บทที่ 6
โครงสร้างฮาร์ดแวร์สำหรับการขับเคลื่อนเพื่อประหยัดพลังงาน

6.1 บทนำ

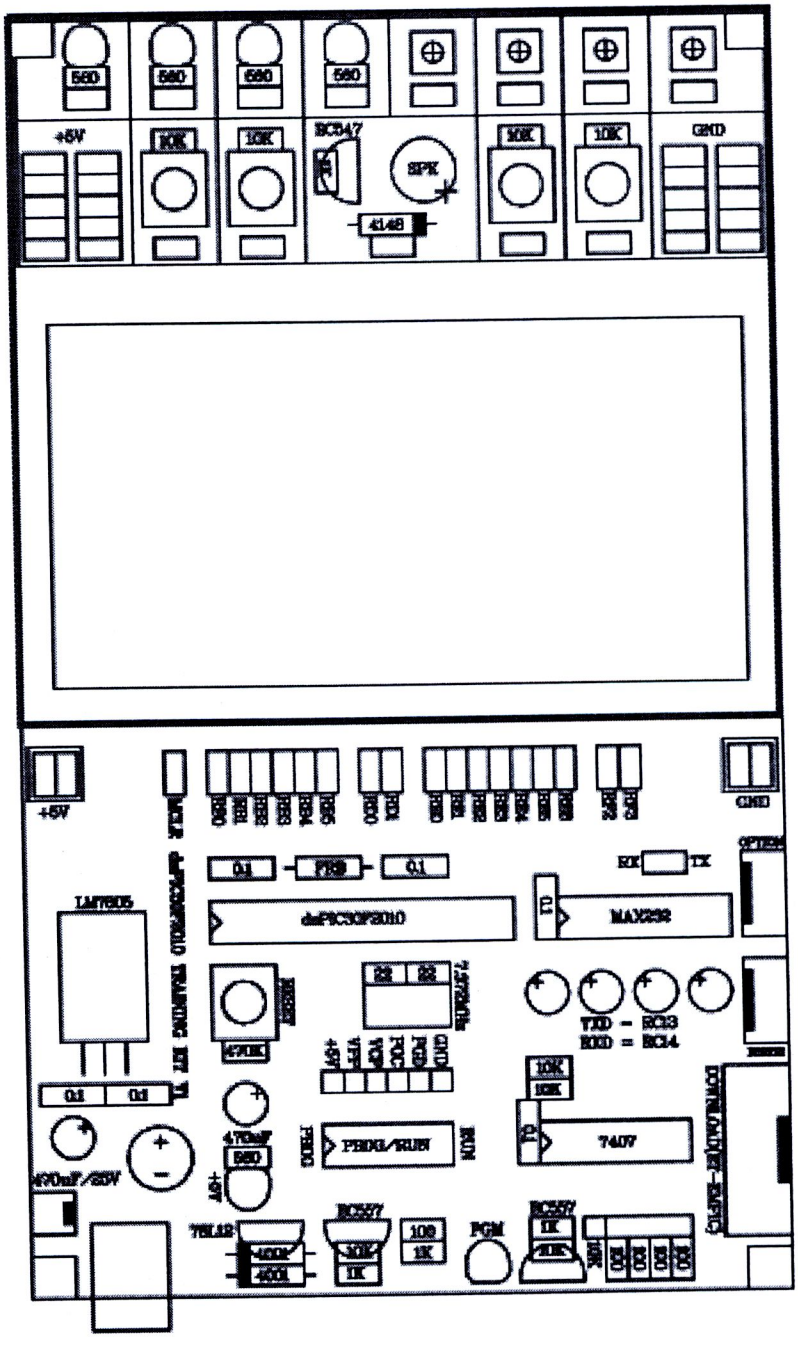
ระบบที่ใช้สำหรับขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงชนิดแยกกระตุ้น ประกอบด้วยสองส่วนหลัก คือ วงจรเรียงกระแส และวงจรชอปเปอร์ วงจรเรียงกระแสที่ใช้ในงานวิจัย คือ วงจรเรียงกระแสหนึ่งเฟสแบบบริดจ์ ทำหน้าที่แปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับเป็นกระแสตรง ในขณะที่วงจรชอปเปอร์ทำหน้าที่ปรับเปลี่ยนระดับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ได้จากวงจรเรียงกระแสเพื่อเข้ามอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงชนิดแยกกระตุ้น วงจรชอปเปอร์ดังกล่าวใช้วงจรที่เรียกว่า วงจรแปลงผันแบบบัคก์ โดยอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เป็นสวิตช์ สำหรับวงจรชอปเปอร์ คือ มอสเฟต ซึ่งการควบคุมการทำงานของมอสเฟต จะใช้บอร์ด dsPIC30F2010 ของบริษัท ETT เนื่องจากบอร์ดดังกล่าวมีราคาไม่สูงมาก อีกทั้งสามารถหาซื้อได้ในประเทศไทย ด้วยเหตุนี้ในบทนี้จึงได้อธิบายเกี่ยวกับบอร์ด dsPIC30F2010 และนำเสนอวิธีการออกแบบระบบขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงชนิดแยกกระตุ้นทั้งสองวงจร รวมถึงอธิบายหลักการทำงานและเสนอผลการทดสอบในแต่ละวงจร

6.2 บอร์ด dsPIC30F2010

บอร์ด ET-dsPIC30F2010 TRAINING KIT V1.0 EXP ประกอบไปด้วย วงจรพื้นฐานที่จำเป็นสำหรับการศึกษาเรียนรู้และทดลองใช้งานทรัพยากรต่าง ๆ ของ MCU ตระกูล dsPIC โดยภายในบอร์ดได้จัดเตรียมวงจรใช้งานที่จำเป็นไว้อย่างครบถ้วน (สามารถดูรูปโครงสร้างของบอร์ดได้ดังรูปที่ 6.1 ซึ่งส่วนประกอบของบอร์ดดังกล่าว เป็นดังนี้

- ใช้ dsPIC30F2010 เป็น MCU ประจำบอร์ด
- วงจร LED ใช้แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้า +5 V โดยใช้ LED สีแดงขนาด 3 mm จำนวน 4 ชุด สำหรับใช้ในการทดสอบการทำงานของเอาต์พุตต่าง ๆ
- วงจรปรับแรงดัน 0-5 V โดยใช้ตัวต้านทานปรับค่าได้แบบเกือกม้าชนิดมีแกนปรับ จำนวน 4 ชุด สำหรับใช้ในการทดสอบการทำงานของ A/D
- วงจร Push-Button Switch จำนวน 4 ชุดสำหรับใช้ทดสอบการทำงานของอินพุตต่าง ๆ
- วงจร Mini Speaker สำหรับใช้ทดสอบการกำเนิดเสียง Beep หรือเสียงอื่น ๆ

- พื้นที่สำหรับต่อวงจรเพิ่มเติมขนาด 8 cm x 4.5 cm หรือใช้เป็นพื้นที่ติดตั้งบอร์ดอเนกประสงค์รุ่น AD100 ขนาด 360 จุด สำหรับต่อทดลองวงจรต่าง ๆ



รูปที่ 6.1 โครงสร้างบอร์ด ET – dsPIC30F2010 TRAINING KIT V1.0/EXP

6.2.1 คุณสมบัติของ dsPIC30F2010

dsPIC30F2010 เป็น MCU ที่ใช้ในการประมวลผลข้อมูลแบบ 16 บิต มีจุดเด่นในด้านของความสามารถในการประมวลผลข้อมูลสัญญาณแบบดิจิตอล สำหรับนำไปประยุกต์ใช้ในงานควบคุมต่าง ๆ โครงสร้างภายในเป็นการผสมผสานระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์และวงจร DSP (digital signal procssing) รวมเข้าไว้ด้วยกัน หรืออาจเรียก MCU ตระกูล dsPIC ว่าเป็น DSC หรือ Digital Signal Controller ก็ได้

