

กรณีศึกษาการควบคุมวงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสสลับ 1 เฟส โดยใช้เทคนิค PWM ผ่านโปรแกรม MATLAB/Simulink

Study on Single-Phase AC-AC Converter Control Using PWM Technique Implemented in MATLAB/Simulink

พนม ท้าวดี¹, พันธ์ชัย ศรีบำรุง^{2*} และ อภิราชน รัตนอุดมพิสุทธิ์³

Phanom Tawdee¹, Panuschai Sribumrung^{2*} and Apirach Rattanaudompisit³

¹ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตเฉลิมพระเกียรติ

¹Department of Electrical and Computer Engineering, , Faculty of Science and Engineering, Kasetsart University

²สาขาวิชาเทคโนโลยียานยนต์สมัยใหม่ (พหุวิทยาการ) คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

²Program in Next-Generation Automotive Technology (Multidisciplinary), Faculty of Technical Education Rajamangala University of Technology Krungthep

³สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

³Department of Electrical and telecommunication, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Krungthep

* Corresponding Author: Email address: panuschai.s@mail.rmutk.ac.th

Received: 4-06-2024 Revised: 30-05-2025 Accepted: 30-06-2025

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการออกแบบและทดสอบวงจรแปลงไฟฟ้ากระแสสลับเป็นกระแสสลับแบบ 1 เฟส (Single-phase AC to AC Converter) โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ (TMS320F2808) เป็นชุดคอนโทรลสัญญาณขับนำสวิตช์ ร่วมกับการประยุกต์ใช้งานโปรแกรม MATLAB ในการสร้างสัญญาณมอดูเลตความกว้างพัลส์ (Pulse Width Modulation: PWM) เพื่อควบคุมการทำงานของสวิตช์ MOSFET ให้สามารถปรับระดับแรงดันไฟฟ้าขาออกได้ตามต้องการ วงจรที่ออกแบบสามารถแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับขาเข้าให้ได้แรงดันไฟฟ้ากระแสสลับขาออกในช่วง 0-220 โวลต์ ที่ความถี่ 50 เฮิร์ตซ์ โดยแรงดันเอาต์พุตมีลักษณะเป็นคลื่นไซน์ (Sinusoidal Waveform) และมีค่ารากกำลังสองเฉลี่ย (RMS) สูงสุดที่ 220 โวลต์ การควบคุมระดับแรงดันเอาต์พุตสามารถทำได้โดยการปรับค่าตัวดีไซเคิล (Duty Cycle) ตั้งแต่ 10% ถึง 95% ส่งผลให้วงจรสามารถ ควบคุมกำลังไฟฟ้านำเข้าเอาต์พุตได้ตลอดย่าน การทดลองและทดสอบในบทความนี้ การประยุกต์ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ร่วมกับซอฟต์แวร์ MATLAB เพื่อพัฒนาระบบควบคุมวงจรแปลงไฟฟ้า

คำสำคัญ : วงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสสลับเป็นกระแสสลับ, สัญญาณการมอดูเลตความกว้างพัลส์ , MATLAB/Simulink

ABSTRACT

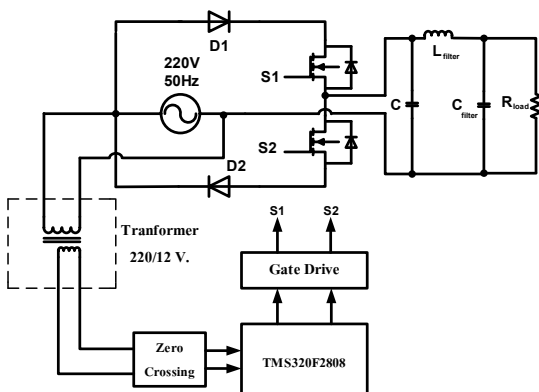
This paper proposes the design and testing of a single-phase AC to AC converter circuit using a microcontroller (TMS320F2808) as a control system for switch driver signals, along with the application of MATLAB to generate a pulse width modulation (PWM) signal to control the operation of the MOSFET switch to adjust the output voltage level as desired. The designed circuit can convert the input AC voltage to an AC output voltage in the range of 0 to 220 volts at a frequency of 50 Hz. The output voltage is a sinusoidal waveform with a maximum root mean square (RMS) value of 220 volts. Controlling the output voltage level can be done by adjusting the duty cycle from 10% to 95%, which results in the circuit being able to control the output power throughout the range. The experiments and tests in this article apply a microcontroller with MATLAB software to develop a control system for the power converter circuit.

Keyword: AC to AC Converter Circuit, Pulse Width Modulation (PWM), MATLAB/Simulink

1. บทนำ

ในปัจจุบันการควบคุมแรงดันไฟฟ้า 220 โวลต์จากแรงดันการไฟฟ้า เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆนั้น จะใช้หม้อแปลงไฟฟ้า เพื่อให้ได้ระดับแรงดันต่างๆ ตามที่ต้องการ ซึ่งหม้อแปลงจะมีขนาดที่ใหญ่ และมีน้ำหนักมาก อีกทั้งมีความละเอียดในการควบคุมต่ำ [1]-[3] เนื่องจากการสร้างวงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสสลับหนึ่งเฟส อาจจะไม่สามารถนำมาทดแทน หม้อแปลงไฟฟ้าได้ทั้งหมด แต่ในงานบางประเภทอาจทดแทนได้และมีความสะดวกกว่าการใช้หม้อแปลงไฟฟ้า และจะเป็นจุดเริ่มต้นของการพัฒนาวงจรและเทคโนโลยี เพื่อเป็นอีกทางเลือกในการเลือกใช้งานที่เหมาะสมที่สุด ในงานที่ต้องการความละเอียดในการควบคุมแรงดันที่มีลักษณะคลื่นไซน์ความถี่ 50 เฮิร์ตซ์ และสามารถปรับขนาดแรงดันได้อย่างต่อเนื่อง ตั้งแต่ระดับต่ำสุดที่ 0 โวลต์ จนถึงระดับสูงสุดที่ 220 โวลต์ สามารถทำได้โดยการทำ

