บทที่ 3
วิธีการดำเนินงานโครงการ

3.1 บทนำ

ชุดควบคุมระบบอิเล็กทรอนิกส์กำลังในโครงการวิจัยประกอบด้วย

1. วงจรแปลงผันกำลังไฟตรงแบบ Buck Converter
2. วงจรแปลงผันกำลังไฟตรงแบบ Boost Converter
3. วงจรแปลงผันกำลังไฟตรงแบบ Interleaved Boost Converter
4. วงจรอินเวอร์เตอร์ 1 เฟสแบบ Full Bridge
5. วงจรอินเวอร์เตอร์ 3 เฟส
6. วงจรสร้างสัญญาณควบคุมด้วยบอร์ดประมวลผลสัญญาณ

3.2 ขั้นตอนการดำเนินงาน

การออกแบบและสร้างวงจรชุดควบคุมระบบอิเล็กทรอนิกส์กำลัง จะต้องทำการศึกษาวงจรสร้างสร้างสัญญาณด้วยบอร์ดประมวลผล ตลอดจนการทำงานของวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าทุกแบบเสียก่อน แล้วจึงทำการออกแบบและสร้าง เพื่อให้ได้คุณสมบัติของชุดทดลองตามที่ต้องการ

ขั้นตอนที่ 1 ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องและที่จำเป็นในการนำความรู้มาใช้เกี่ยวกับโครงการ จากสื่อต่างๆ เช่น การค้นคว้าทางอินเตอร์เน็ต จากหนังสือ และบทความที่เกี่ยวข้อง

ขั้นตอนที่ 2 ออกแบบและสร้างวงจรควบคุมด้วย DSP Controller Chip

ขั้นตอนที่ 3 ออกแบบและสร้างวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าแบบต่างๆ

ขั้นตอนที่ 4 ออกแบบกล่องชุดทดลองและติดตั้งอุปกรณ์

ขั้นตอนที่ 5 ทดสอบชุดทดลองและปรับปรุงแก้ไข

ขั้นตอนที่ 6 สรุปและวิจารณ์ผล

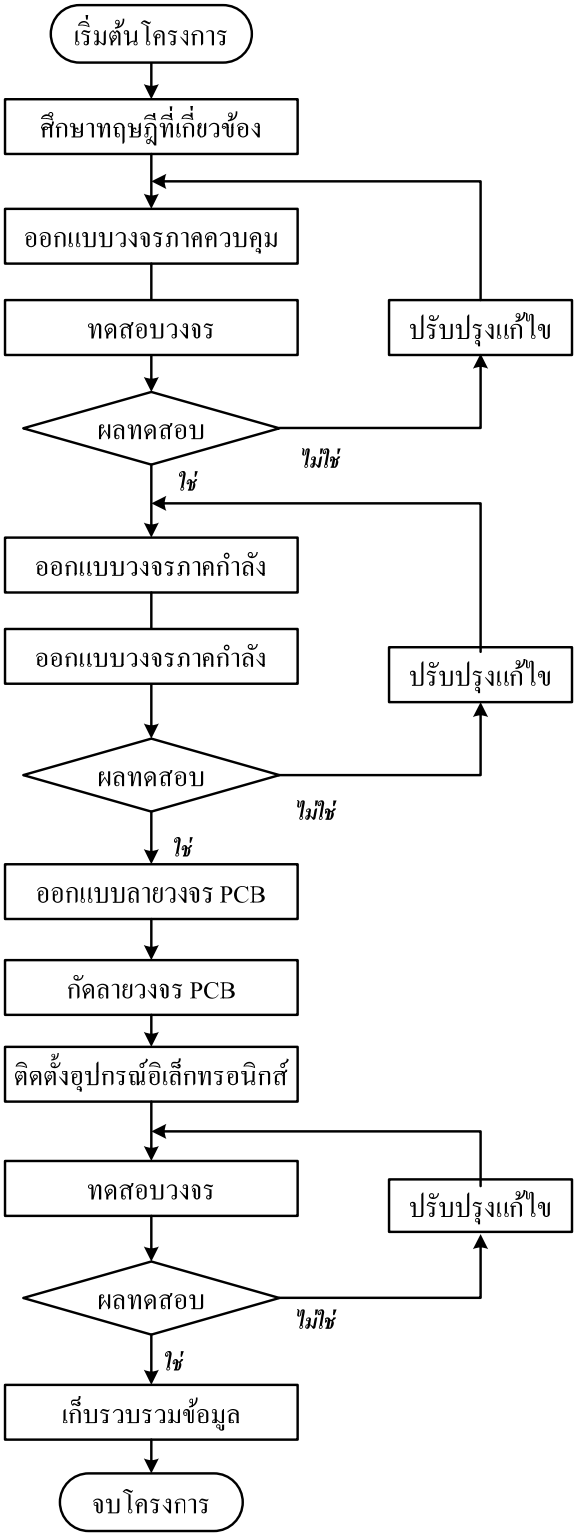
ขั้นตอนที่ 7 จัดทำเล่มรายงาน

ขั้นตอนที่ 8 เผยแพร่งานวิจัย

สถานที่จัดทำและทดสอบโครงการ

สาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมไฟฟ้า คณะอุตสาหกรรมและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ วิทยาเขตวังไกลกังวล และ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

3.3 Flow Chart การดำเนินงาน



ภาพที่ 3.1 Flow Chart การดำเนินงานโครงการ

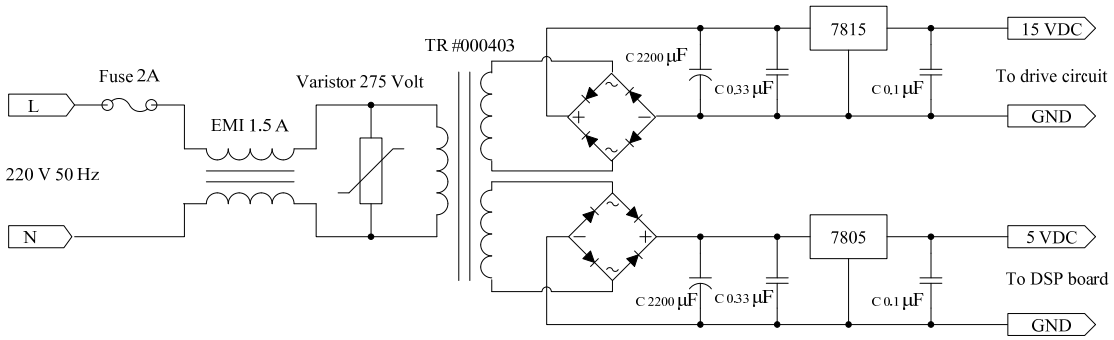
3.4 การออกแบบวงจรภาคควบคุม

3.4.1 ภาควงจรแหล่งจ่ายไฟตรง

วงจรเรียงกระแสชนิดแรงดันคงที่จะทำหน้าที่แปลงไฟสลับ 220 V 50 Hz. ให้เป็นไฟตรงเพื่อเลี้ยงวงจรส่วนต่างๆ ซึ่งประกอบด้วยวงจรขับนำเกต วงจรสร้างสัญญาณ และวงจรภาคกำลัง (แปลงผันกำลังไฟฟ้า)

- แหล่งจ่ายไฟตรงสำหรับวงจรสร้างสัญญาณและขับนำเกต

วงจรส่วนนี้ต้องการแรงดันไฟตรงขนาด 15VDC เพื่อจ่ายให้กับวงจรสร้างสัญญาณและวงจรขับนำเกตของ Power MOSFET ในวงจรกำลัง โดยวงจรนี้จะรับแรงดันไฟสลับ 220 VAC ผ่านหม้อแปลงเข้ามา และนำแรงดันไฟสลับขนาด 15 VAC ด้านขาออกของหม้อแปลงไปผ่านวงจรเรียงกระแสด้วยไดโอด จากนั้นนำไปผ่านวงจรกรองความถี่เพื่อให้ได้แรงดันไฟตรงที่ค่อนข้างเรียบ และผ่านเข้าสู่วงจร Voltage Regulator ด้วยไอซี MC7815 เพื่อคุมค่าแรงดันขาออกให้คงที่ที่ 15 VDC ดังแสดงในวงจรส่วนบนของภาพวงจรที่ 3.2



ภาพที่ 3.2 วงจรแหล่งจ่ายแรงดันไฟตรงคงที่ 15 VDC และ 5 VDC

สำหรับวงจรสร้างสัญญาณควบคุมด้วยบอร์ดประมวลผลสัญญาณ (DSP Board) ซึ่งต้องการแรงดันไฟตรงที่ 5 VDC นั้น จะใช้แรงดันขาออกของหม้อแปลงที่ 5 VAC เพื่อจ่ายให้กับวงจรเรียงกระแสด้วยไดโอดและวงจรกรองความถี่เช่นเดียวกัน แต่วงจร Voltage Regulator จะใช้ไอซี MC7805 เพื่อคุมค่าแรงดันไฟตรงขาออกให้ได้ที่ 5 VDC เท่านั้น ดังแสดงในวงจรส่วนล่างของภาพวงจรที่ 3.2

อย่างไรก็ตามเพื่อเป็นการป้องกันสัญญาณรบกวนและการกระชากของแรงดัน จึงป้องกันวงจรด้วยการใส่ EMI Filter และ Varistor ขนาด 275 VAC ทางด้านไฟสลับขาเข้าหม้อแปลงด้วย ดังแสดงในส่วนขาเข้าของวงจรในภาพที่ 3.2

- แหล่งจ่ายไฟตรงสำหรับวงจรภาคกำลัง

เนื่องจากวงจรภาคกำลังของวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าในโครงการ ต้องการแหล่งจ่ายไฟตรงขนาด 50 VDC โดยประมาณ ซึ่งวงจรแหล่งจ่ายแรงดันไฟตรงในส่วนนี้จะคล้ายกับวงจรในภาพที่ 3.2 แต่ว่าใช้แรงดันไฟสลับขาออกต่างกัน ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการ

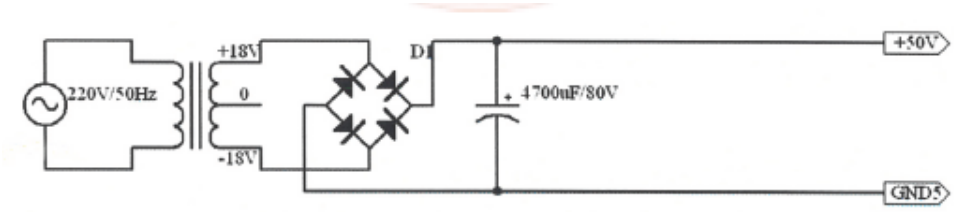
$$V_{DC} = \left(\sqrt{2} \times V_S\right) - V_D$$

เมื่อ V_S เป็นแรงดันขาออกของหม้อแปลง

V_D เป็นแรงดันตกคร่อมไดโอด

ดังนั้น $V_S = \dfrac{\left(V_{DC} + V_D\right)}{\sqrt{2}} = \dfrac{50 + \left(2 \times 0.707\right)}{\sqrt{2}} = 36$ V.

