

<http://journal.rmutp.ac.th/>

วงจรคอนเวอร์เตอร์เรโซแนนซ์แบบสองทิศทางด้วยการควบคุมแรงดันแบบปรับดิทช์ไซเคิลสำหรับกล่องวงจรปิดพลังงานแสงอาทิตย์

วิเชียร หทัยรัตน์ศิริ สุวัฒน์ กิจเจริญวัฒน์ และ สายชล ชูคเจ็วจิน*

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
2 ถนนนางลิ้นจี่ แขวงทุ่งมหาเมฆ เขตสาทร กรุงเทพมหานคร 10120

รับบทความ 22 กรกฎาคม 2560; ตอรับบทความ 20 ธันวาคม 2560

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอวงจรคอนเวอร์เตอร์เรโซแนนซ์แบบสองทิศทางควบคุมแรงดันโดยการปรับดิทช์ไซเคิลสำหรับกล่องวงจรปิดที่ใช้พลังงานแสงอาทิตย์ ที่มีลักษณะการทำงานของสวิตช์เป็นแบบนำกระแสที่แรงดันเป็นศูนย์เพื่อช่วยลดการสูญเสีย เพื่อลดขนาดและเพิ่มประสิทธิภาพ คอนเวอร์เตอร์ถูกออกแบบให้ทำงานที่ความถี่สวิตช์ 20 กิโลเฮิร์ตซ์ ที่กำลังไฟฟ้า 20 วัตต์ ด้วยประสิทธิภาพร้อยละ 92.85 การทำงานของคอนเวอร์เตอร์แบบออกเป็น 2 โหมด เพื่อให้วงจรสามารถนำกระแสได้ 2 ทิศทางคือ โหมดลดทอนแรงดันและโหมดเพิ่มแรงดัน โดยมีเอาต์พุตแรงดันต่ำของโหมดลดทอนแรงดันเท่ากับ 5 โวลต์และแรงดันสูงของเอาต์พุตของโหมดเพิ่มแรงดันเท่ากับ 8 โวลต์ โดยงานวิจัยนี้จะนำเสนอการทำงานในโหมด ทั้ง 2 โหมด

คำสำคัญ: คอนเวอร์เตอร์เรโซแนนซ์แบบสองทิศทาง; กล่องวงจรปิด; พลังงานแสงอาทิตย์; การควบคุมการปรับดิทช์ไซเคิล

* ผู้นิพนธ์ประสานงาน โทร: +668 9664 6669, ไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์: saichol.c@mail.rmutk.ac.th

<http://journal.rmutp.ac.th/>

Bidirectional Resonant Converter using Duty Cycle Voltage Control for CCTV Solar Energy

Vichian Hathairatsiri Suwat Kitcharoenwat and Saichol Chudjuarjeen*

Faculty of Electrical Engineering, Rajamangala University of Technology Krungthep
2 Nanlinji Road, Tungmahamek, Sathorn, Bangkok, 10120

Received 22 July 2017; Accepted 20 December 2017

Abstract

This paper proposes the bidirectional resonant converter with duty cycle voltage control using for CCTV with solar energy. The converter, designed at 20 kHz for 20 W with 92.85 % of efficiency, is operated at zero voltage switch mode for reducing the losses of converter. The modes of operation divide in two modes for operating bidirectional current. The first part is buck mode which has 5 volt at the output voltage and second is boost mode which has 8 volt at the output voltage. The two operation modes of converter will be discussed in this paper.

