# บทที่ 4
# ผลการทดสอบโครงการ

## 4.1 บทนำ

การทดลอง ชุดควบคุมระบบอิเล็กทรอนิกส์กำลังด้วยบอร์ดประมวลผลสัญญาณดิจิตอล ในโครงการ แบ่งออกเป็นการทดสอบสัญญาณแต่ละวงจรดังนี้

1. การทดสอบวงจรสร้างสัญญาณควบคุมด้วยบอร์ดประมวลผลสัญญาณ
2. การทดสอบวงจรแปลงผันกำลังไฟตรง
3. การทดสอบวงจรอินเวอร์เตอร์ 1 เฟส
4. การทดสอบวงจรอินเวอร์เตอร์ 3 เฟส

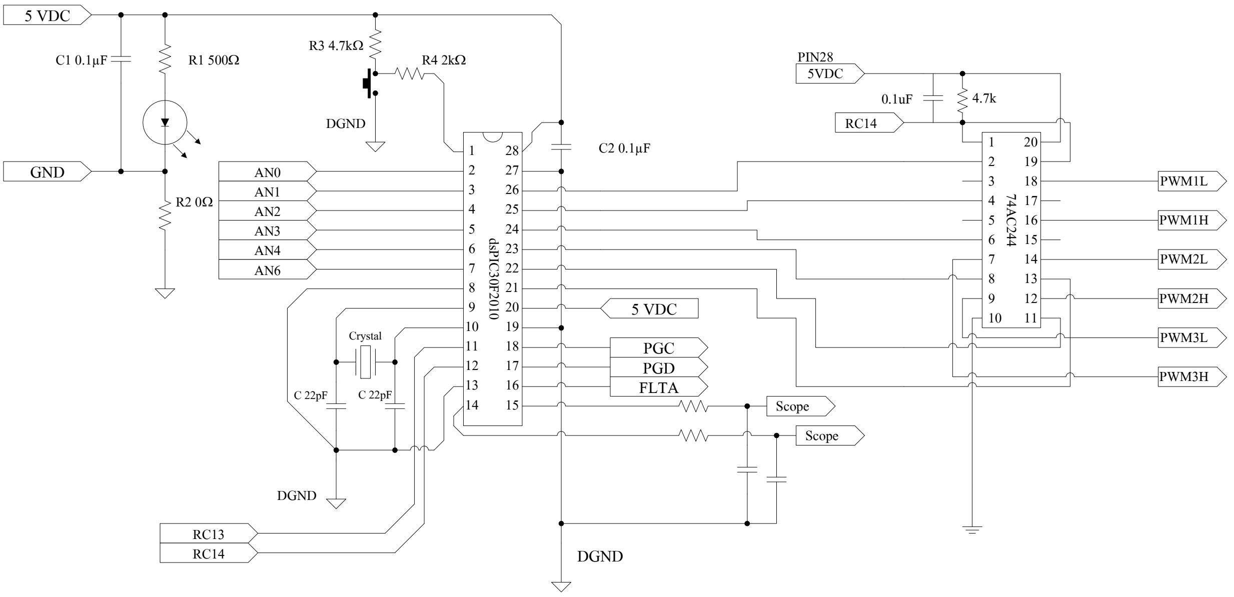
## 4.2 อุปกรณ์และเครื่องมือวัดพื้นฐานที่ใช้ในการทดสอบ

เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบวงจรในโครงการ มีดังนี้

1. DC Power Supply ขนาด 0 – 50 VDC แบบ 2 Channel
2. Digital Voltmeter แบบ True RMS
3. Digital Ammeter แบบ True RMS
4. Digital Oscilloscope
5. AC/DC Voltage Probe และ Current Probe
6. วงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลังที่ได้จัดสร้างขึ้น

## 4.3 การทดสอบวงจรสร้างสัญญาณควบคุมด้วยบอร์ดประมวลผลสัญญาณ

การทดสอบวงจรสร้างสัญญาณควบคุมด้วยบอร์ดประมวลผล dsPIC30F2010 Controller Board ซึ่งเป็นวงจรสร้างสัญญาณควบคุม เพื่อตรวจสอบสัญญาณขาออกของวงจรว่า สามารถสร้างสัญญาณควบคุมได้ถูกต้องตามที่ต้องการหรือไม่ ทั้งนี้วงจรสร้างสัญญาณควบคุมเป็นดังแสดงในภาพที่ 4.1




รูปที่ 4.1 วงจรสร้างสัญญาณควบคุมด้วย dsPIC30F2010

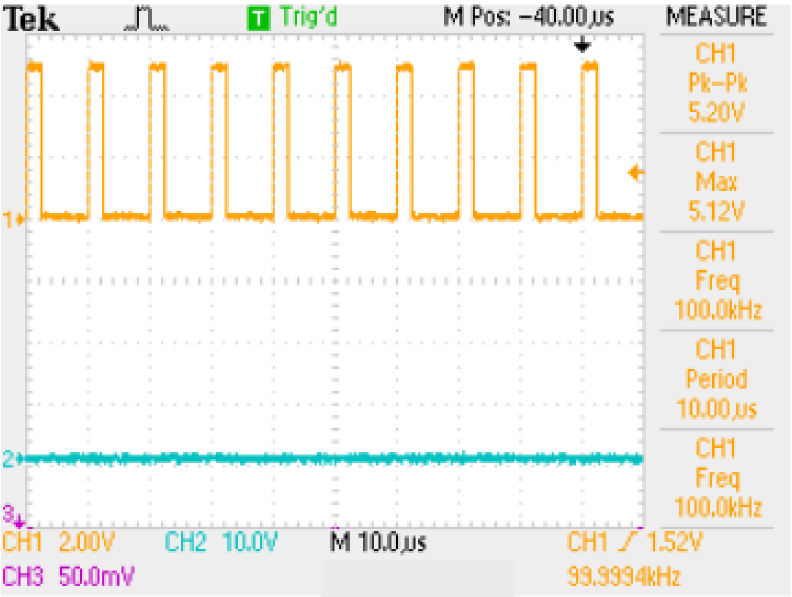
จากภาพที่ 4.1 ภายในวงจรสร้างสัญญาณควบคุม จะประกอบด้วย

1. ชิปไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F2010 ทำหน้าที่เป็นตัวประมวลผลสัญญาณ พร้อมทั้ง รับ/ส่งสัญญาณควบคุมกับวงจรภายนอก
2. ส่วนสร้างสัญญาณนาฬิกา ทำหน้าที่สร้างสัญญาณ Clock ให้กับ dsPIC30F2010 ที่ความถี่ขนาด 20 MHz.
3. ไอซี 74AC422 เป็นไอซี TTL ซึ่งภายในไอซีประกอบด้วยบัพเฟอร์ จำนวน 8 ตัว ทำหน้าที่รองรับสัญญาณอินพุตจำนวน 8 ช่องสัญญาณจากชิป DSP ทั้งนี้การทำงานของพอร์ตอินพุต คือเมื่อพอร์ตไม่ถูกเลือกให้ทำงาน พอร์ตจะอยู่ในสถานะความต้านทานสูง และเมื่อมีสัญญาณอินพุทมากระตุ้นให้พอร์ต พอร์ตจะอยู่ในสถานะความต้านทานต่ำ เพื่อทำหน้าที่เชื่อมต่อข้อมูลอินพุตสู่ด้านเอ๊าท์พุทเข้ากับบัสข้อมูลของระบบต่อไป

