

ระบบรักษาประสิทธิภาพการส่งพลังงานไฟฟ้าไร้สาย ด้วยการปรับความถี่เรโซแนนซ์อัตโนมัติ

Automatic Efficiency Maintaining System for Wireless Power Transfer Using Automatic Resonance Frequency Tuning

วัชร อมศิริ*, พัฒนวิ โพธิ์ทอง, ธนสร ภิญญธนาบัตร์

และวันชัย ไพจิตรोजना

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

ศูนย์รังสิต ตำบลคลองหนึ่ง อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 12120

Watchara Amasiri*, Pattanawee Pothong, Thanasorn Pinyathanabat

and Wanchai Pijitrojana

Department of Electrical and Computer Engineering, Faculty of Engineering, Thammasat University,

Rangsit Centre, Khlong Nueng, Khlong Luang, Pathum Thani 12120

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอวิธีการรักษาประสิทธิภาพการส่งพลังงานไฟฟ้าไร้สายอันเนื่องมาจากปัญหาการเอียงศูนย์ของสายอากาศภาครับและสายอากาศภาคส่งด้วยวิธีการปรับความถี่เรโซแนนซ์อัตโนมัติ เพื่อรักษาประสิทธิภาพของระบบรับส่งพลังงานไฟฟ้าไร้สาย โดยนำเสนอการทดลองด้วยโครงสร้างระบบส่งพลังงานไฟฟ้าไร้สายแบบอนุกรม-ขนาน และระบบอินเวอร์เตอร์แบบบริดจ์ ร่วมกับการควบคุมความถี่เรโซแนนซ์ด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ร่วมกับการสังเคราะห์สี่ตรงแบบดิจิทัล โดยผลของการวิจัยนี้สามารถรักษาประสิทธิภาพของระบบส่งพลังงานไฟฟ้าไร้สาย อันเนื่องมาจากผลของการเอียงศูนย์ของสายอากาศภาครับและภาคส่งได้ 1.89 เท่า ของประสิทธิภาพเดิม

คำสำคัญ : ระบบส่งพลังงานไฟฟ้าไร้สาย; การปรับเปลี่ยนความถี่เรโซแนนซ์อัตโนมัติ

Abstract

This paper presents a method to maintain efficient wireless power transfer due to the misalignment effect of transmitter and receiver antennas, using automatic resonance frequency tuning (ARFT). Series-parallel wireless power transfer was used with a bridge inverter and ARFT, with a microcontroller for direct digital synthesis. Results preserved efficiency of wireless power transfer up to 189 percent.

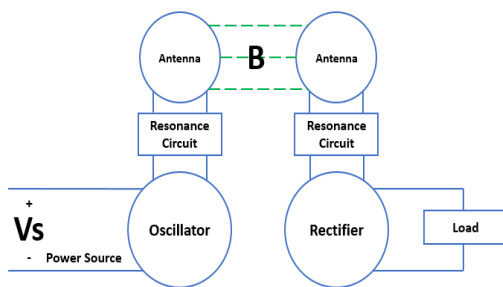
*ผู้รับผิดชอบบทความ : w.a.th@ieee.org

Keywords: wireless power transfer; automatic resonant frequency tuning

1. บทนำ

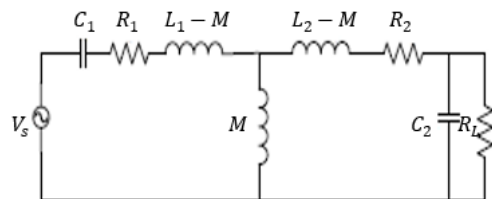
การส่งพลังงานไฟฟ้าไร้สาย หมายถึง การส่งพลังงานไฟฟ้าโดยไม่อาศัยตัวนำทางไฟฟ้าที่มนุษย์สร้างขึ้น การส่งพลังงานไฟฟ้าไร้สายได้รับการวิจัยและพัฒนาอย่างต่อเนื่อง ตัวอย่าง เช่น Nikola Tesla ได้รับสิทธิบัตรในการประดิษฐ์ Tesla Coil [1] ซึ่งใช้เทคนิคการเรโซแนนซ์ ในความถี่วิทยุเพื่อส่งพลังงานไฟฟ้าในรูปแบบของสนามไฟฟ้า ซึ่งต่อมา André Kurs และคณะ ได้พัฒนาเทคนิคการเรโซแนนซ์ เพื่อใช้ส่งพลังงานไฟฟ้าไร้สายในรูปแบบของสนามแม่เหล็ก [2] ปัจจุบันเทคนิคนี้ได้รับการพัฒนาอย่างกว้างขวางเพื่อใช้ในการส่งพลังงานไฟฟ้าไร้สายในรูปแบบต่าง ๆ

การเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กโดยใช้เทคนิคเรโซแนนซ์เป็นผลของการปรับองค์ประกอบของค่าความเหนี่ยวนำ ค่าความเก็บประจุ ร่วมกับการปรับความถี่เรโซแนนซ์ให้เหมาะสม การเรโซแนนซ์ในสายอากาศภาคส่งช่วยให้การส่งพลังงานไฟฟ้ามีประสิทธิภาพสูงขึ้น โดยลดผลของค่ารีแอคแตนซ์ซึ่งปรากฏขึ้นในอิมพีแดนซ์ของสายอากาศภาคส่ง รูปที่ 1 แสดงการเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กโดยใช้เทคนิคเรโซแนนซ์



รูปที่ 1 การเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กโดยใช้เทคนิคเรโซแนนซ์

