



# การขับเคลื่อนมอเตอร์เหนี่ยวนำสองเฟสด้วยวงจรเมทริกซ์คอนเวอร์เตอร์ สองเฟสด้วยสัญญาณพัลส์บิลิแอมแบบไซน์

สถาพร เสือเทศ<sup>1</sup> และ ประสพโชค โห้ทองคำ<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup> สาขาวิชาวิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

<sup>2</sup> สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

\* ผู้ประสานงานเผยแพร่ (Corresponding Author), E-mail: prasopchok.hot@rmutr.ac.th

วันที่รับบทความ: 9 ตุลาคม 2568; วันที่ทบทวนบทความ: 1 พฤษภาคม 2569; วันที่ตอบรับบทความ: 8 กรกฎาคม 2569

วันที่เผยแพร่ออนไลน์: 20 สิงหาคม 2569

**บทคัดย่อ:** บทความนี้นำเสนอระบบการขับเคลื่อนมอเตอร์เหนี่ยวนำสองเฟสด้วยวงจรเมทริกซ์คอนเวอร์เตอร์สองเฟสด้วยสวิตช์สองทิศทางจำนวนทั้งหมด 8 ชุด แต่ละชุดประกอบด้วยอุปกรณ์ ไอจีบีที 2 ตัวและไดโอดกำลัง 2 ตัว เพื่อแปลงผันไฟฟ้ากระแสสลับหนึ่งเฟสที่ค่าความถี่และขนาดคงที่ไปเป็นไฟฟ้ากระแสสลับสองเฟสทำมุมกัน 90 องศา สามารถปรับความถี่เอาต์พุตได้ที่ 12.5 เฮิร์ตซ์, 25 เฮิร์ตซ์ และ 50 เฮิร์ตซ์ รวมทั้งปรับขนาดแรงดันไฟฟ้าด้วยการปรับอัตราการมอดูเลตที่ค่าเท่ากับ 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 และ 1.0 ของสัญญาณพัลส์บิลิแอมแบบไซน์ (SPWM) ผลการทดสอบด้วยการจำลองด้วยโปรแกรม MATLAB/Simulink และทดสอบในห้องปฏิบัติการกับมอเตอร์เหนี่ยวนำไฟฟ้าสองเฟสพิกัด 1HP ผลการทดลองแสดงรูปคลื่นแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าทางดำนอินพุตและเอาต์พุตที่มีการปรับความถี่เอาต์พุต นอกจากนั้นทำการทดสอบการปรับความเร็วรอบของมอเตอร์เหนี่ยวนำไฟฟ้าสองเฟสในสภาวะไร้อโหลด พบว่าค่าความเร็วรอบของมอเตอร์มีค่าเพิ่มขึ้นตามค่าความถี่ที่เพิ่มขึ้นด้วยสัญญาณพัลส์บิลิแอมที่มีค่าอัตราการมอดูเลตเท่ากับ 0.8 เพื่อพิสูจน์สมมุติฐานในการใช้งานของวงจรคอนเวอร์เตอร์นี้ ในการควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ได้ ผลการทดสอบระบบมีสมรรถนะที่ดีและสามารถใช้งานได้อย่างเป็นที่น่าสนใจ ซึ่งเป็นข้อมูลในการพัฒนาและปรับปรุงงานวิจัย เพื่อให้มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นในงานวิจัยลำดับต่อไป

**คำสำคัญ:** เอชทูเอชคอนเวอร์เตอร์; เมทริกซ์คอนเวอร์เตอร์สองเฟส; มอเตอร์เหนี่ยวนำสองเฟส

## Two-phase Induction Motor Drive with Two-phase Matrix Converter with Sinusoidal PWM

Sataporn Suathed<sup>1</sup> Prasopchok Hothongkham<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup> Department of Mechatronic Engineering, Faculty of Engineering, Rajmangala University of Technology Rattanakosin

<sup>2</sup> Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Rajmangala University of Technology Rattanakosin

\* Corresponding author, E-mail: prasopchok.hot@rmutr.ac.th

Received: 9 October 2025; Revised: 1 May 2026; Accepted: 8 July 2026

Online Published: 20 August 2026

**Abstract:** This paper presents a two-phase induction motor drive system with a two-phase matrix converter. The proposed topology employs a total of eight bidirectional switches, each switch using a 2 IGBT–2 diode configuration. The converter is transformation a fixed frequency and amplitude single-phase AC supply into a variable frequency and amplitude two-phase AC output with a 90° phase difference, operating at variable frequencies of 12.5 Hz, 25 Hz, and 50 Hz, as well as adjustable modulation indices of 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, and 1.0, utilizing sinusoidal pulse width modulation (SPWM). The system was modeled and verified through MATLAB/Simulink simulations, after which a laboratory prototype was developed and tested with a two-phase induction motor rated at 1HP. The measured waveforms of the input and output for voltage and current are shown for the testing. Moreover, the testing of motor speed can be examined under no-load conditions that it increasing with the frequency of the SPWM at modulation index of 0.8 for verification this converter performance. These results verify the good performance of the proposed converter and provide a foundation for future improvements in efficiency through the development for the high performance in the future works.

**Keywords:** AC to AC Converter; Two-Phase Matrix Converter; Two-Phase Induction Motor



## 1. บทนำ

การขับเคลื่อนมอเตอร์เหนี่ยวนำสองเฟสที่มีการวิจัยกันในปัจจุบันเป็นการใช้วงจรอินเวอร์เตอร์ที่มีการแปลงผันพลังงานไฟฟ้าสองขั้นตอน คือ จากการแปลงไฟฟ้ากระแสสลับไปเป็นไฟฟ้ากระแสตรงและจากไฟฟ้ากระแสตรงไปเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ (AC-DC-AC Converter) โดยต้องมีวงจรเชื่อมโยงไฟฟ้ากระแสตรง (DC Link) ซึ่งทำให้ทำให้เกิดการสูญเสียพลังงานไฟฟ้าบางส่วนในกระบวนการนี้ ซึ่งงานวิจัยมีการดำเนินการวิจัยหลายแนวทางที่เกี่ยวข้อง เช่น การเปรียบเทียบสมรรถนะของการควบคุมมอเตอร์เหนี่ยวนำ 2 เฟส 3 รูปแบบ ได้แก่ แบบแรก คือ แหล่งจ่ายเป็นสัญญาณไซน์จากการไฟฟ้า แบบที่สอง คือ ใช้วงจรอินเวอร์เตอร์แบบครึ่งบริดจ์ที่นำเสนอในงานวิจัย [1] โดยมีการควบคุมแบบ V/f ทำการขับเคลื่อนมอเตอร์เหนี่ยวนำ 2 เฟส และแบบที่สาม คือ ควบคุมให้กระแสขดลวดช่วยคงที่ ขณะที่กระแสขดลวดหลักปรับตามโหลดในงานวิจัย [2] นำเสนอการใช้วงจรอินเวอร์เตอร์ 2 เฟส โดยใช้สัญญาณพัลส์บลิเอ็มแบบ SVPWM ในการขับนำสวิตช์เพื่อลดค่ารีปเปิลของกระแสเอาต์พุตในการควบคุมมอเตอร์เหนี่ยวนำ 2 เฟส ในงานวิจัย [3] นำเสนอทฤษฎีต่างๆ มาประยุกต์ใช้วงจรอินเวอร์เตอร์ 2 เฟส และ 3 เฟส ในการขับเคลื่อนมอเตอร์เหนี่ยวนำในงานวิจัย [4] นำเสนอหลักการของเทคนิคพีดับบลิเอ็มแบบใหม่ที่ใช้กับ Space Vector Modulation PWM (SVPWM) เพื่อใช้ขับสวิตช์ในวงจรอินเวอร์เตอร์แบบ 3 เฟส ทำให้ค่าแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตสามารถควบคุมด้วยการปรับค่ามอดูเลชัน โดยหลักการนี้ใช้ในกรณีแรงดันเอาต์พุตแบบไม่สมมาตร ในงานวิจัย [5] นำเสนอการควบคุมมอเตอร์เหนี่ยวนำ 2 เฟส แบบ

