

การออกแบบและการประยุกต์ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล dsPIC3xF ในอินเวอร์เตอร์ 3 เฟส

The Design and Implementation of a Three-phase Inverter using dsPIC3xF

Microcontroller

นายทรงกลด ศรีปรังค์ ดร.วันชัย ทรัพย์สิงห์

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี 39 หมู่ 1 ถนนรังสิต-นครนายก ต.คลองหก อ.ธัญบุรี
ปทุมธานี 12110 เบอร์โทร: 0-2549-3429 แฟกซ์: 0-2549-3422 E-mail: songklod.sriprang@gmail.com

Songklod Sriprang^{*} Wanchai Subsingha

Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi 39 Muh 1, Rangsit-
Nakhonnayok Rd, Klong Hok, Thanyaburi Pathum Thani 12110 Tel: 0-2549-3429 Fax: 0-2549-3422

E-mail: songklod.sriprang@gmail.com

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการออกแบบและการนำไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล dsPIC30F ของบริษัท Microchip Inc. มาใช้ในการสร้างอินเวอร์เตอร์ 3 เฟส ทำให้ได้ตัวเครื่องที่มีราคาถูกและสามารถนำไปใช้กับระบบการแปลงไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานทดแทนให้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับแบบ 3 เฟสได้ ซึ่งไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำหน้าที่เป็นตัวสร้างสัญญาณ SPWM ขนาด 3 เฟสใช้เทคนิคแบบยูนิโพลาร์ มีความถี่ของแรงดันรูปคลื่นไซน์ด้านเอาต์พุตอยู่ที่ 50 Hz โดยมีการใช้งานซอฟต์แวร์ MPLAB IDE 8.10 ร่วมกับ MATLAB/Simulink Device Blocksets for dsPIC DSCs ผลการทดสอบชุดต้นแบบที่สร้างขึ้นเพื่อหาประสิทธิภาพ ผลการทดลองที่ได้สามารถนำสัญญาณ (SPWM) ที่ได้จากไมโครคอนโทรลเลอร์ไปขับ IGBT และได้สัญญาณแรงดันรูปคลื่นไซน์ทางด้านเอาต์พุตที่สามารถนำไปใช้งานได้จริง

Abstract

This paper presents the design and implementation of a microcontroller dsPIC30F family of Microchip Inc used to create 3-phase inverters, which is low cost and can be used to convert electricity from renewable sources to 3-phase AC power. The 50 Hz sinusoidal voltage waveforms are generated by the dsPIC30F microcontroller using the unipolar pulse with modulation (SPWM) technique. MPLAB IDE v8.10 and MATLAB/Simulink Device Blocksets for dsPIC DSCs is used for programming the dsPIC30F microcontroller. A test prototype is then built to validate the performance. Several tests are implemented into the IGBT drive to explore the reason for unacceptable oscillations in IGBT's gate control signals. Improvement methods in hardware layout are suggested for the final design.

1. บทนำ

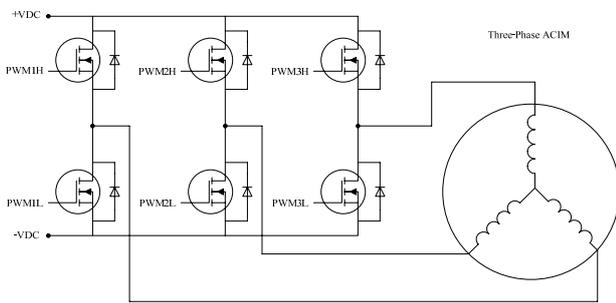
อินเวอร์เตอร์ 3 เฟสมีการนำมาใช้งานอย่างกว้างขวางทั้งในงานอุตสาหกรรมเช่น การควบคุมความเร็วของมอเตอร์เหนี่ยวนำ เป็นต้น และยังมีนำมาใช้งานในระบบแปลงผันพลังงานไฟฟ้าจากไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ ในระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนต่างๆ ในปัจจุบันมีงานวิจัยทั้งในประเทศและต่างประเทศหลายๆเรื่อง ที่นำเสนอการออกแบบและสร้างอินเวอร์เตอร์ 3 เฟส โดยใช้เครื่องมือที่แตกต่างกันยกตัวอย่างเช่น การประยุกต์ใช้ FPGA (Field Programmable Gate Array) ในการสร้างสัญญาณ PWM (Pulse With Modulation) โดยใช้เทคนิคต่างๆตามทฤษฎีการสร้างสัญญาณ PWM [1] สำหรับอินเวอร์เตอร์ 3 เฟส Sangchai, W. [2] ในงานวิจัยนี้นำเสนอการประยุกต์ใช้งาน FPGA Board ในอินเวอร์เตอร์ 3 เฟส ใช้เทคนิคการสร้างสัญญาณ PWM แบบ SVM (Space Vector Modulation), Chang Guo-xiang [3] ในงานวิจัยนี้นำเสนอการประยุกต์ใช้งาน FPGA Board ในอินเวอร์เตอร์ 3 เฟส ใช้เทคนิคการสร้างสัญญาณ PWM แบบ SPWM (Sine Pulse With Modulation) ซึ่งแตกต่างจากงานวิจัยตัวแรก, การประยุกต์ใช้ DSP (Digital Signal Processor) Vlatkovic, V. & Borojevic, D. [4] ในงานวิจัยนี้นำเสนอการประยุกต์ใช้ DSP Board ในอินเวอร์เตอร์ 3 เฟส ใช้เทคนิคการสร้างสัญญาณ PWM แบบ SVM (Space Vector Modulation), การประยุกต์ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ (MCU) Rahman, K. M. [5] ในงานวิจัยนี้นำเสนอการออกแบบอินเวอร์เตอร์ 3 เฟสโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล AT-89C52 เป็นตัวประมวลผลและพิจารณาถึงการสร้างช่วงเวลาวิฤต (Dead Time) ภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ เป็นต้น งานวิจัยที่กล่าวถึงเป็นเพียงส่วนหนึ่ง ยังมีอีกหลายงานวิจัยที่นำเสนอวิธีการออกแบบอินเวอร์เตอร์ 3 เฟส เนื่องจากมีการพัฒนาเทคโนโลยีทางด้านไมโครคอนโทรลเลอร์ (MCU)