โครงสร้างของระบบส่งพลังงานไฟฟ้าไร้สายในแต่ละแบบนั้น พิจารณาจากการต่อตัวเก็บประจุเข้ากับสายอากาศภาครับและภาคส่งเพื่อให้เกิดลักษณะของเรโซแนนซ์ ตัวเก็บประจุสามารถต่อกับสายอากาศภาครับและสายอากาศภาคส่งได้ด้วยทั้งสี่แบบ คือ อนุกรม-อนุกรม อนุกรม-ขนาน ขนาน-ขนาน และ ขนาน-อนุกรม โดยตัวเก็บประจุปฐมภูมิ (primary capacitor, C_1) มีหน้าที่ปรับความต่างเฟสของแรงดันและกระแสไฟฟ้าของแหล่งจ่ายให้ตรงกัน เพื่อทำให้กำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟ (reactive Power, Q) เป็นศูนย์ และตัวเก็บประจุทุติยภูมิ (secondary capacitor, C_2) มีหน้าที่เพิ่มกำลังไฟฟ้าโหลดให้สูงขึ้นโดยใช้เทคนิคเรโซแนนซ์



รูปที่ 2 โครงสร้างระบบส่งพลังงานไฟฟ้าไร้สายแบบอนุกรม-ขนาน

อาทิตย์ [3] ได้ศึกษาเทคนิคการเพิ่มประสิทธิภาพระบบส่งพลังงานไฟฟ้าแบบไร้สาย โดยออกแบบโครงสร้างระบบให้มีความเหมาะสม และใช้วิธีคำนวณค่าตัวเก็บประจุปฐมภูมิที่มีความแม่นยำมากขึ้น และได้นำเสนอการประยุกต์เทคนิคดังกล่าว เพื่อใช้สำหรับการประจุพลังงานไฟฟ้าให้แก่อากาศยานไร้คนขับขนาดเล็ก ผลปรากฏว่าสามารถประจุพลังงานไฟฟ้าโดยใช้โครงสร้างระบบส่งพลังงานไฟฟ้าไร้สายแบบอนุกรม-ขนาน ให้กับอากาศยานไร้คนขับขนาดเล็กขนาด 18 วัตต์ โดยมีประสิทธิภาพรวมของระบบร้อยละ

ละ 76.07 โดยได้มีการตั้งข้อสังเกตว่า ประสิทธิภาพของระบบจะต่ำลง เมื่อมีผลของการเอียงศูนย์ระหว่างสายอากาศภาครับและสายอากาศภาคส่งเปลี่ยนไป

Miller และคณะ [4] ได้วิจัยเพื่อสร้างระบบประจุพลังงานไฟฟ้าให้กับรถยนต์ที่มีระบบช่วยส่งกำลังซึ่งใช้พลังงานไฟฟ้าร่วมกับเครื่องยนต์แบบสันดาปภายใน หรือรถยนต์ไฮบริดจ์ ซึ่งใช้เทคนิคการเหนี่ยวนำในรูปแบบของสนามแม่เหล็กพร้อมกับความถี่เรโซแนนซ์ในการประจุพลังงานไฟฟ้าให้กับรถยนต์ไฮบริดจ์ โดยผลของการวิจัยสามารถสร้างระบบประจุพลังงานดังกล่าวได้สำเร็จ และได้มีการตั้งข้อสังเกตว่า ประสิทธิภาพของระบบจะต่ำลง เมื่อมีผลของการเอียงศูนย์ระหว่างสายอากาศภาครับและสายอากาศภาคส่งเปลี่ยนไปเช่นกัน

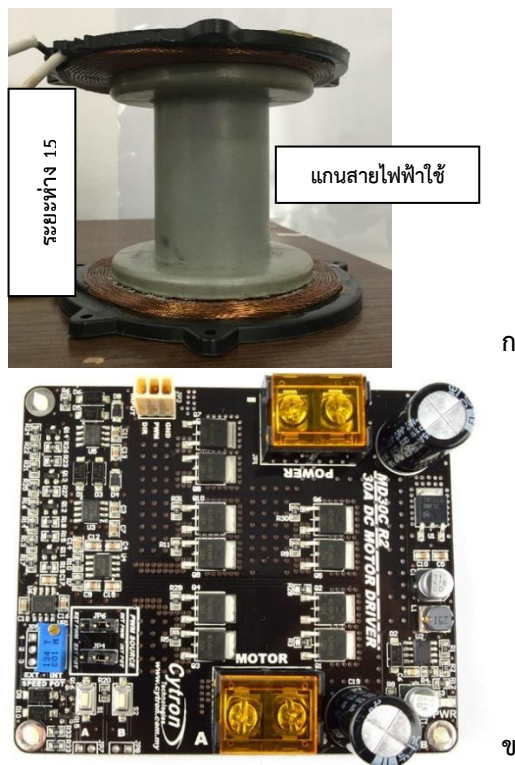
จากที่กล่าวมาข้างต้นจะเห็นได้ว่างานวิจัยที่กล่าวถึงนั้น ประสบความสำเร็จ ในการสร้างระบบส่งพลังงานไฟฟ้าไร้สาย โดยอาศัยเทคนิคการเหนี่ยวนำ สนามแม่เหล็กพร้อมกับความถี่เรโซแนนซ์ โดยพบว่าคุณสมบัติของการเอียงศูนย์ระหว่างสายอากาศภาครับและสายอากาศภาคส่ง จะส่งผลให้ระดับพลังงานที่สามารถส่งได้ลดลงเมื่อระยะเอียงศูนย์เพิ่มขึ้น ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้นำเสนอการปรับปรุงประสิทธิภาพด้วยเทคนิคปรับความถี่เรโซแนนซ์อัตโนมัติ เพื่อรักษาประสิทธิภาพของระบบส่งพลังงานไฟฟ้าไร้สายดังกล่าว

