
การวิจัยและพัฒนาสถานีประจุพลังงานไร้สายสำหรับรถสามล้อสาธารณะไฟฟ้า
Designing a Wireless Electric Vehicle Charging Station
for Electric Tuk-Tuks in Thailand

^{1*}วัชร อมศิริ, และ ¹วันชัย ไพจิตรोजना

^{1*}Watchara Amasiri, and ¹Wanchai Pijitrojana

¹คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ตำบลคลองหนึ่ง อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี
12121

¹Thammasat School of Engineering Klong Neung, Klongluang, Pathumthani 12121

*ผู้นิพนธ์หลัก: awatchar@engr.tu.ac.th

*Corresponding author: awatchar@engr.tu.ac.th

Received : 2021-05-25 Revised : 2021-06-08 Accepted : 2021-06-20

บทคัดย่อ

รถสามล้อสาธารณะไฟฟ้า หรือ รถตุ๊กตุ๊ก เป็นสัญลักษณ์ของระบบขนส่งมวลชนในแหล่งท่องเที่ยวสำคัญหลายแห่งของประเทศไทย ซึ่งในปัจจุบันหน่วยงานราชการได้มีการส่งเสริมให้รถสามล้อสาธารณะไฟฟ้าใช้พลังงานจากไฟฟ้ามากขึ้น เพื่อลดมลภาวะอันเกิดจากเครื่องยนต์ที่มีการสันดาปภายใน งานวิจัยนี้นำเสนอการวิจัยและพัฒนาสถานีประจุพลังงานไร้สายสำหรับรถสามล้อสาธารณะไฟฟ้า ขนาดกำลัง 500 วัตต์ และนำเสนอระบบการปรับปรุงประสิทธิภาพเมื่อมีการเชื่อมต่อของสายอากาศภาครับและสายอากาศภาคส่งเนื่องจากการจัดวางไม่ตรงกับสถานีประจุพลังงานซึ่งทำให้สถานีประจุพลังงานไร้สายสำหรับรถสามล้อสาธารณะไฟฟ้านี้มีประสิทธิภาพรวมทั้งระบบร้อยละ 65.65

คำสำคัญ: สถานีประจุพลังงานไร้สายสำหรับยานยนต์ไฟฟ้า, การคมนาคมไทย

Abstract

Familiar from their presence at tourist locations throughout Thailand, tuk-tuks or sam lor (three-wheeled) are similar to rickshaws with small engines fitted in. In 2016, the Thai Ministry of Sciences and Technology of Thailand, in collaboration with domestic research centres and the private sector, held an exhibition of electric tuk-tuk prototypes

to reduce pollution from carbon dioxide and greenhouse emissions. A wireless electric vehicle charging station for electric tuk-tuks in Thailand was designed, with an efficiency enhancement system to reduce misalignment between vehicles and wireless charging stations. The system could archive up to 500 watts with 65.65 percent efficiency.

Keyword: wireless electric vehicle charging station, thai transportation

บทนำ

รถสามล้อสาธารณะ หรือ รถตุ๊กตุ๊ก เป็นรถยนต์สาธารณะซึ่งให้บริการด้านขนส่งมวลชน ในพื้นที่กรุงเทพมหานคร และแหล่งท่องเที่ยวสำคัญหลายแห่งในประเทศไทย โดยแต่เดิมนั้นรถสามล้อสาธารณะใช้เครื่องยนต์แบบมีการสันดาปภายใน (Internal Combustion Engine) เป็นเครื่องต้นกำลัง โดยใช้น้ำมันเป็นเชื้อเพลิงเป็นหลัก เมื่อราคาน้ำมันในประเทศไทยมีการปรับตัวสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง ทำให้ผู้ขับขีรถสามล้อสาธารณะจำเป็นต้องแบกรับต้นทุนที่สูงขึ้น รถสามล้อสาธารณะจึงจำเป็นต้องดัดแปลงเครื่องยนต์เดิมเพื่อให้ใช้เชื้อเพลิงจากก๊าซธรรมชาติ คือ ก๊าซปิโตรเลียมเหลว (Liquefied Petroleum Gas :LPG) และ (Compressed Natural Gas : CNG) โดยการดัดแปลงนี้ สนับสนุนโดยหน่วยงานภาครัฐเพื่อให้เป็นไปตามนโยบายและแผนการอนุรักษ์พลังงานของประเทศไทย

ต่อมาหน่วยงานภาครัฐได้มีนโยบายส่งเสริมให้เกิดการใช้ยานยนต์ไฟฟ้าในประเทศไทยมากขึ้น โดยมีการก่อสร้างสถานีประจุพลังงานสำหรับยานยนต์ไฟฟ้าในปี พ.ศ.2560 และการส่งเสริมให้ประชาชนเลือกใช้ยานยนต์ไฟฟ้าในการสัญจรมากขึ้น นอกจากนี้ สำนักนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน ยังมีการสนับสนุนการซื้อรถสามล้อสาธารณะ เพื่อนำมาดัดแปลงเป็น รถสามล้อสาธารณะไฟฟ้าเพื่อนำมาบริการส่งเสริมการท่องเที่ยวที่สำคัญในประเทศไทย โดยมีเป้าหมายจะเปลี่ยนรถสามล้อสาธารณะที่มีอยู่ในประเทศไทยจำนวนประมาณ 22,000 คัน ให้เป็นรถสามล้อสาธารณะไฟฟ้า

