Max torque	3.69/4.20 N-m
Rated voltage	48 VDC
Dimension	130x130x160 mm
Number of stator/rotor phase	4 phase , 8/6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

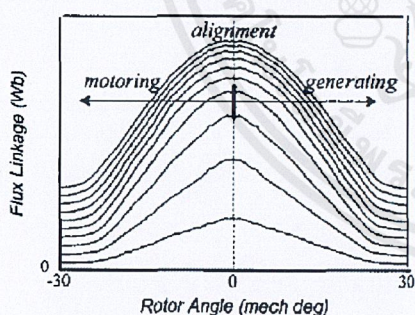


รูปที่ 1 เครื่องจักรกลไฟฟ้าแบบสวิตซ์รีลักแตนซ์ 4 เฟส แบบ 8/6 (ซ้าย) ต่อคัปปลิ่งกับมอเตอร์เหนี่ยวนำต้นกำลัง (ขวา)

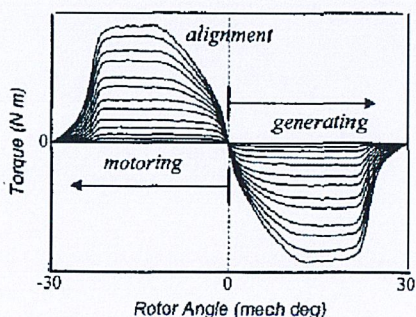
3. การแปลงผันพลังงาน [3]

เครื่องจักรกลไฟฟ้าแบบสวิตซ์รีลักแตนซ์ สามารถกำเนิดพลังงานไฟฟ้า โดยการจ่ายกระแสกระตุ้นขดลวดเฟสที่ตำแหน่งโรเตอร์ ช่วงหลังตำแหน่ง Alignment ซึ่งการกระตุ้นขดลวดแต่ละเฟสนั้น ต้องกระตุ้นในช่วงความชันของฟลักซ์แม่เหล็กเกี่ยวข้องกับตำแหน่งโรเตอร์มีค่าเป็นลบ ดังแสดงในรูปที่ 2

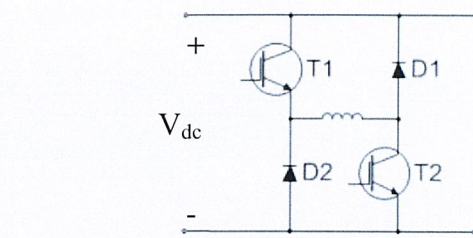
ในโหมดการทำงานเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้านั้น SRM จะสร้างแรงบิดค่าลบเมื่อเทียบกับทิศทางการหมุนนั้นๆ ดังแสดงในรูปที่ 3 ซึ่งส่งผลให้เกิดการต้านการหมุนของโรเตอร์ แต่โรเตอร์ยังหมุนต่อไป เนื่องจากระบบได้รับพลังงานทางกลซึ่งจ่ายออกมาจากต้นกำลัง และแปลงเป็นพลังงานไฟฟ้าโดยคืนพลังงานกลับไปยัง DC Bus



รูปที่ 2 กราฟฟลักซ์ลักษณะของฟลักซ์แม่เหล็กเกี่ยวข้องกับ [3]



รูปที่ 3 กราฟฟลักซ์ลักษณะของแรงบิด [3]



รูปที่ 4 วงจรขับเคลื่อนแบบ 2 สวิตซ์ต่อเฟส

4. วงจรขับเคลื่อนแบบ 2 สวิตซ์ต่อเฟส

วงจรถูกขับเคลื่อนเครื่องจักรกลไฟฟ้าแบบสวิตซ์รีลักแตนซ์มีหลายแบบ แต่ในการวิจัยนี้จะใช้แบบสองสวิตซ์ต่อเฟส หรือที่เรียกว่าคอนเวอร์เตอร์กึ่งสะพานไม่สมมาตร (Asymmetrical Half-Bridge Converter) แสดงดังรูปที่ 4 เนื่องจากวงจรถูกขับเคลื่อนนี้มีสมรรถนะสูง สามารถสร้างแรงดันคร่อมขดลวดเฟสได้ทั้งค่าบวก ค่าศูนย์ และค่าลบ และสวิตซ์แต่ละเฟสยังแยกอิสระจากกัน ซึ่งถ้าสวิตซ์ของเฟสใดเฟสหนึ่งเสียหาย มอเตอร์ก็ยังสามารถทำงานต่อไปได้