แรงดันไซน์ 50 เฮิร์ตซ์ มาผ่านวงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสสลับดังภาพที่ 1 ซึ่งวงจรนี้สามารถนำมาทดแทนหม้อแปลงไฟฟ้าได้ การใช้วงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสสลับ (AC-AC Converter) แทนการใช้หม้อแปลงไฟฟ้า (Transformer) มีข้อดีหลายประการในด้านความยืดหยุ่นในการปรับแรงดันไฟฟ้า ความประหยัดพื้นที่และต้นทุน รวมถึงการกรองสัญญาณรบกวนที่ดีขึ้น วงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสสลับสามารถปรับค่าแรงดันไฟฟ้าได้ตามต้องการ โดยการควบคุมดิวตี้ไซเคิล (Duty Cycle) ซึ่งแตกต่างจากหม้อแปลงไฟฟ้าที่ไม่สามารถปรับแรงดันได้อย่างยืดหยุ่น นอกจากนี้ วงจรนี้ยังสามารถกรองสัญญาณความถี่สูงจากการสวิตชิ่งได้ดีขึ้นเมื่อผ่านวงจรแอลซีฟิลเตอร์ (LC Filter) ซึ่งช่วยให้รูปคลื่นเอาต์พุตมีความเสถียรและสัญญาณรบกวนลดลงในขณะที่หม้อแปลงไฟฟ้ามีข้อจำกัดในการกรองสัญญาณรบกวนและต้องการขนาดใหญ่และน้ำหนักมากกว่าในการทำงาน ดังนั้น วงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสสลับจึงเป็นทางเลือกที่มีประสิทธิภาพสูงในการทดแทนหม้อแปลงไฟฟ้าในหลายๆ การใช้งาน

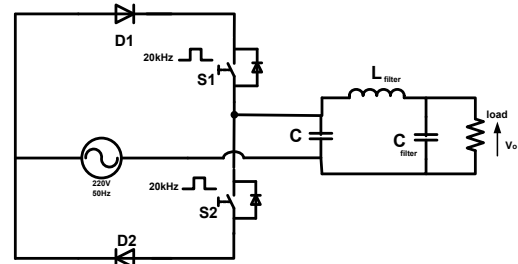


ภาพที่ 1 วงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสสลับหนึ่งเฟสที่ใช้ในงานวิจัย

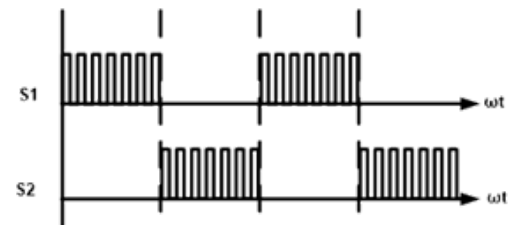
บทความนี้ นำเสนอการทดสอบวงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสสลับเป็นกระแสสลับหนึ่งเฟส ด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ TMS320F2808 ควบคู่กับโปรแกรม MATLAB ในการสร้างสัญญาณการมอดูเลตความกว้างพัลส์ (Pulse Width Modulation, PWM) เพื่อควบคุมการสวิตช์ของมอสเฟต [4]-[6] เพื่อสร้างแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับขนาด 0-220 V/ 50 Hz ที่สามารถปรับขนาดแรงดันได้ โดยมีค่ารากล้างสองเฉลี่ยของแรงดันเอาต์พุตสูงสุดที่ 220 V โดยมีลักษณะเป็นคลื่นไซน์ การควบคุมค่าแรงดันของวงจร โดยการปรับค่าดิวตี้ไซเคิลตั้งแต่ 10 %- 95 %

2. หลักการทำงานของวงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสสลับหนึ่งเฟส

อุปกรณ์สวิตช์ [7]-[10] เช่น มอสเฟต หรือไอจีบีที จะทำหน้าที่เป็นสวิตช์อิเล็กทรอนิกส์โหมดการทำงานคือโหมดนำกระแสและหยุดนำกระแสโดยสมมติให้มอสเฟต หรือไอจีบีทีที่ใช้เป็นสวิตช์อิเล็กทรอนิกส์ในภาพที่ 2



(ก) วงจรสมมูลของสวิตช์



(ข) รูปคลื่นแสดงการทำงานของวงจรสวิตช์

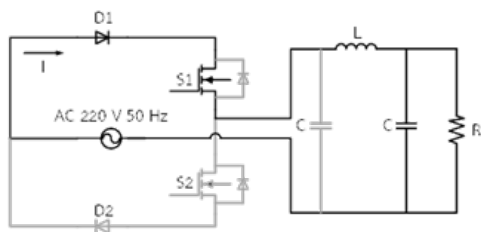
ภาพที่ 2 แสดงวงจรที่ใช้ในงานวิจัย (ก) วงจรสมมูลของสวิตช์ (ข) หลักการทำงานของวงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสสลับหนึ่งเฟส