2. วิธีการวิจัย

2.1 ระบบส่งพลังงานไฟฟ้าไร้สาย

งานวิจัยนี้ออกแบบระบบส่งพลังงานไฟฟ้าไร้สายโดยใช้อินเวอร์เตอร์แบบบริดจ์ โดยใช้อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำชนิด MOSFET ชนิด N Channel เพื่อสร้างสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับรูปสี่เหลี่ยมที่มีแรงดันด้านบวกขนาด 27 โวลต์ และด้านลบขนาด -27 โวลต์

ร่วมกับโครงสร้างการส่งพลังงานไฟฟ้าไร้สายแบบอนุกรม-ขนาน โดยใช้สายอากาศกันหอยแบบวงกลมสร้างขึ้นจากลวดทองแดงอาบนํ้ายาตีเกลียว (Litz Wire) จำนวน 38 เส้น พันบนระนาบซึ่งทำขึ้นจากพลาสติก จำนวน 27 รอบ รัศมีวงนอกขนาด 8.5 เซนติเมตร รัศมีวงในขนาด 2 เซนติเมตร รูปที่ 3



รูปที่ 3 ลักษณะสายอากาศภาครับและสายอากาศภาคส่ง (ก) วงจรอินเวอร์เตอร์แบบบริดจ์ที่ใช้ในการทดลอง (ข)

ชุดวงจรอินเวอร์เตอร์แบบบริดจ์เป็นชุดวงจรอินเวอร์เตอร์ที่ประกอบขึ้นจากอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำชนิด MOSFET แบบ N Channel รุ่น NCE40H12K ทนแรงดันสูงสุด 40 โวลต์ ทนกระแสสูงสุด 120 แอมแปร์ ซึ่งมีสมบัติรองรับการทำงานที่ความถี่สูง วงจรอินเวอร์เตอร์ชนิดนี้ ประกอบด้วย MOSFET ต่อ

ร่วมกัน 4 ชุด เป็นลักษณะตัว H โดยใช้การสลับควบคุม MOSFET ครึ่งละ 2 ชุด เพื่อสร้างแรงดันด้านบวก และสร้างแรงดันด้านลบ ตามลำดับ ด้วยการสลับการทำงานความถี่เรโซแนนซ์ในย่านความถี่ต่ำมาก (VLF, very low frequency) โดยใช้เทคนิคการสังเคราะห์ความถี่ดิจิทัลแบบตรง (direct digital synthesizer) กับไมโครคอนโทรลเลอร์

งานวิจัยของ อาทิตย์ และวันชัย [3] ได้คำนวณความถี่ที่เหมาะสมสำหรับการใช้งานใช้งานระบบส่งพลังงานไฟฟ้าไร้สายโดยใช้โครงสร้างแบบอนุกรม-ขนาน พบว่าโครงสร้างของระบบส่งพลังงานไฟฟ้าไร้สายที่วิจัยนี้มีความสามารถในการทำงานได้ดีที่ความถี่ต่ำกว่า 100 กิโลเฮิร์ตซ์ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Miller และคณะ [5] ซึ่งมีการทดลองระบบส่งพลังงานไฟฟ้าไร้สายสำหรับยานยนต์ไฟฟ้าโดยใช้โครงสร้างแบบเดียวกัน ที่ความถี่ต่ำกว่า 100 กิโลเฮิร์ตซ์ โดยพบว่าที่ความถี่ 22.5 กิโลเฮิร์ตซ์นี้ให้ค่าประสิทธิภาพสูงถึงประมาณร้อยละ 90

งานวิจัยนี้จึงเลือกใช้ความถี่สำหรับการส่งพลังงานไฟฟ้าไร้สาย 22.5 กิโลเฮิร์ตซ์ โดยมีโครงสร้างระบบส่งพลังงานไฟฟ้าแบบอนุกรม-ขนาน และเลือกใช้ตัวเก็บประจุปฏิกิริยาที่แม่นยำ ตามงานวิจัยของ อาทิตย์ และวันชัย [3] ซึ่งมีสมบัติทางเทคนิคเฉพาะของโครงสร้างระบบส่งพลังงานไฟฟ้าไร้สายในการทดลองดังตารางที่ 1

สำหรับโหลดของงานวิจัยนี้ เลือกใช้เป็นหลอด ซึ่งสร้างขึ้นด้วย หลอดไฟฟ้าชนิดไส้ (incandescent light bulb) ขนาด 100 วัตต์ จำนวน 11 หลอด ซึ่งมีพิกัดแรงดันกระแสสลับขนาด 220 โวลต์ และมีพิกัดกำลังรวมทั้งสิ้น 1,100 วัตต์ ในการทดลองระบบส่งพลังงานไฟฟ้าไร้สาย

อย่างไรก็ตาม การพิจารณาเลือกใช้ตัวเก็บประจุเรโซแนนซ์ ตามการออกแบบโครงสร้างระบบส่ง

พลังงานไฟฟ้าแบบอนุกรม-ขนาน และการเลือกใช้ตัวเก็บปฏิกิริยาที่แม่นยำ [3] ยังมีความคลาดเคลื่อน อันเนื่องมาจากการสร้างระบบส่งพลังงานไฟฟ้าในการใช้งานจริงนั้น ค่าของตัวเก็บประจุเรโซแนนซ์จะมีค่าความคลาดเคลื่อนเนื่องจากผลของการผลิต ซึ่งจะทำให้ความถี่เรโซแนนซ์ที่ออกแบบไว้ในการออกแบบเปลี่ยนไป ส่งผลให้ความถี่เรโซแนนซ์เปลี่ยนไปด้วย ซึ่งงานวิจัยนี้ได้ออกแบบระบบปรับปรุงประสิทธิภาพโดยการเปลี่ยนความถี่เรโซแนนซ์อัตโนมัติร่วมด้วยเพื่อแก้ไขปัญหา ซึ่งจะได้นำเสนอในหัวข้อถัดไป