ซึ่งวงจรแหล่งจ่ายไฟตรงส่วนนี้จะเป็นดังภาพที่ 3.3



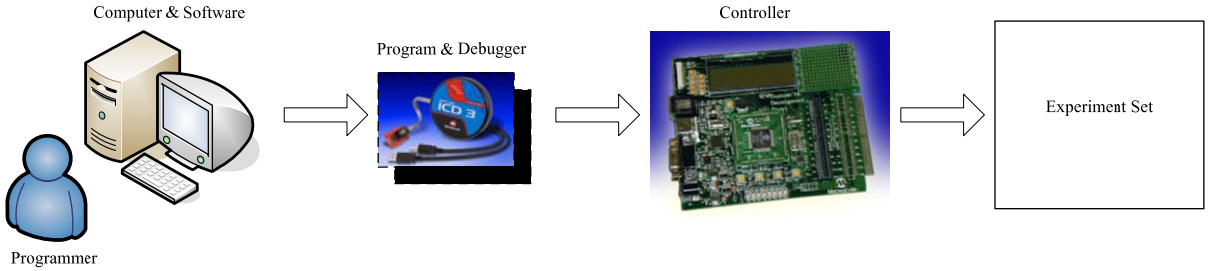
ภาพที่ 3.3 วงจรแหล่งจ่ายแรงดันไฟตรงคงที่ 50 VDC

ภาพที่ 3.4 วงจรแหล่งจ่ายแรงดันไฟตรงที่สร้างในโครงการ

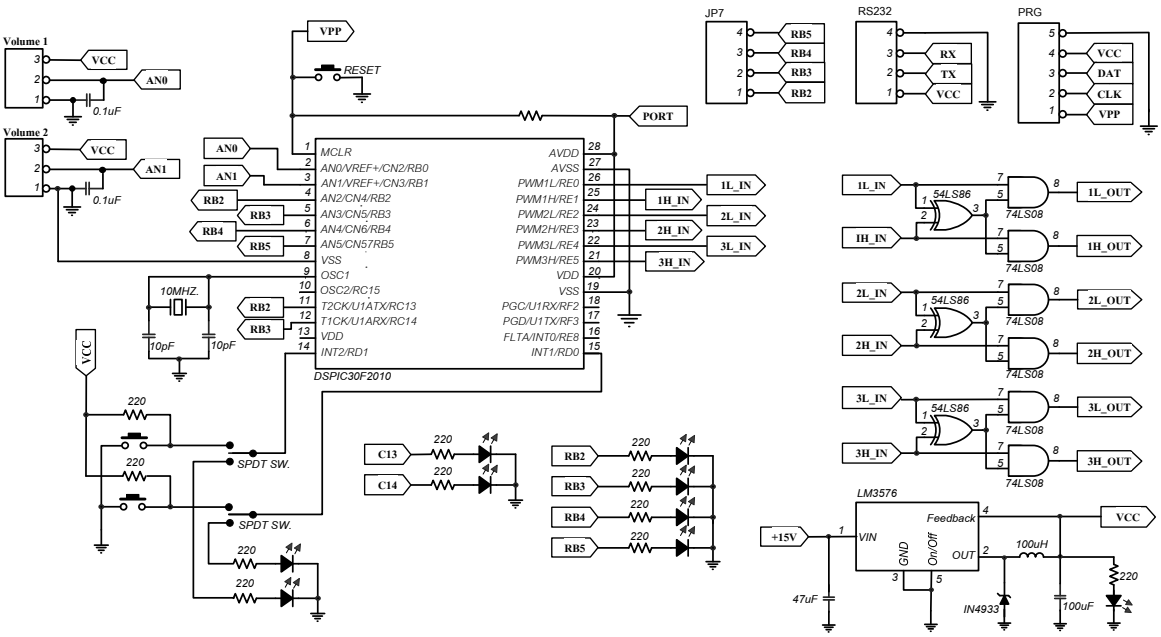
3.4.2 ภาควงจรสร้างสัญญาณด้วยบอร์ดประมวลผลสัญญาณ

วงจรสร้างสัญญาณควบคุมสำหรับวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าในชุดทดลองของโครงการนี้แบ่งออกเป็น 2 ส่วนหลักคือ

1. Hardware เป็นการประยุกต์ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์รุ่น dsPIC30F2010 ซึ่งเป็นชิปประมวลผลสัญญาณดิจิตอล (DSP Chip) ของบริษัท Microchip incorporation จำกัด มาออกแบบเพื่อสร้างเป็นวงจรหลักในการสร้างสัญญาณที่อาจเรียกว่าเป็น System process ทั้งนี้วงจรจะสามารถรับข้อมูลสัญญาณเพื่อใช้ใช้ในการควบคุมการทำงานได้ 3 รูปแบบคือ แบบสัญญาณอนาลอก แบบสัญญาณดิจิตอล และแบบสัญญาณนาฬิกา ทั้งนี้การทำงานจะรับข้อมูลภาษาเครื่อง (Machine Language) ที่ผ่านมาจากตัวแปลงสัญญาณเช่น PICKIT2 หรือ ICD2 ที่สามารถสื่อสารได้กับ dsPIC ตระกูลนี้ (ในโครงการนี้ใช้ ICD2) ซึ่งในโครงการนี้จะเรียกว่า “dsPIC30F2010 Controller Board”
2. Software เป็นส่วนของโปรแกรมที่จะต้องประยุกต์ในคอมพิวเตอร์ ทั้งนี้โปรแกรมภาษา C ที่เขียนขึ้นเพื่อใช้ในการสร้างสัญญาณควบคุม จะต้องสอดคล้องกับวงจรอิเล็กทรอนิกส์ในส่วน Hardware ที่ได้สร้างขึ้นแล้ว ทั้งนี้โปรแกรมภาษา C ดังกล่าวจะถูกเขียนลงในโปรแกรม MPLAB รุ่นที่เหมาะสม (ในโครงการนี้ใช้รุ่น MPLABC30_V3) และเมื่อได้รับการแปลง Code ของภาษา C ด้วยโปรแกรม CCS (Code Composer Studio) ให้เป็น Machine language แล้ว จึงจะถูกส่งให้กับตัวแปลงสัญญาณแบบ PICKIT หรือ ICD2 (ผ่านทาง USB Port) เข้าสู่วงจร dsPIC30F2010 Controller Board (วงจรควบคุมในส่วน Hardware ที่ประยุกต์ใช้ dsPIC30F2010 ในโครงการ) ที่ได้สร้างไว้แล้วนั้นต่อไป ทั้งนี้เพื่อใช้สร้างสัญญาณควบคุมที่เหมาะสมต่อวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าแบบต่างๆ ที่ต้องการ

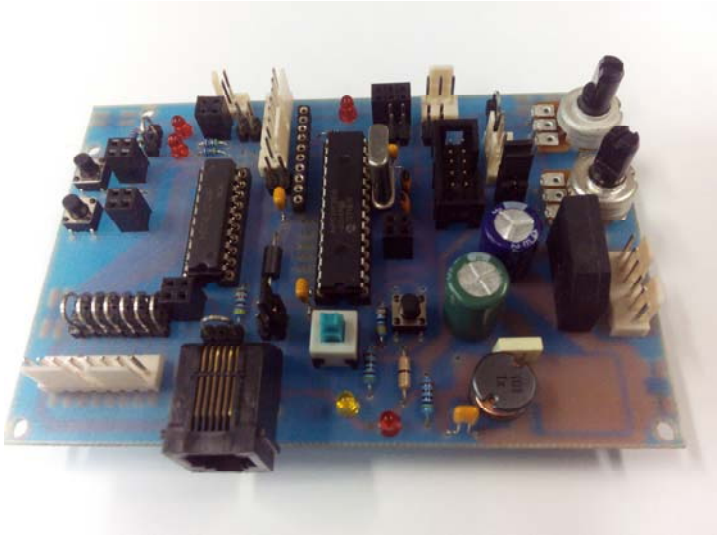


ภาพที่ 3.5 การเชื่อมต่อระบบเพื่อควบคุมวงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลังในโครงการ



ภาพที่ 3.6 วงจรส่วนที่ใช้ในการสร้างสัญญาณควบคุมประยุกต์ด้วย dsPIC30F2010

จากวงจรในภาพที่ 3.6 จะเห็นว่าสัญญาณที่ขา 21 ถึง 26 ของชิพ dsPIC30F2010 (ขา PWM3H จนถึง PWM1L ตามลำดับ) จะถูกใช้เป็นสัญญาณขาออกที่จะนำใช้ในการควบคุมวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าซึ่งเป็นวงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลังต่อไป อย่างไรก็ตามเพื่อให้มีความปลอดภัยต่อการใช้งานที่เหมาะสม จึงนำไปผ่านวงจร Buffer หรือวงจร Interlock ก็ได้อีกทอดหนึ่ง ซึ่งในโครงการนี้จะใช้เป็นวงจร Interlock โดยการใช้ And Gate และEx-Or gate ด้วยไอซี 74LS08 และ 54LS86 ดังแสดงในวงจรภาพที่ 3.6



ภาพที่ 3.7 วงจร dsPIC30F2010 Controller Board ที่สร้างในโครงการ

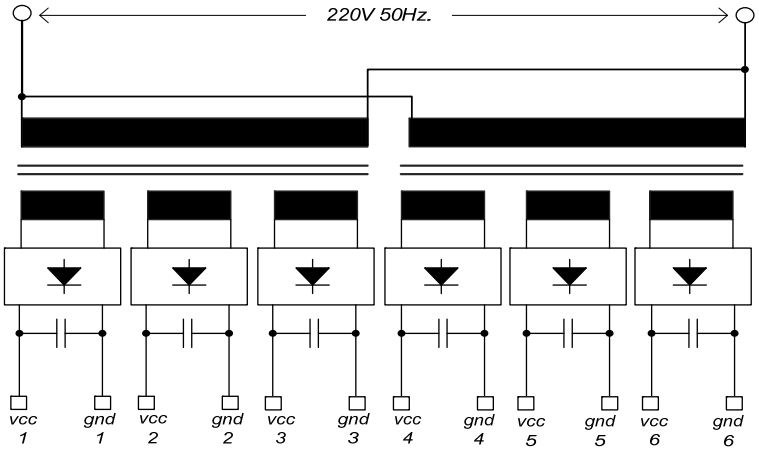
อย่างไรก็ตาม ชุดแปลงสัญญาณและเชื่อมต่อสัญญาณระหว่างโปรแกรมสร้างสัญญาณในคอมพิวเตอร์ (Build ด้วย MPLAB) กับ dsPIC30F2010 Controller Board เป็นชุดวงจรสำเร็จรูป PICKIT หรือ ICD2 จากบริษัท ETT (ประเทศไทย) จำกัด ซึ่งมีราคาถูกและหาซื้อได้ในประเทศไทย แสดงดังในภาพที่ 3.8

ภาพที่ 3.8 ชุดวงจรเชื่อมต่อสัญญาณแบบ PICKIT/ICD2 ของบริษัท ETT จำกัด ที่ใช้ในโครงการ

3.4.3 ภาควงจรขับเกต

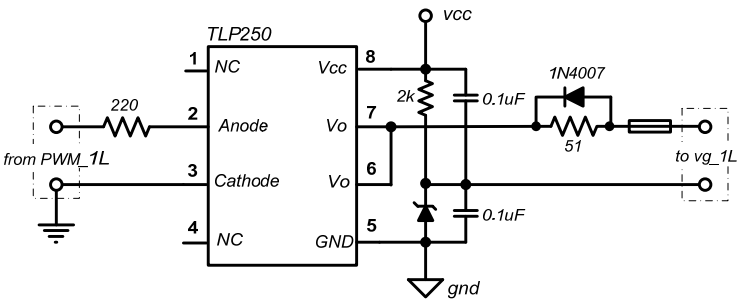
ในวงจรแปลงกำลังไฟฟ้าบางวงจรอาจใช้ Power MOSFET หลายตัว เช่นวงจรอินเวอร์เตอร์ 1 เฟสแบบเต็มคลื่นที่ใช้จำนวน 4 ตัว วงจรอินเวอร์เตอร์ 3 เฟสจะต้องใช้จำนวนทั้งหมด 6 ตัว เป็นต้น ซึ่งในกรณีที่วงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าใดๆ ที่จำเป็นต้องใช้ Power MOSFET หลายตัว วงจรขับสัญญาณขาเกตของ Power MOSFET แต่ละตัวนั้นๆ จะต้องมีการแยกขับเกตของ Power MOSFET ซึ่งกันและกันด้วย ทั้งนี้เพื่อให้เกิดการแยกกันระหว่างขากราวนด์ของวงจร ซึ่งต่ออยู่กับขา Source ของ Power MOSFET แต่ละตัวนั่นเอง

เนื่องจาก Power MOSFET ในโครงการจะมีทั้งหมด 6 ตัว จึงจำเป็นต้องใช้วงจรขับเกตถึง 6 วงจรด้วยกัน ซึ่งจะต้องใช้แหล่งจ่ายแรงดันไฟตรงทั้งหมด 6 วงจร แหล่งจ่ายทั้ง 6 ชุดนี้จะต้องแยกส่วนกัน โดยที่กราวนด์ของแต่ละชุดจะไม่เชื่อมถึงกัน เพื่อเป็นไฟเลี้ยงให้กับวงจรขับเกตทั้ง 6 ชุด วงจรแหล่งจ่ายไฟตรงสำหรับวงจรขับเกตทั้ง 6 วงจรนี้ แสดงดังภาพที่ 3.9

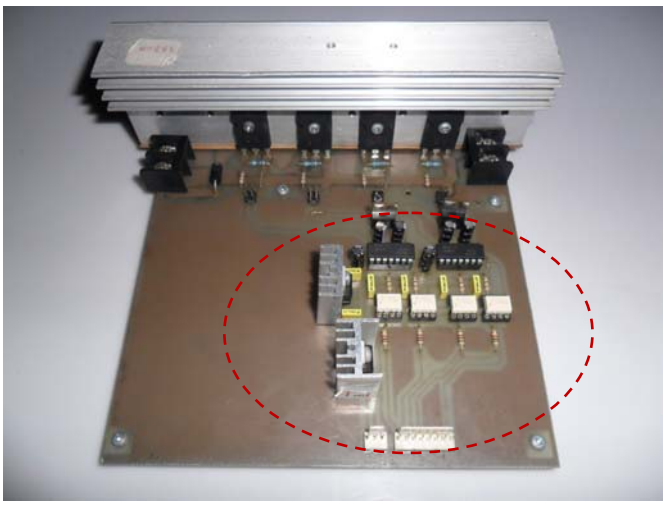


ภาพที่ 3.9 แหล่งจ่ายแรงดันแยกส่วน 6 ชุดสำหรับวงจรขับเกต

ในส่วนวงจรขับเกตของโครงการ จะใช้ไอซีเบอร์ TLP 250 ซึ่งทำงานแบบลักษณะเชื่อมโยงสัญญาณทางแสง (Opto Coupler) เมื่อสัญญาณควบคุมจากขาออกขาใดขาหนึ่ง (ขา 21 ถึงขา 26) จากไมโครคอนโทรลเลอร์ ส่งมาเข้าที่ขา 2 และขา 3 ของไอซี TLP250 สัญญาณจะผ่านไดโอดเปล่งแสงเพื่อจุดการทำงานของวงจรขาออกที่มีลักษณะเป็นวงจรทรานซิสเตอร์แบบ Push-pull ขึ้น ซึ่งวงจรทั้งส่วนขาเข้าและขาออกใน TLP250 จะไม่เชื่อมถึงกันทางไฟฟ้า ทั้งนี้แรงดันขาออกจะถูกขยายให้สูงที่ประมาณ +12 โวลต์ ซึ่งพอที่จะใช้ขับเกตของ Power MOSFET ให้นำกระแสได้ ทั้งนี้ในช่วงหยุดนำกระแส Power MOSFET ต้องการแรงดันที่ -5 โวลต์ ซึ่งเป็นการป้องกันสภาวะตกค้างของประจุภายใน Power MOSFET ไปด้วย จากหลักการดังกล่าว จึงออกแบบให้แหล่งจ่ายแรงดันมีขนาด 15 โวลต์ และการไบอัสแรงดันที่ขา Source จะต้องมีการยกระดับแรงดันขึ้น 5.1 โวลต์ เพื่อให้ Power MOSFET คายประจุแฝงที่เกิดขึ้นภายในขณะทำงานได้เร็วขึ้น โดยขา 6 และขา 7 ของไอซี TLP250 จะเป็นขาจ่ายสัญญาณขาออกเพื่อเป็นสัญญาณขับเกตให้กับ Power MOSFET ทั้งนี้วงจรขับเกตแต่ละชุดแสดงดังภาพที่ 3.10



ภาพที่ 3.10 วงจรขับเกตด้วยไอซี TLP250



ภาพที่ 3.11 ส่วนของวงจรขับเกตในวงจรอินเวอร์เตอร์ 1 เฟสแบบ Full Bridge

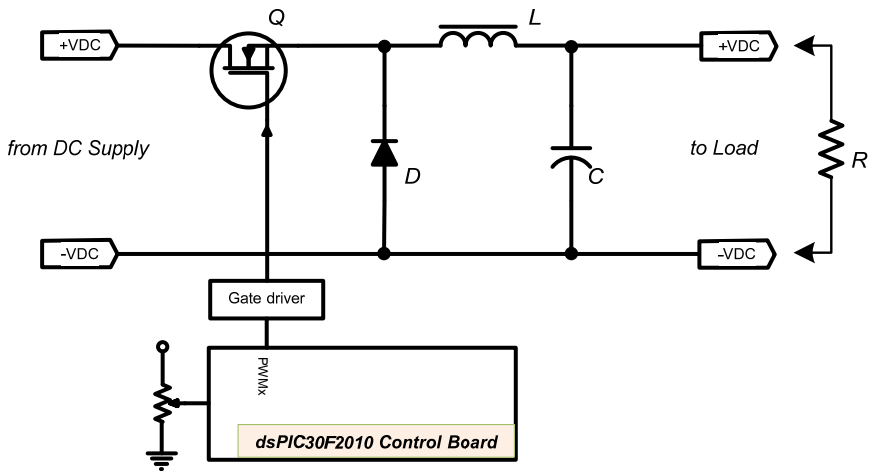
3.5 การออกแบบวงจรภาคกำลัง

3.5.1 วงจรแปลงผันกำลังไฟตรง

วงจรแปลงผันกำลังไฟตรงหรือ DC Converter ในโครงการมีด้วยกัน 3 แบบคือ

- วงจร Buck Converter
- วงจร Boost Converter และ
- วงจร Interleaved Boost Converter ซึ่งเป็นวงจร Boost Converter แบบคู่ขนาน โดยสามารถควบคุมการทำงานแบบเหลื่อมเฟสได้