จากภาพที่ 2 (ก) เป็นการนำอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลังมาต่อกันขึ้นเป็นวงจรที่สามารถนำไปใช้งานได้ทางด้านควบคุมกำลังไฟฟ้าโดยการนำสัญญาณไซน์ที่ได้จากแหล่งจ่ายมาทำการสวิตช์โดยสวิตช์ทั้งสองตัวที่เห็นในวงจรดังภาพที่ 2(ก) จากนั้นนำสัญญาณไซน์ที่ได้จ่ายให้กับโหลด การทดลองใช้โหลดความต้านทาน สำหรับชุดทดลองที่ใช้โหลดเป็นตัวต้านทาน ขนาด 50 โอห์ม 300 วัตต์ ต่ออนุกรมกันจำนวน 3 ตัว และเพื่อให้วงจรทำงานได้ตามวัตถุประสงค์ดังกล่าวเราจำเป็นต้องสร้างสัญญาณความถี่สูงเพื่อควบคุมสวิตช์ทั้ง 2 ตัวให้สามารถทำงานได้ตามที่

ต้องการและสามารถปรับค่าตัวที่ไซเคิลได้ จากนั้นนำสัญญาณไซน์ ความถี่สูงที่ได้ไปผ่านชุดแอสซิมิเตอร์หลังจากนั้นก็จะได้สัญญาณ ไซน์ที่สามารถปรับค่าตัวที่ไซเคิลหรือ แรงดันได้ตามความต้องการ จากภาพที่ 2(ข) เป็นการนำสัญญาณที่สร้างขึ้นมาเพื่อนำไปควบคุม ให้สวิตช์แต่ละตัวทำงาน ซึ่งการทำงานของสวิตช์จะทำงานสลับกัน ในช่วงไซเคิลบวกและไซเคิลลบ ในการสร้างสัญญาณขับสวิตช์ของ ใต้ใช้สัญญาณการมอดูเลตความกว้างพัลส์จาก ไมโครคอนโทรลเลอร์ TMS320F2808 มาประกอบกับชุดวงจรขับ เกต เพื่อให้ได้สัญญาณที่ต้องการ

2.1 โหมดจ่ายกำลัง (Powering Mode)

โหมดจ่ายกำลังในครึ่งไซเคิลบวกเป็นโหมดที่โหลดได้รับกำลังจากแหล่งจ่ายอิน 50 เฮิร์ตซ์ ในครึ่งไซเคิลบวกซึ่งมีลักษณะการทำงานของวงจร ดังภาพที่ 3 จากวงจรจะเห็นว่าเมื่อมีสัญญาณมากระตุ้นขาเกตของสวิตช์ สวิตช์ จะทำการนำกระแส เพื่อต่อวงจรทำให้กำลังไฟฟ้าไหลจากแหล่งจ่ายผ่านไดโอด และสวิตช์ โดยผ่านแอลซีฟิเตอร์ไปยังโหลดและครบวงจร

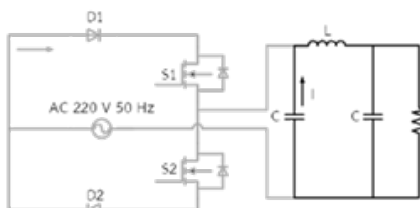


ภาพที่ 3 โหมดย้ายกำลังในครึ่งไซเคิลบวก

โหมดย้ายกำลังในครึ่งไซเคิลลบเป็นโหมดยที่โหลดได้รับกำลังจากแหล่งจ่ายไซน์ 50 เฮิรตซ์ ในครึ่งไซเคิลลบ ซึ่งมีลักษณะการทำงานของวงจร ดังภาพที่ 3 จากวงจรจะเห็นว่าเมื่อมีสัญญาณมากระตุ้นขาเกตของสวิตช์ สวิตช์จะทำการนำกระแส เพื่อต่อวงจรทำให้กำลังไฟฟ้าไหลจากแหล่งจ่ายผ่านไดโอด และสวิตช์ โดยผ่านแอลซีฟิลเตอร์ไปยังโหลดและครบวงจร

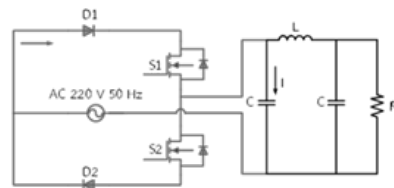
2.1 โหมดฟรีวิลลิง (Freewheeling Mode)

โหมดฟรีลลิ่งในครึ่งไซเคิลบวกเป็นโหมดที่วงจรไม่ได้รับ
กำลังไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายโชน 50 เฮิร์ตซ์ แต่ได้รับกำลังไฟฟ้าที่อยู่ใน
ใน แอลฟิลเตอร์จ่ายกำลังไฟฟ้าให้โหลด ซึ่งจะเกิดในช่วงไซเคิล



ภาพที่ 4 โหมดพรีวิลลิงในครึ่งไฮเคลิบวก

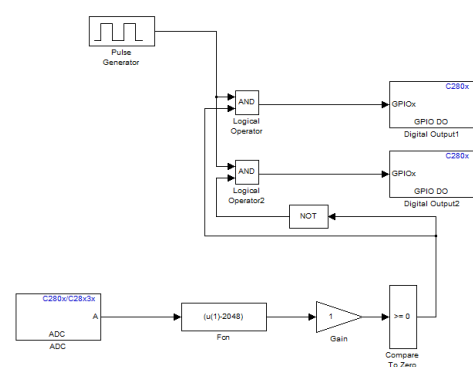
โหมตพรีวิลลิ่งในครึ่งเซคิลบเป็นโหมตที่วงจรไม่ได้รับกำลังไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายโชน 50 เฮอร์ตซ์ แต่ได้รับกำลังไฟฟ้าที่อยู่ในแอลฟิเตอร์จ่ายกำลังไฟฟ้าให้โหลด ซึ่งจะเกิดในช่วงเซคิลบของแรงดันโชน 50 เฮอร์ตซ์ ดังภาพ 5 จากวงจรเมื่อสวิตช์ หยุดนำกระแสพลังงานที่อยู่ในแอลฟิเตอร์สามารถไหลไปในทิศทางเดิม โดยกำลังไฟฟ้าจะไหลผ่านแอลฟิเตอร์ ผ่านตัวเก็บประจุผ่านโหลดและครบวงจรที่แอลฟิเตอร์



