หัวข้อโครงงาน	ชุดอินเวอร์เตอร์สามเฟสสำหรับขับเคลื่อนมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสในพื้นที่ชนบทที่ใช้ระบบเฟสเดียว
โดย	นายประจัญ คล้ายมณี
	นายวสวรรธน์ อ่อนเนียม
	นายณัฐพงศ์ ใยแก้ว
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษา	ปรากฤต เหลี่ยงประดิษฐ์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม อนุมัติให้นับโครงงานฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

……หัวหน้าสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ พศวีร์ ศรีโหมด)

……อาจารย์ที่ปรึกษา
(อาจารย์ปรากฤต เหลี่ยงประดิษฐ์)

วันที่…….เดือน……พ.ศ. 2556

รหัสโครงงาน 55EE115

ชุดอินเวอร์เตอร์สามเฟสสำหรับขับเคลื่อนมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสในพื้นที่ชนบทที่ใช้ระบบเฟสเดียว

THREE PHASE INVERTER DRIVER FOR THREE PHASE INDUCTION MOTOR IN SINGLE-PHASE ELECTRICAL SYSTEM

บทคัดย่อ (Abstract)

ในโครงงานนี้ได้นำเสนอสร้างชุดอินเวอร์เตอร์สามเฟสสำหรับขับเคลื่อนมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสสำหรับพื้นที่ชนบทที่ใช้ระบบเฟสเดียวโดยจะมีการจัดทำ 2 ส่วนใหญ่ ส่วนที่ 1 จะเป็นบูสต์คอนเวอร์เตอร์จะทำการแปลงแรงดันไฟฟ้าจาก 220 Vac ผ่านวงจรบริดจ์เร็กติไฟล์ออกมาเป็น 310 Vdc แล้วทำการบูตส์แรงดันขึ้นเป็น 600 Vdc โดยใช้ IC เบอร์ MC33262 เป็นชุดควบคุมการทำงานและปรับตัวประกอบให้มีค่าใกล้เคียงหนึ่ง จ่ายให้กับชุดอินเวอร์เตอร์ และในส่วนที่ 2 จะสร้างชุดอินเวอร์เตอร์ โดยใช้ IC เบอร์ MC3PHAC เพื่อสร้างสัญญาณ PWM ควบคุมมอเตอร์ซึ่งวงจรอินเวอร์เตอร์ใช้โมดูลของ IPM ของมิตซูบิชิ เบอร์ TM 52A ใช้เป็นตัวขับเคลื่อนมอเตอร์ จากผลการทดลองการขับเคลื่อนโหลดมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสและโหลดความต้านทาน อินเวอร์เตอร์สามารถปรับความถี่ได้ตั้งแต่ 1-60 เฮิรตซ์ โดยการควบคุมเป็นแบบ v/f คงที่ และเป็นการควบคุมแบบลูปเปิด

กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำโครงงานนี้สำเร็จผลลุล่วงไปด้วยดี ผู้จัดทำต้องขอขอบคุณอาจารย์ปรากฤต เหลี่ยงประดิษฐ์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงาน ตลอดจนอาจารย์ในภาควิศวกรรมไฟฟ้าทุกท่าน ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำเกี่ยวกับโครงงาน และการออกแบบ รวมถึงการแก้ไขจุดบกพร่องต่างๆที่เกิดขึ้นตลอดระยะเวลาของการทำโครงงานนี้จนสำเร็จ ขอขอบพระคุณบุพการีตลอดจนเพื่อนๆ พี่ที่คอยเป็นกำลังใจและให้การสนับสนุนทุกๆด้าน ด้วยดีเสมอมา และขอบคุณผู้ร่วมโครงงานทุกๆท่าน ที่ให้ความร่วมมือกันเป็นอย่างดี

คุณงามความดีอันใดที่ได้รับจากปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้จัดทำขออุทิศให้บิดามารดา และบูรพคณาจารย์ต่อไป

คณะผู้จัดทำ

2555

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ ก
กิตติกรรมประกาศ ข
สารบัญ ค
สารบัญตาราง จ
สารบัญภาพ ฉ

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1
1.2 วัตถุประสงค์ 1
1.3 โครงสร้างของโครงงาน 1
1.4 ขอบเขตโครงงาน 2
1.5 ประโยชน์ที่ได้รับ 2

บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 วงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสตรง 3
2.2 ตัวประกอบกำลัง 5
2.3 การแก้ไขตัวประกอบกำลัง 7
2.4 ไดโอดกำลัง 8
2.5 ไอจีบีที 9
2.6 อินเวอร์เตอร์ 11
2.7 มอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส 14
2.8 การควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์เหนี่ยวนำแบบ V/f 16

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 3 การออกแบบโครงงาน

3.1 การออกแบบและคำนวณวงจร AC-DC บูสต์คอนเวอร์เตอร์ 18

3.2 การออกแบบวงจรอินเวอร์เตอร์ 20

3.3 โครงสร้างของ IGBT Driver 21

3.4 การออกแบบวงจรขับสวิตช์ IGBT 23

บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง

4.1 การวัดสัญญาณ PWM 24

4.2 ผลการทดสอบวัดแรงดันไฟฟ้ากับความถี่ 29

บทที่ 5 สรุปและเสนอแนะ

เอกสารอ้างอิง

ภาคผนวก

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 3.1 แสดงความถี่ PWM 21
ตารางที่ 4.1 แสดงค่าระหว่างแรงดันต่อความถี่ของโหลดความต้านทาน 30
ตารางที่ 4.2 แสดงค่าระหว่างแรงดันต่อความถี่ของโหลดมอเตอร์เหนี่ยวนำ 32

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 1.1 โครงสร้างการทำงาน 1
ภาพที่ 2.1 วงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์ 3
ภาพที่ 2.2 วงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์ขณะนำกระแส 4
ภาพที่ 2.3 วงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์ขณะสวิตช์ไม่นำกระแส 4
ภาพที่ 2.4 มุมประกอบกำลัง 5
ภาพที่ 2.5 โหลดที่ไม่เป็นเชิงเส้น 6
ภาพที่ 2.6 รูปแบบสัญญาณของระบบที่มี PF ต่ำ 6
ภาพที่ 2.7 AC to DC คอนเวอร์เตอร์ที่มีการต่อ PFC 7
ภาพที่ 2.8 สมดุลพลังงานในตัวแก้ไขตัวประกอบกำลัง 7
ภาพที่ 2.9 ไดโอดขณะหยุดนำกระแส 8
ภาพที่ 2.10 สัญลักษณ์พื้นฐานจากมอสเฟตและพื้นฐานจากบีเจที 10
ภาพที่ 2.11 คุณลักษณะของกระแสและแรงดันไฟฟ้า 10
ภาพที่ 2.12 รูปร่างทั่วไปของไอจีบีที 11
ภาพที่ 2.13 แสดงวงจรและสัญญาณอินเวอร์เตอร์ 3 เฟส แบบฟูลบริดจ์ 12
ภาพที่ 2.14 แสดงวงจรและสัญญาณอินเวอร์เตอร์ 3 เฟส แบบรูปคลื่น 12
ภาพที่ 2.15 MC3PHAC การทำงานของแต่ละขา 13
ภาพที่ 2.16 แสดงแรงบิด-ความเร็ว และกระแส-ความเร็ว 16
ภาพที่ 2.17 แสดงลักษณะการเปลี่ยนแปลงของแรงดัน แรงบิด กับความถี่
และแรงบิดกับความเร็ว 17
ภาพที่ 3.1 วงจร PFC บูสต์คอนเวอร์เตอร์โดยใช้ MC 33262 18
ภาพที่ 3.2 แสดงการใช้งานแต่ละขาของไอซีเบอร์ MC33262 20
ภาพที่ 3.3 วงจรสร้างสัญญาณควบคุมของ MC3PHAC 20
ภาพที่ 3.4 แสดงวงจรการต่อใช้งาน 22
ภาพที่ 3.5 แสดงสัญลักษณ์การใช้งาน 22
ภาพที่ 3.6 วงจรขับสวิตช์ IGBT 23
ภาพที่ 4.1 แสดงวงจรควบคุมสัญญาณ PWM Q_1 กับ Q_4 24

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

ภาพที่ 4.2 สัญญาณ PWM ที่ขาสัญญาณควบคุมเฟส U 25
ภาพที่ 4.3 แสดงวงจรควบคุมสัญญาณ PWM Q_1 กับ Q_2 25
ภาพที่ 4.4 สัญญาณ PWM ที่ขาสัญญาณควบคุมของเฟส U กับเฟส V 26
ภาพที่ 4.5 แสดงวงจรควบคุมสัญญาณ PWM Q_1 กับ Q_3 26
ภาพที่ 4.6 สัญญาณ PWM ที่ขาสัญญาณควบคุมของเฟส U กับเฟส W 27
ภาพที่ 4.7 แสดงวงจรควบคุมสัญญาณ PWM Q_2 กับ Q_3 27
ภาพที่ 4.8 สัญญาณพัลส์วิดท์ที่ขา W กับ V 28
ภาพที่ 4.9 วัดสัญญาณเฟส PWM ด้าน Output ของชุด Drive ที่ขา U-W กับ V-W 28
ภาพที่ 4.10 แสดงวงจรอินเวอร์เตอร์ ที่ต่อโหลดความต้านทาน 29
ภาพที่ 4.11 สัญญาณ PWM ที่ขา U-W กับ V-W ที่โหลดความต้านทาน 30
ภาพที่ 4.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถี่กับแรงดันที่จ่ายให้โหลดความต้านทาน
ที่ต่อแบบสตาร์ ขนาด 200 โอห์ม 31
ภาพที่ 4.13 แสดงวงจรอินเวอร์เตอร์ที่ต่อโหลดมอเตอร์เหนี่ยวนำ 31
ภาพที่ 4.14 สัญญาณ PWM ที่ขา U-W กับ V-W ที่โหลดมอเตอร์ 3 เฟส 32
ภาพที่ 4.15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถี่กับแรงดันที่จ่ายให้มอเตอร์อินดักชั่น 3 เฟส 33

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

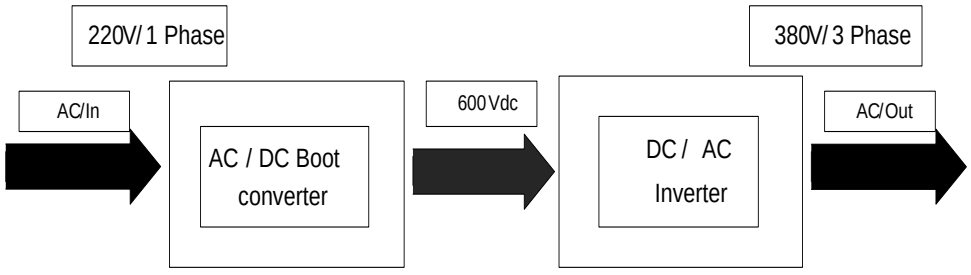
เนื่องจากในท้องถิ่นชนบทที่ห่างไกลจากตัวเมืองเป็นชุมชนชนบท ทำให้ไฟฟ้าระบบสามเฟสเข้าไม่ถึง ซึ่งบางครั้งในชุมชนที่อยู่ห่างไกลอาจมีอุปสรรค์ในการใช้อุปกรณ์สามเฟสแต่ก็ไม่ได้ใช้ตลอดเวลาจึงไม่คุ้มค่านักกับการลงทุนที่ใช้ต้นทุนสูง

ดังนั้นทางกลุ่มจึงได้คิดจัดสร้างชุดอินเวอร์เตอร์ 3 เฟสขึ้นโดยการแปลงระบบไฟฟ้าเฟสเดียว 220 V 50 Hz เป็นระบบไฟฟ้าสามเฟส 380 V 50 Hz โดยใช้วงจรคอนเวอร์เตอร์และอินเวอร์เตอร์ เพื่อนำไปประยุกต์ใช้งานในชุมชนชนบทที่มีระบบไฟฟ้าเฟสเดียว ได้มีไฟฟ้าระบบสามเฟสใช้ยามต้องการ

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อให้สามารถใช้ขับเคลื่อนมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสในพื้นที่ชนบท ที่มีการใช้ระบบเฟสเดียว
2. เพื่อศึกษาระบบการแปลงแรงดันไฟฟ้าเฟสเดียว เป็นระบบแรงดันไฟฟ้าสามเฟส
3. เพื่อศึกษาหลักการทำงานของวงจร

1.3 โครงสร้างของโครงงาน



ภาพที่ 1.1 โครงสร้างการทำงาน

1.4 ขอบเขตโครงงาน

1. ใช้กับระบบไฟฟ้าสามเฟสกับโหลดไม่เกิน 1000 W
2. รับแรงดันทางด้านอินพุทเฟสเดียว 220 V 50 Hz ให้เอาท์พุทสามเฟส 380 V
3. อุปกรณ์ที่จัดสร้างส่วนของ อินเวอร์เตอร์จะแปลงไฟกระแสตรง 600 V เป็นไฟฟ้าสามเฟส 380 V
4. ใช้สำหรับมอเตอร์เท่านั้น

1.5 ประโยชน์ที่ได้รับ

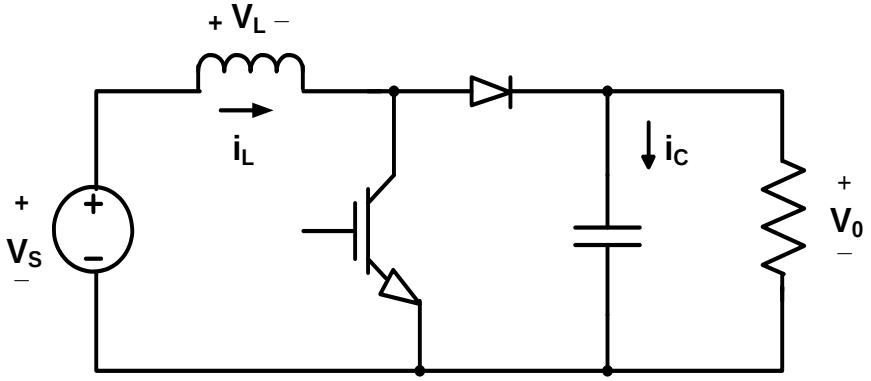
1. เพื่อสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานกับมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส
2. เพื่อทราบถึงการทำงานของวงจรบูตส์คอนเวอร์เตอร์
3. เพื่อทราบถึงการทำงานของวงจรอินเวอร์เตอร์
4. เพื่อทราบถึงหลักการควบคุมมอเตอร์แบบเหนี่ยวนำสามเฟส

