

บทคัดย่อ

การประจุพลังงานแบตเตอรี่ยานยนต์ไฟฟ้าแบบไร้สายจะเป็นเทคโนโลยีที่สำคัญที่จะทำให้ยานยนต์ไฟฟ้าและการขับเคลื่อนสามารถทำงานได้อย่างไร้รอยต่อ โดยเทคโนโลยีการส่งกำลังไฟฟ้าที่สำคัญที่ใช้ในระบบประจุพลังงานไฟฟ้าแบบไร้สายมีอยู่ 3 แบบคือ IPT CPT และ HPT โดยเทคโนโลยี IPT ได้ถูกกำหนดให้ใช้เป็นเทคโนโลยีสำหรับการประจุพลังงานไฟฟ้าแบบไร้สายตามมาตรฐาน SAE J2954 IEC 61980 และ ISO/PAS 19363 ในขณะที่เทคโนโลยี CPT และ HPT ยังอยู่แค่ในระดับการวิจัยเท่านั้น โดยในโครงการวิจัยนี้เป็นการศึกษาเทคโนโลยีทั้ง 3 ชนิดเพื่อนำไปสู่การสร้างเครื่องประจุพลังงานแบตเตอรี่ยานยนต์ไฟฟ้าแบบไร้สายที่มีประสิทธิภาพ

การส่งกำลังแบบ IPT ใช้หลักการส่งกำลังไฟฟ้าในรูปแบบของสนามแม่เหล็ก โดยต้องสร้างสนามแม่เหล็กด้วยความถี่ที่การสั่นของระบบเพื่อจะให้เกิดการส่งพลังงานได้ในระยะทางที่ไกลขึ้นได้ จากแบบจำลองคอมพิวเตอร์จะแสดงให้เห็นลักษณะของสัญญาณในแต่ละจุด การตอบสนองทางความถี่ของวงจร และค่าความถี่การสั่นของระบบ จากการสร้างและทดสอบเครื่องต้นแบบพบว่า ระยะห่างระหว่างขดลวดปฐมภูมิและทุติยภูมิมีผลทำให้ค่าความถี่การสั่นเปลี่ยนไป คือระยะห่างมากขึ้นความถี่การสั่นจะสูงขึ้น ส่วนการทดสอบการเหนี่ยวนำกันของขดลวดปฐมภูมิและขดลวดทุติยภูมิแสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพของระบบจะลดลงเมื่อมีการเหนี่ยวนำกันเพิ่มขึ้นแต่ก็ยังอยู่ในค่ามาตรฐานกำหนด ซึ่งโดยรวมแล้วเครื่องต้นแบบสามารถทำงานได้ตามมาตรฐานโดยสามารถส่งกำลังได้สูงสุดที่ 4,000 วัตต์ มีประสิทธิภาพสูงสุดที่ 86.94% ซึ่งมีการสูญเสียของพลังงานส่วนใหญ่เกิดขึ้นในขดลวดปฐมภูมิและขดลวดทุติยภูมิ ในขณะที่การสูญเสียที่เกิดขึ้นในส่วนของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ มีค่าน้อยมากซึ่งสามารถสังเกตได้จากเครื่องวัดอุณหภูมิแบบอินฟราเรด

สำหรับเทคโนโลยี CPT เป็นการส่งกำลังงานในรูปแบบของสนามไฟฟ้า ส่วน HPT เป็นการผสมระหว่างการส่งกำลังด้วยสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็ก การวิจัยทำการสร้างเครื่องต้นแบบที่อ้างอิงจากงานวิจัยก่อนหน้านี้ แต่จากการทดลองพบปัญหาแรงดันไฟฟ้าสูงและการแพร่กระจายของสนามไฟฟ้าจึงต้องลดระยะห่างระหว่างแผ่นส่งพลังงานและแผ่นรับพลังงานลงให้อยู่ในระดับที่สามารถดำเนินการทดสอบได้ โดยในการทดสอบของเครื่องต้นแบบทั้ง 2 ชนิดนี้ทำการทดสอบที่ระยะห่างระหว่างแผ่นส่งพลังงานและแผ่นรับพลังงานที่ระยะ 15 มม. สามารถส่งพลังงานสูงสุดได้ที่ระดับ 1,000 วัตต์ทั้งสองแบบ และมีสูงสุดที่ประสิทธิภาพ 88.64% และ 87.74% สำหรับ CPT และ HPT ตามลำดับ ซึ่งมีการสูญเสียของพลังงานส่วนใหญ่เกิดขึ้นในขดลวดเหนี่ยวนำของวงจรแม่เหล็กอินพุตและเอาท์พุต ในขณะที่การสูญเสียที่เกิดขึ้นในส่วนของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ มีค่าน้อยมากซึ่งสามารถสังเกตได้จากเครื่องวัดอุณหภูมิแบบอินฟราเรด

