

การจำลองการถ่ายโอนกำลังไฟฟ้าแบบไร้สายด้วยวงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์หนึ่งเฟส Simulation of Wireless Power Transfer (WPT) with Single-phase Matrix Converter

สันติสุข สว่างกล้า¹ ประสพโชค ให้อทองคำ² สถาพร เสือเทศ^{3*}

¹ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสยาม

²สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี prasopchok.hot@mutr.ac.th

³ภาควิชาวิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี sataporn.sua@mutr.ac.th*

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการส่งถ่ายโอนกำลังไฟฟ้าแบบไร้สายที่ใช้วงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์หนึ่งเฟสในการแปลงผันพลังงานไฟฟ้าจากไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสสลับแล้วทำการถ่ายโอนพลังงานไฟฟ้าผ่านชุดขดลวดทางด้านภาคส่งและภาครับที่มีความถี่สูงเท่ากับ 50 kHz ผ่านวงจรเรโซแนนซ์แบบอนุกรมส่งผ่านกำลังไฟฟ้าไปยังวงจรเรกติไฟร์แบบฟูลบริดจ์เพื่อแปลงผันพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรงเพื่อนำไปใช้ในการเชื่อมต่อโหลด การทดสอบการทำงานด้วยการจำลองด้วยโปรแกรม MATLAB/Simulink ผลจากการจำลองแสดงให้เห็นด้วยรูปคลื่นแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าที่ส่วนต่างๆ ของระบบ ระบบสามารถทำการถ่ายโอนพลังงานได้ ซึ่งจะเป็นข้อมูลที่จะสามารถนำไปประยุกต์ในงานจริงต่อไป

คำสำคัญ: การส่งถ่ายกำลังไฟฟ้าแบบไร้สาย วงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์หนึ่งเฟส วงจรเรโซแนนซ์แบบอนุกรม

Abstract

This paper presents a wireless power transfer (WPT) system utilizing a single-phase matrix converter to directly convert AC power into AC power, which is transferred through a pair of coils on the transmitter and receiver sides at a frequency of 50 kHz. A series-resonant topology is employed to enable efficient power transfer through a full-bridge rectifier to the load. Simulation studies carried out in MATLAB/Simulink illustrates the voltage and current waveforms of the proposed system, confirming the effective transfer of power to the load. The obtained results will be employed for the development of a hardware prototype in future work.

Keywords: Wireless Power Transfer (WPT), Single-phase Matrix Converter, Series Resonant Circuits

1. บทนำ

การถ่ายโอนกำลังไฟฟ้าแบบไร้สายมีการนำมาใช้ในการอัดประจุไฟฟ้าที่แบตเตอรี่ที่เป็นแบบไร้สายนับว่าเป็นนวัตกรรมใหม่ที่มีในปัจจุบันนี้ ซึ่งเป็นระบบที่น่าสนใจในการท้าวิจัยในขณะนี้ที่เป็นการในปัจจุบันนี้ ซึ่งในการอัดประจุต้องมีการควบคุมแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าในขณะอัดประจุด้วย เนื่องจากค่าความต้านทานในแบตเตอรี่จะมีการเปลี่ยนแปลงด้วย ดังนั้นในระบบอัดประจุแบบไร้สายนี้จึงจะมีการควบคุมแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าในขณะอัดประจุด้วย เพื่อป้องกันการเสียหายของแบตเตอรี่และเป็นการยืดอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ด้วย ซึ่งมีงานวิจัยที่ได้รับการวิจัยปัจจุบันนี้ คือ ระบบอัดประจุแบบไร้สายที่ได้ทำการจำลองและสร้างที่ขนาด 500W ได้ทำการใช้เทคนิคในการประมาณผลของค่าฮาร์มอนิก

