

วงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสสลับเป็นกระแสสลับหนึ่งเฟสปรับค่าได้ด้วยบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์

Adjustable Single-Phase AC to AC Converter Using Microcontroller Board

พูนศรี วรณการ¹ บุรพา มหธานาวุฒิพันธ์¹ อินทัช ฉันทสัมพันธ์¹ ภิญโญ อึ้งยฐ¹

ศาสตราจารย์ ดร. วุฒิพัฒน์พันธ์¹ และรัฐโชติ รักไทยเจริญชีพ^{*}

¹สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

nattachote.r@rmutp.ac.th^{*}

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอวงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสสลับเป็นกระแสสลับหนึ่งเฟสปรับค่าได้ด้วยบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ สร้างขึ้นด้วยหลักการปรับมุมจุดชนวนของอุปกรณ์ไทรสเตอร์ซึ่งงานนี้เลือกใช้ชนิดไตรแอคโดยใช้บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino UNO R3 เป็นตัวควบคุม โดยปกติชุดควบคุมจะติดตั้งในพื้นที่เดียวกับวงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสสลับเป็นกระแสสลับหนึ่งเฟสหรือเรียกว่าคอนเวอร์เตอร์ แต่ในงานวิจัยนี้ชุดควบคุมสามารถติดตั้งคนละพื้นที่กับคอนเวอร์เตอร์ได้โดยใช้วงจรรับสัญญาณจากชุดควบคุมเพื่อไปปรับมุมจุดชนวนของไทรสเตอร์ในคอนเวอร์เตอร์ เมื่อสร้างคอนเวอร์เตอร์เสร็จแล้วจะทำการทดลองความแม่นยำของชุดควบคุมได้ผลการทดลองเป็นที่น่าพอใจ

คำสำคัญ : วงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสสลับเป็นกระแสสลับหนึ่งเฟส, Arduino UNO R3, ไตรแอค

Abstract

This paper presents the construction of a single-phase AC-AC converter that is adjustable using a microcontroller board. It is built on the principle of adjusting the trigger angle of the thyristor device, which the TRIAC is chosen for this work, and using the Arduino UNO R3 microcontroller board as a controller. The control unit is usually installed in the same area as the single-phase AC to AC converter, also known as a converter. In this work, the controller can be installed in a different area from the converter by using the signal receiving circuit from the controller to adjust the trigger angle of the Thyristor in the converter. Once the converter is completed, the control unit accuracy. The experimental results were found to be satisfactory.

Keywords: Single-phase AC to AC converter, Arduino UNO R3, TRIAC

1. บทนำ

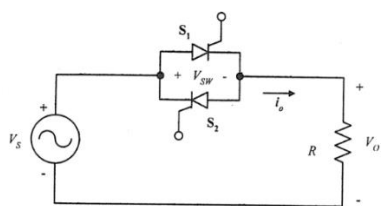
ในปัจจุบันระบบไฟฟ้ากระแสสลับถือเป็นแหล่งพลังงานหลักที่ถูกใช้งานอย่างแพร่หลาย ไม่ว่าจะเป็นภาคอุตสาหกรรม ภาคเกษตรกรรม หรือภาคครัวเรือน อุปกรณ์ไฟฟ้าหลากหลายประเภทมีข้อกำหนดของแรงดันไฟฟ้าและความถี่ที่แตกต่างกันเพื่อให้สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพและปลอดภัย อย่างไรก็ตาม การควบคุมและปรับค่าแรงดันหรือความถี่ของไฟฟ้ากระแสสลับในระบบปัจจุบันยังคงมีข้อจำกัดอยู่มากหนึ่งในปัญหาหลักที่พบคือ ระบบการควบคุมแรงดันไฟฟ้าและความถี่แบบดั้งเดิมต้องอาศัยการปรับค่าผ่านตัวเครื่องโดยตรง หรือใช้ระบบควบคุมอัตโนมัติที่มีราคาสูงและมีความซับซ้อนสูง ซึ่งอาจไม่สะดวกสำหรับผู้ใช้งานทั่วไป นอกจากนี้ ในภาคอุตสาหกรรมที่มีการใช้มอเตอร์ไฟฟ้า เครื่องกลไฟฟ้า หรือระบบควบคุมที่ต้องการแรงดันและความถี่ที่เหมาะสม [1,2] ระบบที่สามารถปรับค่าจากระยะไกลได้จะช่วยลดภาระงาน ลดความผิดพลาด และเพิ่มประสิทธิภาพในการดำเนินงาน นอกจากนี้มอเตอร์เหนี่ยวนำหนึ่งเฟสยังได้รับความนิยมเนื่องจากโครงสร้างที่เรียบง่าย มีความทนทาน และต้นทุนต่ำ [1]-[3]

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นไปที่การพัฒนา วงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสสลับเป็นกระแสสลับหนึ่งเฟสปรับค่าได้ควบคุมด้วยบอร์ด Arduino Uno R3 ควบคุมไตรแอค และใช้ Zero Crossing Detection (ZCD) เพื่อกำหนดมุมเฟสของสัญญาณไฟฟ้า การออกแบบระบบนี้จะช่วยให้สามารถปรับระดับแรงดันไฟฟ้าได้อย่างแม่นยำผ่าน Serial Monitor หรือสื่อสารผ่านเครือข่ายจากระยะไกล ซึ่งเหมาะสำหรับงานที่ต้องการควบคุมพลังงานไฟฟ้าแบบไดนามิก เช่น การควบคุมความสว่างของหลอดไฟ การควบคุมความเร็วพัดลม หรือการควบคุมโหลดไฟฟ้าในอุตสาหกรรม การนำระบบควบคุมจากระยะไกลมาช่วยเพิ่มความสะดวก ซึ่งเป็นแนวทางหนึ่งในการพัฒนาเทคโนโลยีด้านการจัดการพลังงานไฟฟ้า

โดยงานวิจัยนี้ได้พัฒนางจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสสลับเป็นกระแสสลับหนึ่งเฟสปรับค่าได้ควบคุมด้วยบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์โดยสามารถควบคุมผ่านอินเทอร์เน็ตหรือเครือข่ายไร้สาย มีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มความยืดหยุ่นและช่วยเพิ่มความปลอดภัยในการใช้งานไฟฟ้า

^{*}รัฐโชติ รักไทยเจริญชีพ; nattachote.r@rmutp.ac.th

2. วงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสสลับหนึ่งเฟส



รูปที่ 1 วงจรเรียงกระแสหนึ่งเฟสเต็มคลื่นแบบควบคุมเฟส

วงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสสลับเป็นกระแสสลับหนึ่งเฟส มีวงจรการทำงานเบื้องต้นดังแสดงในรูปที่ 1 โดยใช้ทรานซิสเตอร์สองตัวและกลีบทิศทาง ซึ่งมีหลักการคล้ายกับการควบคุมวงจรเรียงกระแสไฟฟ้าซึ่งควบคุมได้แค่ครึ่งไซเคิลบวก แต่วงจรนี้สามารถควบคุมได้ทั้งครึ่งไซเคิลบวกและครึ่งไซเคิลลบ โดยมีขั้นตอนการทำงานและข้อสังเกตดังนี้

2.1) ทรานซิสเตอร์ทั้งสองตัวจะต้องไม่ทำงานพร้อมกัน

2.2) แรงดันไฟฟ้าตกคร่อมโหลดจะเหมือนกับแรงดันไฟฟ้าที่แหล่งจ่ายเมื่อทรานซิสเตอร์แต่ละตัวนำกระแสที่มุม 0 องศา ทำให้แรงดันไฟฟ้าตกคร่อมทรานซิสเตอร์มีค่าเป็นศูนย์

2.3) แรงดันไฟฟ้าตกคร่อมทรานซิสเตอร์จะใกล้เคียงศูนย์ เมื่อทรานซิสเตอร์ตัวใดตัวหนึ่งนำกระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้าตกคร่อมทรานซิสเตอร์เท่ากับแรงดันไฟฟ้าที่แหล่งจ่ายเมื่อทรานซิสเตอร์ทั้งสองตัวไม่นำกระแส

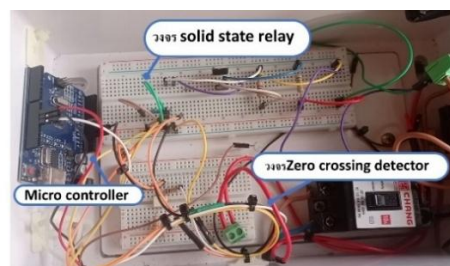
2.4) กระแสไฟฟ้าเฉลี่ยที่แหล่งจ่ายและโหลดจะมีค่าเป็นศูนย์ เมื่อทรานซิสเตอร์มีช่วงเวลาการนำกระแสไฟฟ้าเท่ากัน แต่กระแสไฟฟ้าเฉลี่ยของทรานซิสเตอร์แต่ละตัวจะไม่เท่ากัน เพราะทรานซิสเตอร์แต่ละตัวจะนำกระแสไฟฟ้าในช่วงบวก และอีกตัวหนึ่งจะนำกระแสในช่วงลบของแหล่งจ่าย

2.5) กรณีที่ทรานซิสเตอร์ทั้งสองตัวมีเวลานำกระแสไฟฟ้าเท่ากัน ค่ารากกำลังสองเฉลี่ยกระแสไฟฟ้าของทรานซิสเตอร์แต่ละตัวจะมีค่าเป็น $1/\sqrt{2}$ เท่าของค่ารากกำลังสองเฉลี่ยของกระแสโหลด

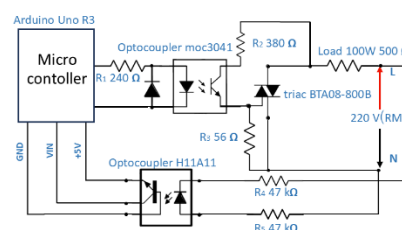
ในวงจรรูปที่ 1 ทรานซิสเตอร์ S_1 จะนำกระแสเมื่อมีการจ่ายกระแสเกตในช่วงครึ่งบวกของแหล่งจ่าย ทรานซิสเตอร์ S_1 จะนำกระแสจนกระทั่งกระแสลดลงเป็นศูนย์ ช่วงนี้แรงดันโหลดจะเป็นบวก ส่วนทรานซิสเตอร์ S_2 จะนำกระแสเมื่อมีการจ่ายกระแสเกตในช่วงครึ่งลบของแหล่งจ่าย ช่วงนี้แรงดันโหลดจะเป็นลบ [4]

3. หลักการและการออกแบบ

การออกแบบในงานวิจัยนี้คือเพื่อสร้างวงจรควบคุมแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ ที่สามารถปรับค่าแรงดันได้ตามต้องการโดยใช้หลักการหวนมุมเฟส (Phase Angle Control) ผ่านไมโครคอนโทรลเลอร์แบบ back-to-back ดังแสดงในรูปที่ 2 และรูปที่ 3 เพื่อควบคุมพลังงานที่จ่ายไปยังโหลดอย่างแม่นยำ โดยระบบจะสามารถควบคุมได้จากระยะไกลผ่านวงจรควบคุมแยกต่างหาก ซึ่งเหมาะกับการที่ต้องการควบคุมโหลดไฟฟ้าแบบยืดหยุ่น เช่น ระบบให้ความร้อน หรือมอเตอร์ไฟฟ้า



รูปที่ 2 วงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสสลับเป็นกระแสสลับหนึ่งเฟสแบบปรับค่าได้ควบคุมด้วยบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์



รูปที่ 3 ผังภาพวงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสสลับเป็นกระแสสลับหนึ่งเฟสแบบปรับค่าได้ควบคุมด้วยบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์

3.1 โครงสร้างโดยรวม

ในการออกแบบวงจรจริงเลือกใช้ Solid State Relay (SSR) แบบ Random turn-on เนื่องจาก SSR แบบ Zero Crossing แม้จะมีคุณสมบัติเปิด-ปิดที่ตำแหน่งคร่อมศูนย์ของสัญญาณ AC (Zero Voltage Switching) แต่มิ่วงจรตรวจจับศูนย์ในตัว จึงไม่สามารถเขียนโค้ดสั่งการจากไมโครคอนโทรลเลอร์ได้ ดังนั้นจึงเลือกใช้แบบ Random turn-on และเพิ่มวงจร Zero Crossing Detector (ZCD) เพื่อให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตรวจจับสัญญาณ AC ที่ตำแหน่งคร่อมศูนย์ได้โดยลดสัญญาณรบกวน (EMI) และลดความเครียดต่อโหลด โดยเฉพาะโหลดความต้านทานต่ำ ข้อมูลที่ได้ใช้สำหรับการหวนมุมเฟส (Delay) เพื่อกระตุ้น SSR ในฝั่งควบคุม โดยไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถตรวจจับสัญญาณ ZCD ได้แม่นยำ สร้างสัญญาณ Trigger ที่ช่วงเวลาตามต้องการ และยังสามารถเชื่อมต่อไปสายเพื่อควบคุมระยะไกลในระบบอัตโนมัติ

3.2 หลักการควบคุมแรงดันด้วยการหวนมุมเฟส (Phase Angle Control)

การควบคุมแรงดันทำได้โดยการหวนมุมการส่งสัญญาณกระตุ้น (Gate Trigger) ไปยัง SSR หรือไทรแอก หลังจากผ่านจุด Zero Crossing ในแต่ละครึ่งรอบของสัญญาณ AC เมื่อวงจร Zero Crossing Detector ตรวจจับตำแหน่งศูนย์ได้ จะส่งสัญญาณให้ไมโครคอนโทรลเลอร์เริ่มนับเวลาจากนั้นหวนตามค่าที่ผู้ใช้กำหนด ($0-135^\circ$) ก่อนส่ง Trigger ไปยังอุปกรณ์สวิตช์ ค่าหวนนี้ปรับได้แบบเรียลไทม์เพื่อควบคุมพลังงานเฉลี่ยที่โหลดได้รับ ตัวอย่างเช่น หวนที่ 90° จะทำให้โหลดได้รับพลังงานเพียงครึ่งหนึ่งของรอบสัญญาณ การทดลองได้ทดสอบค่าหวนหลายระดับเพื่อตรวจสอบผลต่อแรงดันเอาต์พุตซึ่งในเชิงทฤษฎี ค่าแรงดัน RMS ของโหลดเมื่อควบคุมด้วยมุมจุดชนวน α สามารถคำนวณได้จากสมการ (1)

$$V_{rms}(\alpha) = V_{in, rms} \sqrt{1 - \frac{\alpha}{\pi} + \frac{\sin(2\alpha)}{2\pi}} \quad (1)$$

เมื่อ

$V_{rms}(\alpha)$ คือ ค่าแรงดัน RMS ที่โหลด (Volt)

$V_{in, rms}$ คือ ค่าแรงดัน RMS ของอินพุต (Volt)

α คือ มุมจุดชนวน (radian) โดยที่ $0 \leq \alpha \leq \pi$

π คือ ค่าคงที่ทางคณิตศาสตร์ ≈ 3.1416

โดยสมการนี้อธิบายความสัมพันธ์โดยตรงระหว่างมุมหน่วงเฟสกับค่าแรงดันที่โหลด และใช้เป็นพื้นฐานในการเปรียบเทียบกับผลการทดลองทั้งนี้การนิยามและวิเคราะห์ความสัมพันธ์ดังกล่าวอ้างอิงจากงานของ Mohan, Undeland และ Robbins [5] ที่ใช้การวิเคราะห์เฟสเพื่อเชื่อมโยงระหว่างมุมเฟสกับปริมาณไฟฟ้าในระบบควบคุม

