

การประเมินสมรรถนะของวงจรเอซี-เอซี เมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์สามเฟส ด้วยการปรับค่าความถี่ในการสวิตช์ของสัญญาณพีดับบลิวเอ็มแบบไซน์

ประสพโชค โห้ทองคำ*

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
96 หมู่ 3 ถนนพุทธมณฑลสาย 5 ตำบลศาลายา อำเภอพุทธมณฑล, จังหวัดนครปฐม 73170

รับบทความ 14 มิถุนายน 2565 แก้ไขบทความ 28 มีนาคม 2566 ตอรับบทความ 10 เมษายน 2566

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอวงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส ไปเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส โดยตรงที่ปราศจากวงจรเชื่อมโยงดีซีหรือที่เรียกว่า วงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์ ซึ่งใช้สวิตช์สองทิศทางจำนวน 9 ชุด ซึ่งประกอบด้วยไอจีบีที-ไดโอดกำลังทำหน้าที่แปลงไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส ด้านอินพุตที่มีความถี่และขนาดแรงดันไฟฟ้าคงที่ไปเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส ที่ด้านเอาต์พุตสามารถปรับความถี่และขนาดแรงดันไฟฟ้าได้ โดยการปรับค่าความถี่และค่าอัตราการใช้ดิวตี้ของสัญญาณพีดับบลิวเอ็มแบบไซน์ รวมทั้งมีการแสดงหลักการทำงานของวงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์ในเชิงคณิตศาสตร์ด้วย นอกจากนี้ได้ทำการวัดรูปคลื่น ค่าประสิทธิภาพ ค่าฮาร์โมนิก และค่า THD ของแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าทั้งทางด้านอินพุตและเอาต์พุตที่ทุกค่าความถี่เอาต์พุต โดยมีการปรับเปลี่ยนค่าความถี่ในการสวิตช์ของสัญญาณพีดับบลิวเอ็มแบบไซน์ เพื่อทำการประเมินสมรรถนะของวงจรคอนเวอร์เตอร์นี้ ด้วยการจำลองการทำงานของวงจรด้วยโปรแกรม MATLAB/Simulink

คำสำคัญ : วงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์; เอซีคอนเวอร์เตอร์; สวิตช์สองทิศทาง

* ผู้นิพนธ์ประสานงาน โทร: +668 1850 2305, ไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์: prasopchok.hot@rmutr.ac.th

Performance Evaluation of the Three-Phase AC-AC Matrix Converter with Adjusting the Switching Frequencies of the SPWM

Prasopchok Hothongkham*

Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Rattanakosin

96 Mu 3 Phuttamonthon Sai 5 Road, Salaya, Phutthamonthon, Nakhon Pathom 73170

Received 14 June 2022; Revised 28 March 2023; Accepted 10 April 2023

Abstract

This paper presents the direct conversion of the three-phase AC input to the three-phase AC output without the DC Link which the converter is called the Matrix Converter. This converter is using the 9-units of bidirectional switches, IGBT-Power Diode. The converter is converting a constant utility three-phase sinusoidal supply voltage and frequency into a variable output voltage and frequency through alteration of the frequency and modulation index of the SPWM signals used by the converter. A mathematical approach is initially applied to describe the principle of the Matrix Converter. Moreover, the voltage and current waveforms, the efficiencies, the harmonics analysis and the total harmonics distortion (THD) of the output side and input side of the voltage and the current waveforms are observed at several the output frequencies which the switching frequencies of the SPWM are adjusted for the performance evaluation of the converter. The simulation results of this converter are observed by the MATLAB/Simulink program.

Keywords : Matrix Converter; AC Converter; Bidirectional Switch

* Corresponding Author. Tel.: +668 1850 2305, E-mail Address: prasopchok.hot@rmutr.ac.th

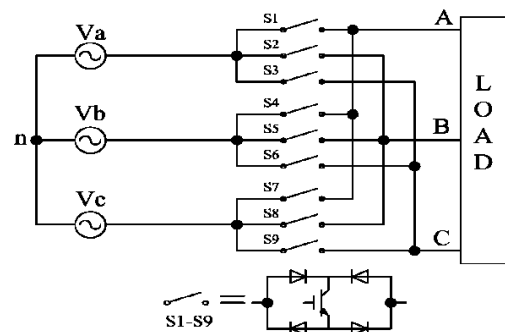
1. บทนำ

วงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส ไปเป็น ไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส โดยตรงที่ปราศจากวงจร เชื่อมโยงดีซี เรียกว่า วงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์ 3 เฟส ได้ถูกนำเสนอครั้งแรกจาก Gyugyi และ Pelly ในปี 1976 [1], [2] และมีการนำเสนอในรูปแบบของ คณิตศาสตร์โดย Venturini และ Alessina ในปี 1981 [3] ด้วยวงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์ทำหน้าที่แปลง ไฟฟ้ากระแสสลับอินพุตเป็นไฟฟ้ากระแสสลับเอาต์พุต โดยตรงมีข้อดีคือทำการจัดส่วนวงจรเชื่อมโยง กระแสตรง (DC Link) ในวงจรอินเวอร์เตอร์ออกไป ซึ่งมีการนำเสนอในงานวิจัยโดย Ziogas [4] รวมทั้งของ Blaabjerg [5] มีการทำวิจัยเกี่ยวกับงานทางด้านวงจร เมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์ 3 เฟส มีจำนวนมากมาย เช่น S. K. Sul [6] นำเสนอเทคนิคการมอดูเลตของวงจร เมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์ด้วยหลักการ การมอดูเลตตาม สัญญาณพาหะ (Carrier Based Modulation) นำมาใช้ในการควบคุมการทำงานของวงจร J. Wang [7] นำเสนออุปกรณ์สวิตช์แบบใหม่ที่ใช้ในวงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์ 3 เฟส ด้วย IGBT Hong-Hee Lee [8] นำเสนอเทคนิคพีดับบลิวเอ็มแบบ Carrier Based Modulation โดยนำมาใช้กับวงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์โดยทางอ้อมที่ใช้สวิตช์สองทางในวงจรเรียงกระแส (Rectifier) และอินเวอร์เตอร์ (Inverter) Habib Rajabi Mashhadi [9] นำเสนอเทคนิค Space Vector Modulation มาใช้ในการควบคุมการทำงานของสวิตช์สองทางในวงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์ 3 เฟส ที่มีการทำ Over-modulation ด้วยในการควบคุมการทำงานของสวิตช์ในวงจรคอนเวอร์เตอร์นี้ Kamal Al-Haddad [10] นำเสนอหลักการเทคนิคการมอดูเลตแบบ Space Vector Modulation แบบสมมาตรมาใช้ในการควบคุมการทำงานของสวิตช์ในวงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์ 3 เฟส แบบโดยอ้อมด้วยการจำลองการทำงานด้วยโปรแกรม MATLAB/Simulink จากงานวิจัยที่กล่าว