บทที่ 2
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

โดยทฤษฎีที่กล่าวในบทนี้จะประกอบด้วย วงจรแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสตรงโดยใช้ไดโอดกำลังและ IGBT ในการบูสต์แรงดันจาก 220 Vac เป็น 380 Vac และจะมีการแก้ไขตัวประกอบกำลังให้เข้าใกล้หนึ่งเพื่อจะให้กระแสและแรงดันอินเฟสกัน และนำสัญญาณที่ได้ไปไดร์ชุดอินเวอร์เตอร์เพื่อทำการควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส

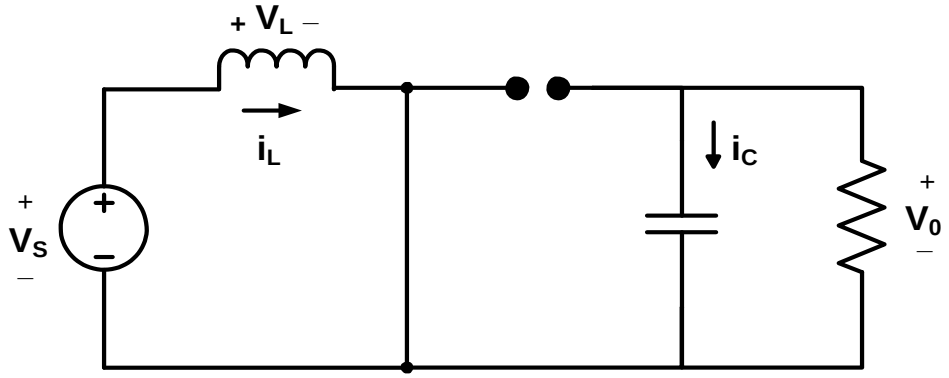
2.1 วงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสตรง (DC-to-DC Converters) [1][2]

วงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์เป็นวงจรที่ใช้เพิ่มระดับแรงดันให้ด้านเอาต์พุตมากกว่าด้านอินพุตหรือเรียกเป็นวงจรทบแรงดัน อุปกรณ์ที่ทำหน้าในวงจรนี้คือไอจีบีที ซึ่งทำวงจรแปลงผันแบบทบระดับแรงดันเป็นวงจรแปลงผันตรง (DC-DC converter) ชนิดนี้ที่ทำให้แรงดันด้านเอาต์พุตมีมากกว่าแรงดันด้านอินพุต



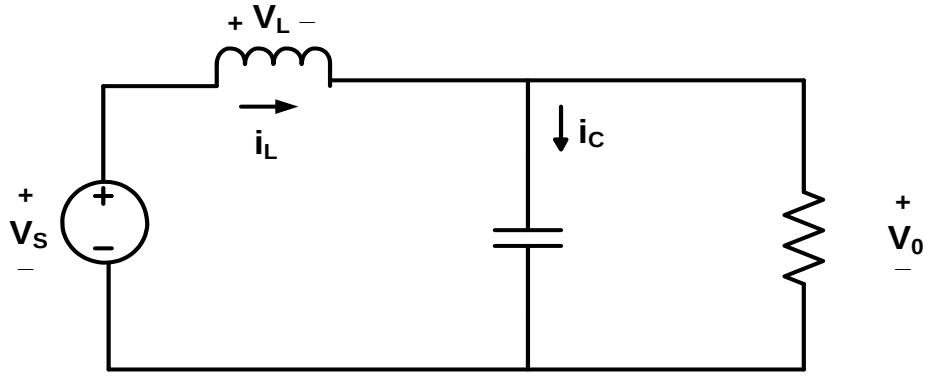
ภาพที่ 2.1 วงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์

เงื่อนไขการทำงานของวงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์การวิเคราะห์การทำงานของวงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์ในช่วงสภาวะคงตัว จะมีการกำหนดเงื่อนไขในการทำงานของวงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์เพื่อให้ง่ายต่อการวิเคราะห์ จะแบ่งออกเป็น 2 กรณี



ภาพที่ 2.2 วงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์ขณะนำกระแส

จากภาพที่ 2.2 วงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์ขณะสวิตช์นำกระแสช่วงที่ 1 จะเริ่มจากโหมดนี้ไอจีบีทีจะนำกระแส ขณะที่ไดโอดได้รับการไบอัสกลับทำให้ไม่สามารถนำกระแส กระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำจะเป็นแบบเชิงเส้นโดยตัวเหนี่ยวจะเก็บสะสมพลังงานไว้ส่วนหนึ่ง และช่วงนี้ตัวเก็บประจุจะเป็นตัวจ่ายกระแสให้กับโหลด ซึ่งตัวเก็บประจุจะต้องมีค่ามากพอที่จะจ่ายกระแสให้กับโหลด



ภาพที่ 2.3 วงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์ขณะสวิตช์ไม่นำกระแส

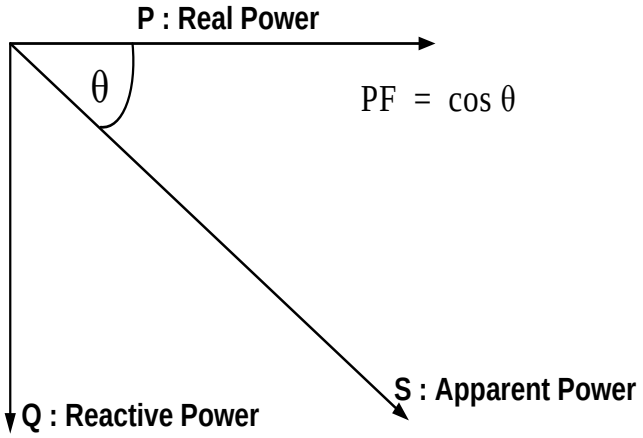
ในช่วงนี้ ไอจีบีทีจะตัดวงจร เมื่อไอจีบีทีไม่นำกระแส กระแสในตัวเหนี่ยวนำจะเปลี่ยนแปลงทันทีทันใดไม่ได้ ไดโอดจะถูกไบอัสไปข้างหน้าให้นำกระแสจะไหลผ่านตัวเก็บประจุและโหลด โดยกระแสจะลดลงอย่างเป็นเชิงเส้นจนไอจีบีทีนำกระแสอีกครั้ง

จะเห็นได้ว่าอัตราส่วนแรงดันไฟฟ้าด้านออกต่อแรงดันไฟฟ้าด้านเข้าขึ้นอยู่กับ Duty Cycle ซึ่งจะคำนวณจากสูตรค่าความเหนี่ยวนำ

$$L_{min} = \frac{D(1-D)^2 R}{2f} \quad (2.1)$$

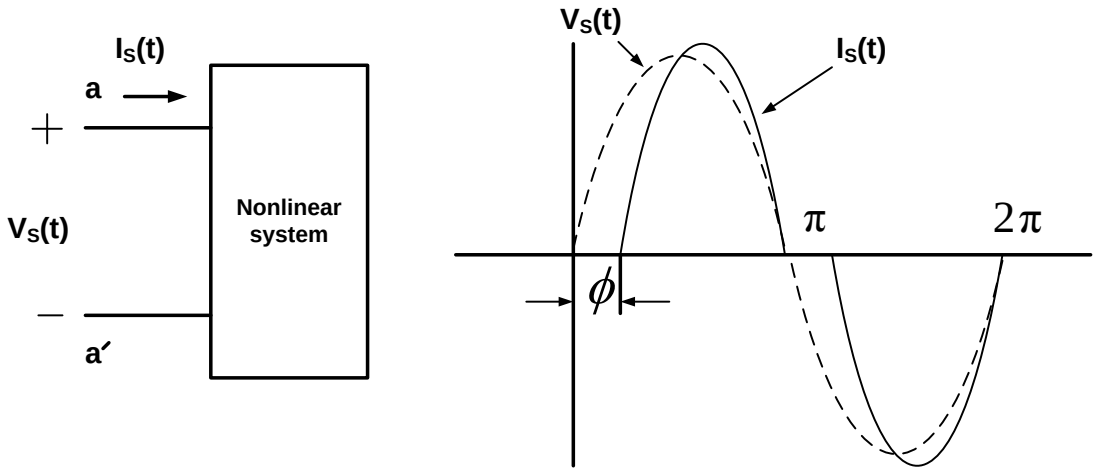
2.2 ตัวประกอบกำลัง (Power factor)

ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าของเพาเวอร์แฟคเตอร์ (power factor ; PF) คือ อัตราส่วนของกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยหารด้วยค่ากำลังไฟฟ้าปรากฏในวงจรไฟฟ้าใดๆ จะมีค่าเปลี่ยนแปลงได้ตั้งแต่ 0 ถึง 1 ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้านี้ ยิ่งมีค่าสูงยิ่งดีตามปกติหากค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า (Power Factor) มีค่าต่ำย่อมหมายความว่า กำลังไฟฟ้ารวม (Total or Apparent Power) มีค่าสูงขึ้น อันเนื่องมาจากการที่มีกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟสูงขึ้น ในขณะที่กำลังไฟฟ้าจริงที่ก่อให้เกิดงานมีค่าเท่าเดิมซึ่งถือได้ว่าเป็นความสูญเสียของระบบจ่ายไฟฟ้าด้วยเช่นกัน การเพิ่มเพาเวอร์แฟคเตอร์ของระบบไฟฟ้าให้มีค่าสูงขึ้นจะมีผลดีต่อระบบไฟฟ้า



ภาพที่ 2.4 มุมประกอบกำลัง

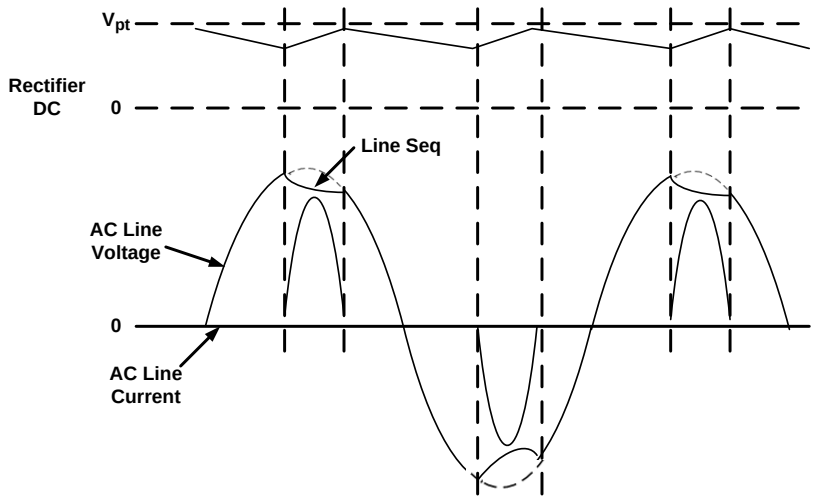
ในทางปฏิบัติแล้วภาระทางไฟฟ้าจะสามารถแบ่งออกได้สองแบบคือแบบเชิงเส้น (Linear load) และแบบไม่เป็นเชิงเส้น (Nonlinear load) ซึ่งโหลดทั้งสองแบบนี้จะมีค่าตัวประกอบกำลังที่แตกต่างกันซึ่งจะกล่าวถึงผลกระทบของโหลดทั้งสองแบบนี้ต่อไป



ก. โหลดที่ไม่เป็นเชิงเส้น ข. กระแสและแรงดัน

ภาพที่ 2.5 โหลดที่ไม่เป็นเชิงเส้น

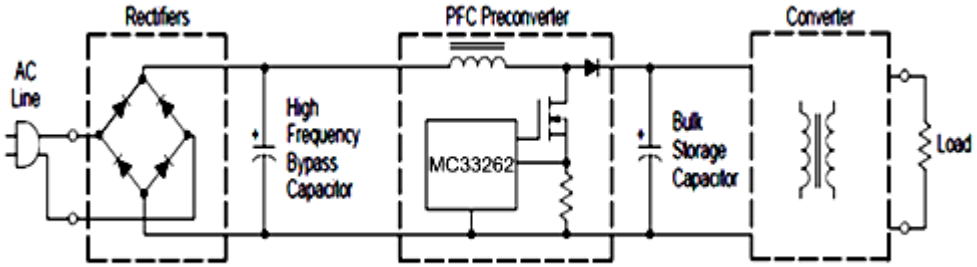
ในแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงแบบสวิตซ์ชิ่ง (SMPS) แบบเดิมนั้นจะมีการใช้วงจรเรียงกระแสที่ประกอบไปด้วยตัวเก็บประจุ ซึ่งส่งผลให้เกิดแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุ V_C และกระแสที่มีลักษณะเป็นพัลส์เกิดขึ้นที่กระแสอินพุท สังเกตจากภาพที่ 2.6 แล้วนั้นการเปรียบเทียบแรงดันอินพุทที่เป็นรูปซายน์แล้วจะทำให้ค่าของ THD มีค่าสูงถึง 70% และมีค่าตัวประกอบกำลังต่ำกว่า 0.67



ภาพที่ 2.6 รูปแบบสัญญาณของระบบที่มี PF ต่ำ

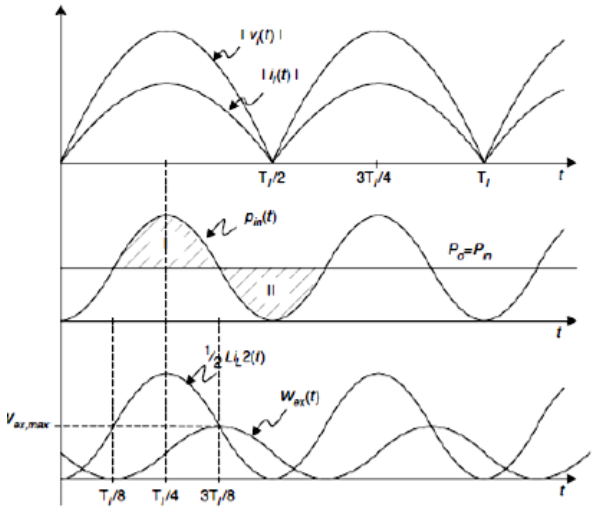
2.3 การแก้ไขตัวประกอบกำลัง

จากตัวประกอบกำลังที่กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 2.2 ที่มีค่าต่ำกว่า 0.85 จำเป็นต้องมีการแก้ไขตัวประกอบกำลังเพื่อให้มีค่าใกล้เคียงหนึ่ง โดยใช้วงจร PFC บูตส์คอนเวอร์เตอร์มาแก้ไขค่าตัวประกอบกำลัง



ภาพที่ 2.7 AC to DC คอนเวอร์เตอร์ที่มีการต่อ PFC

ในส่วนภาพที่ 2.7 จะเป็นการแก้ไขตัวประกอบกำลังซึ่งจะใช้ IC เบอร์ MC33262 ใช้ในการควบคุมเพื่อจะให้ค่าเพาว์เวอร์แฟคเตอร์เข้าใกล้หนึ่งมากที่สุดเพื่อให้กระแสและแรงดันเฟสเดียวกัน