3.3 การสื่อสารและควบคุมระยะไกล

ระบบควบคุมระยะไกลทำงานผ่านการสื่อสารไร้สาย โดยใช้โมดูล Bluetooth เชื่อมกับบอร์ด Arduino UNO R3 เพื่อรับค่ามุมเฟส (θ) จากผู้ใช้งาน Serial Monitor หรือแอปพลิเคชันบนสมาร์ทโฟน จากนั้นแปลงเป็นเวลาหน่วง (Delay Time) ก่อนสั่งงาน Solid State Relay (SSR) หรือ ไตรแอก เมื่อวงจรตรวจจับ Zero Crossing ส่งสัญญาณถึงไมโครคอนโทรลเลอร์ จะเริ่มนับเวลาและหน่วงตามค่าที่ผู้ใช้งานกำหนด ($0-135^\circ$) ก่อนส่ง Trigger ไปยัง SSR เพื่อควบคุมมุมการจุดชนวน (trigger angle) ของอุปกรณ์ โดยค่าหน่วงเวลานี้สัมพันธ์กับมุมเฟสที่ต้องการหน่วง ซึ่งสามารถคำนวณได้จากความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างมุมเฟส (องศา) และ คาบของสัญญาณ AC ตามสมการ (2)

$$t = \frac{\theta}{360} \times T \quad (2)$$

เมื่อ

t คือ เวลาที่ใช้หน่วง (s)

θ คือ มุมเฟสที่ต้องการหน่วงเวลา (องศา)

T คือ คาบของสัญญาณ AC หนึ่งรอบ (s)

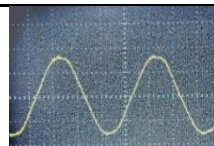
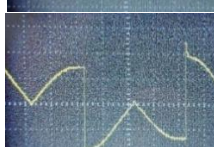
จากการนิยามความยาวเชิงไฟฟ้า (electrical length) ในรูปของมุมเฟส (θ) และพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในหนึ่งคาบ (360°) ของรูปคลื่นไซน์ ตามหลักการที่กล่าวไว้ในงานของ Mohan, Glad และ Ljung [5]-[7] ที่ใช้การวิเคราะห์เฟสเพื่อคำนวณเวลาในระบบควบคุม โดยแสดงให้เห็นว่าความสัมพันธ์ระหว่างเฟสกับเวลาเป็นสัดส่วนเชิงเส้น ดังนั้นเมื่อกำหนดมุมเฟส (θ) ที่ต้องการหน่วง เพื่อใช้กระตุ้นวงจรไตรแอกให้ทำงานตามมุมหน่วงเฟสที่ออกแบบไว้

4. ผลการทดลอง

ทำการทดลองวัดค่าแรงดันที่โหลดและรูปคลื่นของแรงดันที่โหลด ขณะปรับค่ามุมจุดชนวนที่ 0 องศา, 45 องศา, 90 องศา และ 135 องศา โดยใช้โหลดเป็นตัวต้านทานขนาด 100 วัตต์ ซึ่งค่าความต้านทานสามารถ

คำนวณได้จากกฎของโอห์มและนิยามกำลังไฟฟ้า โดยใช้ค่าแรงดันและกำลังที่กำหนดของโหลดจะได้ผลดังแสดงไว้ในตารางที่ 1

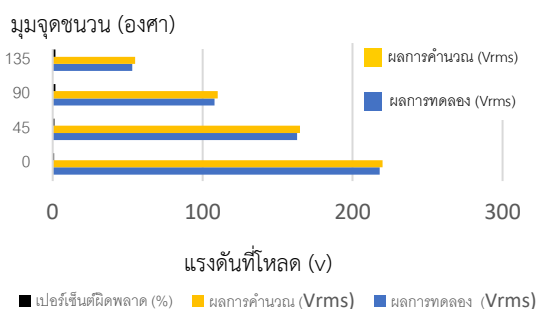
ตารางที่ 1 แสดงค่าแรงดันที่โหลดและรูปคลื่นของแรงดันที่โหลด ขณะปรับค่ามุมจุดชนวนที่มุมต่าง ๆ

มุมจุดชนวน (องศา)	ค่าแรงดันที่โหลด (V_{rms})	รูปคลื่นแรงดัน ที่โหลด(V_{rms})
0	218 V	
45	163 V	
90	108 V	
135	53 V	