จากการศึกษาวิจัยทั้ง 3 เทคโนโลยีพบว่า การส่งกำลังไฟฟ้าสูงด้วย IPT สามารถทำได้ง่ายกว่าการส่งด้วยเทคโนโลยี CPT และ HPT เนื่องจากความถี่ที่เกิดการสั่นของระบบมีค่าต่ำกว่า ส่งผลให้อุปกรณ์ขับเคลื่อนมีประสิทธิภาพและสร้างได้ง่ายกว่า โดยสังเกตได้จากสัญญาณที่วัดใน IPT จะมีรูปคลื่นที่เรียบ ในขณะที่ CPT และ HPT ยังมีส่วนขององค์ประกอบของสัญญาณรบกวนอยู่มาก วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ไม่จำเป็นต้องใช้สำหรับความถี่สูงทำให้มีต้นทุนในการสร้างถูกกว่าเช่น Ferrite และ MOSFET เป็นต้น แม้ในงานวิจัยก่อนหน้านี้ได้สนับสนุนข้อดีของ CPT ว่ามีต้นทุนในการทำแผ่นรับส่งที่เป็นอะลูมิเนียมที่มีต้นทุนที่ต่ำกว่า IPT อีกทั้งยังต้องมีการศึกษาเรื่องความปลอดภัยในการนำไปใช้งานอีกมาก

Abstract

Wireless power transfer (WPT) or wireless battery charging technology is important for electric vehicles (EVs) and automatic driving technologies to work seamlessly. Currently, WPT comprises three types of technology in research, including Inductive Power Transfer (IPT), Capacitive Power Transfer (CPT), and Hybrid Power Transfer (HPT). IPT is promoted as a wireless charging technology for EVs in accordance with SAE J2954, IEC 61980 and ISO/PAS 19363 standards, while CPT and HPT technologies are still under research. In this project, all 3 types of WPT are studied for further development in WPT for EVs.

IPT technology employs the magnetic fields with resonant frequency to transmit power at a greater distance. From the computer simulation for IPT, the signal characteristics, the frequency responses, and the resonant frequencies of the proposed IPT system are also demonstrated in this report. From the prototype testing, it reveals that the air-gap distance between primary and secondary coils could affect the resonant frequency. The greater the air-gap distance, the higher the resonant frequency. For the case of misalignment among primary and secondary coils, it illustrates that the system performance decreases as the misalignment increases. However, this prototype still operates and is in control of the standards with the maximum output power of 4,000 watts and the maximum efficiency of 86.94%. From the thermal-scan observation, the energy losses in the forms of heat are mostly occurred in the primary and secondary coils, while the part of electronic components obtains only a small portion of total energy loss.

CPT technology also employs the electric fields with resonant frequency to transfer the power, whereas HPT is a combined technique of inductive and capacitive power transfer. In this project, after having created the CPT and HPT prototypes based on the prior studies, we found the problems of high voltage and electric field diffusion. Therefore, the air-gap distance between aluminum transmission plate and aluminum receiving plate has to be appropriately adjusted in order to eliminate the safety concerns. In our experiments, the tests of CPT and HPT prototypes are carried out by the air-gap distance of 15 mm. The results demonstrate that CPT and HPT prototypes could deliver the maximum power of 1,000 watts, with the highest efficiencies of 88.64% and 87.74%, respectively. To observe the energy losses in both systems, we used the thermal scan and found that the major energy losses in the forms of heat are occurred in the induction coils of impedance matching circuits, while a small portion of total energy loss is also in the part of electronic components.

From our studies, with the high power transfer, IPT outperforms both CPT and HPT in terms of lower resonant frequency, higher efficiency, and smoother waveforms. When considering the simplicity in circuit design, we found that IPT's power circuit is easier to build due to no high-frequency components required and cheaper construction cost. Although the previous research articles supported that the antenna costs of both CPT and HPT using aluminum plates are less expensive than that of IPT using copper coils, their safety concerns need to be re-investigated.