การทดสอบวงจรสร้างสัญญาณควบคุมด้วยตัวประมวลผลสัญญาณ dsPIC30F2010 ในที่นี้ เป็นการแสดงผลทดสอบวงจรเพื่อสร้างสัญญาณ PWM สำหรับควบคุมวงจรแปลงผันกำลังไฟตรง (DC Converter) โดยการส่งผ่านการแปลง Code ของโปรแกรม “DC Converter” จาก MPLAB Program ในคอมพิวเตอร์ ผ่านทางการ์ด ICD2 ซึ่งจะได้รูปคลื่นสัญญาณขาออกที่ขา 26 (ขา AN6/OCFA/RB6) ดังแสดงในภาพที่ 4.2

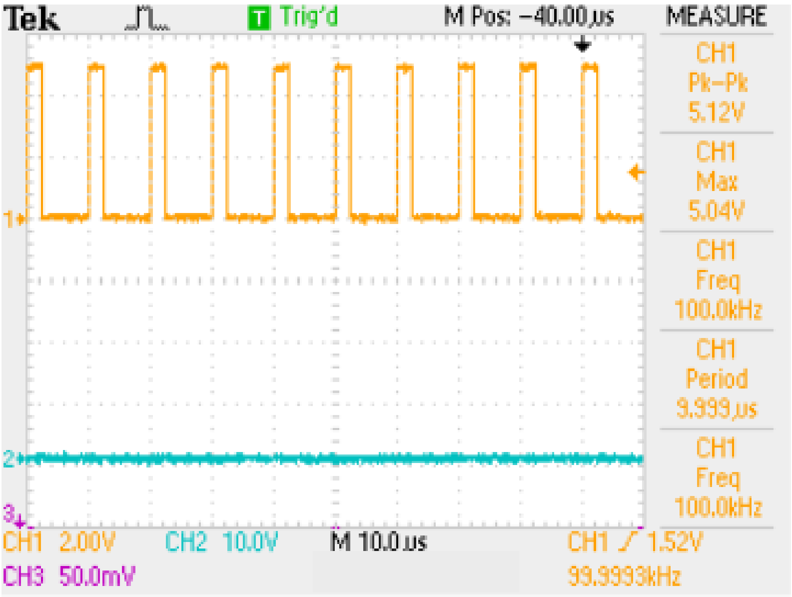
สัญญาณดังกล่าวจะถูกส่งผ่านไปที่วงจร Buffer ในไอซี 74AC244 ที่ขา 2 ทำให้สัญญาณขาออกจาก Buffer ส่วนนี้อยู่ที่ขา 18 (PWM1L) ของไอซี 74AC244 ดังแสดงในภาพที่ 4.3

อย่างไรก็ตาม สัญญาณขาออกในภาพที่ 4.2 และ 4.3 มีขนาด 5 โวลต์เท่านั้น เนื่องจากเป็นสัญญาณจากไอซี TTL ดังนั้นเมื่อต้องการนำไปใช้ควบคุมการทำงานกับวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าแบบใดๆก็ตามจะต้องนำไปผ่านวงจร Isolator (ด้วย TLP250) อีกทอดหนึ่งก่อนเพื่อแยกส่วนวงจรควบคุมออกจากวงจรกำลังและเพื่อยกระดับให้สัญญาณมีขนาดสูง พอที่จะใช้ขับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลังในวงจรนั้นๆได้




ภาพที่ 4.2 รูปคลื่นสัญญาณขาออกแบบ PWM ที่ขา 26 (ขา AN6/OCFA/RB6) จาก dsPIC30F2010

(โดยมีขนาดสัญญาณที่ 5 V.)




ภาพที่ 4.3 รูปคลื่นสัญญาณขาออกที่ขา PWM1L (ขา 18 จากไอซี 74AC244)

(โดยมีขนาดสัญญาณที่ 5 V.)

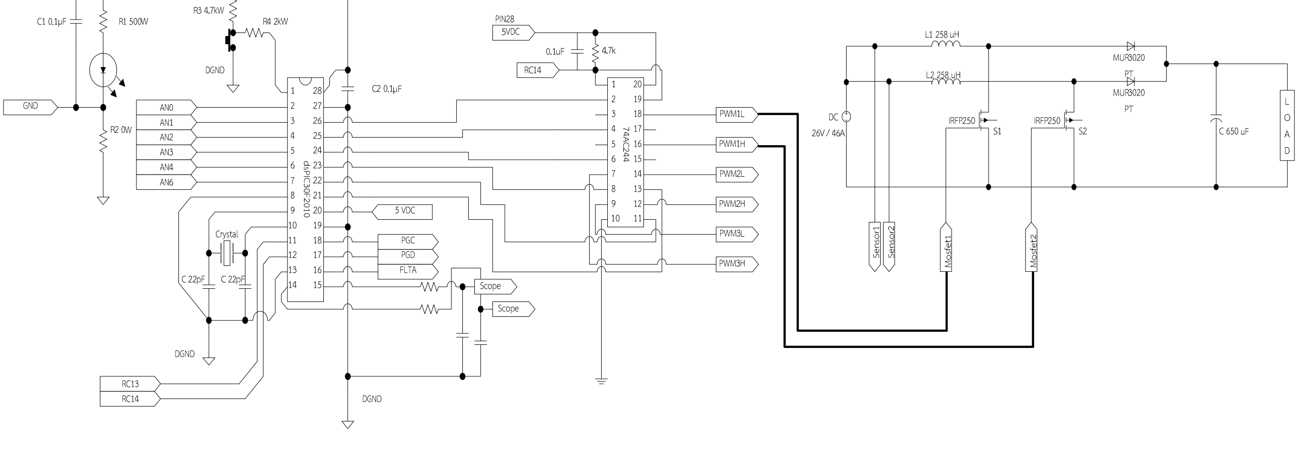
จากสัญญาณที่ได้จากภาพที่ 4.2 และ 4.3 จะเห็นว่าบอร์ด dsPIC30F2010 Controller Board สามารถแปลง Code จากโปรแกรม “DC Converter” ในการสร้างสัญญาณ PWM ออกทางขา PWM 1L ของวงจร เพื่อใช้ในการควบคุมวงจรแปลงผันกำลังไฟตรงเชิงปฏิบัติได้อย่างสมบูรณ์

อย่างไรก็ตาม ได้ทำการทดสอบบอร์ด dsPIC30F2010 Controller Board นี้กับโปรแกรมสร้างสัญญาณอื่นๆ ในโครงการแล้วเช่นกัน ซึ่งได้แสดงผลทดสอบเชิงปฏิบัติในการทดสอบวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าแบบต่างๆ ในหัวข้อถัดไปแล้ว

## 4.4 การทดสอบวงจรแปลงกำลังไฟตรงแบบ Interleaved DC Boost Converter

วงจร Interleaved DC Boost Converter มีลักษณะเป็น DC Boost Converter จำนวน 2 วงจรต่อขนานกันเพื่อทำหน้าที่กรองกระแสขาออกให้มีความเรียบเป็นไฟตรงมากขึ้นกว่า Boost Converter ปกติ โดยใช้เทคนิคการเหลื่อมเฟสของสัญญาณควบคุม ดังแสดงในภาพที่ 3.15 และภาพที่ 4.4 ซึ่งการทำงานของ Power MOSFET ในวงจร Boost Converter ทั้งสองวงจรจะเหลื่อมกัน 180° ไฟฟ้า เนื่องจากสัญญาณควบคุมจะมี 2 สัญญาณซึ่งจะเหลื่อมกัน 180° ไฟฟ้า