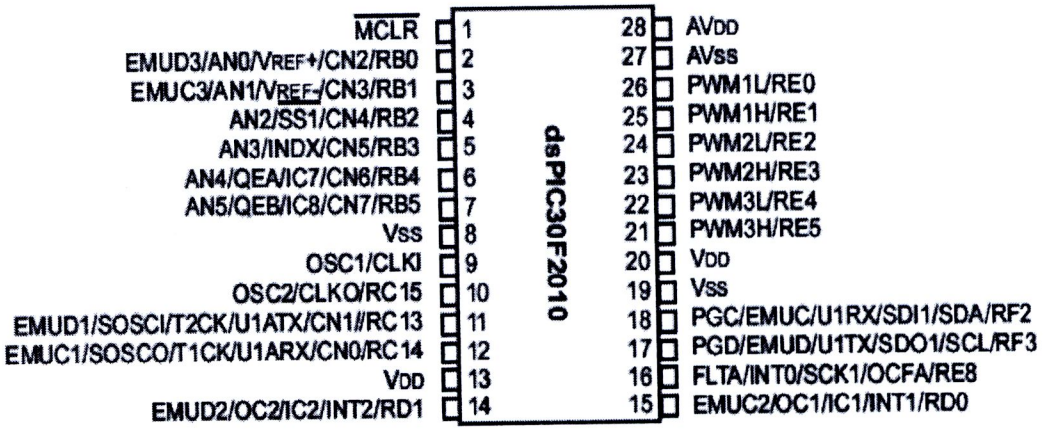
6.2.2 คุณสมบัติด้านการประมวลผล

- มีหน่วยความจำ RAM ขนาด 512 Byte
- มีหน่วยความจำข้อมูลถาวรแบบ EEPROM ขนาด 1 Kbyte
- สามารถประมวลผลด้วยความเร็วสูงสุดที่ 30 MIPS (30 ล้านคำสั่งต่อวินาที)
- รองรับสัญญาณนาฬิกาจากแหล่งกำเนิดภายนอก 0-40 MHz
- รองรับการใช้งานกับแหล่งกำเนิดความถี่แบบ XTAL ในย่าน 4-10 MHz
- มีวงจรคูณความถี่ภายในแบบ Phase-Lock-Loop โดยสามารถกำหนดค่าอัตราการคูณความถี่ได้ 3 ระดับ คือ 4 เท่า 8 เท่า และ 16 เท่า
- รองรับการขัดจังหวะ (interrupt) ได้ถึง 27 แหล่ง พร้อมสัญญาณขัดจังหวะจากภายนอก 3 แหล่ง และสามารถจัดระดับความสำคัญของการขัดจังหวะได้ 8 ระดับ

6.2.3 คุณสมบัติของ Peripheral I/O

- ขาสัญญาณ I/O สามารถจ่ายกระแส และรับกระแส ได้มากถึง 25 mA
- มี Timer ขนาด 16 บิต จำนวน 3 ชุด และสามารถโปรแกรมใช้งานเป็น Timer แบบ 32 บิตได้โดยใช้ Timer 16 บิต 2 ช่องรวมกัน มี Input Capture ขนาด 16 บิต จำนวน 4 ช่อง
- มี Output Compare/PWM ขนาด 16 บิต จำนวน 2 ช่อง
- มีวงจรสื่อสารอนุกรมแบบ SPI จำนวน 1 ช่อง
- มีวงจรสื่อสารอนุกรมแบบ I2C จำนวน 1 ช่อง
- มีวงจรสื่อสารอนุกรมแบบ UART จำนวน 1 ช่อง
- มีวงจร DCPWM สำหรับใช้ควบคุมมอเตอร์ 3 ช่อง
- มีวงจรถอดรหัสแบบ QEIM ขนาด 16 บิต จำนวน 1 ช่อง
- มีวงจร A/D ขนาด 10 บิต จำนวน 6 ช่อง

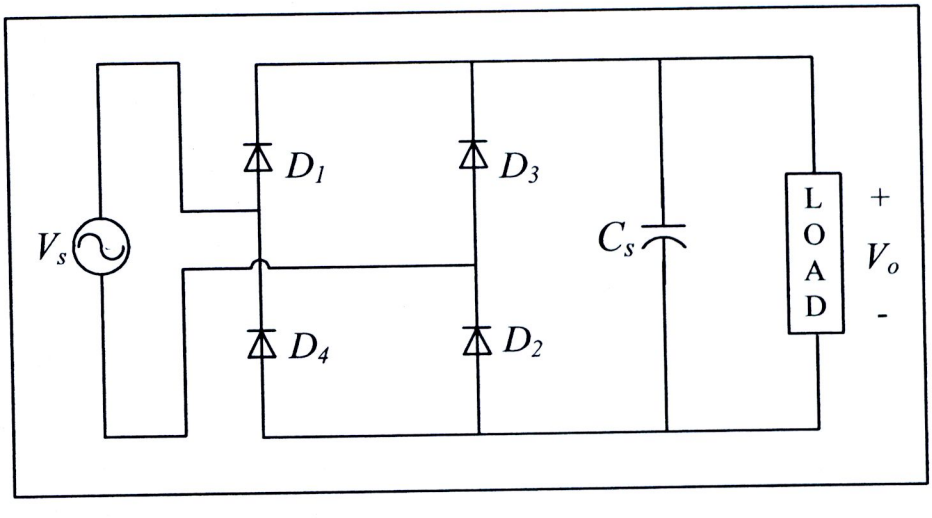
รายละเอียดขาต่าง ๆ แสดงได้ดังรูปที่ 6.2 ดังนี้



รูปที่ 6.2 การจัดเรียงขาสัญญาณของ dsPIC30F2010

6.3 วงจรเรียงกระแสหนึ่งเฟสแบบบริดจ์

วงจรเรียงกระแสหนึ่งเฟสแบบบริดจ์ ถือว่าเป็นวงจรหนึ่งในการแปลงกระแสสลับเป็นกระแสตรง โครงสร้างของวงจรประกอบด้วยไดโอดทั้งหมด 4 ตัว ดังรูปที่ 6.3

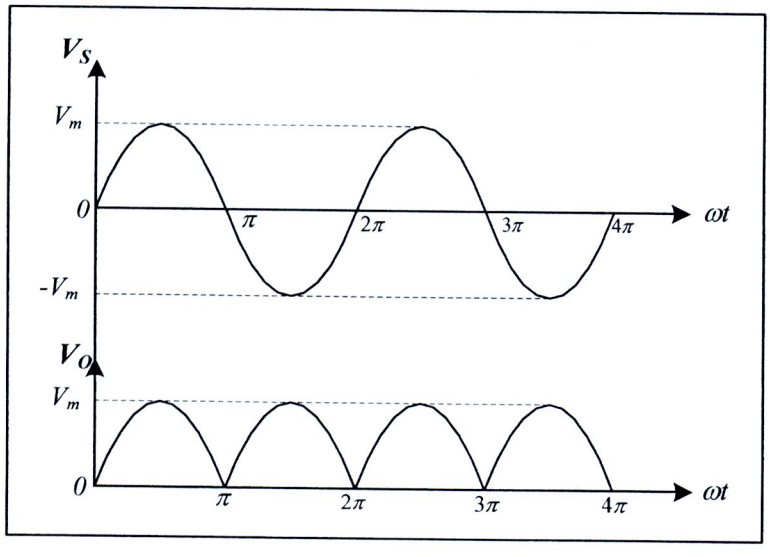


รูปที่ 6.3 วงจรเรียงกระแสหนึ่งเฟสแบบบริดจ์

6.3.1 หลักการทำงานของวงจร

จากวงจรดังรูปที่ 6.3 สามารถพิจารณาโหมดการทำงานได้เป็น 2 โหมด โดยในแต่ละโหมดไดโอดจะทำงานครั้งละ 2 ตัวสลับกัน คือ โหมดที่ 1 ช่วงซีกบวกของสัญญาณแรงดันไฟฟ้าที่

แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้า ไดโอด D_1, D_2 นำกระแส และโหมดที่ 2 ช่วงซีกลบของสัญญาณแรงดันไฟฟ้าที่แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้า ไดโอด D_3 , D_4 นำกระแส ซึ่งจากการทำงานในแต่ละโหมดจะได้รูปสัญญาณของค่าแรงดันไฟฟ้า ดังรูปที่ 6.4 ดังนี้



สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

รูปที่ 6.4 รูปสัญญาณแรงดันไฟฟ้าของวงจรเรียงกระแสหนึ่งเฟสแบบบริดจ์

จากรูปที่ 6.4 เมื่อคำนวณค่าแรงดันเอาต์พุตเฉลี่ย ($V_{o,av}$) ที่ได้จากวงจรเรียงกระแสหนึ่งเฟสแบบบริดจ์ โดยพิจารณาจากพื้นที่ใต้กราฟในรูปดังกล่าว จะคำนวณได้ดังสมการที่ (6.1) ดังนี้

$$V_{o,av} = \frac{2V_m}{\pi} \tag{6.1}$$

โดยที่ V_m คือ ค่ายอดของแรงดันอินพุตที่จ่ายให้วงจรเรียงกระแส

เมื่อพิจารณาการคำนวณแรงดันไฟฟ้าต้านกลับด้านลบ (V_{RRM} : Maximum Recurrent Peak Reverse Voltage) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (6.2) ดังนี้