- วงจร Buck Converter



ภาพที่ 3.12 วงจร Buck Converter

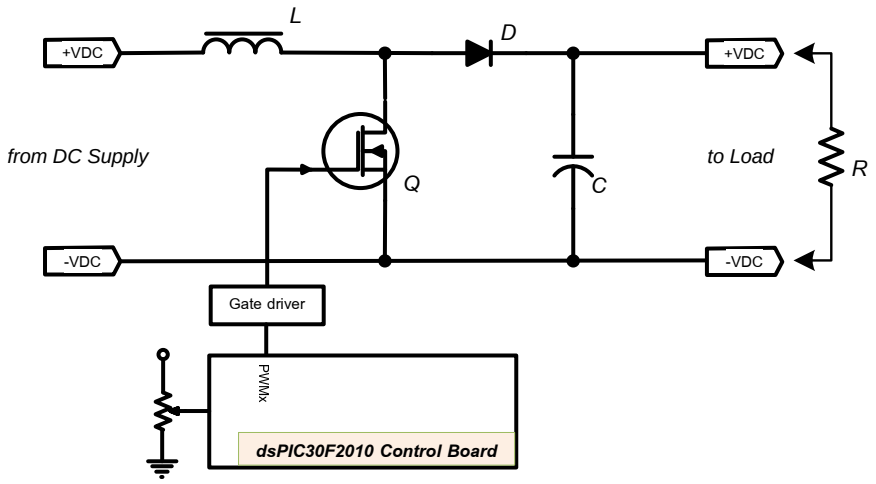
วงจร Buck Converter ดังแสดงในภาพที่ 3.13 มีรายละเอียดของวงจรและอุปกรณ์ดังนี้

- ทำงานที่ Switching Frequency 10 kHz.
- Power MOSFET เบอร์ IRFP460 เป็นแบบ N Channel พิกัด 500V. 20A.
- Diode แบบ Ultra-Fast Recovery เบอร์ 30CPH03 พิกัด 300V. 30A. , t_{rr} ที่ 40 ns.
- ตัวเหนี่ยวนำขนาด 285 μH. พิกัดกระแสสูงสุด 10A.
- ตัวเก็บประจุแบบ Electrolytic ขนาด 650 μF. พิกัดแรงดัน 600V.

หลักการทำงานของ Buck Converter ได้กล่าวถึงแล้วในบทที่ 2 ซึ่งวงจร Buck Converter จะทำหน้าที่ลดขนาดแรงดันไฟตรงลง ซึ่งอัตราขยายแรงดันของวงจรจะขึ้นอยู่กับจังหวะการสวิตซ์ (ค่า Duty Cycle) ของ Power MOSFET Q1 ดังสมการ (2.7) ทั้งนี้ค่า Duty Cycle ของวงจรจะสามารถปรับตั้งได้ จากการตั้งค่าในโปรแกรมควบคุมการทำงาน หรือจากการปรับแรงดันที่ Potentiometer ที่จ่ายให้ขา AN0 ของ dsPIC30F2010 (ดูภาพที่ 3.6 ประกอบ)

อย่างไรก็ตาม dsPIC30F2010 Controller Board ซึ่งเป็นวงจรสร้างสัญญาณควบคุม จะสร้างสัญญาณควบคุมแบบ Duty Cycle Control ที่เหมาะสมให้กับวงจรนี้ได้ เมื่อป้อนโปรแกรมภาษาซี “DC Converter” (ดังแสดงไว้ในภาคผนวก) โดยผ่านให้โปรแกรม Code Composer Studio เพื่อทำหน้าที่ในการแปลง Code ภาษาซี ให้เป็นภาษาเครื่องเสียก่อน แล้วจึงถ่ายลงสู่วงจรสร้างสัญญาณควบคุม (dsPIC30F2010 Controller Board) อีกทอดหนึ่ง โดยผ่านทางการ์ด PICKIT2 หรือ ICD2 (ของบริษัท ETT จำกัด)

- **วงจร Boost Converter**



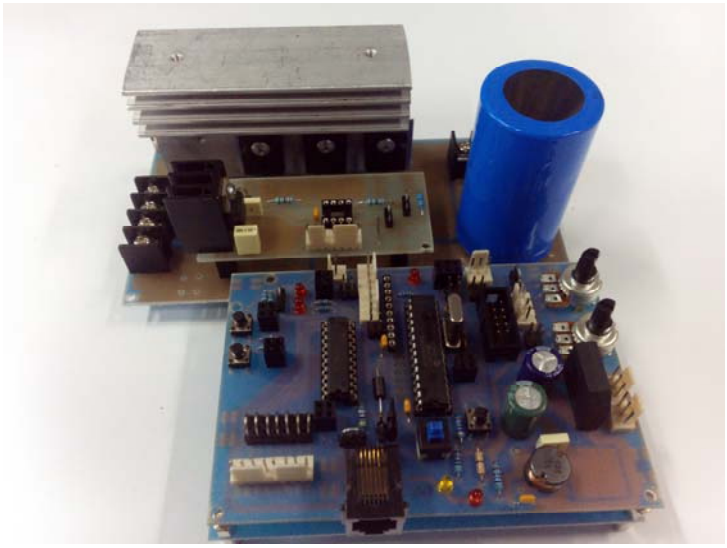
ภาพที่ 3.13 วงจร Boost Converter

Boost Converter ดังแสดงในภาพที่ 3.13 มีรายละเอียดของวงจรและอุปกรณ์ดังนี้

- ทำงานที่ Switching Frequency 10 kHz.
- Power MOSFET เบอร์ IRFP460 เป็นแบบ N Channel พิกัด 500V. 20A.
- Diode แบบ Ultra-Fast Recovery เบอร์ 30CPH03 พิกัด 300V. 30A. , t_{rr} ที่ 40 ns.
- ตัวเหนี่ยวนำขนาด 285 μH. พิกัดกระแสสูงสุด 10A.
- ตัวเก็บประจุแบบ Electrolytic ขนาด 650 μF. พิกัดแรงดัน 600V.

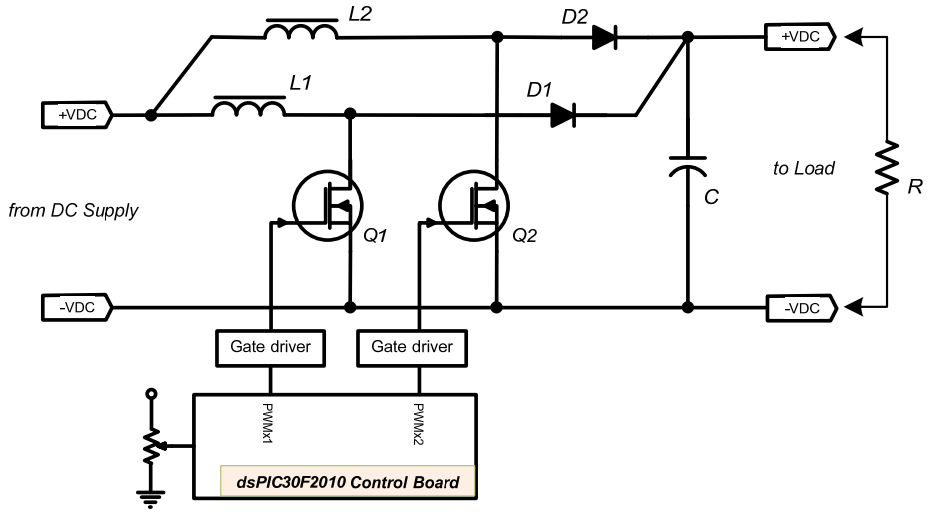
หลักการทำงานของวงจร Boost Converter ได้กล่าวไว้แล้วในบทที่ 2 ซึ่ง Boost Converter จะทำหน้าที่เพิ่มขนาดแรงดันไฟตรงขาออกให้สูงขึ้นโดยขึ้นอยู่กับค่า Duty Cycle หรือจังหวะการสวิตซ์ของ Power MOSFET Q1 ดังสมการที่ (2.17) ทั้งนี้ค่า Duty Cycle ของวงจรจะสามารถเปลี่ยนแปลงได้จากการปรับตั้งตั้งค่าในโปรแกรมควบคุมการทำงาน (ในที่นี้คือ โปรแกรม “DC Converter”) หรือจากปรับแรงดันที่ Potentiometer ที่จ่ายให้กับขา AN0 ของ dsPIC30F2010 ก็ได้

อย่างไรก็ตาม dsPIC30F2010 Controller Board ซึ่งเป็นวงจรสร้างสัญญาณควบคุม จะสร้างสัญญาณควบคุมแบบ Duty Cycle Control ที่เหมาะสมให้กับวงจร Boost Converter นี้ได้ เมื่อป้อนโปรแกรมภาษาซี “DC Converter” (ดังแสดงไว้ในภาคผนวก) โดยผ่านให้โปรแกรม Code Composer Studio เพื่อทำหน้าที่ในการแปลง Code ภาษาซี ให้เป็นภาษาเครื่องเสียก่อน แล้วจึงถ่ายลงสู่วงจรสร้างสัญญาณควบคุม (dsPIC30F2010 Controller Board) อีกทอดหนึ่ง โดยผ่านทางการ์ด PICKIT2 หรือ ICD2 (ของบริษัท ETT จำกัด)



