



การพัฒนาและเพิ่มประสิทธิภาพของวงจร เพิ่มระดับแรงดันด้วยเทคนิคสแนบเบอร์ DEVELOPMENT AND OPTIMIZATION OF BOOST CONVERTER CIRCUIT WITH SNUBBER TECHNIQUES

อักรกิตติ์ ไชยธนกุลวัฒน์¹, ณัฐทิ ธิงสุข^{1*}, อีรวุฒิ แสงวงบุญ¹, ธนโชติ เร่มศรี¹,
นิพนธ์ เชื้อนเพชร¹ และ วิสิทธิ์ ศรีศักดิ์¹

Arckarakit Chaithanakulwat¹, Nuttee Thungsuk^{1*}, Teerawut Sawangbun¹,
Thanachok Roemsri¹, Nipon Khueanphet¹ and Visit Sonsakda¹

¹สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยราชภัฏธนบุรี อ.บางพลี จ.สมุทรปราการ ประเทศไทย 10540

¹Department of Electrical Engineering, Dhonburi Rajabhat University,
Bang Phli, Samut-Prakan, Thailand, 10540

*Corresponding author E-mail: Nuttee.t@dru.ac.th

วันที่เข้าระบบ 3 มกราคม 2563

วันที่แก้ไขบทความ 15 มีนาคม 2563

วันที่ตอบรับบทความ 3 เมษายน 2563

บทคัดย่อ

บทความวิจัยนี้นำเสนอการพัฒนาและเพิ่มประสิทธิภาพของวงจรเพิ่มระดับแรงดันด้วยเทคนิคสแนบเบอร์ เพื่อลดการสูญเสียกำลังไฟฟ้าในช่วงสวิตช์เริ่มนำกระแสและประสิทธิภาพการทำงานของวงจรเพิ่มระดับแรงดันหลักการและวิธีการจะประกอบด้วยสองส่วน ส่วนที่หนึ่งคือการพัฒนาและสร้างอุปกรณ์ต้นแบบที่ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ DSPTMS320F28377S ควบคุมการสวิตช์ด้วยสัญญาณพีดับบลิวเอ็ม ส่วนที่สองคือการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของวงจรที่ไม่มีการกระตุ้นด้วยเทคนิคสแนบเบอร์และมีการกระตุ้นด้วยเทคนิคสแนบเบอร์เปรียบเทียบกับผลการจำลองด้วยโปรแกรม MATLAB/Simulink ผลการทดสอบอุปกรณ์ต้นแบบเปรียบเทียบกับผลการจำลองพบว่าวงจรเพิ่มระดับแรงดันที่มีการกระตุ้นเทคนิคสแนบเบอร์สามารถลดการสูญเสียกำลังไฟฟ้าในช่วงสวิตช์เริ่มนำกระแสได้ตามวัตถุประสงค์ อย่างไรก็ตามในขณะที่มีแรงดันคงที่ยังสามารถเพิ่มประสิทธิภาพของวงจรได้มากกว่า 6%

คำสำคัญ: บูสคอนเวอร์เตอร์, ไมโครคอนโทรลเลอร์, พัลส์วิดท์มอดูเลชัน, การสวิตช์ขณะแรงดันเป็นศูนย์เทคนิคสแนบเบอร์

Abstract

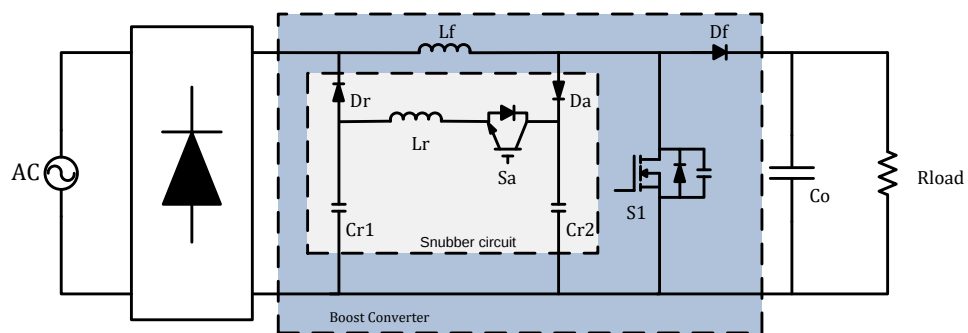
This research paper presents the development and optimization of the boost converter circuit with the support technique. This is to reduce the loss of electric power during the starting switch and the performance of the circuit to increase the voltage level. The principles and methods consist of two parts. The first part is the development and construction of a prototype device using microcontroller DSPTMS320F28377S to control the switch with PWM signal. The second part is the testing of circuit performance without or with stimulating by snubber technique and the comparison with MATLAB/Simulink simulation. The results of the prototype device testing compared to the simulation show that the boost converter circuit with the snubber technique stimulation can reduce the loss of power during the starting switch according to the purpose of the research, while constant voltage can increase the efficiency of the circuit by more than 6%.