ไม่สมมาตร ด้วยวงจรอินเวอร์เตอร์แบบ 4 กิ่ง โดยมีทั้งการจำลองและทำการทดลองจริง โดยใช้การควบคุมแบบเปิดและการควบคุมอัตราส่วนแรงดันไฟฟ้าและความถี่ (V/F) ในงานวิจัย [6] นำเสนอการใช้ SVPWM ในการควบคุมการทำงานของวงจรอินเวอร์เตอร์แบบ 4 กิ่ง เพื่อขับมอเตอร์เหนี่ยวนำ 2 เฟส แบบไม่สมมาตร โดยใช้การควบคุมแบบ V/F แบบลูเปิด ซึ่งเทคนิคนี้สามารถลดค่าความสูญเสียในการสวิตช์ได้ ในงานวิจัย [7] นำเสนอหลักการของสัญญาณพีดับบลิเอ็มแบบคลื่นพาหะไม่สมมาตรสำหรับวงจรอินเวอร์เตอร์แบบ 4 กิ่ง ในการขับเคลื่อนมอเตอร์เหนี่ยวนำ 2 เฟส แบบไม่สมมาตร โดยใช้การควบคุมแบบลูเปิดและแบบ V/F ในงานวิจัย [8] มีการนำเสนอหลักการควบคุมของวงจรเมทริกซ์คอนเวอร์เตอร์สองเฟสที่มีการทำงานสองขั้นตอนโดยใช้ FPGA ควบคุมการทำงานเพื่อทดสอบกับโหลดแบบ RL และมอเตอร์ไฟฟ้า และระบบทั้งหมดยังคงต้องมีการแปลงผันพลังงานไฟฟ้าสองขั้นตอนอยู่ในงานวิจัย [9,10] มีการนำเสนอเทคนิคการมอดูเลตแบบใหม่เพื่อสร้างแรงดันเอาต์พุตสองเฟสแบบสมมาตรจากแรงดันอินพุตที่ไม่สมมาตร แม้ต้องใช้สวิตช์ที่ศทางเดียวจำนวนมาก แต่ผลลัพธ์ที่ได้ออกมาจากการจำลองการทำงานให้แรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตสองเฟสมีความสมมาตรที่ดี ในงานวิจัย [11] นำเสนอการวิเคราะห์สมรรถนะของการขับเคลื่อนของมอเตอร์เหนี่ยวนำสองเฟสที่สามารถนำมาใช้งานด้วยการขับเคลื่อนด้วยวงจรอินเวอร์เตอร์ได้เป็นอย่างดีและพิจารณาคูณลักษณะของมอเตอร์เหนี่ยวนำสองเฟสในเชิงคุณลักษณะของมอเตอร์เหนี่ยวนำหนึ่งเฟสมาใช้ในการวิเคราะห์สมรรถนะของมอเตอร์ในงานวิจัย [12] นำเสนอการขับเคลื่อนมอเตอร์เหนี่ยวนำสองเฟสแบบไม่สมมาตร



ที่ใช้วงจร AC-DC-AC Converter ในการขับเคลื่อนที่ใช้หลักการสัญญาณพีดับบลิวเอ็มแบบ USVPWM-DTC ที่นำมาใช้ในการควบคุมทอร์คของมอเตอร์ให้มีสมรรถนะที่ดีขึ้น เพื่อเป็นการลด Current Loop Control ลงและเพิ่มผลการตอบสนองที่ดีขึ้นของความเร็วรอบของมอเตอร์ งานวิจัยดังกล่าวที่ผ่านมาใช้วงจร AC-DC-AC Converter ในการแปลงผันพลังงานไฟฟ้าแบบสองขั้นตอน ซึ่งทำให้การไหลของกำลังไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายไฟฟ้าไปยังโหลดและจากโหลดกลับสู่แหล่งจ่ายไฟฟ้าต้องผ่านชุดวงจรเชื่อมโยงดีซี (DC-Link) ที่ใช้อุปกรณ์แบบพาสซีฟ (ตัวเก็บประจุและตัวเหนี่ยวนำ) ในการเชื่อมโยงในการแปลงผันกำลังไฟฟ้าเป็นการลดทอนประสิทธิภาพโดยรวมและสูญเสียพลังงานไฟฟ้าไปในส่วนนี้ ดังนั้นงานวิจัยนี้ได้ทำการนำเสนอระบบการขับเคลื่อนมอเตอร์เหนี่ยวนำไฟฟ้าสองเฟสด้วยวงจรเมทริกซ์คอนเวอร์เตอร์สองเฟสที่มีการแปลงผันกำลังไฟฟ้าเพียงขั้นตอนเดียวหรือการแปลงผันไฟฟ้ากระแสสลับโดยตรง (Direct AC Conversion) เพื่อลดปัญหาดังกล่าวของระบบการแปลงผันพลังงานไฟฟ้าที่ทำการวิจัยพัฒนาอยู่ ในการแปลงผันพลังงานไฟฟ้าแบบโดยตรงนั้น วงจรคอนเวอร์เตอร์ประกอบด้วยสวิตช์แบบสองทิศทางมาใช้ในวงจรเพียงอย่างเดียวจำนวน 8 ชุด ซึ่งควบคุมด้วยสัญญาณพีดับบลิวเอ็มแบบ SPWM ที่สามารถปรับอัตราการมอดูเลตและความถี่ได้ วงจรคอนเวอร์เตอร์นี้จะทำการจ่ายแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าให้กับมอเตอร์ไฟฟ้าสองเฟส เพื่อทำการควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์เหนี่ยวนำสองเฟส ซึ่งมีการจำลองและการทดสอบกับมอเตอร์เหนี่ยวนำไฟฟ้า

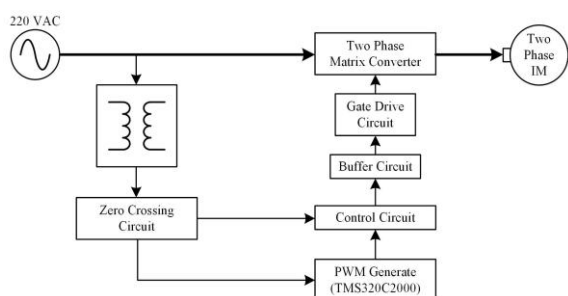
สองเฟส เพื่อเป็นการนำเสนอหลักการทำงานของระบบในเบื้องต้นเพื่อจะได้ทำให้เกิดการพัฒนางานวิจัยให้มีสมรรถนะและมีคุณภาพที่ดีขึ้นต่อไปในอนาคต