ภาพที่ 3.14 วงจรแปลงผันกำลังไฟตรงที่ประกอบเสร็จแล้ว
(สามารถปรับเปลี่ยนการต่อวงจรให้เป็น Buck Converterหรือ Boost Converter ได้)

วงจร Interleaved Boost Converter



ภาพที่ 3.15 วงจร Interleaved Boost Converter

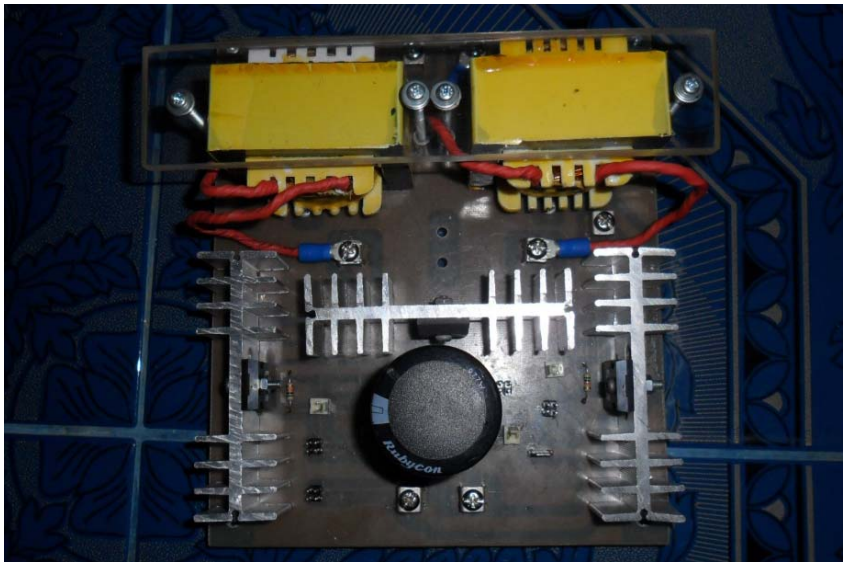
วงจร Interleaved Boost Converter จะมีหน้าที่ทำงานเหมือนกับ Boost Converter ทุกประการ คือทำหน้าที่เพิ่มขนาดแรงดันไฟตรงขาออกให้สูงขึ้น โดยขึ้นอยู่กับค่า Duty Cycle (ช่วงจังหวะการสวิตซ์) ของ Power MOSFET ดังสมการที่ (2.17) เช่นกัน โดยค่า Duty Cycle จะสามารถเปลี่ยนแปลงได้จากการปรับตั้งค่าในโปรแกรมควบคุมการทำงาน หรือจากปรับแรงดันที่ Potentiometer ที่จ่ายให้ขา AN0 ของ dsPIC30F2010

วงจร Interleaved Boost Converter จะแตกต่างจากวงจร Boost Converter แบบธรรมดา คือเป็นวงจร Boost Converter คู่ขนานที่มีค่าอุปกรณ์เหมือนกัน โดยทั้ง 2 วงจรจะถูกสั่งให้ทำงานที่ค่า Duty Cycle เท่ากัน แต่จะเหลื่อมเฟสกัน 180 องศาไฟฟ้า เพื่อให้รูปคลื่นกระแสขาออกที่โหลด มีความราบเรียบเป็นกระแสไฟตรงมากขึ้น ซึ่งจะมีลักษณะรูปคลื่นกระแสขาออกดีกว่าที่ได้จากวงจร Boost Converter แบบธรรมดา

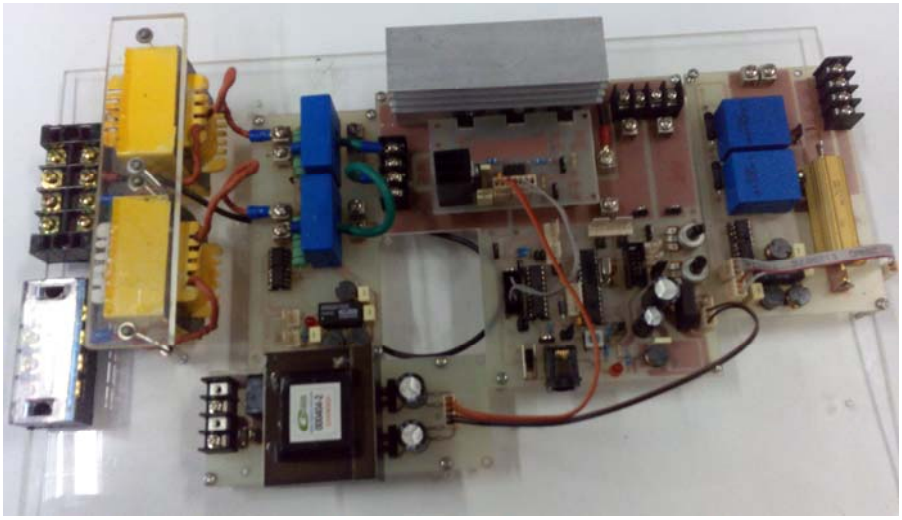
รายละเอียดของอุปกรณ์ในแต่ละวงจรย่อยของ Interleaved Boost Converter เป็นดังนี้

- ทำงานที่ Switching Frequency 10 kHz.
- Power MOSFET เบอร์ IRFP460 เป็นแบบ N Channel พิกัด 500V. 20A.
- Diode แบบ Ultra-Fast Recovery เบอร์ 30CPH03 พิกัด 300V. 30A. , t_{rr} ที่ 40 ns.
- ตัวเหนี่ยวนำขนาด 285 μH. พิกัดกระแสสูงสุด 10A.
- ตัวเก็บประจุแบบ Electrolytic ขนาด 650 μF. พิกัดแรงดัน 600V

อย่างไรก็ตาม dsPIC30F2010 Controller Board ซึ่งเป็นวงจรสร้างสัญญาณควบคุม จะสร้างสัญญาณควบคุมแบบ Duty Cycle Control ที่เหมาะสมให้กับวงจรนี้ได้ เมื่อป้อนโปรแกรมภาษาซี “DC Converter” (ดังแสดงไว้ในภาคผนวก) โดยผ่านให้โปรแกรม Code Composer Studio เพื่อทำหน้าที่ในการแปลง Code ภาษาซี ให้เป็นภาษาเครื่องเสียก่อน แล้วจึงถ่ายลงสู่วงจรสร้างสัญญาณควบคุม (dsPIC30F2010 Controller Board) อีกทอดหนึ่ง โดยผ่านทางการ์ด PICKIT2 หรือ ICD2 (ของบริษัท ETT จำกัด)

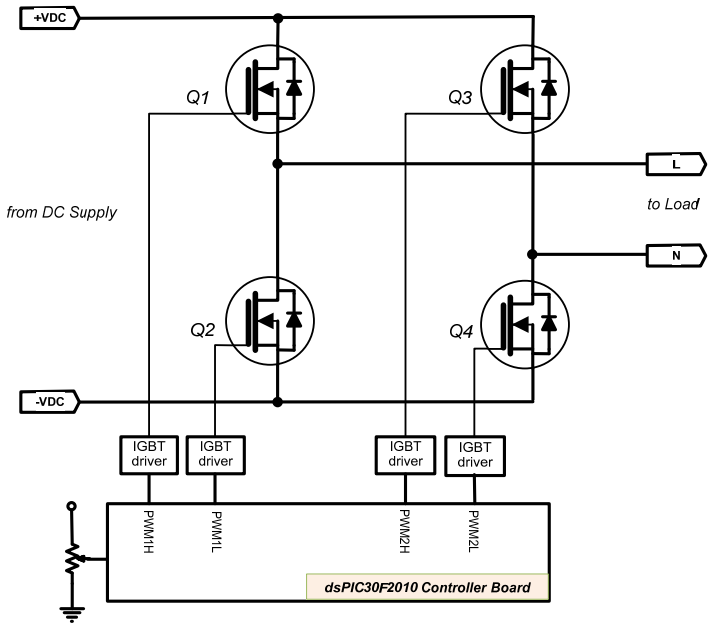


ภาพที่ 3.16 วงจรแปลงระดับแรงดันไฟตรงแบบ Interleaved Boost Converter ที่ประกอบเสร็จแล้ว

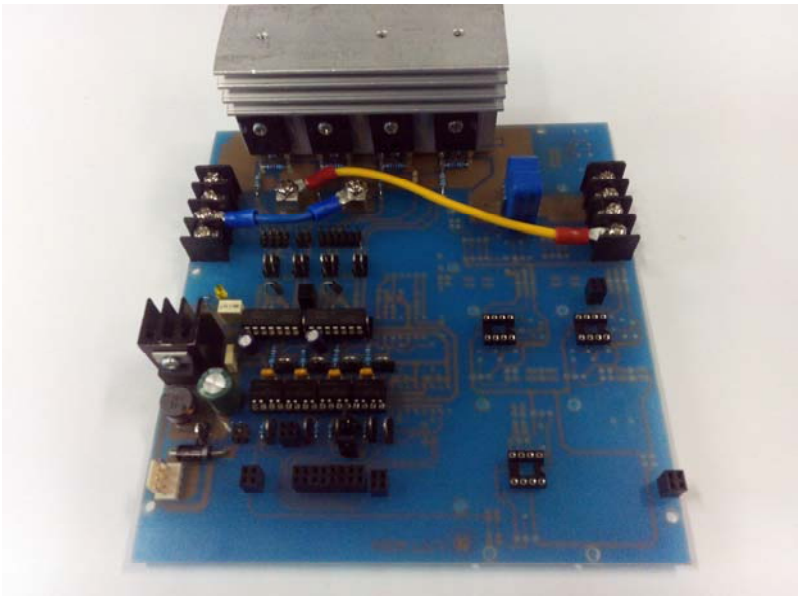


ภาพที่ 3.17 แผงวงจร Interleaved Boost Converter ที่ติดตั้งพร้อมทั้ง dsPIC30F2010 Controller Board ชุดตรวจวัดแรงดันและกระแส