มา ยังคงมีการนำเสนองานวิจัยต่างๆ เกี่ยวกับวงจร เมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์อย่างหลากหลายทั้งการเสนอ แนวความคิดโดยการทดลองและจากการจำลอง มากมายหลากหลายเทคนิค ดังนั้นในงานวิจัยนี้ได้ นำเสนอแนวคิดอีกรูปแบบหนึ่งของวงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์ด้วยการใช้สวิตช์สองทางที่ใช้เป็นไดโอดกำลัง จำนวน 4 ตัว ต่อกันเป็นแบบบริดจ์และใช้ไอจีบีทีจำนวน 1 ตัว ต่อตรงกลางบริดจ์ เป็นสวิตช์สองทางอีกรูปแบบหนึ่งที่ทำให้การควบคุมการทำงานได้ง่าย พร้อมทั้งได้ทำการออกแบบวงจรควบคุมการทำงานของสวิตช์สองทางด้วย พร้อมกันนั้นวงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์ 3 เฟส ในงานวิจัยนี้ได้ทำการจำลองกับโหลดแบบพาสซีฟ 3 เฟส ซึ่งทางด้านเอาต์พุตสามารถปรับค่าขนาด แรงดันไฟฟ้าและความถี่ได้ และทำการพิจารณาผลของ ค่าความถี่ในการสวิตช์ที่เปลี่ยนแปลงไปว่ามีผลอย่างไร ต่อสมรรถนะของวงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์ 3 เฟส และวงจรทุกส่วนทั้งหมดทำการจำลองการทำงานด้วย โปรแกรม MATLAB/Simulink

2. หลักการทำงานและโครงสร้างวงจร เมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์สามเฟส

วงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์ 3 เฟส มีลักษณะของวงจรแสดงได้ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 วงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์ 3 เฟส

และสามารถเขียนสมการแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตที่สร้างได้จากแรงดันไฟฟ้าอินพุต โดยสามารถอธิบายได้ด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ดังสมการที่ 1-6 [11] ดังนี้

$$[V_{oAB}(\omega_o t)] = [V_i \cos(\omega_i t), V_i \cos(\omega_i t + 120^\circ), V_i \cos(\omega_i t - 120^\circ)] \times \begin{bmatrix} M \cos(\omega_o t) \\ M \cos(\omega_o t + 120^\circ) \\ M \cos(\omega_o t - 120^\circ) \end{bmatrix} \times [\cos(\omega_o t)] \quad (1)$$

$$= \begin{bmatrix} MV_i \cos(\omega_i t) \cos(\omega_o t) \\ MV_i \cos(\omega_i t - 120^\circ) \cos(\omega_o t + 120^\circ) \\ MV_i \cos(\omega_i t + 120^\circ) \cos(\omega_o t - 120^\circ) \end{bmatrix} \times [\cos(\omega_o t)] \quad (2)$$

$$= \frac{MV_i}{2} [\cos(2\omega_i t) + \cos(0^\circ) + \cos(2\omega_i t - 240^\circ) + \cos(0^\circ) + \cos(2\omega_i t - 480^\circ) + \cos(0^\circ)] \times \cos(\omega_o t) \quad (3)$$

$$= \left[\frac{3MV_i}{2} \right] \times [\cos(\omega_o t)] \quad (4)$$

$$[V_{oBC}(\omega_o t)] = \left[\frac{3MV_i}{2} \right] \times [\cos(\omega_o t + 120^\circ)] \quad (5)$$

$$[V_{oCA}(\omega_o t)] = \left[\frac{3MV_i}{2} \right] \times [\cos(\omega_o t - 120^\circ)] \quad (6)$$

โดยที่

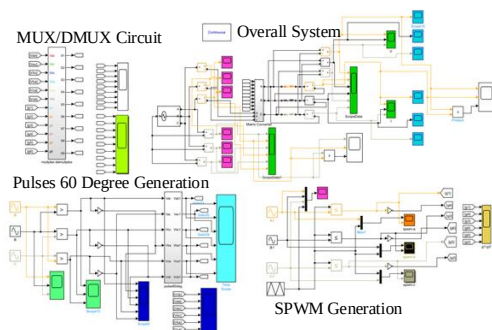
V_i คือ แรงดันไฟฟ้าอินพุต

$V_{oAB}, V_{oBC}, V_{oCA}$ คือ แรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตไลน์ทูไลน์ของแต่ละเส้นทางไฟฟ้า

M คือ อัตราการมอดูเลต

3. การจำลองการทำงานของวงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์ 3 เฟส

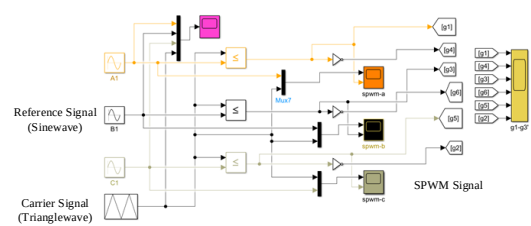
การจำลองการทำงานของวงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์ 3 เฟสกับโหลดแบบพาสซีฟ 3 เฟส ด้วยโปรแกรม MATLAB/Simulink มีลักษณะโครงสร้างการจำลองของวงจรดังแสดงในรูปที่ 2 ส่วนประกอบของวงจรที่ใช้ในการจำลองจะประกอบด้วย ส่วนการสร้างสัญญาณพีดับลิวเอ็มแบบ SPWM, ส่วนวงจรสร้างสัญญาณพัลส์ 60 องศา, และส่วนวงจร MUX/DMUX มีรายละเอียดแต่ละส่วนดังนี้