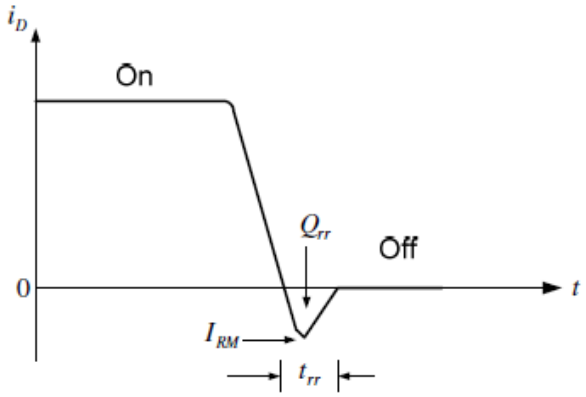


ภาพที่ 2.8 สมดุลพลังงานในตัวแก้ไขตัวประกอบกำลัง

2.4 ไดโอดกำลัง (Power Diode)

ไดโอดกำลัง (Power Diode) จะมีคุณลักษณะของกระแสและแรงดันไฟฟ้าขณะอยู่ในสภาวะอยู่ตัว (Steady State) เมื่อไดโอดถูกไบอัสตรง (Forward Biased) ไดโอดจะนำกระแสโดยมีแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมอุปกรณ์ระดับ 1 โวลต์ และเมื่อถูกไบอัสกลับ (Reverse Biased) จะมีกระแสรั่วขนาดน้อยมากจนอาจถือได้ว่าไม่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านตัวไดโอด จนกระทั่งถึงจุดแรงดันไฟฟ้าเบรกดาวน์ย้อนกลับ (Reverse Breakdown Voltage) ซึ่งในทางปฏิบัติจะต้องออกแบบให้ไดโอดกำลังไม่ทำงานจนถึงจุดนี้เพื่อความปลอดภัย

ไดโอดกำลังในช่วงที่เริ่มนำกระแสนั้นจะไม่มีผลเสียมากนัก แต่ในช่วงที่หยุดนำกระแสจะมีกระแสไดโอดย้อนกลับในช่วงเวลาย้อนกลับ (Reverse Recovery Time, T_{rr}) ดังภาพที่ 2.9 กระแสฟื้นตัว ย้อนกลับนี้จะมีผลทำให้เกิดแรงดันเกินในวงจรที่มีตัวเหนี่ยวนำ



ภาพที่ 2.9 ไดโอดขณะหยุดนำกระแส

ไดโอดกำลังแบ่งชนิดออกตามการใช้งานอยู่ 3 กลุ่มคือ

1. ชอตต์กี้ไดโอด (Schottky Diodes) มักใช้เมื่อต้องการแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมและเวลาฟื้นตัวย้อนกลับน้อยๆ แต่จะใช้ในวงจรที่มีพิกัดต่ำ

2. ไดโอดฟื้นตัวเร็ว (Fast - Recovery) มักใช้ในวงจรสวิตชิ่งความถี่สูงสำหรับวงจรแปรผันกำลัง และใช้กับสวิตช์ควบคุมที่ต้องการเวลาฟื้นตัวย้อนกลับน้อยๆ ได้พิกัดกำลังจะสูงกว่าชอตต์กี้ไดโอด

3. ไดโอดความถี่ต่ำ (Line - Frequency Diodes) ไดโอดชนิดนี้ใช้ในความถี่ต่ำ เช่น ความถี่ไฟฟ้าในบ้าน 50 Hz มักออกแบบให้มีแรงดันตกคร่อมน้อยที่สุด แต่ช่วงเวลาในการฟื้นตัวย้อนกลับยาว

จากการศึกษาข้อมูลและประเภทของไดโอดแล้วนั้น ในโครงงานชิ้นนี้จะมีการเลือกใช้งานไดโอดชนิดที่สองคือไดโอดฟื้นตัวเร็ว (Fast Recovery) เพราะมีความเหมาะสมในการใช้งานกับวงจรสวิตชิ่งความถี่สูง

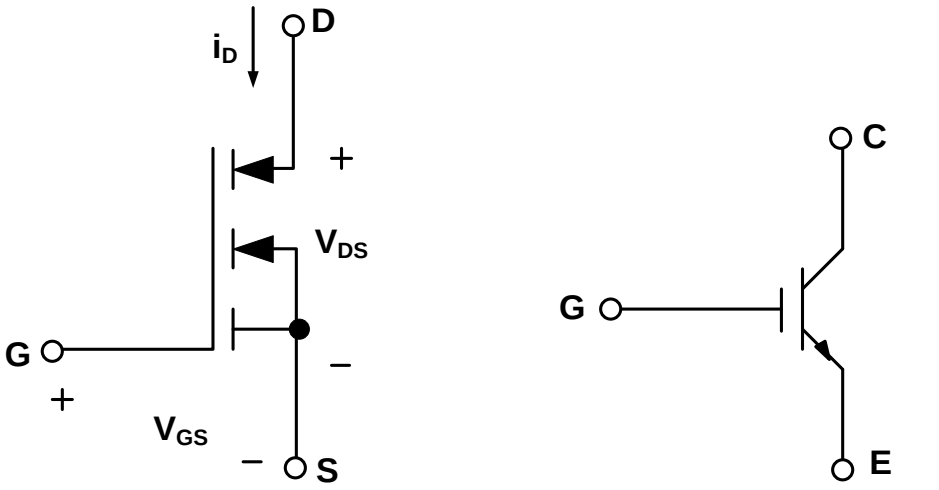
2.5 ไอจีบีที (Isulated Gate Biopolar Transistors, IGBT)

ทรานซิสเตอร์ซึ่งเป็นอุปกรณ์สารกึ่งตัว นำเมื่อเปรียบเทียบกับหลอดสูญญากาศก็คือมีขนาดเล็ก น้ำหนักเบาไม่ต้องมีตัวให้ความร้อน มีโครงสร้างแข็งแรงทนทานกำลังไฟฟ้าสูญเสียน้อย ประสิทธิภาพสูง สามารถทำงานได้ทันทีเมื่อจ่ายไฟให้ ในส่วนของมอสเฟตเป็นอุปกรณ์ที่ควบคุมด้วยแรงดันและต้องการกระแสอินพุทต่ำมากๆ ความเร็วในการสวิตชิ่งสูง เวลาในการสวิตชิ่งต่ำมากเป็นนาโนวินาที มอสเฟตกำลังได้ถูกนำไปประยุกต์ใช้ในงานด้านคอนเวอร์เตอร์ที่กำลังต่ำ ความถี่สูงมอสเฟตไม่มีปัญหาเกี่ยวกับปรากฏการณ์ Second Breakdown เหมือนกับทรานซิสเตอร์ แต่อย่างไรก็ตามมอสเฟตก็มีปัญหาเกี่ยวกับไฟฟ้าสถิตและต้องการการเก็บรักษาอย่างเป็นพิเศษ ดังนั้นจึงได้เลือกไอจีบีทีมาใช้ในโครงงานนี้

ไอจีบีทีจัดเป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลังที่สามารถควบคุมให้นำกระแส และควบคุมให้หยุดนำกระแสได้โดยการควบคุมจากแรงดันไฟฟ้าที่ขาเกต ไอจีบีทีมีสัญลักษณ์ดังภาพที่ 2.10 และคุณลักษณะของกระแสและแรงดันไฟฟ้าขณะสภาวะอยู่ตัว คุณลักษณะของกระแสและแรงดันไฟฟ้าในอุดมคติ ดังแสดงตามภาพที่ 2.11

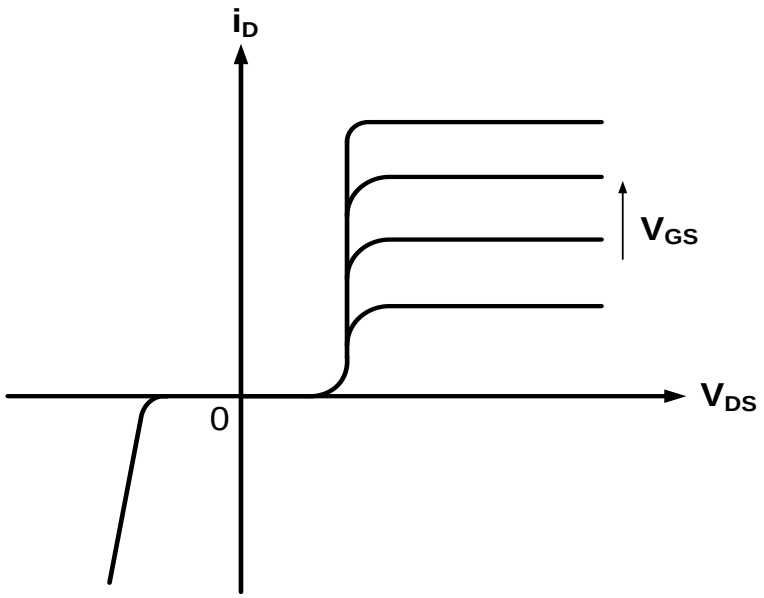
จากภาพที่ 2.10 ก. จะเห็นว่ามีลักษณะคล้ายสัญลักษณ์ของมอสเฟต เพียงแต่ว่าสัญลักษณ์ของไอจีบีทีนั้น จะมีลูกศรเพิ่มขึ้นมาตรงขาเดรน ลักษณะของลูกศรจะชี้เข้าหาซิลิคอนภายในตัวไอจีบีที

จากภาพที่ 2.10 ข. จะเหมือนกับสัญลักษณ์ของทรานซิสเตอร์ แต่ตรงขาเกตจะเพิ่มขึ้นมาไม่ได้ต่อถึงกันโดยตรงกับขาที่ต่อออกมาภายนอก



ก. สัญลักษณ์มอสเฟต ข. สัญลักษณ์ IGBT

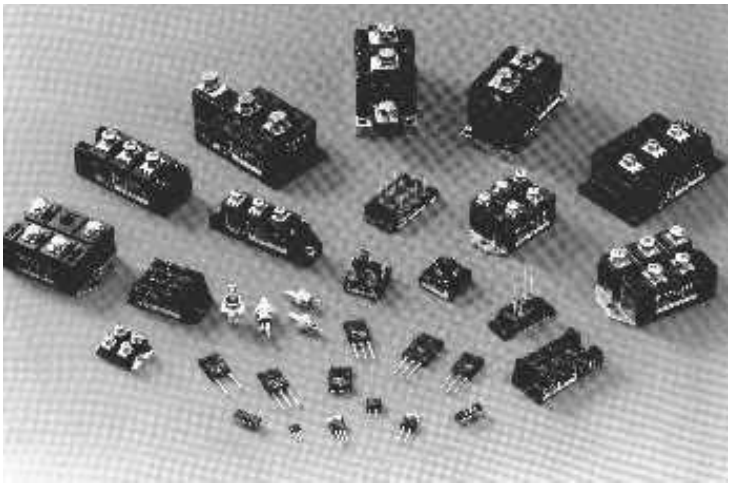
ภาพที่ 2.10 สัญลักษณ์พื้นฐานจากมอสเฟตและพื้นฐานจากบีเจที



ภาพที่ 2.11 คุณลักษณะของกระแสและแรงดันไฟฟ้า

คุณลักษณะของกระแสและแรงดันของไอจีบีทีมีลักษณะคล้ายกราฟของทรานซิสเตอร์ แต่การควบคุมกระแสเกต จะอาศัยการควบคุมแรงดันระหว่างขาเกตกับขาซอร์สมากกว่า โดยการควบคุมกระแสที่ขาคอลเลคเตอร์เหมือนกับทรานซิสเตอร์ ซึ่งคุณสมบัติของกระแสและแรงดันของไอจีบีทีแสดงไว้ในภาพที่ 2.11

ไอจีบีทีได้รวมข้อดีของมอสเฟตกำลัง ทรานซิสเตอร์กำลัง (บีเจที) และจีทีโอไธริสเตอร์มารวมอยู่ด้วยกัน กล่าวคือไอจีบีทีจะมีค่าของอิมพีแดนซ์ขาเกตที่มีค่าสูงคล้ายมอสเฟตกำลัง ซึ่งต้องการพลังงานน้อยมากในการควบคุมการสวิตซ์ ควบคุมการนำและหยุดนำกระแสด้วยแรงดันไฟฟ้าที่ขาเกต รวมทั้งสามารถใช้งานการสวิตซ์ชิ่งที่ความถี่สูงและมีค่าแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมขณะนำกระแสต่ำคล้ายทรานซิสเตอร์กำลังซึ่งมีค่า 2-3 โวลต์ สำหรับพิกัดแรงดันไฟฟ้า 1,000 โวลต์ นอกจากนั้นไอจีบีทีจะออกแบบให้ทนแรงดันไฟฟ้าด้านลบได้คล้ายกับจีทีโอไธริสเตอร์ ไอจีบีทีจะมีช่วงเวลานำกระแสและหยุดนำกระแสมีค่าประมาณ 1 ไมโครวินาทีมีขนาดพิกัดกระแสไฟฟ้าถึง 2,000 แอมแปร์ และพิกัดแรงดันไฟฟ้าถึง 5,000 โวลต์ สำหรับรูปร่างทั่วไปของไอจีบีทีได้แสดงไว้ดังภาพที่ 2.12



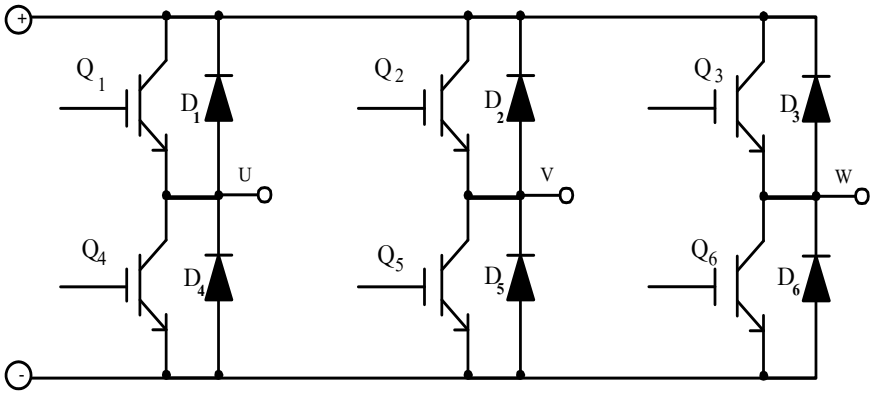
ภาพที่ 2.12 รูปร่างทั่วไปของไอจีบีที

2.6 อินเวอร์เตอร์ (Inverter) [3]