Keywords: Bidirectionalresonant Converter; CCTV; Solar Energy; Duty Cycle Control

1. บทนำ

เนื่องจากในปัจจุบันความปลอดภัยเป็นเรื่องที่สำคัญในการดำรงชีวิตของมนุษย์ไม่ว่าจะเป็นความปลอดภัยในชีวิตหรือความปลอดภัยในทรัพย์สิน ซึ่งอุปกรณ์ที่มีบทบาทสำคัญที่จะนำมาทำหน้าที่เพื่อตรวจสอบและเก็บหลักฐานด้านการรักษาความปลอดภัยดังกล่าวก็คือกล่องวงจรปิด ที่จะทำหน้าที่เก็บภาพสิ่งผิดปกติในจุดต่าง ๆ ที่ได้ทำการติดตั้งไว้ในจุดนั้น ๆ แต่กล่องวงจรปิดโดยทั่วไปยังมีข้อแม้อยู่บางประการที่ถือเป็นข้อด้อยในการจะรักษาความปลอดภัยหรือดูแลความเรียบร้อยให้มีประสิทธิภาพที่สมบูรณ์แบบ เช่น หากเกิดการโจรกรรม และผู้ก่อเหตุรู้ว่ามีการรักษาความปลอดภัยด้วยกล่องวงจรปิดสิ่งที่จะต้องทำอย่างแน่นอนก็คือ ตัดระบบไฟฟ้า ก็จะทำให้กล่องวงจรปิดหยุดการทำงานไป ซึ่งจะเป็นผลเสียอย่างมากเพราะไม่อาจจะบันทึกภาพเหตุการณ์ระหว่างการโจรกรรมหรือบันทึกรูปพรรณสัณฐานของผู้ก่อเหตุไว้ได้ ทำให้ยากต่อการดำเนินคดีความต่อไป

สำหรับงานกล่องวงจรปิดในกลางแจ้งซึ่งต้องมีการรับแสงอาทิตย์อยู่แล้วขณะทำงาน จึงมีแนวคิดในการนำพลังงานจากแสงอาทิตย์มาใช้สำหรับกล่องวงจรปิดโดยเก็บไว้ในแบตเตอรี่ ซึ่งต้องมีวงจรคอนเวอร์เตอร์คอยควบคุมกระแสเพื่อเก็บพลังงานไว้ในแบตเตอรี่ ซึ่งก็มีการใช้วงจรต่าง ๆ เช่น วงจรทอนแรงดัน วงจรทบแรงดันเป็นต้น ซึ่งการทำงานของวงจรคอนเวอร์เตอร์ [1-4] ซึ่งโดยส่วนใหญ่จะเป็นวงจรคอนเวอร์เตอร์ที่ใช้ทิศทางเดียว [5-7] ซึ่งจำเป็นต้องใช้คอนเวอร์เตอร์เพิ่มเป็น 2 ชุดเพื่อใช้ในการเก็บและจ่ายพลังงานออกมาจากแบตเตอรี่ และเนื่องจากปัจจุบันมีการนำแผงโซลาร์เซลล์มาใช้เพื่อเป็นการเก็บพลังงานเพื่อให้สามารถควบคุมกระแสไหลได้สองทิศทางโดยใช้คอนเวอร์เตอร์เพียง 1 ตัวได้ จึงได้มีการนำคอนเวอร์เตอร์แบบสองทิศทางมาใช้เป็นตัวเก็บพลังงานในแบตเตอรี่หรือเซลล์เชื้อเพลิง [8 -14] ซึ่งเป็นแบบทั้งมีหม้อแปลงและไม่มีหม้อแปลง [15-18] ซึ่งในกรณีมีหม้อแปลง

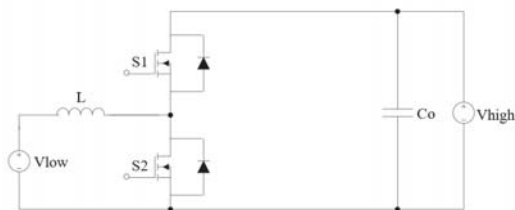
จะเหมาะสมสำหรับแรงดันที่แบตเตอรี่ต่างกันมากถึง 5 เท่าขึ้นไปแต่ก็จะมี การสูญเสียที่หม้อแปลงอีกด้วย การนำวงจรคอนเวอร์เตอร์แบบสองทิศทางโดยไม่มีหม้อแปลงมาใช้จึงช่วยลดการสูญเสียได้วงจรคอนเวอร์เตอร์แบบสองทิศทางแบบไม่มีหม้อแปลงที่ใช้โดยทั่วไปจะมีลักษณะเป็นฮาร์ดสวิตซิงซึ่งมีการสูญเสียขณะเปิดและปิดสวิตช์อยู่มาก ซึ่งควบคุมกระแสและแรงดันของวงจรคอนเวอร์เตอร์แบบสองทิศทางถูกนำมาใช้ในงานต่าง ๆ ขึ้นอยู่กับโหลดและงาน