ตารางที่ 1 สมบัติทางเทคนิคเฉพาะของโครงสร้างระบบส่งพลังงานไฟฟ้าไร้สายในการทดลอง

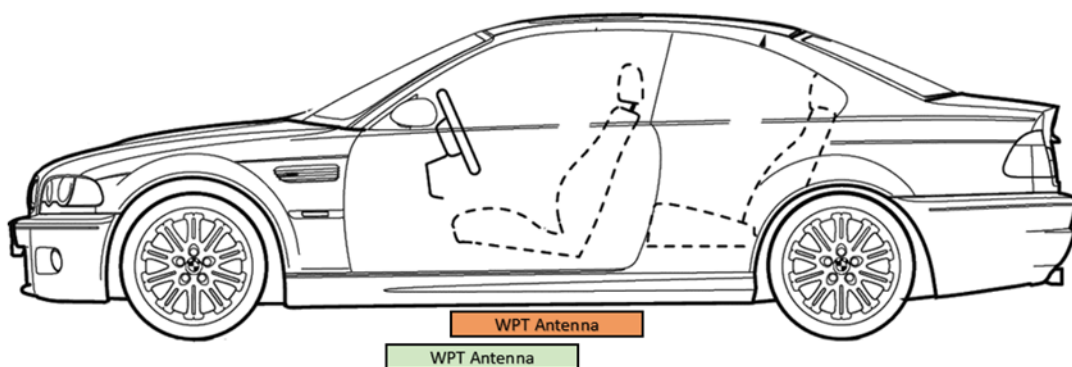
พารามิเตอร์	สายอากาศภาคส่ง	สายอากาศภาครับ
ค่าความเหนี่ยวนำ	107.28 μH	110.21 μH
ค่าความต้านทาน	134.85 $\text{m}\Omega$	128.60 $\text{m}\Omega$
ค่าตัวเก็บประจุเรโซแนนซ์	0.454 μF	0.4 μF
ระยะห่างระหว่างสายอากาศ	15 cm	15 cm
โครงสร้างการเรโซแนนซ์	อนุกรม	ขนาน
ความถี่เรโซแนนซ์	22.5 กิโลเฮิร์ตซ์	22.5 กิโลเฮิร์ตซ์

2.2 การเยื้องศูนย์ของสายอากาศภาครับและสายอากาศภาคส่ง

การเยื้องศูนย์ของสายอากาศภาครับและสายอากาศภาคส่งในระบบส่งพลังงานไฟฟ้าไร้สายนั้น มักจะเกิดขึ้นกับระบบส่งพลังงานไฟฟ้าไร้สาย ซึ่งใช้หลักการเหนี่ยวนำแบบเรโซแนนซ์ เนื่องจากสายอากาศภาครับและสายอากาศภาคส่งจะมีระยะห่างระหว่างกัน โดยเฉพาะในระบบส่งพลังงานไฟฟ้าไร้สายสำหรับยานยนต์ไฟฟ้า ซึ่งสายอากาศภาครับและสายอากาศภาคส่งจะถูกติดตั้งบริเวณใต้ยานยนต์ไฟฟ้า

ส่งผลให้ เมื่อยานยนต์ไฟฟ้าจอดเชื่อมล้ากับสถานี
ประจุไฟฟ้าสำหรับยานยนต์ไฟฟ้าแบบไร้สาย จะทำให้

การประจุไฟฟ้าให้กับยานยนต์ไฟฟ้านั้น ไม่มี
ประสิทธิภาพ



รูปที่ 4 ลักษณะของการเชื่อมต่อของสถานีประจุไฟฟ้าไร้สายสำหรับยานยนต์ไฟฟ้า

งานวิจัยของ Fotopoulou และ Flynn [6] พบว่าระยะเยื้องศูนย์ของสายอากาศภาครับและสายอากาศภาคส่ง ส่งผลต่อค่ากำลังงานที่ส่งผ่านระหว่างกัน ซึ่งระยะเยื้องศูนย์ที่มากขึ้นของสายอากาศทั้งสอง จะทำให้กำลังงานที่ส่งผ่านระหว่างกันลดลงมากขึ้นตามไปด้วย โดยงานวิจัยนี้พบว่าการเยื้องศูนย์ของสายอากาศภาครับและภาคส่งทำให้ค่าความเหนี่ยวนำร่วมกันระหว่างสายอากาศทั้งสองเปลี่ยนไปจากที่ออกแบบไว้ ซึ่งเมื่อพิจารณาผลของปรากฏการณ์ดังกล่าวแล้ว พบว่าเป็นผลให้ความถี่เรโซแนนซ์ในการเหนี่ยวนำสำหรับระบบส่งพลังงานไฟฟ้าไร้สายที่ออกแบบไว้เดิมเปลี่ยนไป

นอกจากนี้งานวิจัยของ Lim และคณะ [7] ได้นำเสนอวิธีการเพื่อรักษาประสิทธิภาพอันเป็นผลซึ่งเกิดมาจากปรากฏการณ์ต่าง ๆ ซึ่งทำให้อิมพีแดนซ์ของระบบส่งพลังงานไฟฟ้าไร้สายเปลี่ยนไป โดยการใช้ตัวเก็บประจุต่อร่วมกันในลักษณะของเมทริกซ์ และออกแบบวิธีการเพื่อสลับตัวเก็บประจุให้ต่อเข้ากับระบบส่งพลังงานไฟฟ้าไร้สายเพื่อให้ระบบมีค่าความเก็บประจุที่มีความเหมาะสมต่อการเปลี่ยนไปของ