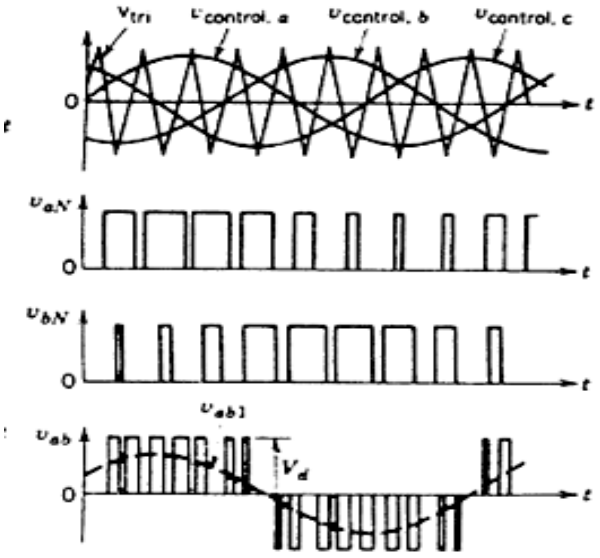
การแปรผันกำลังไฟฟ้าจากแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับให้กับโหลดสามเฟส นิยมแปรผันกำลังไฟฟ้าผ่านอินเวอร์เตอร์สามเฟสซึ่งจะเหมาะกับงานที่ต้องการกำลังไฟฟ้าสูง เพราะถ้าหากจะใช้อินเวอร์เตอร์เฟสเดียวแบบฟูลบริดจ์จำนวนสามชุดก็ได้ แต่ต้องใช้สวิตช์จำนวนถึง 12 ตัว นอกจากนั้นยังต้องอาศัยวงจรควบคุมที่ทำให้แต่ละเฟสต่างกัน 120 องศาของความถี่หลักจึงไม่เหมาะที่เลือกใช้อินเวอร์เตอร์เฟสเดียวแบบฟูลบริดจ์จำนวนสามตัว

2.6.1 อินเวอร์เตอร์ 3 เฟส

อินเวอร์เตอร์ 3 เฟส สามารถต่อได้จากทรานซิสเตอร์ และไดโอดอย่างละ 6 ตัวได้ดังภาพที่ 2.13 เมื่อทรานซิสเตอร์ Q_1 นำกระแสขั้ว a ถูกต่อเข้ากับขั้วบวกของแหล่งจ่ายไฟตรง เมื่อทรานซิสเตอร์ Q_4 นำกระแสขั้ว a ถูกต่อเข้ากับขั้วลบของแหล่งจ่ายไฟตรงการทำงานในแต่ละไซเคิลถูกแบ่งออกเป็น 6 โหมด ๆ ละ 60 องศา ลำดับการทำงานของทรานซิสเตอร์คือ 123, 234 ,345 ,456 ,561 และ 612 โดยทรานซิสเตอร์แต่ละตัวแสดงได้ดังภาพที่ 2.13 ซึ่งแต่ละตัวเยื้องเฟสไป 60 องศา เพื่อให้ได้แรงดัน 3 เฟสของสัญญาณมูลฐานสมดุล



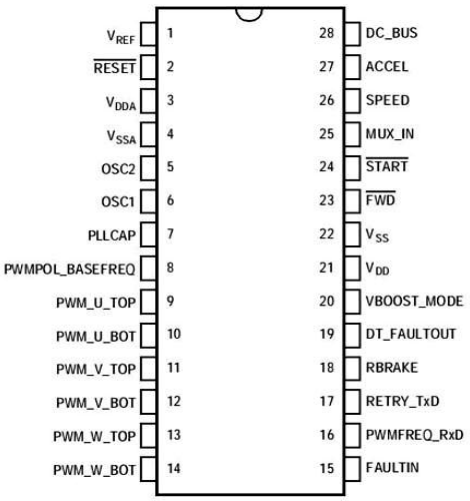
ภาพที่ 2.13 แสดงวงจรและสัญญาณอินเวอร์เตอร์ 3 เฟส แบบฟูลบริดจ์



ภาพที่ 2.14 แสดงวงจรและสัญญาณอินเวอร์เตอร์ 3 เฟส แบบรูปคลื่น

2.6.2 IC MC3PHAC

การทำงานและหน้าที่ของแต่ละขาของตัวไอซี ซึ่งจะแสดงไว้ในภาพที่ 2.15 MC3PHAC จะสร้างสัญญาณ PWM จำนวน 6 สัญญาณที่จะปรับขนาดของแรงดันตามการปรับความถี่ เพื่อสร้างสัญญาณ 3 เฟสสำหรับมอเตอร์ โดยการบวกเพิ่มฮาร์มอนิกที่ 3 เข้าไปด้วยทำให้แรงดันขาออกของสัญญาณ 3 เฟสมีขนาดเท่ากับแรงดันสูงสุดของแรงดันขาเข้าสูงสุด ซึ่งทำให้ได้แรงดันขาออกของสัญญาณ 3 เฟสมีขนาดเพิ่มขึ้นอีกประมาณ 15% เมื่อเทียบกับการสร้างสัญญาณ PWM แบบ มอดูเลตไซน์เวฟ (Sine Wave Modulation) สัญญาณ PWM จะอัพเดทด้วยความถี่ 5.3 kHz โดยความถี่ในการสวิตช์จะสามารถเลือกได้ 4 ความถี่คือ 5.291 kHz, 10.582 kHz, 15.873 kHz และ 21.164 kHz โดยทั่วไปจะใช้ความถี่มาตรฐานของคริสตอลที่ 4 MHz



ภาพที่ 2.15 MC3PHAC การทำงานของแต่ละขา

2.6.2.1 คุณลักษณะพิเศษของ MC3PHAC

- มีตัวกรองสัญญาณควบคุมความเร็วรอบแบบดิจิตอลโปรเซสเซอร์
- ไม่ต้องยุ่งยากกับซอฟต์แวร์
- มีสัญญาณ PWM ขาออกให้ 6 บิต
- สร้างสัญญาณ 3 เฟส
- ตัวแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตอล 4 ช่อง
- สามารถทำการชดเชยแรงดันกระเพื่อมของ DC Bus
- เลือกขั้วและความถี่การสวิตช์ของสัญญาณ PWM ได้
- เลือกความถี่พื้นฐาน 50 Hz หรือ 60 Hz ได้

2.7 มอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส (3-Phase Induction Motor)

มอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำสามเฟสเป็นมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับที่นิยมใช้กันอย่างมากในงานอุตสาหกรรมคือ มอเตอร์เหนี่ยวนำชนิดกรงกระรอก (Squirrel cage induction motor) เนื่องจากว่ามีราคาไม่แพง สามารถหาซื้อได้ง่ายในท้องตลาด เมื่อนำไปใช้งานที่ต้องการปรับความเร็ว สามารถทำได้โดยการควบคุมความถี่ แรงดันและค่าสลิป ก่อนที่จะศึกษาการควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ จำเป็นต้องศึกษาหลักการพื้นฐานของมอเตอร์เหนี่ยวนำแบ่งออกตามโครงสร้างและหลักการทำงานของมอเตอร์ได้ 2 แบบ คือ

2.7.1. มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส แบบอินดักชั่น (3 Phase Induction Motor)

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟสที่มีคุณสมบัติที่ดี คือมีความเร็วรอบคงที่เนื่องจากความเร็วรอบอินดักชั่นมอเตอร์ขึ้นอยู่กับความถี่ (Frequency) ของแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับมีราคาถูกโครงสร้างไม่ซับซ้อน สะดวกในการบำรุงรักษาเพราะไม่มีคอมมิวเตเตอร์และแปรงถ่านเหมือนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง เมื่อใช้ร่วมกับเครื่องควบคุมความเร็วแบบอินเวอร์เตอร์ (Invertor) สามารถควบคุมความเร็ว (Speed) ได้ตั้งแต่ศูนย์จนถึงความเร็วตามพิกัดของมอเตอร์นิยมใช้กันมาก เป็นต้น โดยมอเตอร์อินดักชั่นมี 2 แบบคือ

2.7.1.1 อินดักชั่นมอเตอร์ที่มีโรเตอร์แบบกรงกระรอก

อินดักชั่นมอเตอร์แบบนี้ ตัวโรเตอร์จะมีโครงสร้างแบบกรงกระรอกเหมือนกับโรเตอร์ของสลิปเฟสมอเตอร์

2.7.1.2 อินดักชั่นมอเตอร์ที่มีโรเตอร์แบบขดลวด

อินดักชั่นมอเตอร์ชนิดนี้ตัวโรเตอร์จะทำจากเหล็กแผ่นบางๆ อัดซ้อนกันเป็นตัวทุ่นคล้ายๆอาร์เมเจอร์ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง จะมีร่องสำหรับวางขดลวดของตัวโรเตอร์เป็นขดลวด 3 ชุดสำหรับสร้างขั้วแม่เหล็ก 3 เฟสเช่นกัน โดยปลายของขดลวดทั้ง 3 ชุดต่อกับสลิปลิง (Slip Ring) จำนวน 3 อันสำหรับเป็นทางให้กระแสไฟฟ้าครบวงจรทั้ง 3 เฟสการทำงานของอินดักชั่นมอเตอร์เมื่อจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟสให้ที่ขดลวดทั้ง 3 ของตัวสเตเตอร์จะเกิดสนามแม่เหล็กหมุนรอบๆตัวสเตเตอร์ทำให้ตัวหมุนโรเตอร์ได้รับการเหนี่ยวนำทำให้เกิดขั้วแม่เหล็กที่ตัวโรเตอร์และขั้วแม่เหล็กนี้จะพยายามดึงดูดกับสนามแม่เหล็กที่หมุนอยู่รอบๆ

ทำให้มอเตอร์ของอินดักชั่นมอเตอร์หมุนไปได้ด้วยความเร็วของสนามแม่เหล็กหมุนที่ตัวสเตเตอร์นี้จะคงที่ตามความถี่ของไฟฟ้ากระแสสลับ ดังนั้นโรเตอร์ของอินดักชั่นของมอเตอร์จึงหมุนตามสนามแม่เหล็กดังกล่าวไปด้วยความเร็วเท่ากับความเร็วของสนามแม่เหล็กหมุน

2.7.2 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส แบบซิงโครนัส (3 Phase Synchronous Motor)

โครงสร้างของซิงโครนัสมอเตอร์ ที่สำคัญมี 2 ส่วนคือ สเตเตอร์ และ โรเตอร์

2.7.2.1 สเตเตอร์

สเตเตอร์ของซิงโครนัสมอเตอร์เหมือนกับสเตเตอร์ของ 3 เฟสอินดักชั่นมอเตอร์มีร่องสำหรับพันขดลวดจำนวน 3 ชุด เฟสละ 1 ชุด เมื่อจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส ให้กับสเตเตอร์จะเกิดสนามแม่เหล็กหมุนขึ้นเมื่อสนามแม่เหล็กหมุนอินดักชั่นมอเตอร์

2.7.2.2 โรเตอร์

โรเตอร์ของซิงโครนัสมอเตอร์เป็นแบบขั้วแม่เหล็กยื่น (Salient Poles) และมีขดลวดพันข้างๆ ขั้วแม่เหล็กยื่นเหล่านั้นขดลวดสนามแม่เหล็กที่พันรอบขั้วแม่เหล็กยื่นต่อกับแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงภายนอก เพื่อสร้างขั้วแม่เหล็กขึ้นที่ตัวโรเตอร์การทำงานของซิงโครนัสมอเตอร์เมื่อจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส ให้กับสเตเตอร์ของซิงโครนัสมอเตอร์จะเกิดสนามแม่เหล็กหมุนเนื่องจากตัวหมุน (โรเตอร์) ของซิงโครนัสมอเตอร์เป็นแบบขั้วแม่เหล็กยื่น และมีขดลวดสนามแม่เหล็กพันอยู่รอบ ๆโดยใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสภายนอก เมื่อจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงให้กับโรเตอร์จะทำให้เกิดขั้วแม่เหล็กที่โรเตอร์ขึ้นขั้วแม่เหล็กนี้จะเกาะตามการหมุนของสนามหมุนของ สเตเตอร์ ทำให้มอเตอร์หมุนไปด้วยความเร็วเท่ากับความเร็วของสนามแม่เหล็กที่สเตเตอร์

2.7.3 หลักการทำงานของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส

มอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำสามเฟสจะประกอบไปด้วยส่วนประกอบใหญ่ๆมี 2 ส่วน คือ สเตเตอร์และโรเตอร์โดยขดลวดสเตเตอร์ ได้รับไฟสลับ 3 เฟสจากภายนอกสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นที่สเตเตอร์จะหมุนคล้ายกับการหมุนของแม่เหล็กถาวร ด้วยความเร็ว ตามสมการที่ 2.2

$$N_S = \frac{120f}{p} \qquad (2.2)$$

เมื่อ

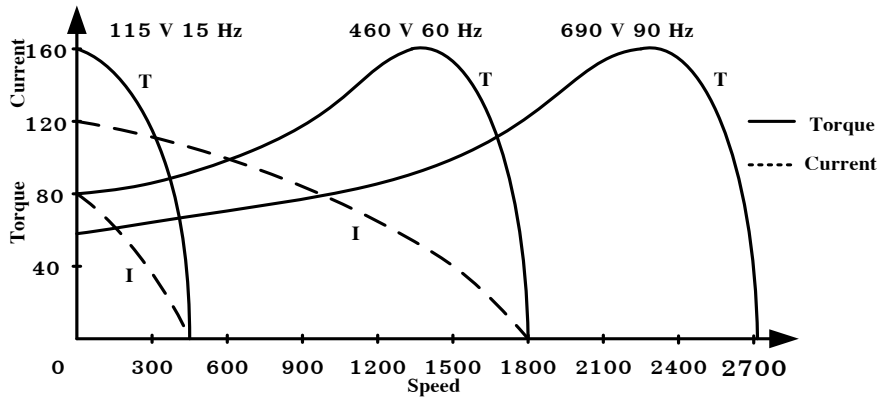
N_S = ความเร็วซิงโครนัส

f = ความถี่หลักมูลของไฟฟ้ากระแสสลับ

P = จำนวนขั้วแม่เหล็กของมอเตอร์

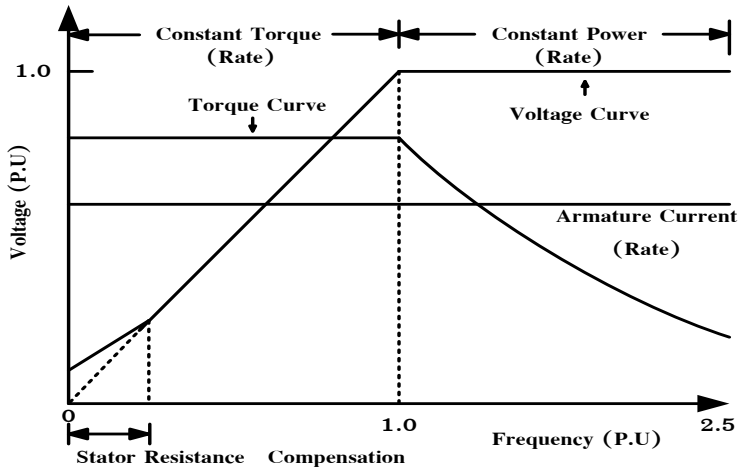
2.8 การควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์เหนี่ยวนำแบบ V/f