งานวิจัยนี้จึงได้นำเสนอวงจรคอนเวอร์เตอร์แบบสองทิศทางสำหรับกล่องวงจรปิดที่ใช้พลังงานแสงอาทิตย์ที่สามารถทำงานได้ตลอดช่วงเวลาที่ทั้งกลางวันและกลางคืน ด้วยพลังงานจากแบตเตอรี่ที่เก็บพลังงานจากแสงอาทิตย์ ในงานวิจัยนี้จะใช้พลังงานที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งเป็นพลังงานสะอาดที่กำลังเป็นที่นิยมใช้ก็จะถือเป็นข้อดีในแง่ของการประหยัดพลังงานอีกด้วยโดยหลักการทำงานของชุดแหล่งจ่ายพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับกล่องวงจรปิดที่นำเสนอนี้จะทำงานได้โดยมีการแบ่งส่วนการทำงานดังนี้ วงจรดีซี ฟู ดีซี คอนเวอร์เตอร์แบบสองทิศทาง ที่จะทำหน้าที่เป็นวงจรควบคุมแรงดันที่ ดีซีบัส ให้คงที่ที่ 5 โวลต์เสมอ ซึ่งเป็นแรงดันที่เหมาะสมสำหรับการใช้งานกล่องวงจรปิด คือเมื่อแรงดันจากเซลล์แสงอาทิตย์ที่จ่ายให้กับ ดีซีบัส มีค่ามากกว่า 5 โวลต์วงจรดีซี ฟู ดีซี คอนเวอร์เตอร์แบบสองทิศทางก็จะทำหน้าที่ทบแรงดันเพื่อไปสะสมพลังงานไว้ในแบตเตอรี่ โดยที่ ดีซีบัส มีค่าคงที่ที่ 5 โวลต์ตลอด ในทางกลับกันหากแรงดันจากเซลล์แสงอาทิตย์ที่จ่ายให้กับ ดีซีบัส มีค่าน้อยกว่า 5 โวลต์ วงจรดีซี ฟู ดีซี คอนเวอร์เตอร์แบบสองทิศทางก็จะทำหน้าที่ทอนแรงดันแรงดันจากแบตเตอรี่ลงมาเพื่อช่วยจ่ายแรงดันให้ ดีซีบัส มีค่าคงที่ที่ 5 โวลต์ตลอดเวลาเช่นกัน ซึ่งวงจรดีซี ฟู ดีซี คอนเวอร์เตอร์แบบสองทิศทางนี้จะใช้หลักการของแอลซีเรโซแนนซ์โดยวิธีนี้จะสามารถช่วยลดปัญหาการสูญเสียพลังงานในการสวิตซิงได้ ซึ่งจะทำให้การสวิตซิงของสวิตช์ภายในวงจรสามารถทำงานใน

สภาวะแรงดันเป็นศูนย์ (Zero Voltage Switch : ZVS) [3-8] ก็จะเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพ หรือใช้พลังงานที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์อย่างคุ้มค่าที่สุด

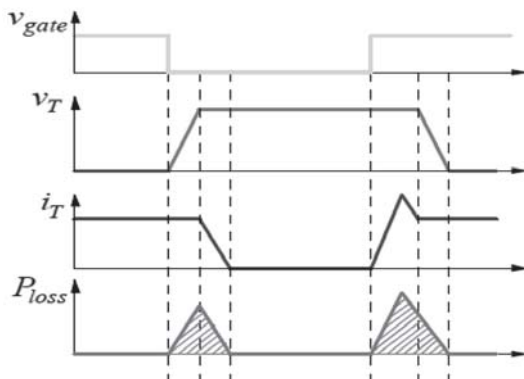
2. หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 หลักการคอนเวอร์เตอร์สองทิศทางแบบทั่วไป