นิกที่ใช้งาน พบว่าสามารถใช้งานที่ค่าประสิทธิภาพเท่ากับ 80% ได้ผลเป็นที่พอใจ [1] การจำลองและสร้างชุดต้นแบบขนาดเล็กได้มีการออกแบบและสร้างขึ้นเพื่อทดสอบการทำงานและหลักการในการนำหลักการเรโซแนนซ์มาใช้ในการควบคุมกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการอัดประจุแบบไร้สายที่ใช้ในยานยนต์ไฟฟ้า ซึ่งผลการทดสอบได้ทำการทดสอบกับแบตเตอรี่ได้ผลเป็นอย่างดี ซึ่งหลักการนี้ก็เป็นที่น่าสนใจในระดับหนึ่ง [2] การอัดประจุแบบไร้สายยังสามารถใช้ในการอัดประจุแบตเตอรี่ในขณะที่ยานยนต์ไฟฟ้ากำลังขับเคลื่อนและกำลังเคลื่อนที่ได้ด้วย ซึ่งสามารถใช้งานได้เป็นอย่างดีในการทดสอบระบบการทำงานของระบบอัดประจุแบบนี้ได้ รวมทั้งยังนำระบบการจัดการแบตเตอรี่มาใช้ในการทำงานของแบตเตอรี่เพื่อให้มีความเหมาะสมในการทำงานของแบตเตอรี่ที่ยั่งยืน [3] ระบบการอัดประจุแบบไร้สายด้านแหล่งจ่ายได้มีการปรับปรุงค่าตัวประกอบด้วยเพื่อให้เกิดค่าการสูญเสียทางด้านแหล่งจ่ายไฟฟ้าน้อยที่สุดรวมทั้งยังมีการรักษาระดับการเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้าและทำให้ค่าแรงดันไฟฟ้าคงที่ด้วยการปรับค่าอัตราส่วนของสัญญาณพัลส์ที่ใช้ในการควบคุมวงจรแปลงผันพลังงานไฟฟ้าแบบอินเวอร์เตอร์ ซึ่งแสดงการทำงานได้อย่างดี [4]

นอกจากนี้ยังมีการนำวงจรคอนเวอร์เตอร์ที่สามารถแปลงผันพลังงานไฟฟ้า AC-AC เพียงขั้นตอนเดียวมาใช้ในระบบการอัดประจุด้วยทำให้ราคาและน้ำหนักเบา ซึ่งระบบนี้มีประสิทธิภาพ 89% ที่สามารถทำงานได้ในการอัดประจุแบตเตอรี่ด้วย [5] ซึ่งงานวิจัยต่างๆ ดังที่กล่าวไปเป็นส่วนหนึ่งของงานวิจัยที่มีการท้าวิจัยกันในปัจจุบันนี้ ซึ่งการถ่ายโอนกำลังไฟฟ้าแบบไร้สายส่วนใหญ่ใช้วงจรคอนเวอร์เตอร์ที่มีการแปลงผันพลังงานไฟฟ้าในการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าแบบไร้สายเป็นวงจรเรกติไฟร์และวงจรดีซีทูเอซีคอนเวอร์เตอร์ (AC-DC-AC Converter) เป็นชุดวงจรที่ทำการแปลงผันพลังงานไฟฟ้าแล้วผ่านวงจรเรโซแนนซ์ถ่ายโอนพลังงานไฟฟ้าไปยังชุดขดลวดภาคส่งและภาครับ เพื่อทำการถ่ายโอนกำลังไฟฟ้าแบบไร้สายต่อไป [6], [7] ซึ่งวงจรคอนเวอร์เตอร์ทางภาคส่งที่มีการท้าวิจัยอยู่พบว่าการแปลงผันพลังงานสองขั้นตอนซึ่งต้องมีส่วนของดีซีลิงก์ (DC Link) ที่ประกอบด้วยตัวเก็บประจุที่นำไปสู่การสูญเสียพลังงานไฟฟ้า ดังนั้นในงานวิจัยนี้ได้มีการนำวงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์หนึ่งเฟส [8-10] ที่มีการแปลงผันพลังงานไฟฟ้าเพียงขั้นตอนเดียวจากไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสสลับโดยตรง ซึ่งทำการจำลองการทำงานของการทำงานถ่ายโอนพลังงานไฟฟ้าแบบไร้สายด้วยโปรแกรม MATLAB/Simulink โดยมีระบบในการถ่ายโอนพลังงานไฟฟ้าแบบไร้สายด้วยวงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์หนึ่งเฟส แสดงได้ดังรูปที่ 1