เมื่อสนามแม่เหล็กในช่องว่างอากาศลดลงจะทำให้แรงบิดสูงสุดของมอเตอร์ลดลง แต่การที่จะรักษาสนามแม่เหล็กในช่องว่างอากาศและแรงบิดสูงสุดให้คงที่ จำเป็นต้องเพิ่มแรงดันขาออกของอินเวอร์เตอร์ตามความถี่ด้วย นั่นคือรักษาอัตราส่วนของแรงดันขาออก (V) ต่อความถี่ (f) หรือ V/f ให้คงที่ทำให้แรงบิดสูงสุดคงที่นั่นเองภาพที่ 2.16 แสดงเส้นกราฟแรงบิด-ความเร็วเมื่อการเปลี่ยนแปลงค่าทั้งแรงดัน และความถี่ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส 15 แรงม้า 4 โพล 460 โวลต์ 60 เฮิรตซ์จากภาพที่ 2.16 จะเห็นว่าที่ความถี่ 60 เฮิรตซ์ แรงดัน 460 โวลต์ มีความเร็วซิงโครนัส 1,800 รอบ/นาที มีแรงบิดเริ่มหมุนที่ 80 นิวตัน-เมตร กระแสขณะเริ่มสตาร์ท 120 แอมแปร์ เมื่อลดแรงดันและความถี่ลงเหลือ 70 เปอร์เซ็นต์ คือ 115 โวลต์ 15 เฮิรตซ์ จะมีกระแสขณะสตาร์ท ลดลงเหลือ 80 แอมแปร์ และเกิดแรงบิดเริ่มหมุน 160 นิวตัน-เมตร ดังนั้นการลดความถี่ลงจะเพิ่มแรงบิดเริ่มหมุน และลดกระแสขณะสตาร์ทลง จึงนับว่าเป็นข้อดีในการเปลี่ยนความเร็วด้วยการควบคุมความถี่ แต่ว่าการที่จะควบคุมมอเตอร์เหนี่ยวนำให้มีแรงบิดสูงสุดคงที่ จะทำได้เฉพาะย่านที่อัตราความเร็วต่ำกว่ากำหนด (Base Speed)เท่านั้น แสดงในภาพที่ 2.16

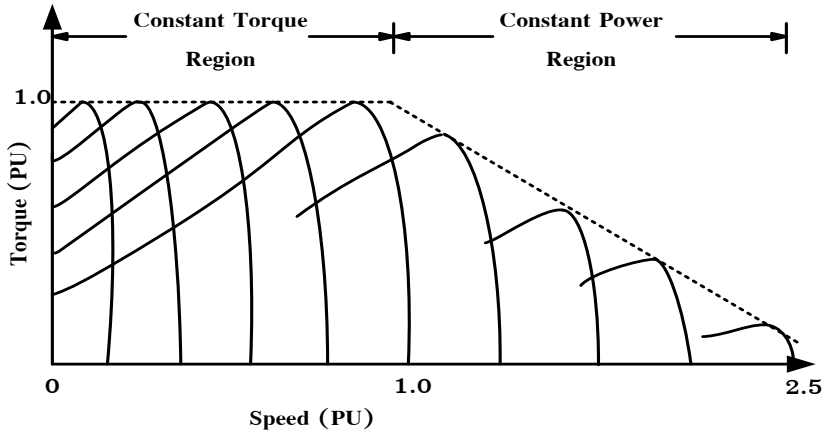


ภาพที่ 2.16 แสดงแรงบิด-ความเร็ว และกระแส-ความเร็ว

ในย่านความถี่ต่ำๆ การรักษาระดับแรงดันต่อความถี่ (V/f) ให้คงที่จะไม่เพียงพอที่จะทำให้แรงบิดสูงสุดมีค่าคงที่ทั้งนี้เพราะค่าความถี่ต่ำๆ ค่าความต้านทานของขดลวดสเตเตอร์จะมีค่าสูง ทำให้มีแรงดันตกคร่อมสูงเป็นผลให้เกิดมีการสูญเสียขึ้นในขดลวดสเตเตอร์ ดังนั้นจะต้องเพิ่มแรงดันที่แหล่งจ่ายให้กับสเตเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำเพื่อชดเชยแรงดันที่ตกคร่อมความต้านทานของสเตเตอร์ ทำให้การเปลี่ยนแปลงแรงดันกับความถี่เป็นไปตามเส้นทึบของกราฟภาพที่ 2.17 ก แทนการเปลี่ยนแปลงตามเส้นประซึ่งเป็นกราฟแรงดันต่อความถี่ (V/f) มีค่าคงที่



ก.



ข.

ภาพที่ 2.17 แสดงลักษณะการเปลี่ยนแปลงของแรงดัน แรงบิด กับความถี่ และแรงบิดกับความเร็ว

ก. ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดัน แรงบิด กับความถี่ของมอเตอร์

ข. แสดงกราฟแรงบิด-ความเร็วของมอเตอร์เหนี่ยวนำเมื่อควบคุมด้วยวิธี VVVF

ในย่านความถี่ที่สูงกว่าความถี่ที่กำหนดจะไม่สามารถรักษาแรงบิดให้คงที่ได้เนื่องจากจะทำให้มอเตอร์เกิดโอเวอร์โหลด (overload) ซึ่งจะทำให้มอเตอร์เสียหายได้ ดังนั้นจึงรักษาแรงดันให้คงที่ได้ตามที่กำหนดเอาไว้ (rated voltage) ซึ่งจะทำให้แรงบิดสูงสุดลดลงเนื่องจากการลดลงของสนามแม่เหล็กในช่องว่างอากาศ เมื่อเพิ่มมีความเร็วเพิ่มขึ้น

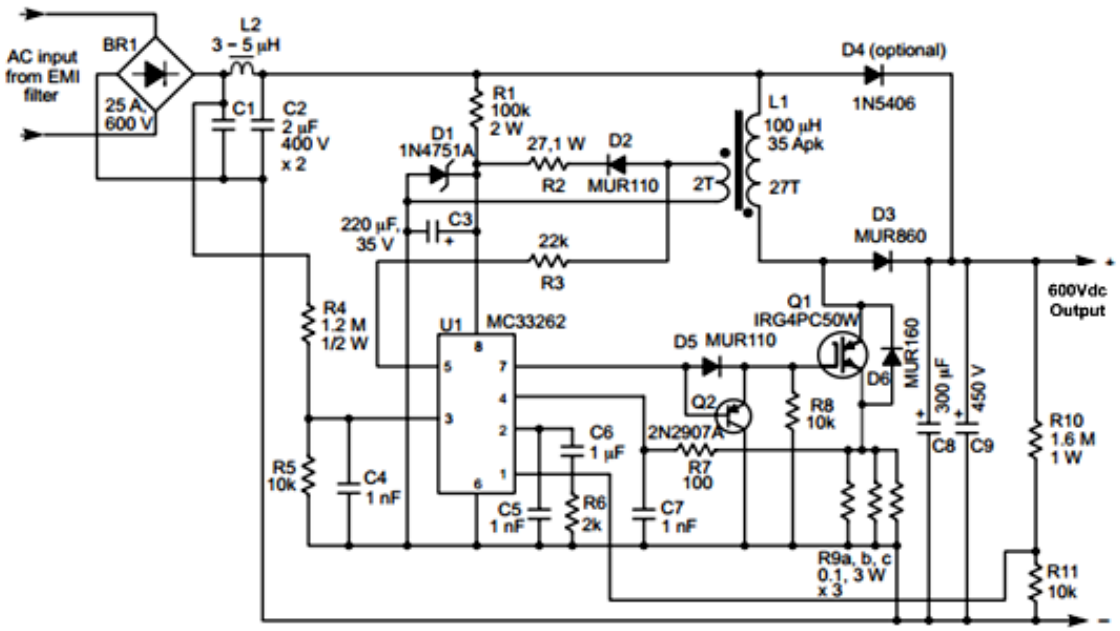
บทที่ 3

การออกแบบโครงงาน

ในบทนี้จะเป็นการออกแบบอุปกรณ์ต่างๆ โดยจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนใหญ่ๆ ส่วนแรกจะเป็นส่วนของการแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 1 เฟส เป็นไฟฟ้ากระแสตรงโดย วงจร AC-DC บูสต์คอนเวอร์เตอร์ซึ่งจะมีส่วนประกอบอย่างเช่น การออกแบบวงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์ การคำนวณการพันตัวเหนี่ยวนำและการออกแบบวงจร PFC และในส่วนที่ 2 จะเป็นส่วนของวงจรอินเวอร์เตอร์ (DC-AC Converter) จะกล่าวถึงการออกแบบและสร้างวงจร

3.1 การออกแบบและคำนวณวงจร AC-DC บูสต์คอนเวอร์เตอร์

ในส่วนของบูสต์คอนเวอร์เตอร์นี้จะกล่าวถึงการแปลงแรงดันAC 220 V เป็นแรงดัน DC 600 V ด้วยวงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์โดยจะมีวงจร PFC เป็นองค์ประกอบโดยใช้ IC เบอร์ MC33262 เป็นตัวขับ IGBT รวมทั้งการออกแบบการพันตัวเหนี่ยวนำ การเลือกขนาดของไดโอดและขนาดของ IGBT ในวงจรนี้



ภาพที่ 3.1 วงจร PFC บูสต์คอนเวอร์เตอร์โดยใช้ MC 33262

3.1.1 การออกแบบการพันตัวเหนี่ยวนำของบูสต์คอนเวอร์เตอร์

จากขอบเขตต้องการแรงดันเอาท์พุท $600V_{dc}$ ที่ความถี่ $50\,Hz$ จากแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง $310V_{dc}$ โดยใช้วงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์

จากสมการที่ 2.1

$$L_{min} = \frac{D(1\text{-}D)^2 R}{2f}$$

$$= \frac{(0.5)(1\text{-}0.5)^2(240)}{2(10k)}$$

$$= \frac{(0.5)(0.25)(240)}{2(10k)}$$

$$= 6(0.25)m$$

$$= 1.5mH$$

3.1.2 การเลือกใช้ไดโอด

ในการเลือกใช้ไดโอดซึ่งทางกลุ่มได้ออกแบบขนาดไว้ที่ แรงดันไบแอสกลับสูงสุดที่ 800V และการทนกระแสที่ 10A แต่เนื่องจากไดโอดขนาดที่ต้องการไม่มีจึงต้องกำหนดตัวใหม่เป็น MUR 10120E เป็นไดโอดชนิดฟื้นตัวเร็ว (Fast - Recovery) ซึ่งมีคุณสมบัติทนกระแสได้ถึง 10A ทนแรงดันไบแอสกลับสูงสุด 1200V และระยะเวลาในการฟื้นฟู 175 ns ซึ่งตรงตามความต้องการ

3.1.3 การเลือกใช้ IGBT

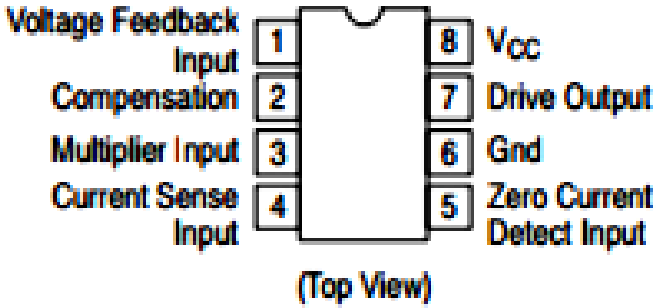
ในการเลือกใช้ IGBT ทางกลุ่มได้ออกแบบไว้ที่แรงดัน 800 V ทนกระแสสูงสุดที่ 10 A แต่ขนาดที่ต้องการไม่มีจึงได้เปลี่ยนเป็นเบอร์ IRG4PH40VD ซึ่งสามารถทนแรงดันได้ถึง 1200 V_{dc} และสามารถทนกระแสได้ถึง 47 A และมีความเร็วในการสวิตช์ชิ่งสูง

3.1.4 การเลือกใช้ MC33262

1. เอาต์พุตของบริดจ์ไดโอดซึ่งเป็นรูปคลื่นไซน์ที่ได้มาจากการเรียงกระแส จะต้องถูกกรองด้วย C_{in} ค่าต่ำๆ ก่อนที่ป้อนเข้าไอซีตัวควบคุม PFC เพื่อทำหน้าที่กำหนดกระแสให้เกิดเป็นรูปคลื่นไซน์ที่สมบูรณ์

2. วงจรขยายความแตกต่างในตัวควบคุม PFC จะมีหน้าที่ในการกำหนดค่าความผิดพลาดที่ได้จากการตรวจจับระดับแรงดันเอาต์พุตค่าจริงกับค่าที่ต้องการ โดยแถบกว้าง (Bandwidth) ต้องมีค่าต่ำๆ

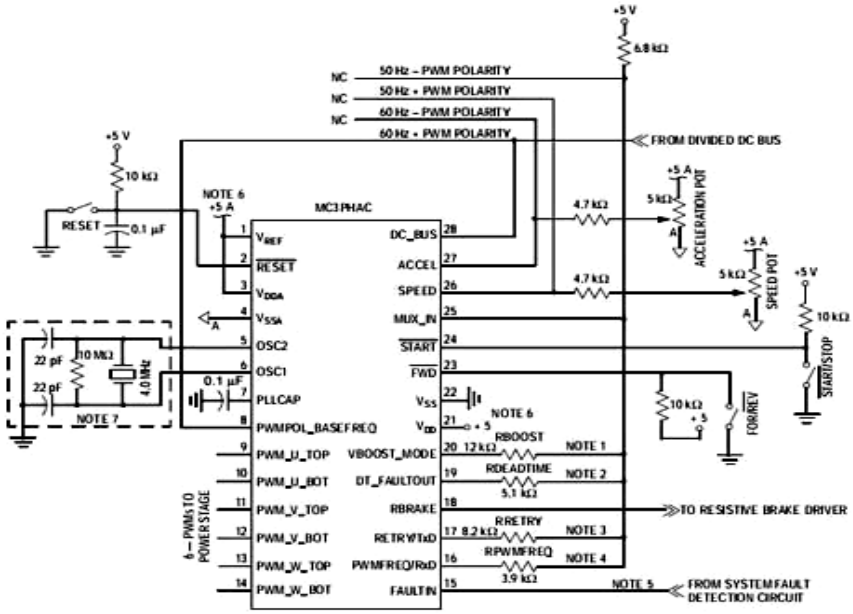
3. แลตช์ PWM (Pulse Width Modulation) ในตัวควบคุม PFC มีหน้าที่ในการควบคุมกระแสของอุปกรณ์การสวิตช์ โดยถ้าหากกระแสตัวเหนี่ยวนำมีค่ามากกว่าค่าที่ได้กำหนดไว้ แลตช์จะรีเซต (Reset) เพื่อทำให้อุปกรณ์การสวิตช์หยุดนำ และแลตช์จะเซต (Set) เมื่อกระแสตัวเหนี่ยวนำมีค่าเท่ากับศูนย์ เพื่อกำหนดให้อุปกรณ์การสวิตช์นำกระแสใหม่อีก