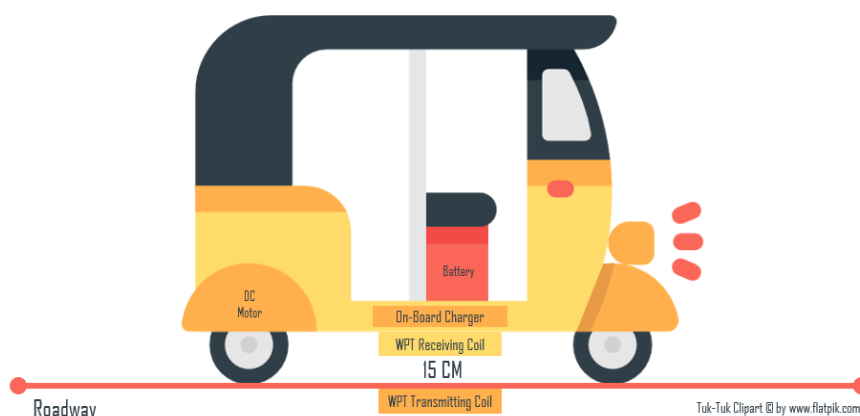
รถสามล้อสาธารณะไฟฟ้า จำเป็นต้องมีการประจุพลังงานไฟฟ้าให้กับแบตเตอรี่ซึ่งเป็นแหล่งพลังงานในการขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้า โดยปัจจุบันการเติมพลังงานไฟฟ้าให้กับรถยนต์ไฟฟ้าชนิดต่างๆ สามารถทำได้โดยการสร้างเป็นสถานีเติมพลังงานไฟฟ้าโดยสามารถแบ่งประเภทการอัดประจุได้ 3 ประเภทคือ 1) สถานีอัดประจุแบบมีสาย (Inductive Charging Station) 2) สถานีอัดประจุแบบไร้สาย (Wireless Charging Station) และ 3) สถานีสับเปลี่ยนแบตเตอรี่ (Battery Swap Station) โดยในปัจจุบันเทคโนโลยีของการอัดประจุแบบไร้สายได้รับความสนใจและมีการวิจัยและพัฒนาอย่างกว้างขวาง



ภาพที่ 1 สถานีอัดประจุแบบมีสาย สถานีอัดประจุแบบไร้สาย และ สถานีสับเปลี่ยนแบตเตอรี่

สถานีอัดประจุแบบไร้สาย มีลักษณะเด่นกว่าสถานีเดิมพลังงานไฟฟ้าแบบอื่น ๆ คือ สถานีอัดประจุแบบไร้สายมีความสะดวก ผู้ใช้งานไม่จำเป็นต้องลงจากยานพาหนะขณะประจุพลังงาน สถานีอัดประจุแบบไร้สายมีความปลอดภัย เนื่องจากผู้ใช้งานไม่จำเป็นต้องสัมผัสกับสายสำหรับประจุพลังงาน ซึ่งอาจเป็นอันตรายแก่ผู้ใช้งาน หรือสร้างความไม่มั่นใจให้ผู้ใช้งานได้เมื่อจำเป็นต้องประจุพลังงานไฟฟ้าในสภาพอากาศที่มีฝนตก นอกจากนี้เนื่องจากการอัดประจุแบบไร้สายทำให้ไม่จำเป็นต้องมีส่วนต่อเชื่อมทางกายภาพของสถานีประจุพลังงานไฟฟ้า กับ รถยนต์ ทำให้มีแนวโน้มการพัฒนาสถานีอัดประจุเพื่อให้สามารถประจุพลังงานให้กับยานยนต์ไฟฟ้าขณะเคลื่อนที่ได้

งานวิจัยนี้ จึงวิจัยและพัฒนาสถานีประจุพลังงานไร้สายสำหรับรถสามล้อสาธารณะไฟฟ้า โดยมีกำลังประจุขนาด 500 วัตต์เพื่อให้สามารถใช้งานได้กับรถสามล้อสาธารณะไฟฟ้า และ นำเสนอระบบการปรับปรุงประสิทธิภาพเมื่อมีการเอียงศูนย์ของสายอากาศภาครับและสายอากาศภาคส่งเนื่องจากการจอดรถไม่ตรงกับสถานีประจุพลังงาน ซึ่งจะได้นำกล่าวถึงต่อไป



ภาพที่ 2 สถานีประจุพลังงานไร้สายสำหรับรถสามล้อสาธารณะไฟฟ้า ที่นำเสนอในงานวิจัยนี้

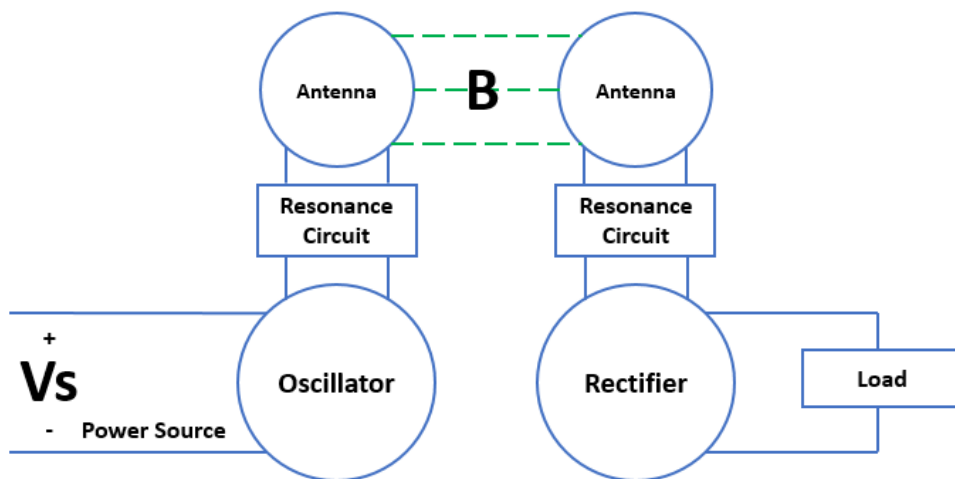
วิธีการวิจัย

สถานีประจุพลังงานไร้สาย

1. การส่งพลังงานไฟฟ้าไร้สาย

การส่งพลังงานไฟฟ้าไร้สาย (Wireless Power Transfer) หมายถึง การส่งพลังงานไฟฟ้าโดยไม่อาศัยตัวนำทางไฟฟ้าที่มนุษย์สร้างขึ้น การส่งพลังงานไฟฟ้าไร้สายได้รับการวิจัยและพัฒนาอย่างต่อเนื่อง ตัวอย่างเช่น Nikolas Tesla ได้รับสิทธิบัตรในการประดิษฐ์ Tesla Coil (Tesla, 1914) ซึ่งใช้เทคนิคการเรโซแนนซ์ในความถี่วิทยุเพื่อส่งพลังงานไฟฟ้าในรูปแบบของสนามไฟฟ้า ซึ่งต่อมา André Kurs และคณะ ได้พัฒนาเทคนิคการเรโซแนนซ์เพื่อใช้ส่งพลังงานไฟฟ้าไร้สายในรูปแบบของสนามแม่เหล็ก (Kurs et al., 2007) ปัจจุบันเทคนิคนี้ได้รับการพัฒนาอย่างกว้างขวางเพื่อใช้ในการส่งพลังงานไฟฟ้าไร้สาย ในรูปแบบต่าง ๆ

การเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กโดยใช้เทคนิคเรโซแนนซ์เป็นผลของการปรับองค์ประกอบของค่าความเหนี่ยวนำ ค่าความเก็บประจุ ร่วมกับการปรับความถี่เรโซแนนซ์ให้เหมาะสม การเรโซแนนซ์ในสายอากาศภาคส่งช่วยให้การส่งพลังงานไฟฟ้ามีประสิทธิภาพสูงขึ้น โดยลดผลของค่ารีแอคแตนซ์ซึ่งปรากฏขึ้นในอิมพีแดนซ์ของสายอากาศภาคส่ง



ภาพที่ 3 การเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กโดยใช้เทคนิคเรโซแนนซ์

โครงสร้างของระบบส่งพลังงานไฟฟ้าไร้สายในแต่ละแบบนั้น พิจารณาจากการต่อตัวเก็บประจุเข้ากับสายอากาศภาครับและภาคส่งเพื่อให้เกิดลักษณะของเรโซแนนซ์ ตัวเก็บประจุสามารถต่อกับสายอากาศภาครับและสายอากาศภาคส่งได้ด้วยกันทั้งสิ้น 4 แบบคือ อนุกรม-อนุกรม อนุกรม-ขนาน ขนาน-ขนาน และ ขนาน-อนุกรม โดยตัวเก็บประจุปฐมภูมิ (Primary capacitor, C1) มีหน้าที่ปรับความต่างเฟสของแรงดันและกระแสไฟฟ้าของแหล่งจ่ายให้ตรงกัน เพื่อทำให้กำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟ (Reactive Power, Q) เป็นศูนย์ และตัวเก็บประจุทุติยภูมิ (Secondary Capacitor, C2) มีหน้าที่เพิ่มกำลังไฟฟ้าโหลดให้สูงขึ้นโดยใช้เทคนิคเรโซแนนซ์

อาทิตย์ ฤทธิผลลง (2558) ได้มีการศึกษาเทคนิคการเพิ่มประสิทธิภาพระบบส่งพลังงานไฟฟ้าแบบไร้สาย โดยออกแบบโครงสร้างระบบให้มีความเหมาะสม และใช้วิธีคำนวณค่าตัวเก็บประจุปฐมภูมิที่มีความแม่นยำมากขึ้น และได้นำเสนอการประยุกต์เทคนิคดังกล่าว เพื่อใช้สำหรับการประจุพลังงานไฟฟ้าให้แก่อากาศยานไร้คนขับขนาดเล็ก ผลปรากฏว่าสามารถประจุพลังงานไฟฟ้าโดยใช้โครงสร้างระบบส่งพลังงานไฟฟ้าไร้สายแบบอนุกรม-ขนาน ให้กับอากาศยานไร้คนขับขนาดเล็ก ขนาด 18 วัตต์ โดยมีประสิทธิภาพรวมของระบบร้อยละ 76.07 โดยได้มีการตั้งข้อสังเกตว่า ประสิทธิภาพของระบบจะต่ำลงเมื่อมีผลของการเยื้องศูนย์ระหว่างสายอากาศภาครับและสายอากาศภาคส่งเปลี่ยนไป

2. โครงสร้างของสายอากาศ

สายอากาศปฐมภูมิ (Primary Antenna) หรือ สายอากาศภาคส่ง (Transmitter Antenna) และ สายอากาศทุติยภูมิ (Secondary Antenna) หรือสายอากาศภาครับ (Receiver Antenna) มีลักษณะเป็นสายอากาศสายอากาศกันหอยแบบวงกลม สร้างขึ้นจากลวดทองแดงอาบนํ้ายาดีเกลียว (Litz Wire) จำนวน 38 เส้นพันบนระนาบซึ่งทำขึ้นจากพลาสติก จำนวน 27 รอบ รัศมีวงนอกขนาด 8.5 เซนติเมตร รัศมีวงในขนาด 2 เซนติเมตร สายอากาศปฐมภูมิและสายอากาศทุติยภูมินี้ถูกอาบด้วยนํ้ายาเฉพาะซึ่งทำจากยางพาราเพื่อให้มีลักษณะคงรูป ไม่ยืดหย่อนเมื่อผ่านการใช้งานเป็นระยะเวลานาน



ภาพที่ 4 สายอากาศภาครับ และสายอากาศภาคส่ง

งานวิจัยนี้ จึงเลือกใช้ความถี่สำหรับการส่งพลังงานไฟฟ้าไร้สาย 22.5 กิโลเฮิร์ตซ์ โดยมีโครงสร้างระบบส่งพลังงานไฟฟ้าแบบอนุกรม-ขนาน และเลือกใช้ตัวเก็บประจุรูปทรงแท่งที่แม่นยำ ตามงานวิจัยของ อาทิตย ฤทธิผล (2558) ซึ่งมีคุณสมบัติทางเทคนิคเฉพาะของโครงสร้างระบบส่งพลังงานไฟฟ้าไร้สายในการทดลอง ดังตารางที่ 1

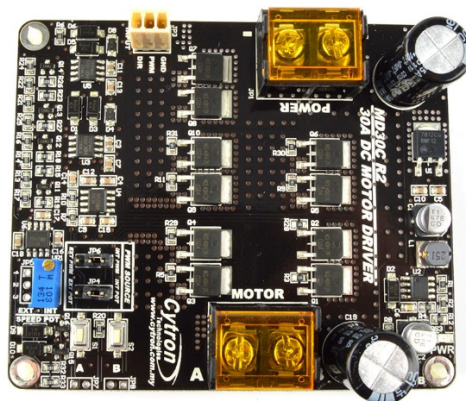
ตารางที่ 1 คุณสมบัติทางเทคนิคเฉพาะของโครงสร้างระบบส่งพลังงานไฟฟ้าไร้สายในการทดลอง

พารามิเตอร์	สายอากาศภาคส่ง	สายอากาศภาครับ
ค่าความเหนี่ยวนำ	107.28 ไมโครเฮนรี่	110.21 ไมโครเฮนรี่
ค่าความต้านทาน	134.85 มิลลิโอห์ม	128.60 มิลลิโอห์ม
ค่าตัวเก็บประจุเรโซแนนซ์	0.454 ไมโครฟารัด	0.4 ไมโครฟารัด
ระยะห่างระหว่างสายอากาศ	7 เซนติเมตร	
โครงสร้างการเรโซแนนซ์	อนุกรม	ขนาน
ความถี่เรโซแนนซ์	22.5 กิโลเฮิร์ตซ์	