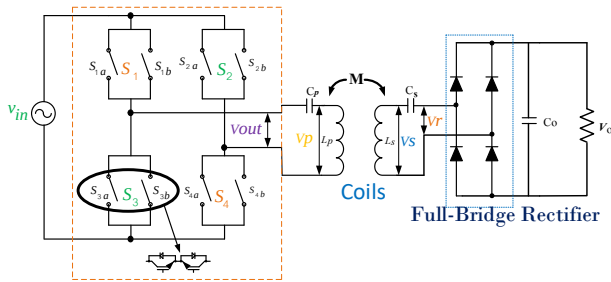
2. วงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์หนึ่งเฟส

วงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์หนึ่งเฟสแสดงได้ดังรูปที่ 1 ค่าแรงดันไฟฟ้าด้านอินพุตเท่ากับ

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

*ผู้ประพันธ์บรรณกิจ

$$v_{out}(t) = V_{om} \sin \omega_o t \quad (2)$$



Single-phase Matrix Converter

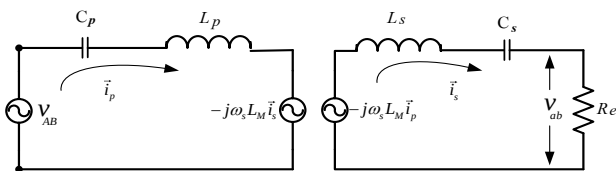
รูปที่ 1 การถ่ายโอนพลังงานไฟฟ้าแบบไร้สายด้วยวงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์หนึ่งเฟส

การทำงานของสวิตช์จะทำงานเพื่อตัดต่อแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าอินพุตเพื่อให้ได้แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าเอาต์พุตที่สามารถปรับความถี่และอัตราการมอดได้ โดยมีการทำงานดังสมการที่ (4) ดังนี้ [8], [9] และ [11]

$$v_o(t) = \begin{cases} v_i(t) & S_1 \text{ \& } S_4 \text{ are ON} \\ -v_i(t) & S_2 \text{ \& } S_3 \text{ are ON} \\ 0 & S_1 \text{ \& } S_2 \text{ are ON} \\ 0 & S_3 \text{ \& } S_4 \text{ are ON} \end{cases} \quad (3)$$

3. วงจรเรโซแนนซ์แบบอนุกรมที่ใช้ในการถ่ายโอนพลังงานไฟฟ้าแบบไร้สาย

การถ่ายโอนพลังงานไฟฟ้าแบบไร้สายสามารถเขียนแสดงเป็นวงจรสมมูลได้ดังรูปที่ 2 โดยประกอบด้วยส่วนของวงจรเรโซแนนซ์แบบอนุกรม (LC serie resonant) ทั้งด้านรับและด้านส่งผ่านชุดขดลวดทั้งสองด้าน ซึ่งสามารถแสดงเป็นวงจรสมมูลด้วยค่าอินดักแตนซ์ การคำนวณค่าของตัวเก็บประจุที่ใช้ในการเรโซแนนซ์สามารถคำนวณได้ด้วยสมการที่ (4) และ (5) โดยที่ค่าตัวเหนี่ยวนำเป็นค่าที่เกิดจากขดลวดทั้งสองด้านโดยหาค่าความถี่เรโซแนนซ์เท่ากับ 50kHz ที่วงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์หนึ่งเฟสทำงานและทำการแปลงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับออกมาจ่ายให้กับชุดขดลวดที่ด้านส่ง



