

ระบบส่งผ่านกำลังไฟฟ้าไร้สายด้วยวงจรอินเวอร์เตอร์เรโซแนนซ์ โดยใช้เทคนิค SPWM

Wireless Power Transfer System with Resonance Inverter Using SPWM Technique

สายชล ชุดเจือจิ้น¹ และ ณฐภัทร พันธุ์คง^{2*}

¹ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

^{2*}ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

E-mail: ¹saichol.c@mail.rmutk.ac.th, ^{2*}nathabhat_p@rmutt.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการศึกษาและการวิเคราะห์ระบบการส่งผ่านกำลังแบบไร้สายด้วยวงจรอินเวอร์เตอร์เรโซแนนซ์โดยใช้เทคนิคการมอดูเลตความกว้างของพัลส์แบบไซน์ซอชอยด์ เพื่อเป็นการทดสอบการส่งผ่านกำลังไร้สายเบื้องต้นระหว่างขดส่งและขดรับ จากผลการทดลองโดยใช้ขดส่งและขดรับที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 24 และ 25 เซนติเมตร ตามลำดับ ที่ความถี่ 16 กิโลเฮิร์ตซ์ จะเห็นว่าการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าแบบไร้สายโดยเทคนิคนี้มีประสิทธิภาพสูงสุดมีค่าเท่ากับร้อยละ 63.15 ที่ระยะห่าง 9 เซนติเมตร โดยแสดงให้เห็นว่าการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าไร้สายนี้มีความเป็นไปได้ที่จะพัฒนาต่อไป

คำสำคัญ: การส่งผ่านกำลังแบบไร้สาย อินเวอร์เตอร์เรโซแนนซ์ เทคนิค SPWM

Abstract

This paper presents a study and analysis of a wireless power transmission system with a resonance inverter circuit using a sinusoidal pulse width modulation technique. As preliminary evaluation of the wireless power transfer between the transmitter and receiver coils. From the experimental results using transmitter coil and receiver coil with diameters of 24 and 25 cm, respectively, at frequency of 16 kHz, it can be seen that the maximum efficiency of wireless power transfer by this technique was 63.15% at this distance 9 cm, indicating that this wireless power transfer has the potential to be further developed.

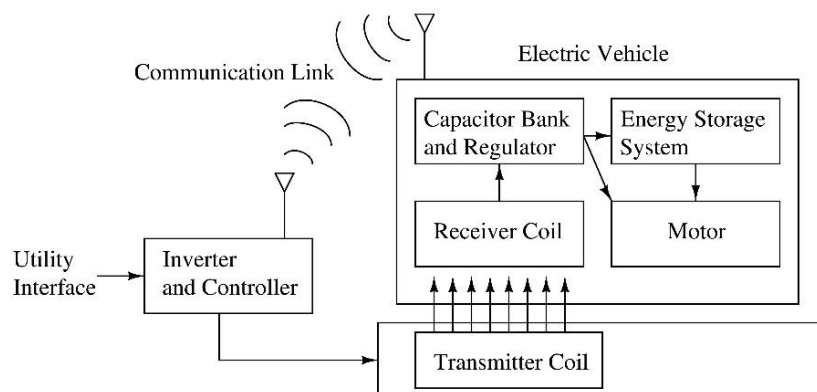
Keywords: Wireless power transfer, resonance inverter, SPWM