## 2. วงจรเมทริกซ์คอนเวอร์เตอร์สองเฟส

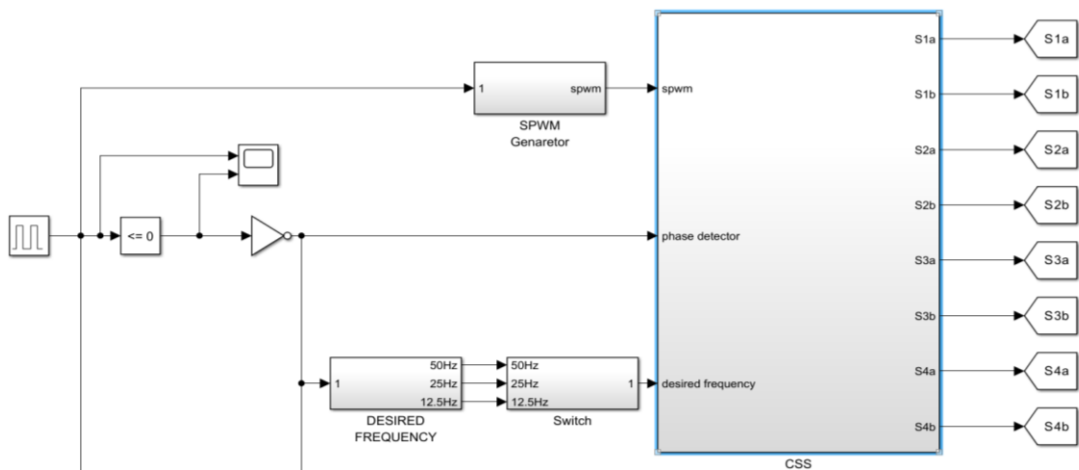
วงจรเมทริกซ์คอนเวอร์เตอร์สองเฟสมีโครงสร้างดังเสนอในงานวิจัย [13-15] ซึ่งสามารถออกแบบและสร้างขึ้นโดยมีรายละเอียดในส่วนต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 1 ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

- วงจรตรวจจับแรงดันไฟฟ้าศูนย์ (Zero Crossing Circuit)
- วงจรสร้างสัญญาณอินเตอร์รัพท์ (Interrupt Circuit)
- วงจรควบคุม (Control Circuit)
- วงจรขับเกท (Gate Drive Circuit)
- วงจรเมทริกซ์คอนเวอร์เตอร์สองเฟส (Two-Phase Matrix Converter)

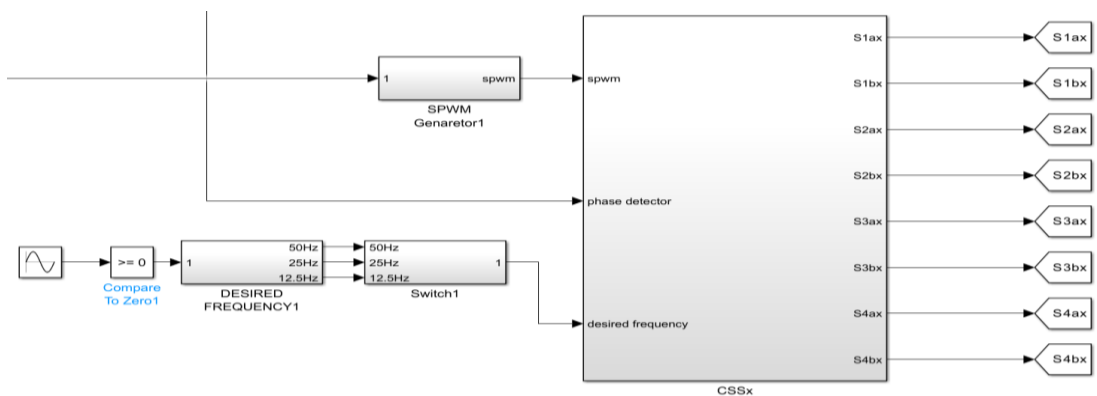
จากโครงสร้างในรูปที่ 1 สามารถทำการจำลองด้วยโปรแกรม MATLAB/Simulink สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2 และ 3



รูปที่ 1 โครงสร้างวงจรเมทริกซ์คอนเวอร์เตอร์สองเฟส



สัญญาณขับสวิตช์สองทิศทางเฟส A

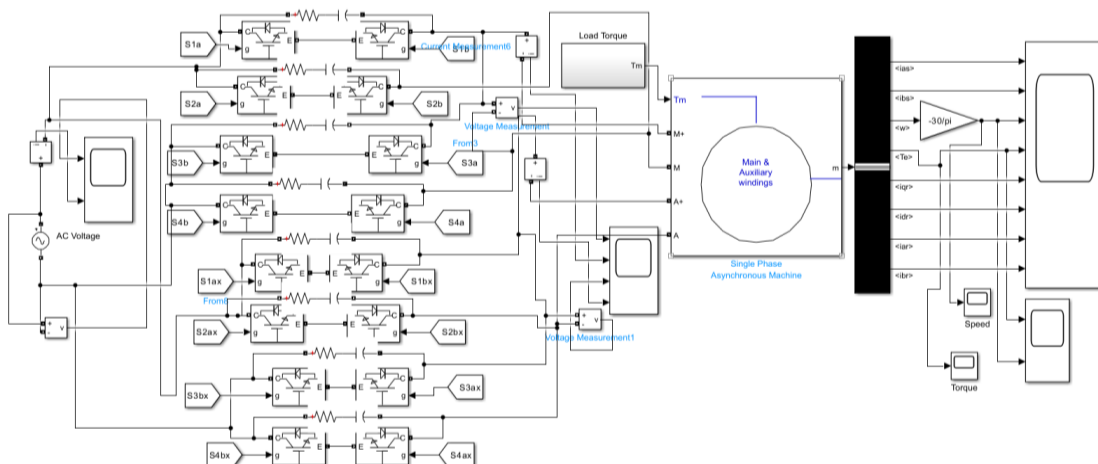


สัญญาณขับสวิตช์สองทิศทางเฟส B

รูปที่ 2 การสร้างสัญญาณ SPWM ที่ใช้ในการขับนำสวิตช์สองทิศทาง

จากรูปที่ 2 เป็นส่วนของการสร้างสัญญาณเพื่อมาขับนำสวิตช์สองทิศทางในแต่ละเฟส คือ เฟส A และเฟส B ส่วนในรูปที่ 3 เป็นลักษณะการเชื่อมต่อของสวิตช์สองทิศทางทั้งเฟส A และเฟส B ซึ่งจากทั้ง 2

รูป เป็นการจำลองการทำงานของวงจรด้วยโปรแกรม MATLAB/Simulink เพื่อนำมาใช้ในการออกแบบวงจรต้นแบบจริงเพื่อทดสอบกับโหลดต่อไป



รูปที่ 3 วงจรเมทริกซ์คอนเวอร์เตอร์สองเฟส

## 2.1 สัญญาณพีดับบลิวเอ็ม (PWM Signals)

สัญญาณพีดับบลิวเอ็มที่ใช้ในการขับสวิตซ์สองทิศทางในวงจรเมทริกซ์คอนเวอร์เตอร์สองเฟสนั้น เป็นสัญญาณพีดับบลิวเอ็มแบบไซน์ซอชอยดอล (Sinusoidal PWM ; SPWM) มาจากการเปรียบเทียบของสัญญาณอ้างอิง (Reference signal) ที่เป็นสัญญาณไซน์ที่มีความถี่ 50Hz กับสัญญาณสามเหลี่ยมเป็นสัญญาณพาหะ (Carrier signal) ที่ค่าความถี่ 500Hz สัญญาณพีดับบลิวเอ็มแบบไซน์สามารถปรับอัตราการมอดูเลตได้ที่ค่าเท่ากับ 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, และ 1.0 สัญญาณไซน์ที่เป็นสัญญาณอ้างอิงที่ใช้ในการมอดูเลตสัญญาณไซน์ที่เฟส A จะมีค่ามุมเริ่มต้น ที่ 0 องศา ดังรูปที่ 4(ก) และสัญญาณไซน์ที่เฟส B จะมีการเลื่อนมุมเฟสไป 90 องศา แสดงได้ดังรูปที่ 4(ข) โดยเป็นไปตามสมการที่ (1) และสามารถปรับค่าความถี่และอัตราการมอดูเลตของสัญญาณพีดับบลิวเอ็มได้ตามสมการที่ (2) และ (3) ซึ่งเป็นสัญญาณ SPWM ที่ใช้ในการขับสวิตซ์สองทิศทางในวงจรเมทริกซ์คอนเวอร์เตอร์