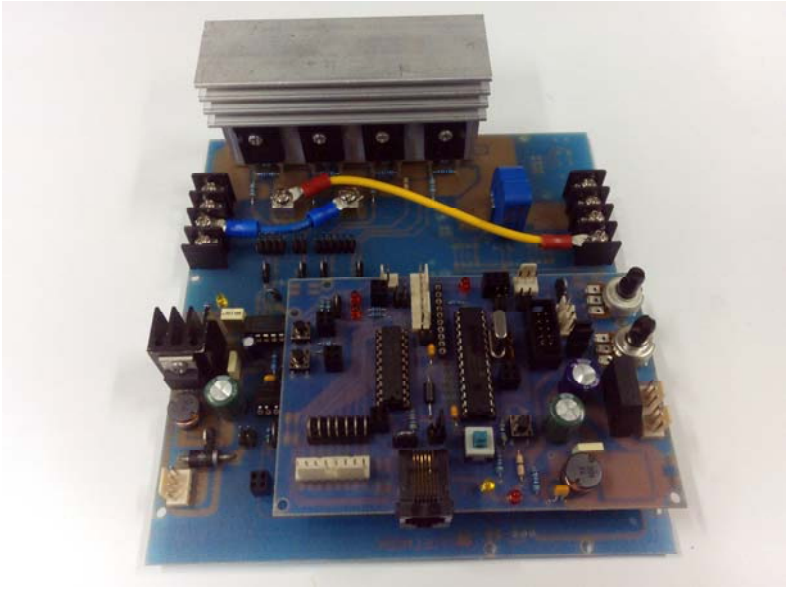
3.5.2 วงจรอินเวอร์เตอร์ 1 เฟสแบบเต็มคลื่น



ภาพที่ 3.18 วงจรอินเวอร์เตอร์ 1 เฟสแบบเต็มคลื่น



ภาพที่ 3.19 แผงวงจรอินเวอร์เตอร์ 1 เฟสแบบเต็มคลื่นที่ประกอบเสร็จแล้ว

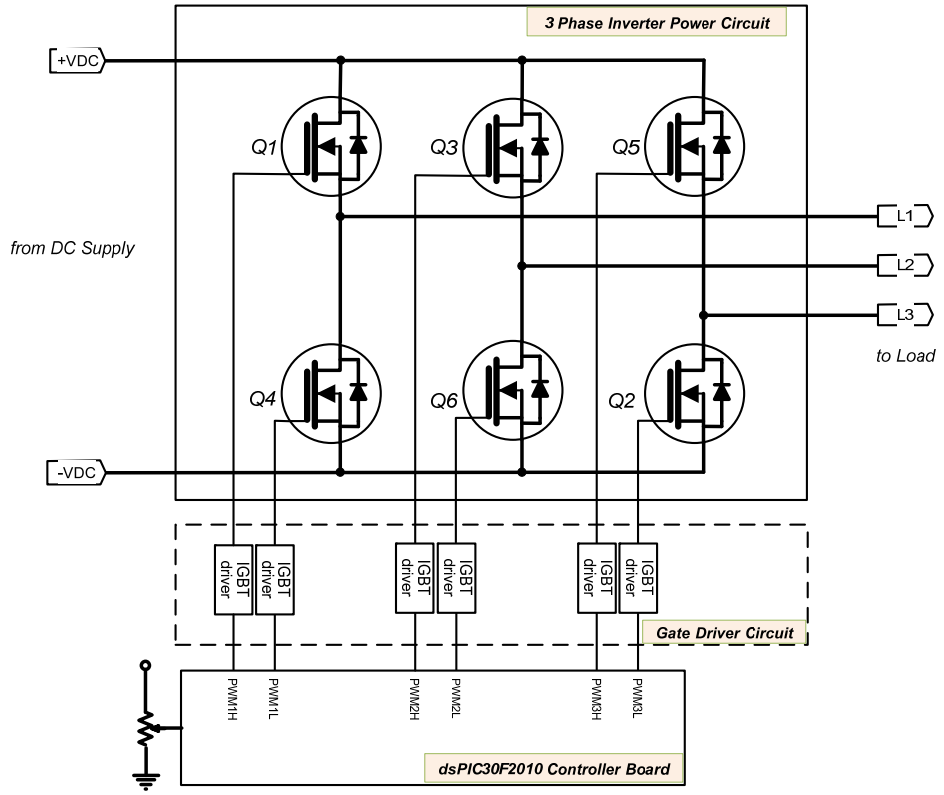


ภาพที่ 3.20 แผงวงจรอินเวอร์เตอร์ 1 เฟสแบบเต็มคลื่นพร้อม dsPIC30F2010 Controller Board

วงจรอินเวอร์เตอร์ 1 เฟสแบบเต็มคลื่น ใช้ Power MOSFET จำนวน 4 ตัวต่อเป็น 2 กิ่งวงจรดังภาพที่ 3.20 โดยในกิ่งวงจรแรก สวิตซ์ Q1 และ Q2 จะรับสัญญาณมาจากขา 1H_OUT (จาก PWM1H) และ 1L_OUT (จาก PWM1L) ตามลำดับ จากวงจร dsPIC30F2010 Controller Board ส่วนในกิ่งวงจรที่สอง สวิตซ์ Q3 และ Q4 จะรับสัญญาณมาจากขา 2H_OUT (จาก PWM2H) และ 2L_OUT (จาก PWM2L) ตามลำดับเช่นกัน

ทั้งนี้ dsPIC30F2010 Controller Board ซึ่งเป็นวงจรสร้างสัญญาณควบคุม จะสร้างสัญญาณควบคุมแบบ Sinusoidal PWM สำหรับวงจรอินเวอร์เตอร์ 1 เฟสเต็มคลื่นที่เหมาะสม (ดูภาพที่ 2.37 ประกอบ) ให้กับวงจรนี้ได้ เมื่อป้อนโปรแกรมภาษาซี “Single Phase Bipolar SPWM Inverter” (ดังแสดงไว้ในภาคผนวก ค.) โดยผ่านให้โปรแกรม Code Composer Studio เพื่อทำหน้าที่ในการแปลง Code ภาษาซี ให้เป็นภาษาเครื่องเสียก่อน แล้วจึงถ่ายลงสู่วงจรสร้างสัญญาณควบคุม (dsPIC30F2010 Controller Board) อีกทอดหนึ่ง โดยผ่านทางการ์ด PICKIT2 หรือ ICD2 (ของบริษัท ETT จำกัด)