รูปที่ 2 วงจรเทียบเท่าชุดเรโซแนนซ์แบบอนุกรม

การคำนวณค่าพารามิเตอร์ในวงจรเรโซแนนซ์สามารถคำนวณได้ดังนี้

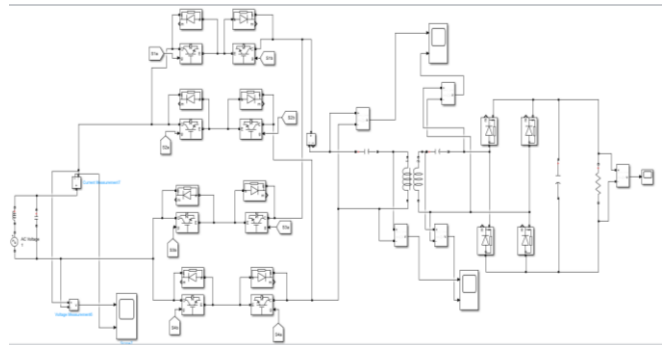
$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (4)$$

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad (5)$$

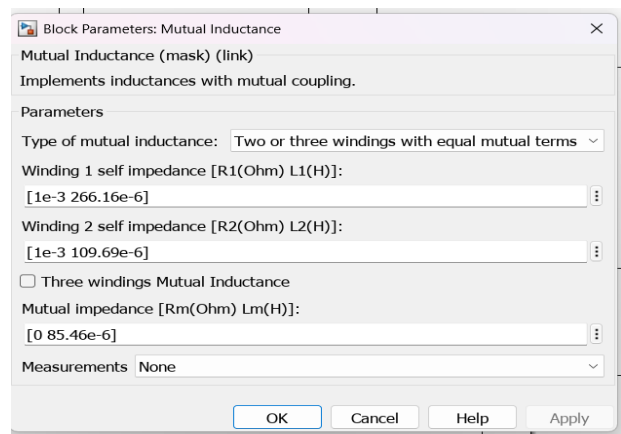
เมื่อ L = ค่าความเหนี่ยวนำ หน่วยเฮนรี C = ค่าตัวเก็บประจุ หน่วยฟารัด

4. ผลการจำลองการทำงานและอภิปรายผล

การจำลองการทำงานของการถ่ายโอนพลังงานไฟฟ้าแบบไร้สายด้วยวงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์หนึ่งเฟสด้วยโปรแกรม MATLAB/Simulink สามารถแสดงลักษณะวงจรที่ใช้ดังรูปที่ 3 แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับหนึ่งเฟสจ่ายค่าแรงดันไฟฟ้าเท่ากับ 100V, 50Hz พร้อมกับมีวงจรกรองแบบ LC (LC Filter) ต่อทางด้านอินพุตที่แหล่งจ่ายไฟฟ้าเพื่อกรองแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าด้านอินพุตจากการทำงานของสวิตช์สองทิศทางในวงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์หนึ่งเฟสด้วย แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับทำการจ่ายกำลังไฟฟ้าไปยังวงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์หนึ่งเฟสที่ประกอบด้วยสวิตช์สองทิศทางจำนวน 4 ชุด ต่อกัน เพื่อทำหน้าที่แปลงผันไฟฟ้ากระแสสลับหนึ่งเฟสเป็นไฟฟ้ากระแสสลับหนึ่งเฟสที่สามารถปรับขนาดและความถี่ได้ โดยในการจำลองนี้สวิตช์ทำงานที่ความถี่เท่ากับ 50kHz ซึ่งเป็นความถี่เรโซแนนซ์ด้วยแล้วทำการส่งผ่านไปยังวงจรเรโซแนนซ์แบบอนุกรมเพื่อถ่ายโอนพลังงานไฟฟ้าจากขดลวดด้านส่งไปยังขดลวดด้านรับที่เป็นไฟฟ้ากระแสสลับ หลังจากนั้นส่งผ่านไปยังวงจรเรกติไฟร์แบบเต็มคลื่นแปลงเป็นไฟฟ้ากระแสตรงเชื่อมต่อกับโหลดที่เป็นตัวต้านทาน เพื่อเป็นการสมมูลแบตเตอรี่ที่จะทำการทดสอบจริงต่อไป ซึ่งค่าพารามิเตอร์ของชุดขดลวดด้านส่งและรับสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4 ส่วนค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการจำลองการทำงานของระบบการถ่ายโอนกำลังไฟฟ้าแบบไร้สายด้วยวงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์หนึ่งเฟสนี้ สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 1 [10]