3. อินเวอร์เตอร์ความถี่สูง

งานวิจัยนี้ออกแบบระบบส่งพลังงานไฟฟ้าไร้สายโดยใช้อินเวอร์เตอร์แบบบริดจ์ โดยใช้อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำชนิด MOSFET ชนิด N Channel เพื่อสร้างสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับรูปสี่เหลี่ยมที่มีแรงดันด้านบวกขนาด 27 โวลต์ และ ด้านลบขนาด -27 โวลต์ ชุดวงจรอินเวอร์เตอร์แบบบริดจ์ เป็นชุดวงจรอินเวอร์เตอร์ที่ประกอบขึ้นจากอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำชนิด MOSFET แบบ N Channel รุ่น NCE40H12K ทนแรงดันสูงสุด 40 โวลต์ ทนกระแสสูงสุด 120 แอมแปร์ ซึ่งมีคุณสมบัติรองรับการทำงานที่ความถี่สูง วงจรอินเวอร์เตอร์ชนิดนี้ ประกอบด้วย MOSFET ต่อร่วมกัน 4 ชุด เป็นลักษณะตัว H โดยการใช้การสลับควบคุม MOSFET ครึ่งละ 2 ชุด เพื่อสร้างแรงดันด้านบวก และ สร้างแรงดันด้านลบตามลำดับ ด้วยการสลับการทำงานความถี่เรโซแนนซ์ในย่านความถี่ต่ำมาก (VLF : Very Low Frequency)

ชุดอินเวอร์เตอร์แบบบริดจ์ จำเป็นต้องมีแหล่งจ่ายสัญญาณนาฬิกาเพื่อควบคุมความถี่ของสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับที่สร้างขึ้นเพื่อป้อนให้กับสายอากาศภาคส่ง งานวิจัยนี้เลือกใช้ชุดวงจรรวมสำหรับสังเคราะห์ความถี่ตรงแบบดิจิทัล (Direct Digital Synthesizer: DDS) รุ่น AD9833 และ AD9850 และไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino ATMEGA2560 ในการสร้างความถี่ควบคุมชุดอินเวอร์เตอร์ ชุดวงจรรวมสำหรับสังเคราะห์ความถี่ตรงแบบดิจิทัลนี้ จะถูกสั่งให้ทำงานที่ความถี่ที่ต้องการ โดยจ่ายของสัญญาณในรูปของสัญญาณพัลส์สี่เหลี่ยม (Rectangular Pulse) ที่ระดับแรงดัน 5 โวลต์

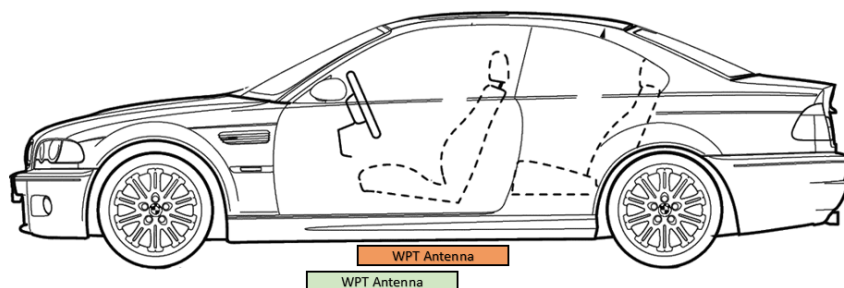


ภาพที่ 5 อินเวอร์เตอร์แบบบริดจ์

4. ความคลาดเคลื่อนของค่าตัวเก็บประจุและการเยื้องศูนย์ของสายอากาศ

การพิจารณาเลือกใช้ตัวเก็บประจุเรโซแนนซ์ ตามการออกแบบโครงสร้างระบบส่งพลังงานไฟฟ้าแบบอนุกรม-ขนาน และการเลือกใช้ตัวเก็บประจุที่มีแม่นยำ อาทิตย ฤทธิผลลง (2558) ยังมีความคลาดเคลื่อน อันเนื่องมาจาก ในการสร้างระบบส่งพลังงานไฟฟ้าในการใช้งานจริงนั้น ค่าของตัวเก็บประจุเรโซแนนซ์ จะมีค่าความคลาดเคลื่อนเนื่องจากผลของการผลิต ซึ่งจะทำให้ความถี่เรโซแนนซ์ที่ออกแบบไว้ในการออกแบบเปลี่ยนไป ส่งผลให้ความถี่เรโซแนนซ์เปลี่ยนไปด้วย ซึ่งงานวิจัยนี้ได้ออกแบบระบบปรับปรุงประสิทธิภาพโดยการเปลี่ยนความถี่เรโซแนนซ์อัตโนมัติร่วมด้วยเพื่อแก้ไขปัญหานี้ซึ่งจะได้นำเสนอในหัวข้อถัดไป

นอกจากนี้ การเยื้องศูนย์ของสายอากาศภาครับและสายอากาศภาคส่งในระบบส่งพลังงานไฟฟ้าไร้สายนั้นยังอาจจะเกิดขึ้นได้ โดยมักจะเกิดขึ้นกับระบบส่งพลังงานไฟฟ้าไร้สาย ซึ่งใช้หลักการเหนี่ยวนำแบบเรโซแนนซ์ เนื่องจากสายอากาศภาครับและสายอากาศภาคส่งจะมีระยะห่างระหว่างกัน โดยเฉพาะในระบบส่งพลังงานไฟฟ้าไร้สายสำหรับยานยนต์ไฟฟ้า ซึ่งสายอากาศภาครับและสายอากาศภาคส่งจะถูกติดตั้งบริเวณใต้ยานยนต์ไฟฟ้า ส่งผลให้ เมื่อยานยนต์ไฟฟ้าจอดเคลื่อนที่กับสถานีประจุไฟฟ้าสำหรับยานยนต์ไฟฟ้าแบบไร้สาย จะทำให้การประจุไฟฟ้าให้กับยานยนต์ไฟฟ้านั้นมีประสิทธิภาพต่ำลง

