

การพัฒนาอินเวอร์เตอร์ T-Source ควบคุมด้วยพัลส์วิดท์ มอดูเลชันแบบ Unipolar สำหรับการเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้า

พัชรพงศ์ กันหารินทร์^{1*} นิคม ก้านจักร² และศักดาวุฒิ บุญตัว³

บทคัดย่อ

บทความวิจัยนี้นำเสนอการพัฒนาอินเวอร์เตอร์ T-Source ควบคุมด้วยพัลส์วิดท์มอดูเลชันแบบ Unipolar สำหรับการเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้า โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษา ออกแบบ และสร้างวงจรอินเวอร์เตอร์ T-Source ที่สามารถเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงและแปลงเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับได้ภายในขั้นตอนเดียว วงจรที่พัฒนาขึ้นประกอบด้วยตัวเหนี่ยวนำ 2 ตัว ตัวเก็บประจุ 1 ตัว และไดโอดแบบพินตัวเร็วร่วมกับวงจรอินเวอร์เตอร์แบบฟูลบริดจ์ ซึ่งช่วยลดจำนวนอุปกรณ์เมื่อเปรียบเทียบกับอินเวอร์เตอร์ Z-Source การควบคุมสวิตช์ใช้เทคนิคพัลส์วิดท์มอดูเลชันแบบ Unipolar ผ่านไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล C2000 เบอร์ TMS320F28379D โดยทำการออกแบบและจำลองการทำงานด้วยโปรแกรม MATLAB/Simulink ก่อนสร้างต้นแบบจริง ผลการทดลองพบว่าวงจรสามารถเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้าจากแรงดันอินพุต 100 โวลต์ เป็นแรงดันเอาต์พุต 200 โวลต์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทั้งในสภาวะโหลดเชิงเส้นและโหลดเชิงเหนี่ยวนำ นอกจากนี้รูปคลื่นแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตมีลักษณะใกล้เคียงรูปคลื่นไซน์ และผลการทดลองมีแนวโน้มสอดคล้องกับผลการจำลองวงจรที่พัฒนาขึ้นสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในงานแปลงผันกำลังไฟฟ้าและระบบอิเล็กทรอนิกส์กำลังที่ต้องการการเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้าได้อย่างเหมาะสม

คำสำคัญ: อินเวอร์เตอร์ T-Source Unipolar PWM การเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้า อินเวอร์เตอร์อิเล็กทรอนิกส์กำลัง

¹ สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร

² สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์บูรณาการและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วิทยาเขตจันทบุรี

³ สาขาวิชาวิศวกรรมบูรณาการ คณะวิศวกรรมศาสตร์บูรณาการและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วิทยาเขตจันทบุรี

* ผู้ประสานงานหลัก e-mail: Phatcharaphong_ka@rmutto.ac.th

วันที่รับบทความ 27 พฤษภาคม 2569 วันที่แก้ไขบทความ 24 มิถุนายน 2569 วันที่ตอบรับบทความ 26 มิถุนายน 2569

Development of a T-Source Inverter Controlled by Unipolar Pulse Width Modulation for Voltage Boost Applications

Phatcharaphong kanharin^{1*} Nikom kanjak² and Sakdawut Boontua³

ABSTRACT

This research article presented the development of a T-Source inverter controlled by Unipolar pulse width modulation (PWM) for boost voltage levels. The aim was to study, design, and develop a T-Source inverter circuit that could step up DC voltage and convert it to AC voltage in a single stage. The developed circuit included two inductors, one capacitor, and fast recovery diodes along with a full-bridge inverter, which reduced the number of components compared to a Z-Source inverter. The switch control used Unipolar PWM through a C2000 series TMS320F28379D microcontroller. The design and operation were first simulated using MATLAB/Simulink before developing the actual prototype. Experimental results showed that the circuit could efficiently increase the voltage from an input of 100 volts to an output of 200 volts under both linear and inductive load conditions. In addition, the output voltage waveform was close to a sine wave, and the experimental results tended to match the simulation results. The developed circuit could be applied in power conversion work and power electronics systems that required appropriate voltage boosting.

Keyword: T-Source inverter, Unipolar PWM, voltage boost, inverter, power electronics

¹ Electrical Engineering Program, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Prince of Chumphon

² Electrical Engineering Program, Faculty of Integrated Engineering and Technology, Rajamangala University of Technology Tawan-ok, Chanthaburi Campus

³ Electrical Engineering Program, Faculty of Integrated Engineering and Technology, Rajamangala University of Technology Tawan-ok, Chanthaburi Campus

*Corresponding author e-mail: Phatcharaphong_ka@rmutto.ac.th

Received: May 27, 2026

Revised: Jun 24, 2026

Accepted: Jun 26, 2026

บทนำ

ปัจจุบันระบบแปลงผันกำลังไฟฟ้ามีบทบาทสำคัญอย่างมากในงานด้านอิเล็กทรอนิกส์กำลัง ระบบพลังงานทดแทน ระบบขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้า และระบบจ่ายกำลังไฟฟ้าสมัยใหม่ เนื่องจาก อุปกรณ์ไฟฟ้าหลายชนิดต้องการแรงดันไฟฟ้าและรูปคลื่นที่มีคุณภาพสูงในการทำงาน (Abdeen et al., 2019) อินเวอร์เตอร์จึงถูกนำมาใช้สำหรับแปลงพลังงานไฟฟ้ากระแสตรงให้เป็นพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับเพื่อจ่ายให้กับโหลดประเภทต่าง ๆ โดยเฉพาะงานที่ต้องการควบคุมแรงดันไฟฟ้าและความถี่อย่างมีประสิทธิภาพ (Sivaraman & Desanayagi, 2013) อย่างไรก็ตามอินเวอร์เตอร์แบบดั้งเดิมยังมีข้อจำกัดด้านความสามารถในการเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้า ทำให้จำเป็นต้องใช้งานร่วมกับวงจรบูสคอนเวอร์เตอร์ ส่งผลให้จำนวนอุปกรณ์ในระบบเพิ่มสูงขึ้นและเกิดความสูญเสียกำลังไฟฟ้าในกระบวนการแปลงพลังงาน (Strzelecki et al., 2009)

จากข้อจำกัดดังกล่าว อินเวอร์เตอร์แบบ Z-Source จึงถูกพัฒนาขึ้นเพื่อให้สามารถเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้าและผกผันแรงดันไฟฟ้าได้ภายในขั้นตอนเดียว โดยใช้เครือข่ายอิมพีแดนซ์ระหว่างแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงและวงจรอินเวอร์เตอร์ (Effah et al., 2012) อย่างไรก็ตามอินเวอร์เตอร์ Z-Source ยังคงมีจำนวนอุปกรณ์ที่ค่อนข้างมาก โดยเฉพาะตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุที่ใช้ภายในวงจร ส่งผลต่อขนาด ต้นทุน และความซับซ้อนของระบบ (Oppong et al., 2025) ดังนั้นอินเวอร์เตอร์ T-Source จึงถูกนำเสนอเพื่อพัฒนาต่อยอดจากอินเวอร์เตอร์ Z-Source โดยลดจำนวนอุปกรณ์ลงแต่ยังคงความสามารถในการเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Eswari & Dhanya, 2014) วงจร T-Source ประกอบด้วยตัวเหนี่ยวนำ 2 ตัว ตัวเก็บประจุ 1 ตัว และไดโอดแบบพินตัวเร็ว ซึ่งช่วยลดต้นทุนและลดความสูญเสียภายในระบบเมื่อเปรียบเทียบกับโครงสร้างแบบเดิม (Liu et al., 2020)

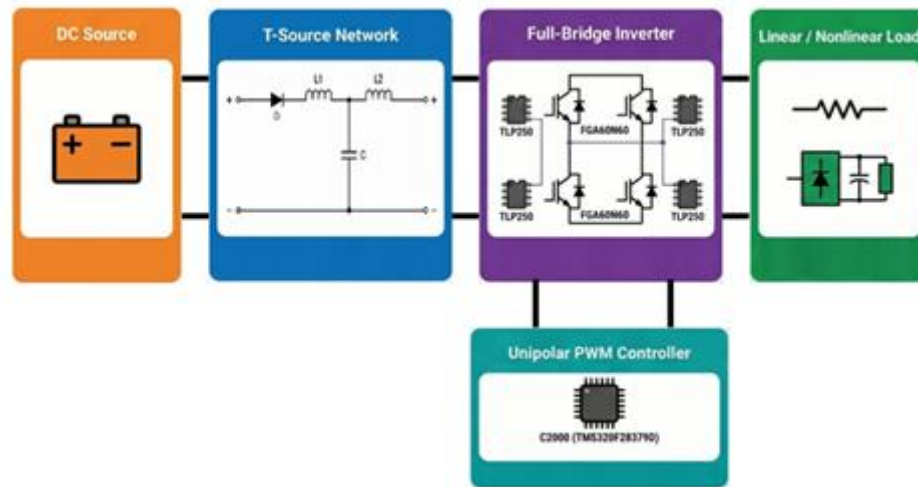
นอกจากนี้ เทคนิคการควบคุมอินเวอร์เตอร์ด้วยพัลส์วิตท์มอดูเลชัน (Pulse Width Modulation: PWM) ยังเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อคุณภาพของแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตและประสิทธิภาพของระบบ (Lakshmi & Kumar, 2023) โดยเฉพาะการสวิตช์แรงดันแบบ Unipolar ซึ่งสามารถลดความผิดเพี้ยนของรูปคลื่นลดฮาร์มอนิก และช่วยให้การกรองสัญญาณความถี่สูงทำได้ง่ายขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการสวิตช์แบบไบโพลาร์ อีกทั้งยังช่วยลดความเครียดทางไฟฟ้าที่เกิดขึ้นกับอุปกรณ์สวิตช์กำลังภายในวงจรอินเวอร์เตอร์ ส่งผลให้ระบบมีประสิทธิภาพและเสถียรภาพในการทำงานที่ดีขึ้น (Sharma et al., 2014)

บทความวิจัยนี้จึงนำเสนอการพัฒนาอินเวอร์เตอร์ T-Source ควบคุมด้วยพัลส์วิตท์มอดูเลชันแบบ Unipolar สำหรับการเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้า โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล C2000 เบอร์ TMS320F28379D เป็นตัวควบคุมการสวิตช์ของอินเวอร์เตอร์ การดำเนินงานเริ่มจาก

การศึกษาและออกแบบวงจร T-Source การจำลองการทำงานด้วยโปรแกรม MATLAB/Simulink และการสร้างต้นแบบจริงเพื่อทดสอบการทำงานกับโหลดเชิงเส้นและโหลดไม่เชิงเส้น รวมถึงวิเคราะห์ประสิทธิภาพของระบบจากผลการทดลองที่ได้ ทั้งนี้เพื่อประเมินความสามารถในการเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้าและคุณภาพของแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตของวงจรที่พัฒนาขึ้น ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในงานด้านระบบแปลงผันกำลังไฟฟ้าและงานอิเล็กทรอนิกส์กำลังได้อย่างเหมาะสม โดยมีเป้าหมายเพื่อพัฒนาต้นแบบอินเวอร์เตอร์ที่สามารถเพิ่มระดับแรงดันและแปลงผันพลังงานภายในขั้นตอนเดียวเพื่อลดจำนวนอุปกรณ์ ลดต้นทุน และเพิ่มประสิทธิภาพของระบบอิเล็กทรอนิกส์กำลังสำหรับงานพลังงานทดแทนและระบบขับเคลื่อนไฟฟ้า

วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาอินเวอร์เตอร์ T-Source ควบคุมด้วยพัลส์วิดท์มอดูเลชันแบบ Unipolar สำหรับการเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้า โดยมีขั้นตอนการดำเนินงานประกอบด้วย การศึกษาและออกแบบวงจร T-Source การออกแบบวงจรอินเวอร์เตอร์ การสร้างสัญญาณควบคุมด้วยเทคนิค Unipolar PWM การจำลองการทำงานด้วยโปรแกรม MATLAB/Simulink และการสร้างต้นแบบจริงเพื่อทดสอบประสิทธิภาพของระบบภายใต้โหลดเชิงเส้นและโหลดเชิงเหนี่ยวนำ โดยการทดสอบแบ่งออกเป็น การทดสอบการเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้าของวงจร T-Source และการทดสอบการจ่ายโหลดสองประเภท ได้แก่ โหลดเชิงเส้น (linear load) และโหลดเชิงเหนี่ยวนำ (inductive load) โดยโหลดเชิงเส้นที่ใช้ในการทดลองเป็นตัวต้านทานกำลัง (resistive load) ขนาด 100 โอห์ม ส่วนโหลดเชิงเหนี่ยวนำที่ใช้ในการทดลองเป็นมอเตอร์เหนี่ยวนำกระแสสลับ (Single-Phase Induction Motor) ซึ่งถูกเลือกใช้เพื่อศึกษาพฤติกรรมของระบบภายใต้สภาวะโหลดที่มีคุณลักษณะทางอิมพีแดนซ์แตกต่างจากโหลดความต้านทาน ซึ่งโครงสร้างโดยรวมของระบบอินเวอร์เตอร์ T-Source ที่พัฒนาขึ้น แสดงดังรูปที่ 1



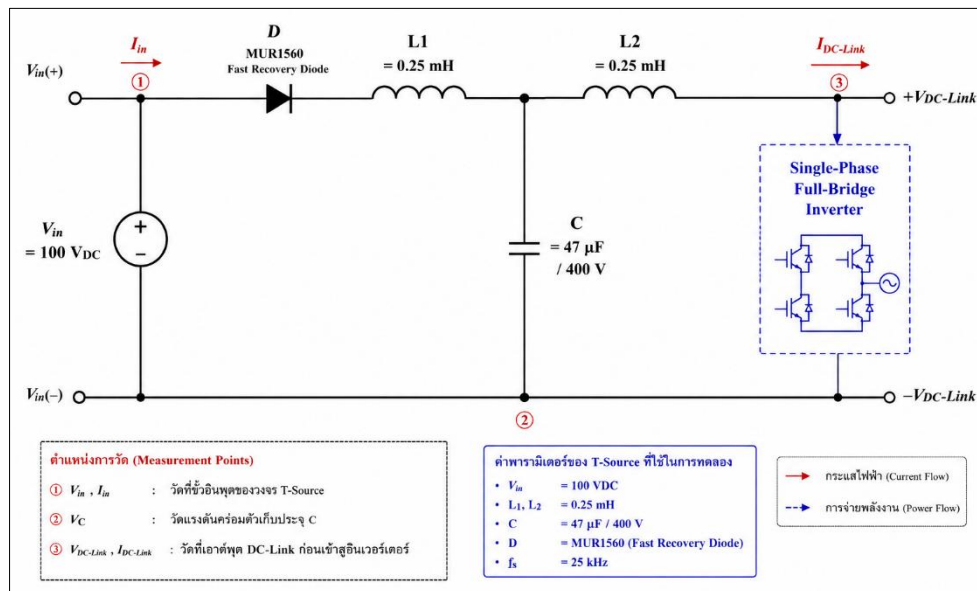
รูปที่ 1 โครงสร้างโดยรวมของระบบอินเวอร์เตอร์ T-Source ที่พัฒนาขึ้น

วงจร T-Source ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ประกอบด้วยตัวเหนี่ยวนำ 2 ตัว ตัวเก็บประจุ 1 ตัว และไดโอดแบบพินตัวเร็ว ทำหน้าที่เพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงก่อนจ่ายเข้าสู่วงจรอินเวอร์เตอร์แบบฟูลบริดจ์ (Liu et al., 2020) โดยกำหนดค่าพารามิเตอร์ของระบบประกอบด้วยแรงดันไฟฟ้าอินพุต 100 โวลต์ แรงดันไฟฟ้าเอาต์พุต 200 โวลต์ ความถี่สวิตช์ 25 กิโลเฮิร์ตซ์ และโหลดความต้านทาน 100 โอห์ม การคำนวณค่าตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุอาศัยหลักการออกแบบวงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์ เพื่อให้สามารถเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้าได้อย่างเหมาะสม โดยค่าตัวเหนี่ยวนำที่คำนวณได้มีค่าเท่ากับ 0.25 มิลลิเฮนรี และเลือกใช้ตัวเก็บประจุขนาด 47 ไมโครฟารัด ทนแรงดัน 400 โวลต์ สำหรับไดโอดเลือกใช้เบอร์ MUR1560 เนื่องจากมีคุณสมบัติการพินตัวเร็วและรองรับการสวิตช์ที่สูงได้ดี (Alarcón-Maza et al., 2023) โดยมีสมการการหาค่าตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุ ดังนี้

$$L = \frac{V_{in} D}{f_s \Delta I_L} \quad (1)$$

$$C = \frac{I_o D}{f_s \Delta V_C} \quad (2)$$

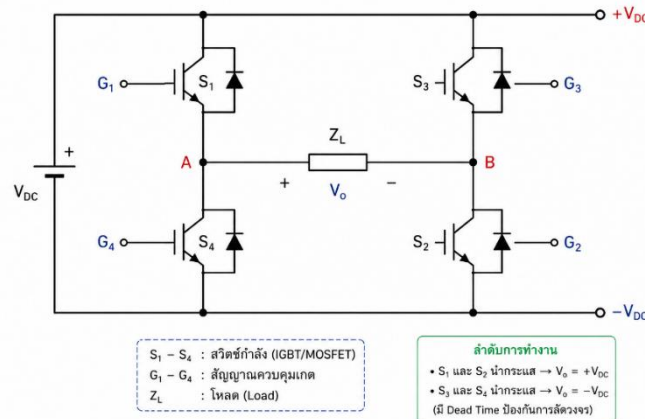
โครงสร้างของวงจร T-Source ที่ใช้ในการเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้า แสดงดังรูปที่ 2 โดยประกอบด้วยตัวเหนี่ยวนำ $L1$ และ $L2$ ตัวเก็บประจุ C และไดโอด D ซึ่งทำหน้าที่สร้างโครงข่ายอิมพีแดนซ์สำหรับเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงก่อนจ่ายเข้าสู่วงจรอินเวอร์เตอร์



รูปที่ 2 โครงสร้างวงจร T-Source ที่ใช้ในการเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้า

รูปที่ 2 แสดงโครงสร้างวงจร T-Source ที่ใช้ในการศึกษาซึ่งประกอบด้วยตัวเหนี่ยวนำสองตัว ($L1$ และ $L2$) ตัวเก็บประจุ (C) และไดโอด (D) โดยองค์ประกอบดังกล่าวทำหน้าที่สร้างเครือข่ายอิมพีแดนซ์สำหรับเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้าก่อนป้อนเข้าสู่วงจรอินเวอร์เตอร์

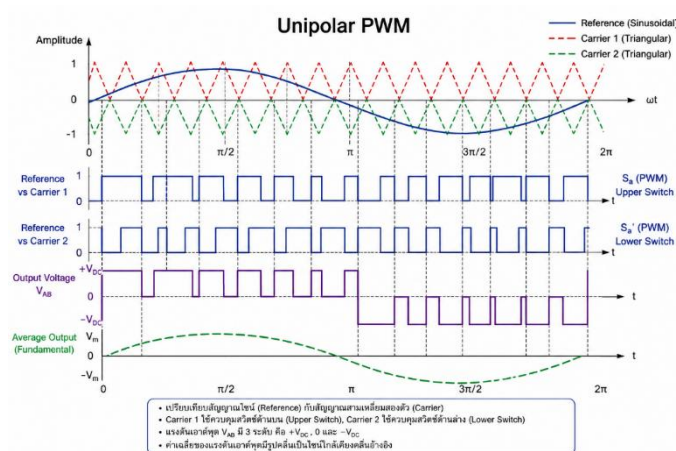
ในส่วนของวงจรอินเวอร์เตอร์ ใช้โครงสร้างแบบฟูลบริดจ์โดยเลือกใช้ไอจีบีทีเบอร์ FGA60N60 เป็นอุปกรณ์สวิตช์กำลัง เพื่อทำหน้าที่แปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ (Feng et al., 2021) การควบคุมการสวิตช์ใช้หลักการพัลส์วิดท์มอดูเลชันแบบ Unipolar โดยเปรียบเทียบสัญญาณไซน์กับสัญญาณสามเหลี่ยมเพื่อสร้างสัญญาณ PWM สำหรับควบคุมการทำงานของสวิตช์ในแต่ละกิ่งของอินเวอร์เตอร์ (Nugroho et al., 2017) เทคนิคดังกล่าวช่วยลดฮาร์มอนิกของแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตและเพิ่มคุณภาพของรูปคลื่นแรงดันไฟฟ้า ซึ่งมีโครงสร้างดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 วงจรอินเวอร์เตอร์แบบฟูลบริดจ์ที่ใช้ในงานวิจัย

ระบบควบคุมใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล C2000 เบอร์ TMS320F28379D ในการสร้างสัญญาณ PWM (Tuan et al., 2021) โดยทำการออกแบบอัลกอริทึมควบคุมผ่านโปรแกรม MATLAB/Simulink และส่งสัญญาณควบคุมไปยังวงจรขับเคลื่อน TLP250 เพื่อขับไอจีบีทีในวงจรอินเวอร์เตอร์ นอกจากนี้ยังมีการออกแบบวงจรหน่วงเวลา (dead time circuit) เพื่อป้องกันการนำกระแสพร้อมกันของสวิตช์ในกิ่งเดียวกันซึ่งอาจทำให้เกิดความเสียหายต่อวงจรอินเวอร์เตอร์ (Saurabh et al., 2025)

หลักการสร้างสัญญาณควบคุมแบบ Unipolar PWM ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ แสดงดังรูปที่ 4 โดยอาศัยการเปรียบเทียบสัญญาณอ้างอิงรูปคลื่นไซน์กับสัญญาณพาหะรูปสามเหลี่ยม เพื่อสร้างสัญญาณ PWM สำหรับควบคุมสวิตช์ของอินเวอร์เตอร์ให้ทำงานสลับกันอย่างเหมาะสม



รูปที่ 4 สัญญาณควบคุมแบบ Unipolar PWM สำหรับอินเวอร์เตอร์

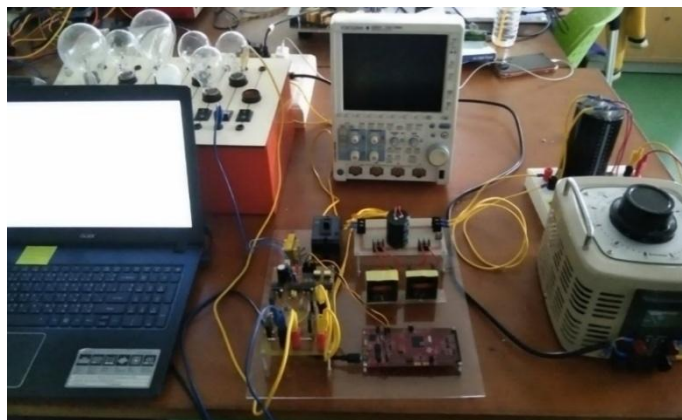
หลังจากออกแบบและสร้างต้นแบบวงจรเรียบร้อยแล้ว ได้ทำการทดสอบการทำงานของระบบ โดยเปรียบเทียบผลการทดลองจริงกับผลการจำลองในโปรแกรม MATLAB/Simulink การทดสอบแบ่งออกเป็น การทดสอบการเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้าของวงจร T-Source และการทดสอบการจ่ายโหลดเชิงเส้น และโหลดไม่เชิงเส้นที่แรงดันไฟฟ้าอินพุต 60 โวลต์ 70 โวลต์ และ 100 โวลต์ ตามลำดับ โดยวิเคราะห์รูปคลื่นแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และค่าประสิทธิภาพของระบบ เพื่อประเมินความสามารถในการเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้าและคุณภาพของแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์ T-Source ที่พัฒนาขึ้น

นอกจากนี้ยังทำการประเมินค่าประสิทธิภาพของวงจรเมื่อจ่ายให้กับโหลดเชิงเส้นกำลังไฟฟ้า 500 วัตต์ ภายใต้ระดับแรงดันไฟฟ้าอินพุตที่แตกต่างกัน เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าอินพุต กำลังไฟฟ้าด้านเข้า กำลังไฟฟ้าด้านออก และประสิทธิภาพโดยรวมของระบบ ซึ่งผลการทดลองที่ได้ถูกนำมาใช้ในการวิเคราะห์และสรุปสมรรถนะของอินเวอร์เตอร์ T-Source ที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

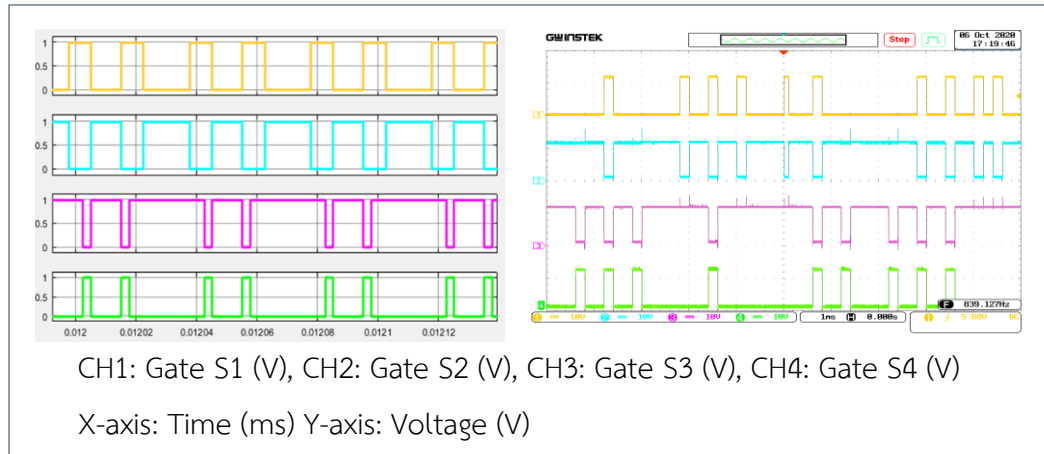
การวิจัยนี้เป็นการทดสอบประสิทธิภาพของอินเวอร์เตอร์ T-Source ควบคุมด้วยพัลส์วิดท์มอดูเลชันแบบ Unipolar สำหรับการเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้า โดยทำการเปรียบเทียบผลการจำลองในโปรแกรม MATLAB/Simulink กับผลการทดลองจากต้นแบบจริง เพื่อประเมินความสามารถในการเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้า คุณภาพของแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุต และประสิทธิภาพของระบบเมื่อจ่ายให้กับโหลดเชิงเส้นและโหลดไม่เชิงเส้น

เพื่อยืนยันผลการออกแบบและผลการจำลอง ได้มีการสร้างต้นแบบจริงของอินเวอร์เตอร์ T-Source พร้อมติดตั้งอุปกรณ์วัดแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และออสซิลโลสโคปสำหรับบันทึกรูปคลื่นสัญญาณ โดยรายละเอียดของชุดทดลอง แสดงดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 ต้นแบบและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบอินเวอร์เตอร์ T-Source

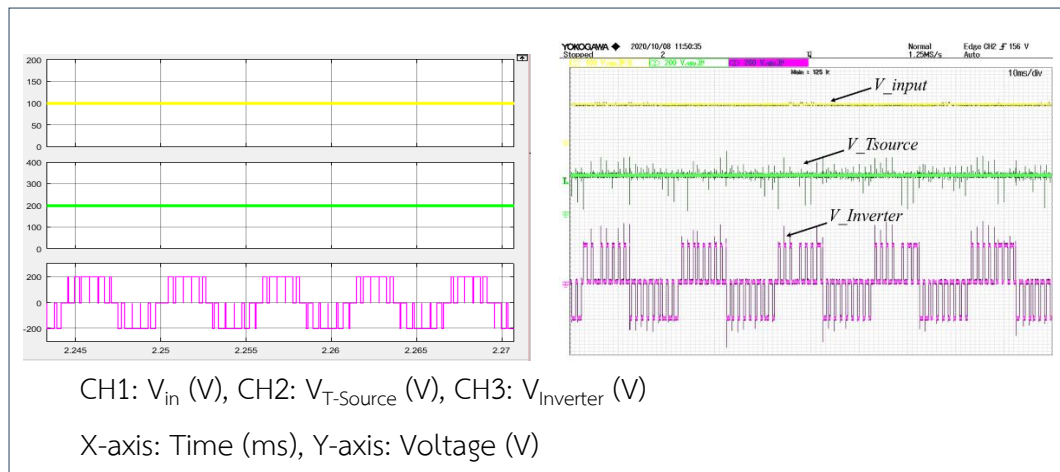
ผลการทดลองที่ได้จากต้นแบบจริงมีแนวโน้มสอดคล้องกับผลการจำลองในโปรแกรม MATLAB/Simulink ทั้งในด้านรูปคลื่นแรงดันไฟฟ้า ระดับแรงดันเอาต์พุต และพฤติกรรมของระบบภายใต้โหลดที่แตกต่างกัน



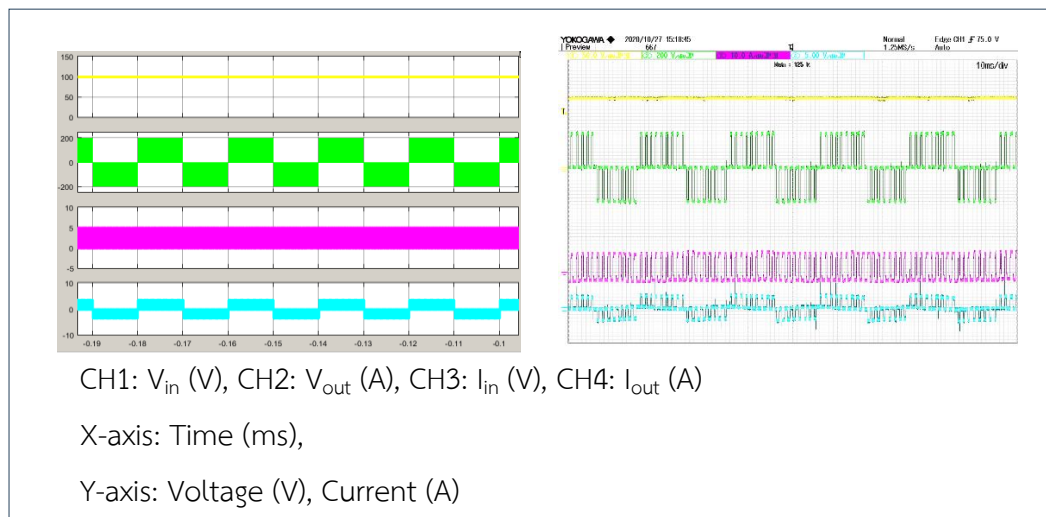
รูปที่ 6 สัญญาณพัลส์วิตช์มอดูเลชันแบบ Unipolar สำหรับควบคุมอินเวอร์เตอร์

รูปที่ 6 ผลการสร้างสัญญาณควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล C2000 เบอร์ TMS320F28379D พบว่า สามารถสร้างสัญญาณพัลส์วิตช์มอดูเลชันแบบ Unipolar ได้อย่างถูกต้อง โดยสัญญาณควบคุมของสวิตช์ในแต่ละกิ่งของอินเวอร์เตอร์ทำงานในลักษณะตรงข้ามกัน ส่งผลให้รูปคลื่นแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตมีความต่อเนื่องและลดความผิดเพี้ยนของฮาร์มอนิกได้ดีขึ้น เมื่อเปรียบเทียบผลการทดลองกับผลการจำลองพบว่าแนวโน้มสอดคล้องกัน แสดงให้เห็นว่าระบบควบคุมที่พัฒนาขึ้นสามารถนำไปใช้งานได้จริงอย่างมีประสิทธิภาพ

จากการทดสอบวงจรอินเวอร์เตอร์ T-Source พบว่า วงจรสามารถเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้าจากแรงดันไฟฟ้าอินพุต 100 โวลต์ เป็นแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตประมาณ 200 โวลต์ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทั้งในผลการจำลองและผลการทดลองจริง ดังรูปที่ 7 โดยแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตของวงจร T-Source และแรงดันไฟฟ้าด้านออกของอินเวอร์เตอร์มีค่าใกล้เคียงกัน แสดงให้เห็นว่าการออกแบบเครือข่าย T-Source สามารถเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้าได้ตามที่กำหนดไว้ในการออกแบบวงจร



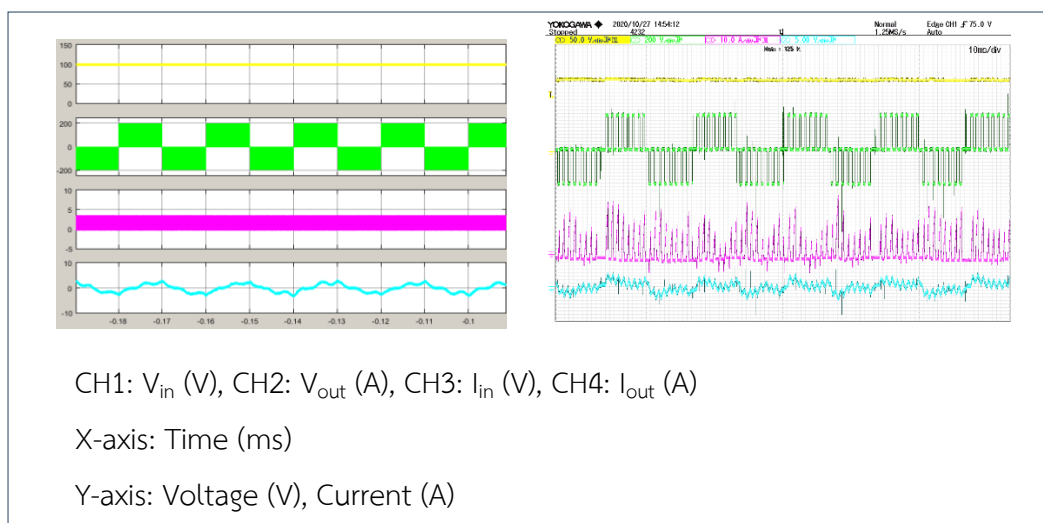
รูปที่ 7 ผลการเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้าของวงจรอินเวอร์เตอร์ T-Source



รูปที่ 8 ผลการทดสอบอินเวอร์เตอร์ T-Source เมื่อจ่ายให้กับโหลดเชิงเส้นชนิดตัวต้านทานกำลัง (resistive load)

รูปที่ 8 ผลการทดสอบเมื่อจ่ายให้กับโหลดเชิงเส้นที่แรงดันไฟฟ้าอินพุต 60 โวลต์ 70 โวลต์ และ 100 โวลต์ พบว่า วงจรสามารถเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตเป็นประมาณ 100 โวลต์ 150 โวลต์ และ 200 โวลต์ ตามลำดับ โดยรูปคลื่นกระแสไฟฟ้าเอาต์พุตมีลักษณะใกล้เคียงกับรูปคลื่นแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตและมีลักษณะใกล้เคียงกับคลื่นไซน์ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการควบคุมแบบ Unipolar PWM สามารถช่วยลดความผิดเพี้ยนของรูปคลื่นได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ผลการทดลองยังมีแนวโน้มสอดคล้องกับผลการจำลองในโปรแกรม MATLAB/Simulink แสดงถึงความถูกต้องของการออกแบบระบบควบคุมและวงจรกำลัง

สำหรับการทดสอบกับโหลดไม่เชิงเส้นโดยใช้โหลดมอเตอร์ พบว่าระบบยังคงสามารถเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้าได้ตามที่ออกแบบไว้ อย่างไรก็ตามรูปคลื่นกระแสไฟฟ้าเอาต์พุตมีลักษณะผิดเพี้ยนจากรูปคลื่นไซน์มากกว่าโหลดเชิงเส้น เนื่องจากลักษณะของโหลดมอเตอร์มีคุณสมบัติทางอิมพีแดนซ์และการเปลี่ยนแปลงกระแสที่ไม่เป็นเชิงเส้น ส่งผลให้เกิดฮาร์มอนิกภายในระบบมากขึ้น ถึงแม้ว่าจะเกิดความผิดเพี้ยนของรูปคลื่นกระแสไฟฟ้า แต่ระบบยังสามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่องและมีเสถียรภาพแสดงให้เห็นถึงความสามารถของอินเวอร์เตอร์ T-Source ในการรองรับโหลดที่มีลักษณะแตกต่างกัน ดังรูปที่ 9



รูปที่ 9 ผลการทดสอบอินเวอร์เตอร์ T-Source เมื่อจ่ายให้กับโหลดเชิงเหนี่ยวนำ

สำหรับการทดสอบกับโหลดเชิงเหนี่ยวนำ โดยใช้มอเตอร์เหนี่ยวนำกระแสสลับ 1 เฟส เป็นโหลดทดลอง พบว่า ระบบยังคงสามารถเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้าได้ตามที่ออกแบบไว้ อย่างไรก็ตามลักษณะกระแสเอาต์พุตมีการเปลี่ยนเฟส เมื่อเทียบกับแรงดันและมีการเปลี่ยนแปลงเชิงพลวัตมากกว่าโหลดความต้านทาน เนื่องจากผลของพลังงานสะสมในสนามแม่เหล็กของขดลวดมอเตอร์

จากตารางที่ 1 ผลการประเมินประสิทธิภาพของระบบเมื่อจ่ายโหลดเชิงเส้นกำลังไฟฟ้า 500 วัตต์ พบว่า ค่าประสิทธิภาพของวงจรมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามระดับแรงดันไฟฟ้าอินพุต โดยที่แรงดันไฟฟ้าอินพุต 100 โวลต์ ระบบมีค่าประสิทธิภาพสูงสุดประมาณร้อยละ 89 ซึ่งเกิดจากการทำงานร่วมกันของวงจร T-Source และการควบคุมแบบ Unipolar PWM ที่ช่วยลดการสูญเสียกำลังไฟฟ้าภายในวงจรอินเวอร์เตอร์ นอกจากนี้การลดจำนวนอุปกรณ์ของวงจร T-Source เมื่อเปรียบเทียบกับวงจร Z-Source ยังช่วยลดความสูญเสียในระบบและลดความซับซ้อนของโครงสร้างวงจรได้อีกด้วย

การวัดค่าทางไฟฟ้าของระบบดำเนินการตามตำแหน่งที่กำหนดในรูปที่ 2 โดยแรงดันและกระแสด้านเข้า (V_{in} และ I_{in}) ถูกวัดที่ขั้วอินพุตของวงจร T-Source ขณะที่แรงดันและกระแสด้านออก (V_{out} และ I_{out}) ถูกวัดที่เอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์ก่อนต่อเข้าสู่โหลด อย่างไรก็ตามสำหรับสมการการหาค่ากำลังไฟฟ้าและประสิทธิภาพสามารถหาได้จากสมการที่ 3 - สมการที่ 5 ดังนี้

$$P_{in} = V_{in} I_{in} \quad (3)$$

$$P_{out} = V_{out} I_{out} \quad (4)$$

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100 \quad (5)$$

ตารางที่ 1 ค่าประสิทธิภาพของอินเวอร์เตอร์ T-Source ภายใต้โหลดเชิงเส้น

$V_{in} (V)$	$I_{in} (A)$	$P_{in} (W)$	$V_{out} (V)$	$I_{out} (A)$	$P_{out} (W)$	Efficiency(%)
60	2.06	123.60	120.12	0.86	103.30	83.57
70	3.51	245.70	140.25	1.49	208.97	85.05
100	5.81	581.00	200.24	2.51	502.60	86.50

จากผลการทดลองทั้งหมดสามารถสรุปได้ว่า อินเวอร์เตอร์ T-Source ที่พัฒนาขึ้นมีความสามารถในการเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้าและแปลงพลังงานไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสสลับได้อย่างมีประสิทธิภาพ การควบคุมด้วยเทคนิค Unipolar PWM ช่วยให้แรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตมีคุณภาพที่ดีขึ้นและลดความผิดเพี้ยนของรูปคลื่นเมื่อจ่ายให้กับโหลดเชิงเส้น ขณะที่เมื่อจ่ายให้กับโหลดไม่เชิงเส้น ระบบยังคงสามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่องแม้ว่ารูปคลื่นกระแสไฟฟ้าจะมีความผิดเพี้ยนเพิ่มขึ้นก็ตาม ดังนั้นวงจรอินเวอร์เตอร์ T-Source ที่พัฒนาขึ้นจึงมีศักยภาพในการนำไปประยุกต์ใช้ในงานด้านระบบแปลงผันกำลังไฟฟ้า งานอิเล็กทรอนิกส์กำลัง และระบบพลังงานไฟฟ้าที่ต้องการการเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้าในขั้นตอนเดียวได้อย่างเหมาะสม

ผลการศึกษาพบว่าอินเวอร์เตอร์ T-Source ที่พัฒนาขึ้นสามารถเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้าจากแรงดันอินพุต 100 V เป็นแรงดันเอาต์พุตประมาณ 200 V ได้ตามเป้าหมายการออกแบบ คิดเป็นอัตราการเพิ่มระดับแรงดันประมาณ 2 เท่า (voltage gain ≈ 2.0) โดยผลการทดลองมีแนวโน้มสอดคล้องกับผลการจำลองในโปรแกรม MATLAB/Simulink แสดงให้เห็นว่าการออกแบบเครือข่าย T-Source และการเลือกค่าพารามิเตอร์ของอุปกรณ์มีความเหมาะสมต่อการใช้งานจริง

เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยของ Eswari และ Dhanya (2014) ซึ่งรายงานว่าวงจร T-Source สามารถเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้าได้โดยใช้อุปกรณ์น้อยกว่าโครงสร้าง Z-Source พบว่า ผลการศึกษานี้มีแนวโน้มสอดคล้องกัน กล่าวคือ วงจรที่พัฒนาขึ้นยังคงรักษาความสามารถในการเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพแม้จะมีจำนวนอุปกรณ์ในเครือข่ายอิมพีแดนซ์น้อยกว่า นอกจากนี้ผลการทดลองยังสอดคล้องกับ Liu et al. (2020) ที่รายงานว่าโครงสร้าง T-Source สามารถลดความซับซ้อนของระบบและลดการสูญเสียกำลังไฟฟ้าบางส่วนเมื่อเปรียบเทียบกับโครงสร้างแบบดั้งเดิม

ในด้านการควบคุมสวิตชิง ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการใช้เทคนิค Unipolar PWM สามารถสร้างแรงดันเอาต์พุตที่มีลักษณะใกล้เคียงรูปคลื่นไซน์และช่วยลดความผิดเพี้ยนของรูปคลื่นได้ ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Sharma et al. (2014) ที่รายงานว่าเทคนิค Unipolar PWM สามารถลดฮาร์มอนิกของแรงดันเอาต์พุตและเพิ่มคุณภาพกำลังไฟฟ้าของอินเวอร์เตอร์ได้ดีกว่าการสวิตชิงแบบ Bipolar PWM

อย่างไรก็ตาม เมื่อทดสอบกับโหลดเชิงเหนี่ยวนำ พบว่า รูปคลื่นกระแสมีความผิดเพี้ยนมากกว่าโหลดเชิงเส้น เนื่องจากผลของอิมพีแดนซ์และพฤติกรรมทางพลวัตของโหลดมอเตอร์ ซึ่งเป็นลักษณะที่พบได้ทั่วไปในระบบแปลงผันกำลังไฟฟ้า แม้ว่าจะเกิดความผิดเพี้ยนของกระแสบางส่วนแต่ระบบยังคงสามารถรักษาระดับแรงดันเอาต์พุตและทำงานได้อย่างต่อเนื่อง แสดงให้เห็นถึงเสถียรภาพของอินเวอร์เตอร์ T-Source ที่พัฒนาขึ้น

สรุปผล

บทความวิจัยนี้ได้นำเสนอการพัฒนาอินเวอร์เตอร์ T-Source ควบคุมด้วยพัลส์วิดท์มอดูเลชันแบบ Unipolar สำหรับการเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้า โดยดำเนินการออกแบบจำลองการทำงานด้วยโปรแกรม MATLAB/Simulink และสร้างต้นแบบจริงเพื่อทดสอบสมรรถนะของระบบภายใต้โหลดเชิงเส้น และโหลดเชิงเหนี่ยวนำ

ผลการวิจัยพบว่า วงจร T-Source ที่พัฒนาขึ้นสามารถเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้าจากแรงดันอินพุต 100 V เป็นแรงดันเอาต์พุตประมาณ 200 V ได้ตามค่าที่กำหนดไว้ใน การออกแบบ คิดเป็นอัตราการเพิ่มระดับแรงดันประมาณ 2 เท่า โดยผลการทดลองมีความสอดคล้องกับผลการจำลอง แสดงถึงความถูกต้อง