รูปที่ 3 การถ่ายโอนพลังงานไฟฟ้าแบบไร้สายด้วยวงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์หนึ่งเฟสที่จำลองด้วยโปรแกรม MATLAB/Simulink

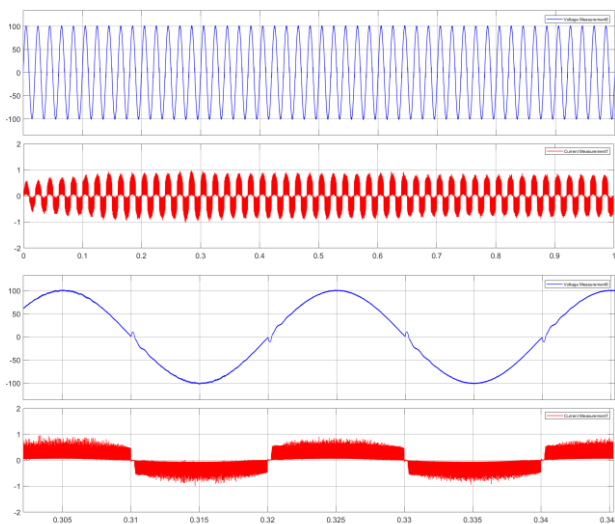


รูปที่ 4 ค่าพารามิเตอร์ที่ขดลวดทั้งด้านส่งและด้านรับ

ตารางที่ 1 ค่าพารามิเตอร์สำหรับการจำลองการทำงานในส่วนต่างๆ ของการถ่ายโอนพลังงานไฟฟ้าแบบไร้สาย

Parameters	Value
Input Voltage	100V
Input frequency	50Hz
Input Filter	L= 10mH, C= 1uF
Output frequency	50kHz
Resonant capacitor transmitter (Cp)	3.807e-8 F
Resonant capacitor receiver (Cs)	9.237e-8 F
Resistive Load	10 ohms

ผลการจำลองการทำงานของการถ่ายโอนพลังงานไฟฟ้าแบบไร้สายด้วยวงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์หนึ่งเฟสได้ทำการจ่ายค่าแรงดันไฟฟ้า 1 เฟส, 100Vac, 50Hz ให้กับวงจรและสามารถทำการจำลองรูปคลื่นที่จุดต่างๆ ที่ได้จากผลการจำลองการทำงานด้วยโปรแกรม MATLAB/Simulink แสดงได้ดังรูปที่ 5-9 ซึ่งจะมีภาพขยายของรูปคลื่นทั้งสองปรากฏด้วยในแต่ละรูป เพื่อให้เกิดความชัดเจนมากยิ่งขึ้น รูปคลื่นแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าทางด้านแหล่งจ่ายไฟฟ้าหนึ่งเฟสหรือด้านอินพุตแสดงได้ดังรูปที่ 5 โดยมีวงจรกรองต่ออยู่ด้วยแบบ LC filter ทางด้านแหล่งจ่ายไฟฟ้าที่มีค่าตามตารางที่ 1 สวิตช์สองทิศทางในวงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์หนึ่งเฟสจะได้รับสัญญาณพัลส์ที่ใช้ในการขับนำสวิตช์ที่ความถี่เท่ากับ 50kHz และค่า Duty ratio เท่ากับ 50% แสดงได้ดังรูปที่ 6 เพื่อทำการแปลงผันไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสสลับที่ด้านเอาต์พุตที่มีความถี่สูงเท่ากับ 50kHz ด้วยที่ทางขดลวดด้านรับ