และการประมวลผลสัญญาณดิจิทัล (DSP) ที่มีความสามารถมากขึ้นในขณะที่มีขนาดเล็ก ซึ่งแต่ละวิธีก็จะมีข้อดีและข้อเสียที่แตกต่างกัน และในงานวิจัยนี้ได้นำเสนอวิธีการออกแบบอินเวอร์เตอร์ 3 เฟส โดยการนำไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล dsPIC3XF ของบริษัท Microchip Inc. มาประยุกต์ใช้เป็นตัวประมวลผลและสร้างสัญญาณ PWM เพื่อลดต้นทุนในการสร้าง

2. หลักการและส่วนประกอบของระบบ

2.1 หลักการทำงานของอินเวอร์เตอร์ 3 เฟส

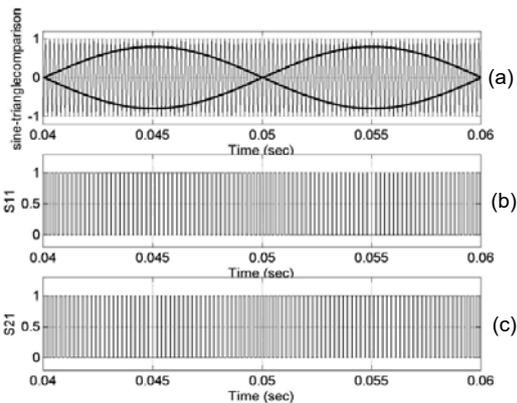
วงจรการทำงานของอินเวอร์เตอร์ 3 เฟสแสดงในรูปที่ 1 เป็นการประยุกต์ใช้งานอินเวอร์เตอร์ 3 เฟสกับมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส จากวงจรจะเห็นว่าประกอบด้วยสวิทช์อิเล็คทรอนิกส์กำลัง (MOSFET หรือ IGBT) ทั้งหมด 6 ตัว และมีจำนวนสามกึ่งหรือสามเฟส เพื่อทำหน้าที่ในการสลับเปลี่ยนการทำงานดังนั้นสัญญาณ PWM ที่สร้างขึ้นจะต้องมีจำนวน 6 สัญญาณ เพื่อใช้สำหรับควบคุมการทำงานของสวิทช์แต่ละตัว



รูปที่ 1 วงจรการทำงานของอินเวอร์เตอร์ 3 เฟส ประยุกต์ใช้งานกับมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส

2.2 เทคนิคการมอดูเลตสำหรับอินเวอร์เตอร์ 3 เฟส

โดยทั่วไปอินเวอร์เตอร์สามเฟสจะใช้เทคนิคการมอดูเลตด้วยรูปคลื่นไซน์ SPWM ข้อดีคือสามารถออกแบบให้ความถี่สวิตช์ซึ่งเกิดห่างจากความถี่หลักมูล ทำให้สะดวกในการออกแบบวงจรองความถี่ทางด้านออก รูปที่ 2 แสดงเทคนิคการมอดูเลตด้วยรูปคลื่นไซน์แบบยูนิโพล่า



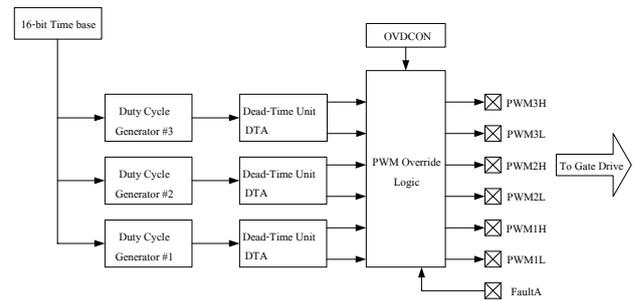
รูปที่ 2 ภาพแสดงเทคนิคการสร้างสัญญาณ SPWM แบบยูนิโพล่า (a) การนำสัญญาณรูปคลื่นไซน์และสัญญาณสามเหลี่ยมมาเปรียบเทียบกัน (b) สวิทช์ซึ่งพัลส์สำหรับ S11 (c) สวิทช์ซึ่งพัลส์สำหรับ S21