วงจรสำหรับทดสอบการทำงานของวงจรแปลงกำลังไฟตรงแบบ Interleaved Boost Converter ในโครงการจะใช้ dsPIC30F2010 เป็นตัวสร้างสัญญาณควบคุม โดยการรับข้อมูลการสร้างสัญญาณจากโปรแกรม “DC Converter” ผ่านโปรแกรม MPLABC30 และ CCS (Code Composer Studio) เพื่อแปลงเป็น HEX file และส่งผ่านการ์ด ICD2 มาทางพอร์ต USB




ภาพที่ 4.4 วงจรสำหรับทดสอบการทำงานของวงจรแปลงผันกำลังไฟตรง

แบบ Interleaved DC Boost Converter

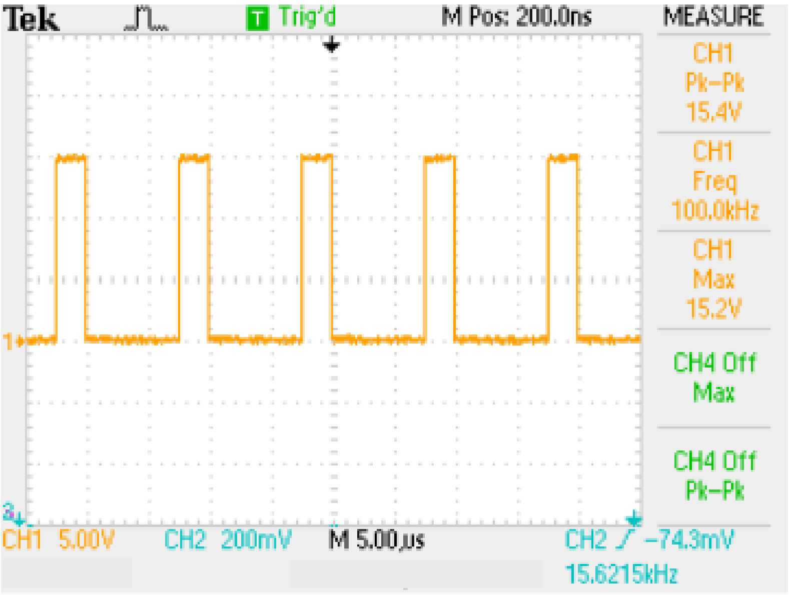
การทดสอบวงจรแปลงผันกำลังไฟตรงชนิดทบระดับแรงดันแบบเหลื่อมเฟสนี้ ประกอบด้วยวงจร 2 ส่วนคือ วงจรสร้างสัญญาณควบคุม (dsPIC30F2010 Controller Board) และวงจร Interleaved DC Boost Converter

ส่วนสร้างสัญญาณควบคุมประกอบด้วย ชิปไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F2010 ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวประมวลผลสัญญาณ พร้อมทั้งรับ/ส่งสัญญาณควบคุมกับวงจรภายนอก และไอซี 74AC422 ทำหน้าที่เป็น Buffer เพื่อรับสัญญาณอินพุตจำนวน 8 ช่อง ซึ่งเมื่อพอร์ตไม่ถูกเลือกให้ทำงาน จะอยู่ในสถานะความต้านทานสูง แต่เมื่อมีสัญญาณมากระตุ้น พอร์ตจะอยู่ในสถานะความต้านทานต่ำ เพื่อเชื่อมต่อข้อมูลอินพุตเข้ากับบัสข้อมูลของระบบ

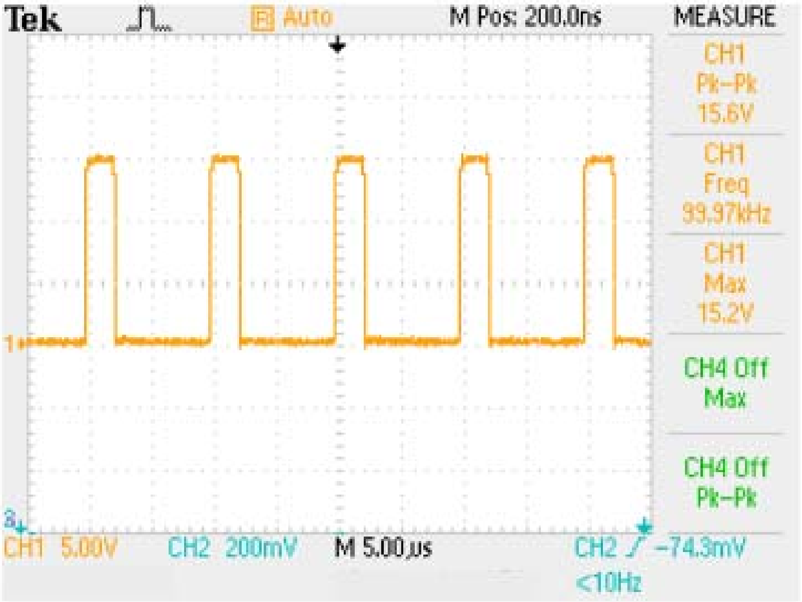
ส่วนวงจรแปลงผันกำลังไฟตรงแบบทบแรงดันชนิดเหลื่อมเฟส หรือ Interleaved DC Boost Converter ซึ่งมีวงจร DC Boost Converter จำนวน 2 วงจรขนานกัน ซึ่งแต่ละวงจร DC Boost Converter นั้นจะประกอบด้วย

1. ไดโอดกำลัง MUR2030PT เป็นแบบ Ultra-Fast Recovery Diode ขนาดพิกัดแรงดัน 600V. ทนกระแสสูงสุด 30A. และสามารถใช้งานที่ความถี่สวิตซ์สูงๆได้ดีกว่าแบบ General Purpose Diode
2. สวิตซ์อิเล็กทรอนิกส์กำลัง เป็น Power MOSFET รุ่น IRFP250 ซึ่งเป็นแบบ N-Channel ขนาดพิกัดแรงดัน 200V. ทนกระแสสูงสุดได้ 33A. สามารถทำงานสวิตชิ่งที่ความถี่สูงได้
3. ขดลวดเหนี่ยวนำ แกน Ferrite core ขนาด 285 μH. ทนกระแสสูงสุดได้ไม่น้อยกว่า 10A.
4. ตัวเก็บประจุไฟฟ้า แบบ Electrolytic ขนาด 650 μF. พิกัดแรงดัน 600V.
5. ตัวตรวจวัดสัญญาณแรงดันและกระแสในวงจร

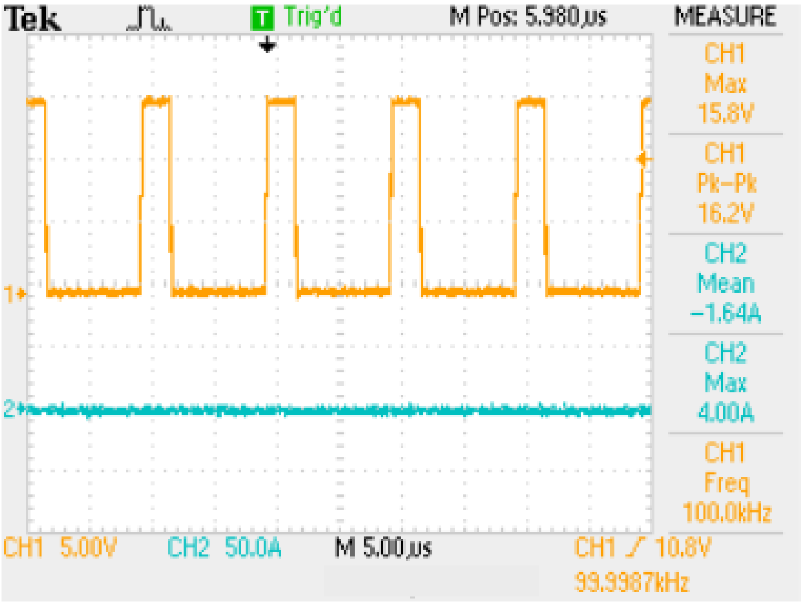
รูปคลื่นสัญญาณต่างๆที่ได้จากการทดสอบวงจรแปลงผันกำลังไฟตรงแบบ Interleaved DC Boost Converter ในโครงการ แสดงในภาพที่ 4.5 ถึงภาพที่ 4.8