สองเฟส เพื่อทำการตัดต่อไฟฟ้ากระแสสลับหนึ่งเฟสให้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับสองเฟสที่ใช้ในการขับมอเตอร์เหนี่ยวนำแบบสองเฟส ซึ่งสวิตซ์สองทิศทางที่ใช้จะมีจำนวน 2 ชุดๆ ละ 4 ตัว ประกอบด้วย ชุดเฟส A กับชุดเฟส B

$$v_a = V_m \sin(\omega t) \quad (1)$$

$$v_b = V_m \sin(\omega t - 90^\circ)$$

$$m_f = \frac{f_{tri}}{f_{sine}} \quad (2)$$

โดยที่  $m_f$  คือ อัตราการมอดูเลตทางความถี่

$f_{tri}$  คือ ความถี่ของสัญญาณพาหะ

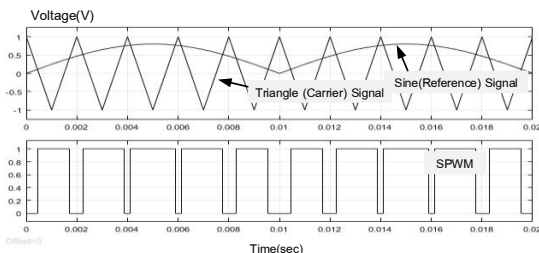
$f_{sine}$  คือ ความถี่สัญญาณไซน์ซอชอยดอล

$$m_a = \frac{V_{m,sine}}{V_{m,tri}} \quad (3)$$

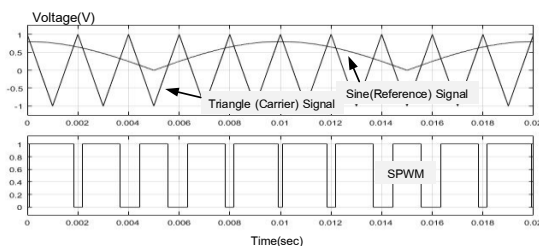
โดยที่  $m_a$  คือ อัตราการมอดูเลตทางขนาด

$V_{m,tri}$  คือ แรงดันยอดของสัญญาณพาหะ

$V_{m,sine}$  คือ แรงดันยอดสัญญาณไซน์ซอชอยดอล

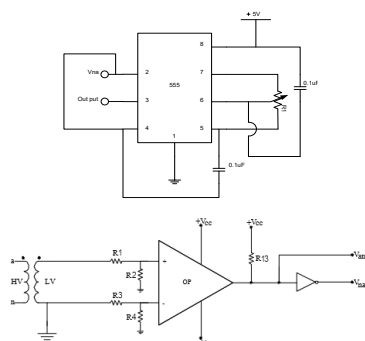


(ก) สัญญาณพีดับบลิวเอ็มที่ใช้ขับสวิตช์สองทางเฟส A



(ข) สัญญาณพีดับบลิวเอ็มที่ใช้ขับสวิตช์สองทางเฟส B

รูปที่ 4 สัญญาณพีดับบลิวเอ็มแบบ SPWM

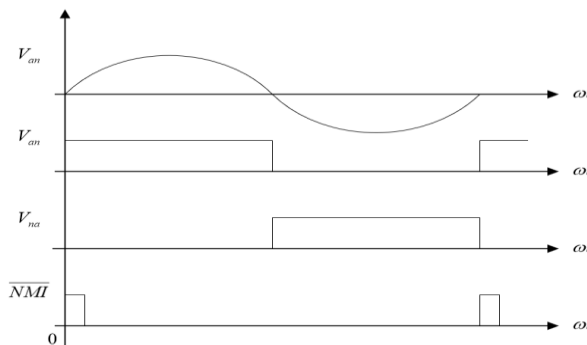
รูปที่ 5 วงจรตรวจจับแรงดันไฟฟ้าตัดผ่านศูนย์  
(Zero Crossing Voltage Detector)

## 2.2 วงจรตรวจจับแรงดันไฟฟ้าศูนย์ (Zero Crossing Voltage Detector Circuit)

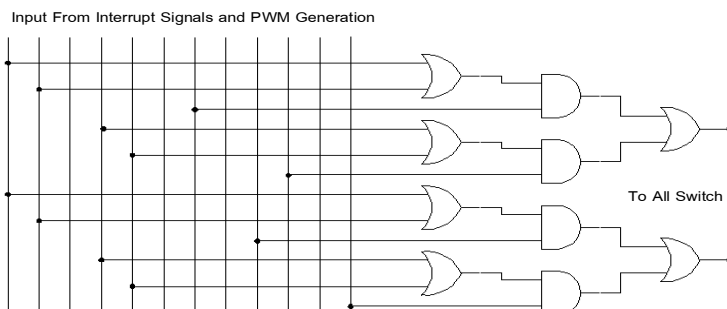
ส่วนของวงจรตรวจจับแรงดันไฟฟ้าศูนย์จะทำหน้าที่แยกกราวด์และตรวจจับแรงดันไฟฟ้าศูนย์ โดยที่วงจรตรวจจับแรงดันไฟฟ้าศูนย์ทำหน้าที่ตรวจจับตำแหน่งแรงดันไฟฟ้าศูนย์โวลต์ของไฟเอชี่ไลน์สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 5 โดยสัญญาณไฟเอชี่ที่ได้จากการลดระดับลงมาแล้วจากวงจรแยกกราวด์มาผ่านวงจรเปรียบเทียบระดับแรงดันไฟฟ้าซึ่งจะได้สัญญาณพัลส์ที่มีความสัมพันธ์กับไฟเอชี่ไลน์และสัญญาณที่ได้จากวงจรเปรียบเทียบจะนำไปเป็นสัญญาณอินพุตให้แก่วงจรโมนอสเตเบิล เพื่อให้ได้สัญญาณอินเตอร์รัพท์ที่มีสำคัญส่งไปยังไมโครโปรเซสเซอร์ต่อไป

## 2.3 วงจรสร้างสัญญาณอินเตอร์รัพท์ (Interrupt Circuit)

การสร้างสัญญาณพีดับบลิวเอ็มเพื่อใช้ในวงจรเมตริกคอนเวอร์เตอร์สองเฟสนั้น เริ่มต้นของสัญญาณพีดับบลิวเอ็มแต่ละชุดจะต้องเริ่มจากตำแหน่งศูนย์ของแรงดันไฟฟ้าอินพุต ซึ่งเป็นการทำงานในลักษณะที่ซิงโครไนซ์กัน นั่นคือ ทำให้เฟสของแรงดันไฟฟ้าอินพุตและแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตตรงกัน ดังนั้นเพื่อให้เกิดการซิงโครไนซ์ขึ้น ซึ่งจำเป็นจะต้องทำการสร้างสัญญาณเพื่อทำการอินเตอร์รัพท์ให้กับไมโครโปรเซสเซอร์ เพื่อให้เริ่มสร้างสัญญาณพีดับบลิวเอ็ม ณ ตำแหน่งศูนย์ของแรงดันไฟฟ้าอินพุต โดยสัญญาณอินเตอร์รัพท์ที่ใช้เป็นการอินเตอร์รัพท์แบบสำคัญสูง (Non-maskable Interrupt :  $\overline{NMI}$ ) สัญญาณอินเตอร์รัพท์  $\overline{NMI}$  นี้จะถูกสร้างโดยใช้วงจรโมนอสเตเบิล (Monostable Circuit) แสดงสัญญาณอินเตอร์รัพท์ดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 สัญญาณอินเทอร์รัพท์ที่ได้มาจากสัญญาณแรงดันไฟฟ้า