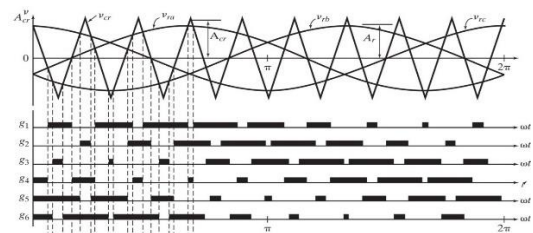
รูปที่ 2 วงจรโดยรวมที่ใช้ในการจำลองการทำงานของวงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์ 3 เฟส

3.1 ส่วนการสร้างสัญญาณพีดับลิวเอ็มแบบ SPWM

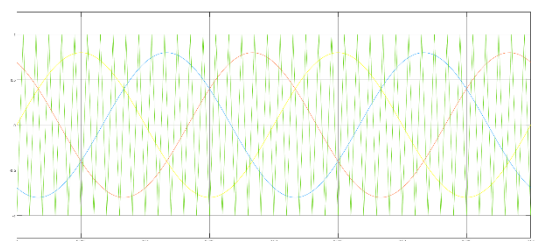
ทำหน้าที่ในการสร้างสัญญาณพีดับลิวเอ็มแบบ SPWM ที่สามารถปรับความถี่และอัตราการมอดูเลตได้ ด้วยการใช้สัญญาณไซน์ 3 เฟส เป็นสัญญาณอ้างอิงและใช้สัญญาณสามเหลี่ยมเป็นสัญญาณพาหะแล้วนำมาทำการเปรียบเทียบกันเพื่อสร้างเป็นสัญญาณพีดับลิวเอ็มแบบ SPWM มีลักษณะวงจรตามรูปที่ 3 และมีลักษณะของสัญญาณพีดับลิวเอ็มตามรูปที่ 4



(ก) ส่วนสร้างสัญญาณพีดับลิวเอ็มแบบ SPWM

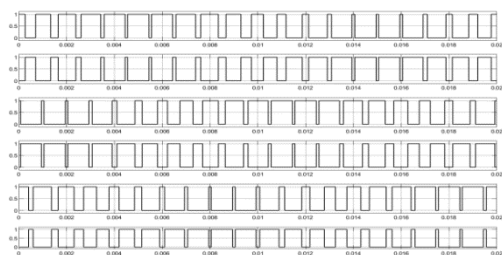


(ข) ลักษณะสัญญาณพีดับลิวเอ็มสามเฟสแบบ SPWM

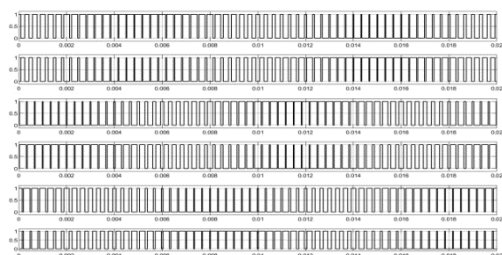


(ค) ลักษณะสัญญาณไซน์สามเฟสและสัญญาณสามเหลี่ยมที่ใช้ในการสร้างพีดับลิวเอ็มด้วยโปรแกรม MATLAB/Simulink

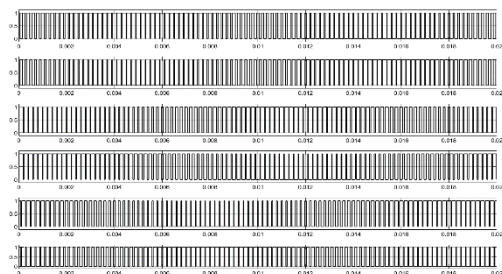
รูปที่ 3 สัญญาณพีดับลิวเอ็มสามเฟสแบบ SPWM ที่ใช้ในการจำลองการทำงานด้วย โปรแกรม MATLAB/Simulink



(ก) ความถี่ในการสวิตช์เท่ากับ 1kHz



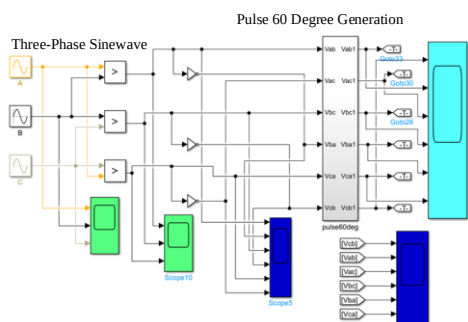
(ข) ความถี่ในการสวิตช์เท่ากับ 3kHz



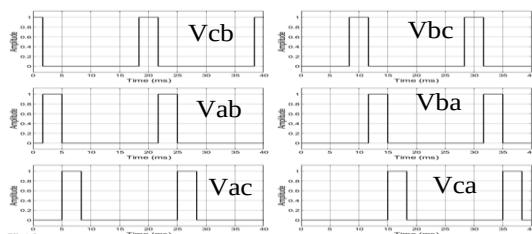
(ค) ความถี่ในการสวิตช์เท่ากับ 5kHz

รูปที่ 4 สัญญาณพีดับลิแอมสามเฟสแบบ SPWM ที่ความถี่เอาท์พุทเท่ากับ 50 Hz อัตราการมอดูเลตเท่ากับ 0.8 ที่ความถี่ในการสวิตช์ต่างๆ (g1-g6 บนลงล่างตามรูปที่ 3)

3.2 วงจรสร้างสัญญาณพัลส์ 60 องศา ทำหน้าที่สร้างสัญญาณพัลส์ที่มีความกว้างพัลส์เท่ากับ 60 องศา จำนวน 6 พัลส์ใน 1 ไซเคิล มีลักษณะตามรูปที่ 5 (ก) และมีลักษณะสัญญาณพัลส์ใน 1 ไซเคิลดังรูปที่ 5 (ข)