ภาพที่ 3.2 แสดงการใช้งานแต่ละขาของไอซีเบอร์ MC33262

3.2 การออกแบบวงจรอินเวอร์เตอร์

ในส่วนของอินเวอร์เตอร์นี้จะกล่าวการแปลงแรงดัน DC เป็น AC ด้วยวงจรอินเวอร์เตอร์ 3 เฟส โดยใช้ IC เบอร์ MC3PHAC ในการสร้างสัญญาณ PWM เพื่อไปไดร์ฟ IGBT



ภาพที่ 3.3 วงจรสร้างสัญญาณควบคุมของ MC3PHAC

สัญญาณพีดับเบิ้ลยูเอ็มที่นำมาใช้ในโครงงานนี้มีลักษณะเป็นสัญญาณพัลส์ (Pulse) ที่มีความถี่คงที่สามารถปรับค่าดิวตี้ไซเคิลได้ การสร้างสัญญาณพีดับเบิ้ลยูเอ็มเกิดจากการนำระดับสัญญาณแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง (UIN) ซึ่งเป็นสัญญาณอินพุท มาเปรียบเทียบกับสัญญาณรูปฟันเลื่อยสัญญาณเอาท์พุทที่ได้หลังจากการเปรียบเทียบกันระหว่าง 2 สัญญาณ จะเป็นสัญญาณพัลส์ที่มีดิวตี้ไซเคิล แปรผันตามระดับของสัญญาณอินพุท (UIN)

การทำงานของ MC3PHAC จะสร้างสัญญาณ PWM จำนวน 6 สัญญาณที่จะปรับขนาดของแรงดันตามการปรับความถี่เพื่อสร้างสัญญาณ 3 เฟส โดยการบวกเพิ่มฮาร์มอนิกส์ที่ 3 เข้าไปด้วยทำให้แรงดันขาออกของสัญญาณ 3 เฟส มีขนาดเท่ากับแรงดันสูงสุดของแรงดันขาเข้า สัญญาณ PWM ทั้ง 6 สัญญาณจะถูกนำไปขับ IGBT จำนวน 6 ตัว เพื่อป้องกันการทำงานในเฟสเดียวกัน (Shoot Through) ในช่วงเวลาที่ IGBT ในเฟสเดียวกันหยุดทำงานทั้งสองตัวเราเรียกว่า Dead Time

ตารางที่ 3.1 แสดงความถี่ PWM

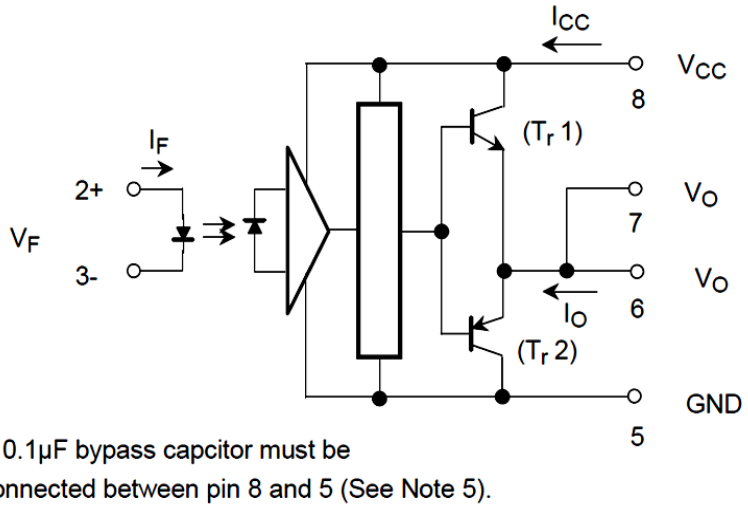
Voltage Input	PWM Frequency
0 to 1 V	5.291 kHz
1.5 to 2.25 V	10.582 kHz
2.75 to 3.5 V	15.873 kHz
4 to 5 V	21.164 kHz

3.3 โครงสร้างของ IGBT Driver

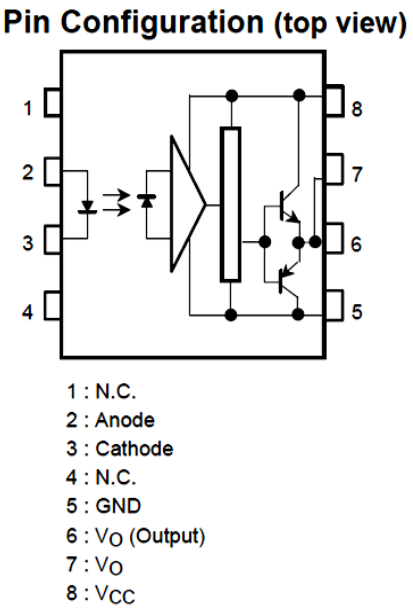
IGBT Driver เป็นส่วนที่ขยายสัญญาณเพื่อที่จะไปควบคุมการ ON-OFF ของ IGBT ประกอบด้วย 2 ส่วน คือ Opto Isolator กับส่วนที่เป็น current boost

Opto Isolator มีหน้าที่แยกไฟแรงสูงกับแรงต่ำโดยใช้แสงเป็นตัวกลางในการเชื่อมระบบโดยใช้แสงที่ได้ไปขับในส่วนของ current boost เพื่อขยายกระแสนั้นให้มากขึ้น

ในส่วนของ Driver นั้นจะใช้ IC TLP250 เป็น IGBT Driver ซึ่งสามารถพิจารณาการทำงานของ TLP250 ได้จากวงจรดังภาพที่ 3.4



ภาพที่ 3.4 แสดงวงจรการต่อใช้งาน



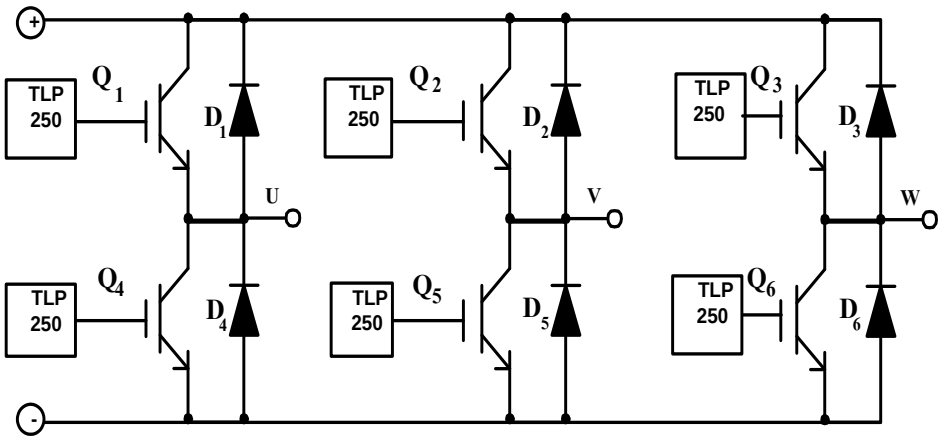
ภาพที่ 3.5 แสดงสัญลักษณ์การใช้งาน

3.3.1 ภาคขับ IGBT ใช้ IC Opto Coupler เบอร์ TLP250 ซึ่งมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้

- กระแสอินพุตเพื่อขับวงจร 15 mA
- กินกระแส 11 mA
- แรงดันใช้งาน 13-15 DC V
- กระแสด้านขาออกเพื่อขับเกต 1.5 A
- ความถี่สวิตช์สูงสุด 600 KHz

3.4 การออกแบบวงจรขับสวิตช์ IGBT

วงจรขับเกต (Gate Drive) เป็นวงจรส่วนที่สำคัญที่สุด ทำหน้าที่เชื่อมโยงสัญญาณพัลส์แบบมอดูเลตความกว้างพัลส์จากวงจรรวมกำเนิดจากสัญญาณต่างๆ กับสวิตช์อิเล็กทรอนิกส์กำลัง เช่น ไอจีบีที เป็นต้นโดยทั่วไปวงจรขับเกตจะทำหน้าที่แยก (Isolated) ความเชื่อมโยงทางไฟฟ้าระหว่างระหว่างสัญญาณพัลส์ควบคุมกับสวิตช์อิเล็กทรอนิกส์กำลังในวงจรกำลังและทำหน้าที่ตัดสัญญาณควบคุมสวิตช์อิเล็กทรอนิกส์กำลังในกรณีที่วงจรภาคกำลังอยู่ในสภาวะกระแสโหลดเกินหรือแรงดันสูงกว่าพิกัด เป็นต้น ลักษณะของวงจรขับเกตวงจรกำเนิดสัญญาณมอดูเลตความกว้างพัลส์และสวิตช์อิเล็กทรอนิกส์กำลัง



ภาพที่ 3.6 วงจรขับสวิตช์ IGBT

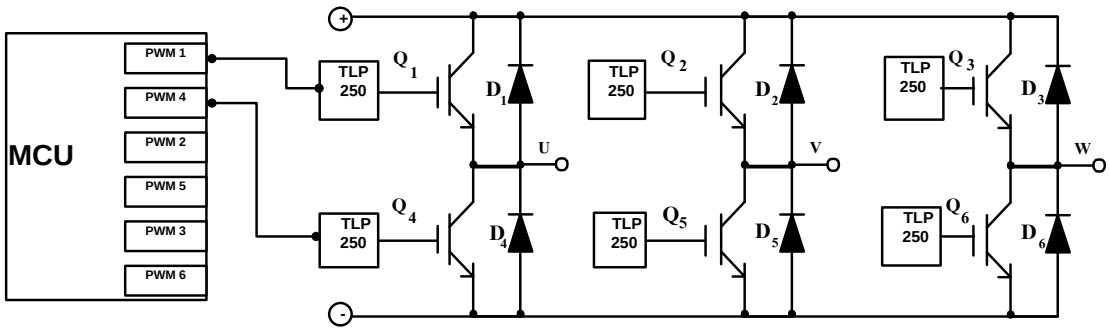
บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

จากขั้นตอนและการดำเนินงานต่างๆที่ผ่านมาในบทที่แล้ว เมื่อนำมาประกอบแต่ละส่วนเข้าด้วยกันเรียบร้อยแล้วจะได้ชุดควบคุมความเร็วมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟสโดยใช้ MC3PHAC

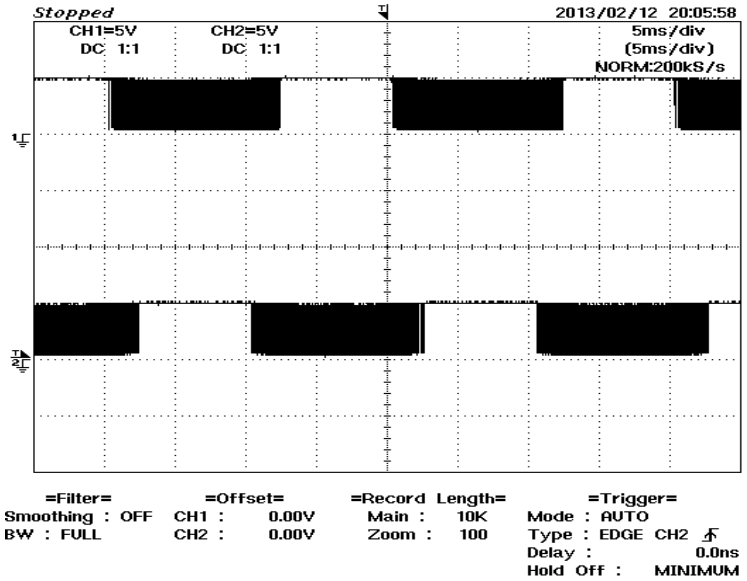
4.1 การวัดสัญญาณ PWM

วิธีการวัดสัญญาณนี้จะใช้ออสซิลโลสโคป วัดสัญญาณ PWM และนำสัญญาณที่ได้ไปไดร์ฟ IGBT โดยสัญญาณดังกล่าวนี้จะวัดจาก MC3PHAC ของอินเวอร์เตอร์ซึ่งผลการวัดจะแสดงดังภาพด้านล่าง



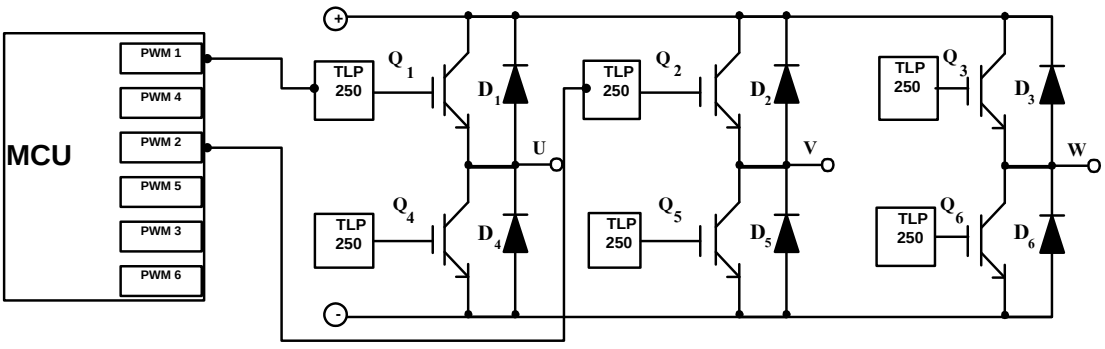
ภาพที่ 4.1 แสดงวงจรควบคุมสัญญาณ PWM Q_1 กับ Q_4

จากภาพที่ 4.1 จะทำการวัดสัญญาณของชุดควบคุมโดยทำการวัดระหว่างสัญญาณขับ Q_1 เปรียบเทียบกับสัญญาณขับ Q_4 ของไอซี MC3PHAC โดยรูปคลื่นของสัญญาณที่ทำการวัดจะแสดงดังภาพที่ 4.2