2.3 ไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F6015 [6]

ในการออกแบบระบบในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F6015 ผลิตโดยบริษัท Microchip Inc. ซึ่งเป็นไมโครคอน-

โทรลเลอร์ขนาด 16 บิต ที่รวบรวมความสามารถของไมโครคอนโทรลเลอร์ (MCU) เข้ากับการประมวลผลสัญญาณดิจิทัล (Digital Signal Processing, DSP) นอกจากจะมีประสิทธิภาพในการควบคุมอุปกรณ์ภายนอกแล้ว ยังสามารถนำมาใช้งานทางด้านการประมวลผลสัญญาณดิจิทัลได้เป็นอย่างดี การเขียนโปรแกรมการทำงานสามารถเขียนด้วยภาษาซี (MPAB IDE& MPLAB C30) และได้มีการพัฒนาการเขียนโปรแกรมโดยใช้ MPLAB IDE ร่วมกับ MATLAB/Simulink Device Blocksets for dsPIC DSCs ทำให้การพัฒนาโปรแกรมทำได้สะดวกและง่ายขึ้น

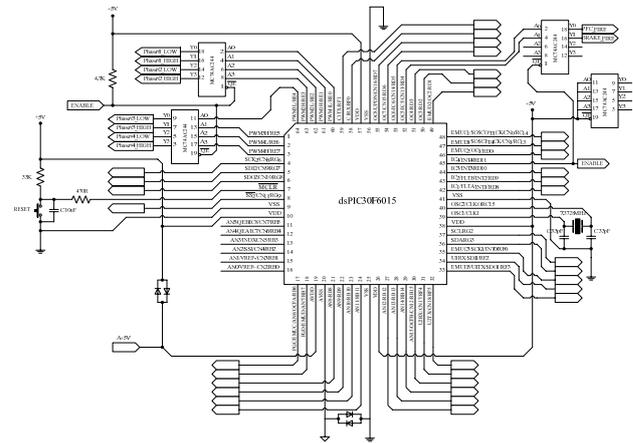
ภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F6015 มีโมดูล MCPWM ที่ใช้สำหรับการสร้างสัญญาณ PWM ดังรูปที่ 3 สามารถทำงานได้ทั้งในโหมดเอาต์พุตพร้อมกัน และโหมดเอาต์พุตแยกอิสระ (Complementary or Independent Output modes) และยังสามารถกำหนดช่วงเวลาวิกฤต (Dead Time) ของสัญญาณเอาต์พุตได้ภายในโมดูล



รูปที่ 3 แสดงไดอะแกรมภายในโมดูล MCPWM

2.4 วงจรการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F6015

ไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F6015 เป็นไอซีขนาด 64 ขา ดังรูปที่ 4 มีจำนวนขาใช้งาน (I/O Pins) ทั้งหมด 54 ขา ขาเอาต์พุตสำหรับโมดูล MCPWM ทั้งหมด 8 ขา



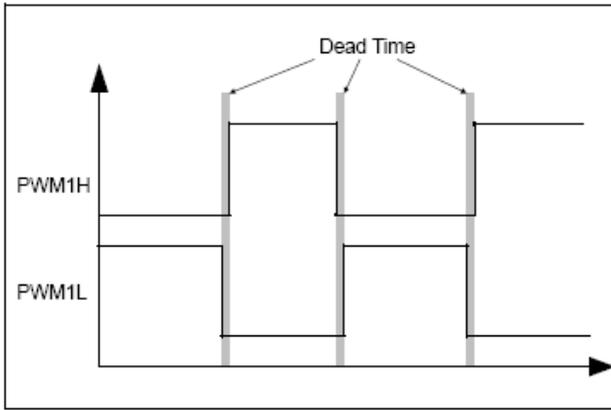
รูปที่ 4 แสดงวงจรการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F6015

2.5 ขั้นตอนการกำหนดการทำงานของโมดูล MCPWM (Initializing the MCPWM Module)

การใช้งานโมดูล MCPWM ของไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F6015 มีขั้นตอนการกำหนดดังนี้

2.5.1 กำหนดการทำงานของโมดูลในโหมดเอาต์พุตพร้อมกัน (Complementary Output Mode)

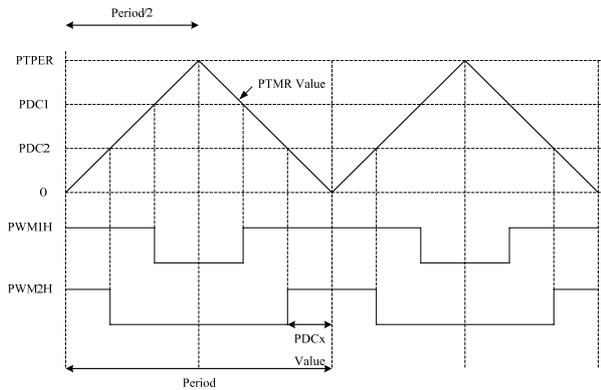
การทำงานในโหมดเอาต์พุตพร้อมกันสำหรับกำเนิดสัญญาณ PWM สามารถกำหนดช่วงเวลาวิกฤตระหว่างขาสัญญาณ PWMxH และ PWMxL ได้ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 แสดงสัญญาณเอาต์พุตในโหมดการทำงานแบบเอาต์พุตพร้อมกันและมีการกำหนดช่วงเวลาวิกฤต