ภาพที่ 4.5 รูปคลื่นสัญญาณควบคุมที่ขา 26 จาก dsPIC30F2010 (PWM1L)

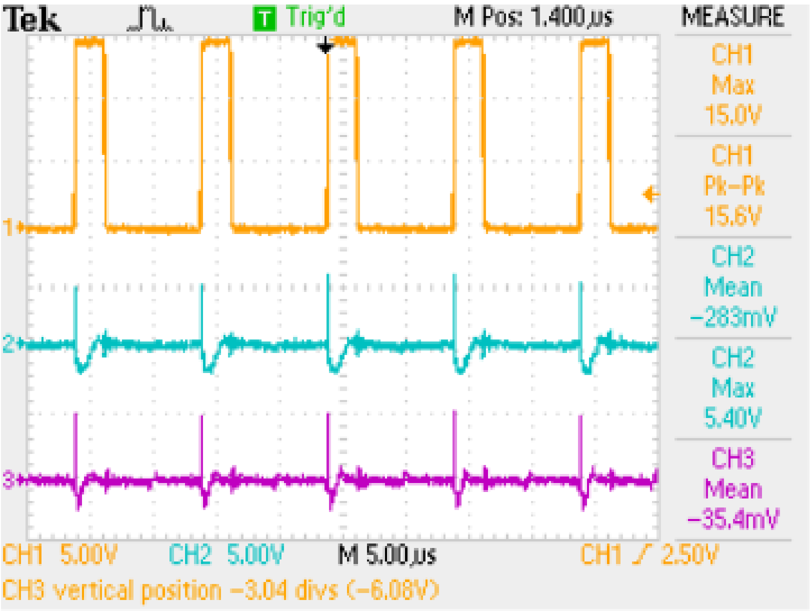



ภาพที่ 4.6 รูปคลื่นสัญญาณควบคุมที่ขาเกตของ Power MOSFET สวิตซ์ S1
(PWM1L จากไอซี 74AC244)




ภาพที่ 4.7 รูปคลื่นสัญญาณควบคุมที่ขาเกตของ Power MOSFET สวิตซ์ S2

(PWM1H จากไอซี 74AC244)




ภาพที่ 4.8 รูปคลื่นสัญญาณควบคุม กระแสขาเข้า และกระแสขาออก

จากวงจร Interleaved DC Boost Converter

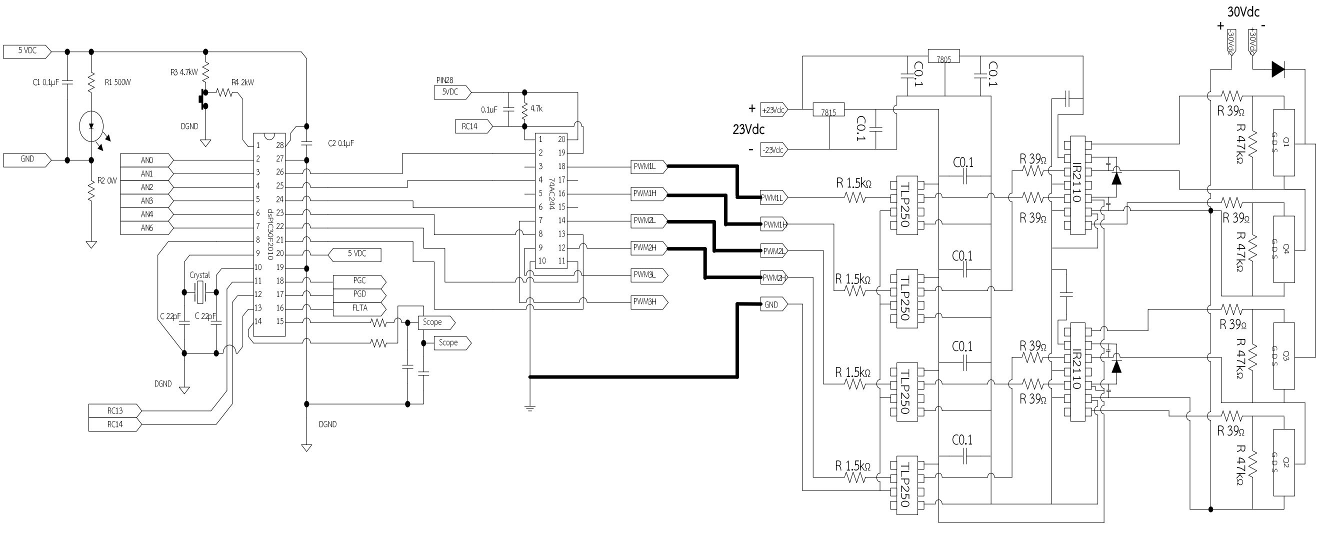
ภาพที่ 4.5 เป็นรูปคลื่นสัญญาณควบคุมที่ขา 26 จาก dsPIC30F2010 (PWM1L) ซึ่งเมื่อผ่านวงจร Buffer จากไอซี 74AC244 จะเห็นว่าสัญญาณควบคุมที่ขาเกตของ Power MOSFET สวิตซ์ S1

(PWM1L) และสวิตซ์ S2 (PWM1H) จะมีการเหลื่อมเฟสกันและกัน 180° ทางไฟฟ้า ดังแสดงในภาพที่ 4.6 และภาพที่ 4.7 ตามลำดับ และเมื่อนำสัญญาณควบคุมทั้งสองไปควบคุม Power MOSFET ในวงจร Interleaved DC Boost Converter จะได้รูปร่างกระแสที่ไหลผ่านโหลดค่อนข้างราบเรียบขึ้น ดังแสดงในภาพที่ 4.8

## 4.5 การทดสอบวงจรอินเวอร์เตอร์ 1 เฟสแบบ Full Bridge

วงจร 1 Phase Full Bridge Inverter ทั้งแบบแรงดันขาออกเป็น Square wave และ Sine PWM จะประกอบด้วยสวิตซ์อิเล็กทรอนิกส์แบบ Power MOSFET จำนวน 4 ตัวต่อเป็น 2 กิ่งวงจรๆละ 2 ตัว ต่ออนุกรมกันดังแสดงในภาพที่ 3.12 โดยสัญญาณที่ใช้ควบคุมอุปกรณ์ทั้ง 4 ตัวดังกล่าว จะมีลักษณะเป็นแบบ Square wave หรือแบบ SPWM ก็ได้ (ดังแสดงไว้แล้วในภาพที่ 2.36 และ 2.37 ตามลำดับ)

อย่างไรก็ตาม วงจรสำหรับทดสอบการทำงานของวงจร 1 Phase Full Bridge Inverter ในโครงการนี้จะใช้ dsPIC30F2010 เป็นตัวสร้างสัญญาณควบคุม ทำให้ไม่สามารถใช้หลักการมอดูเลตสัญญาณตามความกว้างพัลส์ (PWM) ตามที่อธิบายไว้ในหัวข้อ 2.4.1 ได้ ทั้งนี้บอร์ด dsPIC30F2010 จะรับข้อมูลการสร้างสัญญาณควบคุมจากโปรแกรม “1 Phase Inverter” ผ่านโปรแกรม MPLABC30 และ CCS (Code Composer Studio) เพื่อแปลงเป็น HEX file และส่งผ่านการ์ด ICD2 มาทางพอร์ต USB ทั้งนี้วงจรทดสอบดังกล่าว แสดงดังภาพที่ 4.9