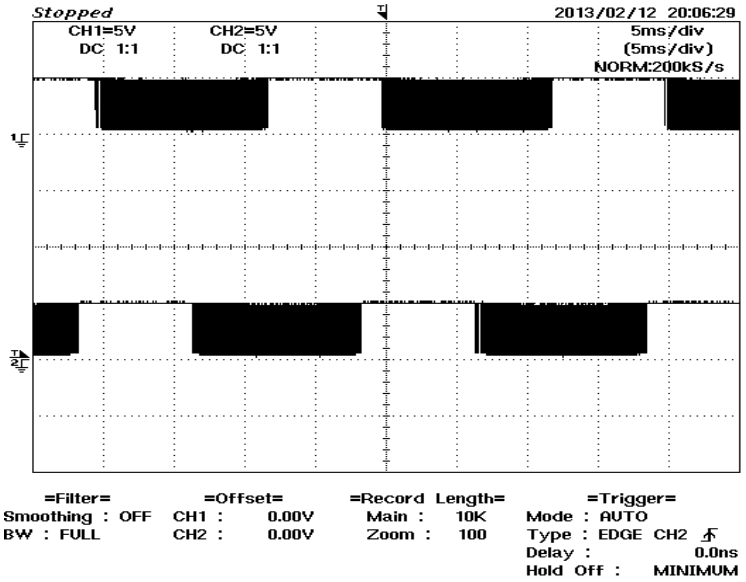
ภาพที่ 4.2 สัญญาณ PWM ที่ขาสัญญาณควบคุมเฟส U

ในภาพที่ 4.2 นี้การวัดสัญญาณ PWM ในขาของสัญญาณควบคุมเฟส U ที่ขาสัญญาณควบคุม Q_1 กับ Q_4 เพื่อเปรียบเทียบการทำงานในเฟสเดียวกันจะเห็นได้ว่าการทำงานในขานี้มีลักษณะการ ON,OFF ไม่พร้อมกัน



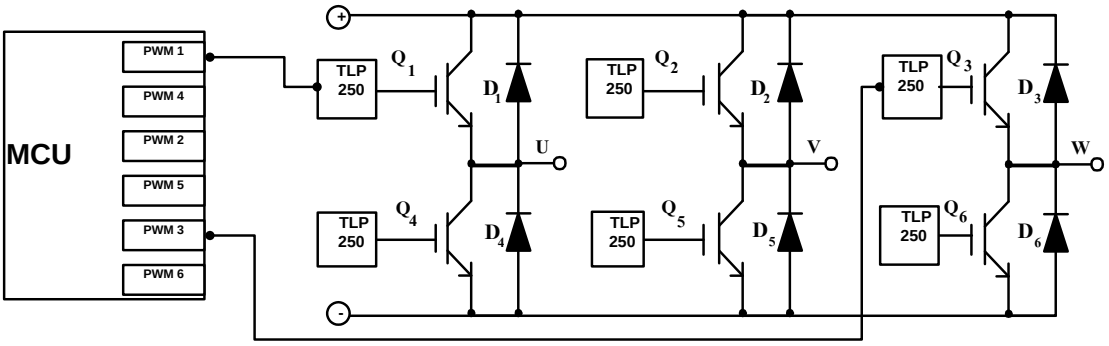
ภาพที่ 4.3 แสดงวงจรควบคุมสัญญาณ PWM Q_1 กับ Q_2

จากภาพที่ 4.3 จะทำการวัดสัญญาณของชุดควบคุมโดยทำการวัดระหว่างสัญญาณขับ Q_1 เปรียบเทียบกับสัญญาณขับ Q_2 ของไอซี MC3PHAC โดยรูปคลื่นของสัญญาณที่ทำการวัดจะแสดงดังภาพที่ 4.4



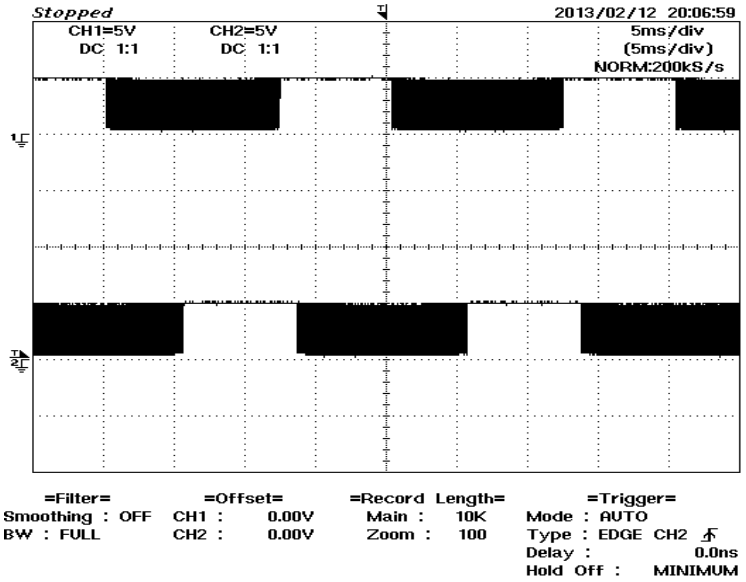
ภาพที่ 4.4 สัญญาณ PWM ที่ขาสัญญาณควบคุมของเฟส U กับเฟส V

จากภาพที่ 4.4 แสดงให้เห็นถึงลักษณะของสัญญาณพัลส์วิดท์ที่แสดงออกมาจะเหมือนกันแต่จะมีการเลื่อนเฟสที่ 120 องศา เมื่อเปรียบเทียบสัญญาณควบคุมระหว่างสัญญาณขับ Q_1 กับ Q_2



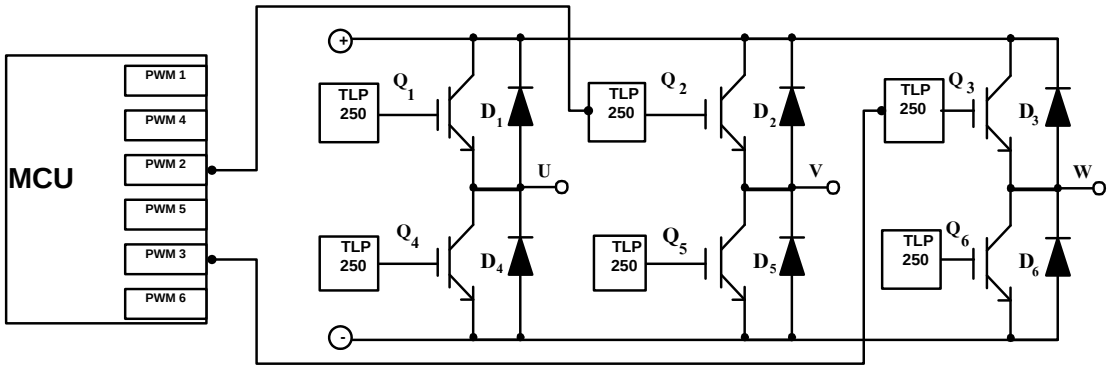
ภาพที่ 4.5 แสดงวงจรควบคุมสัญญาณ PWM Q_1 กับ Q_3

จากภาพที่ 4.5 จะทำการวัดสัญญาณของชุดควบคุมโดยทำการวัดระหว่างสัญญาณขับ Q_1 เปรียบเทียบกับสัญญาณขับ Q_3 ของไอซี MC3PHAC โดยรูปคลื่นของสัญญาณที่ทำการวัดจะแสดงดังภาพที่ 4.6



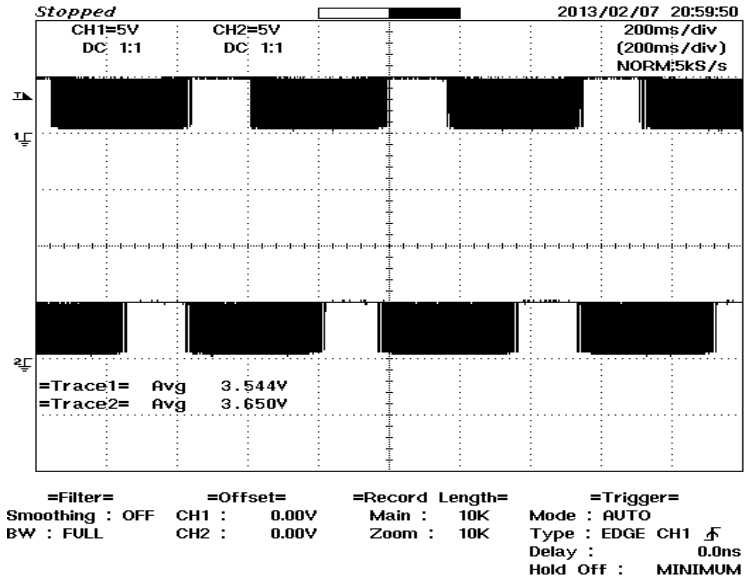
ภาพที่ 4.6 สัญญาณ PWM ที่ขาสัญญาณควบคุมของเฟส U กับเฟส W

จากภาพที่ 4.6 แสดงให้เห็นถึงลักษณะของสัญญาณ PWM ที่แสดงออกมาจะเห็นว่าเหมือนกันกับภาพที่ 4.4 แต่จะมีการเลื่อนเฟสที่ 240 องศา เมื่อเปรียบเทียบสัญญาณควบคุมระหว่างสัญญาณ ขับ Q_1 กับ Q_3



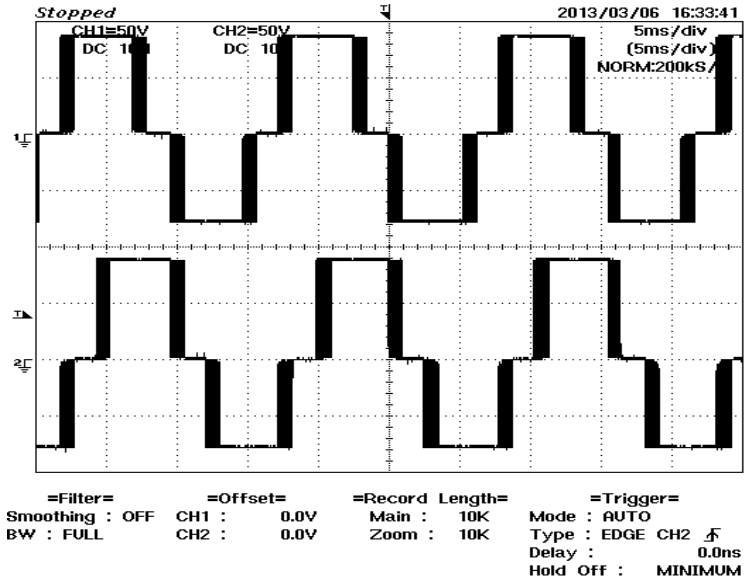
ภาพที่ 4.7 แสดงวงจรควบคุมสัญญาณ PWM Q_2 กับ Q_3

จากภาพที่ 4.7 แสดงการวัดสัญญาณของชุดควบคุมโดยทำการวัดระหว่างสัญญาณขับ Q_2 เปรียบเทียบกับสัญญาณขับ Q_3 ของไอซี MC3PHAC โดยรูปคลื่นของสัญญาณที่ทำการวัดจะแสดงดังภาพที่ 4.8



ภาพที่ 4.8 สัญญาณพัลส์วิดท์ที่ขา W กับ V

จากภาพที่ 4.8 นี้เป็นการวัดสัญญาณ PWM ที่ขาสัญญาณควบคุม Q_2 กับ Q_3 เพื่อเปรียบเทียบสัญญาณที่ออกมา ซึ่งจะมีการเลื่อนเฟส 120 องศา เหมือนสัญญาณเปรียบเทียบสัญญาณควบคุมระหว่างสัญญาณขับ Q_1 กับ Q_2 ในภาพที่ 4.4



ภาพที่ 4.9 วัดสัญญาณเฟส PWM ด้าน Output ของชุด Drive ที่ขา U-W กับ V-W

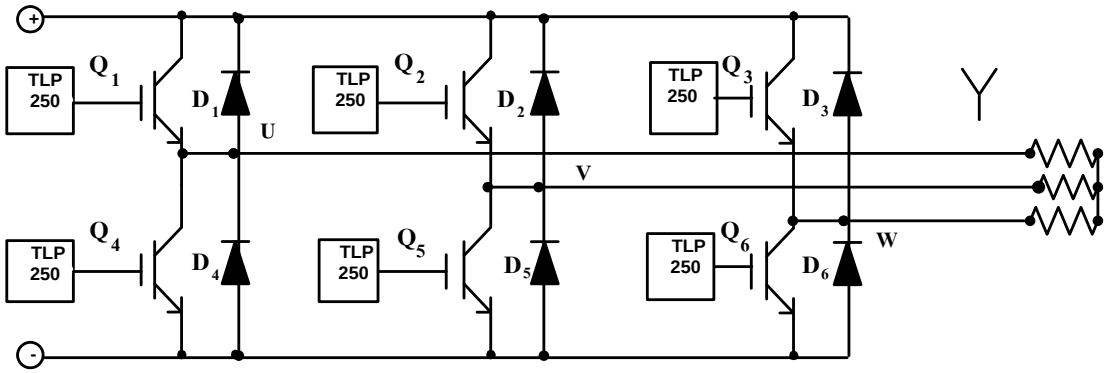
จากภาพที่ 4.9 แสดงการวัดสัญญาณที่ขา U-W กับ V-W โดยทำการวัดสัญญาณแบบเฟสกับเฟส ซึ่งมีการทำงานต่อเนื่องดังภาพ จะเห็นว่ามีการเลื่อนเฟสตามทฤษฎีระหว่างขา U-W กับ V-W จะเลื่อนที่ 120 องศา

4.2 ผลการทดสอบวัดแรงดันไฟฟ้ากับความถี่

ในการทดสอบจ่ายโหลดเพื่อหาความสัมพันธ์ ระหว่างแรงดันไฟฟ้ากับความถี่ จะมีการทดสอบทั้ง โหลดที่เป็นความต้านทานและโหลดที่เป็นมอเตอร์เหนี่ยวนำ โดยผลการทดลองมีทั้งสัญญาณแรงดันไฟฟ้า และตารางค่าแรงดันไฟฟ้ากับความถี่ พร้อมทั่งได้จัดทำกราฟเพื่อแสดงความสัมพันธ์