Key words: Boos converter, Microcontroller, Pulse width modulation, Zero-voltage switching, Snubber techniques

1. บทนำ

สารกึ่งตัวนำที่เป็นอุปกรณ์สวิตช์ทั้งหมดมีข้อจำกัดหลากหลายเงื่อนไขมากมาย เช่น พิกัดของแรงดันไฟฟ้าสูงสุด พิกัดกระแสสูงสุดและค่าเฉลี่ย การกระจายพลังงาน ความเร็วในการสวิตช์ ฯลฯ วงจรสับเบอร์เป็นเทคนิคหนึ่งที่ถูกนำมาใช้เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพและความน่าเชื่อถือของการสวิตช์ที่ถูกออกแบบอยู่ในวงจรไฟฟ้า โดยมีบทบาททำหน้าที่ควบคุมการสวิตช์และสังเกตคุณลักษณะโดยละเอียดของสวิตช์แต่ละประเภท ในการเลือกอุปกรณ์ที่จะใช้เป็นสวิตช์ผู้ใช้มักคิดในมุมมองของอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำประเภทมอสเฟตหรือไทรสเตอร์ (Akhlaghi *et al.*, 2018; Fang, *et al.*, 2004 และ Mohammadi & Farzanehfard, 2017) อย่างไรก็ตามอุปกรณ์เหล่านี้มักจะมีประสิทธิภาพมากกว่าที่คิดในภาพแบบของสวิตช์โดยทั่วไปนั่นคือ อุปกรณ์หรือวงจรที่ทำหน้าที่เป็นสวิตช์ที่สลับกันทำงานอาจจะประกอบไปด้วยสารกึ่งตัวนำหลายตัวและส่วนประกอบอื่น ๆ เช่น ตัวเก็บประจุ ตัวเหนี่ยวนำและตัวต้านทานในวงจร อุปกรณ์หลายตัวเหล่านี้จะทำงานร่วมกันเพื่อใช้เป็นฟังก์ชันการสวิตช์ตามที่ต้องการและในบางครั้งอุปกรณ์สวิตช์เหล่านี้จะถูกนำมาใช้ทั้งชุดหรือนำมาต่อรวมกันแบบขนานของอุปกรณ์ประเภทเดียวกันหรือต่างกันเช่น มอสเฟตต่อร่วมกับไอจีบีที เป็นต้น (Sahin *et al.*, 2018; Ting *et al.*, 2017; Yi *et al.*, 2017 และ Zhang *et al.*, 2017) จากที่กล่าวมาข้างต้นอุปกรณ์สวิตช์เหล่านี้ส่วนมากจะต้องกำหนดการสวิตช์ของอุปกรณ์ด้วยพัลส์วิดท์มอดูเลชั่น (Pulse width

modulation: PWM) โดยเฉพาะอย่างยิ่งวงจรดีซี-ดีซี คอนเวอร์เตอร์ที่ใช้ในแหล่งจ่ายไฟแบบสวิตช์ซึ่งเมื่อความถี่ในการสวิตช์สูงจะส่งผลให้เกิดความสูญเสียและสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าทำให้ประสิทธิภาพของวงจรลดลง (Ting *et al.*, 2017 และ Zhu *et al.*, 2017) จากปัญหาข้างต้นจึงได้มีการพัฒนาและเพิ่มประสิทธิภาพของวงจรเพิ่มระดับแรงดันด้วยเทคนิคสับเบอร์เพื่อลดการสูญเสียในการสวิตช์และสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า หลักการของเทคนิคสับเบอร์นี้คือการทำให้ภาพคลื่นแรงดันและกระแสของสวิตช์ไม่เกิดการทับซ้อนกันในช่วงการนำกระแสและในช่วงระหว่างหยุดนำกระแสที่เรียกว่าเทคนิคการสวิตช์ขณะแรงดันเป็นศูนย์ (Zero-voltage switching: ZVS) ซึ่งสามารถลดการสูญเสียในช่วงการหยุดนำกระแสได้และจะช่วยให้วงจรสามารถทำงานได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ (Naim & Yakup, 2017; Sahin *et al.*, 2018; Ting *et al.*, 2017 และ Rangarajan, 2013)



ภาพที่ 1 ไดอะแกรมวงจรเพิ่มระดับแรงดันด้วยเทคนิคสับเบอร์

จากภาพที่ 1 การพัฒนาและเพิ่มประสิทธิภาพของวงจรเพิ่มระดับแรงดันด้วยเทคนิคสับเบอร์จะใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์จำนวนน้อยซึ่งทำให้มีต้นทุนต่ำและมีการสูญเสียเนื่องจากอุปกรณ์น้อย มีเพียงอุปกรณ์สวิตช์สองตัว (S_1 และ S_a) เท่านั้นที่ทำให้เกิดการสูญเสียที่ปรากฏชัดเจน การทำงานของสวิตช์เหล่านี้ อาจเกิดการผิดพลาดหรือทำงานไม่ตรงตามเงื่อนไขที่กำหนดได้ การควบคุมการมอดูเลชันของอุปกรณ์สวิตช์ S_1 และ S_a หากกำหนดเงื่อนไขที่เหมาะสมจะทำให้ประสิทธิภาพของวงจรเพิ่มขึ้น หากกำหนดเงื่อนไขไม่เหมาะสมอาจทำให้เกิดการเสียหายในอุปกรณ์และวงจรได้

เมื่อพิจารณาการทำงานของวงจรเพิ่มระดับแรงดันด้วยเทคนิคสับเบอร์โดยเริ่มจากการจ่ายแรงดันไฟสลับที่เป็นแรงดันใช้งาน (rms) ผ่านการแปลงพลังงานจาก AC-DC และเข้าสู่วงจรเพิ่มระดับแรงดันโดยผ่านตัวเหนี่ยวนำที่ทำหน้าที่เก็บสะสมพลังงานจ่ายไปยังไดโอด (D_f) และโหลดในสถานะที่อุปกรณ์สวิตช์ (S_1) อยู่ในสถานะไม่นำกระแส ในขณะเดียวกันตัวเก็บประจุจะทำหน้าที่เก็บประจุให้เต็มตามพิกัดของตัวอุปกรณ์ และในสถานะที่อุปกรณ์สวิตช์ (S_1) นำกระแสที่ใช้การสร้างสัญญาณ