3.5.3 วงจรอินเวอร์เตอร์ 3 เฟส



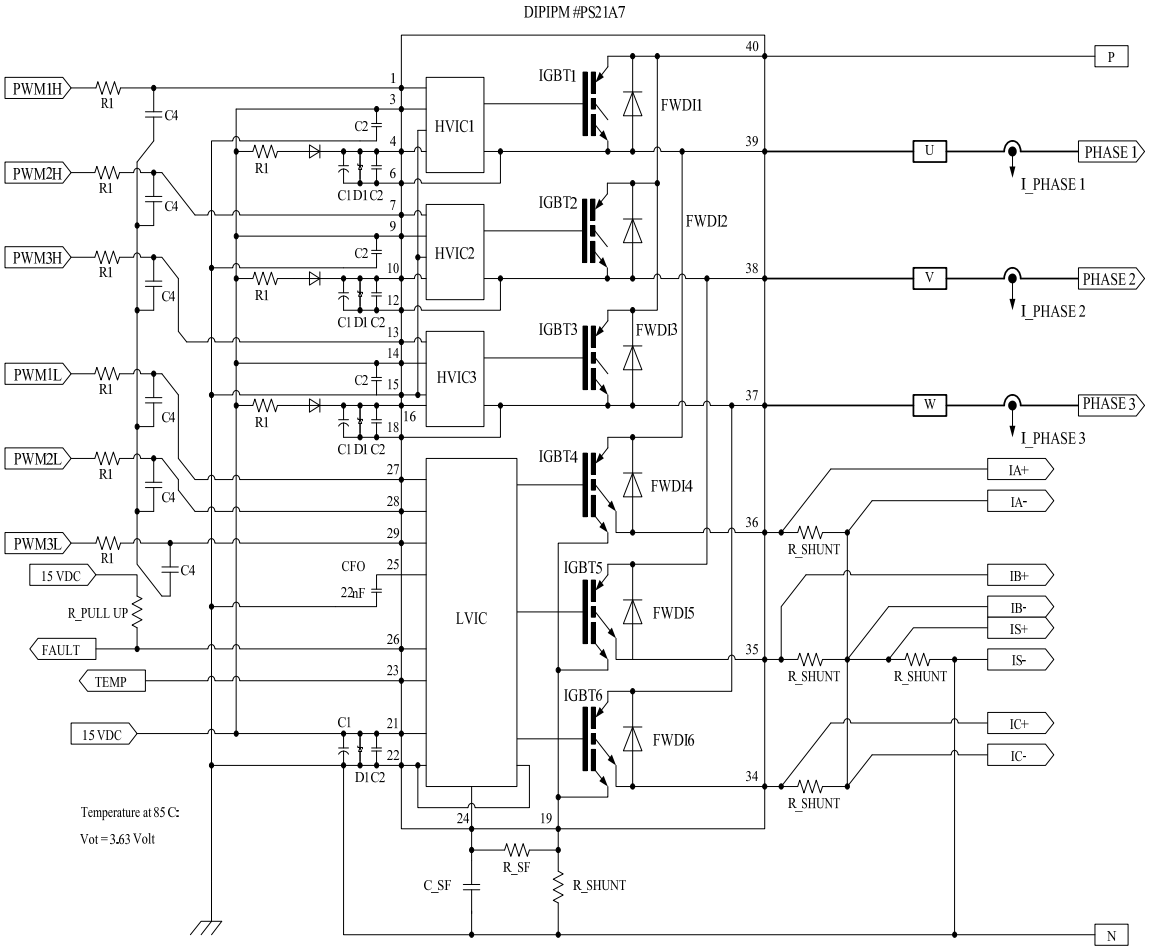
ภาพที่ 3.21 วงจรอินเวอร์เตอร์ 3 เฟส

วงจรอินเวอร์เตอร์ 3 เฟสในโครงการเป็นแบบ SPWM Inverter โดยใช้ Power MOSFET จำนวน 6 ตัวต่อเป็น 3 กิ่งวงจรดังแสดงในภาพที่ 3.21 โดยในกิ่งวงจรเฟส A สวิตซ์ Q1 และ Q4 จะรับสัญญาณมาจากขา 1H_OUT (จาก PWM1H) และ 1L_OUT (จาก PWM1L) จาก dsPIC30F2010 Controller Board ตามลำดับ ส่วนในกิ่งวงจรเฟส B สวิตซ์ Q3 และ Q6 จะรับสัญญาณมาจากขา 2H_OUT (จาก PWM2H) และ 2L_OUT (จาก PWM2L) ตามลำดับ ส่วนในกิ่งวงจรเฟส C สวิตซ์ Q5 และ Q2 จะรับสัญญาณมาจากขา 3H_OUT (จาก PWM2H) และ 3L_OUT (จาก PWM2L) ตามลำดับเช่นกัน

ทั้งนี้ dsPIC30F2010 Controller Board ซึ่งเป็นวงจรสร้างสัญญาณควบคุม จะสร้างสัญญาณควบคุมแบบ Sinusoidal PWM สำหรับวงจรอินเวอร์เตอร์ 3 เฟสที่เหมาะสม (ดูภาพที่ 2.37 ประกอบ) ให้กับวงจรนี้ได้ เมื่อป้อนโปรแกรมภาษาซี “Three Phase SPWM Inverter” (ดังแสดงไว้ในภาคผนวก) โดยผ่านให้โปรแกรม Code Composer Studio เพื่อทำหน้าที่ในการแปลง Code ภาษาซี ให้

เป็นภาษาเครื่องเสียก่อน แล้วจึงถ่ายลงสู่วงจรสร้างสัญญาณควบคุม (dsPIC30F2010 Controller Board) อีกทอดหนึ่ง โดยผ่านทางการ์ด PICKIT2 หรือ ICD2 (ของบริษัท ETT จำกัด)

ส่วนวงจรอินเวอร์เตอร์ 3 เฟสที่ใช้ในโครงการ ใช้ด้วยโมดูล IGBT Inverter สำเร็จรูป ของบริษัท POWEREX เบอร์ IPM PS22052 เป็นโมดูลขนาดพิกัดแรงดัน 1200 โวลต์ และพิกัดกระแสสูงสุด 5 แอมแปร์



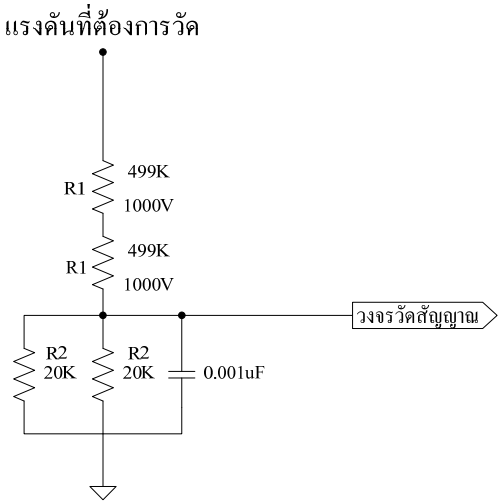
ภาพที่ 3.22 ส่วนของวงจรอินเวอร์เตอร์ 3 เฟสที่ใช้ในโครงการ

ภาพที่ 3.23 แผงวงจรอินเวอร์เตอร์ 3 เฟสแบบเต็มคลื่นที่ประกอบเสร็จแล้ว

3.6 การออกแบบวงจรและอุปกรณ์เพิ่มเติม

3.6.1 วงจรตรวจวัดแรงดัน

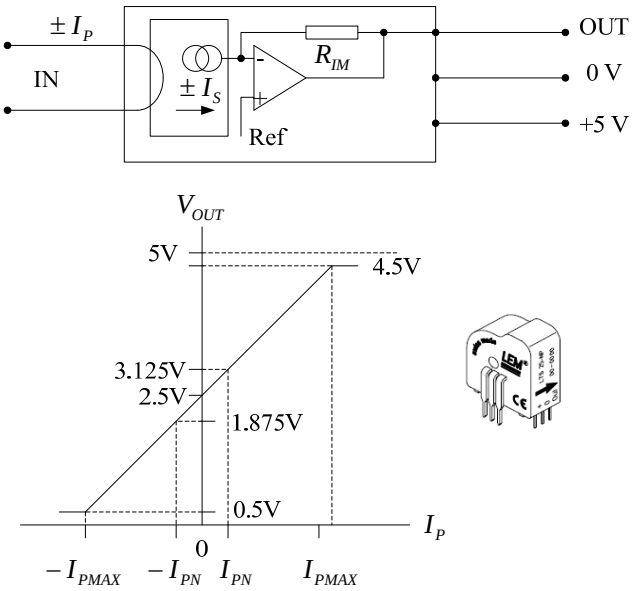
วงจรการวัดแรงดันนั้นใช้สำหรับวัดแรงดันเกินขณะที่มอเตอร์เกิดการเบรก เนื่องจากเมื่อเกิดการเบรกของมอเตอร์นั้นจะมีแรงดันกระแสตรงในบัสสูงขึ้น จะส่งผลให้วงจรกรองกระแสเกิดความเสียหายได้ วงจรการวัดแรงดันที่สร้างขึ้นใช้หลักการแบ่งแรงดัน ดังรูปที่ 3.24



รูปที่ 3.24 วงจรตรวจวัดแรงดัน

3.6.2 วงจรตรวจวัดกระแส

วงจรตรวจวัดกระแสใช้ป้องกันกระแสเกินที่อาจก่อให้เกิดความเสียหายแก่วงจร เป็นเซนเซอร์แบบ Hall Effect เบอร์ LTS 25-NP ของ LEM วัดกระแสได้สูงสุด 25 A. โดยข้อมูลที่จำเป็นในการออกแบบวงจรนั้น แสดงดังรูปที่ 3.25 ทั้งนี้สามารถเลือกระดับการวัดกระแสได้โดยใช้ตารางที่ 3.1

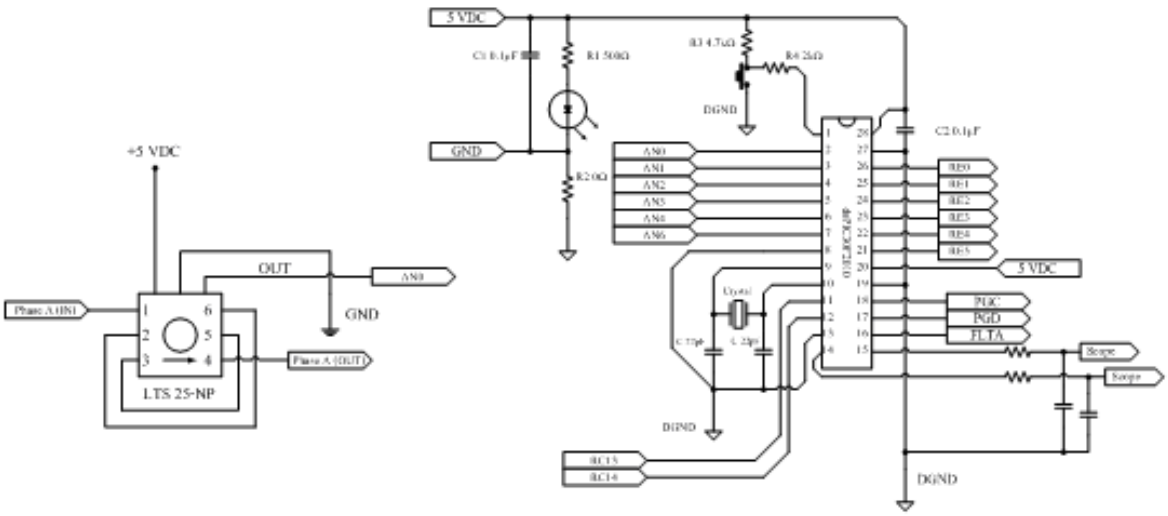


รูปที่ 3.25 วงจรที่ใช้ประกอบการสร้างวงจรเซนเซอร์ LTS 25-NP [31]

ตารางที่ 3.1 ข้อมูลสำหรับการเลือกใช้เซนเซอร์กระแส LTS 25-NP

Primary turn	Nominal Primary RMS current	Nominal Output Voltage	Primary Resistance	Primary Insert Inductance	Recommended Connection
1	± 25	2.5 ± 0.600	0.18	0.013	6 5 4 OUT IN 1 2 3
2	± 12	2.5 ± 0.600	0.81	0.05	6 5 4 OUT IN 1 2 3
3	± 8	2.5 ± 0.600	1.62	0.12	OUT IN 1 2 3

วงจรการใช้งานระหว่าง LTS 25-NP ร่วมกับ dsPIC30F2010 แสดงดังรูปที่ 3.26



รูปที่ 3.26 วงจรการใช้งาน LTS 25-NP ร่วมกับ dsPIC30F2010

3.6.3 การออกแบบขดลวดเหนี่ยวนำ

วงจรแปลงผันกำลังไฟตรงในโครงการ เช่น DC Buck Converter, DC Boost Converter และ Interleaved DC Boost Converter นั้น จะต้องใช้ตัวเหนี่ยวนำความถี่สูงขนาด 285 μH. ในวงจร ซึ่งสามารถออกแบบการพันขดลวดได้ดังนี้

เงื่อนไขการออกแบบขดลวดเหนี่ยวนำ

- ค่าตัวเหนี่ยวนำ $L = 285$ μH. - ความถี่สวิตซ์ $f_{SW} = 10$ kHz.
- กระแสไฟตรงที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ $I_L = 10$A. กระแสกระเพื่อม $\Delta I_L = 1$A.
- ใช้แกนเฟอร์ไรท์ชนิด EE Core - ความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็ก $B_m = 0.4$ Tesla

ขั้นตอนที่ 1. คำนวณพลังงานสะสมในแกนเหล็ก (E)

$$E = \frac{LI^2}{2} = \frac{(285\text{x}10^{-6})(10.1)^2}{2} = 0.02878 \quad \text{Watt-second}$$

ทั้งนี้ $I = I_L + \frac{I_L}{2} = 10.1$ A.