รูปที่ 1 วงจรคอนเวอร์เตอร์แบบสองทิศทางทั่วไป

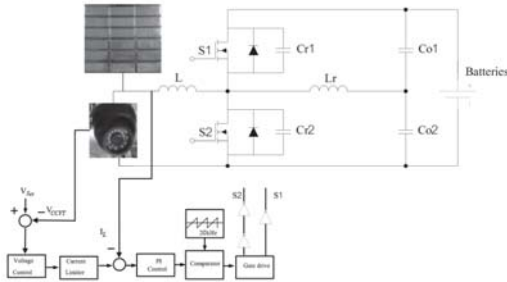
วงจรดีซี ทู ดีซีคอนเวอร์เตอร์แบบสองทิศทางทั่วไปแสดงดังรูปที่ 1 จะทำงานโดยการถ่ายโอนพลังงานได้ทั้งสองทางซึ่งในการทำงานของทั้งสองด้านนั้นจะไม่ทำงานพร้อมกัน โดยจะใช้หลักการ ปิด - เปิดของสวิตช์ทั้งสองตัว S_1 และ S_2 เป็นตัวหลักในการทำงานของวงจรคือเมื่อ S_1 ทำหน้าที่เป็นสวิตช์หลัก วงจรก็จะทำงานในโหมดทบทแรงดันและเมื่อ S_2 ทำหน้าที่เป็นสวิตช์หลักวงจรก็จะทำงานในโหมดทอนแรงดัน



รูปที่ 2 กราฟการสูญเสียของฮาร์ดสวิตชิง

ซึ่งจากวงจรดีซีทูดีซีคอนเวอร์เตอร์แบบสองทิศทางนี้ โดยทั่วไปยังนิยมใช้ลักษณะการสวิตซ์ในการทำการปิดเปิดวงจรเป็นแบบฮาร์ดสวิตซ์อยู่ดังแสดงในรูปที่ 2 จึงจะทำให้เกิดข้อเสียเป็นสาเหตุให้มีการสูญเสียในช่วงการสวิตซ์ซึ่งที่ค่อนข้างสูง และยังเป็นสาเหตุที่ทำให้อุปกรณ์มีความเครียดสูงทำให้เกิดความร้อนสะสมค่อนข้างมาก เนื่องจากวงจรวจรดีซี ทู ดีซีคอนเวอร์เตอร์ แบบสองทิศทางโดยทั่วไปจะมีปัญหาในการสูญเสียพลังงานที่สวิตซ์ค่อนข้างสูงและยังทำให้อุปกรณ์มีความร้อนสูงอีกด้วย ซึ่งการจะแก้ไขปัญหาดังกล่าวสามารถทำได้โดย การใช้แอลซีเรโซแนนซ์เข้ามาแก้ไขปัญหาดังกล่าว แต่ก็ยังคงจะมีหลักการทำงานของวงจรที่คล้ายกันคือจะทำหน้าที่เป็นวงจรถ่ายโอนพลังงานแบบบักบูสคอนเวอร์เตอร์หรือทบและทอนแรงดัน แต่จะมีส่วนที่เพิ่มขึ้นมาคือ ขดลวดเรโซแนนซ์และตัวเก็บประจุเรโซแนนซ์ ที่ต่อขนานกับสวิตซ์ทั้งสองตัว ซึ่งจะทำหน้าที่เป็นวงจร snubber (Snubber) เพื่อทำหน้าที่ป้องกันกระแสเกิน ลดการสูญเสียในตัวสวิตซ์ในช่วงการปิดเปิด องค์ประกอบที่เพิ่มเข้ามาภายในวงจรดีซีทูดีซีคอนเวอร์เตอร์นี้จะทำให้สวิตซ์ S_1 และ S_2 สามารถทำงานในสภาวะแรงดันเป็นศูนย์ (Zero Voltage Switching: ZVS) ดังแสดงในรูปที่ 3 แอลซีเรโซแนนซ์ เป็นหนึ่งวิธีในหลาย ๆ วิธีที่สามารถลดการสูญเสียในการสวิตซ์ ของสวิตซ์เพาเวอร์อิเล็กทรอนิกส์หรือการทำให้เป็นวงจรซอฟต์สวิตชิง แต่ข้อดีที่น่าสนใจของวิธีการ แอลซีเรโซแนนซ์ที่เห็นได้ชัดคือมีความได้เปรียบในด้านของอุปกรณ์ที่ไม่ต้องมีการออกแบบวงจรที่ต้องมีการเพิ่มเติมรายการอุปกรณ์จากวงจรดีซี ทู ดีซีคอนเวอร์เตอร์ สองทิศทางแบบเดิมมากนัก เพราะเนื่องจากการทำให้วงจรดีซี ทู ดีซี คอนเวอร์เตอร์ แบบสองทิศทาง เป็นวงจรแบบซอฟต์สวิตชิง โดยการใช้แอลซีเรโซแนนซ์ นั้นจะเพิ่มเติมเพียงตัวเก็บประจุเรโซแนนซ์ และ ตัวเหนี่ยวนำเรโซแนนซ์ เข้าไปในวงจรเท่านั้น ก็จะเป็นข้อได้เปรียบในแง่ของการลงทุนหรือต้นทุนในการออกแบบ

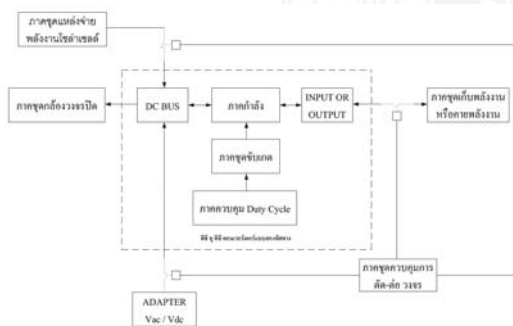
2.2 วงจรซอฟต์แวร์สวิตชิงคอนเวอร์เตอร์แบบสองทิศทาง



รูปที่ 3 วงจรซอฟต์แวร์สวิตชิงคอนเวอร์เตอร์แบบสองทิศทาง

วงจรการควบคุมแสดงดังรูปที่ 3 จะมีการควบคุมแรงดันใช้งานที่กล่องวงจรปิดให้คงที่ และควบคุมกระแสโดยการควบคุมกระแสแบบพีโอ การต่อการใช้งานเพื่อให้มีการเก็บพลังงานที่เหลือจากโซล่าเซลล์ไว้ในแบตเตอรี่ในช่วงมีแสงอาทิตย์ และสามารถนำไฟฟ้าจากแบตเตอรี่มาใช้ในเวลาากลางคืนได้

2.3 ระบบการใช้งานกล่องวงจรปิดพลังงานแสงอาทิตย์



รูปที่ 4 บล็อกไดอะแกรมการทำงาน

1. ชุดดีซีฟูดซีคอนเวอร์เตอร์แบบสองทิศทางสำหรับกล่องวงจรปิด

1.1 ภาคควบคุมดิฟตีไซเคิลทำหน้าที่ ควบคุมการปรับค่าดิฟตีไซเคิลได้ตามความเหมาะสม โดยจะ

สร้างสัญญาณพัลส์วิดท์มอดูเลชัน (PWM) ควบคุมการสวิตช์มอสเฟตกำลัง ให้มีการทำงานสลับกันระหว่างโหมดทบทแรงดันกับโหมดทอนแรงดันโดยสัญญาณที่ได้จะเป็นสัญญาณแบบสี่เหลี่ยม

1.2 ภาคชดเชบข้กเกิด ทำหน้าที่ ช้บสวิตช์มอสเฟตกำลัง ทั้งสองตัว (S_1, S_2) ให้ทำงานตามสัญญาณพัลส์ที่ได้จากภาคควบคุมดิฟตีไซเคิล