ภาพที่ 5 โหมดฟรีวิลลิงในครึ่งไฮเคลือบ

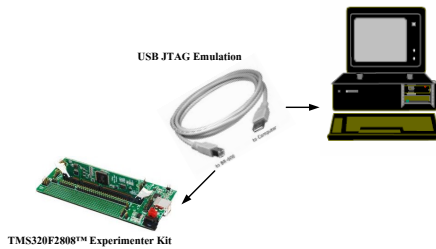
3. การวิเคราะห์หาสมการแรงดันเอาต์พุต

แรงดันเอาต์พุตของวงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสสลับที่ยังไม่ผ่านวงจรแอลซีฟิลเตอร์ ดังในภาพที่ 6 สามารถแทนด้วยคลื่นที่เกิดจากการนำคลื่นแรงดันไซน์ 50 เฮิรตซ์ ซึ่งเป็นอินพุตของวงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสสลับคูณด้วยสวิตซิงฟังก์ชันที่มีลักษณะเป็นคลื่น EPWM ที่มีความสูงเท่ากับ 1 และสามารถปรับค่าดิวตี้ไซเคิล (D) ได้จาก 0 – 1 โดยกำหนดให้เป็น $S(\omega_s t)$ แนวคิดดังกล่าวสามารถแสดงได้ดังภาพที่ 6



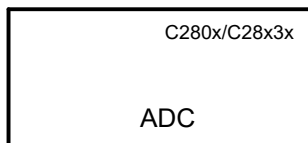
ภาพที่ 6 บล็อกโปรแกรมวงจรควบคุมด้วย Matlab/Simulink
ที่ใช้ในการควบคุมสวิตช์ของอินเวอร์เตอร์

ตัวประมวลผลสัญญาณดิจิทัลซึ่งเป็นพื้นฐานในกระบวนการสร้างการแก้ปัญหการวิเคราะห์การทดสอบต่างๆ ซึ่งโปรแกรม Code Composer Studio 3.3 เป็นตัวกลางการเชื่อมต่อระหว่างตัวประมวลผลและโปรแกรมควบคุมแสดงดังในภาพที่ 7



ภาพที่ 7 การเชื่อมต่อระหว่างคอมพิวเตอร์กับตัวประมวล
สัญญาณดิจิทัล

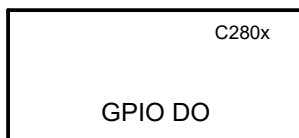
บล็อกโปรแกรม ADC เป็นบล็อกโปรแกรมที่ทำหน้าที่รับ
ค่าสัญญาณจากภายนอกเข้ามาในไมโครคอนโทรลเลอร์ เบอร์
TMS320F2808 เพื่อแปลงค่าสัญญาณที่รับเข้ามาเป็นสัญญาณ
ดิจิทัล



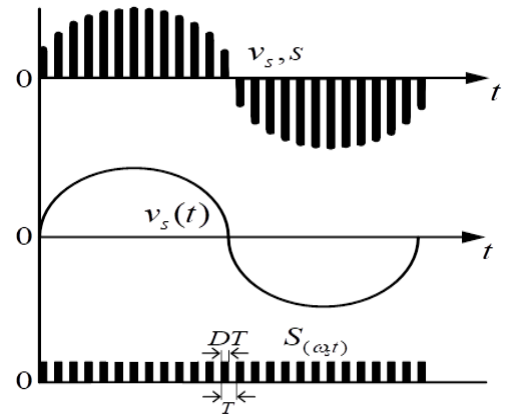
ภาพที่ 8 บล็อกโปรแกรมแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณ
ดิจิทัล

จากภาพที่ 6 เมื่อได้ค่าสัญญาณพัลส์ และค่าจากไซน์การ
ไฟฟ้าจะนำค่าทั้งสองค่ามาต่อเข้ากับวงจรดิจิทัลโดยมี แอนด์เกต
และนอตเกต ก็จะได้สัญญาณตามที่ต้องการเพื่อนำไปควบคุมการ
ทำงานของมอเตอร์

โดยในวงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสสลับหนึ่งเฟสนี้
จะใช้ขาเอาต์พุต 2 ขา ดังนั้นจึงได้ใช้บล็อกโปรแกรมแสดงค่า
เอาต์พุต 2 บล็อกโปรแกรมคือ Output 1 และ Output 2



ภาพที่ 9 บล็อกโปรแกรมแสดงค่าเอาต์พุต



ภาพที่ 10 แสดงแรงดันเอาต์พุตจากการนำสวิตชิงฟังก์ชันคูณกับ
แรงดันอินพุต

แรงดันคลื่นไซน์ 50 เฮิร์ตซ์ มีค่าดังสมการ

$$v_s(t) = \sqrt{2}V_s \cos(\omega t) \quad (1)$$

ในการคำนวณหาสมการของแรงดันเอาต์พุต $v_{o,s}$ ที่เกิด
จากผลคูณระหว่างแรงดันคลื่น 50 เฮิร์ตซ์ $v_s(\omega t)$ กับสวิตชิง
ฟังก์ชันความถี่สูง $S(\omega_s t)$ ก่อนอื่นจะต้องทำการวิเคราะห์หา
สมการของสวิตชิงฟังก์ชัน $S(\omega_s t)$ ในภาพที่ 6 จากนั้นจึงนำไปคูณ
กับแรงดันคลื่นในสมการ (1) ซึ่งสามารถทำได้ โดยการวิเคราะห์
อนุกรมฟูเรียร์ของ $S(\omega_s t)$ ดังสมการต่อไปนี้

$$S(\omega_s t) = x_0 + \sum_{k=1}^{\infty} [x_n \cos k \omega_s t + y_n \sin k \omega_s t] \quad (2)$$