ของการออกแบบวงจรและระบบควบคุม นอกจากนี้ระบบยังสามารถให้ค่าประสิทธิภาพสูงสุดประมาณร้อยละ 89.24 ภายใต้เงื่อนไขการทดสอบที่กำหนด

การควบคุมด้วยเทคนิค Unipolar PWM ช่วยให้แรงดันเอาต์พุตมีคุณภาพดีขึ้น และมีลักษณะใกล้เคียงรูปคลื่นไซน์ ส่งผลให้สามารถลดความผิดเพี้ยนของรูปคลื่นได้อย่างมีประสิทธิภาพ ขณะที่การทดสอบกับโหลดเชิงเหนี่ยวนำแสดงให้เห็นว่าระบบยังคงสามารถรักษาระดับแรงดันเอาต์พุตและทำงานได้อย่างต่อเนื่อง แม้ว่ารูปคลื่นกระแสจะมีความผิดเพี้ยนเพิ่มขึ้นจากผลของลักษณะโหลด

จากผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าอินเวอร์เตอร์ T-Source ที่พัฒนาขึ้นมีศักยภาพในการประยุกต์ใช้งานด้านระบบแปลงผันกำลังไฟฟ้า ระบบพลังงานทดแทน และงานอิเล็กทรอนิกส์กำลังที่ต้องการการเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้าและการแปลงผันพลังงานภายในขั้นตอนเดียวอย่างมีประสิทธิภาพ

ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าอินเวอร์เตอร์ T-Source สามารถเพิ่มระดับแรงดันได้ใกล้เคียงค่าที่ออกแบบไว้ โดยผลดังกล่าวสอดคล้องกับงานของ Liu et al. (2020) และ Eswari & Dhanya (2014) ที่รายงานว่าวงจร T-Source สามารถลดจำนวนอุปกรณ์เมื่อเปรียบเทียบกับ Z-Source ขณะเดียวกันยังคงคุณสมบัติการเพิ่มแรงดันได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้การใช้เทคนิค Unipolar PWM ยังช่วยลดความผิดเพี้ยนของรูปคลื่นแรงดันเอาต์พุตและเพิ่มคุณภาพกำลังไฟฟ้าของระบบ

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์บูรณาการและเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วิทยาเขตจันทบุรี ที่ให้การสนับสนุนด้านห้องปฏิบัติการเครื่องมือ และอุปกรณ์ที่ใช้ในการดำเนินงานวิจัย ตลอดจนสนับสนุนสภาพแวดล้อมทางวิชาการที่เอื้อต่อการพัฒนาและทดสอบต้นแบบอินเวอร์เตอร์ T-Source จนทำให้งานวิจัยฉบับนี้สามารถดำเนินการและบรรลุวัตถุประสงค์ตามที่กำหนดไว้ได้อย่างสมบูรณ์

เอกสารอ้างอิง

Abdeen, E., Gaafar, M. A., Orabi, M., & Shoyama, M. (2019). Three-level T-type buck-boost voltage source inverter. In **2019 IEEE Conference on Power Electronics and Renewable Energy (CPERE)**. (pp. 175-180). doi: 10.1109/CPERE45374.2019.8980233.

- Alarcón-Maza, K., Balseca, B., Alarcón-Maz, G., & Saquariña, D. A. (2023). Electronic design of a DC–DC boost converter for powering a Lo-Ra communication board with bioelectricity by “Plantas Andinas”. **ESPOCH Congresses: The Ecuadorian Journal of STEAM**, 3(1), 611-629.
- Effah, F. B., Wheeler, P., Clare, J., & Watson, A. J. (2012). Space-vector-modulated three-level inverters with a single Z-source network. **IEEE Transactions on Power Electronics**, 28(6), 2806-2815.
- Eswari, K., & Dhanya, R. (2014). Analysis of T-source inverter with PWM technique for high voltage gain application. **Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science**, 12(8), 5709-5719.
- Feng, Y., Li, K., Gao, M., Liu, Y., Li, X., & Zhu, J. (2021). Optimal operation and control design of DC arrester for renewable energy transmission. **Frontiers in Energy Research**, 9:759434. doi: 10.3389/fenrg.2021.759434
- Lakshmi, G. S., & Kumar, S. N. (2023). Comparison of multilevel inverters with T-type MLI: A brief review. **Journal Kejuruteraan**. 35(4), 803-809.
- Liu, H., Zhou, B., Li, Y., Chen, J., & Loh, P. C. (2020). High-efficiency T-source inverter with low voltage spikes across the switch bridge. **IEEE Transactions on Power Electronics**, 35(10), 10554-10566.
- Nugroho, N., Firmansyah, E., & Suharyanto, S. (2017). Single phase full bridge inverter control as reactive power compensator. **International Journal of Information Technology and Electrical Engineering**, 1(4), 117-124
- Oppong, F. N., Ahmed, H. F., Khan, A. A., & Quaicoe, J. E. (2025). Single-phase quadratic-based common-ground boost inverter. **IEEE Transactions on Industry Applications**, 62(2), 2807-2817.
- Saurabh, K., Lalabhai, P. K., Mankani, A., Chakraborty, A., Naugraiya, A., Tharun, M., Amal, S., Christain, P. D., & Baruah, U. K. (2025). Modeling, analysis, and prototyping of a cascaded H-bridge multilevel inverter system using TI F28379D microcontroller for high-voltage applications. In **2025 Fourth International Conference on Power, Control and Computing Technologies (ICPC2T)**, Raipur, India. (pp. 1-6). doi: 10.1109/ICPC2T63847.2025.10958740.

- Sharma, A. K., Sharma, A. K., & Vijay, N. (2014). Unipolar and bipolar SPWM voltage modulation type inverter for improved switching frequencies. **International Journal of Engineering Sciences & Research Technology**, 3(8), 121-126.
- Sivaraman, P., & Desanayagi, R. (2013). Performance analysis of PV fed single phase T-source inverter. In **2013 International Conference on Power, Energy and Control (ICPEC), Dindigul, India**. (pp. 266-271). doi: 10.1109/ICPEC.2013.6527663.
- Strzelecki, R., Adamowicz, M., Strzelecka, N., & Bury, W. E. (2009). New type T-source inverter. In **2009 Compatibility and Power Electronics, Badajoz, Spain**. (pp. 191-195). doi: 10.1109/CPE.2009.5156034.
- Tuan, D. A., Vu, P., & Liễn, N. V. (2021). Design and control of a three-phase T-type inverter using reverse-blocking IGBTs. **Engineering, Technology & Applied Science Research**, 11(1), 6614-6619.