* Corresponding author, e-mail: nathabhat_p@rmutt.ac.th

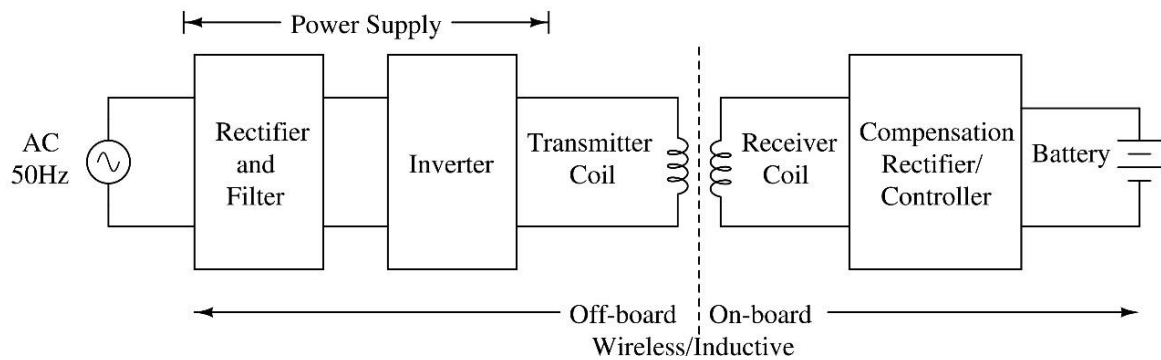
1. ที่มาและความสำคัญ

ในปัจจุบันยานยนต์ไฟฟ้า (Electric Vehicles: EVs) กำลังจะเข้ามามีบทบาทเป็นอย่างมาก [1] โดยยานยนต์ไฟฟ้าได้มีการพัฒนาให้มีสมรรถนะและความสามารถต่าง ๆ ที่ดีขึ้น ได้แก่ อัตราการเร่งความเร็วที่เพิ่มขึ้น ช่วงขยายพิสัยที่มากขึ้น และการอัดประจุที่รวดเร็วขึ้น เป็นต้น ยานยนต์ไฟฟ้ามีทั้งหมด 4 ประเภท คือ ยานยนต์ไฟฟ้าไฮบริด (HEV) ยานยนต์ไฟฟ้าปลั๊กอินไฮบริด (PHEV) ยานยนต์ไฟฟ้าพลังงานแบตเตอรี่ (BEV) และยานยนต์ไฟฟ้าเซลล์เชื้อเพลิง (FCEV) โดยมียานยนต์ไฟฟ้าพลังงานแบตเตอรี่และยานยนต์ไฟฟ้าปลั๊กอินไฮบริดต้องการพลังงานไฟฟ้าสำหรับการอัดประจุให้กับแบตเตอรี่โดยตรงจากสถานีอัดประจุ หรือเครื่องอัดประจุเท่านั้น ปัจจุบันเทคโนโลยีการอัดประจุไฟฟ้าสำหรับแบตเตอรี่ของยานยนต์ไฟฟ้าสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ 1) การอัดประจุไฟฟ้าผ่านตัวนำ (Conductive Charging) เป็นการอัดประจุไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายไฟโดยผ่านสายเคเบิล เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพสูง และกำลังได้รับความนิยมในปัจจุบันและ 2) การอัดประจุไฟฟ้าแบบเหนี่ยวนำ (Inductive Charging) หรือการอัดประจุไฟฟ้าแบบไร้สาย (Wireless Charging) เป็นการอัดประจุไฟฟ้าโดยใช้การเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้า ทำให้การอัดประจุแบบนี้ไม่จำเป็นต้องมีสายเคเบิลในระหว่างการอัดประจุ ข้อดีคือมีความสะดวกสบายในการใช้งาน แต่ในปัจจุบันเทคโนโลยีนี้ยังอยู่ในระหว่างการพัฒนาประสิทธิภาพในการอัดประจุอยู่

ระบบส่งผ่านกำลังไร้สายสำหรับการอัดประจุแบตเตอรี่ของยานยนต์ไฟฟ้าเบื้องต้นแสดงไว้ในรูปที่ 1(ก) ซึ่งยานยนต์ไฟฟ้าจอดเหนือแผ่นการเหนี่ยวนำ หรือขดส่ง (Transmitter Coil) และเริ่มการอัดประจุผ่านการเหนี่ยวนำไปยังขดรับ (Receiver Coil) อย่างอัตโนมัติ [2] โดยระบบนี้ไม่ต้องใช้เสาอัดประจุ หรือสายเคเบิล ในรูปที่ 1(ข) แสดงรายละเอียดของระบบส่งกำลังไร้สาย ซึ่งจะประกอบด้วย 3 ส่วนหลัก ๆ คือ 1) แหล่งจ่ายกำลังความถี่สูง (High Frequency Power Supply) 2) ระบบการเชื่อมต่อทางแม่เหล็ก (Magnetic Coupling System) และ 3) วงจรเรียงกระแสชดเชยและตัวควบคุม (Compensation Rectifier/Controller) โดยเริ่มจากไฟฟ้ากระแสสลับขนาด 220 - 240 โวลต์ 50 เฮิร์ตซ์ [3] จากนั้นก็จะแปลงเป็นไฟฟ้ากระแสตรงด้วยวงจรเรียงกระแส (Rectifier) และวงจรกรอง (Filter) หลังจากนั้นทำการแปลงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับที่มีความถี่สูงขึ้นด้วยอินเวอร์เตอร์ เพื่อให้ประสิทธิภาพของการส่งกำลังดีขึ้นสำหรับจ่ายให้กับขดลวดที่ทำหน้าที่เป็นขดส่ง ส่วนฝั่งทางด้านรับก็จะมีขดลวดอีกหนึ่งชุดเป็นตัวรับสัญญาณที่ถูกส่งมาที่เป็นไฟฟ้ากระแสสลับ จากนั้นจะถูกแปลงเป็นไฟฟ้ากระแสตรงโดยวงจรเรียงกระแสที่มีการควบคุมเพื่อใช้งานในการอัดประจุแบตเตอรี่ต่อไป

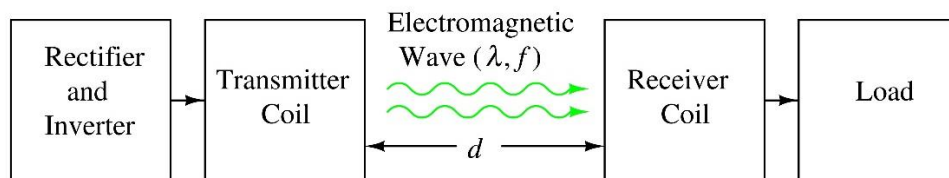


(ก) ระบบส่งผ่านกำลังไร้สาย



(ข) วงจรและอุปกรณ์ต่าง ๆ ของระบบส่งผ่านกำลังไร้สาย

รูปที่ 1 ระบบส่งผ่านกำลังไร้สายในยานยนต์ไฟฟ้าเบื้องต้น [2]



รูปที่ 2 ไดอะแกรมทั่วไปของระบบส่งผ่านกำลังไร้สาย [3]

ดังนั้น บทความนี้จะทำการศึกษาและวิเคราะห์ระบบส่งผ่านกำลังไร้สายด้วยอินเวอร์เตอร์เรโซแนนซ์ โดยใช้เทคนิคการมอดูเลตความกว้างของพัลส์แบบไซน์ซอชอยด์ (Sinusoidal Pulse Width Modulation) ซึ่งรวมถึงการอธิบายค่าต่าง ๆ ได้แก่ โครงสร้างของขดลวด การออกแบบของขดลวด ระยะห่างระหว่างขดส่งและขดรับ และประสิทธิภาพของการส่งผ่านกำลังไร้สาย เป็นต้น

2. วัตถุประสงค์

- 2.1 เพื่อสร้างและออกแบบระบบส่งผ่านกำลังไร้สายโดยอาศัยหลักการสนามแม่เหล็กเหนี่ยวนำ
- 2.2 เพื่อสามารถนำระบบการส่งผ่านกำลังไร้สายไปใช้งานจริงได้
- 2.3 เพื่อเป็นพื้นฐานในการศึกษาและวิเคราะห์การส่งผ่านกำลังไร้สายที่จะนำไปพัฒนาต่อในอนาคต

3. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

3.1 ระบบส่งผ่านกำลังไร้สาย (Wireless Power Transfer: WPT) เป็นเทคโนโลยีที่ขดส่งสร้างคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งถูกส่งผ่านไปยังขดรับหนึ่งโดยไม่มีตัวนำชนิดใด ๆ เพื่อดึงกำลังออกจากคลื่น ซึ่งตรงกันข้ามกับระบบสื่อสารไร้สาย โดยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในระบบส่งผ่านกำลังไร้สายถูกใช้ไปยังขดรับเพื่อเก็บพลังงานในแบตเตอรี่หรือไปยังอิเล็กทรอนิกส์กำลัง โดยระบบส่งผ่านกำลังไร้สายสามารถถูกแบ่งออกที่สอดคล้องตามเงื่อนไขต่อไปนี้ คือ 1) กำลังที่ถูกส่งผ่าน 2) การส่งผ่านกำลังทิศทางเดียวหรือสองทิศทาง 3) ระยะห่างระหว่างขดส่งและขดรับ 4) ความจุ 5) จำนวนขดส่ง 6) จำนวนขดรับ 7) ขดรับเคลื่อนที่หรืออยู่กับที่ และ 8) ตัวกลางการส่งผ่านกำลัง โดยไดอะแกรมทั่วไปของระบบส่งผ่านกำลังไร้สายแสดงไว้ในรูปที่ 2 ซึ่งขดส่งและขดรับ

ถูกแยกออกด้วยระยะ d ถูกอ้างถึงเป็นระยะห่าง (Gap) คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นคุณลักษณะด้วยความยาวคลื่น (λ) หรือความถี่ (f) โดยพฤติกรรมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าถูกนิยามด้วยสมการของแมกซ์เวลล์ (Maxwell's Equations)

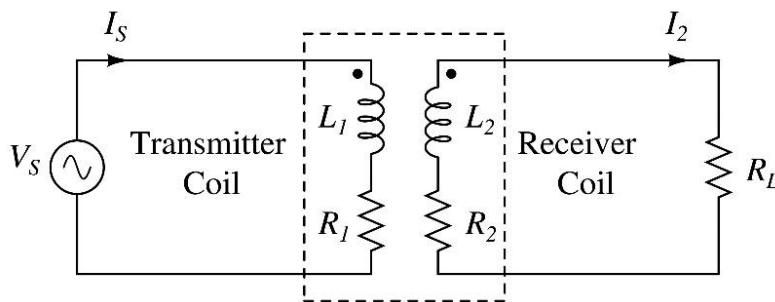
3.2 ระบบส่งผ่านกำลังไร้สายแบบเหนี่ยวนำ (Inductive WPT) สามารถถูกทำให้เกิดขึ้นได้ด้วยสนามแม่เหล็กของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งหลักการทำงานเบื้องต้นถูกอธิบายด้วยปฏิกิริยาของแม่เหล็กและพฤติกรรมทางไฟฟ้าจากกฎของแอมแปร์และกฎของฟาราเดย์ ดังสมการที่ (1) และ (2) ตามลำดับ

$$\oint \vec{H} d\vec{l} = I \quad (1)$$

เมื่อ $\vec{H}$ คือ ความเข้มของสนามแม่เหล็กที่ถูกสร้างด้วยกระแส (I) และ $d\vec{l}$ คือ องค์ประกอบความแตกต่างของความยาวตามเส้นทางที่การเดินทางของกระแส ซึ่งเป็นตามปรากฏการณ์ทางฟิสิกส์ที่ความถี่ที่ทำให้ความเข้มของสนามแม่เหล็กเปลี่ยนแปลงตามความถี่ของกระแสที่ไหลผ่านในขดลวด

$$e_{ind} = -\frac{d\phi}{dt} \quad (2)$$

เมื่อ ϕ คือ ฟลักซ์ของสนามแม่เหล็ก



รูปที่ 3 วงจรสมมูลของการส่งผ่านกำลังไร้สายแบบเหนี่ยวนำ

การรวมกันของปรากฏการณ์ทั้งสองนี้เป็นพื้นฐานของเทคโนโลยีการส่งผ่านกำลังไร้สายแบบเหนี่ยวนำ และแบบแม่เหล็กอื่น ๆ ที่ต้องใช้คู่ของขดลวด คือ ขดส่งและขดรับ ดังแสดงไว้ในรูปที่ 3 กระแส I_s ในขดส่งถูกสร้างด้วยแหล่งกำเนิด หรืออินเวอร์เตอร์ สนามแม่เหล็กที่เกิดจากสิ่งนี้จะต้องเคลื่อนที่ผ่านพื้นที่ของขดรับที่เชื่อมต่อโหลดที่จะจ่ายไฟ/อัดประจุ (R_L) ระหว่างเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและขดส่งมักมีส่วนประกอบอิเล็กทรอนิกส์ ในทำนองเดียวกันมีระบบไฟฟ้าอื่น ๆ ระหว่างขดรับและโหลด องค์ประกอบเพิ่มเติมเหล่านี้รวมอยู่ด้วยเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพการส่งผ่านกำลังไร้สาย เมื่อสนามแม่เหล็กผ่านขดลวดมีความถี่สูงสุดจะส่งผลให้มีแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำสูงขึ้น ซึ่งทำให้การเปลี่ยนแปลงของฟลักซ์แม่เหล็กในขดรับมีค่าสูงขึ้นไปด้วย

3.3 ระบบส่งผ่านกำลังไร้สายแบบเรโซแนนซ์ (Resonance WPT) เป็นการปรับปรุงของการส่งผ่านกำลังไร้สายแบบเหนี่ยวนำให้ทำงานภายใต้สภาวะเรโซแนนซ์ โดยแทนแหล่งกำเนิด (V_s) ด้วยอินเวอร์เตอร์เรโซแนนซ์ สภาวะเรโซแนนซ์จะเกิดขึ้นในสภาวะที่ค่า $X_L = X_C$ ถ้าเป็นวงจรอนุกรม RLC จะทำให้แรงดัน $V_L = V_C$ คุณสมบัติของวงจร คือ จะมีค่าอิมพีแดนซ์ต่ำที่ความถี่เรโซแนนซ์ ทำให้กระแสไหลได้สูงสุด แต่ถ้าเป็น

วงจรขนาน RLC จะทำให้กระแส $I_L = I_C$ คุณสมบัติของวงจร คือ จะมีค่าอิมพีแดนซ์สูงที่ความถี่เรโซแนนซ์ ทำให้กระแสไหลได้ต่ำสุด เมื่อเกิดสภาวะเรโซแนนซ์ขึ้นทั้งในวงจรอนุกรมและขนาน RLC จะทำให้เกิดผล ดังนี้ คือ 1) ค่าอิมพีแดนซ์ (Z) จะมีค่าเท่ากับค่าความต้านทาน (R) ที่ต่ออยู่ในวงจร 2) กระแสรวมที่ไหลในวงจรจะอินเฟสกับค่าแรงดันรวมของวงจร 3) มุมเฟส (θ) มีค่าเท่ากับศูนย์องศา เพราะเฟสเซอร์ของกระแสรวมกับแรงดันไฟฟ้ารวม และ 4) ตัวประกอบกำลังมีค่าเท่ากับหนึ่ง โดยสมการหาค่าความถี่เรโซแนนซ์จะหาได้จากสมการที่ (3)

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (3)$$

ในรูปที่ 4 แสดงวงจรอินเวอร์เตอร์ที่ประกอบด้วยขดส่งและขดรับเป็นวงจรเรโซแนนซ์แบบอนุกรม-ขนาน ตามลำดับ โดยค่าอิมพีแดนซ์อินพุตของวงจรเรโซแนนซ์นี้ หาได้จากสมการที่ (4) [3]

$$Z_{in} = \left(R_1 + j\omega L_1 + \frac{1}{j\omega C_1} \right) + \frac{\omega^2 M^2 (j\omega C_2 R_L + 1)}{R_L + (R_2 + j\omega L_2)(j\omega C_2 R_L + 1)} \quad (4)$$

เมื่อ M คือ ค่าความเหนี่ยวนำร่วม (Mutual Inductance)

และในบทความนี้เลือกการพันขดส่งและขดรับเป็นแบบวงกลม ทำให้ค่าความเหนี่ยวนำของขดส่งและขดรับ (L_1, L_2) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (5) [3]

$$L = \mu_0 N^2 R \left(\ln \frac{16R}{d} - \frac{7}{8} \right) \quad (5)$$

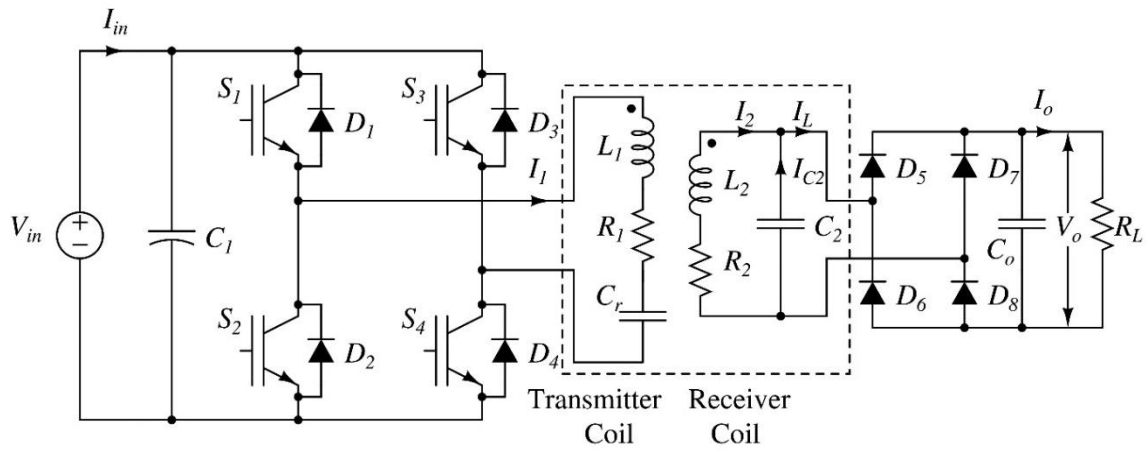
เมื่อ μ_0 คือ ค่าความซึมซาบแม่เหล็กสภาวะสุญญากาศ N คือ จำนวนรอบ R คือ รัศมีของวงรอบใน และ d คือ เส้นผ่าศูนย์กลางของขดลวด

โดยตัวเก็บประจุทางด้านขดส่งสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (6) [3]

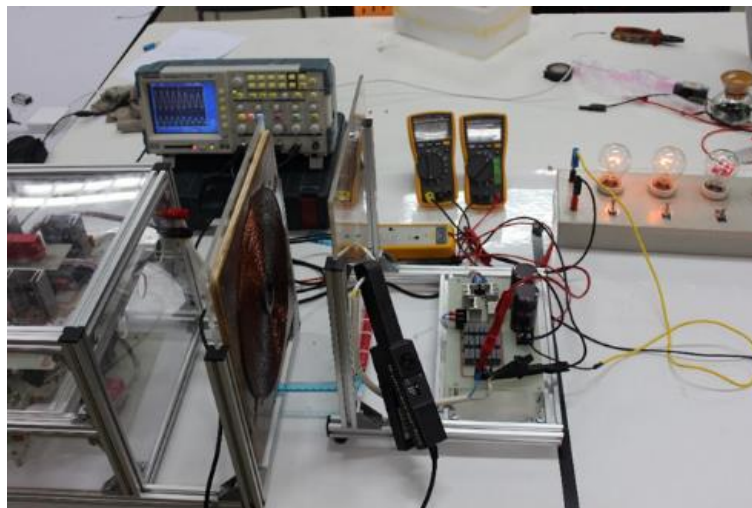
$$C_1 = \frac{L_2^2 C_2}{L_1 L_2 - M^2} \quad (6)$$