ภาพที่ 4.9 วงจรสำหรับทดสอบการทำงานของวงจรอินเวอร์เตอร์ 1 เฟส

จากภาพที่ 4.9 วงจรทดสอบในส่วนนี้ จะประกอบด้วย 2 ส่วนหลักคือ ส่วนสร้างสัญญาณควบคุม (dsPIC30F2010 Controller Board) และส่วนวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้า แบบวงจรอินเวอร์เตอร์ 1 เฟส ชนิด Full Bridge

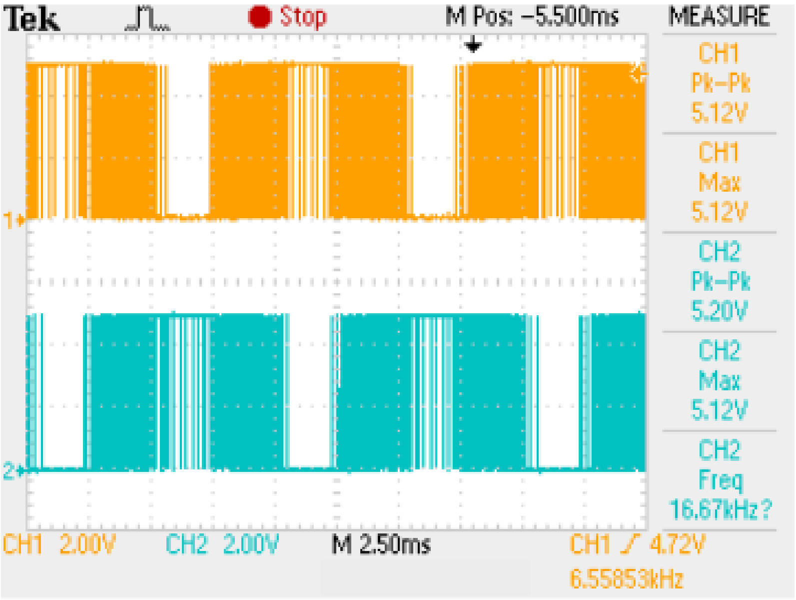
ส่วนสร้างสัญญาณควบคุม (dsPIC30F2010 Controller Board) จะมีลักษณะเหมือนกันกับในหัวข้อ 4.3 คือ ประกอบด้วย

1. ไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F2010 ทำหน้าที่เป็นตัวประมวลผลสัญญาณ พร้อมทั้งรับ/ส่งสัญญาณควบคุมกับวงจรภายนอก
2. ส่วนสร้างสัญญาณนาฬิกา ทำหน้าที่สร้างสัญญาณ Clock ให้กับ dsPIC30F2010 ที่ความถี่ขนาด 20 MHz.
3. ไอซี 74AC422 ซึ่งภายในไอซีเป็น Buffer 8 ตัว ทำหน้าที่รองรับสัญญาณอินพุตจำนวน 8 ช่องสัญญาณ การทำงานของพอร์ตอินพุตคือ เมื่อพอร์ตไม่ถูกเลือกให้ทำงาน พอร์ตจะอยู่ในสถานะความต้านทานสูง และเมื่อมีสัญญาณมากระตุ้น พอร์ตจะอยู่ในสถานะความต้านทานต่ำ เพื่อทำหน้าที่เชื่อมต่อข้อมูลอินพุตเข้ากับบัสข้อมูลของระบบ

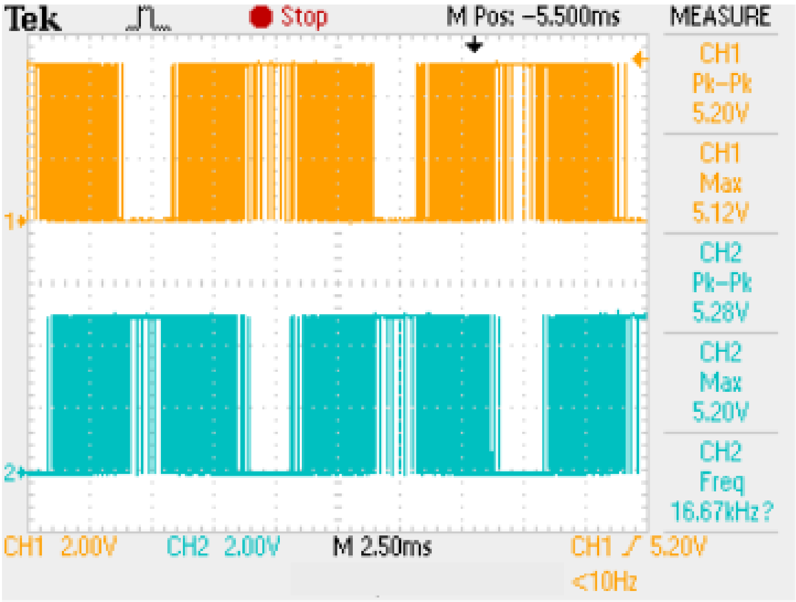
ส่วนวงจรอินเวอร์เตอร์ 1 เฟสชนิด Full Bridge จะประกอบด้วยวงจรย่อย 3 ส่วน ดังนี้

1. วงจร TLP250 ทำหน้าที่เป็นวงจรแยกส่วนสัญญาณด้วย Opto Isolator พร้อมทั้งยกระดับสัญญาณควบคุมให้สูงขึ้น เพียงพอต่อการใช้ขับเกตของ Power MOSFET ซึ่งเป็นสวิตซ์อิเล็กทรอนิกส์ในวงจรอินเวอร์เตอร์ 1 เฟสแบบวงจร Bridge ซึ่งทั้งนี้จะต้องใช้วงจร TLP250 จำนวน 4 วงจร
2. วงจร IR2110 ทำหน้าที่เป็นวงจร Gate Drive ใช้สำหรับขับเกตของ Power MOSFET ด้วยเช่นกัน โดยไอซี IR2110 จำนวน 1 ตัวสามารถใช้ขับเกตของ Power MOSFET ได้จำนวน 2 ตัว โดย Power MOSFET ทั้งสองตัวนี้จะต้องทำงานเป็น Complementary ซึ่งกันและกัน
3. วงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าแบบอินเวอร์เตอร์ 1 เฟสชนิดวงจร Full Bridge โดยใช้ Power MOSFET จำนวน 4 ตัว ทำงานสลับกันเป็นคู่แบบ Complementary