รูปที่ 7 วงจรลอจิกที่ใช้ในการควบคุมการทำงานของสวิตช์แต่ละชุดในเฟส A และเฟส B

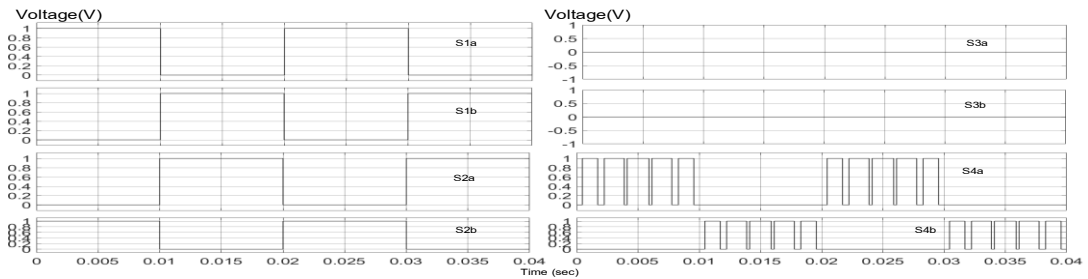
## 2.4 วงจรควบคุม (Control circuit)

วงจรควบคุมจะทำหน้าที่นำสัญญาณพีดับบลิวเอ็มที่สร้างจากไมโครโปรเซสเซอร์มาทำการผสมกันเพื่อให้ได้สัญญาณที่ใช้ในการควบคุมการทำงานของสวิตช์สองทางในวงจรเมทริกซ์คอนเวอร์เตอร์สองเฟสให้ทำงานตามเงื่อนไขที่ได้ออกแบบไว้ ซึ่งประกอบไปด้วยสัญญาณ SPWM และสัญญาณอินเทอร์รัพท์เป็นสัญญาณอินพุตให้กับวงจรควบคุมนี้ ซึ่งเป็นวงจรในส่วน of CSS/CSSx ที่แสดงในผังรูปที่ 1 ในส่วนของ Control Circuit เป็นการควบคุมแบบวงเปิด (Open loop control) ที่วงจรประกอบด้วยวงจรลอจิกที่ทำการผสมสัญญาณแสดงดังรูปที่ 7 เพื่อให้ได้เป็นสัญญาณเอาต์พุตไปควบคุมการทำงานของสวิตช์สองทางทั้งเฟส

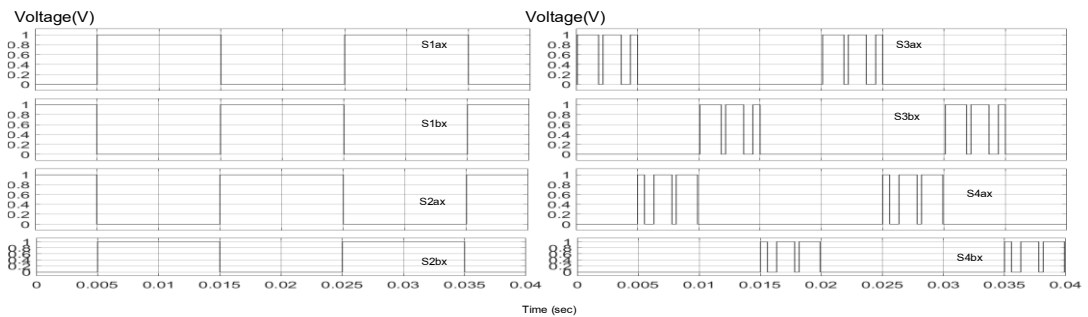
A และเฟส B ในวงจรเมทริกซ์คอนเวอร์เตอร์สองเฟสต่อไป โดยมีลักษณะสัญญาณพีดับบลิวเอ็มที่ใช้ควบคุมสวิตช์สองทั้ง 8 ชุด ทั้งสองเฟสแสดงรูปคลื่นได้รูปที่ 8

## 2.5 วงจรเมทริกซ์คอนเวอร์เตอร์สองเฟส (Two-Phase Matrix Converter)

วงจรเมทริกซ์คอนเวอร์เตอร์สองเฟสทำหน้าที่ตัดต่อแรงดันไฟฟ้าหนึ่งเฟสที่มีค่าความถี่และระดับแรงดันไฟฟ้าคงที่ โดยใช้สวิตช์สองทิศทางทั้งหมด 8 ชุด โดยที่สวิตช์ทั้ง 8 ชุดนั้น จะสลับการทำงานกันคือ 4 ชุดแรกเป็นเฟส A จะทำงานที่มุม 0 องศา ส่วน 4 ชุดหลังเป็นเฟส B จะมีมุมเลื่อนเฟสไป 90 องศา โดยมีลักษณะการต่อของวงจรดังรูปที่ 9

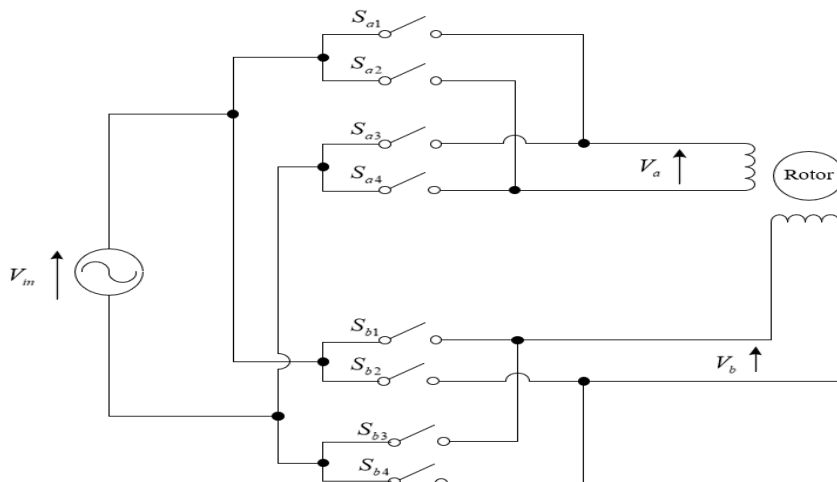


(ก) สัญญาณไฟดับบลิวเอ็มที่ใช้ขับสวิตช์สองทางเฟส A



(ข) สัญญาณไฟดับบลิวเอ็มที่ใช้ขับสวิตช์สองทางเฟส B

รูปที่ 8 สัญญาณไฟดับบลิวเอ็มที่ใช้ขับสวิตช์สองทางทั้งสองเฟสที่ความถี่ 50 Hz อัตราการมอด 0.8