PWM ที่มีการควบคุม Duty และความถี่สูงจะทำให้เกิดการลัดวงจรมีกระแสไหลย้อนกลับสู่แหล่งจ่าย ครอบคลุมการทำงาน ในขณะเดียวกันเมื่ออุปกรณ์สวิตช์ (S_1) หยุดนำกระแส ตัวเก็บประจุซึ่งทำหน้าที่ เหมือนแหล่งจ่ายก็จะคายประจุให้กับโหลดทำงานได้อย่างต่อเนื่อง ทั้งนี้จะขึ้นอยู่กับ การควบคุม Duty และความถี่ เมื่อพิจารณาการทำงานของวงจรสับเบอ์จะเห็นได้ว่าการทำงานจะขึ้นอยู่กับอุปกรณ์ สวิตช์ (S_a) ที่มีการสร้างสัญญาณ PWM ที่มีการควบคุม Duty และความถี่สูงเหมือนกันกับวงจรเพิ่ม ระดับแรงดันเพียงแต่การควบคุมสัญญาณ PWM ให้มีการเลื่อนเวลาการทำงานที่ไม่ตรงกันกับอุปกรณ์ สวิตช์ (S_1) ซึ่งหลักการทำงานที่กล่าวมานี้จึงได้เกิดแนวคิดการเพิ่มประสิทธิภาพของวงจรโดยลดการ สูญเสียจากอุปกรณ์สวิตช์โดยใช้เทคนิคของวงจรสับเบอ์มาช่วยให้การทำงานมีประสิทธิภาพ มากยิ่งขึ้น

2. ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

จากภาพที่ 1 จะเห็นได้ว่ามีวงจรหลักสองวงจรประกอบไปด้วยวงจรเพิ่มระดับแรงดันและวงจร สับเบอ์ ซึ่งทั้งสองวงจรประกอบไปด้วยอุปกรณ์หลักที่สำคัญคือ ตัวเหนี่ยวนำ ตัวเก็บประจุ ไดโอด และอุปกรณ์สวิตช์ที่ควบคุมการสร้างสัญญาณ PWM (Li *et al.*, 2011; Sahin *et al.*, 2018; Ting *et al.*, 2017) สำหรับบทความนี้จะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล C2000 เบอร์ DSPTMS320F28377S เพื่อควบคุมการสวิตช์ของ IGBT และมอสเฟตที่เป็นอุปกรณ์สวิตช์ในวงจรหลักทั้งสอง สำหรับทฤษฎี และหลักการที่เกี่ยวข้องจะกล่าวถึงสมการที่ใช้ในการออกแบบเพื่อหาพิกัดของอุปกรณ์ดังรายละเอียด ต่อไปนี้

2.1 วงจรเพิ่มระดับแรงดัน

วงจรเพิ่มระดับแรงดันเป็นวงจรที่ทำให้ระดับแรงดันทางด้านเอาต์พุตมากกว่าแรงดัน ทางด้านอินพุตและจะต้องทำงานในโหมดกระแสได้ต่อเนื่อง (Continuous conduction mode ; CCM) (Claudio *et al.*, 2002; Jeffrey & Harry, 2008 และ Li *et al.*, 2011) สำหรับการสร้าง อุปกรณ์ต้นแบบนี้จะกำหนดให้แรงดันอินพุตที่เป็นกระแสตรงเท่ากับ 100 V และแรงดันเอาต์พุต เท่ากับ 300 V ความถี่ที่ใช้ในการสวิตช์อุปกรณ์เท่ากับ 100 kHz สำหรับการออกแบบตัวเหนี่ยวนำ และตัวเก็บประจุ การคำนวณหาคาบการสวิตช์ของ IGBT และมอสเฟตเพื่อรักษาระดับแรงดัน ทางด้านเอาต์พุตให้คงที่และหาพิกัดตัวเหนี่ยวนำขนาดเล็กที่สุดที่สามารถทำให้กระแสจ่ายได้อย่าง ต่อเนื่องในช่วงสวิตช์นำกระแสและไม่นำกระแสในวงจรเพิ่มระดับแรงดัน โดยใช้สมการที่ (1) จะได้

$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{I_{in}}{I_{out}} = \frac{1}{1-D} \quad (1)$$

จากสมการที่ (1) เมื่อหาคาบการสวิตช์สำหรับอุปกรณ์ต้นแบบนี้จะได้เท่ากับ 0.67 และตัวเหนี่ยวนำขนาดเล็กที่สุดที่จะให้กระแสทำงานอยู่ในโหมดต่อเนื่อง (CCM) สามารถหาได้จากสมการที่ (2) นั่นคือ

$$L_{\min} = \frac{D(1-D)^2 \times R}{2f} \quad (2)$$

จากสมการที่ (2) จะได้ตัวเหนี่ยวนำที่มีค่าต่ำสุดเท่ากับ 100 μH เมื่อต้องการหาค่าตัวเก็บประจุสามารถหาได้จากสมการที่ (3) นั่นคือ

$$C = \frac{DV_{\text{load}}}{\Delta V_{\text{load}} Rf} \quad (3)$$

จากสมการที่ (3) เมื่อกำหนดให้ค่าระลอกคลื่นไม่เกิน 3 % ดังนั้นจะได้ตัวเก็บประจุมีค่าเท่ากับ 3.3 $\mu\text{F}/400 \text{ V}$