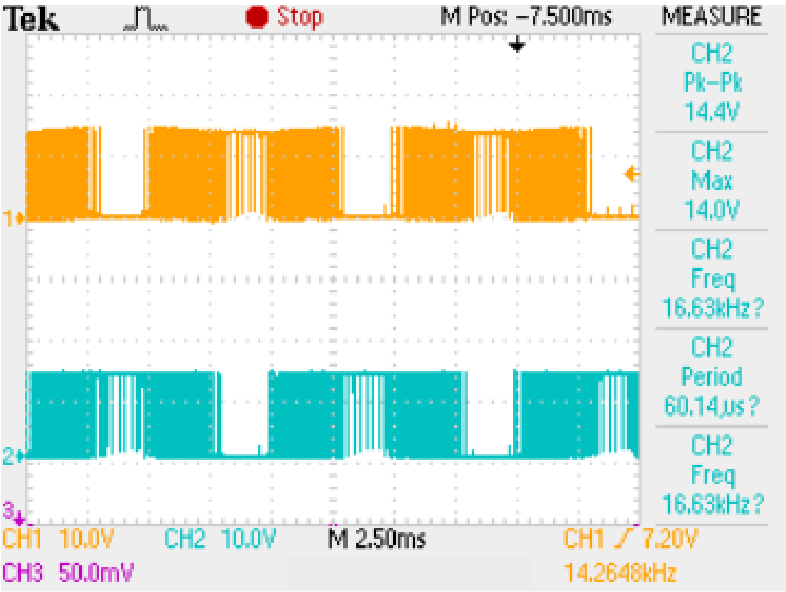
รูปคลื่นสัญญาณควบคุมและแรงดันขาออกจากการทดสอบวงจรอินเวอร์เตอร์ 1 เฟสชนิดวงจร Full Bridge แสดงดังในภาพที่ 4.10 ถึงภาพที่ 4.13 ตามลำดับ



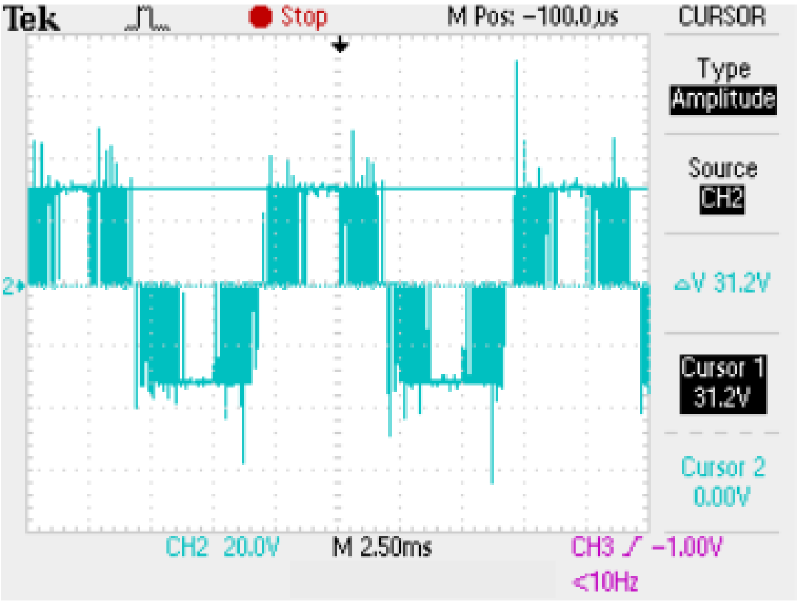

ภาพที่ 4.10 รูปคลื่นสัญญาณ SPWM ที่ขา 26 และขา 24 (PWM1L และ PWM2L) จาก dsPIC30F2010 (โดยมีขนาดสัญญาณที่ 5 V.)




ภาพที่ 4.11 รูปคลื่นสัญญาณ SPWM ที่ขา 18 และ 14 (PWM1L และ PWM2L) จากไอซี 74AC244 (โดยมีขนาดสัญญาณที่ 5 V.)




ภาพที่ 4.12 รูปคลื่นสัญญาณ SPWM ที่คู่ขา 14, 12 และ 9, 10 จากไอซี IR2110 ตัวบน (PWM1L และ PWM1Hจากไอซี 74AC244) โดยมีขนาดสัญญาณที่ 15 V.




ภาพที่ 4.13 รูปคลื่นแรงดันขาออกของอินเวอร์เตอร์ 1 เฟส โดยมีขนาดสัญญาณที่ 30 V.

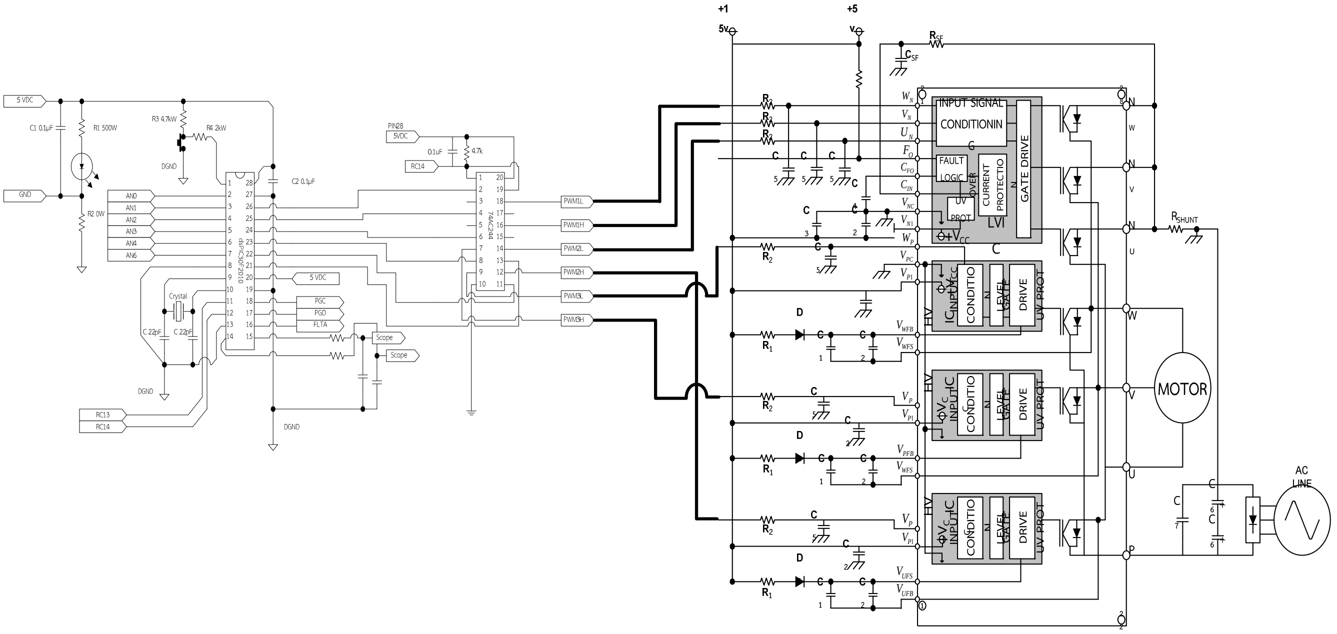
จากภาพที่ 4.10 จะเห็นว่ารูปคลื่นสัญญาณควบคุมที่ขา 26 และขา 24 ของไอซี dsPIC30F2010 (PWM1L และ PWM2L ตามลำดับซึ่งต่างเฟสกัน $180^{\circ}$) จะนำไปผ่านวงจร Buffer จากไอซี 74AC244 เป็นสัญญาณควบคุมที่สัมพันธ์กัน (ขา 18 สำหรับ PWM1L และขา 14 สำหรับ PWM2L) ดังแสดงในภาพที่ 4.11 จากนั้นผ่านวงจรแยกส่วนและขยายสัญญาณด้วยวงจร TLP250 และวงจร IR2110 เพื่อให้สัญญาณขับเกตของ Power MOSFET สูงขึ้นที่ระดับแรงดัน 15V และสลับกันทำงานแบบ

Complementary ดังแสดงในภาพที่ 4.12 ทั้งนี้เมื่อควบคุมการทำงานของสวิตซ์ในวงจรได้ถูกต้องแล้ว รูปคลื่นแรงดันขาออกของวงจรจะเป็นดังแสดงในภาพที่ 4.13