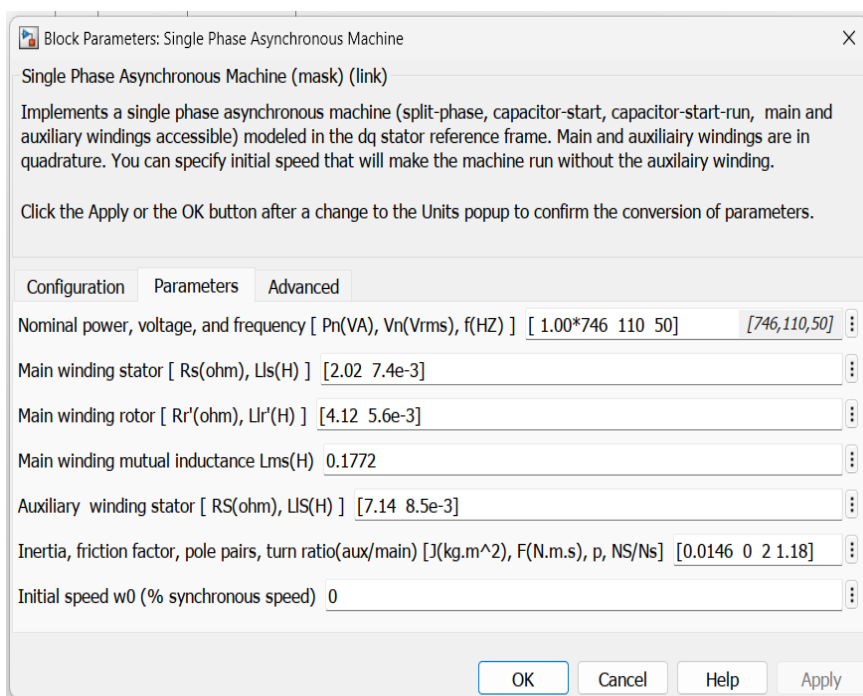


รูปที่ 9 ลักษณะการต่อของสวิตช์สองทิศทางในวงจรเมทริกซ์คอนเวอร์เตอร์สองเฟส

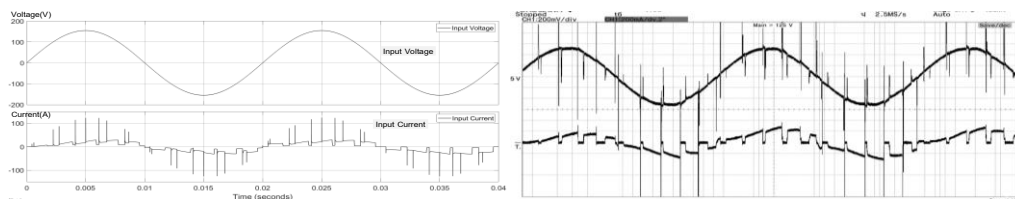
### 3. ผลการทดลองและการอภิปรายผล

การจำลองและการทดสอบวงจรเมทริกซ์คอนเวอร์เตอร์สองเฟสกับมอเตอร์เหนี่ยวนำสองเฟสด้วยการจ่ายแรงดันไฟฟ้าหนึ่งเฟสเท่ากับ 100Vrms, ความถี่ 50Hz และใช้สัญญาณพัลส์บิลิเอ็มแบบไซน์ เพื่อควบคุมการทำงานของสวิตช์สองทิศทางแสดงได้ดังรูปที่ 9 สัญญาณพัลส์บิลิเอ็มแบบ SPWM ที่ใช้สามมรตปรับอัตราการมอดูเลตได้ที่ค่าเท่ากับ 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 และ 1.0 ใช้ความถี่สวิตช์เท่ากับ 500 Hz และมีค่าความถี่เอาต์พุตของวงจรที่ค่าเท่ากับ 12.5Hz, 25Hz, และ 50Hz (ในการกำหนดค่าความถี่ให้มีค่าดังกล่าวเนื่องจากสามารถสร้างและปรับค่าความถี่ได้สะดวก

เพราะได้มาจากการหารค่าความถี่จาก 50Hz ลงมาตามอัตราส่วน ซึ่งสามารถดำเนินการได้อย่างง่ายและสะดวกในการสร้าง) สามารถแสดงรูปคลื่นแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าด้านอินพุตและเอาต์พุตที่ทำการจำลองและทำการทดสอบกับโหลดมอเตอร์เหนี่ยวนำสองเฟส (มอเตอร์เหนี่ยวนำสองเฟสที่ใช้เป็นการนำมอเตอร์เหนี่ยวนำไฟฟ้าหนึ่งเฟสมาทำการดัดแปลง โดยมีพิกัดเท่ากับ 1Hp และค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการจำลองสามารถแสดงดังรูปที่ 10) มีค่าความถี่เอาต์พุตเท่ากับ 12.5Hz, 25Hz, และ 50Hz ตามลำดับ สามารถแสดงดังรูปที่ 11 และ 12

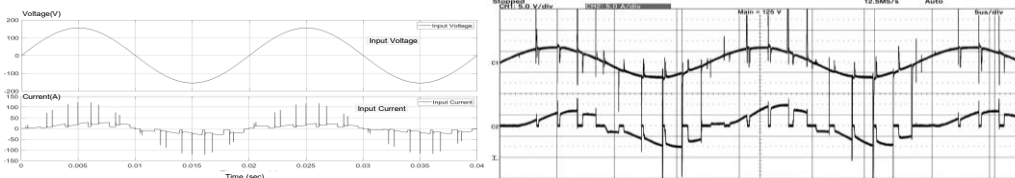


รูปที่ 10 พารามิเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ สองเฟสแบบไม่สมมาตร



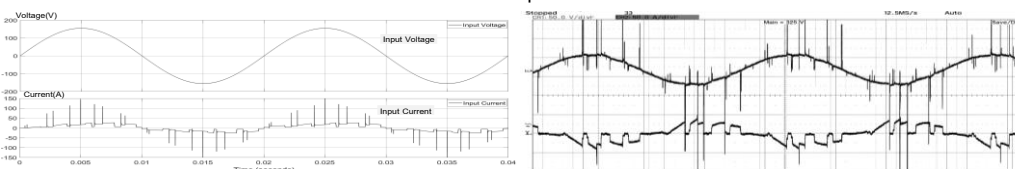
(Top: Voltage [100V/div], Bottom: Current [1A/div])

(ก) ความถี่เอาต์พุตเท่ากับ 12.5Hz



(Top: Voltage [100V/div], Bottom: Current [1A/div])

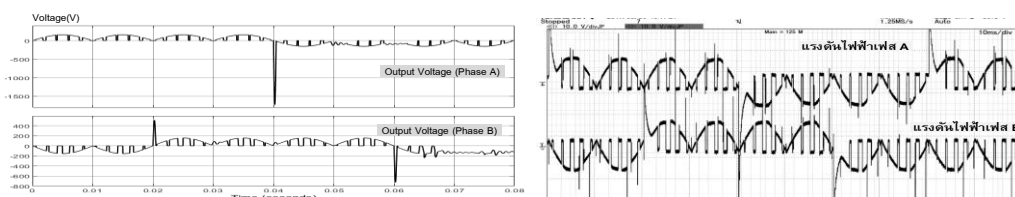
(ข) ความถี่เอาต์พุตเท่ากับ 25Hz



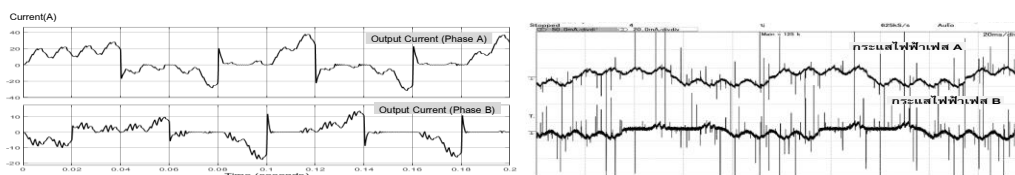
(Top: Voltage [100V/div], Bottom: Current [1A/div])