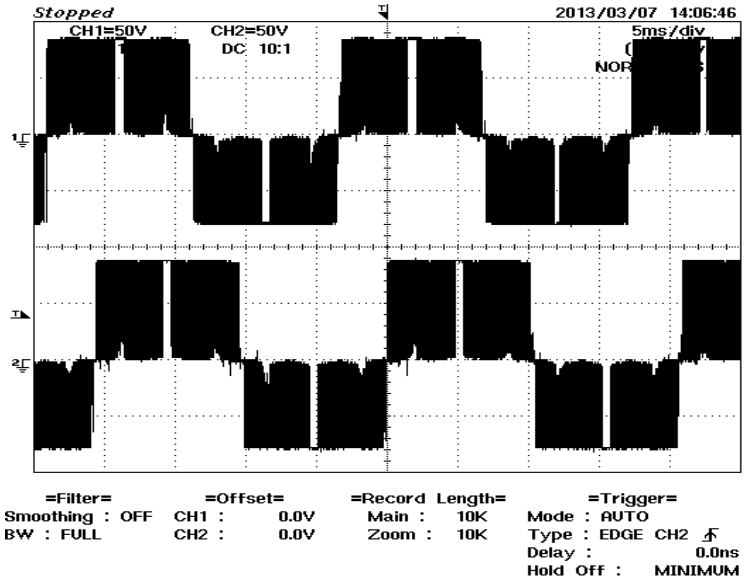
4.2.1 ผลการวัดของโหลดความต้านทาน

ในการทดลองต่อโหลดความต้านทาน ได้ต่อโหลดแบบสตาร์ให้กับอินเวอร์เตอร์ โดยใช้ความต้านทานขนาด 200 โอม์ จำนวน 3 ตัว โดยมีวงจรต่อดังภาพที่ 4.10



ภาพที่ 4.10 แสดงวงจรอินเวอร์เตอร์ ที่ต่อโหลดความต้านทาน

จากวงจรอินเวอร์เตอร์ที่ต่อความต้านทานตามภาพที่ 4.10 รูปสัญญาณแรงดันที่ U-W เทียบกับแรงดัน V-W จะเป็นไปตามภาพที่ 4.11



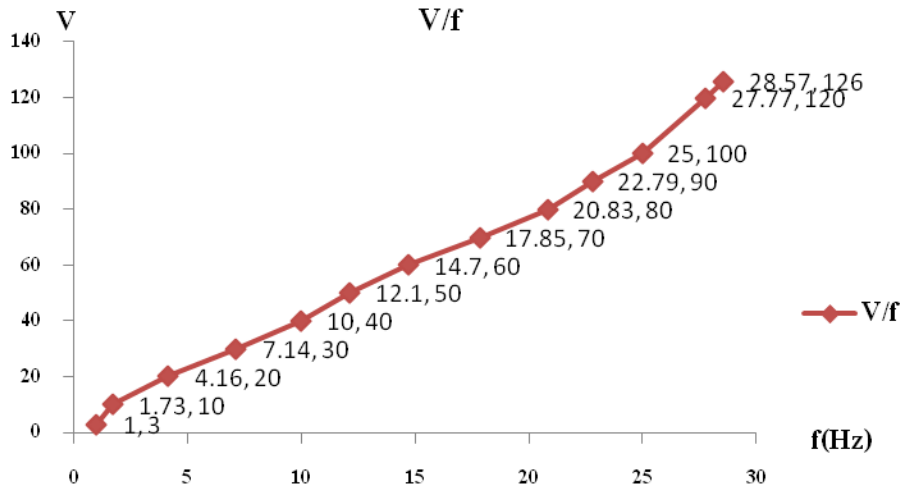
ภาพที่ 4.11 สัญญาณ PWM ที่ขา U-W กับ V-W ที่โหลดความต้านทาน

จากภาพที่ 4.11 จะเห็นได้ว่าเป็นสัญญาณ PWM ที่เป็นไปตามทฤษฎี และมีมุมต่างมุมต่างเฟส 120 องศา เมื่อทำการทดสอบปรับการควบคุม V/f ผลที่ได้เป็นไปตามตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าระหว่างแรงดันต่อความถี่ของโหลดความต้านทาน

V	3	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	120	126
f (Hz)	1	1.73	4.16	7.14	10	12.1	14.7	17.85	20.83	22.79	25	27.77	28.57
V/f	3	5.78	4.80	4.2	4	4.13	4.08	3.92	3.84	3.94	4	4.43	4.41

จากตารางที่ 4.1 เป็นผลการวัดค่าแรงดันไฟฟ้า เฟสกับเฟส เทียบกับความถี่ของสัญญาณแรงดันไฟฟ้าที่ออกจากอินเวอร์เตอร์ เมื่อนำค่าแรงดันไฟฟ้าหารด้วยค่าความถี่ จะเห็นได้ว่ามีค่าใกล้เคียงกัน ซึ่งเป็นไปตามทฤษฎี และเมื่อนำค่าในตารางไปสร้างกราฟจะเป็นไปตามภาพที่ 4.12

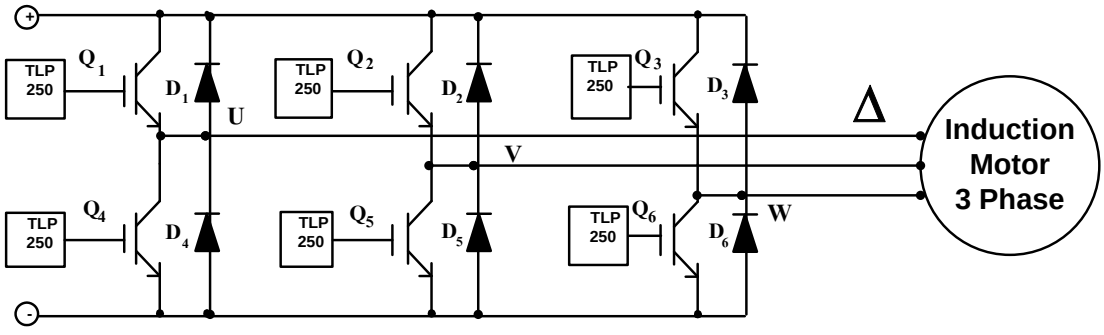


ภาพที่ 4.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถี่กับแรงดันที่จ่ายให้โหลดความต้านทานที่ต่อแบบสตาร์ ขนาด 200 โอห์ม

จากภาพที่ 4.12 จะเห็นได้ว่าอัตราส่วนของแรงดันที่จ่ายให้กับมอเตอร์จะมีค่าคงที่และจากกราฟจะเห็นได้อัตราส่วน V/f เป็นไปตามทฤษฎี ซึ่งมีลักษณะเป็นเส้นตรง

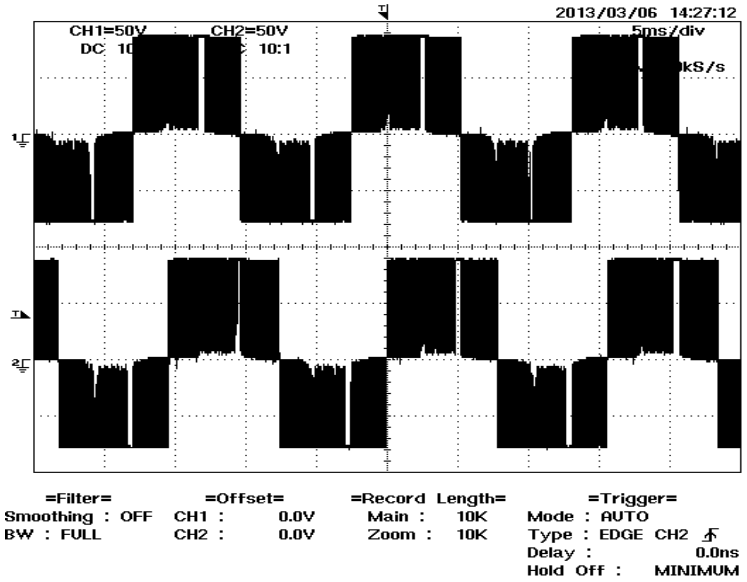
4.2.2 ผลการวัดของโหลดมอเตอร์เหนี่ยวนำ

ในการทดสอบต่อโหลดมอเตอร์เหนี่ยวนำได้ต่อโหลดแบบเดลต้าให้กับอินเวอร์เตอร์ โดยใช้มอเตอร์เหนี่ยวนำขนาดสามเฟส โดยมีวงจรต่อดังภาพที่ 4.13



ภาพที่ 4.13 แสดงวงจรอินเวอร์เตอร์ที่ต่อโหลดมอเตอร์เหนี่ยวนำ

จากวงจรอินเวอร์เตอร์ที่ต่อมอเตอร์เหนี่ยวนำ ตามภาพที่ 4.13 รูปสัญญาณแรงดันที่ U-W เทียบกับแรงดัน V-W จะเป็นไปตามภาพที่ 4.14



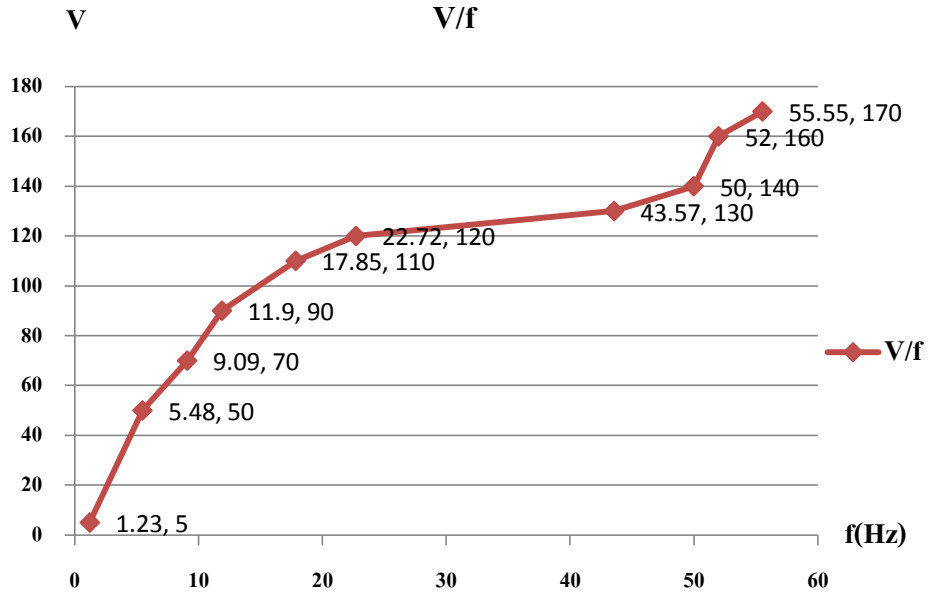
ภาพที่ 4.14 สัญญาณ PWM ที่ขา U-W กับ V-W ที่โหลดมอเตอร์ 3 เฟส

จากภาพที่ 4.14 จะเห็นได้ว่าเป็นสัญญาณ PWM ที่เป็นไปตามทฤษฎี และมีมุมต่างเฟส 120 องศา เมื่อทำการทดสอบปรับการควบคุม V/f ผลที่ได้เป็นไปตามตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าระหว่างแรงดันต่อความถี่ของโหลดมอเตอร์เหนี่ยวนำ

V	5	50	70	90	110	120	130	140	160	170
f (Hz)	1.23	5.48	9.09	11.9	17.85	22.72	43.57	50	52.65	55.55
V/f	4.06	9.12	7.70	7.56	6.16	5.28	2.98	2.8	3.03	3.06

จากตารางที่ 4.2 เป็นผลการวัดค่าแรงดันไฟฟ้า เฟสกับเฟส เทียบกับความถี่ของสัญญาณแรงดันไฟฟ้าที่ออกจากอินเวอร์เตอร์ เมื่อนำค่าแรงดันไฟฟ้าหารด้วยความถี่จะเห็นได้ว่ามีความเป็นเส้นตรงน้อยกว่าโหลดความต้านทานแต่ยังมีค่าที่ยอมรับได้ และเมื่อนำค่าในตารางไปสร้างกราฟจะเป็นไปตามภาพที่ 4.15



ภาพที่ 4.15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถี่กับแรงดันที่จ่ายให้มอเตอร์อินดักชั่น 3 เฟส

จากภาพที่ 4.15 จะเห็นได้ว่าอัตราส่วนของแรงดันที่จ่ายให้กับมอเตอร์และความถี่ที่ป้อนให้นั้นมอเตอร์มีค่าไม่คงที่ในย่านความถี่ต่ำ และจากกราฟจะสังเกตได้ว่าในช่วงความถี่ต่ำ จะเป็นช่วงที่มีการบูสต์ทอร์กสูงทำให้แรงดันไฟฟ้าวัดได้มีค่าสูงชั่วขณะ หลังจากที่ผ่านช่วงบูสต์ทอร์กไปแล้วค่าแรงดันจะคืนสู่ภาวะปกติ ส่วนใหญ่ในย่านความถี่สูงอัตราส่วนของแรงดันที่จ่ายให้มอเตอร์และความถี่ที่ป้อนให้มอเตอร์จะเป็นเชิงเส้นมากขึ้น

บทที่ 5

สรุปและเสนอแนะ

ในโครงงานนี้เป็นการสร้างชุดอินเวอร์เตอร์สามเฟส สำหรับขับเคลื่อนมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสในพื้นที่ชนบทที่ใช้ระบบเฟสเดียว โดยการออกแบบระบบอินเวอร์เตอร์ด้วย วิธีการแบบแรงดันต่อความถี่ เพื่อนำมาควบคุมความเร็ว ในโครงงานเล่มนี้ได้นำเสนอ การศึกษามาประยุกต์ใช้ IC เบอร์ MC3PHAC ใช้สร้างสัญญาณ PWM ซึ่งภายในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์นี้ จะมีโมดูลคำสั่งประมวลผลสัญญาณดิจิตอล และโมดูลคำสั่งสร้างสัญญาณ PWM ที่สามารถควบคุมมอเตอร์ ส่วนชุดวงจรอินเวอร์เตอร์ใช้โมดูลของ IPM ของมิตซูบิชิ เบอร์ TM52A เป็นตัวขับเคลื่อนมอเตอร์ ผลของสัญญาณควบคุมที่ได้เป็นไปตามทฤษฎี และเมื่อทำการทดสอบส่วนของการจ่ายกำลังด้วยโหลดสองชนิด ชนิดแรกใช้กับโหลดความต้านทาน จะได้ความสัมพันธ์แรงดันต่อความถี่ มีค่าค่อนข้างมีความเป็นเชิงเส้นซึ่งจะเป็นไปตามทฤษฎี และชนิดที่สองในส่วนของโหลดมอเตอร์เหนี่ยวนำนั้นจะมีความเป็นเชิงเส้นน้อยกว่าโหลดความต้านทานแต่ยังมีค่าที่ยอมรับได้

เอกสารอ้างอิง

[1] ทักษิน ฤทธี , วิศรุต ภูมิภักดิ์ พ.ศ. 2551“Speed Control 3 – Phase Induction motors By Microcontroller” “นักศึกษาสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ”

[2] ศิโรตน์ เหรียญทอง, เอกราช สังข์ทอง, กนก บุญจิตร์, ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นิมิต บุญภิรมย์, อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงาน, มหาวิทยาลัยศรีปทุม. ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า พ.ศ. 2549 “

[3] กฤษดา วิศวธีรานนท์ พ.ศ 2539 “Inverter หลักการทำงานและเทคนิคการใช้งาน”การแปลงไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับนิยมเรียกกันว่าอินเวอร์เตอร์ (Inverters) “จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย”

ภาคผนวก