(ก) วงจรสร้างสัญญาณพัลส์ 60 องศา

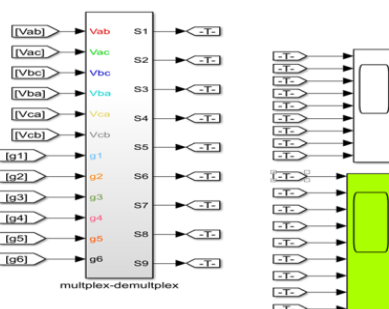


(ข) ลักษณะสัญญาณพัลส์ 60 องศาทั้ง 6 สัญญาณจากการตรวจจับไฟไลน์ 3 เฟส

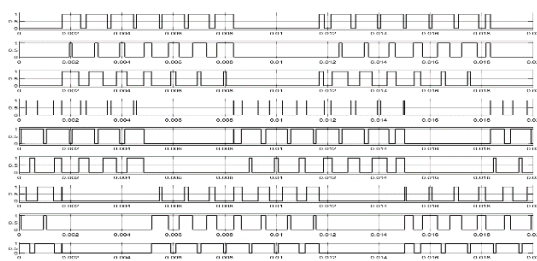
รูปที่ 5 วงจรและสัญญาณพัลส์ 60 องศาทั้ง 6 สัญญาณที่ใช้ในการจำลองการทำงานของวงจร

3.3 วงจร MUX/DMUX ทำหน้าที่สร้างสัญญาณที่ใช้ในการขับนำสวิตซ์สองทางในวงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์ทั้ง 9 ชุด ได้รับสัญญาณพัลส์มาจากวงจรสร้างสัญญาณพัลส์ 60 องศา และวงจรสร้างสัญญาณพีดับลิแอมแบบ SPWM มาทำการผ่านส่วนวงจร MUX/DMUX ประกอบด้วยวงจรลอจิกเพื่อทำการสร้างสัญญาณพีดับลิแอมที่ใช้ในการขับนำสวิตซ์สองทางทั้ง 9 ชุด มีลักษณะวงจรดังรูปที่ 6 และมีลักษณะสัญญาณพีดับลิแอมทั้ง 9 ชุด ดังรูปที่ 7

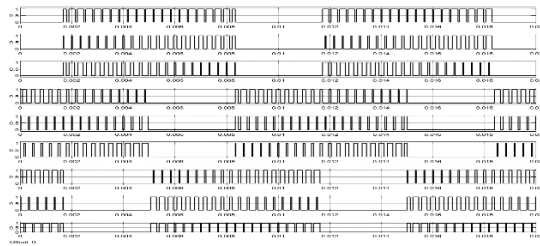
MUX/DMUX Circuit



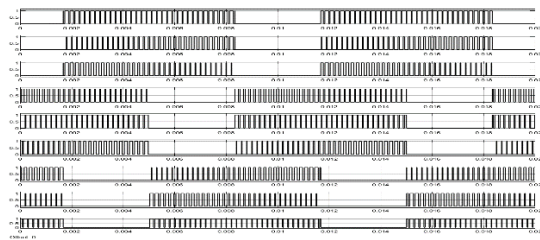
รูปที่ 6 วงจร MUX/DMUX ทำหน้าที่สร้างสัญญาณที่ใช้ในการขับนำสวิตซ์สองทาง S1-S9



(ก) ความถี่ในการสวิตช์เท่ากับ 1kHz



(ข) ความถี่ในการสวิตช์เท่ากับ 3kHz



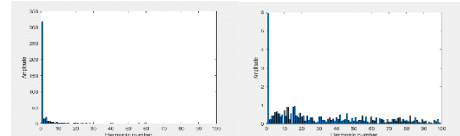
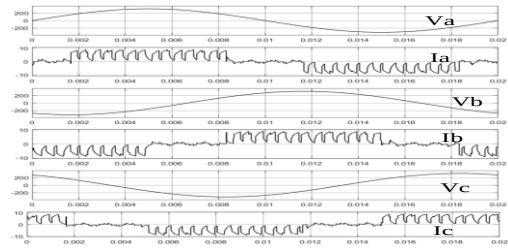
(ค) ความถี่ในการสวิตช์เท่ากับ 5kHz

รูปที่ 7 สัญญาณจากวงจร MUX/DMUX ที่ค่าความถี่เอาต์พุตเท่ากับ 50Hz อัตราการมอดูเลตเท่ากับ 0.8 ที่ค่าความถี่ในการสวิตช์ต่างๆ (S1-S9 จากบนลงล่าง)

4. ผลการจำลองการทำงานของวงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์สามเฟส

การจำลองวงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์ 3 เฟส สามารถทำได้ตามวงจรในรูปที่ 9 ด้วยการจ่ายแรงดันไฟฟ้าที่ค่าระดับแรงดัน 220Vrms ความถี่ 50Hz, 3 เฟส ต่อแบบวายเป็นอินพุตให้แก่วงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์ 3 เฟส ทำการทดสอบกับโหลดแบบพาสซีฟ 3 เฟส ต่อแบบเดลต้า(Delta) คือ ตัวต้านทานขนาด 100 โอห์มต่ออนุกรมกับตัวเหนี่ยวนำขนาด 20mH และควบคุมการทำงานด้วยสัญญาณพัลส์บลิวเอ็มแบบ SPWM ที่ค่าความถี่สวิตช์เท่ากับ 1kHz, 3kHz, และ 5kHz จ่ายให้กับสวิตช์สองทางโดยผ่านเป็นสัญญาณอินพุตให้แก่วงจร MUX/DMUX เพื่อสร้างสัญญาณพัลส์บลิวเอ็มไปขับสวิตช์สองทางทั้ง 9 ชุด และทำการปรับค่าความถี่ทางด้านเอาต์พุตที่ค่าเท่ากับ 25Hz, 50Hz, และ 100Hz พร้อมทั้งสามารถปรับอัตราการ มอดของสัญญาณพัลส์บลิวเอ็มแบบไซน์ได้ที่ค่า 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, และ 1.0 ในการจำลองได้ทำการวัดรูปคลื่นทางด้านอินพุตและด้านเอาต์พุตที่ค่าความถี่เอาต์พุตเท่ากับ

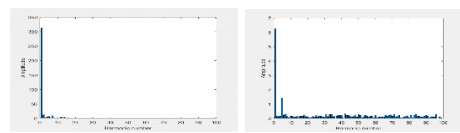
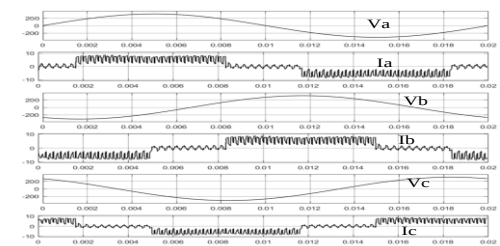
50Hz และทุกค่าความถี่ในการสวิตช์ที่อัตราการมอดเท่ากับ 0.8 สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 8 และ 9