ขั้นตอนที่ 2. ออกแบบตัวเหนี่ยวนำด้วยวิธีคูณพื้นที่

$$A_p = \frac{2E\text{x}10^6}{K_u B_m J} = \frac{2\text{x}0.02878\text{x}10^6}{(0.4)(0.4)(3)} = 119,940 \quad \text{mm}^4$$

ทั้งนี้ A_p เป็นค่าผลคูณพื้นที่

K_u เป็นค่า Window Utilisation Factor มีค่าคงที่เท่ากับ 0.4

J เป็นค่าความหนาแน่นของกระแส มีค่าเท่ากับ 3 A/mm^2

ขั้นตอนที่ 3. เลือกชนิดแกนแม่เหล็ก

จากการพิจารณาได้เลือกใช้แกน EE 5521 ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

ค่า Window Area (W_a) เท่ากับ 375.55 mm^2

ค่าพื้นที่หน้าตัดแกน (A_c) เท่ากับ 345 mm^2

ค่าผลคูณพื้นที่ (A_p) เท่ากับ 132,945 mm^4

ค่า Saturation Flux Density เท่ากับ 0.5 Tesla ที่ 25° C

ขั้นตอนที่ 4. คำนวณขนาดตัวนำ

$$A_W = \frac{I_L + (\Delta I_L/2)}{J} = \frac{10.5}{3} = 3.5 \quad mm^2$$

เลือกใช้ลวดตัวนำ SWG เบอร์ 24 ตีเกลียวขนาน 7 เส้น มีพื้นที่หน้าตัดตัวนำรวม 3.65 mm^2

ขั้นตอนที่ 5. คำนวณจำนวนรอบลวดตัวนำ

$$N = \frac{L.I_{max}}{A_c B_m} = \frac{285\text{x}10^{-6}\text{x}10.5\text{x}10^{6}}{(354)(0.4)} = 21.33 \quad \text{Turn}$$

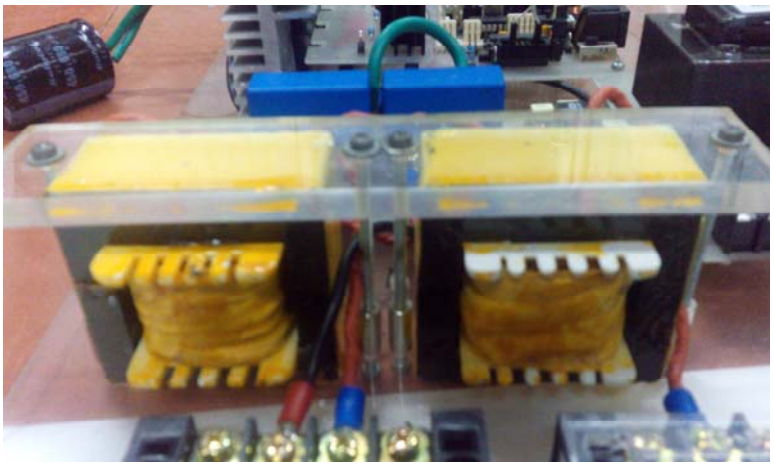
ดังนั้นจึงพันลวดตัวนำจำนวน 21 รอบ

ขั้นตอนที่ 6. ประเมินพื้นที่พันขดลวด

กำหนดให้ (W_a) เท่ากับ 375.55 mm^2 และกำหนดให้สัมประสิทธิ์การพันขดลวด (K_w) เท่ากับ 0.6 ดังนั้น $(W_a)(K_u) = (375.55)(0.6) = 225.35 \quad mm^2$

เปรียบเทียบกับผลทางปฏิบัติ $(21 \text{ รอบ})(3.65\ mm^2) = 80.3 \quad mm^2$

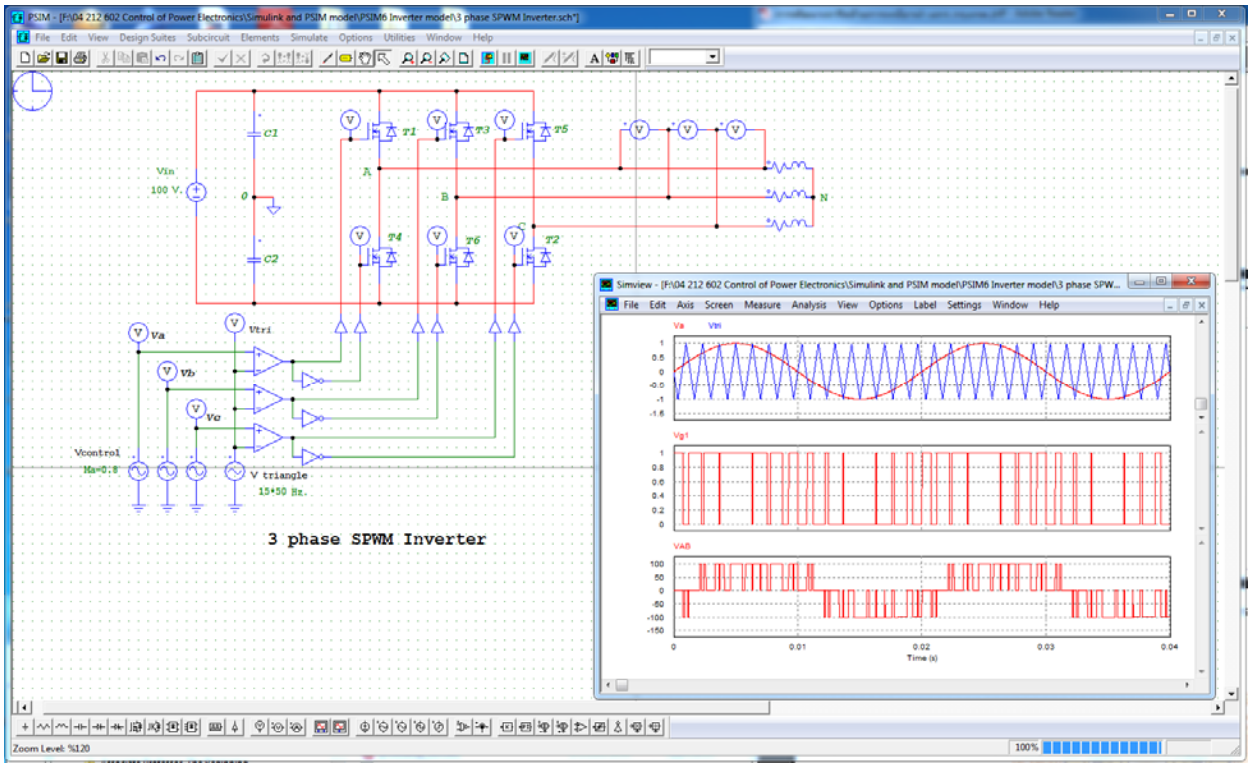
แสดงว่าสามารถลงขดลวดที่พัน บนแกน EE 5521 ได้



ภาพที่ 3.27 ขดลวดเหนี่ยวนำที่ใช้ในโครงการ

3.6.4 โปรแกรมจำลองระบบอิเล็กทรอนิกส์กำลัง

การจำลองระบบอิเล็กทรอนิกส์กำลังวงจรต่างๆ เป็นขั้นตอนที่สำคัญและจำเป็นก่อนนำไปออกแบบและสร้างในเชิงปฏิบัติ ในโครงการนี้จะใช้โปรแกรม PSIM Ver. 9.3.1 (Demo Version) ของบริษัท Powersim Inc. จำกัด เพื่อแสดงผลจำลองการทำงานของวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าด้วยอิเล็กทรอนิกส์กำลังแบบต่างๆ พร้อมส่วนสร้างสัญญาณและระบบควบคุม



ภาพที่ 3.28 ตัวอย่างการจำลองการทำงานของวงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลัง
ด้วยโปรแกรม PSIM Ver. 9.3.1 (Demo Version)

3.7 การสร้างและทดสอบวงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลัง

เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการสร้างและทดสอบวงจร มีดังนี้

1. DC Power Supply
2. Function Generator
3. Digital Voltmeter และ Ammeter
4. Oscilloscope
5. RLC meter

การดำเนินการสร้าง และทดสอบวงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลังในโครงการ แสดงดังภาพที่ 3.29 และ 3.30 ตามลำดับ

ภาพที่ 3.29 การสร้างวงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลังในโครงการ

ภาพที่ 3.30 การทดสอบวงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลังในโครงการ