

วงจรแปลงผันเรโซแนนซ์พุช-พูลแบบหลายอินพุต

A Multiple-Input Resonant Push-Pull DC-DC Converter

อนุสรณ์ สุหัตถาพร กุศลมาลย์ เถлимยานนท์
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

บทคัดย่อ

บทความนี้ได้นำเสนอวงจรแปลงผันเรโซแนนซ์พุช-พูลแบบหลายอินพุต โดยวงจรอินพุตพอร์ตแบบรวมถูกออกแบบให้สามารถรับพลังงานจากหลายๆแหล่งจ่ายได้เพื่อเพิ่มเสถียรภาพของระบบ วงจรแปลงผันพุช-พูลชนิดจ่ายกระแสที่มีการใช้การสวิตช์แบบนุ่มนวลถูกเลือกมาใช้เป็นวงจรหลักในระบบ โดยมีการนำส่วนประกอบของวงจรบางส่วนมาใช้เป็นกลไกการสวิตช์ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพโดยรวมให้กับระบบ ตัวเหนี่ยวนำด้านอินพุต L_m ถูกใช้สำหรับการกรองฮาร์มอนิกส์ของกระแสที่เกิดขึ้นจากการสวิตช์ของอินพุตพอร์ต เพื่อลดค่ากระแสกระเพื่อมด้านอินพุต ส่วนองค์ประกอบสำคัญในกลไกการสวิตช์แบบนุ่มนวลคือ ตัวเก็บประจุเรโซแนนซ์ C_r และตัวเหนี่ยวนำเรโซแนนซ์ L_r ซึ่งจะใช้ตัวเหนี่ยวนำรั่วไหลของหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงในวงจรพุช-พูล นอกจากนี้ตัวเก็บประจุแฝงในสวิตช์ก็มีส่วนเกี่ยวข้องในการเกิดกลไกการสวิตช์แบบนุ่มนวลด้วยเช่นกัน โดยวงจรต้นแบบขนาด 100 วัตต์จะถูกสร้าง วัตต์ค่าพารามิเตอร์และทดสอบ โดยผลการทดสอบวงจรแสดงรูปคลื่นต่างๆของวงจรในภาวะการเกิดเรโซแนนซ์และประสิทธิภาพของวงจร

คำสำคัญ : วงจรคอนเวอร์เตอร์หลายอินพุต, วงจรคอนเวอร์เตอร์หลายเอาต์พุต, แหล่งจ่ายไฟฟ้า

Abstract

The multiple-input resonant push-pull dc-dc converter is presented in this paper. An integrated input port is designed for multiple energy sources supplied to the converter for improving reliability of the system. The current-fed push-pull topology with soft-switch technique is chosen to improve efficiency and also for the isolation propose. The input inductance together with the resonant components lead the converter operate under ZVS and ZCS. The 100-W prototype is constructed and tested. The experimental results are presented to confirm the performance of the designed converter

Key words : Multiple-inputs converter, multiple-outputs converter, power supply.

1. บทนำ

ในปัจจุบันแนวโน้มการขาดแคลนพลังงานส่งผลให้มีการหันมาใช้พลังงานทดแทนเช่น พลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานลม อย่างไรก็ตามพลังงานทดแทนเหล่านี้ต้องอาศัยวงจรแปลงผันพลังงาน เพื่อนำพลังงานเหล่านี้มาใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ การพัฒนาวงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงสำหรับพลังงานทดแทนจึงมีความสำคัญอย่างยิ่ง เนื่องด้วยคุณลักษณะของพลังงานทดแทนเหล่านี้ขึ้นกับ

สภาพอากาศโดยรอบทำให้การใช้พลังงานขาดเสถียรภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การพัฒนาวงจรแปลงผันพลังงานแบบหลายอินพุต (Multiple input converter) จึงมีความเหมาะสมสำหรับการพลังงานที่ได้จากแหล่งจ่ายพลังงานหลายๆแหล่งซึ่งมีพิคัดแรงดันไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้าที่แตกต่างกันได้เป็นอย่างดี

จำนวนแหล่งจ่ายที่ถูกรวมเข้ามามากขึ้น ส่งผลให้จำนวนอุปกรณ์ในวงจรแปลงผันเพิ่มขึ้นตาม อันเป็นเหตุให้กำลังไฟฟ้าสูญเสียโดยรวมของระบบเพิ่มขึ้นตามกำลังไฟฟ้าสูญเสียที่สำคัญคือกำลังไฟฟ้าสูญเสียใน

อุปกรณ์สวิตช์เช่น มอสเฟต หรือ ไดโอด นอกจากนี้ยังมีกำลังสูญเสียเนื่องจากความต้านทานภายในขดลวดของตัวเหนี่ยวนำหรือหม้อแปลง กำลังสูญเสียที่จะเกิดขึ้นในอีกกรณีคือ กำลังไฟฟ้าสูญเสียจากการสวิตช์ซึ่งจะเกิดขึ้นเมื่อมีการเปลี่ยนสถานะจากนำกระแสเป็นหยุดนำกระแส หรือจากหยุดนำกระแสเป็นนำกระแส ดังนั้นหากออกแบบวงจรให้สามารถเพิ่มจำนวนแหล่งจ่ายโดยไม่ต้องเพิ่มจำนวนอุปกรณ์ไปมากรวมทั้งมีกลไกลดกำลังสูญเสียในสวิตช์ลงก็จะทำให้ระบบแปลงผันพลังงานแบบหลายแหล่งจ่ายมีประสิทธิภาพการทำงานที่สูงขึ้น

ในอดีตที่ผ่านมาได้มีการออกแบบวงจรแปลงผันแบบหลายอินพุตอยู่ด้วยกันหลายวิธี [1]-[5] เพื่อเป้าหมายในการรวมแหล่งพลังงานและเพิ่มประสิทธิภาพของระบบ

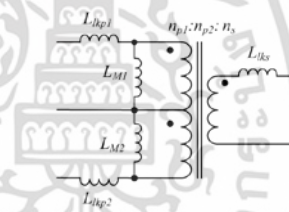
ในบทความจะนำเสนอวงจรแปลงผันพลังงานแบบรวมหลายอินพุตโดยใช้วงจรแปลงผันพลังงานเพียงชุดเดียวซึ่งจะทำให้จำนวนอุปกรณ์ในวงจรลดลง นอกจากนี้ยังใช้กลไกการสวิตช์แบบนุ่มนวลเพื่อลดความเครียดและกำลังไฟฟ้าสูญเสียที่จะเกิดกับสวิตช์ได้อีกด้วย การทดสอบการจัดการพลังงานของวงจรด้วยโหลด 100 วัตต์ จะถูกแสดงในผลการทดลองต่อไป

2. หลักการทำงานของวงจร

โครงสร้างของวงจรที่นำเสนอมีพื้นฐานจากวงจรแปลงผันพุก-พุลชนิดจ่ายกระแส (Current-fed push-pull dc-dc converter) ซึ่งแสดงดังรูปที่ 1 วงจรจะประกอบด้วย สวิตช์และไดโอดของวงจรอินพุตพอร์ท (G_1, G_2, D_1, D_2), ตัวเหนี่ยวนำด้านอินพุต (L_{in}), ตัวเก็บประจุเรโซแนนซ์

(C_r), หม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูงซึ่งมีตัวเหนี่ยวนำรั่วไหลทำหน้าที่เป็นตัวเหนี่ยวนำเรโซแนนซ์ (L_{r1}, L_{r2}) ร่วมกับตัวเก็บประจุแฝงและไดโอดภายใน ($C_{s1}, C_{s2}, D_{s1}, D_{s2}$) ของสวิตช์ของวงจรแปลงผันพุก-พุล (S_1, S_2) ตัววงจรจะประกอบไปด้วย 3 ส่วนด้วยกัน คือ (1) วงจรอินพุตซึ่งเป็นวงจรที่รวมแหล่งจ่ายพลังงานเข้าด้วยกัน (2) วงจรเรโซแนนซ์ จะสร้างกลไกการสวิตช์ที่กระแสศูนย์และแรงดันศูนย์ (3) วงจรเรียงกระแสด้านเอาต์พุต มีหน้าที่กรองแรงดันเอาต์พุตก่อนจ่ายโหลด สำหรับการหาค่าตัวเหนี่ยวนำเรโซแนนซ์สามารถคำนวณได้จากตัวเหนี่ยวนำรั่วไหล (L_{lkp}, L_{lks}) ของหม้อแปลงตามสมการที่ (1) และแบบจำลองของหม้อแปลงจะแสดงดังรูปที่ 2

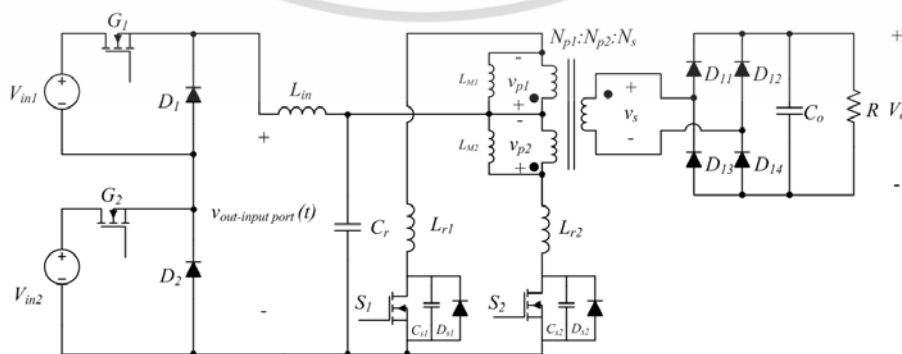
$$L_r = \left[L_{lkp} + \left(\frac{n_p}{n_s} \right)^2 \times L_{lks} \right] \tag{1}$$



รูปที่ 2: แบบจำลองของหม้อแปลงความถี่สูง

3. การวิเคราะห์ห้วงจรต้นแบบ

การวิเคราะห์ห้วงจรจะแยกการวิเคราะห์ออกเป็นสองส่วน คือการวิเคราะห์ห้วงจรอินพุตพอร์ท และการวิเคราะห์ห้วงจรแปลงผันเรโซแนนซ์พุก-พุล



รูปที่ 1: วงจรแปลงผันเรโซแนนซ์พุก-พุลแบบหลายอินพุตชนิดจ่ายกระแส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

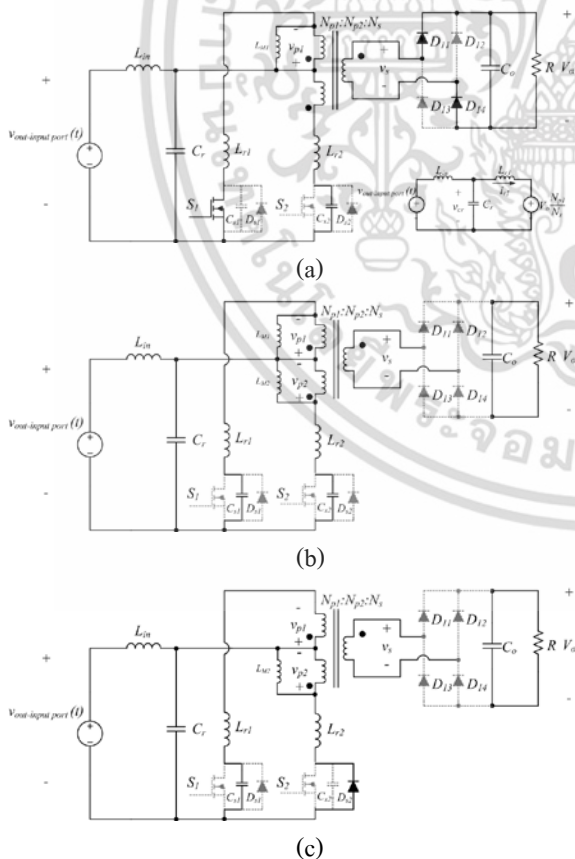
วงจรอินพุตพอร์ตจะเป็นเซลล์แหล่งจ่ายแรงดันพัลส์ สองเซลล์ต่ออนุกรมกันตามรูปที่ 2 แรงดันเอาท์พุทที่ได้ จากวงจรอินพุตพอร์ตนี้คือ

$$v_{out-input-port}(t) = V_{in}' = d_1 V_{in1} + d_2 V_{in2} \quad (2)$$

เมื่อค่า d_1 และ d_2 คือ ค่าคิวตี้ไซเคิลของสวิตช์ G_1 และ G_2 ในเซลล์แหล่งจ่ายแรงดันพัลส์ ตามลำดับ เนื่องจาก กระแสที่ไหลผ่านเซลล์แหล่งจ่ายแรงดันพัลส์แต่ละเซลล์มี ค่าเท่ากัน ดังนั้นค่ากำลังไฟฟ้ที่ได้จากอินพุตพอร์ตเท่ากับ

$$P_{out-input-port}(t) = [d_1 V_{in1} + d_2 V_{in2}] \times I \quad (3)$$

จากสมการที่ (2) และ (3) แรงดันและกำลังไฟฟ้า สามารถควบคุมได้โดยคิวตี้ไซเคิล d_1 และ d_2 กำลังไฟฟ้า จากแหล่งจ่ายทั้งสองจะถูกส่งไปยังวงจรแปลงผันเรโซแนนซ์พุก-พุล กระแสฮาร์โมนิกส์จะถูกกรองออกโดย ตัวเหนี่ยวนำอินพุต (L_{in}) มีค่าคิวตี้ไซเคิลของสวิตช์ของ S_1 และ S_2 จะกำหนดให้ค่าน้อยกว่า 50% จะเหมือนกับวงจร แปลงผันพุก-พุลทั่วไป [4]-[5]



รูปที่ 3: ช่วงการทำงานของวงจร

ในการวิเคราะห์ห้วงจร จำเป็นต้องมีข้อกำหนดดังนี้

(1) ตัวเหนี่ยวนำอินพุต (L_{in}) จะมีค่าใหญ่มากค่ากระแส กระเพื่อมจึงถูกละเว้นไว้

(2) ค่าตัวเหนี่ยวนำเอาท์พุท (C_o) มีค่าใหญ่มาก ค่า แรงดันกระแสเพื่อมด้านเอาท์พุทจึงถูกละเว้นไว้ และ

(3) ตัวเหนี่ยวนำเรโซแนนซ์ (L_{r1}, L_{r2}) มีค่าเล็กมากเมื่อ เทียบกับตัวเหนี่ยวนำทำแม่เหล็ก (L_M) และตัวเหนี่ยวนำ อินพุต (L_{in}) คาบของการสวิตช์ของวงจรจะถูกแบ่งเป็น 3 ช่วงวงจรสมมูลแต่ละช่วงการทำงานถูกแสดงในรูปที่ 3 และรูปคลื่นสัญญาณของวงจรจะแสดงดังรูปที่ 4

ช่วงการทำงานที่ 1 / $t_0 \leq t \leq t_1$

เริ่มต้นการทำงานที่ $t = t_0^-$ ค่าแรงดันที่ตัวเก็บประจุ แผลงในสวิตช์ S_1 ภายประจุโดยสมบรูณ์ส่งผลให้แรงดัน v_{ds1} มีค่าลดลงเป็นศูนย์ สวิตช์ S_1 จะเริ่มนำกระแสภายใต้ กลไกการสวิตช์ที่แรงดันศูนย์ (ZVS) ในแรงดันคร่อม สวิตช์ S_2 มีค่าประมาณ $v_{cr} - v_{p2}$ ค่ากระแสอินพุต (i_{in}) จะ ชาร์จตัวเก็บประจุเรโซแนนซ์ (C_r) อย่างต่อเนื่อง ส่วนที่ เหลือจากการชาร์จ จะเป็นกระแสเรโซแนนซ์ (i_{r1}) ไหล ผ่านตัวเหนี่ยวนำรั้วไหลของหม้อแปลง กระแสเรโซแนนซ์รูปคลื่นไซน์จะมีค่าเป็นศูนย์ซึ่งจะจบการทำงาน ช่วงที่ 1 ($t=t_1$) สวิตช์ S_1 จบการทำงาน ในขณะเดียวกัน กระแสที่ไหลผ่านไดโอด $D_{11}-D_{14}$ ของวงจรเรียงกระแส ทำงานด้วยกลไกการสวิตช์ที่กระแสศูนย์ด้วยเช่นกัน

ช่วงการทำงานนี้จบลงเมื่อสัญญาณจับสวิตช์ถูกปลด ออกที่ $t=t_1$ วงจรสมมูลของช่วงการทำงานนี้ถูกแสดงใน รูป 3(a) กระแสเรโซแนนซ์ (i_{r1}) และกระแสอินพุต (i_{in}) สามารถแสดงได้ดังนี้

$$i_{r1}(t) = \left[\sqrt{\frac{L_{in} C_r}{L_r (L_{in} + L_r)}} (v_{cr}(t_0) - V_n) - \frac{1}{L_{in} + L_r} \sqrt{\frac{L_{in} L_r C_r}{L_{in} + L_r}} (V_{in}' - V_n) \right] \sin \omega_r t + \frac{V_{in}' - V_n}{L_{in} + L_r} t + \frac{i_{in}(t_0) L_{in}}{L_{in} + L_r} (1 - \cos \omega_r t) \quad (4)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$i_{in}(t) = \left[\sqrt{\frac{L_r C_r}{L_{in}(L_{in} + L_r)}} (V'_{in} - v_{cr}(t_0)) - \sqrt{\frac{L_{in} L_r C_r}{L_{in} + L_r}} \frac{V'_{in} - V_n}{L_{in} + L_r} \right] \sin \omega_r t + \frac{L_{in} i_{in}(t_0)}{L_{in} + L_r} + \left(i_{in}(t_0) - \frac{L_{in} i_{in}(t_0)}{L_{in} + L_r} \right) \cos \omega_r t \quad (5)$$

$$V_{ds2}(t) = 2v_{cr}(t) \quad (6)$$

เมื่อ

$$f_r = \frac{\omega_r}{2\pi} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{L_{in} + L_r}{L_{in} L_r C_r}} \quad (7)$$

$$V_n = \frac{N_{p1}}{N_s} V_o \quad (8)$$

ช่วงการทำงานที่ 2 [$t_1 \leq t \leq t_2$]