2.2 วงจรสับเบอร์ด

สำหรับการใช้อุปกรณ์ในวงจรสับเบอร์ดสามารถคำนวณหาค่าตัวเหนี่ยวนำโดยใช้สมการที่ (4) นั่นคือ

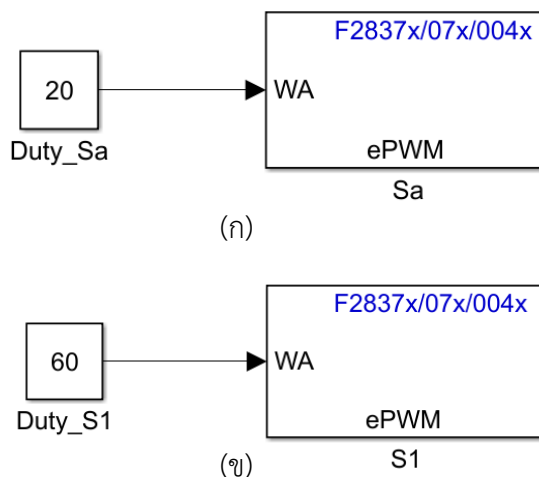
$$L_r \geq \frac{V_o}{I_{\text{imax}}} 3t_{rr} \quad (4)$$

จากสมการที่ (4) เมื่อพิจารณาพิกัดของโหลดที่นำมาต่อในวงจรเพื่อคำนวณหาพิกัดอุปกรณ์และการเลือกใช้ไดโอดชนิดพื้นตัวอย่างรวดเร็ว (MUR1560 พิกัด 600V/15A; 35 ns) เพื่อให้ทำงานสัมพันธ์กันการสวิตช์ของอุปกรณ์ จากการคำนวณจะได้กระแสสูงสุดเมื่อจ่ายโหลดเท่ากับ 6 A ดังนั้นหากพิจารณาในวงจรสับเบอร์ดดังภาพที่ 1 ตัวเหนี่ยวนำ L_F และ L_R จะมีค่าเท่ากับ 5 μH

2.3 การควบคุมสัญญาณ PWM

การควบคุมการทำงานของอุปกรณ์สวิตช์ในวงจรบัสคอนเวอร์เตอร์และวงจรสับเบอร์ดโดยใช้สัญญาณ PWM (Pulse with modulation) เพื่อควบคุมการสวิตช์ของ S_1 และ S_a โดยกำหนดให้ S_1 เป็นมอสเฟตและ S_a เป็น IGBT ซึ่งจะถูกควบคุมอิสระต่อกันเพื่อให้ได้สัญญาณ PWM จำนวนสองชุดในอุปกรณ์ต้นแบบ และใช้ อัลกอริทึมของ ePWM สร้างสัญญาณ PWM ด้วยโปรแกรม

MATLAB/Simulink เชื่อมโยงการควบคุมร่วมกับ ไมโครคอนโทรลเลอร์ DSPTMS320F28377S โดยกำหนดความกว้างของพัลส์ที่ 20% สำหรับสวิตช์ S_a และ 60% สำหรับสวิตช์ S_1 จะได้อัลกอริทึมของ ePWM ดังภาพที่ 2



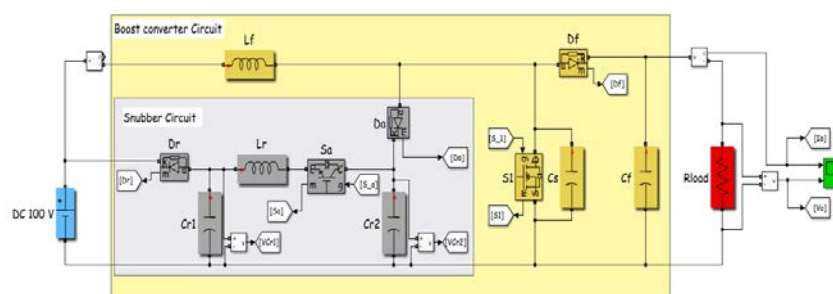
ภาพที่ 2 อัลกอริทึมของ ePWM สร้างสัญญาณพัลส์ (PWM) ด้วยโปรแกรม MATLAB/Simulink

(ก) ความกว้างของพัลส์ที่ 20% สำหรับสวิตช์ S_a

(ข) ความกว้างของพัลส์ที่ 60% สำหรับสวิตช์ S_1

3. ผลการจำลองและทดสอบ

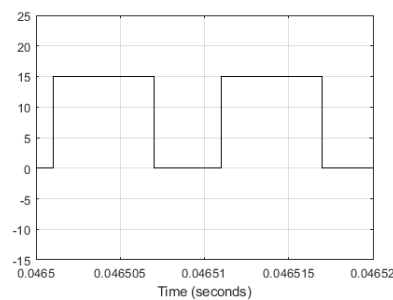
โปรแกรม MATLAB/Simulink เป็นโปรแกรมที่ใช้สำหรับสร้างแบบจำลองทางไฟฟ้าที่สามารถใช้งานง่ายและสะดวกสำหรับงานวิศวกรรม งานสร้างอุปกรณ์ต้นแบบนี้จึงได้นำหลักการและวิธีการที่ทฤษฎีได้กล่าวไว้มาจำลองเพื่อเปรียบเทียบกับอุปกรณ์ต้นแบบที่สร้างขึ้นเพื่อยืนยันหลักการและวิธีการทำงานของวงจรว่าถูกต้องหรือไม่อย่างไร สำหรับบทความนี้สามารถสร้างแบบจำลองด้วยโปรแกรม MATLAB/Simulink ดังภาพที่ 3