THDv=9.53%

THDi=56.6%

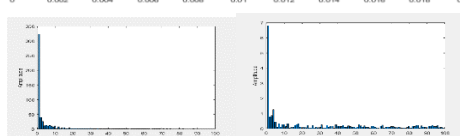
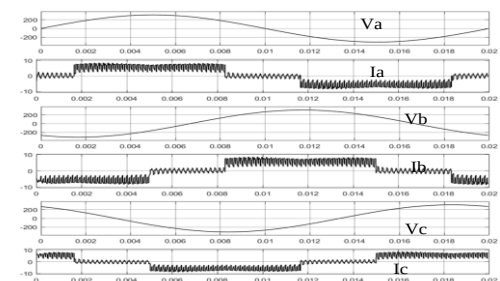
(ก) ความถี่ในการสวิตช์เท่ากับ 1kHz



THDv=6.2%

THDi=34.8%

(ข) ความถี่ในการสวิตช์เท่ากับ 3kHz

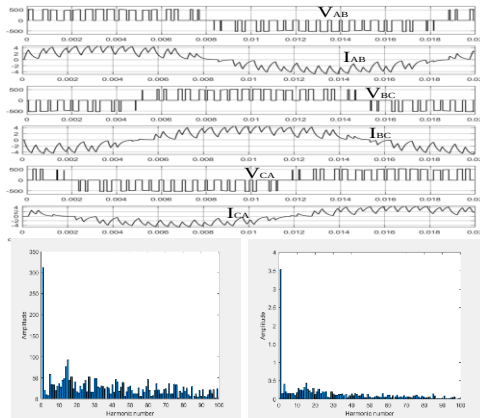


THDv=18.2%

THDi=33.9%

(ค) ความถี่ในการสวิตช์เท่ากับ 5kHz

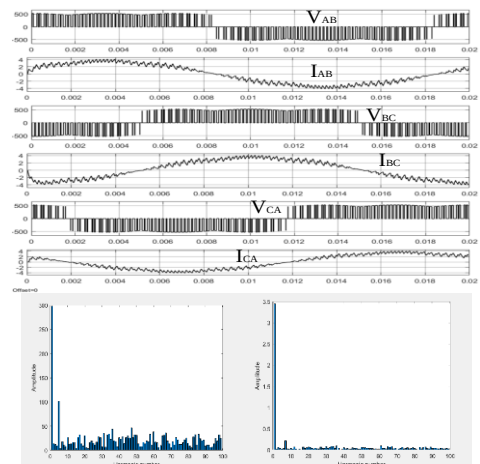
รูปที่ 8 รูปคลื่นแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าอินพุตทั้ง 3 เฟส และค่า THD ของแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าอินพุตที่เฟส a ที่ค่าความถี่เอาต์พุต 50Hz, อัตราการมอดเท่ากับ 0.8



THDv=94.7%

THDi=39.8%

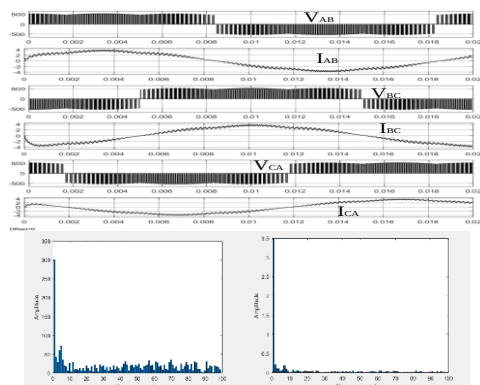
(ก) ความถี่ในการสวิตช์เท่ากับ 1kHz



THDv=78.5%

THDi=14.3%

(ข) ความถี่ในการสวิตช์เท่ากับ 3kHz

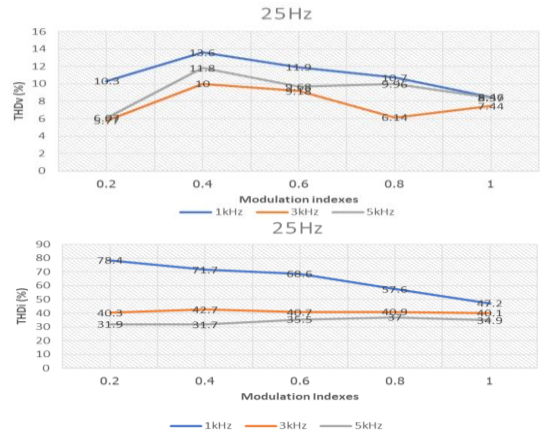


THDv=68.5%

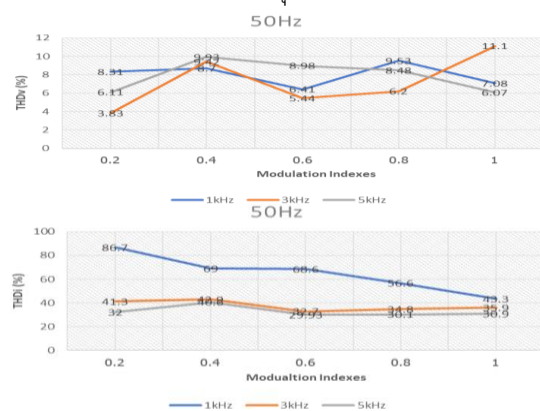
THDi=12.5%

(ค) ความถี่ในการสวิตช์เท่ากับ 5kHz

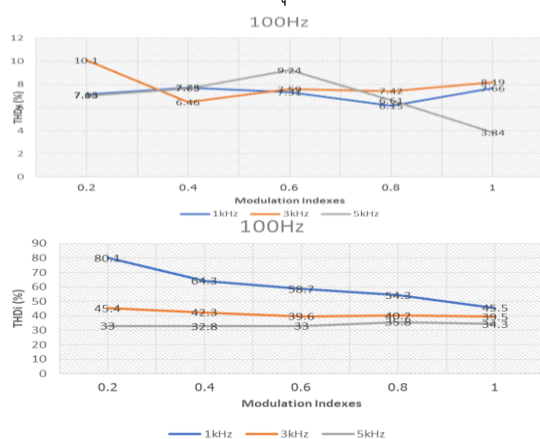
รูปที่ 9 รูปคลื่นแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าเอาต์พุต ทั้ง 3 เฟส และค่า THD ของแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าเอาต์พุตที่ไลน์ ab ที่ค่าความถี่เอาต์พุต 50Hz, อัตราการมอดเท่ากับ 0.8