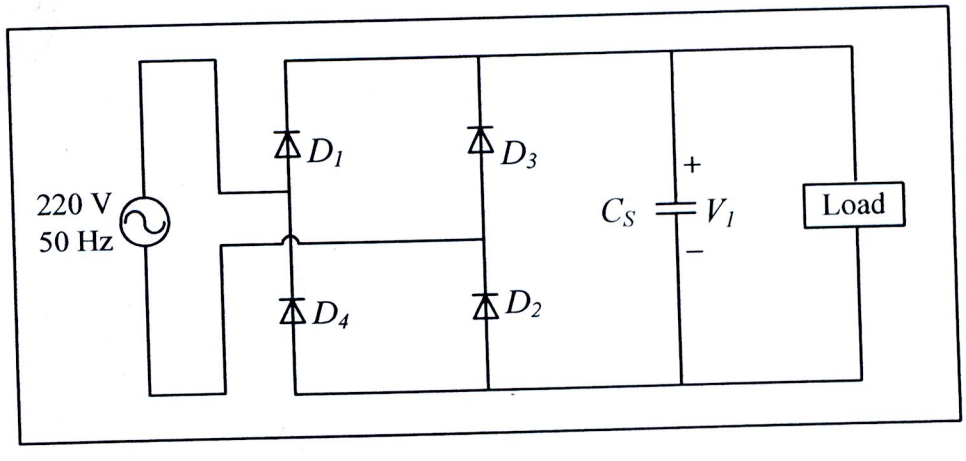
$$V_{RRM} = V_m \tag{6.2}$$

เมื่อพิจารณาสมการคำนวณกระแสไดโอดเฉลี่ย ($I_{D,av}$) จะได้ดังสมการที่ (6.3)

$$I_{D,av} = \frac{1}{T}\int_0^T I_{O,av}(t)dt = \frac{V_m}{\pi R} \tag{6.3}$$

6.3.2 การออกแบบ

วงจรเรียงกระแสหนึ่งเฟสแบบบริดจ์ในงานวิจัยนี้ได้ใช้วงจรที่เป็นลักษณะมอดูล เพราะฉะนั้นจึงทำการออกแบบพิกัดของมอดูลวงจรเรียงกระแสหนึ่งเฟสแบบบริดจ์ ซึ่งการออกแบบจะคำนึงถึงพิกัดของแรงดันและกระแสเป็นสำคัญ โดยวงจรเรียงกระแสที่ใช้ในงานวิจัยแสดงได้ดังรูปที่ 6.5 ดังนี้

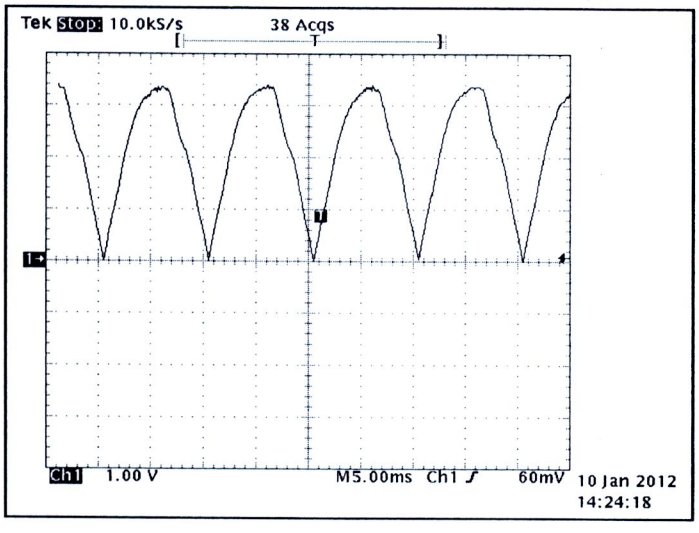


รูปที่ 6.5 วงจรเรียงกระแสหนึ่งเฟสแบบบริดจ์ที่ใช้ในงานวิจัย

จากรูปที่ 6.5 ตัวเก็บประจุ (C_S) ต่อขนานกับโหลดเพื่อทำหน้าที่ปรับเรียบแรงดันเอาต์พุตที่ออกจากวงจรเรียงกระแส ซึ่งงานวิจัยนี้ได้กำหนดให้แรงดันเอาต์พุตมีตัวประกอบความพลิ้ว (ripple factor) เท่ากับ 5 เปอร์เซ็นต์ จากข้อกำหนดดังกล่าวข้างต้นสามารถออกแบบได้ตามขั้นตอนดังนี้

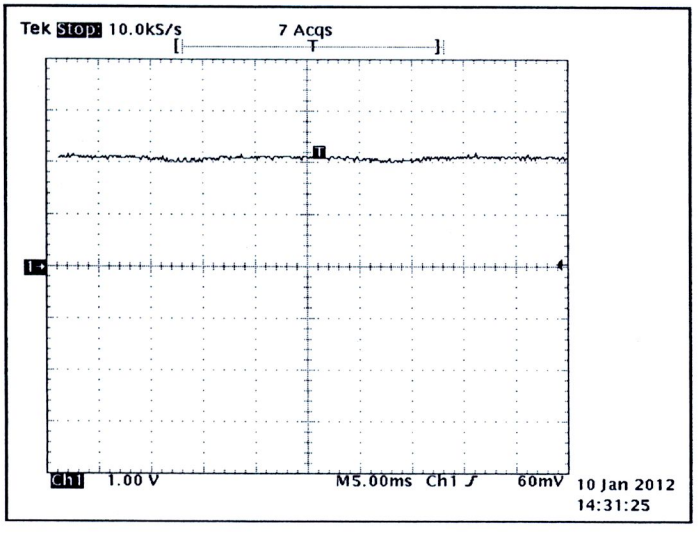
ขั้นที่ 1 เลือกตัวเก็บประจุ

ตัวเก็บประจุที่เลือกใช้ในงานวิจัย คือ ตัวเก็บประจุขนาด 1000 μF ซึ่งเป็นตัวเก็บประจุที่มีอยู่ในห้องทดลอง ดังนั้นจึงทดสอบตัวเก็บประจุดังกล่าว เพื่อดูว่าแรงดันเอาต์พุตมีตัวประกอบความพลิ้วตามที่กำหนดหรือไม่ โดยการทดสอบจะปรับแรงดันให้ได้แรงดันเอาต์พุต เท่ากับ 220 V ผลจากการทดสอบแสดงได้ดังรูปที่ 6.6 ถึง 6.8 ดังนี้

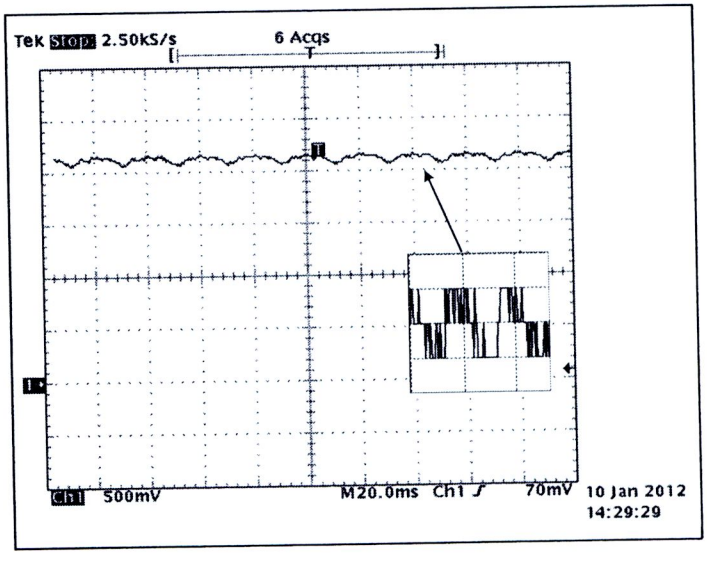


รูปที่ 6.6 รูปสัญญาณเอาต์พุตของวงจรเรียงกระแสหนึ่งเฟสแบบบริดจ์ในขณะที่ไม่ต่อตัวเก็บประจุ

รูปที่ 6.6 และรูปที่ 6.7 แสดงให้เห็นว่าเมื่อต่อตัวเก็บประจุขนานกับโหลด รูปสัญญาณแรงดันเอาต์พุตจะมีลักษณะเรียบขึ้น และจากรูปที่ 6.8 รูปสัญญาณแรงดันพลิ้วของแรงดันเอาต์พุต จะสังเกตว่าตัวประกอบความพลิ้วมีค่าไม่เกินค่าที่กำหนดไว้ ซึ่งจากรูปสัญญาณพบว่าแรงดันพลิ้วมีค่าเท่ากับ 4 V ดังนั้นตัวเก็บประจุขนาด 1000 μF จึงสามารถนำมาใช้ในงานวิจัยได้



รูปที่ 6.7 รูปสัญญาณเอาต์พุตของวงจรเรียงกระแสหนึ่งเฟสแบบบริดจ์ในขณะที่ต่อตัวเก็บประจุ