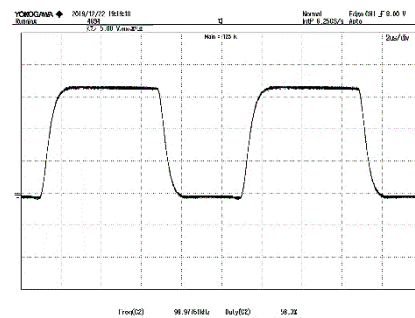
ภาพที่ 3 แบบจำลองการทำงานด้วยโปรแกรม MATLAB/Simulink

จากภาพที่ 3 การจำลองและทดสอบวงจรเพิ่มระดับแรงดันด้วยเทคนิคสับเบอร์จะทดสอบประสิทธิภาพของวงจรโดยการทดสอบการทำงานของอุปกรณ์ในวงจร ทดสอบการสวิตช์ขณะแรงดันเป็นศูนย์ และทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของสวิตช์เมื่อทำการจ่ายโหลดโดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

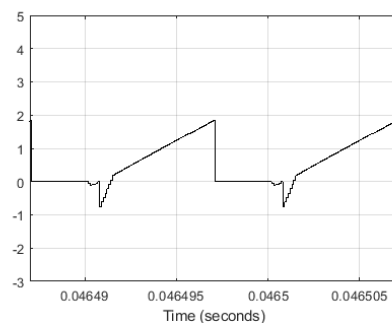
จากการทดสอบคุณลักษณะการทำงานของอุปกรณ์ในวงจรโดยทำการสวิตช์อุปกรณ์ในส่วน of วงจรเพิ่มระดับแรงดัน วงจรสับเบอร์ เพื่อเปรียบเทียบคุณลักษณะจากการจำลองวงจรด้วยโปรแกรม MATLAB/Simulink จะได้ดังภาพที่ 4 – ภาพที่ 6 และจะเห็นได้ว่าผลการจำลองและจากอุปกรณ์ต้นแบบที่สร้างขึ้นสอดคล้องกันสามารถยืนยันความถูกต้องของหลักการและวิธีการตามที่ทฤษฎีกล่าวไว้



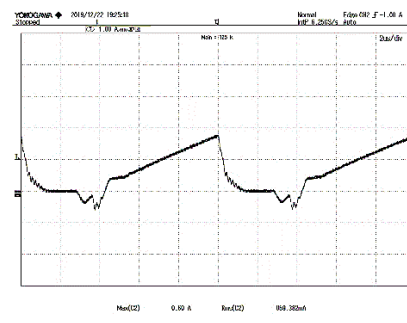
(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

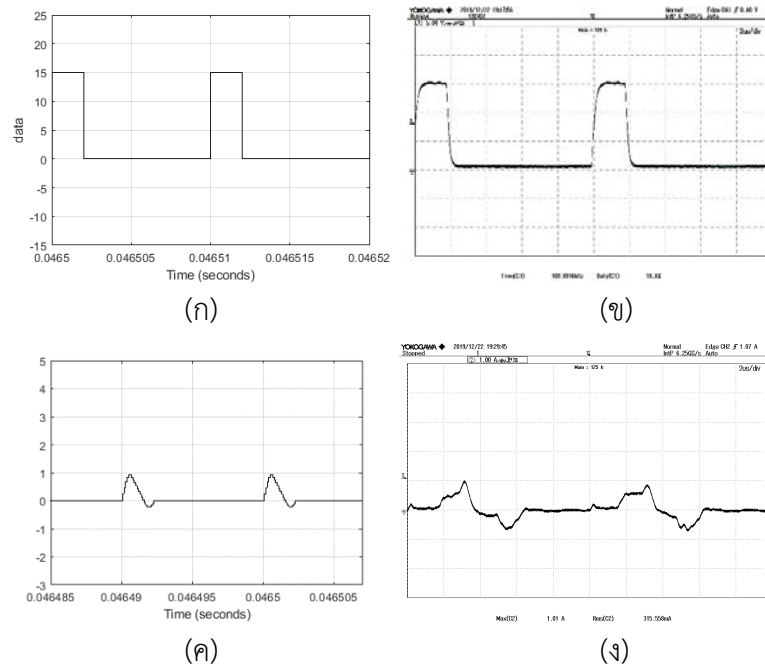
ภาพที่ 4 ภาพคลื่นพัลส์วิตช์มอดูเลชั่นของวงจรเพิ่มระดับแรงดันและกระแสของการสวิตช์อุปกรณ์