(ก) ความถี่เอาต์พุตเท่ากับ 25Hz



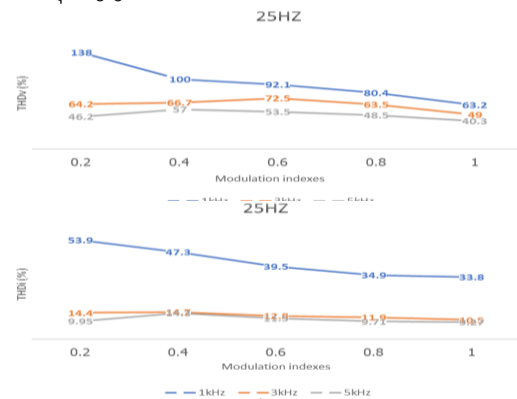
(ข) ความถี่เอาต์พุตเท่ากับ 50Hz



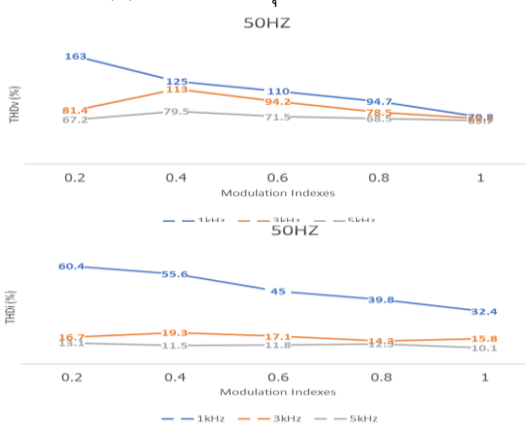
(ค) ความถี่เอาต์พุตเท่ากับ 100Hz

รูปที่ 10 ค่า THDv และ THDi ของรูปคลื่นแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าทางด้านอินพุตที่ค่าความถี่เอาต์พุตต่างๆ, ความถี่ในการสวิตช์ต่างๆ, และที่ค่าอัตราการมอดต่างๆ

จากรูปที่ 10 (ก)-(ค) เป็นค่า THDv และ THDi ของรูปคลื่นแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าทางด้านอินพุตที่ค่าความถี่เอาต์พุตต่างๆ, ความถี่ในการสวิตช์ต่างๆ และที่ค่าอัตราการมอดูเลตต่างๆ พบว่า ค่า THDv ของรูปคลื่นแรงดันไฟฟ้าทางด้านอินพุตมีค่าค่อนข้างต่ำประมาณ 10% ที่ทุกค่าความถี่ในการสวิตช์และค่าความถี่เอาต์พุตต่างๆ ส่วนค่า THDi ของรูปคลื่นกระแสไฟฟ้าทางด้านอินพุตมีค่าค่อนข้างสูงที่ค่าอัตราการ มอดูเลตต่างๆ เนื่องจากมีความเป็นสัญญาณไซน์ค่อนข้างต่ำและมีค่าลดลงที่ค่าอัตราการมอดูเลตสูงขึ้นที่ทุกค่าความถี่ในการสวิตช์และค่าความถี่เอาต์พุตต่างๆ เมื่อค่าความถี่ในการสวิตช์ที่สูงขึ้นทำให้ค่า THDi ของกระแสไฟฟ้าลดลงที่ทุกค่าความถี่เอาต์พุต ส่วนที่ค่าความถี่ในการสวิตช์เท่ากับ 3kHz มีความผิดเพี้ยนจากค่าความถี่สวิตช์อื่นๆ เนื่องจากสัญญาณเอาต์พุตของแรงดันไฟฟ้ามีลักษณะที่เป็นสัญญาณพีคดับบลิวเอ็มที่อยู่ในลักษณะที่ไม่สมมาตรกันในแต่ละเฟสจึงทำให้ได้ผลการจำลองดังผลการทดลองที่ได้ผิดเพี้ยนไปจากค่าความถี่สวิตช์อื่น จึงต้องมีการปรับปรุงสัญญาณพีคดับบลิวเอ็มที่ใช้ในการสวิตช์ต่อไป



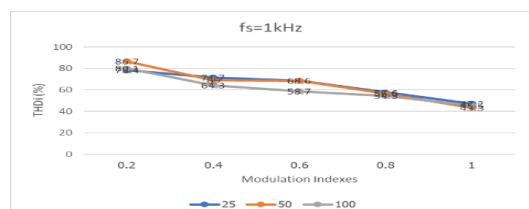
(ก) ความถี่เอาต์พุตเท่ากับ 25Hz



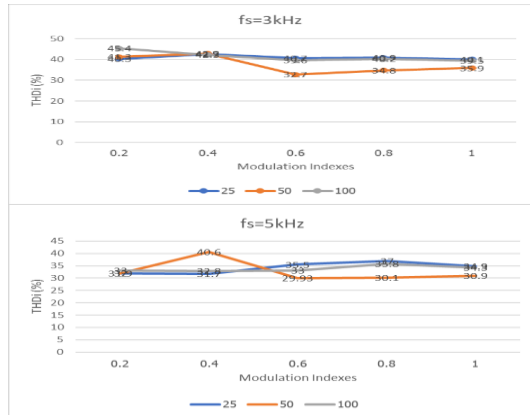
(ค) ความถี่เอาต์พุตเท่ากับ 100Hz

รูปที่ 11 ค่า THDv และ THDi ของรูปคลื่นแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าทางด้านเอาต์พุตที่ค่าความถี่เอาต์พุตต่างๆ, ความถี่ในการสวิตช์ต่างๆ, และที่ค่าอัตราการมอดูเลตต่างๆ