โดยวงจรอินเวอร์เตอร์เรโซแนนซ์นี้จะทำหน้าที่แปลงกำลังจากกระแสตรงเป็นกระแสสลับ การสวิตช์จะทำให้เกิดแรงดันรูปคลื่นสี่เหลี่ยมโดยที่ตัวเหนี่ยวนำ (L) และตัวเก็บประจุ (C) จะทำให้เกิดความถี่เรโซแนนซ์ ซึ่งจะมีค่าเท่ากับค่าความถี่การสวิตช์ที่ความถี่เรโซแนนซ์ ค่าอิมพีแดนซ์ของตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุจะหักล้างกัน จึงมองเห็นเป็นโหลดมีค่าเฉพาะความต้านทานเท่านั้น และเพื่อให้เกิดแรงดันพัลส์กระแสสลับที่โหลดการทำงานของสวิตช์จะต้องทำงานในลักษณะคู่ประกอบ ซึ่งสัญญาณขับนำอุปกรณ์สวิตช์กำลัง หรือไอจีบีทีได้จากการเปรียบเทียบค่าแรงดันของสัญญาณสามเหลี่ยม (v_{tri}) และค่าแรงดันของสัญญาณไซน์ (v_{sine}) [4] โดยใช้เทคนิคการมอดูเลตความกว้างของพัลส์แบบไซน์ซอว์ (SPWM) ดังนั้นแผนผังการสวิตช์ของอินเวอร์เตอร์ในรูปที่ 4 สามารถกำหนดได้ดังนี้

- S_1 และ S_4 นำกระแส เมื่อ $v_{\text{sine}} > v_{\text{tri}}$ ทำให้มีแรงดันตกคร่อมขดส่งมีค่าเท่ากับ $+V_{DC}$
- S_2 และ S_3 นำกระแส เมื่อ $v_{\text{sine}} < v_{\text{tri}}$ ทำให้มีแรงดันตกคร่อมขดส่งมีค่าเท่ากับ $-V_{DC}$

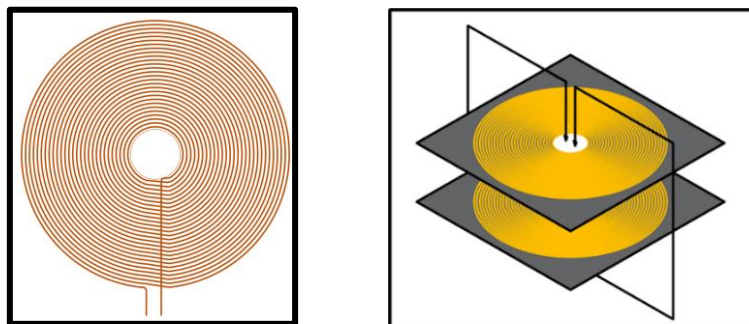


(ก) แผนผังวงจร

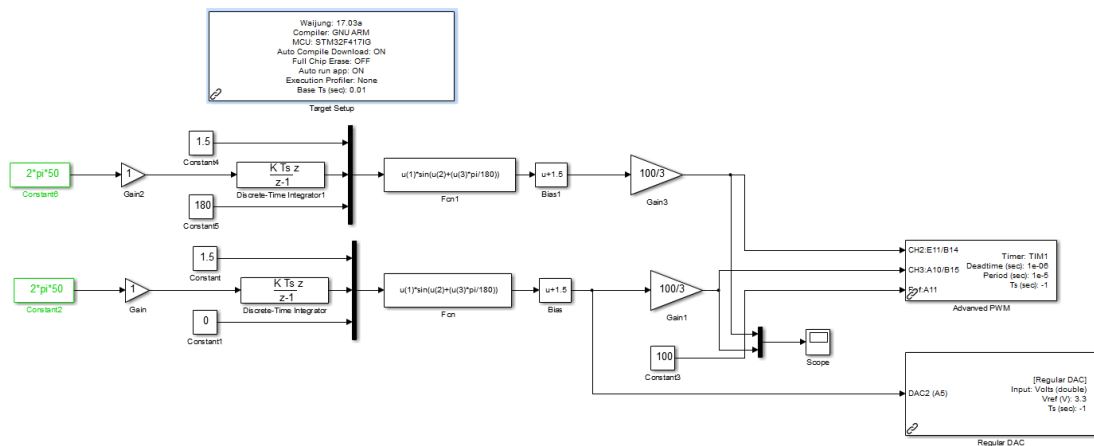


(ข) วงจรทดสอบจริง

รูปที่ 4 ระบบส่งผ่านกำลังไร้สายด้วยอินเวอร์เตอร์เรโซแนนซ์



รูปที่ 5 การพันขดส่งและขดรับสำหรับการส่งผ่านกำลังไร้สาย



รูปที่ 6 วงจรสร้างสัญญาณ SPWM จากโปรแกรม MATLAB/Simulink

4. วิธีดำเนินการวิจัย

4.1 การออกแบบระบบส่งผ่านกำลังไร้สาย

4.1.1 อินเวอร์เตอร์ความถี่สูง ส่วนที่แปลงสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสสลับเพื่อเป็นตัวสร้างความถี่เรโซแนนซ์ในระดับกิโลเฮิร์ตซ์ที่จะจ่ายให้กับขดส่ง ซึ่งเป็นวงจรอินเวอร์เตอร์แบบเต็มคลื่น 1 เฟส ดังแสดงไว้ในรูปที่ 4 ประกอบด้วยดังนี้ คือ 1) ไอจีบีทีเบอร์ GT60M303 2) ไอซีขับขาเกตของไอจีบีทีเบอร์ TLP250 และ 3) บอร์ด STM32 Discovery