(ก) ภาพคลื่นพัลส์วิตช์มอดูเลชั่นจากการจำลองด้วยโปรแกรม MATLAB/Simulink

(ข) ภาพคลื่นพัลส์วิตช์มอดูเลชั่นจากการทดสอบอุปกรณ์ต้นแบบทดสอบ

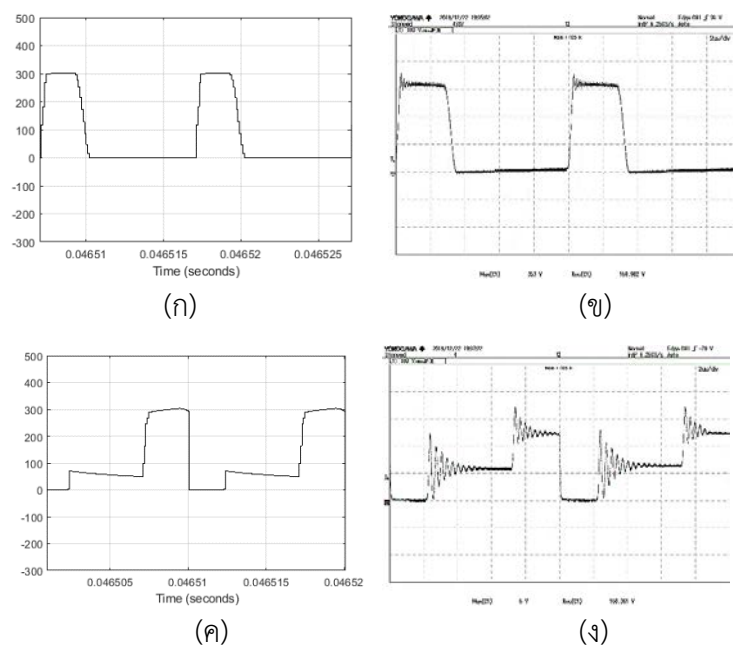
(ค) ภาพคลื่นกระแสจากการจำลองด้วยโปรแกรม MATLAB/Simulink

(ง) ภาพคลื่นกระแสจากการทดสอบอุปกรณ์ต้นแบบ



ภาพที่ 5 ภาพคลื่นพัลส์วิดท์มอดูเลชั่นของวงจรสับเบอร์และกระแสของการสวิตช์อุปกรณ์

- (ก) ภาพคลื่นพัลส์วิดท์มอดูเลชั่นจากการจำลองด้วยโปรแกรม MATLAB/Simulink
- (ข) ภาพคลื่นพัลส์วิดท์มอดูเลชั่นจากการทดสอบอุปกรณ์ต้นแบบ
- (ค) ภาพคลื่นกระแสจากการจำลองด้วยโปรแกรม MATLAB/Simulink
- (ง) ภาพคลื่นกระแสจากการทดสอบอุปกรณ์ต้นแบบ



ภาพที่ 6 ภาพคลื่นแรงดันตกคร่อมสวิตช์ของวงจรเพิ่มระดับและวงจรสับเบอร์

(ก) แรงดันตกคร่อมสวิตช์ของวงจรเพิ่มระดับจากการจำลองด้วยโปรแกรม

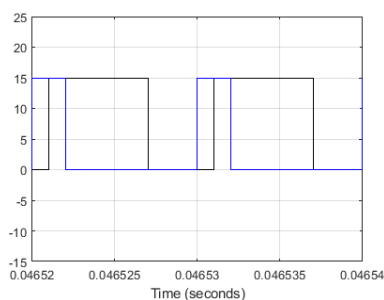
MATLAB/Simulink

(ข) แรงดันตกคร่อมสวิตช์ของวงจรเพิ่มระดับจากอุปกรณ์ต้นแบบ

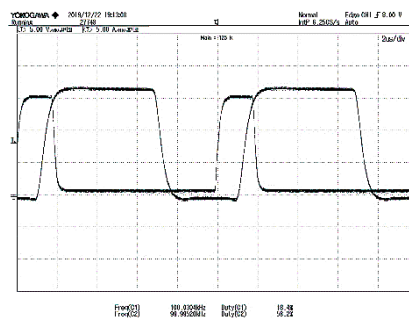
(ค) แรงดันตกคร่อมสวิตช์ของวงจรสลับเบอร์จากการจำลองด้วยโปรแกรม MATLAB/Simulink

(ง) แรงดันตกคร่อมสวิตช์ของวงจรสลับเบอร์จากอุปกรณ์ต้นแบบ

การทดสอบการสวิตช์ขณะแรงดันเป็นศูนย์นี้จะทดสอบพฤติกรรมการทำงานของสวิตช์โดยวัดภาพคลื่นแรงดันและกระแสของสวิตช์ในวงจรเพิ่มระดับแรงดันและวงจรสลับเบอร์โดยเปรียบเทียบกับผลจากการจำลองด้วยโปรแกรม MATLAB/Simulink เมื่อจ่ายโหลดที่พิกัด 500 วัตต์ที่มีแรงดันไฟฟ้าอินพุตเท่ากับ 100 V แรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตเท่ากับ 300 V และความถี่สวิตช์ 100 kHz ผลการทดสอบจะเป็นดังนี้



(ก)



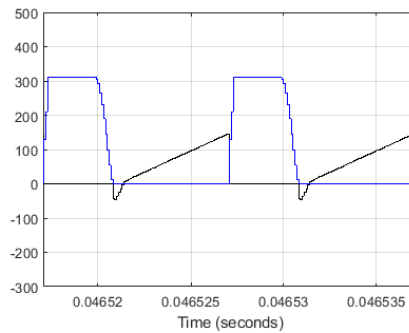
(ข)

ภาพที่ 7 ภาพคลื่นสัญญาณ PWM ของการสวิตช์ในวงจรเพิ่มระดับแรงดันและวงจรสลับเบอร์

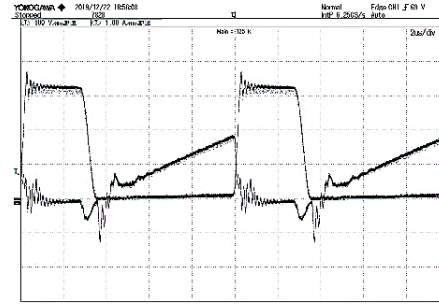
(ก) ภาพคลื่นสัญญาณ PWM จำลองด้วยโปรแกรม MATLAB/Simulink