โดยที่สัมประสิทธิ์ของอนุกรมฟูเรียร์ x_0, x_n และ y_n มีค่าดังนี้

$$x_0 = 1/T(DT/2 + DT/2) \quad \text{หรือ} \quad x_0 = D$$

$$x_0 = 1/\pi k [\sin k t]_{-D\pi}^{D\pi} \quad \text{หรือ} \quad x_0 = 2 \sin(k D \pi) / \pi k$$

$$y_n = 1/\pi k [\cos k (-D\pi) - \cos k D\pi] \quad \text{หรือ} \quad y_n = 0$$

เมื่อแทนสัมประสิทธิ์ x_0, x_n และ y_n ของอนุกรมฟูเรียร์ในสมการ
(2) จะได้สมการของสวิตชิงฟังก์ชันดังนี้

$$S(\omega_s t) = D + \sum_{k=1}^{\infty} \frac{2 \sin(k D \pi)}{\pi k} \cos k \omega_s t + \sum_{k=1}^{\infty} (0) \sin k \omega_s t \quad (3)$$

$$S(\omega_s t) = D + \frac{2 \sin(D\pi)}{\pi} \cos(\omega_s t) + \frac{2 \sin(D\pi)}{\pi} \cos(\omega_s t) + \dots + \frac{2 \sin(D\pi)}{\pi} \cos(n \omega_s t): k = 1, 2, 3, \dots n \quad (4)$$

โดยที่ ω_s ความถี่เชิงมุมของสวิตชิงฟังก์ชัน $S(\omega_s t)$

k ลำดับฮาร์โมนิกของสวิตชิงฟังก์ชัน = 1, 2, 3,

เมื่อนำสมการ (3) ของสวิตชิงฟังก์ชันคูณกับสมการของ
แรงดันคลื่น 50 เฮิร์ตซ์ จะได้สมการของแรงดันเอาต์พุต $V_{o,s}$ ดังนี้
 $v_{o,s}(t) = v_s(t) S(\omega_s t)$

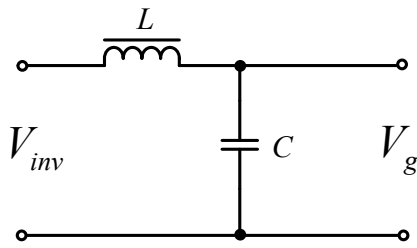
$$= D\sqrt{2}V_s \cos(\omega t) + \sum_{k=1}^{\infty} \sqrt{2}V_{o,sk} \cos[(k\omega_s \pm \omega)t] \quad (5)$$

โดยที่ $V_{o,sk}$ คือค่า rms ขององค์ประกอบฮาร์มอนิกลำดับที่ k ซึ่งมีค่าเป็น

$$v_{o,sk} = V_s \sin(kD\pi) / k\pi \quad (6)$$

3.1 วงจรกรองความถี่ต่ำ (LC Filter)

ไฟฟ้ากระแสสลับที่ได้หลังจากผ่านวงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสสลับนั้น จะมีความถี่ที่สูงกว่า 50 Hz ปนอยู่จึงต้องทำการกรองออกด้วยวงจรกรองความถี่ต่ำ



ภาพที่ 11 วงจรกรองความถี่ต่ำ

เพื่อลดทอนองค์ประกอบฮาร์มอนิกนี้ออกไปจึงเลือกความถี่เรโซแนนซ์ของวงจรค่าประมาณ 20 เท่าของความถี่มูลฐาน และต่ำกว่าความถี่การสวิตช์ 20 เท่าด้วยเช่นกันเพื่อให้ช่วยให้การขยายเกนของวงจรกรองที่ความถี่ 20 กิโลเฮิร์ตซ์ มีค่าต่ำกว่า -40 dB หรือ 0.01

$$\text{จาก } f_r = f \times 20 \quad (7)$$

$$f_r = 50\text{Hz} \times 20$$

$$f_r = 1\text{kHz}$$

เมื่อได้ความถี่เรโซแนนซ์สามารถหาค่าแอลซีฟิลเตอร์ได้จากสมการที่ (7)

$$\text{จาก } f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (8)$$

$$LC = \frac{1}{(2 \times 3.14 \times 1 \times 10^3)^2}$$

$$LC = 25.3 \times 10^{-9}$$

นำค่าที่ได้จากสมการที่ (8) มาหาค่าแอลซีฟิลเตอร์โดยการกำหนดค่าซีฟิลเตอร์ เพื่อสะดวกต่อการออกแบบวงจรฟิลเตอร์ จึงเลือกค่าซีฟิลเตอร์ที่มีอยู่คือ 14 ไมโครฟารัด