4.1.2 ขดส่งและขดรับ การออกแบบโครงสร้างของขดลวดเพื่อให้มีประสิทธิภาพสูงสุด จำเป็นต้องหลีกเลี่ยงการรั่วไหลของฟลักซ์สนามแม่เหล็กให้น้อยที่สุด ดังนั้นบทความนี้เลือกออกแบบให้พันไปในลักษณะจานกลมพันขดลวดเป็นรูปกันหอย เพื่อลดผลของการรั่วไหลของฟลักซ์สนามแม่เหล็ก ดังแสดงในรูปที่ 5 ขดส่งจะใช้แกนเฟอร์ไรท์ (Ferrite Core) เป็นแกนกลางในการพันขดลวด โดยออกแบบให้ค่าความเหนี่ยวนำเท่ากับ 0.3 มิลลิเฮนรี และต่ออนุกรมกับตัวเก็บประจุขนาด 10 นาโนฟารัด ซึ่งขดส่งใช้ลวดทองแดงเบอร์ 26 ความยาว 22.65 เมตร จำนวน 12 เส้น ตีเกลียว ส่วนขดรับจะใช้แกนอากาศเป็นแกนกลางในการพันขดลวด มีค่าเท่ากับ 0.45 มิลลิเฮนรี ต่อขนานกับตัวเก็บประจุขนาด 2,000 ไมโครฟารัด ซึ่งขดรับใช้ลวดทองแดงเบอร์ 26 ความยาว 22.65 เมตร จำนวน 12 เส้น ตีเกลียวเหมือนกับขดส่ง

4.2 การสร้างสัญญาณขับนำสำหรับอินเวอร์เตอร์เรโซแนนซ์

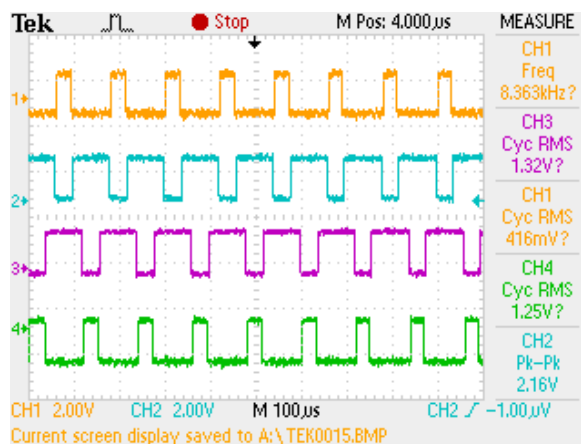
การสร้างสัญญาณขับนำความถี่สูงเพื่อใช้ในการขับไอจีบีที จะใช้บอร์ด STM32F407G โดยเขียนคำสั่งผ่านโปรแกรม MATLAB/Simulink ที่ประกอบด้วย Waijung Blockset ดังแสดงในรูปที่ 6 โดยเริ่มจากการสร้าง Target Setup Block เพื่อทำการเลือก MCU ให้เป็นรุ่น STM32F407VG ในส่วนของการสร้างสัญญาณขับนำไอจีบีทีจะใช้สัญญาณ Sine Wave มาเปรียบเทียบกับ Advanced PWM Block เพื่อให้ได้สัญญาณ SPWM ตามต้องการ เพื่อนำไปขับสัญญาณของชุดอินเวอร์เตอร์เรโซแนนซ์ โดยมีชุดโหลดเรโซแนนซ์เป็นแบบอนุกรม-ขนาน

5. ผลการทดลอง

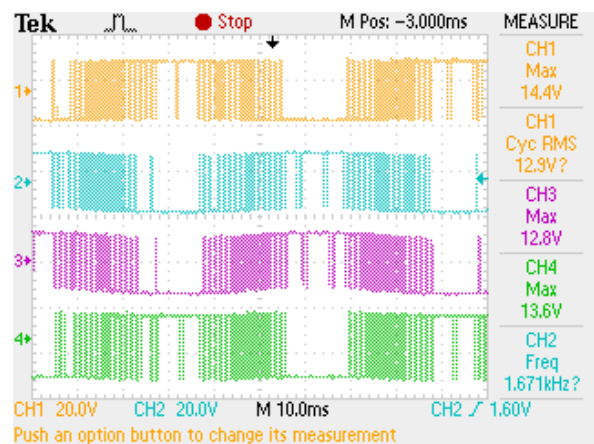
จากการดำเนินงานทดสอบระบบส่งผ่านกำลังไฟฟ้าไร้สายด้วยอินเวอร์เตอร์เรโซแนนซ์ที่ผ่านมา โดยการป้อนสัญญาณขับนำสวิตช์ S_1, S_2, S_3 และ S_4 และทำการวัดสัญญาณแรงดันเอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์ก่อนที่จะนำไปจ่ายให้กับขดส่งที่เป็นวงจรเรโซแนนซ์แบบอนุกรม-ขนานดังกล่าวข้างต้น กำหนดให้ความถี่การสวิตช์ประมาณ 16 กิโลเฮิร์ตซ์ โดยแบ่งผลการทดลองและวิเคราะห์ออกเป็น 4 ส่วน ดังนี้