รูปที่ 6.8 รูปสัญญาณแรงดันพลิ้วของแรงดันเอาต์พุต

ขั้นที่ 2 คำนวณค่าแรงดันไฟฟ้าต้านกลับด้านลบ จากสมการที่ (6.2)

$$V_{RRM} = V_m = \sqrt{2} \times 220$$

คำนึงถึงค่าตัวประกอบนิรภัย (safety factor) 25 เปอร์เซ็นต์ จะได้

$$V_{RRM} = 311.13 \times 1.25 = 388.91 \text{ V}$$

ดังนั้นค่าแรงดันแรงดันไฟฟ้าต้านกลับด้านลบ เท่ากับ 388.91 V

ขั้นที่ 3 คำนวณค่ากระแสไดโอดเฉลี่ย

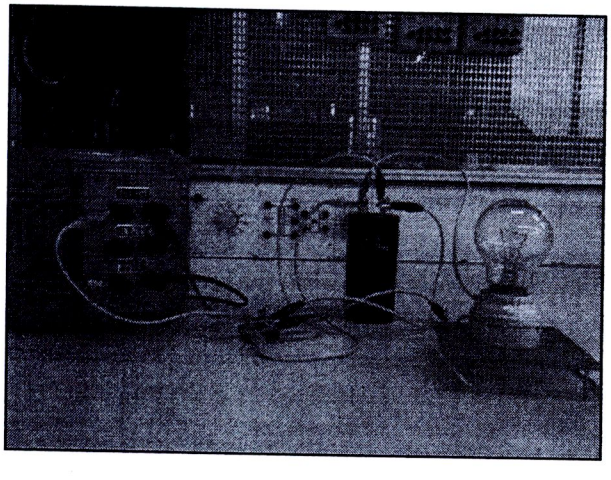
งานวิจัยนี้มีโหลดเป็นมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงชนิดแยกกระตุ้น ซึ่งมีพิกัดกระแสมากที่สุด คือ ฝั่งวงจรอาร์เมเจอร์มีค่ากระแส เท่ากับ 2.2 A และคำนึงถึงค่าตัวประกอบนิรภัย 25 เปอร์เซ็นต์ จะได้กระแส เท่ากับ $2.2 + (2.2 \times 0.25) = 2.75$ A ดังนั้นค่ากระแสไดโอดเฉลี่ยจึงต้องมีค่ามากกว่า 2.75 A

จากการออกแบบวงจรข้างต้น สามารถนำค่าที่ได้ไปเลือกอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย ซึ่งได้ศึกษาจากเอกสารข้อมูลแล้วพบว่าไดโอดเบอร์ GPBC1504 มีค่าตรงกับความต้องการที่

ออกแบบไว้ คือ V_{RRM} = 400 V และ $I_{D,av}$ = 12 A (ซึ่งเป็นค่ามากกว่าค่าที่กำหนดไว้) โดยเอกสารข้อมูลของไดโอดแสดงไว้ในภาคผนวก ข

6.3.3 ผลการทดสอบวงจร

การทดสอบวงจรจะทดสอบโดยเพิ่มแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับผ่านตัวปรับแรงดัน (variac) จ่ายให้กับมอดูลวงจรเรียงกระแสหนึ่งเฟสแบบบริดจ์เพื่อให้เอาต์พุต เท่ากับ 220 V ซึ่งโหลดในขณะทดสอบจะใช้โหลดความต้านทาน คือ หลอดไฟ ขนาด 220 V 100 W ในการทดสอบจะแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน โดยในขั้นตอนแรกจะยังไม่ใส่ตัวเก็บประจุสำหรับปรับเรียบแรงดัน เพื่อเปรียบเทียบผลของทั้งสองขั้นตอนว่ามีความแตกต่างกันอย่างไร ในการทดสอบดังกล่าวได้ต่อวงจรตามรูปที่ 6.9 ดังนี้

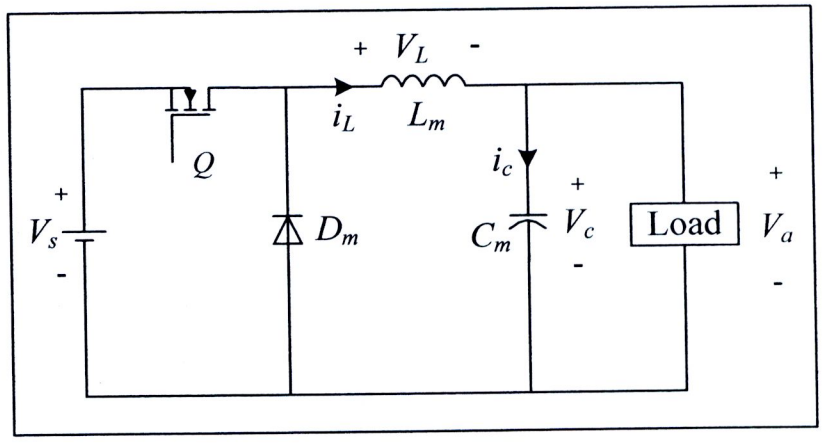


รูปที่ 6.9 ภาพการต่อวงจรสำหรับการทดสอบวงจรเรียงกระแสหนึ่งเฟสแบบบริดจ์

จากผลการทดสอบตามรูปที่ 6.9 เมื่อไม่มีการต่อตัวเก็บประจุจะได้ผลดังรูปที่ 6.6 ซึ่งจากภาพดังกล่าวสังเกตได้ว่าค่าแรงดันพลิ้วของรูปสัญญาณแรงดันทางด้านเอาต์พุตของวงจรเรียงกระแสมีค่ามาก และเมื่อใส่ตัวเก็บประจุสำหรับปรับเรียบแรงดันจะได้ผลดังรูปที่ 6.7 ซึ่งได้แสดงไว้ในหัวข้อ 6.3.2 ข้างต้น

6.4 วงจรแปลงผันแบบบัคก์

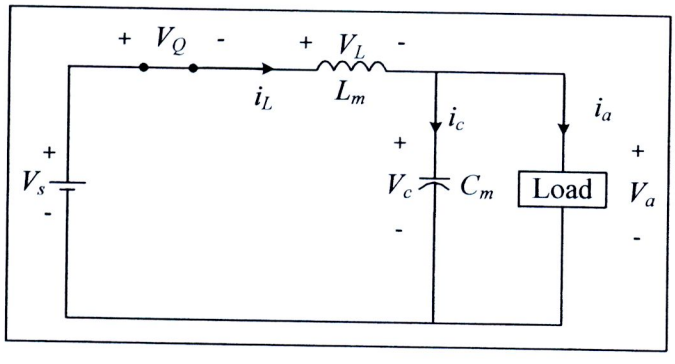
วงจรเรียงแปลงผันแบบบัคก์ เป็นวงจรชนิดหนึ่งสำหรับปรับเปลี่ยนค่าแรงดันเอาต์พุต ซึ่งเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง มีมอสเฟตทำหน้าที่เป็นสวิตซ์ ดังรูปที่ 6.10 ดังนี้



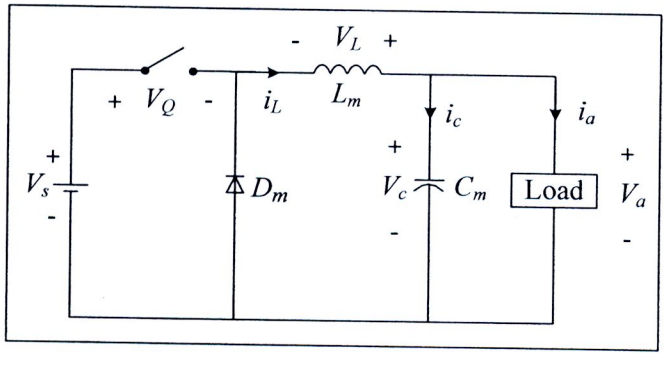
รูปที่ 6.10 วงจรแปลงผันแบบบัคก์

6.4.1 หลักการทำงาน

วงจรดังรูปที่ 6.10 เป็นวงจรสำหรับปรับเปลี่ยนระดับแรงดันทางด้านเอาต์พุต (V_a) โดยอุปกรณ์สวิตซ์ของวงจร ได้แก่ มอสเฟต ซึ่งทำหน้าที่ในการสับแรงดันไฟฟ้าอินพุต (V_s) ให้ได้ค่าแรงดันเอาต์พุตตามที่ต้องการ โดยวงจรดังกล่าวจะทำให้ค่าแรงดันเอาต์พุตมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับแรงดันอินพุตเสมอ วงจรแปลงผันแบบบัคก์มีการทำงานของวงจรแบ่งออกเป็น 2 โหมด คือ โหมดที่ 1 เป็นโหมดที่มอสเฟตทำงาน และในโหมดที่ 2 เป็นโหมดที่มอสเฟตหยุดทำงาน ซึ่งการอธิบายหลักการทำงานในแต่ละโหมด พิจารณาได้จากรูปที่ 6.11 การทำงานของวงจรดังกล่าวจะแบ่งการทำงานออกเป็น 2 โหมดอย่างชัดเจน ซึ่งการทำงานในโหมดที่ 1 มอสเฟตจะทำงาน เพราะฉะนั้นแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้า (V_s) จะจ่ายกระแสผ่านขดลวด (i_L) และไหลผ่านตัวเก็บประจุ (i_C) โดยกระแสที่ไหลผ่านขดลวดจะเพิ่มขึ้นจาก I_1 จนถึงค่า I_2 ดังรูปที่ 6.12 ในขณะที่กระแสที่ไหลผ่านตัวเก็บประจุจะมีค่าเพิ่มขึ้นจาก $I_1 - i_a$ จนกระทั่งถึงค่า $I_2 - i_a$ ซึ่งในสภาวะนี้การะแสที่จ่ายให้โหลด (i_a) จะมีค่าคงที่ตลอดสภาวะการทำงานในโหมดนี้ ส่วนในโหมดที่ 2 เป็นโหมดที่มอสเฟตหยุดทำงาน ซึ่งการทำงานในโหมดนี้ขดลวดจะคืนพลังงาน และจ่ายกระแสผ่านตัวเก็บประจุ ผ่านโหลดและผ่านไดโอด (D_m) โดยกระแสที่ไหลผ่านขดลวดจะลดลงจากค่า I_2 จนกระทั่งถึงค่า I_1 ในขณะที่กระแสที่ไหลผ่านตัวเก็บประจุจะลดลงจาก $I_2 - i_a$ จนกระทั่งถึงค่า $I_1 - i_a$ ซึ่งในสภาวะนี้กระแสที่จ่ายให้โหลดยังคงมีค่าคงที่ตลอดสภาวะการทำงาน นอกจากนี้สังเกตได้ว่ากระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้โหลดในโหมดที่ 2 มาจากการคืนพลังงานของขดลวดที่สะสมพลังงานจากโหมดที่ 1 แต่กระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้โหลดในโหมดที่ 1 มาจากแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าทางด้านอินพุต