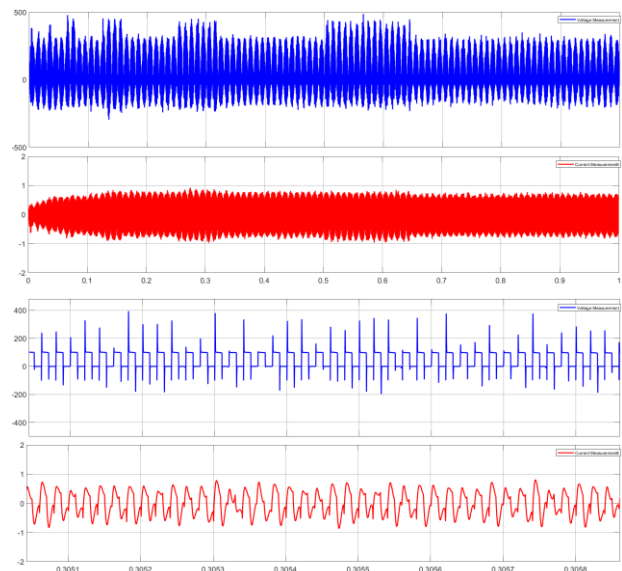
รูปที่ 5 รูปคลื่นแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าด้านอินพุต พร้อมภาพขยาย (น้ำเงิน=แรงดันไฟฟ้า, แดง=กระแสไฟฟ้า)

รูปคลื่นแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าด้านเอาต์พุตของวงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์หนึ่งเฟสหรือทางด้านขดลวดด้านส่งสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 7 เพื่อใช้ในการส่งไฟฟ้ากระแสสลับที่ความถี่ 50kHz ส่งผ่านขดลวดด้านส่งไปยังขดลวดด้านรับที่แสดงรูปคลื่นแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าได้ดังรูปที่ 8 ซึ่งพบว่าสามารถทำการถ่ายโอนพลังงานไฟฟ้าความถี่สูงได้อย่างมี

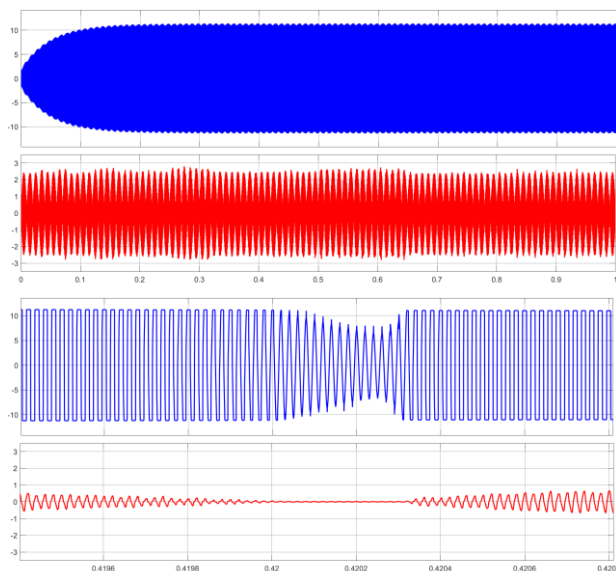
ประสิทธิภาพ แต่ในการโอนถ่ายพลังงานไฟฟ้านี้ พบว่าขนาดแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าทางด้านขดลวดด้านรับมีขนาดลดลงที่ค่าความถี่เท่าเดิม โดยขนาดแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้านั้นขึ้นอยู่กับอัตราส่วนของขดลวดทั้งสองด้าน ในการจำลองนี้ใช้ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ในการจำลองการทำงานตามตารางที่ 1 ซึ่งในการปรับค่าพารามิเตอร์ที่ขดลวดทั้งสองด้านจะได้มีการดำเนินการศึกษาในงานวิจัยลำดับต่อไป รวมทั้งเพื่อสามารถใช้เป็นข้อมูลในการออกแบบชุดต้นแบบได้อย่างเหมาะสมและใช้งานได้