2.5.2 กำหนดฐานเวลาการทำงานของโมดูลในโหมดการปรับสัญญาณกึ่งกลาง (Center-Aligned Mode)

การทำงานในโหมดการปรับสัญญาณกึ่งกลางหรือโหมดการนับขึ้นลงต่อเนื่อง (Continuous Up/Down Count Mode) คือการกำหนดที่เกี่ยวข้องกับสัญญาณสามเหลี่ยม (Triangle Signal) สัญญาณสามเหลี่ยมจะเกิดขึ้นดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 แสดงการทำงานของสัญญาณสามเหลี่ยม (triangle Signal) และสัญญาณเอาต์พุตที่ได้

2.5.3 กำหนดความถี่ของสัญญาณ PWM

การกำหนดสัญญาณ PWM นั้นมีสมการในการกำหนดดังสมการที่ (1) โดยที่ $PTPER$ คือรีจิสเตอร์สำหรับเก็บความถี่ที่คำนวณได้

$$PTPER = \left(\frac{F_{CY}}{F_{PWM}} - 1 \right) \div 2 \quad (1)$$

เมื่อ

F_{CY} คือ ค่าความถี่ที่ไม่โครคอนโทรลเลอร์ใช้

F_{PWM} คือ ค่าความถี่ของสัญญาณ PWM ที่ต้องการ

การกำหนดค่าความถี่ของสัญญาณ PWM ที่เหมาะสมควรจะคำนึงถึงการเกิดฮาร์โมนิกส์ ซึ่งสามารถกำหนดการเกิดฮาร์โมนิกส์ได้โดยการกำหนดความถี่ของสัญญาณ PWM หลีกเลี่ยงการเกิดสัญญาณ

รบกวน (Avoid PWM audible noise) ดังนั้นค่าความถี่ที่เหมาะสมควรอยู่ในช่วงตั้งแต่ 15 KHz [7]

2.6 การสร้างสัญญาณพัลส์สวิตมอดูเลชันรูปคลื่นไซน์ (SPWM) โดยใช้ Look-up Table สำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F6015

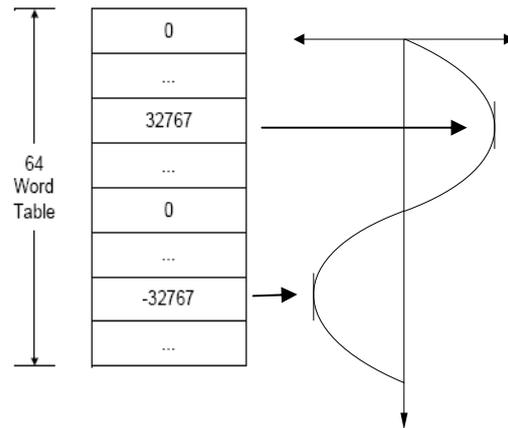
การสร้างสัญญาณพัลส์สวิตมอดูเลชันรูปคลื่นไซน์โดยวิธีการใช้ Look-up Table คือการสร้างตารางเพื่อเก็บค่าของตัวเลขที่ต้องการสร้างรูปคลื่นไซน์ สำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F6015 นั้นมีการประมวลผลขนาด 16 บิต ดังนั้นการสร้าง Look-up Table จะมีค่าสูงสุดของตัวเลขอยู่ที่ $2^{16} = (65536)_{10}$ ทำการแบ่งเป็นค่าบวกและค่าลบจะได้ -32767 ถึง +32767 และทำการคำนวณค่าในตารางโดยใช้สมการที่ (2)

$$x = 32767 \sin \theta \quad (2)$$

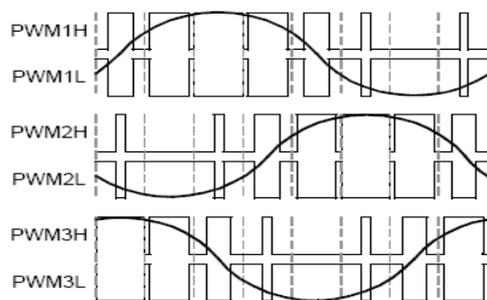
จำนวนของตัวเลขในตารางกำหนดไว้ที่ 64 ค่า [4] ดังนั้นจะสามารถหาตัวเลขทั้งหมดได้โดยเริ่มจากการหาค่ามุม θ จากสมการที่ (3)

$$\theta = 360/64 = 5.625 \quad (3)$$

แสดงว่ามุมจะเพิ่มขึ้นครั้งละ 5.625° ดังจะยกตัวอย่างการคำนวณเช่นมุม 0° จะได้ $x = 32767 \sin 0^\circ = 0$ และมอดูเลชันไปคือ 5.625° จะได้ $x = 32767 \sin 5.265^\circ = 3211.7276 \approx 3212$ เป็นต้น