การควบคุมสวิตซ์ แบ่งออกเป็น 3 สถานะ คือ

1. Magnetization คือสถานะที่จ่ายกระแสกระตุ้นขดลวดเฟส โดยการ ON สวิตซ์ทั้ง T1 และ T2 เพื่อให้แรงดันคร่อมขดลวดเฟสมีค่าเท่ากับแรงดันดีซีลิงก์
2. Freewheeling คือสถานะที่ ON สวิตซ์ T1 และไดโอด D1 หรือ T2 และ D2 เพื่อให้เกิดกระแสไหลวน แรงดันคร่อมขดลวดเฟสมีค่าใกล้ศูนย์
3. Demagnetization คือสถานะที่ OFF สวิตซ์ทั้ง T1 และ T2 สถานะนี้จะได้แรงดันลบดีซีลิงก์คร่อมขดลวดเฟส กระแสจะไหลผ่านไดโอดทั้งสองไปชาร์จตัวเก็บประจุดีซีลิงก์

5. การทำงานเชิงพลวัต [3]

เครื่องจักรกลไฟฟ้าแบบสวิตซ์รีลักแตนซ์ สามารถทำงานเป็นได้ทั้งเจนเนอเรเตอร์ และมอเตอร์ เพียงแค่ควบคุมผ่านมุมจุดชาน ในการควบคุมให้เป็นสถานะเจนเนอเรเตอร์จะควบคุมมุมนำกระแสให้อยู่ย่านที่ความชันของอินดักแตนซ์เมื่อเทียบกับตำแหน่งโรเตอร์เป็นค่าลบ

เมื่อพิจารณาสมการแรงดันเฟสของสวิตซ์รีลักแตนซ์

$$v = Ri + \frac{d\lambda(i, \theta)}{dt} \tag{1}$$

ซึ่งฟลักซ์ลิงก์เกจเป็นฟังก์ชันของกระแสและตำแหน่งของโรเตอร์ ดังนั้นสมการแรงดันเฟส จะสามารถแสดงได้ดังนี้

$$v = Ri + \frac{\partial \lambda}{\partial i} \cdot \frac{di}{dt} + \frac{\partial \lambda}{\partial \theta} \cdot \omega \tag{3}$$

พจน์สุดท้ายของสมการที่(3) คือ แรงดันไฟฟ้าต้านกลับ (Back

EMF:e)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$e = \frac{\partial \lambda}{\partial \theta} \cdot \omega = \frac{\partial L}{\partial \theta} \cdot i\omega \quad (4)$$

เมื่อพิจารณาแรงดันเฟสสำหรับการทำงานในสถานะเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ช่วงการกระตุ้น สวิตช์ทั้งสองตัวทำงาน ขดลวดเฟสจะต่อกับขั้วบัสไฟตรง ส่งผลให้กระแสเฟสเพิ่มขึ้น

$$V_{dc} = Ri_{exc} + L \frac{di_{exc}}{dt} - |e| \quad (5)$$

ช่วงกระแสไหลวน สวิตช์ T1 และไดโอด D1 ทำงานหรือ สวิตช์ T2 และไดโอด D2 ทำงาน แรงดันตกคร่อมขดลวดเฟสจะเป็นศูนย์ แต่อย่างไรก็ตาม กระแสเฟสจะเพิ่มยังคงเพิ่มขึ้นเนื่องมาจากอิทธิพลของแรงดันไฟฟ้าต้านกลับ

$$0 = Ri_{fre} + L \frac{di_{fre}}{dt} - |e| \quad (6)$$

ในช่วง Demagnetization สวิตช์ทั้งสองตัวไม่ทำงาน ทำให้ขั้วบัสไฟตรงต่อกลับขั้วกับขดลวดเฟสผ่านไดโอด ส่งผลให้กระแสเฟสไหลและส่งผลงานกลับสู่บัสไฟตรง