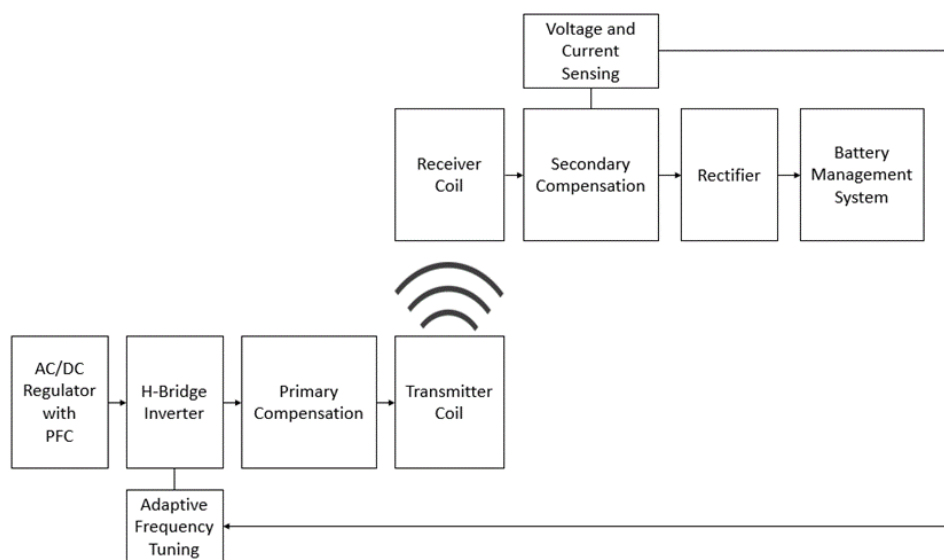


ภาพที่ 6 ลักษณะของการเยื้องศูนย์ของสถานีประจุไฟฟ้าไร้สายสำหรับยานยนต์ไฟฟ้า

5. วิธีการปรับปรุงประสิทธิภาพด้วยการปรับความถี่เรโซแนนซ์อัตโนมัติ

วัชร อมศิริ และคณะ (2560) ได้พัฒนาวิธีการปรับปรุงประสิทธิภาพโดยวิธีการเปลี่ยนความถี่เรโซแนนซ์อัตโนมัติ โดยสร้างชุดปรับปรุงประสิทธิภาพที่มีความสามารถในการวัดระดับแรงดันและ กระแสที่เปลี่ยนไปของฟังก์ชันภูมิ เพื่อนำมาคำนวณค่าประสิทธิภาพโดยรวมของระบบ และทำการปรับปรุงประสิทธิภาพโดยวิธีการเปลี่ยนความถี่เรโซแนนซ์ไปในช่วงที่กำหนด ซึ่งเมื่อพบความถี่เรโซแนนซ์ที่ทำให้ค่าประสิทธิภาพโดยรวมของระบบมีค่าสูงสุดแล้ว ระบบจะหยุดเปลี่ยนความถี่ เพื่อให้สามารถส่งพลังงานไฟฟ้าไร้สายที่ความถี่เรโซแนนซ์จริง ของระบบนั้น ๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ระบบปรับปรุงประสิทธิภาพโดยการเปลี่ยนความถี่เรโซแนนซ์อัตโนมัติที่นำเสนอนี้ สร้างขึ้นโดยระบบไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยเลือกใช้วงจรพัฒนารุ่น Arduino MEGA2560 ร่วมกับ ชุดวงจรสังเคราะห์สัญญาณดิจิทัลแบบตรง (Direct Digital Synthesizer) ในการสร้างสัญญาณคลื่นรูปสี่เหลี่ยมที่ความถี่ที่ต้องการ เพื่อควบคุมวงจรอินเวอร์เตอร์แบบบริดจ์ โดยภาพที่ 7 แสดงระบบส่งพลังงานไฟฟ้าไร้สายที่มีระบบปรับปรุงประสิทธิภาพโดยการเปลี่ยนความถี่เรโซแนนซ์อัตโนมัติ



ภาพที่ 7 การปรับปรุงประสิทธิภาพโดยการเปลี่ยนความถี่เรโซแนนซ์อัตโนมัติ

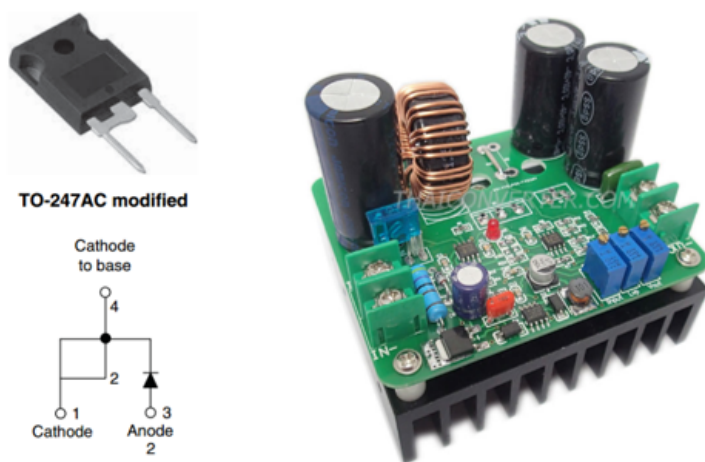
การนำวิธีการรักษาประสิทธิภาพการส่งพลังงานไฟฟ้าไร้สายด้วยการปรับความถี่เรโซแนนซ์อัตโนมัติสำหรับระบบส่งพลังงานไฟฟ้าไร้สาย โดยสร้างชุดปรับปรุงประสิทธิภาพที่มีความสามารถในการวัดระดับแรงดัน และ กระแสที่เปลี่ยนไปของฝั่งทุติยภูมิ เพื่อนำมาคำนวณค่าประสิทธิภาพโดยรวมของระบบ และทำการปรับปรุงประสิทธิภาพโดยการเปลี่ยนความถี่เรโซแนนซ์ในช่วงสั้น ๆ ซึ่งเมื่อพบความถี่เรโซแนนซ์ที่ทำให้ค่าประสิทธิภาพโดยรวมของระบบมีค่าสูงสุดแล้ว ก็จะหยุดเปลี่ยนความถี่เพื่อให้สามารถส่งพลังงานไฟฟ้าไร้สายได้ที่มีความถี่เรโซแนนซ์จริงของระบบนั้น ๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ จากผลการวิจัยดังกล่าวพบว่า สามารถเพิ่มกำลังที่ปรากฏ ณ สายอากาศภาครับของระบบส่งพลังงานไฟฟ้าไร้สายโดยใช้วิธีการปรับความถี่เรโซแนนซ์ได้ดีขึ้นจากเดิมร้อยละ 27.33 ของกำลังเดิมที่ปรากฏ ณ สายอากาศภาครับ และสามารถเพิ่มประสิทธิภาพของระบบส่งพลังงานไฟฟ้าไร้สายโดยใช้วิธีการปรับความถี่เรโซแนนซ์ได้ดีขึ้นจากเดิมสูงสุดถึงร้อยละ 27.27 ของประสิทธิภาพเดิม