รูปที่ 7 แสดง Look-up Table ที่สร้างขึ้นเพื่อใช้สำหรับการสร้างสัญญาณพัลส์สวิตมอดูเลชันรูปคลื่นไซน์ (SPWM)



รูปที่ 8 แสดงรูปคลื่นพัลส์สวิตมอดูเลชันรูปคลื่นไซน์ 3 เฟส

จากรูปที่ 8 แสดงรูปคลื่นที่ใช้สำหรับอินเวอร์เตอร์แบบ 3 เฟส สังเกตว่าสัญญาณที่ต้องการจะเป็นแบบ 3 เฟสแต่ละเฟสจะห่างกัน 120° ทางไฟฟ้า ดังนั้นสัญญาณที่สร้างขึ้นจะต้องมีระยะห่างเท่ากับระยะห่างของ

เฟส วิธีการก็คือเริ่มจากการคำนวณค่าการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณ (Δ_{phase}) โดยใช้สมการที่ (4)

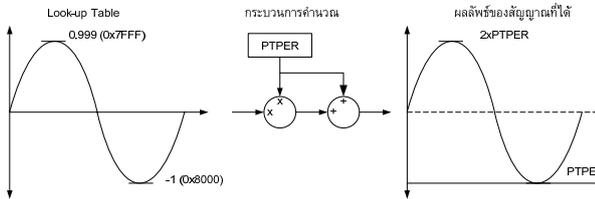
$$\Delta_{\text{phase}} = 2^{16} \times \frac{\text{Desired_Frequency(Hz)}}{F_{\text{PWM}}} \quad (4)$$

เมื่อ

Desired_Frequency คือ ค่าความถี่ของสัญญาณ SPWM ที่ต้องการ 50 Hz

จากนั้นก็ทำการกำหนดตัวแปรสำหรับเก็บค่าระยะห่างของแต่ละเฟส (Phase offset) การกำหนดช่วงระยะห่างทำได้โดยใช้วิธีการคำนวณดังนี้คือ $2^{16} = (65536)_{10}$ หรือเท่ากับ $(0xFFFF)_{16}$ ระยะห่างของแต่ละเฟสก็จะเท่ากับ $((65536)_{10}/3) = (21845)_{10}$ หรือเท่ากับ $(0x5555)_{16}$ ดังนั้นเฟส b จะเท่ากับ $(0x5555)_{16}$ และเฟส c เท่ากับ $(0xAAAA)_{16}$

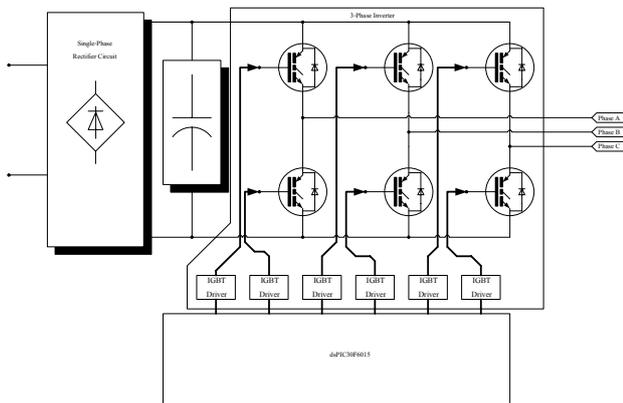
สุดท้ายเมื่อทราบค่าต่างๆแล้วก็นำไปเขียนโปรแกรมโดยใช้โปรแกรม MPLAB IDE 8.36 และมีการใช้คำสั่งการประมวลผลดิจิทัลเข้ามาช่วยโดยแสดงไดอะแกรมดังรูปที่ 7



รูปที่ 9 แสดงไดอะแกรมของขั้นตอนและกระบวนการคำนวณเพื่อสร้างสัญญาณ SPWM ภายในไมโครคอนโทรลเลอร์

2.7 การออกแบบวงจรการทำงานของอินเวอร์เตอร์ 3 เฟส

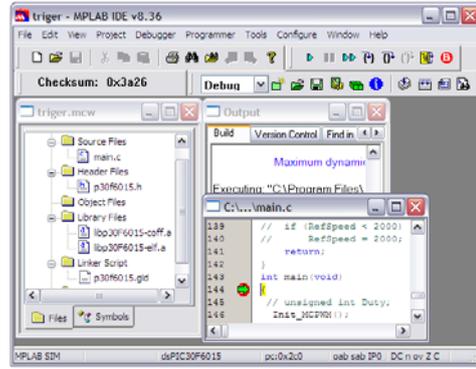
ไดอะแกรมของวงจรการทำงานทั้งระบบของอินเวอร์เตอร์ในงานวิจัยนี้แสดงรูปที่ 10