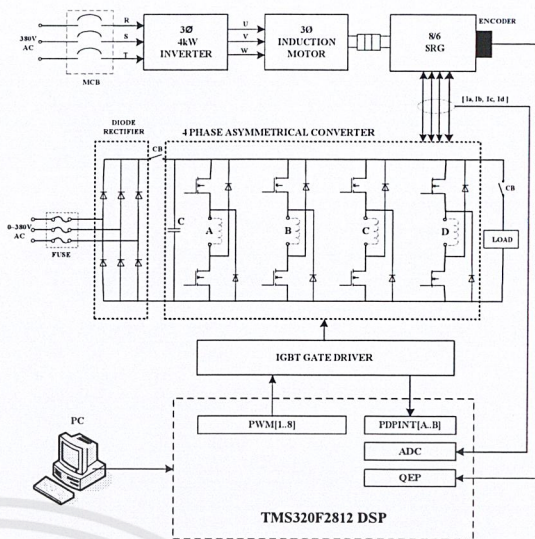
$$-V_{dc} = Ri_{gen} + L \frac{di_{gen}}{dt} - |e| \quad (7)$$

6. ลักษณะโครงสร้างของระบบควบคุมเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบ สวิตช์รีลักแตนซ์

ลักษณะโครงสร้างของระบบควบคุมและวงจรกำลังสำหรับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบสวิตช์รีลักแตนซ์ ซึ่งประกอบด้วยชุดขับอินดิคชั่นมอเตอร์ ชุดคอนเวอร์เตอร์กำลังแบบไม่สมมาตร (Asymmetrical Half-Bridge Converter) ชุดขับนำเกต และตัวประมวลผลสัญญาณดิจิทัล (DSP) ภาพรวมของโครงสร้างแสดงดังรูปที่ 5

ทางด้านซอฟต์แวร์สำหรับการควบคุมเครื่องจักรกลไฟฟ้าแบบสวิตช์รีลักแตนซ์ให้สามารถทำงานในโหมดเจนเนอเรเตอร์ และสามารถรักษาระดับแรงดันดีซีที่ 48 โวลต์ ที่ความเร็วและโหลดต่างๆ โดยอาศัยการป้อนกลับแรงดันเพื่อเข้าไปประมวลผล หากแรงดันที่ป้อนกลับนั้นมากกว่าแรงดันอ้างอิง ตัวประมวลผล DSP จะปรับมุม Off ให้น้อยลงทีละ 20 count (0.5 องศา) แต่ถ้าหากแรงดันที่ป้อนกลับเข้ามานั้นมีค่าน้อยกว่าแรงดันอ้างอิง ตัวประมวลผล DSP จะปรับมุม Off ให้มากขึ้นทีละ 20 count (0.5 องศา) เพื่อที่จะรักษาระดับแรงดันที่ 48 โวลต์

ส่วนการควบคุมการสับเปลี่ยนเป็นโหมดจางมอเตอร์ เป็นเจนเนอเรเตอร์อย่างต่อเนื่อง จะมีตัวส่งสัญญาณเข้าให้กับ DSP เพื่อให้ประมวลผล และทำการเปลี่ยนมุมนำกระแสจากช่วงที่ความชันของค่าความเหนี่ยวนำเมื่อเทียบกับทิศทางการหมุนเป็นบวก ให้อยู่ในช่วงที่ความชันของค่าความเหนี่ยวนำเมื่อเทียบกับทิศทางการหมุนเป็นลบ



รูปที่ 5 โครงสร้างของระบบควบคุมเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบสวิตช์รีลักแตนซ์ 4 เฟส แบบ 8/6