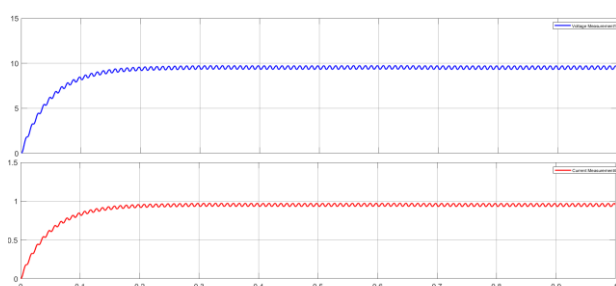
รูปที่ 6 รูปคลื่นพัลส์ที่ใช้ในการควบคุมการทำงานของวงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์หนึ่งเฟสที่ความถี่ 50kHz พร้อมภาพขยาย



รูปที่ 7 รูปคลื่นแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าด้านเอาต์พุตของวงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์หนึ่งเฟสหรือด้านส่งที่ความถี่ 50kHz พร้อมภาพขยาย (น้ำเงิน=แรงดันไฟฟ้า, แดง=กระแสไฟฟ้า)



รูปที่ 8 รูปคลื่นแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าที่ขดลวดด้านรับที่มีความถี่ 50kHz พร้อมภาพขยาย (น้ำเงิน=แรงดันไฟฟ้า, แดง=กระแสไฟฟ้า)



รูปที่ 9 รูปคลื่นแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าที่โหลดตัวด้านทานความถี่ 50kHz (น้ำเงิน=แรงดันไฟฟ้า, แดง=กระแสไฟฟ้า)

จากรูปที่ 9 เป็นแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้ากระแสตรงที่ผ่านการแปลงผันจากไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรงด้วยวงจรเรกติไฟร์แบบฟูลบริดจ์ เพื่อจ่ายไปยังโหลดที่เป็นตัวต้านทาน พบว่าผลการจำลองสามารถทำการจ่ายแรงดันไฟฟ้าได้เท่ากับ 10Vdc, 1A โดยเป็นการจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับโหลดได้ แต่ยังมีผลการเข้าสู่สภาวะคงตัวที่ช้าตามค่าพารามิเตอร์ในระบบ ซึ่งต้องมีการออกแบบและพัฒนาต่อไปให้เหมาะสม

5. สรุป

การจำลองการทำงานของ การถ่ายโอนกำลังไฟฟ้าแบบไร้สายด้วยวงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์หนึ่งเฟสด้วยโปรแกรม MATLAB/Simulink เพื่อแสดงผลการทำงานของระบบ พบว่าสามารถทำการถ่ายโอนกำลังไฟฟ้าได้ ซึ่งการถ่ายโอนกำลังไฟฟ้าจะมีผลของค่าอัตราส่วนของขดลวดด้านส่งและด้านรับเป็ณสำคัญ การจ่ายกำลังไฟฟ้าไปยังโหลดที่เป็นตัวต้านทานด้านเอาต์พุตที่เป็นไฟฟ้ากระแสตรงได้แสดงดังผลการทดลองข้างต้น ทั้งนี้ยังต้องมีการปรับปรุงและพัฒนาของค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่ใช้ในการจำลองให้เหมาะสมเป็นไปตามมาตรฐานสากลที่มีอยู่ ซึ่งในงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาหลักการเบื้องต้นในการประยุกต์ใช้งานวงจรเมตริกซ์คอนเวอร์เตอร์หนึ่งเฟสกับงานทางด้านความถี่สูง ซึ่งสามารถพิสูจน์ได้ว่าสามารถใช้งานได้ ดังนั้นสามารถนำข้อมูลที่ได้รับนี้ไปใช้ในการ