ช่วงการทำงานที่ 2 เริ่มต้นที่ $t = t_1$ สวิตช์ S_1 หยุดนำกระแสโดยสมบูรณ์ด้วยกลไกการสวิตช์ที่กระแสศูนย์ แต่สวิตช์ S_2 ยังคงไม่นำกระแส วงจรเรโซแนนซ์จบบรรยากาศที่แล้วแต่ยังคงมีกระแสทำแม่เหล็กไหลอยู่ดังวงจรสมมูลแสดงดังรูปที่ 3(b) เนื่องจากความสัมพันธ์ของเส้นแรงแม่เหล็กที่สมมูลกัน ส่งผลให้กระแสทำเส้นแรงแม่เหล็กสามารถเขียนได้ดังสมการ

$$|i_{m1}(t_1^+)| = |i_{m2}(t_1^+)| = \frac{1}{2} I_m \quad (9)$$

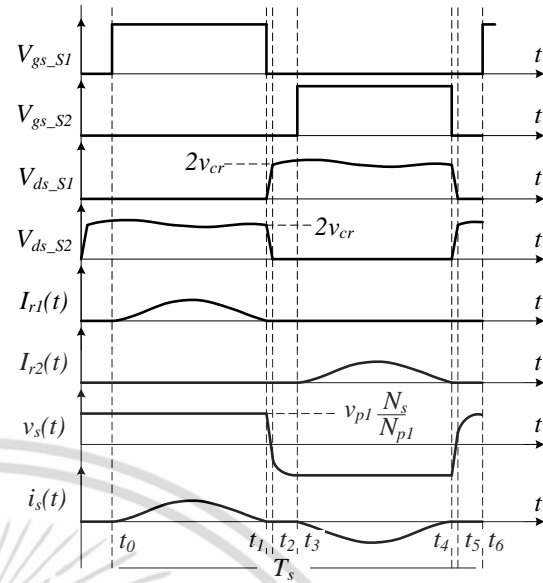
กระแสทำแม่เหล็ก (i_{m1}) ชาร์ตตัวเก็บประจุแฝง C_{s1} และกระแสทำแม่เหล็ก (i_{m2}) เป็นกระแสคายประจุของตัวเก็บประจุแฝง C_{s2} ดังนั้นแรงดันคร่อมตัวเก็บประจุแฝง v_{ds2} มีค่าลดลงเป็นศูนย์ และบอดี้ไดโอด D_{s2} นำกระแส i_{m2} แทน ส่งผลให้แรงดันคร่อมขดลวดปฐมภูมิ v_{p2} มีค่าประมาณ $2v_{cr}$ และจะจบช่วงการทำงานนี้

ตัวเหนี่ยวนำทำแม่เหล็ก และค่าความถี่ในการสวิตช์จะเป็นตัวกำหนดเวลาในช่วงการทำงานนี้

ช่วงการทำงานที่ 3 [$t_2 \leq t \leq t_3$]

ในขณะที่จบการทำงานช่วงที่ 2 ไดโอดภายใน D_{s2} นำกระแสและกระแสทำแม่เหล็ก i_{m2} สามารถไหลผ่าน N_{p2} และตัวเก็บประจุเรโซแนนซ์ C_r จนครบวงจร เช่นเดียวกับช่วงการทำงานที่ 2 สมการของ กระแสทำแม่เหล็กคือ

$$\begin{aligned} i_{m1}(t_2^+) &= 0 \\ i_{m2}(t_2^+) &= -I_m \end{aligned} \quad (10)$$