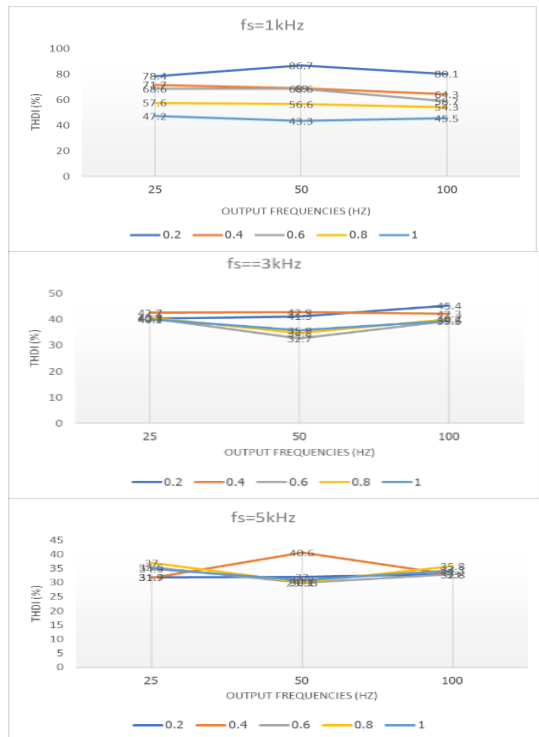
จากรูปที่ 11 (ก)-(ค) ค่า THDv และ THDi ของรูปคลื่นแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าทางด้านเอาต์พุตที่ค่าความถี่เอาต์พุตต่างๆ, ความถี่ในการสวิตช์ต่างๆ, และที่ค่าอัตราการมอดูเลตต่างๆ พบว่า ค่า THDv ของรูปคลื่นแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตมีค่าค่อนข้างสูงที่ทุกค่าความถี่ในการสวิตช์และค่าความถี่เอาต์พุตและมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อค่าความถี่เอาต์พุตสูงขึ้น ซึ่งจะมีค่าลดลงที่ค่าความถี่ในการสวิตช์สูงขึ้น รวมทั้งลดลงที่อัตราการมอดูเลตสูงขึ้นด้วย เนื่องจากแรงดันไฟฟ้าประกอบด้วยสัญญาณพัลส์แรงดันไฟฟ้าจึงเบี่ยงเบนจากสัญญาณไซน์ค่อนข้างมาก ส่วนค่า THDi ของกระแสไฟฟ้าเอาต์พุตมีค่าสูงที่ค่าความถี่ในการสวิตช์เท่ากับ 1kHz และมีค่าลดลงที่ค่าความถี่ในการสวิตช์ที่สูงขึ้น คือ เท่ากับ 3kHz และ 5kHz ตามลำดับ นอกจากนั้นยังมีค่า THDi ลดลงตามค่าอัตราการมอดูเลตที่เพิ่มขึ้นและมีค่าเพิ่มขึ้นตามค่าความถี่เอาต์พุตที่เพิ่มขึ้นด้วย



(ข) ความถี่เอาต์พุตเท่ากับ 50Hz



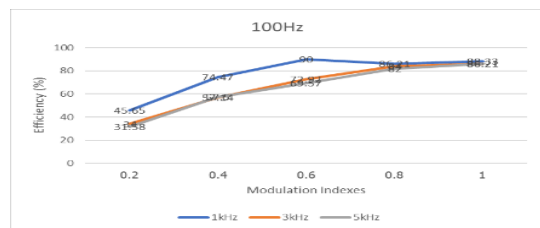
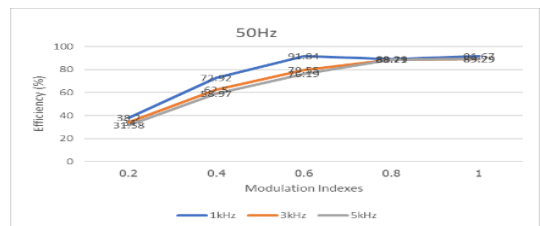
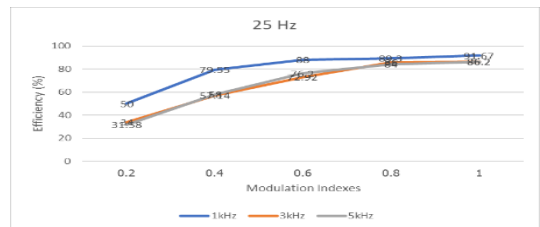
รูปที่ 12 ค่า THDi ของรูปคลื่นกระแสไฟฟ้าทางดำนอินพุทที่ค่าความถี่เอาต์พุทต่างๆ, ความถี่ในการสวิตช์ต่างๆ, และที่ค่าอัตราการมอดูเลตต่างๆ



รูปที่ 13 ค่า THDi ของรูปคลื่นกระแสไฟฟ้าทางดำนเอาต์พุทที่ค่าความถี่เอาต์พุทต่างๆ, ความถี่ในการสวิตช์ต่างๆ, และที่ค่าอัตราการมอดูเลตต่างๆ

จากรูปที่ 12 และ 13 เป็นค่า THDi ของรูปคลื่นกระแสไฟฟ้าทางดำนอินพุทและเอาต์พุทที่ค่าความถี่เอาต์พุทต่างๆ, ความถี่ในการสวิตช์ต่างๆ, และที่ค่า

อัตราการมอดูเลตต่างๆ พบว่ารูปคลื่นกระแสไฟฟ้าทางดำนอินพุทที่ค่าความถี่ในการสวิตช์เท่ากับ 1 kHz มีค่า THDi มีค่าลดลงอย่างชัดเจนตามค่าอัตราการมอดูเลตที่เพิ่มขึ้นที่ทุกค่าความถี่เอาต์พุทที่เพิ่มขึ้น ส่วนที่ค่าความถี่ในการสวิตช์เท่ากับ 3 kHz และ 5 kHz มีค่าใกล้เคียงกันที่ทุกค่าอัตราการมอดูเลตและที่ทุกค่าความถี่เอาต์พุท ส่วนทางดำนเอาต์พุทที่ค่าความถี่ในการสวิตช์เท่ากับ 1 kHz มีค่า THDi ลดลงตามค่าอัตราการมอดูเลตที่เพิ่มขึ้นที่ทุกค่าความถี่เอาต์พุท ส่วนค่าความถี่ในการสวิตช์เท่ากับ 3 kHz และ 5 kHz มีค่าใกล้เคียงกันที่ทุกค่าอัตราการมอดูเลตและที่ทุกค่าความถี่เอาต์พุท แต่ถ้าพิจารณาที่ค่าความถี่ในการสวิตช์จะพบว่าเมื่อค่าความถี่ในการสวิตช์เพิ่มขึ้นจะทำให้ค่า THDi ทางดำนอินพุทและเอาต์พุทลดลงตามค่าความถี่ในการสวิตช์ที่สูงขึ้น