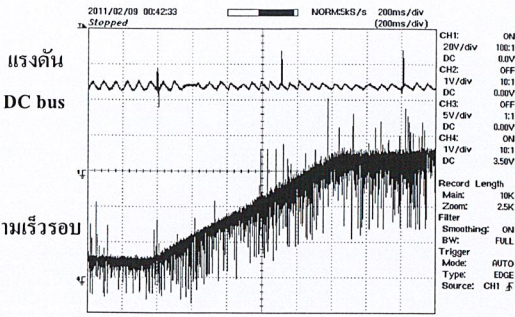
7. ผลการทดลอง

ในส่วนของการทดลอง จะเป็นการทดสอบการควบคุมเครื่องจักรกลไฟฟ้าแบบสวิตช์รีลักแตนซ์ให้ทำงานในสถานะของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า โดยมีการควบคุมกระแสเฟสแบบต่างๆ คือ Single Pulse Hard Chopping และ Soft Chopping ทั้งยังสามารถรักษาระดับแรงดัน DC bus ที่ 48 โวลต์ได้

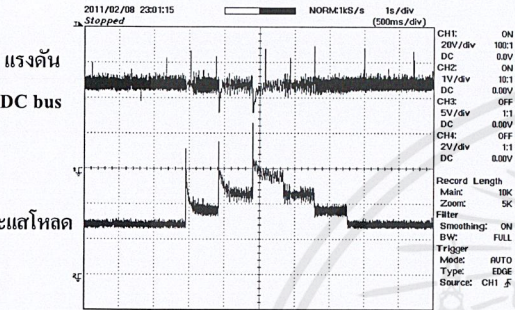
จากรูปที่ 6 เป็นผลการทดลองการรักษาระดับแรงดันที่ DC bus ไว้ที่ 48 โวลต์ โดยการปรับความเร็ว จาก 3,000 รอบต่อนาที ไปจนถึง 6,000 รอบต่อนาที ในสภาวะการทำงานที่ไม่มีกระแสไฟฟ้า ซึ่งสามารถรักษาระดับแรงดันที่ 48 โวลต์ได้ตามที่โปรแกรมไว้

จากรูปที่ 7 เป็นผลการทดลองการปรับเปลี่ยนโหลด โดยที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าทำงานที่ความเร็ว 6,750 รอบต่อนาที และมีโหลดเริ่มต้นที่ 30 เปอร์เซ็นต์ของพิกัด จากนั้นจะมีการเพิ่มโหลดแบบขั้นบันไดครั้งละ 20 เปอร์เซ็นต์ของพิกัด 3 ครั้ง และลดโหลดครั้งละ 20 เปอร์เซ็นต์ของพิกัด จนเหลือโหลดเท่ากับค่าเริ่มต้น ซึ่งระบบสามารถรักษาระดับแรงดันได้ที่ 48 โวลต์ตามที่โปรแกรมไว้

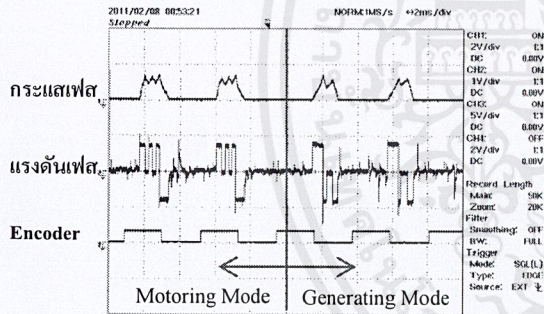
จากรูปที่ 8 เป็นผลการทดลองการสับเปลี่ยนสภาวะการทำงานของเครื่องจักรกลไฟฟ้าจากมอเตอร์ไปเป็นเจนเนอเรเตอร์ โดยเริ่มแรกเป็นการทำงานในโหมดมอเตอร์ที่ความเร็ว 3,000 รอบต่อนาที จากนั้นทำการสับเปลี่ยนให้อยู่ในโหมดของเจนเนอเรเตอร์ โดยขณะทำงานเป็นมอเตอร์ รูปคลื่นของกระแสเฟส จะมีลักษณะ ช่วงขึ้นที่เร็ว แต่ช่วงลงจะช้า และในทางกลับกันขณะทำงานเป็นเจนเนอเรเตอร์ รูปคลื่นของกระแสเฟส จะมีลักษณะช่วงขึ้นที่ช้า แต่ช่วงลงจะเร็ว ซึ่งสอดคล้องกับทฤษฎีการทำงานของเครื่องจักรกลไฟฟ้าแบบสวิตช์รีลักแตนซ์