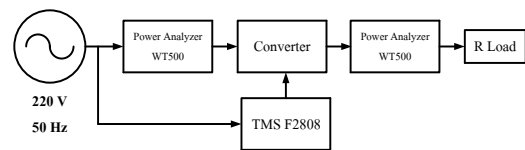
$$C = 14\mu\text{F}$$

$$L = \frac{(25.3 \times 10^{-9})}{(14 \times 10^{-6})}$$

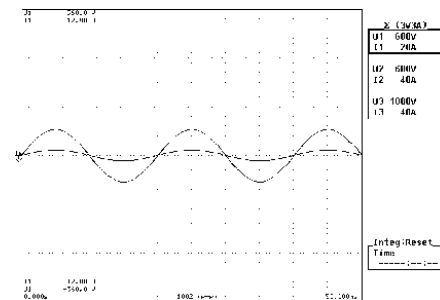
$$L = 1.8\text{mH}$$

4. การทดสอบค่ากระแสและแรงดันทางด้านเอาต์พุต

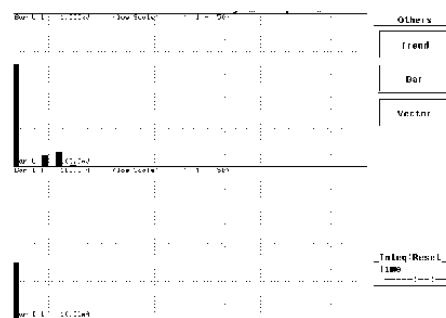
การทดสอบค่ากระแสและแรงดันทางด้านเอาต์พุตที่โหลดความต้านทาน 150 โอห์ม 300 วัตต์ โดยการวัดค่ากระแสและแรงดันทางด้านออกโดยใช้เครื่องวัด Power Analyzer รุ่น WT500 ดังภาพที่ 12



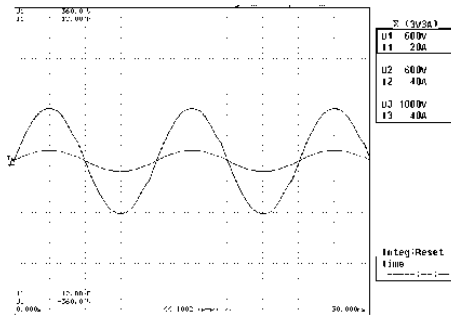
ภาพที่ 12 บล็อกไดอะแกรมการทดสอบขณะโหลดความต้านทาน 300 วัตต์



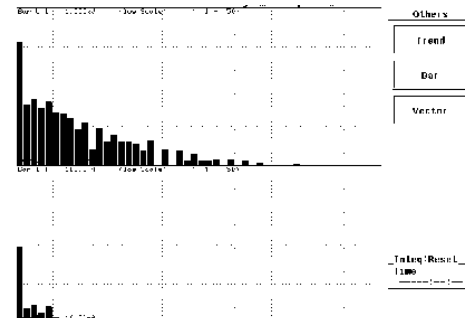
ภาพที่ 13 แรงดันเอาต์พุต 45.68 โวลต์และกระแส 0.305 แอมแปร์ที่โหลด 300 วัตต์ ปรับดิฟเฟอเรนเชียล 20%



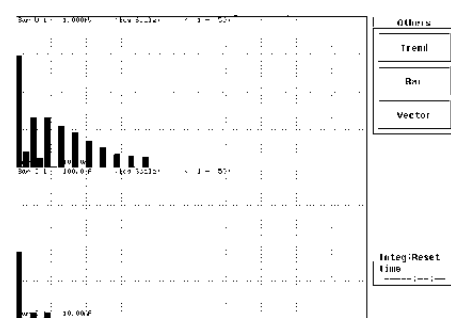
ภาพที่ 14 สเปกตรัมของแรงดันเอาต์พุต (บน) และกระแส (ล่าง) ที่โหลด 300 วัตต์ ปรับดิฟเฟอเรนเชียล 20%



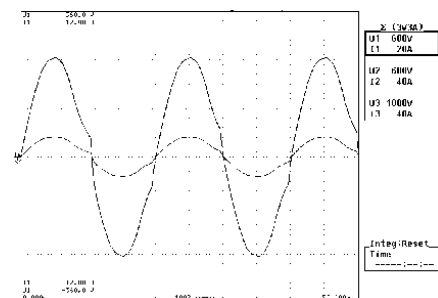
ภาพที่ 15 แรงดันเอาต์พุต 88.10 โวลต์และกระแส 0.587 แอมแปร์ที่โหลด 300 วัตต์ ปรับดิวิตีเซเคิล40%



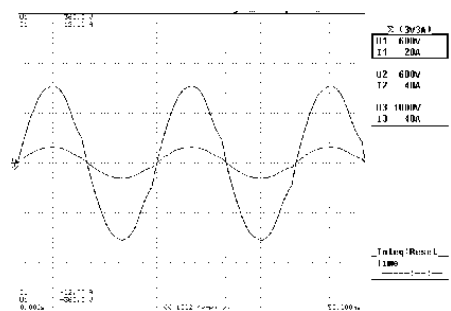
ภาพที่ 18 สเปกตรัมของแรงดันเอาต์พุต (บน) และกระแส (ล่าง) ที่โหลด 300 วัตต์ ปรับดิวิตีเซเคิล60%



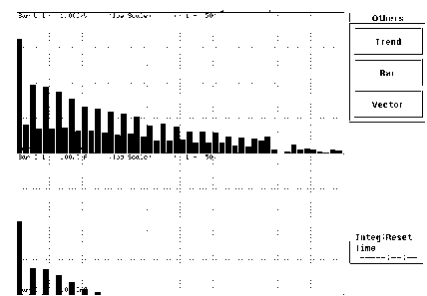
ภาพที่ 16 สเปกตรัมของแรงดันเอาต์พุต (บน) และกระแส (ล่าง) ที่โหลด 300 วัตต์ ปรับดิวิตีเซเคิล40%