ก) การทำงานในโหมดที่ 1



ข) การทำงานในโหมดที่ 2

รูปที่ 6.11 โหมดการทำงานของวงจรแปลงผันแบบบัคก์

จากรูปที่ 6.12 เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันทางด้านเอาต์พุตกับแรงดันอินพุต จะคำนวณหาแรงดันเฉลี่ยทางด้านเอาต์พุตได้ดังสมการที่ 6.4 ดังต่อไปนี้

$$V_a = \frac{1}{T}\int_0^T V_o dt = \frac{V_s}{T} \times t_1 \qquad (6.4)$$

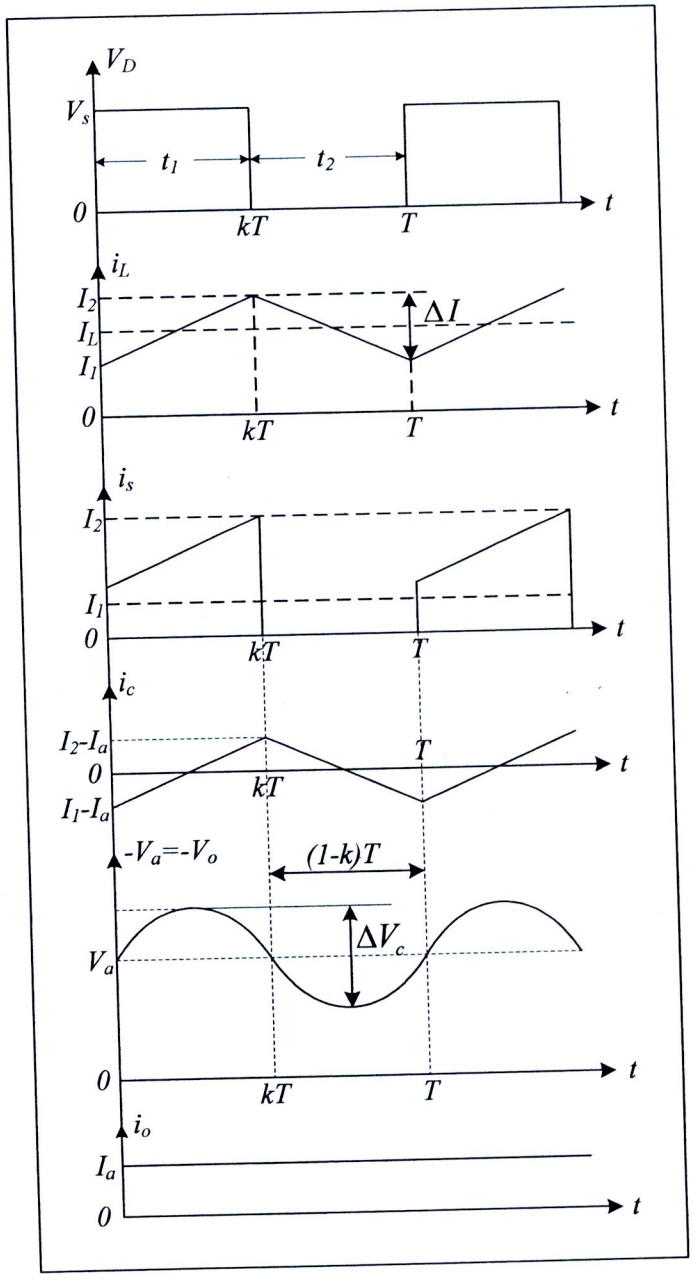
โดย t_1 คือ ช่วงเวลาการทำงานของมอสเฟต มีสมการคำนวณดังสมการที่ (6.5) และ t_2 คือ ช่วงเวลาหยุดทำงานของมอสเฟต แสดงได้ดังสมการที่ (6.6) ดังนี้

$$t_1 = kT \qquad (6.5)$$

$$t_2 = (1-k)T \tag{6.6}$$

เมื่อ k คือ รอบทำงาน (duty cycle)

T คือ คาบการทำงานของมอสเฟต (s)



รูปที่ 6.12 รูปสัญญาณอธิบายหลักการทำงานของวงจรแปลงผันแบบบัคก์

แทนค่า t_1 จากสมการที่ (6.5) ลงในสมการที่ (6.4) จะได้สมการคำนวณค่าแรงดันเอาต์พุตดังสมการที่ (6.7) ดังนี้

$$V_a = kV_s \tag{6.7}$$

6.4.2 การออกแบบ

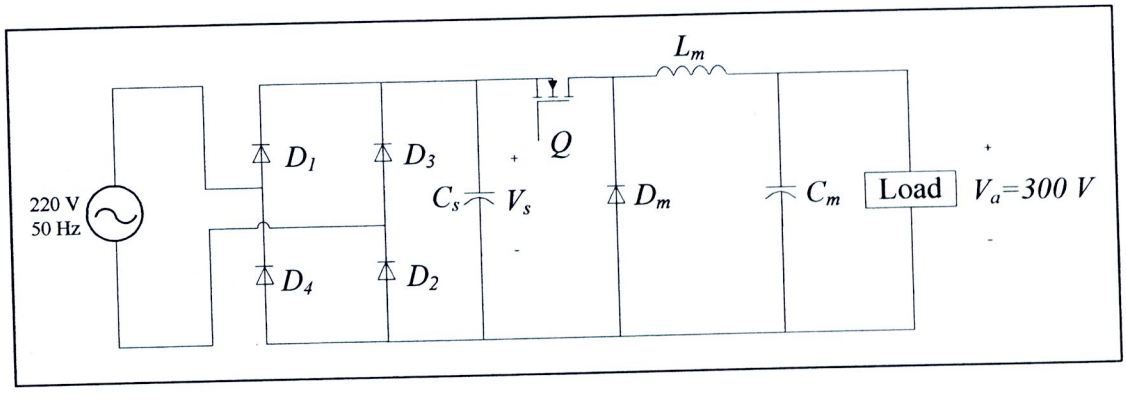
การออกแบบวงจรแปลงผันแบบบัคก์ จำเป็นต้องทราบพิกัดของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงชนิดแยกกระตุ้น เนื่องจากโหลดของวงจรแปลงผันแบบบัคก์ คือ มอเตอร์ดังกล่าว ดังนั้นวงจรแปลงผันแบบบัคก์ในงานวิจัย จึงมีทั้งหมด 2 วงจรด้วยกัน คือ ฝั่งวงจรอาร์เมเจอร์และฝั่งวงจรสนาม โดยพิกัดของมอเตอร์ดังกล่าวดูได้จากแผ่นป้ายชื่อ (nameplate) ดังรูปที่ 6.13 ดังนี้

ELWE	
Typ Ms1	- Mot.
220 V	2.2 A
0.37 kW	
2360 min^{-1}	
Err. 220 V	0.3 A
DIN VDE 0530	

รูปที่ 6.13 แผ่นป้ายชื่อของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงชนิดแยกกระตุ้น

จากรูปที่ 6.13 ค่าพิกัดกระแสมากที่สุดของมอเตอร์ คือ กระแสอาร์เมเจอร์ เท่ากับ 2.2 A และพิกัดแรงดันของทั้งสองฝั่งมีค่าเท่ากัน คือ 220 V ซึ่งในการออกแบบวงจรแปลงผันแบบบัคก์ทั้ง 2 ฝั่งวงจรของมอเตอร์ จะใช้ค่าพิกัดมากที่สุดของมอเตอร์ในการออกแบบและคำนึงถึงค่าตัวประกอบนิรภัย 25 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งจะทำการกำหนดให้ค่าพิกัดกระแสมากกว่า $2.2 + (2.2 \times 0.25) = 2.75$ A (กำหนดใช้ 5 A) และมีค่าพิกัดแรงดันมากกว่า $220 + (220 \times 0.25) = 275$ V (กำหนดใช้ 300 V) ดังนั้นวงจรแปลงผันแบบบัคก์ทั้ง 2 วงจรจึงใช้พารามิเตอร์ต่าง ๆ เหมือนกัน โดยเหตุผลที่กำหนดให้ใช้พารามิเตอร์ของวงจร