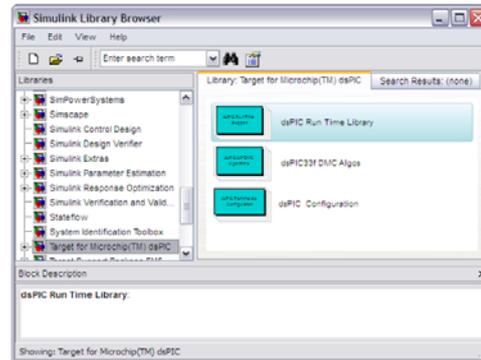
รูปที่ 10 แสดงบล็อกไดอะแกรมวงจรการทำงาน

2.8 โปรแกรมที่ใช้งาน [8, 9]

ในงานวิจัยนี้ใช้โปรแกรม MPLAB IDE v8.36 รูปที่ 11 ร่วมกับ MATLAB/Simulink Device Blocksets for dsPIC DSCs รูปที่ 12 ในการพัฒนาโปรแกรม



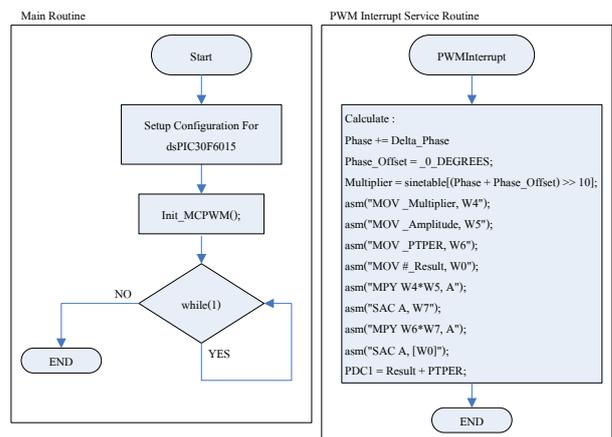
รูปที่ 11 แสดงหน้าต่างของโปรแกรม MPLAB IDE 8.36 สำหรับใช้ในการเขียนโปรแกรม



รูปที่ 12 แสดงหน้าต่างของโปรแกรม MATLAB/Simulink Device Blocksets for dsPIC DSCs สำหรับใช้ในการเขียนโปรแกรม

2.9 ผังงานการทำงานของโปรแกรม

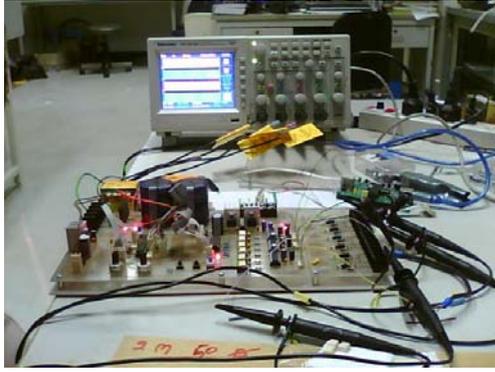
ผังการทำงานของโปรแกรมที่ใช้งานดังรูปที่ 13 แบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนของฟังก์ชันหลัก และฟังก์ชันตอบสนองการเกิดอินเตอร์รัปต์ของโมดูล MCPWM



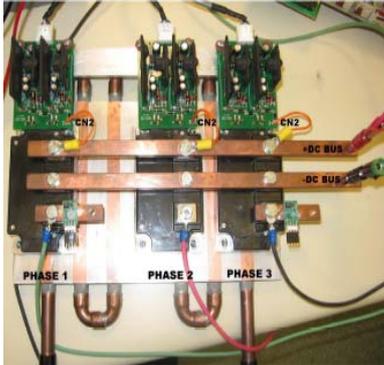
รูปที่ 13 แสดงผังการทำงานของโปรแกรมที่ใช้สำหรับการทดลอง

3 ผลการทดลอง

ชุดต้นแบบที่ใช้ในการทดลองแสดงดังรูปที่ 14 ประกอบด้วย ชุดวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F6015 และชุดวงจรอินเวอร์เตอร์ 3 เฟส



14.a)

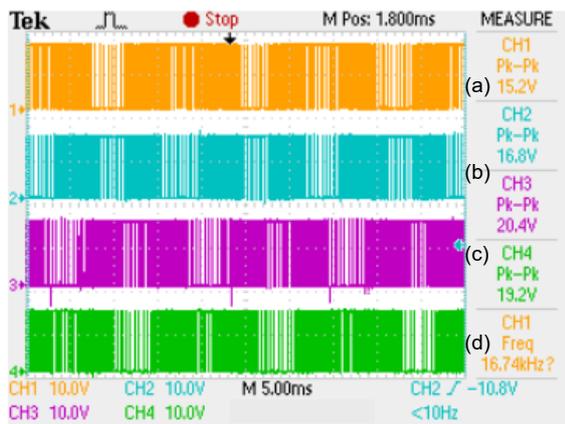


14.b)