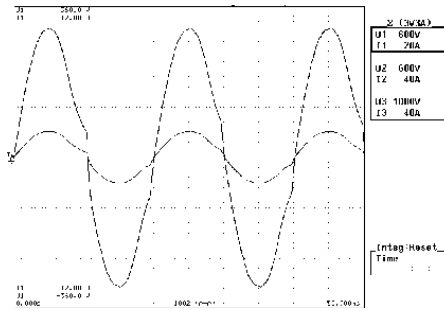
ภาพที่ 19 แรงดันเอาต์พุต 176.10โวลต์และกระแส 1.173 แอมแปร์ที่โหลด 300 วัตต์ ปรับดิวิตีเซเคิล80%



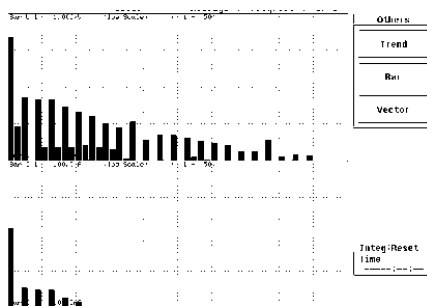
ภาพที่ 17 แรงดันเอาต์พุต 132.73 โวลต์และกระแส 0.883 แอมแปร์ที่โหลด 300 วัตต์ ปรับดิวิตีเซเคิล60%



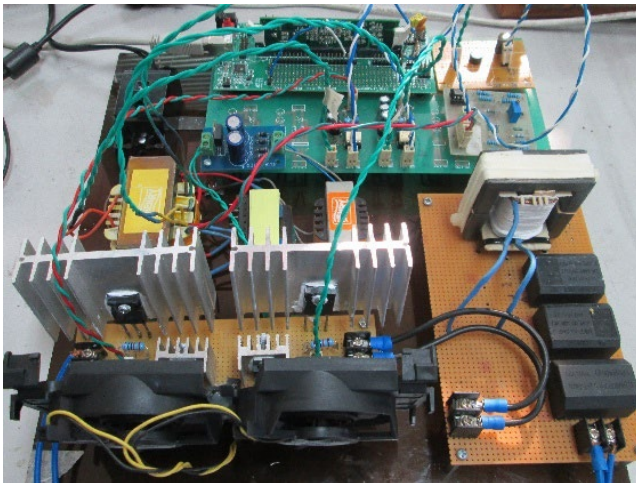
ภาพที่ 20 สเปกตรัมของแรงดันเอาต์พุต (บน) และกระแส (ล่าง) ที่โหลด 300 วัตต์ ปรับดิวิตีเซเคิล80%



ภาพที่ 21 แรงดันเอาต์พุต 220.74 โวลต์และกระแส 1.467 แอมแปร์ที่โหลด 300 วัตต์ปรับดิวตีไซเคิล 95%



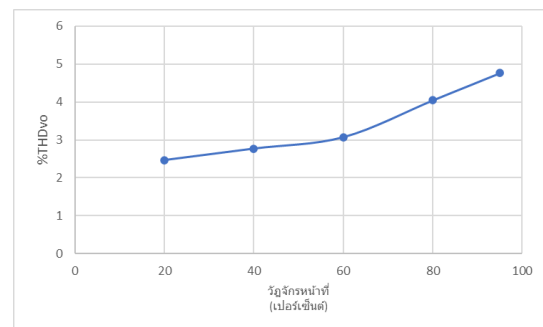
ภาพที่ 22 สเปกตรัมของแรงดันเอาต์พุต (บน) และกระแส (ล่าง) ที่โหลด 300 วัตต์ ปรับดิวตีไซเคิล 95



ภาพที่ 23 ชุดวงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสสลับหนึ่งเฟสที่ใช้ในงานวิจัย

ตารางที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเพี้ยนฮาร์มอนิกของแรงดันเอาต์พุตขณะปรับดิวตีไซเคิลทดสอบโหลดความต้านทาน 300 วัตต์

ดิวตีไซเคิล (%)	แรงดันอินพุต (โวลต์)	แรงดันเอาต์พุต (โวลต์)	ค่าความเพี้ยนฮาร์มอนิกของแรงดันเอาต์พุต
20	≈ 160	46.04	2.462
40	≈ 165	87.98	2.767
60	≈ 180	132.68	3.069
80	≈ 200	175.89	4.043
95	≈ 240	220.05	4.762



ภาพที่ 24 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเพี้ยนฮาร์มอนิกของแรงดันเอาต์พุตขณะปรับค่าดิวตีไซเคิล

5. สรุปผล

วงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสสลับ (AC-AC Converter) แบบหนึ่งเฟส ได้ทำการทดสอบการทำงานในสภาวะไม่มีโหลด (No-load Condition) โดยทดลองปรับค่าดิวตีไซเคิล (Duty Cycle) ของวงจรตั้งแต่ 10% ถึง 95% โดยเพิ่มครั้งละ 10% ผลการทดลองพบว่า ค่าแรงดันเอาต์พุต (Output Voltage) มีความแปรผันในทิศทางเดียวกับค่าดิวตีไซเคิล เมื่อเพิ่มค่าดิวตีไซเคิล แรงดันเอาต์พุตจะเพิ่มขึ้นตามสัดส่วน เครื่องต้นแบบที่ใช้ในการทดลองสามารถควบคุมแรงดันเอาต์พุตกระแสสลับได้ในช่วง 0 – 220 โวลต์ โดยการปรับค่าดิวตีไซเคิล ซึ่งผลการทดลองของเครื่องต้นแบบสามารถปรับแรงดันเอาต์พุตได้ตามที่ออกแบบไว้จริง นอกจากนี้ ได้ทำการทดสอบการทำงานของวงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสสลับร่วมกับวงจรแอลซีฟิลเตอร์ (LC Filter) ผลปรากฏว่า รูปคลื่นไซน์ของแรงดันเอาต์พุตที่ผ่านวงจรแอลซีฟิลเตอร์มีความ