ทั้ง 2 เหมือนกัน นอกจากการออกแบบโดยคำนึงถึงพิกัดกระแสมากที่สุดของมอเตอร์แล้ว อีกส่วนหนึ่ง คือ ถ้าวงจรแปลงผันแบบบัคก์ฝั่งวงจรอาร์เมเจอร์เกิดความเสียหาย หรือชำรุด สามารถนำวงจรแปลงผันแบบบัคก์ฝั่งวงจรสนามมาใช้แทนฝั่งวงจรอาร์เมเจอร์ได้ โดยรูปวงจรที่ใช้ในการออกแบบเป็นดังรูปที่ 6.14 ดังนี้



รูปที่ 6.14 วงจรแปลงผันแบบบัคก์ที่ใช้ในการทดสอบ

จากรูปที่ 6.14 วงจรแปลงผันแบบบัคก์ต่ออยู่กับวงจรเรียงกระแสหนึ่งเฟสแบบบริดจ์ ซึ่งการกำหนดค่าต่าง ๆ ที่ใช้ในการออกแบบมีดังนี้

- ค่าแรงดันอินพุตของวงจรแปลงผันแบบบัคก์ (V_s) จะมีค่าประมาณ 311 V
- แรงดันเอาต์พุต (V_a) มีค่า เท่ากับ 300 V
- ความถี่ในการสวิตซ์ เท่ากับ 10 kHz
- ตัวเก็บประจุ (C_m) ที่ต่อขนานกับโหลดเพื่อปรับค่าแรงดันพลิ้วของแรงดันเอาต์พุตให้เรียบ ดังนั้นกำหนดค่าแรงดันพลิ้ว (ΔV_c) เท่ากับ 1%
- ตัวเหนี่ยวนำ (L_m) ที่ต่ออนุกรมกับโหลดเพื่อปรับกระแสพริ้วของกระแสเอาต์พุตให้เรียบ จึงกำหนดค่ากระแสพลิ้ว (ΔI) เท่ากับ 0.1 A (2% ของ 5 A)

จากข้อกำหนดดังกล่าวข้างต้น สามารถคำนวณค่าต่าง ๆ ที่ใช้ในการเลือกอุปกรณ์ตามขั้นตอนดังต่อไปนี้ (M. H. Rashid, 2004)

ขั้นที่ 1 คำนวณขนาดของตัวเหนี่ยวนำ จากสมการที่ (6.8) ดังนี้

$$L = \frac{V_a(V_s - V_a)}{\Delta I f_s V_s} \tag{6.8}$$

แทนค่าต่าง ๆ ลงในสมการที่ (6.8) จะได้

$$L = \frac{300 \times (311 - 300)}{0.1 \times 10 \times 10^{3} \times 311} = 10.6 \text{ mH}$$

ดังนั้น ตัวเหนี่ยวนำมีขนาดมากกว่าหรือเท่ากับ 10.6 mH

ขั้นที่ 2 คำนวณขนาดของตัวเก็บประจุ จากสมการที่ (6.9) ดังต่อไปนี้

$$\Delta V_c = \frac{\Delta I}{8 f_s C} \tag{6.9}$$

จากสมการที่ (6.9) ย้ายข้างสมการหาค่า C และแทนค่าที่กำหนดลงในสมการจะได้

$$C = \frac{0.1}{8 \times 10 \times 10^{3} \times 0.01 \times 300} = 0.42 \ \mu\text{F}$$

ดังนั้น ตัวเก็บประจุมีขนาดมากกว่าหรือเท่ากับ 0.42 μF

ขั้นที่ 3 การออกแบบไดโอด (D_m)

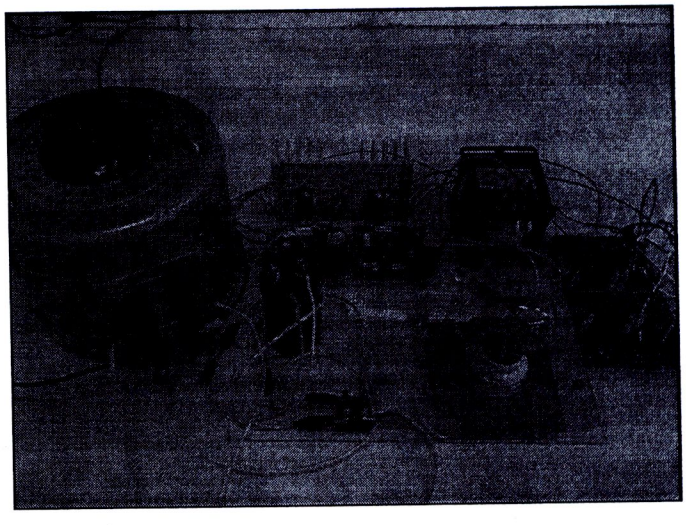
เมื่อพิจารณารูปที่ 6.10 ไดโอดต้องมีพิกัดแรงดันมากกว่าค่าแรงดันอินพุตของวงจรแปลงผันแบบบัคก์ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 311 V แต่เมื่อพิจารณาค่าตัวประกอบนิรภัย 25 เปอร์เซ็นต์ ค่าพิกัดแรงดันของไดโอดจะมีค่ามากกว่า 388.75 V เพราะฉะนั้นจึงเลือกใช้ไดโอดเบอร์ MUR1560 มีค่าเท่ากับ 600 V ซึ่งมากกว่าค่าที่กำหนดไว้ โดยเอกสารข้อมูลของไดโอดแสดงไว้ในภาคผนวก ข

ขั้นที่ 4 การออกแบบมอสเฟต (Q)

การออกแบบมอสเฟตจะคำนึงถึงค่าพิกัดของแรงดันและกระแส จากหัวข้อที่ 6.4.2 ค่าพิกัดแรงดันและกระแสของมอเตอร์เมื่อคำนึงถึงตัวประกอบนิรภัย คือ 275 V และ 2.75 A ดังนั้นมอสเฟตที่เลือกใช้จึงมีค่าพิกัดแรงดันมากกว่า 275 V และมีพิกัดกระแสมากกว่า 2.75 A จากข้อกำหนดดังกล่าวจึงได้เลือกใช้มอสเฟตเบอร์ STW12NK80Z ซึ่งมีพิกัดแรงดันและกระแส คือ 800 V และ 10.5 A โดยเอกสารข้อมูลของมอสเฟตดังกล่าวได้แสดงไว้ในภาคผนวก ข

6.4.3 ผลการทดสอบวงจร

การทดสอบวงจรแปลงผันแบบบัคก์ มีลักษณะวงจรการทดสอบดังรูปที่ 6.14 โดยการทดสอบจะปรับเปลี่ยนค่าเวลาในการทำงานของมอสเฟต (t_1) หรือรอบทำงานของวงจรแปลงผันแบบบัคก์ โดยจัดอุปกรณ์สำหรับการทดสอบดังรูปที่ 6.15 โหลดที่ใช้ในการทดสอบ คือ หลอดไฟ ขนาด 220 V 100 W และการปรับค่าเวลาในการทำงานของมอสเฟต จะปรับด้วยบอร์ด dsPIC30F2010 ที่โปรแกรมด้วยภาษซี การทดสอบดังกล่าวจะป้อนแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับให้ได้ V_s เท่ากับ 220 V ทำการกำหนดรอบทำงานของวงจรแปลงผันแบบบัคก์ และวัดค่าแรงดันอินพุต เอาต์พุต ของวงจรแปลงผันแบบบัคก์ ซึ่งได้ผลการทดสอบดังตารางที่ 6.1 และภาพของรูปสัญญาณทางด้านเอาต์พุตของวงจรแปลงผันแบบบัคก์จะมีลักษณะดังรูปที่ 6.16