จากการใช้มุมจุดชนวนที่ 0 องศา, 45 องศา, 90 องศา และ 135 องศา พบว่าค่าแรงดันที่โหลดและรูปคลื่นที่โหลดมีการเปลี่ยนแปลงดังนี้ เมื่อมุมจุดชนวนที่ 0 องศา รูปคลื่นแรงดันมีลักษณะเป็นคลื่นไซน์สมบูรณ์ ไม่มีการตัดช่วงของคลื่น ส่งผลให้แรงดันรากกำลังสองเฉลี่ย (V_{rms}) และ กำลังไฟฟ้าเฉลี่ย (P) มีค่าสูงสุด ที่มุมจุดชนวน 45 องศา รูปคลื่นแรงดันเริ่มถูกตัดออกในช่วงต้นของแต่ละครึ่งรอบ ส่งผลให้รูปคลื่นมีลักษณะขาดหัว และแรงดันเฉลี่ยที่โหลดลดลงอย่างเห็นได้ชัด เมื่อเพิ่มมุมจุดชนวนเป็น 90 องศา พบว่ารูปคลื่นเริ่มนำกระแสเฉพาะครึ่งหลังของแต่ละครึ่งรอบ โดยแต่ละครึ่งไซเคิลจะเริ่มต้นที่ตำแหน่งจุดสูงสุดของความชัน ส่งผลให้แรงดัน RMS ที่โหลดลดลงมากขึ้น ที่มุมจุดชนวน 135 องศา ช่วงเวลาที่ไตรแอกนำกระแสสั้นที่สุดในรอบไซเคิล ทำให้แรงดันที่จ่ายให้โหลดมีลักษณะเป็นพัลส์แคบ ๆ รูปคลื่นขาดหัวมากที่สุด และค่าแรงดัน RMS ต่ำสุดในบรรดาทั้งหมด ลักษณะของรูปคลื่นแรงดันในแต่ละมุมจุดชนวนดังกล่าวสอดคล้องกับทฤษฎีการควบคุมมุมเฟส โดยพบว่าเมื่อมุมจุดชนวนเพิ่มขึ้น รูปคลื่นจะถูกตัดช่วงมากขึ้น พื้นที่ใต้กราฟลดลง ซึ่งสัมพันธ์โดยตรงกับการลดลงของพลังงานไฟฟ้าที่ส่งไปยังโหลด ผลการทดลองนี้ได้นำค่าแรงดันที่วัดได้ในแต่ละมุมมาเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการคำนวณทางทฤษฎี โดยแสดงในตารางที่ 2 และรูปที่ 4 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ของค่าแรงดันกับมุมจุดชนวนในรูปแบบกราฟ เพื่อช่วยให้เห็นแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงได้อย่างชัดเจน

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบค่าแรงดันที่โหลดระหว่างค่าที่ได้จากการทดลองและค่าที่ได้จากการคำนวณ เมื่อเปลี่ยนมุมจุดชนวนที่มุมต่าง ๆ

มุมจุดชนวน (องศา)	ผลการทดลอง (V_{rms})	ผลการคำนวณ (V_{rms})	เปอร์เซ็นต์ ผิดพลาด (%)
0	218	220	0.91
45	163	165	1.21
90	108	110	1.82
135	53	55	1.89



รูปที่ 4 กราฟแรงดันจากการทดลองและค่าที่คำนวณ

จากผลในตารางที่ 2 และรูปที่ 4 แสดงให้เห็นว่าค่าแรงดันที่โหลดจากการทดลองและจากการคำนวณมีความแตกต่างกันเล็กน้อย โดยสาเหตุของความคลาดเคลื่อนเช่น คอนเวอร์เตอร์ที่สร้างขึ้นมานั้นไม่สามารถหวนเวลาได้ถูกต้องตามทฤษฎีได้อย่างแม่นยำ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของบอร์ดควบคุมที่เลือกใช้ หรือ อาจไม่ได้ใช้วงจรกรองความถี่ แต่ทั้งนี้ค่าแรงดันโหลดที่ได้จากการทดลองอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ ซึ่งสามารถนำไปใช้งานได้จริง ดังนั้นการเลือกใช้อุปกรณ์ต่าง ๆ ในวงจรที่มีความแม่นยำสูง จะช่วยลดปัจจัยที่ทำให้เกิดข้อผิดพลาด และทำให้การทดลองได้ผลลัพธ์ที่ถูกต้องและสอดคล้องกับผลลัพธ์ทางทฤษฎีมากขึ้น