5.1 ผลการทดลองสัญญาณ SPWM จากบอร์ด STM32F407VG

สัญญาณที่ได้จากบอร์ดนี้จะมี 4 สัญญาณเอาต์พุต มีระดับแรงดันอยู่ที่ 0 และ 3.3 โวลต์ โดยค่าวัฏจักรการทำงาน (Duty Cycle) ถูกปรับตามสัญญาณไซน์ซอว์ด ซึ่งจะนำสัญญาณนี้ไปใช้ในการควบคุมการทำงานของอุปกรณ์การสวิตช์กำลัง (Power Switching Devices) ดังแสดงไว้ในรูปที่ 7(ก)



(ก) สัญญาณจากบอร์ด STM32F407VG



(ข) สัญญาณจาก TLP250

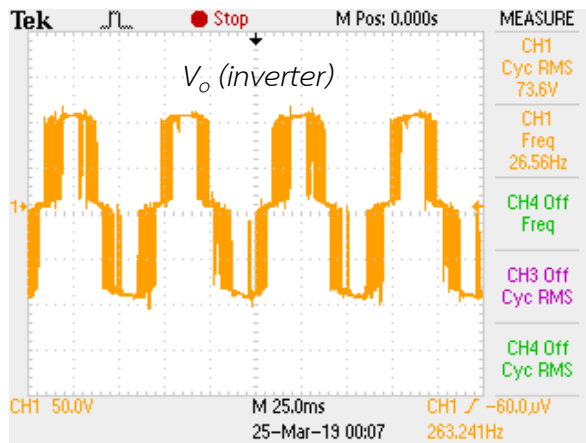
รูปที่ 7 สัญญาณขับนำสวิตช์สำหรับไอจีบีที

5.2 ผลการทดลองชุดขยายสัญญาณขับเกตไอจีบีทีจาก TLP250 (Opto-coupler)

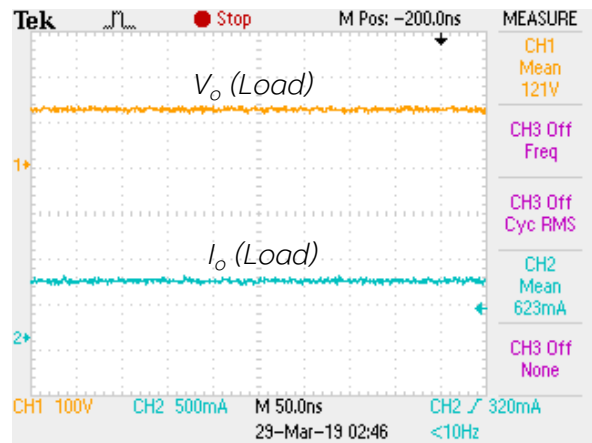
วงจรขยายสัญญาณขับเกตจากไอซี TLP250 จะทำการเพิ่มระดับแรงดันสำหรับขับเกตของไอจีบีทีจาก 3.3 และ 0 โวลต์ จากบอร์ด STM32F407VG ไปเป็น ± 15 โวลต์ รวมถึงการแยกกราวด์เพื่อป้องกันเสียหายที่จะเกิดขึ้นกับบอร์ด STM32F407VG หากมีการลัดวงจรเกิดขึ้น ดังแสดงสัญญาณรูปคลื่นในรูปที่ 7(ข)

5.3 ผลการทดลองการทำงานของวงจรอินเวอร์เตอร์เต็มคลื่นแบบ 1 เฟส

ก่อนที่จะนำวงจรอินเวอร์เตอร์เต็มคลื่นแบบ 1 เฟสไปจ่ายให้กับขดส่ง ต้องทำการตรวจสอบสัญญาณที่ได้ก่อนว่าถูกต้องและเป็นไปตามทฤษฎีหรือไม่ เพื่อไม่ให้เกิดความผิดพลาดในการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า ซึ่งสามารถแสดงสัญญาณแรงดันเอาต์พุตของวงจรอินเวอร์เตอร์เต็มคลื่นแบบ 1 เฟส ได้ดังรูปที่ 8(ก)