รูปที่ 4: รูปคลื่นสัญญาณของวงจร

กระแสอินพุต (I_{in}) ชาร์ตตัวเก็บประจุเรโซแนนซ์ ทำให้แรงดันคร่อมตัวเก็บประจุเรโซแนนซ์มีค่าสูงขึ้นส่งผลให้แรงดันค้ำานทุติยภูมิ (v_s) เมื่อ $v_s(t) \leq V_o$ ไดโอด D_{i1} และ D_{i4} จะหยุดนำกระแส และ v_{ds1} มีค่าเท่ากับ $2v_{cr}$ เมื่อ

$$v_s(t) = \frac{N_s}{N_{p2}} v_{cr}(t) \quad (11)$$

4. การพิจารณาออกแบบวงจรต้นแบบ

การออกแบบวงจรแบ่งได้เป็นสองส่วน ส่วนแรกคือการออกแบบวงจรอินพุตพอร์ต ซึ่งมีรูปแบบวงจรเป็นวงจรแปลงผันแบบบีสสองวงจรรวมกัน ค่าแรงดันสูงสุดที่ตกคร่อมสวิตช์ G_1 และ G_2 และสำหรับไดโอด D_1 และ D_2 แรงดันสูงสุดที่ตกคร่อมไดโอดสามารถเขียนเป็นสมการได้ว่า

$$\begin{aligned} V_{G1} = V_{D1} &= V_{in1} \\ V_{G2} = V_{D2} &= V_{in2} \end{aligned} \quad (12)$$

จากการวิเคราะห์วงจรที่ผ่านมา ค่ากระแสเรโซแนนซ์จะสัมพันธ์กับ C_r , L_r , L_{in} , V'_{in} , N_s/N_p และ V_o ซึ่งเมื่อพิจารณาแล้วการออกแบบวงจรตามสมการที่ (4)-(11) นั้นเป็นไปได้ยาก ดังนั้นเพื่อลดความซับซ้อนจึงมีการใช้การประมาณค่าโดยละทิ้งในส่วนประกอบที่มีผลต่อสมการน้อยที่สุด ค่ากระแสอินพุตจึงสามารถเขียนโดยประมาณได้ดังสมการ

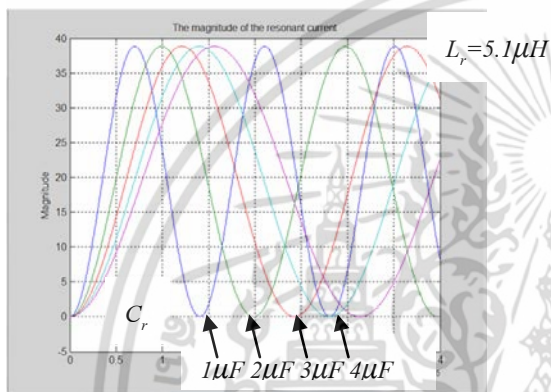
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$I_{in,avg} \approx \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \frac{1}{2} I_{p,peak} (1 - \cos\theta) dt \approx \frac{1}{2} I_{p,peak} \quad (13)$$

โดยทั่วไปแล้วค่ารอบทำงาน (D) ของวงจรแปลงผันเรโซแนนซ์พุก-พุด จะต้องมีย่านน้อยกว่า 50% ดังนั้นค่าประมาณของกระแสสูงสุดของกระแสโซแนนซ์และกระแสที่ไหลผ่านตัวเก็บประจุเรโซแนนซ์จะเท่ากับ

$$I_{r,peak} \approx 2 \frac{P_{in}}{V_{in}} \approx 4D \frac{P_o}{V_o} \frac{N_s}{N_{p1}} \quad (14)$$

$$I_{cr,rms} \approx \frac{1}{2\sqrt{2}} I_{r,peak} \quad (15)$$



รูปที่ 5: กระแสเรโซแนนซ์

เมื่อค่า $I_{cr,rms}$ คือค่าพิกัดกระแสที่ไหลผ่านตัวเก็บประจุเรโซแนนซ์ (C_r) ดังนั้น C_r จะถูกเลือกก่อนพารามิเตอร์ตัวอื่น พารามิเตอร์ตัวถัดไปที่จะทำการหาค่าคือตัวเหนี่ยวนำเรโซแนนซ์ (L_r) จากสมมติฐานที่ตั้งไว้ $L_{in} \ll L_r$ และค่าเริ่มต้นของแรงดันคร่อมตัวเก็บประจุเรโซแนนซ์ ($v_{cr}(0)$) ใกล้เคียงกับค่าเฉลี่ยแรงดันอินพุต V_{in} ในสภาวะคงตัว ดังนั้นค่าประมาณของกระแสเรโซแนนซ์คือ

$$i_{r1} \approx \sqrt{\frac{C_r}{L_r}} \left(V_{in} - \frac{2DP_{out}}{I_{in,avg}} \right) \sin\left(\frac{1}{\sqrt{L_r C_r}} t\right) - I_{in,avg} \cos\left(\frac{1}{\sqrt{L_r C_r}} t\right) + I_{in,avg} \quad (16)$$