## 4.5 การทดสอบวงจรอินเวอร์เตอร์ 3 เฟสแบบ SPWM

วงจร 3 Phase SPWM Inverter ประกอบด้วยสวิตซ์อิเล็กทรอนิกส์แบบ IGBT จำนวน 6 ตัวต่อเป็น 3 กิ่งวงจรๆละ 2 ตัวต่ออนุกรมกัน ดังแสดงไว้แล้วในภาพที่ 3.14 สัญญาณที่ใช้ควบคุมอุปกรณ์ทั้ง 6 ตัวดังกล่าวจะมีลักษณะเป็นแบบ SPWM ดังแสดงไว้แล้วในภาพที่ 2.49 แต่เนื่องจากในโครงการนี้เป็นการประยุกต์ใช้ Microcontroller Board ในการสร้างสัญญาณควบคุม ทำให้ไม่สามารถให้หลักการมอดูเลตสัญญาณตามความกว้างพัลส์ด้วยหลักการแบบอนาลอก ตามที่อธิบายไว้แล้วในหัวข้อ 2.4.1 ได้โดยตรง

วงจรสำหรับทดสอบการทำงานของวงจร 3 Phase SPWM Inverter ในโครงการนี้จะใช้ dsPIC30F2010 เป็นตัวสร้างสัญญาณควบคุมตามหลักการมอดูเลตสัญญาณตามความกว้างพัลส์ ทั้งนี้โดยการรับข้อมูลการสร้างสัญญาณจากโปรแกรม “3 Phase Inverter” ผ่านโปรแกรม MPLABC30 และ CCS (Code Composer Studio) เพื่อแปลงเป็น HEX file และส่งผ่านการ์ด ICD2 มาทางพอร์ต USB ทั้งนี้วงจรทดสอบดังกล่าว แสดงดังภาพที่ 4.14



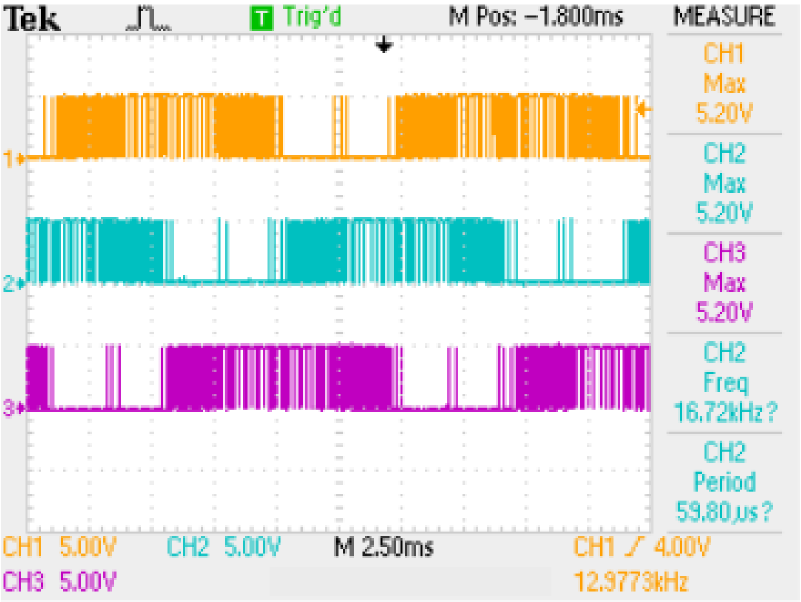

ภาพที่ 4.14 วงจรสำหรับทดสอบการทำงานของวงจรอินเวอร์เตอร์ 3 เฟส

จากภาพที่ 4.14 วงจรทดสอบประกอบด้วย 2 ส่วนหลักคือ ส่วนสร้างสัญญาณควบคุม และส่วนวงจรอินเวอร์เตอร์ 3 เฟส

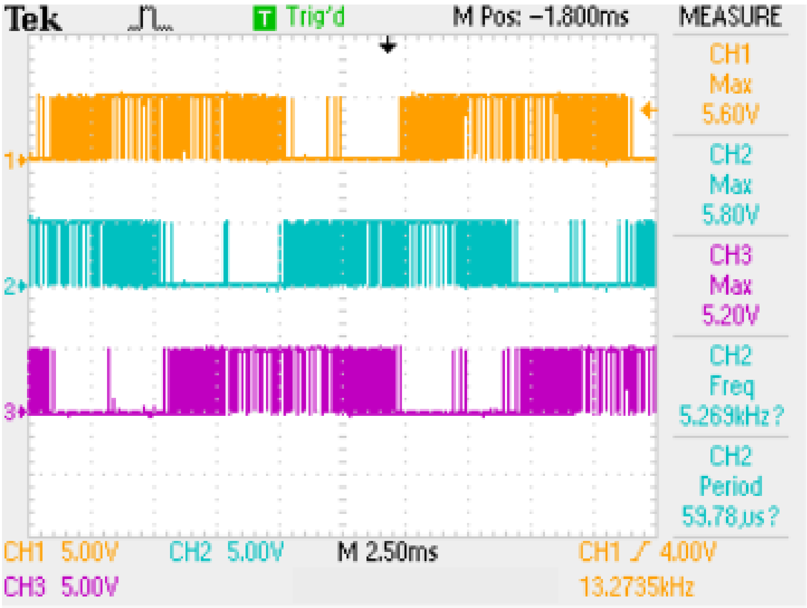
ส่วนสร้างสัญญาณควบคุม ประกอบด้วย ไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F2010 ทำหน้าที่เป็นตัวประมวลผลสัญญาณพร้อมรับ/ส่งสัญญาณควบคุมกับวงจรภายนอก และไอซี 74AC422 เป็น Buffer ที่ทำหน้าที่รับสัญญาณอินพุตจำนวน 8 ช่อง ซึ่งเมื่อพอร์ตไม่ถูกเลือกให้ทำงาน จะอยู่ในสถานะความต้านทานสูง แต่เมื่อมีสัญญาณมากระตุ้น พอร์ตจะอยู่ในสถานะความต้านทานต่ำ เพื่อเชื่อมต่อข้อมูลอินพุตเข้ากับบัสข้อมูลของระบบ

ส่วนวงจรอินเวอร์เตอร์ 3 เฟส จะเป็นชุดวงจรสวิตซ์อิเล็กทรอนิกส์กำลังสำเร็จรูปที่เรียกว่า ชุด IPM (Intelligent Power Module) รุ่น Module PS22052 ที่ประกอบด้วยสวิตซ์อิเล็กทรอนิกส์กำลังชนิด IGBT จำนวนทั้งหมด 6 ตัว พร้อมวงจรขับเกตแบบแยกส่วนสัญญาณภายในโมดูล ทั้งนี้ยังมีวงจรป้องกันการทำงานภายในอีกด้วย ดังนั้นในวงจรอินเวอร์เตอร์ 3 เฟสนี้ จึงง่ายต่อการควบคุมวงจรมากกว่าวงจรอินเวอร์เตอร์ 1 เฟสที่กล่าวมาแล้ว