6. การประจุพลังงานไฟฟ้าให้กับแบตเตอรี่

ในหัวข้อนี้นำเสนอการประจุพลังงานไฟฟ้าให้กับแบตเตอรี่ในชุดภาครับของสถานีประจุพลังงานไฟฟ้าไร้สายสำหรับยานยนต์ไฟฟ้าโดยประกอบด้วยชุดเรียงกระแส ทำหน้าที่เปลี่ยนจากแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง และ วงจรรักษาระดับแรงดันไฟฟ้าแบบดีซี-ดีซี คอนเวอร์เตอร์

ชุดเรียงกระแสจำเป็นต้องมีความสามารถในการทำงานได้ที่ความถี่สูง โดยเลือกใช้ไดโอด ชนิด Ultrafast and Ultrasoft recovery ตราอักษร HEXFRED รุ่น HFA25PB60PBF จำนวน 4 ตัว ต่อใช้งานในรูปแบบเต็มรูปคลื่น จากนั้นต่อเข้ากับ วงจรปรับแรงดันแบบดีซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์เพื่อปรับระดับแรงดันให้เหมาะสม

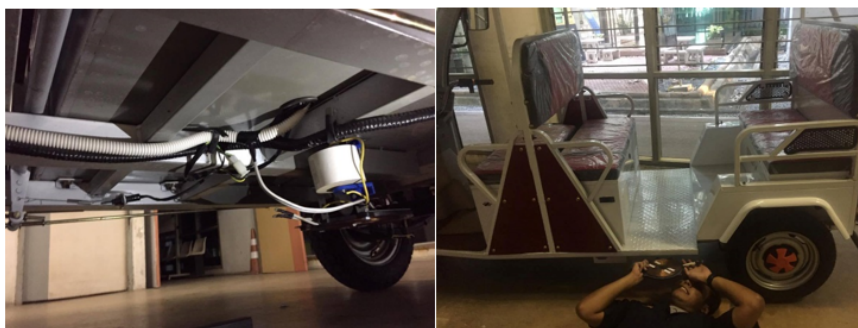
วงจรปรับระดับแรงดันแบบดีซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์ ชนิด Boost Converter ถูกเลือกมาใช้ในการรักษาระดับแรงดัน โดยทำหน้าที่รักษาระดับแรงดันขาออกให้มีระดับแรงดันเหมาะสมเพื่อเข้าสู่วงจรประจุแบตเตอรี่แบบติดตั้งบนตัวรถยนต์ โดยเลือกใช้วงจรเพิ่มระดับแรงดัน แบบสำเร็จรูปซึ่งมีย่านการทำงานแรงดันกระแสตรงขาเข้า 12-90 โวลต์ กระแส 15 แอมป์ และ แรงดันกระแสตรงขาออก 12-130 โวลต์ กระแส 10 แอมแปร์ ซึ่งสามารถทนกำลังได้สูง 900 วัตต์ และมีค่าประสิทธิภาพของอุปกรณ์ร้อยละ 85



ภาพที่ 8 โครงสร้างของไดโอดรุ่น HFA25PB60PBF (ซ้าย) และ วงจรเพิ่มระดับแรงดันสำเร็จรูปขนาด 900 วัตต์ในการทดลอง

แบตเตอรี่ของรถสามล้อสาธารณะไฟฟ้าที่นำมาทดลองใช้นี้ เป็นแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด ที่มีขนาดแรงดัน 12 โวลต์ ขนาดความจุ 75 แอมแปร์-ชั่วโมง ต่อในรูปแบบอนุกรมร่วมกัน 5 ชุด ทำให้ได้แบตเตอรี่ขนาดแรงดัน 60 โวลต์ ขนาดความจุ 75 แอมแปร์ต่อชั่วโมง โดยแบตเตอรี่นี้ ควบคุมการประจุไฟฟ้าโดยชุดวงจรประจุแบตเตอรี่แบบติดตั้งบนตัวรถยนต์ (On-board Charger) ซึ่งมีมาพร้อมกับยานยนต์นี้ไฟฟ้านี้อยู่แล้ว งานวิจัยนี้จึงออกแบบระบบส่งพลังงานไฟฟ้าไร้สายให้สามารถต่อโดยตรงเข้ากับวงจรประจุแบตเตอรี่แบบติดตั้งบนตัวรถยนต์ที่มีอยู่แล้วได้โดยไม่ต้องปรับเปลี่ยนอุปกรณ์อื่น ๆ อีก

การประจุแบตเตอรี่แบบตะกั่วกรด ใช้วิธีการตั้งระดับแรงดันและกระแสคงที่ (Constant Voltage and Constant Current) โดยการประจุนี้พิจารณาจากการวิเคราะห์การประจุพลังงานแบตเตอรี่โดยใช้วิธี State of Charge (SOC) ซึ่งพิจารณาจากค่าของแบตเตอรี่ซึ่งมีความสัมพันธ์กับระดับแรงดันของแบตเตอรี่ชนิดนั้นๆเป็นหลัก (Perez ,1993) ซึ่งพบว่าการพิจารณาการประจุแบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรดนี้ ควรพิจารณาเวลาอย่างสูงสุดจากการพิจารณาการประจุเริ่มตั้งแต่ SOC ร้อยละ 20 ถึง SOC ร้อยละ 80 เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการเสียหายจากการประจุแบตเตอรี่ตะกั่วกรดที่มีระดับ SOC ต่ำกว่า ร้อยละ 20 หรือ เกินกว่า SOC ร้อยละ 80 และ ใช้กระแสประจุไม่เกิน ร้อยละ 10 ของความจุแบตเตอรี่เพื่อรักษาประสิทธิภาพของการประจุพลังงานให้กับแบตเตอรี่ (Power-Sonic Corporation, 2009) ดังนั้นในการทดลองนี้จึงจำเป็นต้องกำหนดวงจรปรับระดับแรงดันแบบดีซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์ ชนิด Boost Converter ให้มีแรงดันขั้วขาออก ไว้ที่ SOC ร้อยละ 80 หรือประมาณ 69 โวลต์ โดยกำหนดให้ใช้กระแสประจุไม่เกิน 7.5 แอมแปร์