เนื่องจากพารามิเตอร์ L_r และ C_r เป็นส่วนประกอบหลักที่ทำให้กลไกการสวิตช์ที่กระแสน้อยและแรงดันศูนย์รูปที่ 5 แสดงกราฟกระแสเรโซแนนซ์ที่ค่า C_r ต่างๆ โดยจากกราฟเลือกค่า $L_r = 5.1\mu H$ และ $C_r = 1\mu F$ ค่าความถี่เรโซแนนซ์โดยประมาณคำนวณได้โดยสมการที่ (17)

$$f_r \approx \frac{1}{2\pi\sqrt{L_r C_r}} \quad (17)$$

ค่าความถี่สวิตช์โดยประมาณจะเท่ากับครึ่งหนึ่งของความถี่เรโซแนนซ์ [5]-[6] ในส่วนของวงจรที่มีลักษณะเป็นตัวจ่ายกระแส ค่ากระแสเพื่ออมจะลดลงเนื่องจากตัวเหนี่ยวนำอินพุตจะเป็นตัวกรองกระแสไว้ ในบทความนี้จะออกแบบกระแสเพื่ออมไว้ 10% ของกระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำอินพุต ดังนั้นตัวเหนี่ยวนำอินพุต (L_{in}) ประมาณค่าได้ว่า

$$L_{in} \approx D \frac{V_{in}}{10\% \times I_{in} f_{sw}} \quad (18)$$

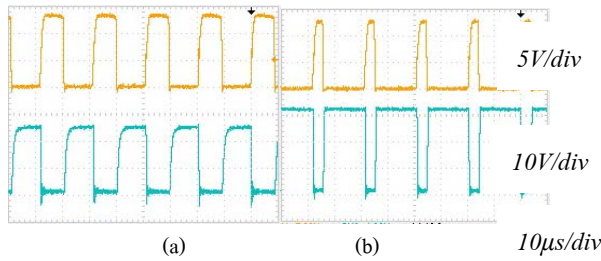
5. ผลการทดสอบวงจรต้นแบบ

วงจรต้นแบบขนาด 100 วัตต์ถูกสร้างและทดสอบวงจรเพื่อยืนยันการออกแบบวงจรต้นแบบที่นำเสนอในห้องทดลอง โดยมีค่าพารามิเตอร์และพิกัดอุปกรณ์ดังนี้

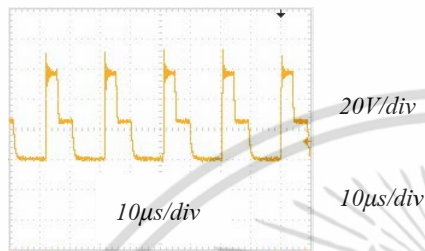
แรงดันอินพุต :	V_{in1}, V_{in2}	24, 30 V _{DC}
แรงดันเอาต์พุต :	V_o	300 V _{DC}
กระแสเอาต์พุต :	I_o	0.33 A
ตัวเก็บประจุเรโซแนนซ์:	C_r	1 μF
ตัวเหนี่ยวนำอินพุต:	L_{in}	300 μH
ตัวเหนี่ยวนำเรโซแนนซ์:	L_r	5.1 μH
ตัวเหนี่ยวนำทำแม่เหล็ก:	L_m	1.1 mH
ความถี่เรโซแนนซ์:	f_r	70 kHz
ความถี่สวิตช์:	f_{sw}	35 kHz
ค่าคิวดีไซเคิล:	D	0.4

สัญญาณขับสวิตช์ถูกสร้างโดยไอซี TL494 ผ่านวงจรบัฟเฟอร์ก่อนจะแยกวงจรกำลังและวงจรควบคุมด้วยหม้อแปลงความถี่สูง รูปที่ 6 แสดงรูปคลื่นของแรงดันคร่อมสวิตช์และสัญญาณขับสวิตช์ของสวิตช์ G_1 และ G_2 รูปที่ 7 แสดงรูปคลื่นของแรงดันเอาต์พุตที่ได้จากอินพุตพอร์ต ($v_{out_input_port}$) รูปคลื่นแรงดันจะมี 3 ระดับคือ 0V (ไม่มีแหล่งจ่ายพลังงาน), 30V (แหล่งจ่ายเดียว) และ 54V (สองแหล่งจ่าย) รูปที่ 8 แสดงแรงดันคร่อมและกระแสเรโซแนนซ์ที่สวิตช์ S , รูปที่ 9 แสดงประสิทธิภาพของวงจรที่ได้จากการทดสอบที่พิกัด ประสิทธิภาพของวงจรอยู่ที่ 75.52% และประสิทธิภาพเฉลี่ยจะอยู่ที่ 88.64%