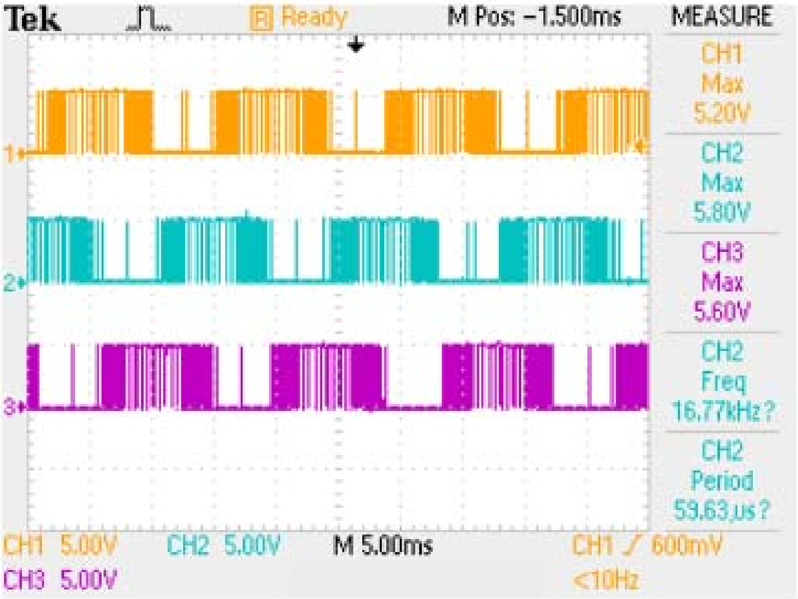
รูปคลื่นสัญญาณควบคุมและรูปคลื่นแรงดันขาออก จากการทดสอบวงจรอินเวอร์เตอร์ 3 เฟส ในโครงการ แสดงในภาพที่ 4.15 ถึงภาพที่ 4.18



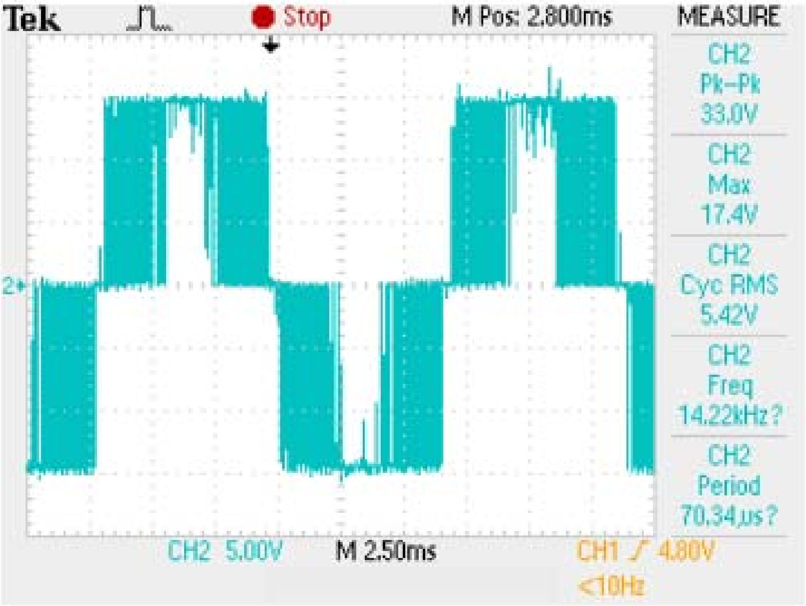

ภาพที่ 4.15 รูปคลื่นสัญญาณ SPWM ที่ขา 26, ขา 24 และขา 22 จาก dsPIC30F2010 (PWM1L, PWM2L และ PWM3L ตามลำดับ) โดยมีขนาดสัญญาณที่ 5 V.




ภาพที่ 4.16 รูปคลื่นสัญญาณ SPWM ที่ขา 18, ขา 14 และขา 9 จากไอซี 74AC244 (PWM1L, PWM2L และ PWM3L ตามลำดับ) โดยมีขนาดสัญญาณที่ 5 V.




ภาพที่ 4.17 รูปคลื่นสัญญาณ SPWM ที่ขา 21, ขา 20 และขา 19 ที่ โมดูล IPM PS22052 (PWM1L, PWM2L และ PWM3L ตามลำดับ) โดยมีขนาดสัญญาณที่ 5 V.




ภาพที่ 4.18 รูปคลื่นแรงดันไฟขาออก ($V_{UV}$) ของวงจรอินเวอร์เตอร์ 3 เฟส
(ระหว่างขา 23 กับขา 24 ของโมดูล IPM PS22052) โดยมีขนาดสัญญาณสูงสุดที่ 30 Vpp.

จากภาพที่ 4.14 และภาพที่ 4.15 จะเห็นว่ารูปคลื่นสัญญาณควบคุมแบบ SPWM ที่ขา 26, ขา 24 และขา 22 จาก ไอซี dsPIC30F2010 (PWM1L, PWM2L และ PWM3L ตามลำดับ) มีขนาดสัญญาณระดับ 5 V. ซึ่งเพื่อให้เหมาะสมต่อการใช้งานจึงนำไปผ่านวงจร Buffer ด้วยไอซี 74AC244 ซึ่งสัญญาณขาออกจากไอซีดังกล่าวจะมีรูปคลื่นสัมพันธ์กับสัญญาณขาเข้า ดังแสดงในภาพที่ 4.16 สัญญาณทั้ง 3 สัญญาณนี้จะจ่ายให้กับ PS22052 ซึ่งเป็น IPM Module ที่ขา 21, ขา 20 และขา 19 ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 4.17 (โดยไม่ต้องทำการแยกกราวนด์และยกระดับสัญญาณด้วยไอซี TLP250 และไอซี IR2110 เหมือนที่ใช้ในวงจรอินเวอร์เตอร์ชนิด 1 เฟสในหัวข้อ 4.4) ทั้งนี้เมื่อควบคุมการทำงานของสวิตซ์ในวงจรได้ถูกต้องแล้ว แรงดันไฟขาออก ($V_{UV}$) ของวงจรอินเวอร์เตอร์ 3 เฟส จะมีรูปคลื่นดังแสดงในภาพที่ 4.18

## 4.5 สรุปการทดสอบ

ผลจากการทดสอบวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าแบบต่างๆด้วยการประยุกต์ใช้บอร์ดประมวลผลสัญญาณดิจิตอลในระบบควบคุมอิเล็กทรอนิกส์กำลังในโครงการนี้ จะเห็นได้ว่าสามารถแปลงผันกำลังไฟฟ้าได้ตรงตามจุดประสงค์ที่ตั้งไว้ ทั้งนี้สามารถใช้ในการเรียนรู้หลักการควบคุมการแปลงผันได้หลายรูปแบบ และยังสามารถปรับเปลี่ยนตัวแปรต่างๆในการควบคุมระบบได้เช่นกัน โดยการปรับเปลี่ยนในโปรแกรมการสร้างสัญญาณควบคุม

อย่างไรก็ตาม ระบบควบคุมในโครงการนี้นับว่ายังไม่สมบูรณ์นัก เนื่องจากยังมีสัญญาณรบกวนในรูปคลื่นแรงดันและกระแสขาออกอยู่บ้าง และไม่สามารถปรับเปลี่ยนค่าความถี่สวิตซ์ให้ไกลกว่าที่กำหนดไว้ได้ เนื่องจากค่าอุปกรณ์ต่างๆที่ได้คำนวณและกำหนดไว้ รวมทั้งการตอบสนองความถี่ของอุปกรณ์ที่ใช้ในวงจรด้วย อีกทั้งการทดสอบวงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลังในโครงการนี้ยังกระทำที่ระดับแรงดันไม่สูงนัก ซึ่งในที่นี้จะเน้นในเรื่องความปลอดภัยของผู้ใช้งานซึ่งเป็นนักศึกษาวิศวกรรมไฟฟ้า ซึ่งถ้านำไปใช้ในงานอื่นๆ เช่นงานวิจัย งานโครงงาน หรือ อื่นๆ ก็สามารถปรับใช้ในระดับแรงดันที่สูงขึ้นได้