5. สรุปผล

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาและสร้างวงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสสลับเป็นกระแสสลับหนึ่งเฟสที่สามารถปรับค่ามุมจุดชนวนได้ โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino UNO R3 เพื่อให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ทำงานได้ทั้งช่วงครึ่งบวกและครึ่งลบของแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ

จุดเด่นของงานวิจัยนี้คือการแยกชุดควบคุมและชุดกำลังให้อยู่ต่างพื้นที่กัน โดยไมโครคอนโทรลเลอร์จะรับสัญญาณจากชุดรับสัญญาณซึ่งเชื่อมต่อกับชุดควบคุมที่อยู่ในพื้นที่ห่างออกไป ทำให้สามารถควบคุมการจุดชนวนของไมโครคอนโทรลเลอร์ได้ จากการทดลองปรับมุมจุดชนวน 4 ค่า ได้แก่ 0°, 45°, 90° และ 135° โดยใช้โหลดตัวต้านทานขนาด 100 วัตต์

พบว่ารูปคลื่นแรงดันที่โหลดสอดคล้องกับทฤษฎี และค่าแรงดันมีความคลาดเคลื่อนเพียงเล็กน้อย อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ ดังนั้น วงจรแปลงผันที่พัฒนาขึ้นนี้สามารถนำไปใช้งานจริงในกรณีโหลดเป็นชนิดตัวต้านทาน และยังสามารถต่อยอดไปสู่การควบคุมโหลดชนิดอื่น เช่น มอเตอร์เหนี่ยวนำหรือโหลดอิมพีแดนซ์ผสม รวมถึงการขยายไปสู่ระบบไฟฟ้ากระแสสลับสามเฟสที่ควบคุมจากระยะไกล เพื่อรองรับการใช้งานในระดับอุตสาหกรรม

นอกจากนี้ ยังสามารถพัฒนาเพิ่มเติมในด้านการเพิ่มความละเอียดของการควบคุมมุมจุดชนวน การสร้างอินเวอร์เตอร์เฟสผู้ใช้แบบกราดิก และการออกแบบระบบป้องกันความผิดปกติ เพื่อให้ระบบมีความเสถียรและปลอดภัยมากยิ่งขึ้นในเชิงวิศวกรรม

6. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนครที่สนับสนุนการทำวิจัยนี้จนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- [1] G. Kamalapur, S. Shivaleela, M. S. Aspilli, and S. B. Siddaling, "A Single Phase AC-AC Converter with Extinction Angle Control for Single Phase AC Motor," in Proc. 2022 2nd Int. Conf. on Power Electronics & IoT Applications in Renewable Energy and Its Control (PARC), Mathura, India, Jan. 2022, pp. 1-4.
- [2] N. Ashraf, G. Abbas, N. Ullah, S. A. Otaibi, A. Althobaiti, M. Zubair and U. F. Ashraf, "A Bipolar Voltage Gain Boost AC-AC Converter Based on Four Switching Transistors." Applied Sciences, Vol.11, Issue 21, 2021, pp. 1-16.
- [3] S. P. Biswas, Md. S. Uddin, Md. R. Islam, S. Mondal and J. Nath, "A Direct Single-Phase to Three-Phase AC/AC Power Converter." Electronics, Vol.11, Issue 24, 2022, pp. 1-28.
- [4] วีระเชษฐ์ ชันเงิน และ วุฒิพล ธาราธีระเศรษฐ์, อิเล็กทรอนิกส์กำลัง. กรุงเทพฯ: คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. พิมพ์ครั้งที่ 14. กรุงเทพฯ: วิ.เจ. พรินติ้ง, 2557.
- [5] N. Mohan, T. M. Undeland, and W. P. Robbins, Power Electronics: Converters, Applications, and Design, 3rd ed. Hoboken, NJ: Wiley, 2003.
- [6] T. Glad and L. Ljung, Control Theory: Multivariable and Nonlinear Methods. New York: Taylor & Francis, 2000.
- [7] S. Björklund and L. Ljung, "An improved phase method for time-delay estimation," Automatica, Vol.45, Issue 10, 2009, pp.2467-2470.