(ข) ภาพคลื่นสัญญาณ PWM จากอุปกรณ์ต้นแบบ

พิจารณาจากภาพที่ 7 จะเห็นได้ว่าการทำงานของสวิตช์ในวงจรเพิ่มระดับแรงดันจะทำงานในช่วงเวลาที่ไม่พร้อมกันกับการทำงานของสวิตช์ในวงจรสลับเบอร์ หากทั้งสองวงจรเกิดการทำงานพร้อมกันจะทำให้เกิดการลัดวงจรในอุปกรณ์ทำให้เกิดการเสียหาย ในทำนองเดียวกันจากภาพที่ 8 และภาพที่ 9 จะเห็นได้ว่าภาพคลื่นแรงดันและกระแสของการสวิตช์ในวงจรเพิ่มระดับแรงดันและวงจรสลับเบอร์จะเป็นไปตามหลักการของเทคนิคการสวิตช์ขณะแรงดันเป็นศูนย์ (Zero-voltage switching: ZVS) ที่สามารถทำให้ลดการสูญเสียในอุปกรณ์ได้



(ก)

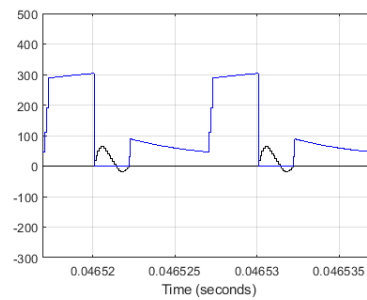


(ข)

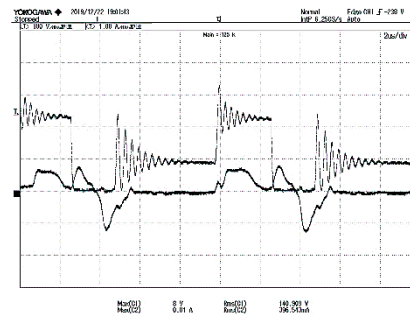
ภาพที่ 8 ภาพคลื่นแรงดันและกระแสของการสวิตช์ในวงจรเพิ่มระดับแรงดัน

(ก) ภาพคลื่นแรงดันและกระแสจากการจำลองด้วยโปรแกรม MATLAB/Simulink

(ข) ภาพคลื่นแรงดันและกระแสจากอุปกรณ์ต้นแบบ



(ก)



(ข)

ภาพที่ 9 ภาพคลื่นแรงดันและกระแสของการสวิตช์ในวงจรสับเบอร์

(ก) ภาพคลื่นแรงดันและกระแสจากการจำลองด้วยโปรแกรม MATLAB/Simulink

(ข) ภาพคลื่นแรงดันและกระแสจากอุปกรณ์ต้นแบบ

การทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของสวิตช์ขณะแรงดันเป็นศูนย์และไม่มีการสวิตช์ขณะแรงดันเป็นศูนย์ เพื่อหาความแตกต่างของทั้งสองภาพแบบสามารถเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำงานได้ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำงานของสวิตช์

การสวิตช์	$V_{in}(V)$	$I_{in}(A)$	$P_{in}(W)$	$V_{out}(V)$	$I_{out}(A)$	$P_{out}(W)$	Efficiency(%)
ZVS	100	6.4	640	315	1.73	544.95	85.14
Non-ZVS	100	6.8	680	307	1.76	540.32	79.45

จากตารางที่ 1 จะเห็นได้ว่าการทำงานของสวิตช์ขณะแรงดันเป็นศูนย์จะมีประสิทธิภาพ 85.14% ในทำนองเดียวกันการทำงานในขณะที่ไม่มีการทำงานของสวิตช์ขณะแรงดันเป็นศูนย์จะพบว่าประสิทธิภาพลดลงเหลือเพียง 79.14% และยังส่งผลให้อุปกรณ์อาจชำรุดเสียหายได้หากเกิดการผิดพลาดในการทำงานของสวิตช์

4. สรุปผล

จากการวิจัยการพัฒนาและเพิ่มประสิทธิภาพของวงจรเพิ่มระดับแรงดันด้วยเทคนิคสับเบอร์ และทำการทดสอบการทำงานของพบว่าเมื่ออุปกรณ์สวิตช์ในวงจรเพิ่มระดับแรงดันซึ่งเป็นสวิตช์หลักในวงจรกำลังทำการจ่ายโหลดการสวิตช์ขณะแรงดันเป็นศูนย์ในช่วงสวิตช์เริ่มนำกระแสจะมีกระแสจากวงจรกำลังไหลย้อนกลับไปในทิศทางด้านลบ และในทำนองเดียวกันหากสวิตช์ของวงจรเพิ่มระดับแรงดันไม่มีการสวิตช์ขณะแรงดันเป็นศูนย์ในช่วงเวลาเดียวกันกระแสจะเริ่มไหลไปในทิศทางด้านบวก ซึ่งสอดคล้องกับผลการจำลองด้วยโปรแกรม MATLAB/Simulink สำหรับประสิทธิภาพการทำงานของวงจรหากเพิ่มกำลังไฟฟ้าเต็มพิกัดสูงสุดประสิทธิภาพจะเท่ากับ 85.14% และเมื่อทดสอบในสภาวะแรงดันตกหรือแรงดันเกินจากสภาวะแรงดันปกติการทำงานของวงจรเพิ่มระดับแรงดันด้วยเทคนิคสับเบอร์ยังสามารถทำงานได้ตามปกติซึ่งสามารถยืนยันความถูกต้องของหลักการที่ทฤษฎีได้กล่าวไว้

5. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยใคร่ขอขอบคุณ มหาวิทยาลัยราชภัฏธนบุรี ที่สนับสนุนกิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับการสร้างสรรค์ผลงานวิจัยนี้ และใคร่ขอขอบคุณนายศักดิ์ดา ภูมิบุญตัว, นายแอ๊ด เจตพงศ์ ฝ้ายเทคนิค ผู้ช่วยเก็บข้อมูลให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดีเพื่อให้งานวิจัยนี้สำเร็จลงได้

6. เอกสารอ้างอิง

- นรงค์ฤทธิ์ เสนาจิตร. (2562). การสูญเสียที่เกิดขึ้นในอุปกรณ์สวิตซ์สารกึ่งตัวนำ. สืบค้นจาก <http://www.ittrain.nrru.ac.th/scijournal/index.php/2014-08-17-14-59-20/2014-09-18-13-21-00>.
- อรรณพ นาคปิ่น. (2562). วงจรทบระดับแรงดันแบบสวิตช์เดี่ยวอัตราขยายแรงดันสูงสำหรับระบบที่มีแหล่งจ่ายแรงดันต่ำ. (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารบัณฑิต). มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, นครราชสีมา.

- Akhlaghi, B., Molavi, N., Fekri, M., & Farzanehfard, H. (2018). High step-up interleaved ZVT converter with low voltage stress and automatic current sharing. **IEEE Trans. Ind. Electron**, 65 (1), 291–299.
- Cláudio, M. C. D., Duarte, C., & Ivo, B. (2002). An improved family of ZVS-PWM active-clamping DC-to-DC Converters. **IEEE Transactions on Power Electronics**, 17 (1), 1–7.
- Claudio, M. C. D., & Ivo, B. (1997). A new family of ZVS-PWM active-clamping DC-to-DC boost converters: Analysis, design, and experimentation. **IEEE Transactions on Power Electronics**, 12 (5), 824–831.
- Fang, Z. P., Hui, L., Gui-Jia, S., & Jack, S. L. (2004). A new ZVS bidirectional DC–DC converter for fuel cell and battery application. **IEEE Transactions on Power Electronics**, 19 (1), 54–65
- Jeffrey, S., & Harry, B., (2008). **Snubber circuit for a power converter**. (U.S. Patent, US 7,385,833), pp. 1–3.
- Li, W., Li, W., & He, X. (2011). Zero-voltage transition interleaved high step-up converter with built-in transformer. **IET Power Electronics**, 4, 523–531.
- Mohammadi, M. R., & Farzanehfard, H. (2017). Family of soft switching bidirectional converters with extended ZVS range. **IEEE Trans. Ind. Electron**. 64(9), 7000–7008.
- Naim, S. T., & Yakup, S. (2017). ZVT-PWM DC–DC boost converter with active snubber cell. **The Institution of Engineering and Technology**, 10(2), 251–260.
- Sahin, Y., & Ting, N. S. (2018). Soft switching passive snubber cell for family of PWM DC–DC converters. **Electronics Engineering**. 100(3), 1785–1796.
- Sahin, Y., Ting, N. S., & Acar, F. (2018). A soft switching with reduced voltage stress ZVT-PWM full-bridge converter. **Review of Scientific Instruments**, 89(1), 1–9.
- Sahin, Y., Ting, N. S., & Aksoy, I. (2018). A highly efficient ZVT–ZCT PWM boost converter with direct power transfer. **Electronics Engineering**, 100(2), 1113–1123.
- Sahin, Y. (2018). A novel soft switching PWM-PFC AC–DC boost converter. **Journal of Electrical Engineering & Technology**, 13 (1), 256–262.
- Ting, N. S., Aksoy, I., & Sahin, Y. (2017). ZVT-PWM DC–DC boost converter with active snubber cell. **IET Power Electron**, 10(2), 251–260.



- Ting, N. S., Sahin, Y., & Aksoy I., (2017) Analysis, design, and implementation of a zero-voltage-transition interleaved boost converter. **Journal of Power Electron**, 17(1), 41–55.
- Ting, N. S. (2018). A new highpower factor ZVT-ZCT AC–DC boost converter. **Journal of Electrical Engineering & Technology**, 4(13), 1538–1547.
- Rangarajan, V. (2013). Fuzzy logic controller based ZVT-ZCT PWM boost converter using renewable energy sources. **Journal of Electrical and Electronics Engineering**, 7(6), 8-17.
- Wuhua, L, Yi, Z., Yan, D., & Xiangning, H. (2010). Interleaved converter with voltage multiplier cell for high step-up and high-efficiency conversion. **IEEE Transactions on Power Electronics**, 25, 2397–2408.
- Yi, J. H., Choi, W., & Cho, B. H. (2017). Zero-voltage-transition interleaved boost converter with an auxiliary coupled inductor. **IEEE Transactions Power Electron**, 32(8), 5917–5930
- Yi, Z., Wuhua, L., Yan, D., & Xiangning, H. (2011). Analysis, design, and experimentation of an isolated ZVT boost converter with Coupled inductors. **IEEE Transactions on Power Electronics**, 26, 541–550.
- Zhang, X., Qian, W., & Li, Z. (2017). Design and analysis of a novel ZVZCT boost converter with coupling effect. **IEEE Transaction on Power Electronics**, 32(12), 5992–9000.
- Zhu, B., Ren, L., Wu, X., & Song, K. (2017). ZVT high step-up DC–DC converter with a novel passive snubber cell. **IET Power Electronics**, 10(5), 599–605.