รูปที่ 6 ผลการทดลองรักษาระดับแรงดัน 48 โวลท์ ที่ความเร็วต่างๆ



รูปที่ 7 ผลการทดลองรักษาระดับแรงดัน 48 โวลท์ เมื่อมีการปรับเปลี่ยนโหลดแบบขั้นบันได



รูปที่ 8 ผลการทดลองการสับเปลี่ยนสถานะการทำงาน จากมอเตอร์เป็นเจนเนอเรเตอร์

8. สรุป

บทความนี้นำเสนอทฤษฎีเบื้องต้นของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบสวิตซ์รีลักแตนซ์ วงจรขับเคลื่อน และการควบคุมกระแสในแบบต่างๆ และผลการทดลองเพื่อยืนยันความถูกต้อง

ชุดการวิจัยที่ได้สร้างขึ้นมาสามารถควบคุมเครื่องจักรกลไฟฟ้าแบบสวิตซ์รีลักแตนซ์ให้สามารถรักษาระดับแรงดัน DC bus เท่ากับ 48 โวลท์ ได้ที่ย่านความเร็ว 3,000-6,000 รอบต่อนาที ในสภาวะการทำงานที่ไม่มีภาระไฟฟ้า และถ้าจะเพิ่มภาระไฟฟ้าจำเป็นต้องเพิ่มความเร็วจนถึงความเร็วขั้นต่ำที่ 6,750 รอบต่อนาที เพื่อให้ได้แรงดัน 48 โวลท์ เพราะความเร็วเป็นปัจจัยที่มีผลต่อแรงดันต้านกลับ และจำเป็นที่จะต้องมียูนิทกระแสที่เหมาะสม จึงจะทำให้ได้กำลังออกที่สูงที่สุด

ชุดการวิจัยนี้สามารถนำไปพัฒนาต่อยอด โดยการเพิ่มล้อย่อยแรงมาประกอบกับเครื่องจักรกลไฟฟ้าแบบสวิตซ์รีลักแตนซ์ให้ในสภาวะปกติ จะทำงานเป็นมอเตอร์ขับเคลื่อนด้วยแรงเพื่อเก็บพลังงานให้อยู่ในรูปของพลังงานจลน์ แต่ถ้าหากไฟดับ จะสับเปลี่ยนโหมดการทำงานให้อยู่ในโหมดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า โดยที่ จะอาศัยพลังงานสะสมในล้อย่อยแรงเป็นต้นกำลังขับ

9. ข้อเสนอแนะ

- ไม่ควรใช้เทคนิคการควบคุมกระแสแบบ Single Pulse ที่ความเร็วต่ำๆ เพราะจะทำให้กระแสเฟสพุ่งขึ้นสูงมาก ขดลวดเฟสอาจเสียหายได้
- ควรใช้เทคนิคการควบคุมกระแสแบบ Single Pulse ในการขับโหลดสูงๆ เพราะจะทำให้ได้กำลังสูงกว่าเทคนิคอื่น ที่ความเร็วเดียวกัน
- หากนำไปพัฒนาเพิ่มล้อย่อยแรง ควรเพิ่มการควบคุมในขณะล้อย่อยแรงมีความเร็วลดลง โดยการควบคุมมุมสั่งนำ และมุมสั่งหยุดนำกระแส ให้สัมพันธ์กับความเร็วที่ลดลง

10. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับความกรุณาจากพี่ไพบรพรรณ เกิดตรง และพี่ๆ ปริญญาโททุกท่านในห้อง PEARL LAB ที่คอยให้คำแนะนำ คำปรึกษา ทั้งทางด้านฮาร์ดแวร์ และซอฟต์แวร์จนทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ทางคณะผู้จัดทำ ขอขอบพระคุณไว้ ณ ที่นี้ด้วย

เอกสารอ้างอิง

- [1] สุวัฒน์ กิตติรัตน์ตั้งจา, “มอเตอร์สวิตซ์รีลักแตนซ์: ทฤษฎี และการออกแบบ”, แผนกตำรา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2550
- [2] วรารักษ์ ศรีสุวรรณ, สิทธิชัย แก้วไทย, สุนทร น้อยทัพ, “การขับเคลื่อนสวิตซ์รีลักแตนซ์มอเตอร์”, ปรินูญานิพนธ์ (วศ.บ. (วิศวกรรมไฟฟ้า)สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2546.
- [3] P. Chanchaensook and M. F. Rahman, “Control of a Four-Phase Switched Reluctance Generator: Experimental Investigations”, in Proceedings of the IEEE International Electric Machines and Drives Conference, (IEMDC’03.), Madison, WI, USA, June 2003, Vol.2, pp.842-848.
- [4] T.J.E Miller, “Switched Reluctance Motors and Their Control”, New York; Oxford University Press, 1993
- [5] T.J.E Miller., Ed., “Electronic Control of Switched Reluctance Machines”, Power Engineering Series, Newnes, Oxford, 2001

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	นายฐาปนา ประมาต
วัน เดือน ปีเกิด	11 ธันวาคม พ.ศ.2531
ที่อยู่	92 หมู่ 12 ต.บางเสาธง อ.บางเสาธง จ.สมุทรปราการ 10540
ประวัติการศึกษา	ระดับชั้นประถมศึกษา โรงเรียนวัดบัวโรย สมุทรปราการ ระดับชั้นมัธยมศึกษา โรงเรียนราชวินิตบางแก้ว สมุทรปราการ ระดับปริญญาตรี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
E-mail	p.thapana@gmail.com
ชื่อ-สกุล	นายณัฐพล ชื่นเจริญชัย
วัน เดือน ปีเกิด	7 ธันวาคม พ.ศ.2530
ที่อยู่	348/7 ซอยสุขุมวิท 54 พระโขนง บางจาก กทม. 10260
ประวัติการศึกษา	ระดับชั้นประถมศึกษา โรงเรียนนดาราคาม กทม. ระดับชั้นมัธยมศึกษา โรงเรียนเตรียมอุดมศึกษาพัฒนาการ กทม. ระดับปริญญาตรี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
E-mail	nathaphon.chn@gmail.com
ชื่อ-สกุล	นายณัฐพล ตั้งใจธรรมโชติ
วัน เดือน ปีเกิด	5 กันยายน พ.ศ.2531
ที่อยู่	1328(12) ซอยรามอินทรา 67 คันทนายาว รามอินทรา กทม. 10260
ประวัติการศึกษา	ระดับชั้นประถมศึกษา โรงเรียนแย้มจาดวิษขานุสรณ์ กทม. ระดับชั้นมัธยมศึกษา โรงเรียนนวมินทราชูทิศ กรุงเทพมหานคร กทม. ระดับปริญญาตรี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
E-mail	natthapol-t@hotmail.com
ชื่อ-สกุล	นายตะวัน พลับใหญ่
วัน เดือน ปีเกิด	14 กุมภาพันธ์ พ.ศ.2532
ที่อยู่	1401/111 ถ.สามพระยา ต.ชะอำ อ.ชะอำ จ.เพชรบุรี 76120
ประวัติการศึกษา	ระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนต้น โรงเรียนหัวหินวิทยาลัย ประจวบคีรีขันธ์ ระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนพรหมานุสรณ์ เพชรบุรี ระดับปริญญาตรี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
E-mail	tawan_plubyai@hotmail.com

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้