(ค) ความถี่เอาต์พุตเท่ากับ 50Hz

รูปที่ 11 รูปคลื่นแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าด้านอินพุตที่ความถี่เอาต์พุตต่างๆ จากการจำลองและการทดสอบ



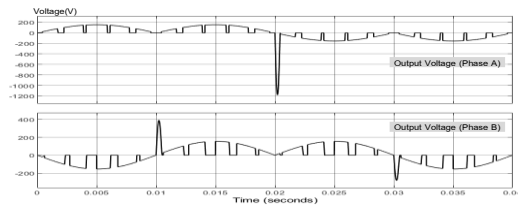
แรงดันไฟฟ้าเฟส A และ B (50V/div)



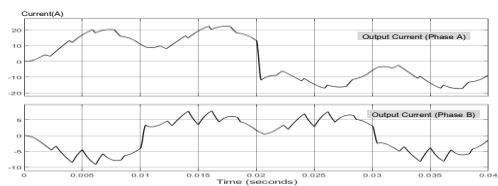
กระแสไฟฟ้าเฟส A และ B (1A/div)

(ก) ความถี่ 12.5 Hz

รูปที่ 12 รูปคลื่นแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าด้านเอาต์พุตที่ความถี่เอาต์พุตต่างๆ จากการจำลองและการทดสอบ

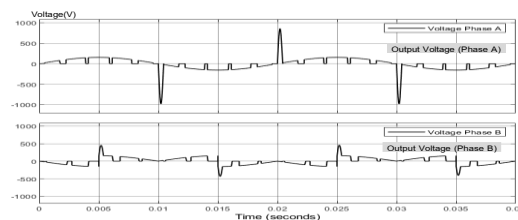
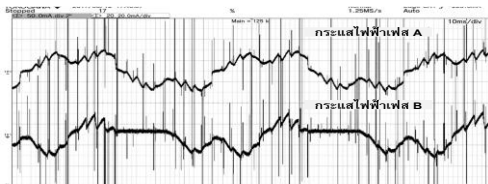
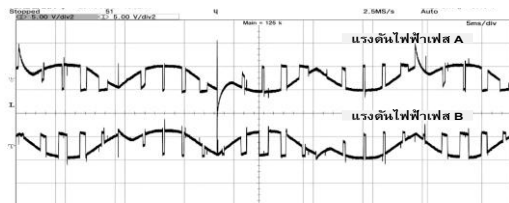


แรงดันไฟฟ้าเฟส A และ B (50V/div)

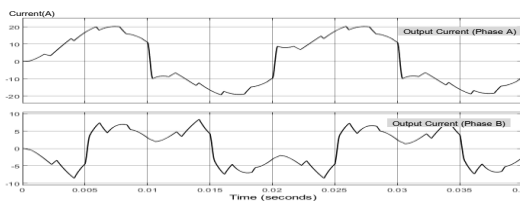


กระแสไฟฟ้าเฟส A และ B (1A/div)

(ข) ความถี่ 25 Hz

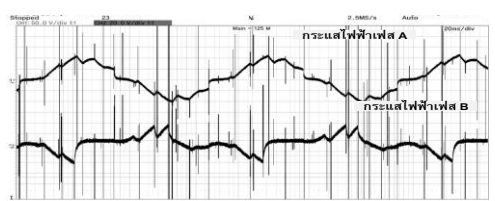
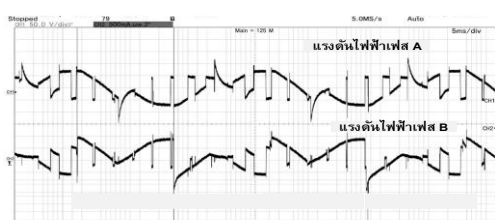


แรงดันไฟฟ้าเฟส A และ B (50V/div)



กระแสไฟฟ้าเฟส A และ B (1A/div)

(ค) ความถี่ 50 Hz



รูปที่ 12 (ต่อ)

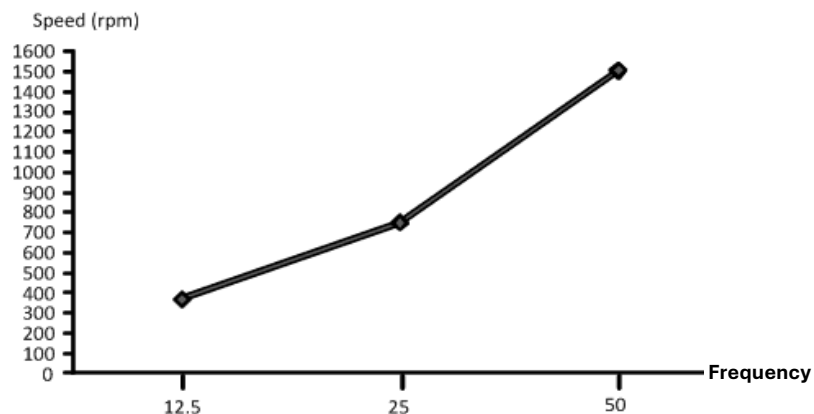


จากรูปที่ 13 เป็นกราฟความสัมพันธ์ของค่าความเร็วรอบของมอเตอร์ที่มีความสัมพันธ์กับค่าความถี่ที่จ่ายให้กับมอเตอร์เหนี่ยวนำไฟฟ้าสองเฟสที่สัญญาณพีดับเบิลยูเอ็มมีค่าอัตราการมอดเทเท่ากับ 0.8 และมีค่าอัตราส่วนแรงดันไฟฟ้าต่อความถี่คงที่ (V/f control) ตามตารางที่ 1 พบว่าความเร็วรอบของมอเตอร์เหนี่ยวนำไฟฟ้าสองเฟสจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามค่าความถี่ที่เพิ่มขึ้น ซึ่งวงจรเมทริกซ์คอนเวอร์เตอร์สองเฟสเครื่องต้นแบบที่สร้างขึ้นสามารถนำมาใช้ในการปรับความเร็วรอบของ

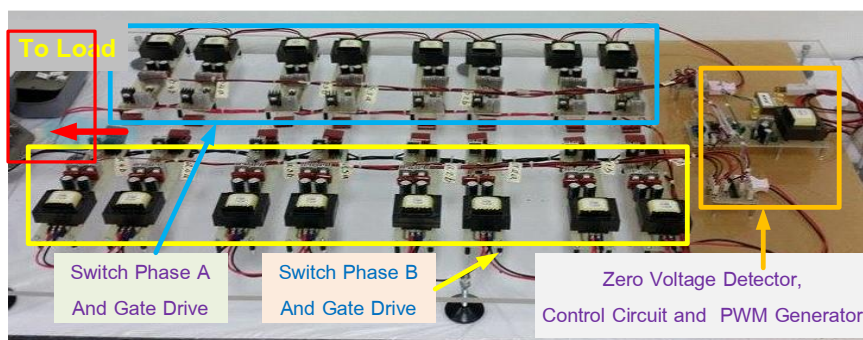
มอเตอร์เหนี่ยวนำสองเฟสได้ โดยวงจรเมทริกซ์คอนเวอร์เตอร์สองเฟสต้นแบบ สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 14

ตารางที่ 1 ค่าแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตกับค่าความถี่

| Frequency<br>(Hz) | Output Voltage<br>(rms) |
|-------------------|-------------------------|
| 12.5              | 24.52                   |
| 25                | 26.38                   |
| 50                | 95.76                   |



รูปที่ 13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของความเร็วรอบกับค่าความถี่เอาต์พุตต่างๆ