1.3 ภาคกำลัง ทำหน้าที่ เป็นส่วนของภาควงจรกำลัง ซึ่งทำหน้าที่ในการส่งจ่ายพลังงานไปยังระบบคอนเวอร์เตอร์แบบสองทิศทาง โดยอาศัยหลักการทำงานของวงจรีซีฟูดซีคอนเวอร์เตอร์แบบสองทิศทาง

1.4 ภาคเอาต์พุตหรือเอาต์พุตทำหน้าที่ เป็นส่วนอินพุตหรือเอาต์พุตของวงจรแล้วแต่การใช้งาน

1.5 บัสไฟฟ้ากระแสตรง (DC BUS) ทำหน้าที่ เป็น ส่วนที่จะรักษาระดับแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากคอนเวอร์เตอร์ให้มีค่าคงที่ตลอดเวลา เพื่อที่จะจ่ายให้กับภาคชดเชบกล่องวงจรปิด และ ภาคชดเชบพลังงานหรือคายพลังงาน ต่อไป

2. ภาคชดเชบกล่องวงจรปิด ทำหน้าที่ เป็นเอาต์พุตของวงจร

3. ภาคชดเชบพลังงานหรือคายพลังงาน ทำหน้าที่ เป็นส่วนที่เก็บพลังงาน หรือ คายพลังงาน ของวงจร โดยส่วนนี้จะใช้แบตเตอรี่เป็นตัวเก็บพลังงานหรือคายพลังงาน

4. ภาคชดเชบแหล่งจ่ายพลังงานโซล่าเซลล์ ทำหน้าที่ เป็นแหล่งจ่ายไฟให้กับวงจรโดยจะจ่ายไฟให้กับกล่องวงจรปิดให้ทำงานและก็จะชาร์จแบตเตอรี่ไปด้วยพร้อม ๆ กัน

5. ภาคชดเชบควบคุมการ ตัด-ต่อ วงจร ทำหน้าที่ เป็นตัว ตัดต่อการทำงานของแหล่งจ่ายต่าง ๆ ที่ป้อนให้กับบัสไฟฟ้ากระแสตรง และส่วนต่าง ๆ ของวงจร ให้มีความเหมาะสมตามช่วงเวลาการใช้งาน

6. ภาคอแดปเตอร์ (ADAPTER) ทำหน้าที่ เป็นแหล่งจ่ายฉุกเฉินให้กับวงจรในกรณีที่โซล่าเซลล์ และ

แบตเตอรี่ ไม่สามารถจ่ายไฟฟ้าให้กับกล่องวงจรปิดได้ ตามความต้องการที่จะใช้งาน

2.5 การออกแบบและสร้างวงจรกำลังชุด แหล่งจ่ายพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับ กล่องวงจรปิด

วงจรกำลังของชุดแหล่งจ่ายพลังงานแสงอาทิตย์ สำหรับกล่องวงจรปิดจะประกอบไปด้วยอุปกรณ์ที่สำคัญ คือ ตัวเหนี่ยวนำเรโซแนนซ์ ตัวเหนี่ยวนำที่เล็กที่สุดของวงจร ตัวเก็บประจุเรโซแนนซ์ ตัวเก็บประจุทางด้านออก อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่สวิตช์ วงจรกำลัง ต้องมีความสามารถทำงานได้ที่ความถี่ 20 กิโลเฮิรตซ์ ซึ่งเป็นความถี่ที่เหมาะสมในการสวิตช์ของอุปกรณ์สวิตช์ ในวงจรกำลังจะประกอบไปด้วยการออกแบบส่วนต่าง ๆ ดังนี้