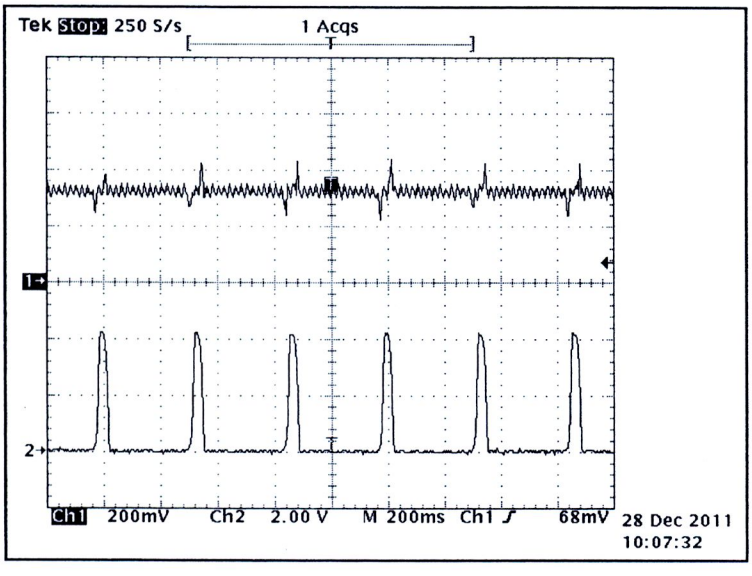


รูปที่ 6.15 การต่อวงจรสำหรับการทดสอบวงจรแปลงผันแบบบัคก์

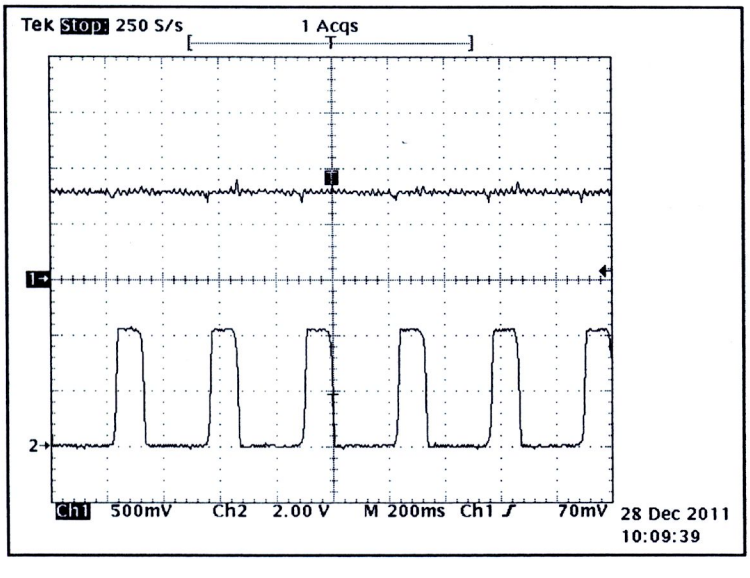
ตารางที่ 6.1 ผลการทดสอบวงจรแปลงผันแบบบัคก์

รอบทำงาน (เปอร์เซ็นต์)	V_s (V)	V_{out} (V)
10	220	26.49
30		75.00
50		118.00
70		156.20
90		198.90

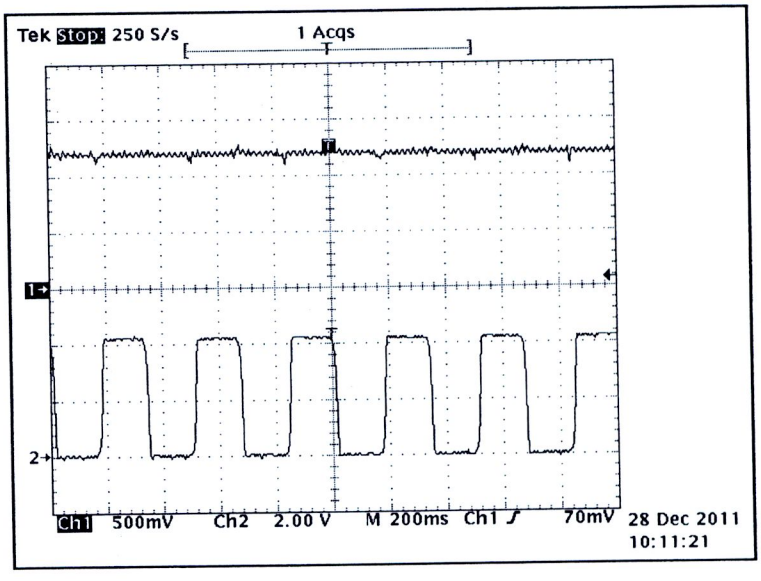
จากรูปที่ 6.16 ช่องสัญญาณที่ 1 ของออสซิลโลสโคปเป็นรูปสัญญาณแรงดันทางด้านเอาต์พุตของวงจรแปลงผันแบบบัคก์ ในขณะที่ช่องสัญญาณที่ 2 เป็นรูปสัญญาณจุดชนวน (trigger signal) จากบอร์ด dsPIC30F2010



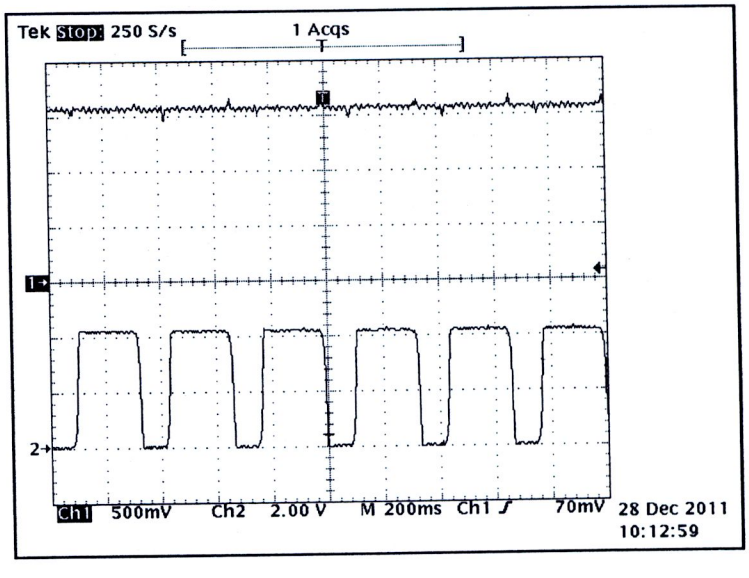
ก) รูปสัญญาณแรงดันทางด้านเอาต์พุตของวงจรแปลงผันแบบบัคก์ ที่รอบทำงานเท่ากับ 10 เปอร์เซ็นต์



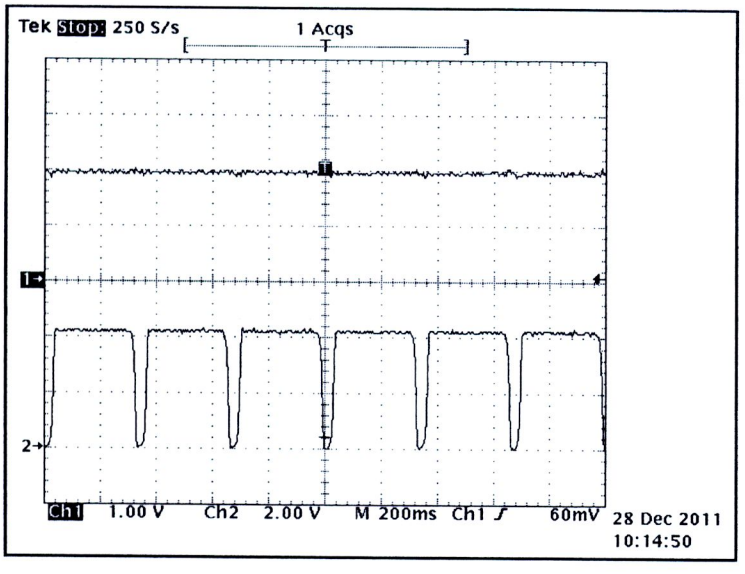
ข) รูปสัญญาณแรงดันทางด้านเอาต์พุตของวงจรแปลงผันแบบบัคก์ ที่รอบทำงานเท่ากับ 30 เปอร์เซ็นต์



ค) รูปสัญญาณแรงดันทางด้านเอาต์พุตของวงจรแปลงผันแบบบัคก์ ที่รอบทำงานเท่ากับ 50 เปอร์เซ็นต์



ง) รูปสัญญาณแรงดันทางด้านเอาต์พุตของวงจรแปลงผันแบบบัคก์ ที่รอบทำงานเท่ากับ 70 เปอร์เซ็นต์



จ) รูปสัญญาณแรงดันทางด้านเอาต์พุตของวงจรแปลงผันแบบบัคก์ ที่รอบทำงานเท่ากับ 90 เปอร์เซ็นต์

รูปที่ 6.16 รูปสัญญาณแรงดันทางด้านเอาต์พุตของวงจรแปลงผันแบบบัคก์

6.5 วงจรขับเคลื่อนมอเตอร์สำหรับงานวิจัย

วงขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงชนิดแยกกระตุ้น เป็นการนำวงจรเรียงกระแสหนึ่งเฟสแบบบริดจ์ และวงจรแปลงผันแบบบัคก์ มาทำงานร่วมกันเพื่อขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงชนิดแยกกระตุ้น โดยมีโครงสร้างของวงจรขับเคลื่อนมอเตอร์ดังรูปที่ 6.17 และสามารถอธิบายการทดสอบได้ดังนี้

6.5.1 ผลการทดสอบวงจรขับเคลื่อนมอเตอร์

การทดสอบวงจรขับเคลื่อนมอเตอร์ในหัวข้อนี้ เป็นการทดสอบในกรณีที่ยังไม่มีตัวควบคุม (open loop) คือ การทดสอบจะปรับเปลี่ยนค่ารอบทำงานของวงจรแปลงผันแบบบัคก์ทั้ง 2 วงจร ซึ่งการทดสอบจะแบ่งออกเป็น 2 กรณี คือ กรณีที่ 1 กำหนดรอบทำงานของวงจรแปลงผันแบบบัคก์ฝั่งวงจรสนามให้คงที่ แต่ทำการเปลี่ยนแปลงรอบทำงานของฝั่งอาร์เมเจอร์ ส่วนกรณีที่ 2 จะทำตรงกันข้ามกับกรณีที่ 1 ซึ่งการทดสอบทั้ง 2 กรณีนี้ จะเหมือนกับการควบคุมความเร็วรอบด้วยวิธีดั้งเดิม ตามที่ได้อธิบายไว้ในบทที่ 2 โดยผลการทดสอบวงจรขับเคลื่อนมอเตอร์แสดงได้ดังตารางที่ 6.2 และ 6.3 ตามลำดับ จากตารางผลการทดสอบทั้งสองตาราง สังเกตได้ว่าเมื่อมีการ