ความถี่เรโซแนนซ์ โดยสามารถรักษาประสิทธิภาพของระบบให้ทำงานได้สูงถึงร้อยละ 88 อย่างไรก็ตามงานวิจัยดังกล่าวออกแบบระบบดังกล่าวสำหรับการใช้งานที่ย่านความถี่สูง (VHF, very high frequency) ซึ่งทำให้ตัวเก็บประจุมีขนาดเล็ก อีกทั้งยังออกแบบให้ระบบทนกำลังได้ต่ำ แตกต่างกับงานวิจัยนี้ซึ่งออกแบบให้ระบบทำงานที่ย่านความถี่ต่ำมาก (VLF, very low frequency) และทำกำลังได้สูง ซึ่งทำให้ลักษณะทางกายภาพของตัวเก็บประจุมีขนาดใหญ่

งานวิจัยนี้จึงจำเป็นต้องมีการพัฒนาวิธีการเพื่อรักษาประสิทธิภาพของระบบส่งพลังงานไฟฟ้าไร้สาย อันเป็นผลมาจากการเยื้องศูนย์ของสายอากาศภาครับ และสายอากาศภาคส่ง สำหรับใช้งานในย่านความถี่ต่ำมาก และสามารถทำงานได้กับระบบที่มีกำลังสูงโดยเฉพาะ

2.3 ระบบปรับปรุงประสิทธิภาพโดยการเปลี่ยนความถี่เรโซแนนซ์อัตโนมัติ

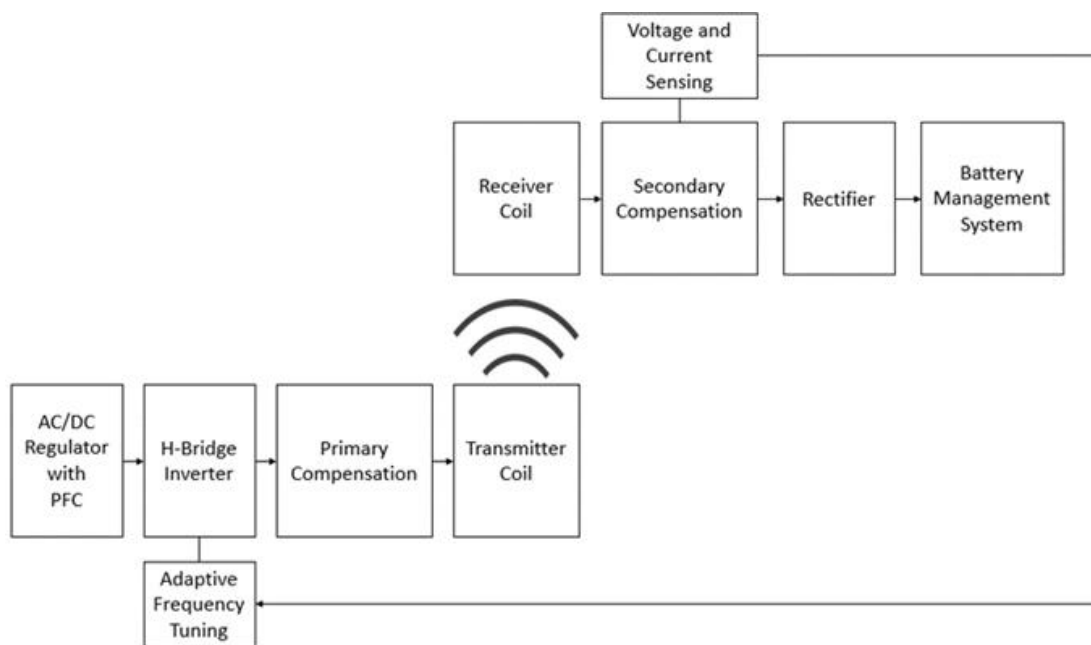
เมื่อพิจารณาถึงวิธีการคำนวณเพื่อเลือกค่าความเก็บประจุที่เหมาะสมสำหรับการสร้างลักษณะของการเรโซแนนซ์ให้กับระบบส่งพลังงานไฟฟ้าไร้สาย

แล้ว พบว่าค่าความเก็บประจุที่คำนวณได้แตกต่างไปจากค่าความเก็บประจุของตัวเก็บประจุที่สามารถใช้งานได้ในปัจจุบัน เนื่องจากผลของการผลิตตัวเก็บประจุในอุตสาหกรรมซึ่งทำให้มีค่าความเก็บประจุคลาดเคลื่อนไปจากสมบัติของตัวเก็บประจุนั้น และลักษณะของการเสื่อมสภาพของอุปกรณ์เมื่อใช้งานไประยะเวลานาน ซึ่งจะทำให้ค่าความต้านทานภายในและค่าความเก็บประจุของตัวเก็บประจุนั้น ๆ เปลี่ยนไปด้วย รวมถึงการเยื้องศูนย์ของสายอากาศภาครับและสายอากาศภาคส่ง ลักษณะดังกล่าวนี้ทำให้ค่าประสิทธิภาพโดยรวมของระบบส่งพลังงานของระบบต่ำลง