ภาพที่ 9 สายอากาศ (ซ้าย) และการติดตั้งสายอากาศ (ขวา) ของระบบประจุพลังงานไฟฟ้าแบบไร้สายสำหรับรถสามล้อสาธารณะไฟฟ้า

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

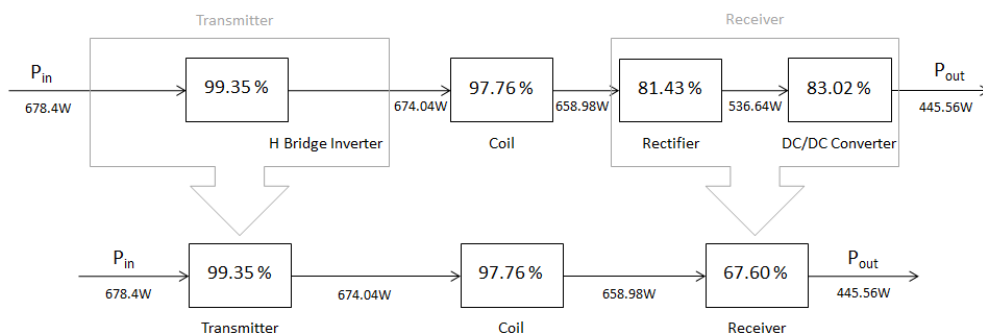
ผลการวิจัยสถานีประจุพลังงานไฟฟ้าไร้สายสำหรับยานยนต์ไฟฟ้าในส่วนต่างๆ สามารถแสดงสรุปรายละเอียดในแต่ละส่วนได้ดังนี้

ชุดวงจรขับเคลื่อนรูปคลื่น (H-Bridge Inverter) เพื่อสร้างคลื่นรูปสี่เหลี่ยม ที่มีความถี่เรโซแนนซ์ตามการทำงานของระบบรักษาประสิทธิภาพด้วยการปรับความถี่เรโซแนนซ์อัตโนมัติ โดยมีระดับแรงดันขาเข้า 25.6 โวลต์ กระแส 26.5 แอมแปร์ ค่ากำลังปรากฏขาเข้าที่ 678.4 วัตต์ และมีระดับแรงดันขาออกไปยังสายอากาศภาคส่ง 24.6 โวลต์ กระแส 27.4 แอมแปร์ ค่ากำลังปรากฏขาออก 674.04 วัตต์ คิดเป็นค่าประสิทธิภาพ ร้อยละ 99.35

ชุดวงจรเรียงกระแส (Rectifier) ซึ่งรับพลังงานจากสายอากาศภาครับมาเรียงเป็นไฟฟ้ากระแสตรง มีระดับแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับขาเข้า 52.3 โวลต์ กระแส 12.6 แอมแปร์ กำลังปรากฏขาเข้าที่ 658.98 วัตต์ และมีระดับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงขาออกไปยังวงจรรักษาระดับแรงดันแบบ Boost Converter ที่ 51.6 โวลต์ กระแสแอมแปร์ 10.4 กำลัง 536.64 วัตต์ คิดเป็นค่าประสิทธิภาพ ร้อยละ 81.43

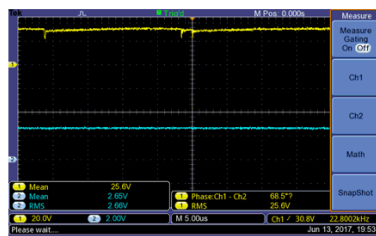
ชุดวงจรรักษาระดับแรงดันแบบ Boost Converter เพื่อรักษาระดับแรงดันและระดับกระแส ให้เหมาะสมกับการประจุแบตเตอรี่ มีค่าระดับแรงดันขาเข้า 51.6 โวลต์ กระแส 10.4 แอมแปร์ มีค่ากำลังขาเข้าที่ 536.64 วัตต์ และมีค่าแรงดันขาออกไปยังแบตเตอรี่ 63.2 โวลต์ กระแส 7.05 แอมแปร์ กำลัง 445.56 วัตต์ คิดเป็นค่าประสิทธิภาพร้อยละ 83.02

ซึ่งจากผลการวิจัยนี้ ทำให้ได้ระบบประจุพลังงานไฟฟ้าไร้สายสำหรับยานยนต์ไฟฟ้าที่มีระบบปรับปรุงประสิทธิภาพด้วยการปรับความถี่เรโซแนนซ์อัตโนมัติ ซึ่งสามารถประจุพลังงานไฟฟ้าให้กับยานยนต์ไฟฟ้าต้นแบบในการทดลองได้ที่ระดับแรงดัน 63.2 โวลต์ กระแส 7.05 แอมแปร์ โดยมีค่าประสิทธิภาพรวมของระบบร้อยละ 65.65 ภาพที่ 10 แสดงผลค่าประสิทธิภาพรวมทั้งระบบของสถานีประจุพลังงานไฟฟ้าไร้สายสำหรับรถสามล้อสาธารณะไฟฟ้า

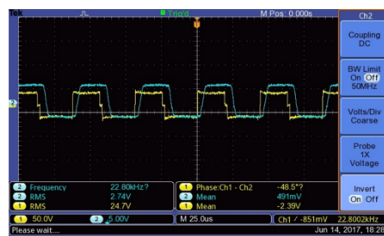


ภาพที่ 10 ค่าประสิทธิภาพรวมทั้งระบบของสถานีประจุพลังงานไฟฟ้าไร้สาย
สำหรับรถสามล้อสาธารณะไฟฟ้า