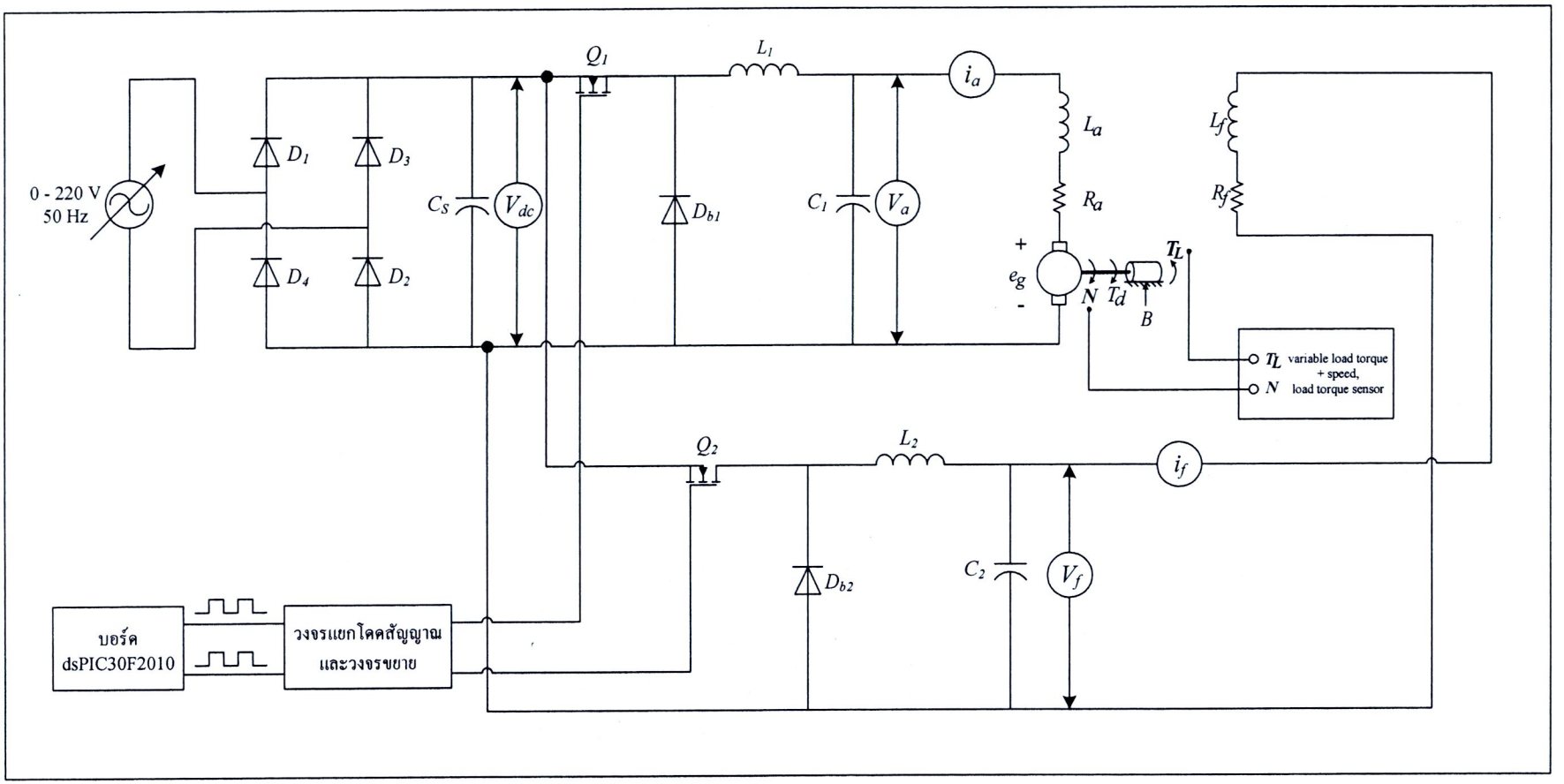
ปรับเปลี่ยนรอบทำงานของวงจรแปลงผันแบบบัคก์ ไม่ว่าฝั่งใดก็ตาม จะทำให้ความเร็วรอบของมอเตอร์เกิดการเปลี่ยนแปลง ซึ่งเป็นไปตามหลักการของการควบคุมความเร็วรอบด้วยวิธีดั้งเดิม

ตารางที่ 6.2 ผลทดสอบวงจรขับเคลื่อนมอเตอร์กรณีที่ 1

V_{dc} (V)	k_f (%)	V_f (V)	i_f (A)	k_a (%)	V_a (V)	i_a (A)	N (rpm)
220	95	190	0.28	5	15	0.1	190
		190	0.28	10	42	0.12	570
		190	0.28	20	82	0.14	1120
		190	0.28	40	135	0.16	1795
		190	0.28	60	160	0.19	2134
		190	0.28	80	168	0.19	2181
		190	0.28	90	180	0.2	2338

ตารางที่ 6.3 ผลทดสอบวงจรขับเคลื่อนมอเตอร์กรณีที่ 2

V_{dc} (V)	k_f (%)	V_f (V)	i_f (A)	k_a (%)	V_a (V)	i_a (A)	N (rpm)
220	95	190	0.28	95	190	0.19	2472
	90	180	0.28		190	0.18	2524
	80	170	0.26		190	0.18	2548
	70	170	0.26		190	0.18	2577
	60	170	0.26		190	0.18	2592
	50	160	0.24		190	0.18	2633
	40	150	0.23		190	0.18	2650



รูปที่ 6.17 แผนภาพวงจรขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงชนิดแยกกระตุ้น

จากรูปที่ 6.17 จะสังเกตได้ว่าสัญญาณจุดชนวนมอสเฟตของวงจรแปลงผันแบบบัคก์ทั้ง 2 วงจร ได้จากบอร์ด dsPIC30F2010 โดยการเขียนโปรแกรมภาษาซี และต้องผ่านวงจรแยกโดดสัญญาณและวงจรขยายสัญญาณก่อนที่จะนำไปจุดชนวนมอสเฟต โดยสาเหตุที่ต้องใช้วงจรแยกโดดสัญญาณ คือ สำหรับแยกกราวด์ของสัญญาณแต่ละสัญญาณให้ออกจากกัน ซึ่งปัญหาของกราวด์นั้นถือว่าเป็นปัญหาที่สำคัญมาก เพราะปัญหากราวด์อาจทำให้เกิดความเสียหายแก่วงจรและอุปกรณ์ต่าง ๆ ได้ ส่วนการผ่านวงจรขยายสัญญาณนั้น เพื่อขยายแรงดันของสัญญาณที่ออกจากบอร์ด dsPIC30F2010 ซึ่งมีค่าประมาณ 5 V ให้ได้สัญญาณจุดชนวนตามที่มอสเฟตต้องการ คือ อย่างน้อย 10 V จึงจะทำให้การจุดชนวนมอสเฟตไม่เกิดปัญหาขึ้น

6.6 สรุป

เนื้อหาในบทนี้นำเสนอโครงสร้างฮาร์ดแวร์สำหรับการขับเคลื่อนเพื่อประหยัดพลังงาน โดยแสดงให้เห็นว่าวงจรขับเคลื่อนมอเตอร์ที่ประกอบด้วย วงจรเรียงกระแสหนึ่งเฟสแบบบริดจ์กับวงจรแปลงผันแบบบัคก์ รวมทั้งใช้บอร์ด dsPIC30F2010 สร้างสัญญาณจุดชนวนให้มอสเฟต มีความสามารถขับเคลื่อนมอเตอร์ที่สภาวะความเร็วรอบต่าง ๆ ได้ ดูได้จากการทดสอบวงจรขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงชนิดแยกกระตุ้นดังกล่าวข้างต้น วงจรขับเคลื่อนมอเตอร์ดังกล่าวสามารถปรับค่าแรงดันได้หลายย่าน ตั้งแต่ค่าแรงดันน้อยมาก จนถึงค่าที่ใกล้เคียงค่าพิกัดของมอเตอร์ อีกทั้งยังสามารถปรับความเร็วรอบของมอเตอร์ได้ตลอดย่านการทำงาน ซึ่งการปรับความเร็วรอบดังกล่าวเป็นการปรับความกว้างของสัญญาณจุดชนวนของมอสเฟตจากบอร์ด dsPIC30F2010 และในส่วนของการควบคุมชุดขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงชนิดแยกกระตุ้นสำหรับประหยัดพลังงาน จะใช้ตัวควบคุมแบบฐานกฎ ซึ่งจะนำเสนอในบทถัดไป