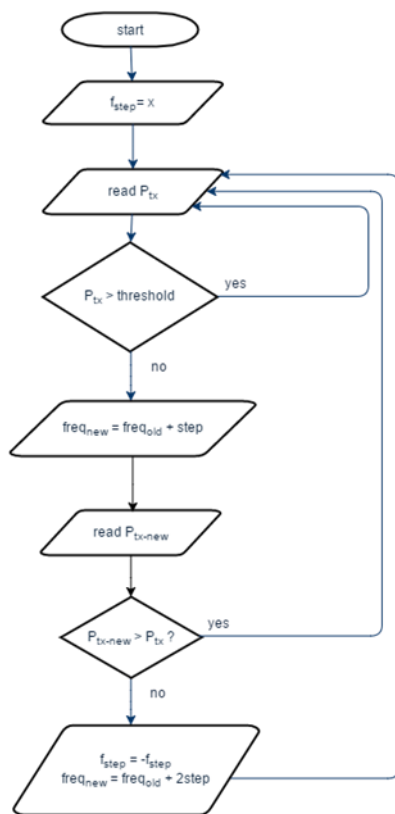
งานวิจัยนี้จึงได้พัฒนาวิธีการปรับปรุงประสิทธิภาพโดยวิธีการเปลี่ยนความถี่เรโซแนนซ์อัตโนมัติ โดยสร้างชุดปรับปรุงประสิทธิภาพที่มีความสามารถในการวัดระดับแรงดัน และกระแสที่เปลี่ยนไปของฟุ้งหตุยภูมิ เพื่อนำมาคำนวณค่าประสิทธิภาพโดยรวมของระบบ และปรับปรุงประสิทธิภาพโดย

วิธีการเปลี่ยนความถี่เรโซแนนซ์ไปในช่วงที่กำหนด ซึ่งเมื่อพบความถี่เรโซแนนซ์ที่ทำให้ค่าประสิทธิภาพโดยรวมของระบบมีค่าสูงสุดแล้ว ระบบจะหยุดเปลี่ยนความถี่ เพื่อให้สามารถส่งพลังงานไฟฟ้าไร้สายที่ความถี่เรโซแนนซ์จริงของระบบนั้น ๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ระบบปรับปรุงประสิทธิภาพโดยการเปลี่ยนความถี่เรโซแนนซ์อัตโนมัติที่นำเสนอนี้ สร้างขึ้นโดยระบบไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยเลือกใช้วงจรพัฒนารุ่น Arduino MEGA2560 ร่วมกับชุดวงจรสังเคราะห์สัญญาณดิจิทัลแบบตรง (direct digital synthesizer) ในการสร้างสัญญาณคลื่นรูปสี่เหลี่ยมที่ความถี่ที่ต้องการ เพื่อควบคุมวงจรอินเวอร์เตอร์แบบบริดจ์ โดยรูปที่ 5 แสดงระบบส่งพลังงานไฟฟ้าไร้สายที่มีระบบปรับปรุงประสิทธิภาพโดยการเปลี่ยนความถี่เรโซแนนซ์อัตโนมัติ และรูปที่ 6 แสดงลำดับขั้นตอนการทำงานของระบบปรับปรุงประสิทธิภาพโดยการเปลี่ยนความถี่เรโซแนนซ์อัตโนมัติ



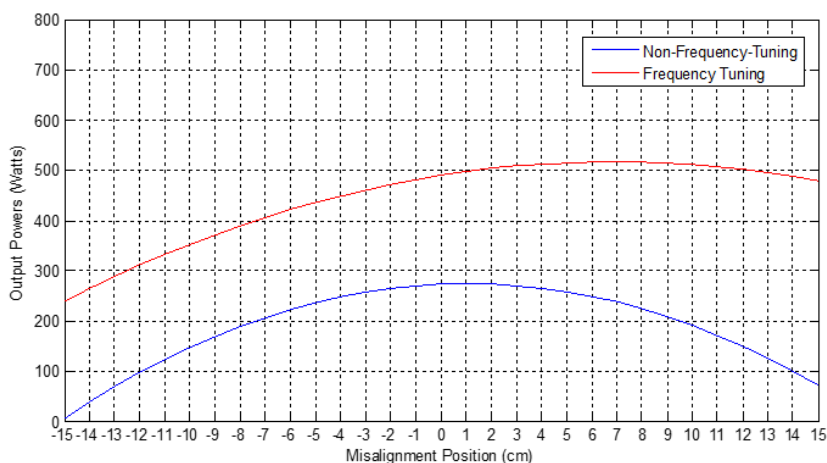
รูปที่ 5 ระบบส่งพลังงานไฟฟ้าไร้สายที่มีระบบปรับปรุงประสิทธิภาพโดยการเปลี่ยนความถี่เรโซแนนซ์อัตโนมัติ



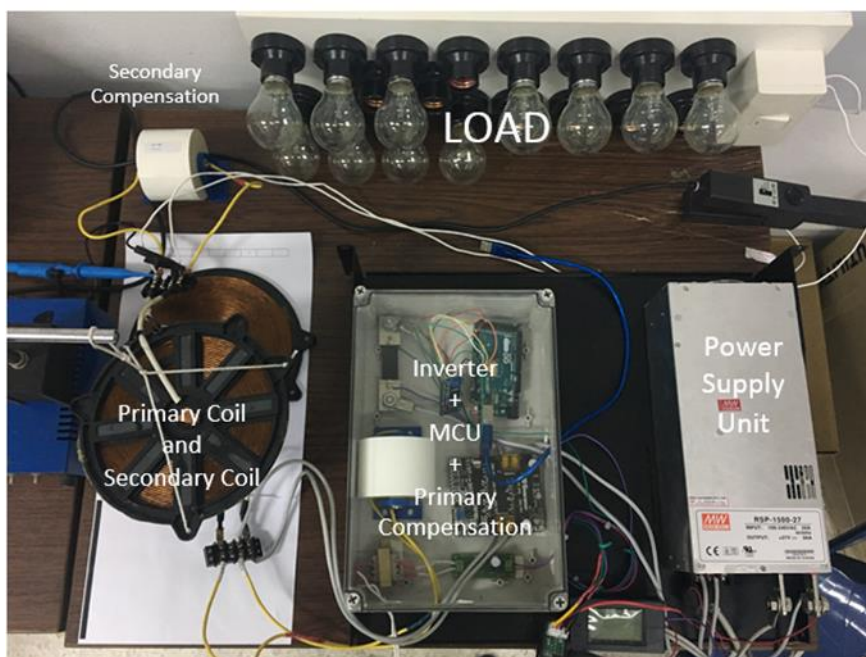
รูปที่ 6 ลำดับขั้นตอนการทำงานของระบบปรับปรุงประสิทธิภาพโดยการเปลี่ยนความถี่เรโซแนนซ์อัตโนมัติ

3. ผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ออกแบบการทดลองโดยเปรียบเทียบระบบส่งพลังงานไฟฟ้าไร้สายที่มีการเอียงศูนย์ในระยะเท่า ๆ กัน ระหว่างระบบที่ไม่มีการปรับปรุงประสิทธิภาพโดยวิธีการเปลี่ยนความถี่เรโซแนนซ์อัตโนมัติกับระบบที่มีการปรับปรุงประสิทธิภาพโดยวิธีการเปลี่ยนความถี่เรโซแนนซ์อัตโนมัติ เพื่อให้เห็นความแตกต่างระหว่างระบบส่งพลังงานไฟฟ้าไร้สายทั่วไป และระบบส่งพลังงานไฟฟ้าไร้สายที่มีระบบปรับปรุงประสิทธิภาพที่ออกแบบขึ้น โดยกำหนดระยะการเอียงศูนย์ตั้งแต่ ± 15 เซนติเมตร ไปถึง 0 เซนติเมตร โดยรูปที่ 7 แสดงกราฟของผลการทดลองโดยแสดงกำลังที่เกิดขึ้นที่โหลดเปรียบเทียบกับระยะเอียงศูนย์ของระบบส่งพลังงานไฟฟ้าไร้สายที่ไม่มีการปรับปรุงประสิทธิภาพโดยวิธีการเปลี่ยนความถี่เรโซแนนซ์อัตโนมัติ และมีการปรับปรุงประสิทธิภาพโดยวิธีการเปลี่ยนความถี่เรโซแนนซ์อัตโนมัติ และรูปที่ 8 แสดงการทดลองของงานวิจัยนี้



รูปที่ 7 กราฟแสดงกำลังเปรียบเทียบกับระยะเอียงศูนย์ของระบบส่งพลังงานไฟฟ้าไร้สายที่ไม่มีการปรับปรุงประสิทธิภาพโดยวิธีการเปลี่ยนความถี่เรโซแนนซ์อัตโนมัติ และมีการปรับปรุงประสิทธิภาพโดยวิธีการเปลี่ยนความถี่เรโซแนนซ์อัตโนมัติ



รูปที่ 8 การทดลองระบบส่งพลังงานไฟฟ้าไร้สายที่มีการปรับปรุงประสิทธิภาพโดยวิธีการเปลี่ยนความถี่เรโซแนนซ์อัตโนมัติ

ผลการวิเคราะห์ผลการทดลองพบว่าระบบส่งพลังงานไฟฟ้าไร้สายที่ไม่มีการปรับปรุงประสิทธิภาพโดยวิธีการเปลี่ยนความถี่เรโซแนนซ์อัตโนมัติ ซึ่งทำงานด้วยความถี่เรโซแนนซ์คงที่ที่ 22.5 กิโลเฮิร์ตซ์ นั้นสามารถส่งกำลังสูงสุดได้ที่ 285.27 วัตต์ ที่ระยะการเอียงศูนย์ 0 เซนติเมตร กำลังต่ำสุด 0 วัตต์ ที่ระยะเอียงศูนย์ -15 เซนติเมตร ตามลำดับ

ระบบส่งพลังงานไฟฟ้าไร้สายที่มีการปรับปรุงประสิทธิภาพโดยวิธีการเปลี่ยนความถี่เรโซแนนซ์อัตโนมัติที่มีการปรับเปลี่ยนความถี่เรโซแนนซ์ระหว่าง 22 ถึง 23 กิโลเฮิร์ตซ์ สามารถส่งกำลังสูงสุดได้ที่ 541.08 วัตต์ ที่ระยะเอียงศูนย์ 8 เซนติเมตร กำลังต่ำสุด 240.3 วัตต์ ที่ระยะเอียงศูนย์ -15 เซนติเมตร ตามลำดับ

ผลการทดลองพบว่าระบบส่งพลังงานไฟฟ้าไร้สายที่มีการปรับปรุงประสิทธิภาพโดยวิธีการเปลี่ยน

ความถี่เรโซแนนซ์อัตโนมัติที่สร้างขึ้นนี้ สามารถแก้ไขปัญหาค่าความผิดพลาดอันเนื่องมาจากระบวนการผลิตของตัวเก็บประจุเรโซแนนซ์ และสามารถแก้ไขปัญหาค่าความถี่ของสายอากาศภาครับและสายอากาศภาคส่ง ซึ่งทำให้ค่าความเหนี่ยวนำร่วมกันของสายอากาศภาครับและสายอากาศภาคส่งเปลี่ยนไป ด้วยวิธีการปรับเปลี่ยนความถี่เรโซแนนซ์ให้เหมาะสมกับระบบ ทำให้ระบบส่งพลังงานไฟฟ้าไร้สายที่มีการปรับปรุงประสิทธิภาพโดยวิธีการเปลี่ยนความถี่เรโซแนนซ์อัตโนมัติที่สร้างขึ้นนี้ มีกำลังที่สามารถส่งผ่านได้มากขึ้น

4. สรุป

งานวิจัยนี้นำเสนอวิธีการรักษาประสิทธิภาพการส่งพลังงานไฟฟ้าไร้สายด้วยการปรับความถี่เรโซแนนซ์อัตโนมัติสำหรับระบบส่งพลังงานไฟฟ้าไร้สาย