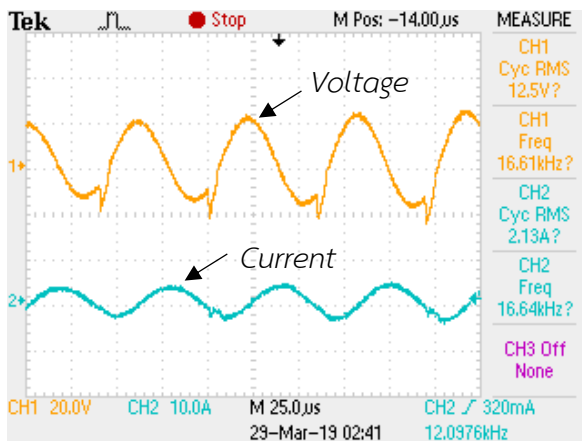


(ก) สัญญาณแรงดันเอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์

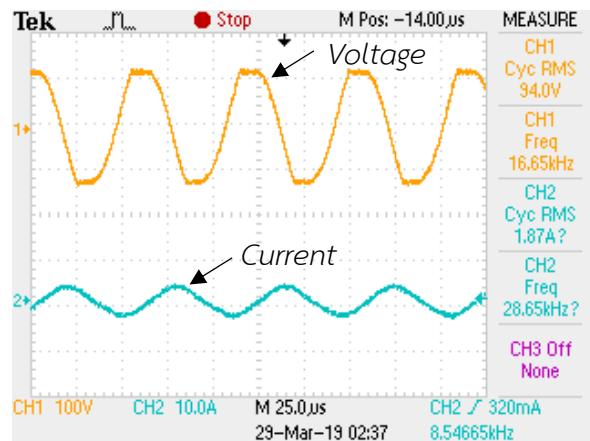


(ข) สัญญาณของแรงดันและกระแสที่โหลด

รูปที่ 8 สัญญาณเอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์และโหลด



(ก) สัญญาณแรงดันและกระแสขดส่ง



(ข) สัญญาณของแรงดันและกระแสขดรับ

รูปที่ 9 สัญญาณของแรงดันและกระแสขดส่งและขดรับที่ได้ประสิทธิภาพสูงสุดตามแนวแกน X

5.4 ผลการทดลองส่งกำลังไร้สายที่ระยะห่างต่าง ๆ ตามแนวแกน X

โดยการทดลองส่งกำลังไร้สายในแนวแกน X นี้จะทำการปรับค่าระยะห่างระหว่างขดส่งและขดรับตั้งแต่ 5 ถึง 15 เซนติเมตร และปรับแรงดันกระแสอินพุตคงที่เท่ากับ 100 โวลต์ ที่ย่านความถี่การสวิตช์เท่ากับ 16 กิโลเฮิร์ตซ์ ซึ่งทางด้านเอาต์พุตต่อเข้ากับโหลดหลอดอินแคนเดสเซนซ์ขนาด 200 วัตต์ ข้อมูลผลการทดลองต่างๆ แสดงไว้ในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลการทดลองส่งกำลังไฟฟ้าแบบไร้สายในแนวแกน X โดยทดสอบที่แรงดันกระแสตรงอินพุต 100 โวลต์ และโหลดโหลดอินแคนเดสเซนต์ขนาด 200 วัตต์ ที่ระยะห่าง 5 ถึง 15 เซนติเมตร ตามลำดับ

ระยะห่าง แนวแกน X (cm.)	ระยะห่าง แนวแกน Y (cm.)	ฝั่งขดส่ง			ฝั่งขดรับ			ประสิทธิภาพ (%)
		V_{in} (V)	I_{in} (A)	P_{in} (W)	V_o (V)	I_o (A)	P_o (W)	
5	0	100	0.56	56.00	60.60	0.45	27.03	48.26
6	0	100	0.66	66.00	71.00	0.49	34.44	52.17
7	0	100	0.82	82.00	88.50	0.54	48.06	58.60
8	0	100	1.02	102.00	104.00	0.59	61.57	60.36
9	0	100	1.24	124.00	121.60	0.64	78.31	63.15
10	0	100	1.57	157.00	137.50	0.69	94.46	60.17
11	0	100	1.87	187.00	149.50	0.73	108.69	58.12
12	0	100	2.13	213.00	156.00	0.74	114.66	53.83
13	0	100	2.27	227.00	153.10	0.73	111.76	49.23
14	0	100	2.31	231.00	142.30	0.70	99.75	43.18
15	0	100	2.30	230.00	130.30	0.67	87.04	37.84

จากข้อมูลการทดลองสามารถทำการวิเคราะห์ได้ว่าระยะห่างของขดลวดไปตามแนวแกน X มีผลต่อค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของการส่งผ่านกำลังไร้สาย ระยะการส่งผ่านกำลังไร้สายที่ได้ค่าประสิทธิภาพสูงสุดอยู่ที่ 9 เซนติเมตรเสมือนกับเป็นจุดที่สามารถส่งผ่านกำลังได้สูงสุดโดยค่าประสิทธิภาพจะอยู่ที่ร้อยละ 63.15 โดยรูปคลื่นแรงดันและกระแสขดส่งและขดรับที่ประสิทธิภาพสูงสุดตามแนวแกน X แสดงไว้รูปที่ 9(ก) และ (ข) ตามลำดับ และเมื่อปรับระยะห่างตามแนวแกน X พบว่าที่ระยะ 15 เซนติเมตร จะส่งกำลังไฟฟ้าได้ต่ำสุดโดยค่าประสิทธิภาพจะอยู่ที่ร้อยละ 37.84 ดังแสดงในตารางที่ 1

6. สรุป

บทความนี้ได้นำเสนอการศึกษาและวิเคราะห์ระบบส่งผ่านกำลังไร้สายด้วยอินเวอร์เตอร์เรโซแนนซ์ โดยใช้เทคนิคการมอดูเลตความกว้างของพัลส์แบบไซน์ซอซด์ ซึ่งรวมถึงการอธิบายค่าต่าง ๆ ได้แก่ โครงสร้างของขดลวด การออกแบบของขดลวด ระยะห่างระหว่างขดส่งและขดรับ และประสิทธิภาพของการส่งผ่านกำลังไร้สาย เป็นต้น จากการทดสอบเห็นว่า การส่งผ่านกำลังไฟฟ้าไร้สายนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้การอัดประจุแบตเตอรี่ในยานยนต์ไฟฟ้าได้ โดยมีประสิทธิภาพสูงสุดมีค่าเท่ากับ ร้อยละ 63.15 ที่ระยะห่างแนวแกน X ที่ระยะ 9 เซนติเมตร ที่ความถี่ 16 กิโลเฮิร์ตซ์

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] John G. Hayes and G. Abas Goodarzi, “Electric Powertrain: Energy Systems, Power Electronics and Drives for Hybrid, Electric and Fuel Cell Vehicles,” John Wiley & Sons Ltd, 2018.
- [2] Tom Denton, “Electric and Hybrid Vehicles” Routledge, New York, 2016.
- [3] Alicia Trivino-Cabrera, Jose M. Gonzalez-Gonzalez, and Jose A. Aguado, “Wireless Power Transfer for Electric Vehicles: Foundations and Design Approach” Springer Nature Switzerland, 2020.
- [4] Anuja Namboodiri and Harshal S. Wani, “Unipolar and Bipolar PWM Inverter,” International Journal for Innovative Research in Science & Technology, vol.1, Issue.7, pp. 237 – 243 December 2014.