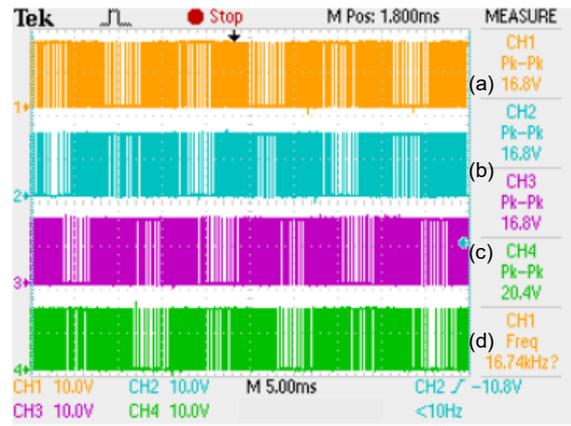
รูปที่ 14 แสดงภาพชุดต้นแบบที่สำหรับการทดลอง
 14.a) ชุดไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F6015
 14.b) วงจรอินเวอร์เตอร์ และวงจรขับเคลื่อน

3.1 ทำการวัดสัญญาณที่ตำแหน่งต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

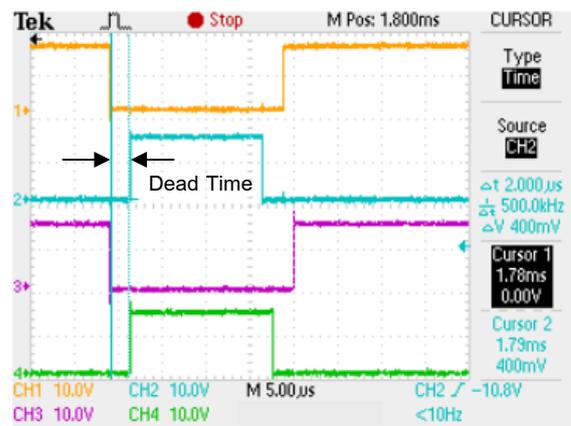
3.1.1 สัญญาณ PWM1L, PWM1H, PWM2L, PWM2H, PWM3L, PWM3H ของไมโครคอนโทรลเลอร์ dsPIC30F6015 ที่ผ่านวงจรขับเคลื่อน แล้วแสดงดังรูปที่ 15 และรูปที่ 16



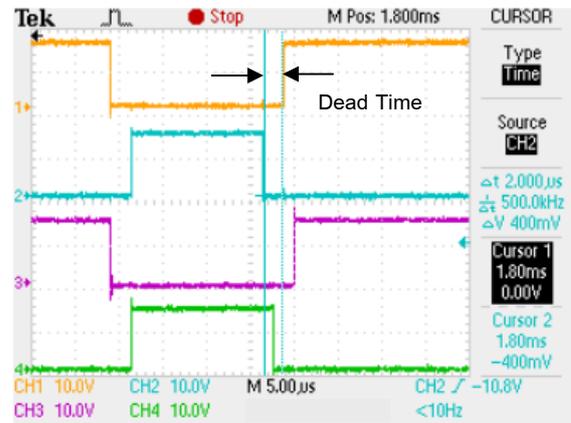
รูปที่ 15 แสดงภาพสัญญาณ SPWM (a) สัญญาณที่ขา PWM1L (b) สัญญาณที่ขา PWM1H (c) สัญญาณที่ขา PWM2L (d) สัญญาณที่ขา PWM2H



รูปที่ 16 แสดงภาพสัญญาณ SPWM (a) สัญญาณที่ขา PWM2L (b) สัญญาณที่ขา PWM2H (c) สัญญาณที่ขา PWM3L (d) สัญญาณที่ขา PWM3H



17.a)



17.b)

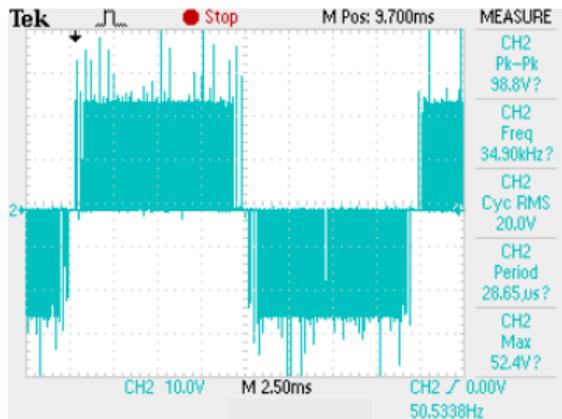
รูปที่ 17 แสดงช่วงเวลาวิกฤตระหว่างสัญญาณ PWMxL และPWMxH

17.a) การเกิดช่วงเวลาวิกฤต 2 ไมโครวินาที ด้านหน้าระหว่างสัญญาณ PWMxL และPWMxH

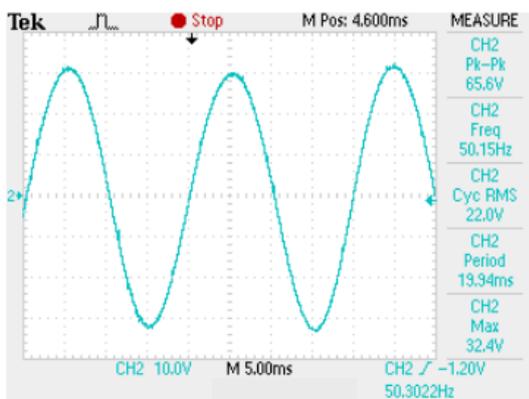
17.b) การเกิดช่วงเวลาวิกฤต 2 ไมโครวินาที ด้านหลังระหว่างสัญญาณ PWMxL และPWMxH