เพี้ยนของคลื่น (Harmonic Distortion) ต่ำกว่ารูปคลื่นก่อนผ่านฟิลเตอร์อย่างชัดเจน โดยวงจรแอลซีฟิลเตอร์สามารถกรองสัญญาณความถี่สูงที่เกิดจากการสวิตชิง (Switching Frequency) ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ส่งผลให้แรงดันเอาต์พุตมีสัญญาณรบกวนน้อยลง และมีลักษณะใกล้เคียงกับรูปคลื่นไซน์มากยิ่งขึ้น จากผลการทดลองข้างต้น สามารถสรุปได้ว่า วงจรแอลซีฟิลเตอร์มีบทบาทสำคัญในการลดทอนความถี่สูงและปรับปรุงคุณภาพของแรงดันเอาต์พุตได้

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] สุทนต์ คำมี, และสันติ โพธิ์ทอง. 2555. อินเวอร์เตอร์หนึ่งเฟสแบบต่อเข้าระบบจำหน่ายด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ TMS320F2808. วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและโทรคมนาคม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ.
- [2] วิโรจน์ เพชรพันธุ์ศรี. 2546. อิเล็กทรอนิกส์กำลัง 1. กรุงเทพฯ : สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตเทคนิคกรุงเทพ.
- [3] T. Hiyama and A. Ueno, "Development of real time power system simulator in MATLAB/Simulink environment," in Proc. IEEE Power Eng. Soc. Summer Meeting, Seattle, WA, July 16–20, 2000.
- [4] J. Mahseredjian and F. Alvarado, "Creating an electromagnetic transient program in MATLAB: MatEMTP," IEEE Trans. Power Delivery, vol. 12, pp. 380–388, Jan. 1997.
- [5] Hydro-Quebec and TEQSIM International, "Power system blockset for use with Simulink," The Mathworks Inc., Natick, MA, 2001.
- [6] K. Schoder, A. Hasanović, and A. Feliachi, "Load-flow and dynamic model of the Unified Power Flow Controller (UPFC) within the Power System Toolbox (PST)," in Proc. IEEE Midwest Symp. Circuits Syst., Lansing, MI, August 8–11, 2000.
- [7] D. Logue and P. T. Krein, "Simulation of electric machinery and power electronics interfacing using MATLAB/SIMULINK," in 7th Workshop Computers in Power Electronics, 2000, pp. 34–39.
- [8] P. Alexakis, O. Alatise, L. Ran, and P. Mawby, "Modeling power converters using hard switched silicon carbide MOSFETs and Schottky barrier diodes," in Proc. 15th Eur. Conf. Power Electron. Appl. (EPE), Lille, France, 2013, pp. 1–9.
- [9] Y. Cui, M. Chinthavali, and L. M. Tolbert, "Temperature dependent Pspice model of silicon carbide power MOSFET," in Proc. 27th Annu. IEEE Appl. Power Electron. Conf. Expo. (APEC), Feb. 2012, pp. 1698–1704.
- [10] N. L. Panwar, V. S. Reddy, K. R. Ranjan, M. M. Seepana, and P. Totlani, "Sustainable development with renewable energy resources: A review," World Rev. Sci., Technol. Sustain Develop., vol. 10, no. 4, pp. 163–184, 2013.
- [11] P. T. Le, H.-L. Tsai, and T. H. Lam, "A wireless visualization monitoring, evaluation system for commercial photovoltaic modules solely in MATLAB/Simulink environment," Solar Energy vol. 140, pp. 1–11, Dec. 2016.
- [12] A. Bouraiou, M. Hamouda, A. Chaker, M. Sadok, M. Mostefaoui, and S. Lachtar, "Modeling and simulation of photovoltaic module and array based on one and two diode model using MATLAB/Simulink," Energy Procedia, vol. 74, pp 864–877, Aug. 2015
- [13] A. Rai, B. Awasthi, A. Dixit, and C. K. Dwivedi, "Modeling of solar photovoltaic module and study parameter variation effect using MATLAB/Simulink," in Proc. Int. Conf. IEEE Control, Comput., Commun. Mater., Oct. 2016, pp. 1–6
- [14] I. Abdulrahman and G. Radman, "Simulink-based program for simulating multi-machine power systems," in Proc. IEEE Power Energy Soc. Gen. Meeting (PESGM), Portland, OR, USA, Aug. 2018, pp. 1–5.
- [15] I. Abdulrahman and G. Radman, "Simulink-based programs for power system dynamic analysis," in Electrical Engineering, vol. 101, no. 2. Berlin, Germany: Springer, Jun. 2019, pp. 345–356.
- [16] MATLAB-Based Programs for Power System Dynamic Analysis. Accessed: Jun. 29, 2019. [Online]. Available: https://www.dropbox.com/s/jekdjhpdc1u9198/MATLAB_All_Programs.zip?dl=0
- [17] Chakkuchan, P., Chudjuarjeen, S., Phankong, N., Dangeam, S., Nawong, M., & Nintanavongsa, P. Full-Bridge Current Source Inverter Using Pulse Density Control for Induction Preheating of Welding Application. 2022 25th International Conference on Electrical Machines and Systems (ICEMS). IEEE, 2022. p. 1-4
- [18] Dolara, A., Leva, S., Manzolini, G., Comparison of different physical models for pv power output prediction. Sol. Energy 119, pp.83-99, 2015.
- [19] Chakkuchan P., Chudjuarjeen S., & Phankong N., Pulse frequency density modulation full bridge for induction preheating application of stainless steel welding. *Archives of Materials Science and Engineering*, 2024, 127.1.