พัฒนาเป็นชุดต้นแบบต่อไป รวมทั้งต้องมีการทดสอบกับการอัดประจุแบตเตอรี่ที่เป็นการประยุกต์ใช้งานของงานวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Worapong Pairindra, Panya Khemmook, and Surin Khomfoi, "The Implementation of Fundamental Harmonic Approximation Technique on Electric Vehicle Wireless Charger" 2010 18th International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications, and Information Technology (ECTI-CON 2021), 19-22 May 2021, Chiang Mai, Thailand.
- [2] Pedro Lopes, Pedro Costa, and Sonia Pinto, "Wireless Power Transfer System for Electric Vehicle Charging" 2020 International Young Engineers Forum (YEF-ECE), 15-19 Nov. 2020, Seoul, Korea.
- [3] Mohammed Irfan Ahamed M, Syed Mateen, Arun Savadi, Abdul Lateef Haroon PS, and Syed Naushad, "Wireless Charging and BMS for Optimizing Electric Vehicle Charging and Battery Management", 2023 International Conference on Distributed Computing and Electrical Circuits and Electronics (ICDCECE), 29-30 April 2023, Ballari, Karnataka, India.
- [4] Ali Zakerian, Sadegh Vaez-Zadeh, and Amir Babaki, "A Dynamic WPT System With High Efficiency and High Power Factor for Electric Vehicles", IEEE Transactions on Power Electronics, Vol.35, No.7, July 2020.
- [5] Erdem Asa, Jason Pries, Veda Galigekere, Subho Mukherjee, Omer C. Onar, Gui-Jia Su, and Burak Ozpineci, "A Novel AC to AC Wireless Power Transfer System for EV Charging Applications", 2020 IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC), 15-19 March 2020, New Orleans, LA, USA.
- [6] สันติสุข สว่างกล้า จิรศักดิ์ ส่งบุญแก้ว สถาพร เสือเทศ และ ประสพโชค ให้อทองคำ "การถ่ายโอนพลังงานไฟฟ้าแบบไร้สายด้วยวงจรอินเวอร์เตอร์ความถี่สูงแบบเต็มบริดจ์ที่ใช้หลักการเลื่อนเฟส", การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 47 (The 47th Electrical Engineering Conference (EECON-47)) วันที่ 13-15 พฤศจิกายน 2567 ณ โรงแรมเซ็นทาราและคอนเวนชันเซ็นเตอร์ จังหวัดอุดรธานี
- [7] จิรศักดิ์ ส่งบุญแก้ว สันติสุข สว่างกล้า สถาพร เสือเทศ และประสพโชค ให้อทองคำ "การส่งกำลังไฟฟ้าแบบไร้สายด้วยวงจรอินเวอร์เตอร์ความถี่สูงแบบครึ่งบริดจ์", การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 47 (The 47th Electrical Engineering Conference (EECON-47)) วันที่ 13-15 พฤศจิกายน 2567 ณ โรงแรมเซ็นทาราและคอนเวนชันเซ็นเตอร์ จังหวัดอุดรธานี
- [8] Abdollah Khoei and Subbaraya Yuvarajan, "Single-Phase AC-AC Converter Using Power MOSFET's", IEEE Transaction on Industrial Electronics, Vol. 35, No. 3, August 1988.



- [9] A. Zuckerberger, D. Weinstock, and A. Alexandrovitz, "Single-phase Matrix Converter", IEE Proc.-Electr. Power Appl., vol.144, No.4, pp. 235-240., July 1997.
- [10] N. Nguyen-Quang, D. A. Stone, C. M. Bingham, and M.P. Foster, "Single Phase Matrix Converter for Radio Frequency Induction Heating", SPEEDAM 2006 International Symposium on Power Electronics, Electrical Drives, Automation and Motion, 23-26 May 2006, Taormina, Italy
- [11] ประสพโชค ให่ทองคำ, กิตติธัช ศิริพรนพคุณ, จุฑาธร จันทร์สีซัง, อาสา วงษ์คำ, และ ครอบยศ โพธิ์ชัย "การสร้างและทดสอบวงจรเอซีทูเอซีแมทริกซ์คอนเวอร์เตอร์หนึ่งเฟสกับโหลดแบบพาสซีฟ" การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้าครั้งที่ 37 (The 37th Electrical Engineering Conference (EECON-37)) วันที่ 19-21 พฤศจิกายน 2557, ณ โรงแรมพูลแมน ขอนแก่น ราชา ออคิด จ.ขอนแก่น มหาวิทยาลัยขอนแก่น