3.1.2 สัญญาณเอาต์พุตจากวงจรอินเวอร์เตอร์ 3 เฟส

ในการทดลองนี้ทำการจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 24 โวลต์ จากแบตเตอรี่ เพื่อทำการวัดสัญญาณเอาต์พุตของวงจรอินเวอร์เตอร์ 3 เฟส



18.a)



18.b)

รูปที่ 18 แสดงรูปสัญญาณเอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์

18.a) แสดงรูปคลื่นพัลส์วิตมอดูเลชันรูปคลื่นไซน์ (SPWM) ของวงจรอินเวอร์เตอร์

18.b) แสดงรูปคลื่นไซน์ (Sine Wave) ความถี่ 50 เฮิรตซ์ที่ผ่านวงจรกรองสัญญาณ

4. สรุปผลการทดลอง

บทความนี้นำเสนอการออกแบบและการประยุกต์ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล dsPIC3xF ในอินเวอร์เตอร์ 3 เฟส ผลที่ได้จากการทดลองพบว่าไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล dsPIC3xF สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการสร้างสัญญาณ PWM ในอินเวอร์เตอร์ 3 เฟสได้จริงสามารถนำไปใช้งานกับระบบแปลงผันพลังงานไฟฟ้า สำหรับระบบการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนได้ และสามารถใช้ในการควบคุมความเร็วของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟสได้ โดยการออกแบบวงจรเพิ่มเติม ช่วยลดต้นทุนในการผลิตอินเวอร์เตอร์ เนื่องจากไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล dsPIC3xF นั้นมีราคาถูกเมื่อเทียบกับไมโครคอนโทรลเลอร์ และ DSP Board ตระกูลอื่น ที่มีการนำประยุกต์ใช้งานทางด้านระบบแปลงผันพลังงานไฟฟ้า และยังมีซอฟต์แวร์ที่ใช้งานง่ายเหมาะกับการศึกษาและพัฒนา

แนวทางในการพัฒนาสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในระบบการควบคุมความเร็วของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟสได้ เนื่องจากอินเวอร์เตอร์

สามเฟสที่ออกแบบสามารถปรับขนาดของแรงดันและความถี่ได้ อีกทั้งไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล dsPIC3xF ยังมีโมดูลและคุณสมบัติอื่นๆที่น่าสนใจอีกมากมาย

เอกสารอ้างอิง

- Holtz, J. (1992) Pulsewidth modulation-a survey. Industrial Electronics, IEEE Transactions on, 39(5), 410-420.
- Sangchai, W., Wiangtong, T., Hongyapanun, A. & Wardkuan, P. (2000) Design and implementation of fpga-based control ic for 3-phase pwm inverter with optimized svm schemes. Circuits and Systems, 2000. IEEE APCCAS 2000. The 2000 IEEE Asia-Pacific Conference on.
- Chang, G.-X., Wang, C.-Y., Guo, D.-L., Xia, J.-K. & Liu, X.-L. (2006) Design of an fpga-based 3-phase sinusoidal pwm controller. Control Conference, 2006. CCC 2006. Chinese.
- Vlatkovic, V. & Borojevic, D. (1994) Digital-signal-processor-based control of three-phase space vector modulated converters. Industrial Electronics, IEEE Transactions on, 41(3), 326-332.
- Rahman, K. M. & Choudhury, M. A. (2006) Dead-time compensated pulsewidth modulator for a 3-phase vsi implemented with an at89c52 microcontroller. Electrical and Computer Engineering, 2006. ICECE '06. International Conference on.
- <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/93004A.pdf>
- <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/70150D.pdf>
- http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/MPLAB_User_Guide_51519c.pdf
- http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/MATLAB_Device_Blocks_DS-51771C.pdf
- Hew, W. P., Ooi, C. P. & Rahim, N. A. (2005) Realization of space vector modulation technique in a single fpga chip for induction motor drive. Electron Devices and Solid-State Circuits, 2005 IEEE Conference on.
- http://www.ee.mut.ac.th/FPGA/HomeFile/uCon_FPGA.pdf
- <http://cpe.rsu.ac.th/ut/courses/T1-51/cpe489/portfolio/491191/work/Report.pdf>
- Poure, P., Aubepart, F. & Braun, F. (2000) A design methodology for hardware prototyping of integrated ac drive control: Application to direct torque control of an induction machine. Rapid System Prototyping, 2000. RSP 2000. Proceedings. 11th International Workshop on.
- Vadivel, S., Bhuvanewari, G. & Rao, G. S. (1991) A unified approach to the real-time implementation of microprocessor-based pwm waveforms. Power Electronics, IEEE Transactions on, 6(4), 565-575.