รูปที่ 14 ค่าประสิทธิภาพของวงจรที่ค่าความถี่เอาต์พุทต่างๆ, ความถี่ในการสวิตช์ต่างๆ, และที่ค่าอัตราการมอดูเลตต่างๆ

จากรูปที่ 14 เป็นค่าประสิทธิภาพของวงจรที่ค่าความถี่เอาต์พุตต่างๆ, ความถี่ในการสวิตช์ต่างๆ, และที่ค่าอัตราการมอดต่างๆ พบว่าค่าประสิทธิภาพจะเพิ่มขึ้นเมื่อค่าอัตราการมอดเพิ่มขึ้นที่ทุกค่าความถี่เอาต์พุตและค่าความถี่ในการสวิตช์ และที่ค่าความถี่ในการสวิตช์เท่ากับ 1kHz จะมีค่าประสิทธิภาพมากกว่าที่ทุกค่าความถี่ในการสวิตช์ที่ทุกค่าความถี่เอาต์พุตของวงจรและที่ทุกค่าอัตราการมอดด้วย ซึ่งหมายความว่าค่าความถี่ในการสวิตช์ที่เหมาะสมในการทำงานที่ค่าอัตราการมอดต่ำๆ ส่วนที่ค่าอัตราการมอดสูงๆ จะมีค่าประสิทธิภาพที่ใกล้เคียงกัน โดยมีค่าสูงสุดประมาณ 90%

5. สรุปผล

จากผลการจำลองวงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์ 3 เฟส กับโหลดแบบพาสซีฟ 3 เฟส พบว่าวงจรคอนเวอร์เตอร์นี้สามารถทำการปรับความถี่ทางด้านเอาต์พุตได้ที่ค่า 25Hz, 50Hz, และ 100Hz โดยการปรับที่ความถี่ของสัญญาณพัลส์วidthเอ็มแบบ SPWM รวมทั้งสามารถปรับอัตราการมอดดูเลตของสัญญาณพัลส์วidthเอ็มแบบ SPWM ได้ที่ค่า 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, และ 1.0 เพื่อใช้ในการควบคุมโหลดแบบ 3 เฟส ที่ต่อแบบเดลต้า พร้อมทั้งทำการปรับค่าความถี่ในการสวิตช์ที่ค่า 1kHz, 3kHz, และ 5kHz ซึ่งในผลการจำลองพบว่าค่า Total Harmonics Distortion (THD) ของรูปคลื่นกระแสไฟฟ้าจะมีค่าลดลงตามค่าความถี่ในการสวิตช์ที่เพิ่มขึ้นทั้งทางด้านอินพุตและเอาต์พุต ส่วนค่า THD ของแรงดันไฟฟ้าผลของค่าความถี่ในการสวิตช์ที่เพิ่มมากขึ้นจะทำให้มีค่าลดลงอย่างเห็นได้ชัดทั้งทางด้านอินพุตและเอาต์พุต อีกทั้งได้ทำการหาค่าประสิทธิภาพของวงจรด้วย ซึ่งพบว่าค่าประสิทธิภาพมีค่าเพิ่มขึ้นตามค่าอัตราการมอดที่เพิ่มขึ้นและค่าความถี่ในการสวิตช์ที่ให้ค่าประสิทธิภาพที่ดีที่สุดจะเป็นที่ค่าความถี่ในการสวิตช์เท่ากับ 1kHz ที่ได้จากการจำลองวงจรคอนเวอร์เตอร์นี้

6. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัย และนวัตกรรม (สกว.) ร่วมกับโครงการวิจัยพื้นฐาน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ ที่ได้มอบทุนวิจัยทางด้านวิทยาศาสตร์ วิจัย และนวัตกรรม (ววน.) ปี 2564 และมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ที่สนับสนุนทุนวิจัยแก่นักวิจัยนี้

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] L. Gyugyi and B. R. Pelly, *Static Power Frequency Changers: Theory, Performance, and Application*, John Wiley & Sons, 1976.
- [2] B.R. Pelly, "Thyristor Phase-Controlled Converters and Cycloconverters", New York, Wiley, 1971.
- [3] A. Alesina and M. Venturini, "Solid-State Power Conversion: A Fourier Analysis Approach to Generalize Transfer Synthesis", *IEEE Transactions on Circuit and Systems*, vol.CAS-28, No.4, pp.319-330., April, 1981.
- [4] P.D. Ziogas, S.I. Khan, and M.H. Rashid, "Some Improve Forced Commutated Cycloconverter Structures", *IEEE Trans. Industry Application*, vol. IA-21, pp.1242-1253, Sept./Oct. 1985.
- [5] P. C. Loh, R. Rong, F. Blaabjerg, and P. Wang, "Digital carrier modulation and sampling issues of matrix converters", *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 24, no. 7, pp. 1690-1700, July 2009.
- [6] Y. D. Yoon, and S. K. Sul, "Carrier-based modulation technique for matrix

- converter”, *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 21, no. 6, pp. 1691-1703, Nov. 2006.
- [7] C. Liu, B. Wu, N. R. Zargari, D. Xu, and J. Wang, “A novel three-phase three-leg ac/ac converter using nine IGBTs”, *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 24, no. 5, pp. 1151-1160, May 2009.
- [8] Tuyen D. Nguyen, and Hong-Hee Lee “Dual Three-Phase Indirect Matrix Converter with Carrier-Based PWM Method”, *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 29, no. 2, Feb. 2014.
- [9] Amir Masoud Bozorgi, Mohammad Monfared, and Habib Rajabi Mashhadi, “Two Simple Over Modulation Algorithms for Space Vector Modulated Three-phase to Three-phase Matrix Converter”, *IET Power Electron.*, 2014, Vol. 7, Iss. 7, pp. 1915–1924.
- [10] Lazhar Rmili, Sana Ktala, Salem Rahmani, and Kamal Al-Haddad, “Symmetrical Space Vector Modulation of Three Phases Indirect Matrix Converter”, *2020 4th International Conference on Advanced Systems and Emergent Technologies (IC_ASET)*, pp.278-283, 2020.
- [11] Hothongkham, V., Analysis and design of Three-Phase AC-AC Matrix Converter, Master of Engineering Thesis, Electrical Engineering Program, King Mongkut’s Institute of Technology Ladkrabang, 2002.