โดยสร้างชุดปรับปรุงประสิทธิภาพที่มีความสามารถในการวัดระดับแรงดัน และกระแสที่เปลี่ยนไปของฝั่งทุติยภูมิ เพื่อนำมาคำนวณค่าประสิทธิภาพโดยรวมของระบบ และปรับปรุงประสิทธิภาพโดยการเปลี่ยนความถี่เรโซแนนซ์ในช่วงสั้นๆ ซึ่งเมื่อพบความถี่เรโซแนนซ์ที่ทำให้ค่าประสิทธิภาพโดยรวมของระบบมีค่าสูงสุดแล้ว ก็จะหยุดเปลี่ยนความถี่ เพื่อให้สามารถส่งพลังงานไฟฟ้าไร้สายได้ที่ความถี่เรโซแนนซ์จริงของระบบนั้น ๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ จากผลการศึกษาสามารถรักษาประสิทธิภาพของระบบส่งพลังงานไฟฟ้าไร้สายโดยใช้วิธีการปรับความถี่เรโซแนนซ์ได้ดีขึ้นจากเดิมสูงสุดถึง 1.89 เท่า ของประสิทธิภาพเดิม

โดยงานวิจัยนี้ สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้ในการพัฒนาระบบส่งพลังงานไฟฟ้าไร้สายของสถานีส่งพลังงานไฟฟ้าไร้สายส่วนบุคคล รวมถึงสถานีส่งพลังงานไฟฟ้าไร้สายสาธารณะ ซึ่งรองรับการใช้งานเมื่อสายอากาศภาครับมีคุณลักษณะที่แตกต่างกัน ทำให้สามารถรักษาประสิทธิภาพของระบบส่งพลังงานไฟฟ้าไร้สายนั้น ๆ ได้

อนึ่ง แม้จะคำนวณเพื่อเลือกค่าตัวเก็บประจุเรโซแนนซ์ให้เหมาะสมสำหรับสายอากาศภาคส่ง และสายอากาศภาครับ ที่ความถี่เรโซแนนซ์ 22.5 กิโลเฮิร์ตซ์ แล้วยังพบว่า การเลือกตัวเก็บประจุสำหรับใช้ในการทดลองดังกล่าว ยังมีความคลาดเคลื่อนเนื่องมาจากตัวเก็บประจุเรโซแนนซ์จะมีความคลาดเคลื่อน ซึ่งเป็นผลจากกระบวนการผลิต และจากผลการวิจัยนี้ พบว่าเมื่อใช้ระบบการปรับความถี่เรโซแนนซ์อัตโนมัติกับระบบส่งพลังงานไฟฟ้าแบบไร้สายนี้แล้ว พบว่าตำแหน่งที่สามารถส่งพลังงานได้สูงสุด ไม่จำเป็นต้องเป็นจุดที่มีระยะเยื้องศูนย์ของสายอากาศภาครับและสายอากาศภาคส่งเป็น 0 ซึ่งงานวิจัยนี้สามารถพัฒนาได้โดยศึกษาระเบียบวิธีการไฟไนต์เอลิเมนต์ เพื่อวิเคราะห์ และทำความเข้าใจผลของปรับเปลี่ยน

ความถี่เรโซแนนซ์และรูปร่างของการแพร่สนามแม่เหล็กของสายอากาศภาครับและสายอากาศภาคส่ง เพื่อให้มีความเข้าใจในลักษณะของรูปร่างของการแพร่สนามแม่เหล็กของสายอากาศในการทดลองมากขึ้น

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากโครงการมหาวิทยาลัยวิจัยแห่งชาติ สำนักงานคณะกรรมการอุดมศึกษา ทุนการศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา และทุนโครงการวิจัยเพื่อทำวิทยานิพนธ์ระดับบัณฑิตศึกษาจากคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

6. รายการอ้างอิง

- [1] Tesla, N., 1914, Apparatus for transmitting electrical energy, US Patent No. 1119732.
- [2] Kurs, A., Karalis, A., Moffatt, R., Joannopoulos, J.D., Fisher, P. and Soljačić, M., 2007, Wireless power transfer via strongly coupled magnetic resonances, Science 317: 83-86.
- [3] อาทิตย์ ฤทธิผลลง, 2558, การเพิ่มประสิทธิภาพระบบส่งพลังงานไฟฟ้าแบบไร้สายโดยออกแบบโครงสร้างให้เหมาะสมและใช้ค่าตัวเก็บประจุปฐมภูมิที่แม่นยำ, วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, ปทุมธานี.
- [4] Onar, O.C., Miller, J.M., Campbell, S.L., Coomer, C., White, C.P. and Seiber, L.E., 2013, Oak ridge national laboratory wireless power transfer development for sustainable campus initiative, 2013 IEEE Transportation Electrification Conference and Expo (ITEC), Detroit, MI, pp. 1-8.
- [5] Onar, O.C., Miller, J.M., Campbell, S.L.,

- Coomer, C., White, C.P. and Seiber, L.E., 2013, A novel wireless power transfer for in-motion EV/PHEV charging, 2013 IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC), Long Beach, CA, USA, pp. 3073-3080.
- [6] Fotopoulou, K. and Flynn, B.W., 2011, Wireless power transfer in loosely coupled links: Coil misalignment model, IEEE Transactions on Magnetics 47(2): 416-430.
- [7] Lim, Y., Tang, H., Lim, S. and Park, J., 2014, An adaptive impedance-matching network based on a novel capacitor matrix for wireless power transfer, IEEE Transactions on Power Electronics 29(8): 4403-4413,