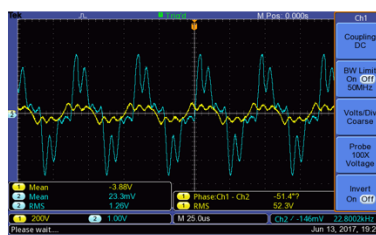
นอกจากนี้ จากผลการทดลองพบว่าระบบประจุพลังงานไฟฟ้าไร้สายสำหรับยานยนต์ไฟฟ้าที่มีการรักษาประสิทธิภาพด้วยการปรับความถี่เรโซแนนซ์อัตโนมัตินี้ สามารถจ่ายระดับกำลังให้กับแบตเตอรี่ขณะประจุได้ 445.56 วัตต์ โดยขณะที่มีการปรับแรงดันขาออกของวงจรรักษาระดับแรงดันไว้คงที่ ที่ SOC ร้อยละ 80 หรือ 69 โวลต์ โดยเมื่อเริ่มประจุแบตเตอรี่ ที่ระดับ SOC ร้อยละ 20 ระดับแรงดันขาออกจะลดลงเหลือ 63.2 โวลต์ โดยมีค่ากระแสคงที่ ที่ 7.05 แอมแปร์ ตามที่ได้กำหนดไว้ข้างต้น ซึ่งจะพบว่าระบบนี้สามารถประจุพลังงานแบตเตอรี่ให้กับรถยนต์ไฟฟ้าต้นแบบ ซึ่งใช้แบตเตอรี่ตะกั่วกรด ชนิดแรงดัน 12 โวลต์ความจุ 75 แอมแปร์-ชั่วโมง ต่อในลักษณะอนุกรม จำนวน 5 ชุด จาก SOC ร้อยละ 20 ถึงระดับ SOC ร้อยละ 80 โดยใช้เวลา 9.45 ชั่วโมง หรือ 9 ชั่วโมง 27 นาที



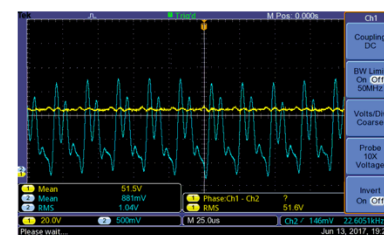
(ก) กราฟแสดงแรงดันและกระแสเข้าของชุดวงจรขับเคลื่อนรูปคลื่น



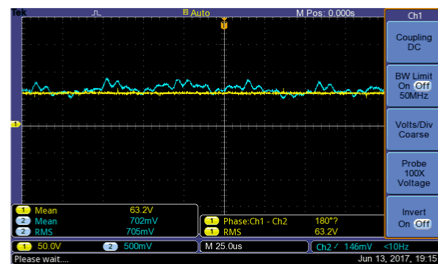
(ข) กราฟแสดงแรงดันและกระแสเข้าของชุดสายอากาศภาคส่ง



(ค) กราฟแสดงแรงดันและกระแสเข้าของชุดวงจรเรียงกระแส



(ง) กราฟแสดงแรงดันและกระแสเข้าของชุดวงจรรีกขาระดับแรงดัน



(จ) กราฟแสดงแรงดันและกระแสเข้าของแบตเตอรี่

ภาพที่ 11 กราฟแสดงผลการทดลองของแรงดันและกระแสในแต่ละส่วนของระบบ

สรุปผลการวิจัย

สถานีประจุพลังงานไฟฟ้าแบบไร้สายสำหรับรถสามล้อสาธารณะไฟฟ้าที่มีระบบรักษาประสิทธิภาพโดยการปรับความถี่เรโซแนนซ์ ที่ออกแบบขึ้นนี้ มีกำลังประจุพลังงานทั้งสิ้น 659.98 วัตต์ และมีประสิทธิภาพร้อยละ 65.65 โดยสามารถนำไปประจุไฟฟ้าให้กับยานยนต์ไฟฟ้าต้นแบบ ซึ่งใช้แบตเตอรี่ขนาด 60 โวลต์ กระแส 75 แอมแปร์-ชั่วโมง จาก SOC ร้อยละ 20 ถึง SOC ร้อยละ 80 ได้เต็มภายในเวลา 9 ชั่วโมง 27 นาที แอมแปร์ โดยมีค่าประสิทธิภาพรวมของระบบสูงถึงร้อยละ 65.65

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ และโครงการมหาวิทยาลัยวิจัยแห่งชาติ สำนักงานคณะกรรมการอุดมศึกษา ซึ่งได้สนับสนุนทุนการศึกษา ทุนโครงการวิจัยเพื่อทำวิทยานิพนธ์ระดับบัณฑิตศึกษา และทุนผู้ช่วยวิจัย และขอขอบคุณ บริษัท เอช เซม มอเตอร์ จำกัด ซึ่งได้ให้ความกรุณาสับสนุนต้นแบบรถสามล้อสาธารณะไฟฟ้าในการวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

- วัชร อมศิริ, พัฒนวิ โพธิ์ทอง, ธนสร ภูญญธนาบัตร และวันชัย ไพจิตโรจนาน. (2560). ระบบรักษาประสิทธิภาพการส่งพลังงานไฟฟ้าไร้สายด้วยการปรับความถี่เรโซแนนซ์อัตโนมัติ. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์*, 25 (5) กันยายน-ตุลาคม 2560, 870-879.
- อาทิตย์ ฤทธิผล. (2558). *การเพิ่มประสิทธิภาพระบบส่งพลังงานไฟฟ้าแบบไร้สาย โดยออกแบบโครงสร้างให้เหมาะสมและใช้ค่าตัวเก็บประจุปฏิกิริยาที่แม่นยำ*. (วิทยานิพนธ์ปริญญาโท) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี กรุงเทพมหานคร: มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.
- Kurs, A., Karalis, A., Moffatt, R., Joannopoulos, J.D., Fisher, P. & Soljačić, M. (2007). Wireless Power Transfer via Strongly Coupled Magnetic Resonances, *Science express*, 317(5834), 83-86. <https://doi.10.1126/science.1143254>
- Perez, R. (1993). Lead-Acid Battery State of Charge vs. Voltage. *Home Power*, 36, 66-69.
- Power-Sonic Corporation. (2009). *Sealed Lead-Acid Batteries Technical Manual*. Retrieved from https://www.master-instruments.com.au/files/knowledge-centre/manufacturers-data/sla_batteries_technical_manual_ed2_1_.pdf
- Tesla, N. (1914). *Apparatus for transmitting electrical energy*. US Patent No. 1119732.