รูปที่ 14 วงจรเมทริกซ์คอนเวอร์เตอร์สองเฟสเครื่องต้นแบบ



#### 4. สรุปผล

จากการทดสอบการทำงานของระบบ พบว่าจากการจำลองและทดสอบวงจรเมทริกซ์คอนเวอร์เตอร์สองเฟสที่รับแรงดันไฟฟ้าแหล่งจ่ายอินพุตจากแหล่งจ่ายการไฟฟ้าหนึ่งเฟส โดยใช้สวิตช์สองทาง (Bi-directional Switches) ควบคุมการไหลของกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าของระบบ โดยได้ทำการทดสอบกับโหลดมอเตอร์เหนี่ยวนำไฟฟ้าสองเฟสที่มีการตัดแปลงมาจากมอเตอร์เหนี่ยวนำไฟฟ้าหนึ่งเฟสให้มีหลักการทำงานเป็นมอเตอร์เหนี่ยวนำไฟฟ้าแบบสองเฟส วงจรเมทริกซ์คอนเวอร์เตอร์สองเฟสสามารถปรับความถี่เอาต์พุตได้ที่ค่า 12.5Hz, 25Hz และ 50Hz เนื่องจากการสร้างความถี่ค่าดังกล่าวกระทำได้ง่ายในการสร้างและทดสอบในห้องปฏิบัติการ ผลการทดลองสามารถขับเคลื่อนมอเตอร์เหนี่ยวนำไฟฟ้าสองเฟสด้วยสภาวะไร้อะไรโหลด พร้อมกับสามารถปรับความเร็วรอบของมอเตอร์เหนี่ยวนำไฟฟ้าสองเฟสได้ โดยการปรับความถี่ของสัญญาณพัลส์แบบลิ้นแฉกแบบ SPWM ที่ใช้ควบคุมสวิตช์สองทิศทางในวงจรเมทริกซ์คอนเวอร์เตอร์สองเฟส โดยมอเตอร์เหนี่ยวนำไฟฟ้าสองเฟสทำงานในสภาวะไร้อะไรโหลด เพื่อเป็นการทดสอบให้เป็นไปตามหลักการเบื้องต้นที่ได้ทำการออกแบบไว้ โดยผลการทดลองได้ผลเป็นที่น่าพอใจทั้งจากการจำลองและการทดสอบ แต่งานวิจัยนี้ยังพบข้อต่อที่ต้องมีการปรับปรุงและพัฒนาวงจรต้นแบบ เช่น ดำเนินการลดค่าฮาร์โมนิกของแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าหรือค่าสไปร์คที่เกิดขึ้นในระบบด้วยการออกแบบวงจรกรองทางด้านอินพุต (Input Filter) และดำเนินการออกแบบวงจรสับเบอ์ให้เหมาะสม เพื่อเป็นการลดและแก้ปัญหาดังกล่าวของการทำงานของวงจรที่นำมาใช้ใน

การแปลงผันพลังงานไฟฟ้าให้ลดลงเป็นที่น่าพอใจและยอมรับตามมาตรฐานสากล ซึ่งตามหลักการของการแปลงผันไฟฟ้ากระแสสลับโดยตรงต้องมีการดำเนินการออกแบบเพิ่มเติมต่อไป โดยข้อมูลทั้งหมดที่ได้จากการศึกษาและวิจัยนี้จะเป็นข้อมูลเบื้องต้นที่จะสนับสนุนการพัฒนางานวิจัยที่จะดำเนินการในขั้นต่อไป

#### 5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยได้รับการสนับสนุนการดำเนินงานโดยสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (สกสว.) ร่วมกับโครงการวิจัยมูลฐานมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ (ววน. 2567) สัญญาเลขที่ FRB6725/2567 รหัสโครงการ 192866 ปีงบประมาณ 2567

#### 6. เอกสารอ้างอิง

- [1] C. Charumit, Carrier-based unbalanced phase voltage space vector PWM strategy for asymmetrical parameter type two-phase induction motor drives, Thesis, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Thailand, 2009.
- [2] J. Sinthusonthichat. and V. Kinnares, Performance evaluation of variable speed control of two-phase induction motors, International Conference on Power System Technology (PowerCon 2002), Proceeding, 2018, 2565-2568.

- [3] D. Jang and D. Yoon, Space-vector PWM technique for two-phase inverter-fed two-phase induction motors, *IEEE Transactions on Industry Applications*, 2003, 39(2), 542-549.
- [4] F. Blaabjerg, F. Lugeanu, K. Skaug, and M. Tonnes, Two-phase Induction Motor Drive Low-cost topologies for TPIM drives in industrial applications, *IEEE on Industry Applications Magazine*, 2004, 10, 24–32.
- [5] V. Kinnarees and C. Charumit, Modulating functions of space vector PWM for three-leg VSI-fed unbalanced two-phase induction motor, *IEEE Transactions on Power Electronics*, 2009, 24(4), 1135-1139.
- [6] Y. Kumsuwan, W. Srirattanawichaikul, S. Premrudeepreechacharn, and H.A. Toliyat, A four-leg voltage source inverter fed asymmetrical two-phase induction motor drives, 5th IET International Conference on Power Electronics, Machines and Drives (PEMD 2010), *Proceeding*, 2010, 1-6.
- [7] H. Golwala and R. Chudamani, A modified three-dimensional space vector based PWM method for four-leg voltage source inverter fed asymmetrical two-phase induction motor, *IEEE PEDS 2011, Proceeding*, 2011, 573-578.
- [8] Y. Kumsuwan, S. Premrudeepreechacharn, and V. Kinnarees, A carrier-based unbalanced PWM method for four-leg voltage source inverter fed unsymmetrical two-phase induction motor, *IEEE Transaction on Industrial Electronics*, 2013, 60(5), 2031-2041.
- [9] O. Hock, J. Koscelnik, S. Kascak, and R. Havrila, Control of the two-stage two-phase matrix converter using a field programmable circuit, *International Conference on Applied Electronics, Proceeding*, 2013, 1-4.
- [10] A. Salimi, M. Esmaeili, A.M. Sati, H. Ziar, and E. Afjei, A Simple and Novel Modulation Technique used to Produce Two-Phase Symmetric Output from Two-Phase Asymmetric Input, 2011 2nd International Conference on Electric Power and Energy Conversion System (ECPECS), *Proceeding*, 2011, 1-5.
- [11] M. Khan, M. Ahsan, Development and Performance Analysis of a Two-Phase Induction Motor in the Frame and Core of a Single-Phase Induction Motor, *International Conference on Electrical and Computer Engineering (ICECE 2014), Proceeding*, 2014, 469-472.

- [12] W. Piyarat and V. Kinnares, High performance unsymmetrical two-phase induction motor drive with direct torque control based on unbalanced SVPWM technique, IEEE Access, 2024, 12, 176895–176907.
- [13] P. Hothongkham, K. Poomphochana, Simulation and test of a two-phase matrix converter for the two-phase induction motor drive, Electrical Engineering Conference (EECON43), Proceeding, 2020, 194-197. (in Thai)
- [14] S. Sawangkla, P. Hothongkham, and F. Cheevasuvit, Performance evaluation of the two-phase matrix converter circuit tested with the passive loads, 16<sup>th</sup> Conference of Electrical Engineering Network 2024 (EENET 2024), Proceeding, 2024, 169-172. (in Thai)
- [15] P. Hothongkham, S. Sawangkla, and F. Cheevasuvit, Asymmetrical two-phase induction motor drive with two-phase matrix converter, 16<sup>th</sup> Conference of Electrical Engineering Network 2024 (EENET 2024), Proceeding, 2024, 173-176. (in Thai)