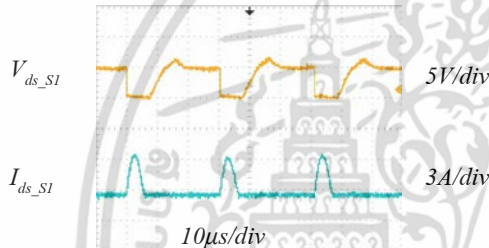
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



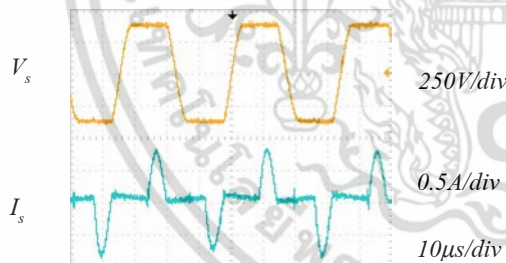
รูปที่ 6: สัญญาณขับสวิตช์ V_{gs} และ สัญญาณแรงดันคร่อมสวิตช์ V_{ds} ของสวิตช์ G_1 (a) และ G_2 (b)



รูปที่ 7: สัญญาณแรงดันเอาต์พุตของอินเวอร์ตอร์



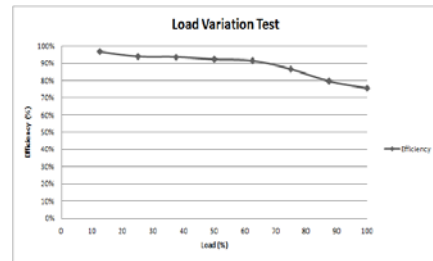
รูปที่ 8: สัญญาณแรงดันคร่อมสวิตช์และกระแสของสวิตช์ s_1



รูปที่ 9: สัญญาณแรงดันและกระแสขาเข้าของหม้อแปลง

6. สรุป

วงจรแปลงผันเรโซแนนซ์ฟูล-บรูคแบบหลายอินพุตได้ถูกนำเสนอในบทความชิ้นนี้ วงจรได้ทำงานภายใต้กลไกการสวิตช์ที่กระแสศูนย์และแรงดันศูนย์โดยใช้พารามิเตอร์แฝงในอุปกรณ์ให้เกิดการเรโซแนนซ์ การวิเคราะห์และออกแบบได้ถูกกล่าวถึงในหัวข้อที่ 2 และ 3 ของบทความนี้ สุดท้ายต้นแบบขนาด 100 วัตต์ได้ถูกสร้างและทดสอบเพื่อยืนยันทฤษฎี ประสิทธิภาพเฉลี่ยของวงจรจะอยู่ที่ 88.64%



รูปที่ 10: ผลการทดสอบประสิทธิภาพเมื่อเปลี่ยนแปลงโหลด

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] Bryan G. Dobbs, and Patrick L. Chapman, "A Multiple-Input DC-DC Converter Topology," IEEE Power Electronics Letters, Vol.1, No.1, pp.6-9, March, 2003.
- [2] Qin Wang, Jie Zhang, Xinbo Ruan and Ke Jin, "A Double-Input Flyback DC/DC Converter with Single Primary Winding," Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE), pp.1938-1944, September, 2010.
- [3] Huang-Jen Chiu, Hsiu-Ming Huang, Li-Wei Lin and Ming-Hsiang Tseng, "A Multiple-Input DC/DC Converter for Renewable Energy Systems," IEEE International Conference, ICIT, pp.1304-1308, December, 2005.
- [4] C.-L. Chu and C.-H. Li, "Analysis and design of a current-fed zero-voltage-switching and zero-current-switching CL-resonant push-pull dc-dc converter," IET Power Electron, Vol.2, Iss.4, pp.456-465, July, 2005.
- [5] D.C. Hamill, K. N. Bateson, "Design oriented Analysis of a Resonant ZVS/ZCS DC-DC Converter," IET Conferences Power Electronics and Applications, Vol.3, pp.23-29, September 1993.
- [6] Yan Li, Xinbo Ruan, Dongsheng Yang, Fuxin Liu and Chi K. Tse, "Synthesis of Multiple-Input DC/DC Converters", IEEE Transactions of Power Electronics, Vol.25, No.9, pp.2372-2385, September, 2010.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้