การคำนวณหาค่าตัวเหนี่ยวนำเรโซแนนซ์ ในวงจรทอนแรงดัน-ทบแรงดันของดีซีทูดีซีคอนเวอร์เตอร์แบบสองทิศทางตัวเหนี่ยวนำเรโซแนนซ์เป็นอุปกรณ์ที่สำคัญมากเนื่องจากมีหน้าที่ในการเก็บและคายพลังงาน เพื่อที่จะทบพลังงานและทอนพลังงานให้เหมาะสมกับการใช้งานเป็นผลให้ระดับแรงดันทางด้านออกมีค่าสูงกว่าระดับแรงดันที่ด้านเข้า สามารถหาได้จากสมการที่ (1)

$$L_r = \left[\frac{[\Delta V \times (\Delta V + 2V)] \times C}{I^2} \right] \quad (1)$$

แทนค่าเพื่อหาค่าตัวเหนี่ยวนำเรโซแนนซ์

$$L_r = \left[\frac{[(8)(8 + (2 \times 5))](8.68 \times 10^{-9})}{(0.5)^2} \right] = 5 \mu H \quad (2)$$

การคำนวณหาค่าตัวเหนี่ยวนำที่เล็กที่สุด

ตัวเหนี่ยวนำเป็นอุปกรณ์สำคัญมีหน้าที่เก็บและคายกำลังงานซึ่งเป็นผลให้ระดับแรงดันทางมีค่าสูงกว่าระดับแรงดันทางด้านเข้า การคำนวณหาค่าตัวเหนี่ยวนำที่เล็กที่สุดของวงจรคำนวณได้จากสมการที่ (3)

$$L_{\min} = \frac{(1-D)R}{2f} \quad (3)$$

D คือ วัฏจักรหน้าที่ (ดีวตีไซเคิล) หาได้จาก

$$D = \frac{(V_o - V_s)}{V_o} = \frac{(8-5)}{8} = 0.38 \quad (4)$$

แทนค่าเพื่อหาค่าตัวเหนี่ยวนำที่ค่าต่ำสุด

$$L_{\min} = \frac{(1-0.38)(10)}{(2)(20 \times 10^3)} = 155 \mu H \quad (5)$$

การคำนวณหาค่าตัวเก็บประจุเรโซแนนซ์

ตัวเก็บประจุเรโซแนนซ์สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (6)

$$C_r = \left[\frac{LI^2}{\Delta V \times (\Delta V + 2V)} \right] \quad (6)$$

แทนค่าเพื่อหาค่าตัวเก็บประจุเรโซแนนซ์

$$C_r = \left[\frac{(5 \times 10^{-6})(0.5)^2}{(8)(8 + (2 \times 5))} \right] = 8.68 \text{ nF} \quad (7)$$

ดังนั้นควรเลือกขนาดตัวเก็บประจุทางด้านออกของวงจรที่มีค่าสูงกว่า 8.68 นาโนฟารัด และแรงดันที่ทนได้ต้องไม่ต่ำกว่าแรงดันด้านออก โครงงานนี้ได้เลือกใช้ขนาดตัวเก็บประจุเรโซแนนซ์ 10 นาโนฟารัด ทนแรงดันได้ 63 โวลต์

การคำนวณหาค่าตัวเก็บประจุด้านออก

ในวงจรกำลังของวงจร ทอนแรงดัน-ทบแรงดัน ดีซีทูดีซีคอนเวอร์เตอร์ ตัวเก็บประจุด้านออกของวงจร มีหน้าที่ในการเก็บพลังงานรูปของประจุไฟฟ้าและทำการจ่ายแรงดันออกให้กับโหลดหรือคายประจุไฟฟ้าเมื่ออุปกรณ์สวิตช์ Turn ON และทำการเก็บประจุเมื่ออุปกรณ์สวิตช์ Turn OFF ดังนั้นจำเป็นต้องเลือกตัวเก็บประจุที่สามารถทนแรงดันได้เท่าหรือมากกว่า

แรงดันด้านออก หากเลือกตัวเก็บประจุที่มีขนาดใหญ่ จะมีส่วนช่วยในการลดแรงดันกระเพื่อมทางด้านออก การคำนวณหาค่าตัวเก็บประจุทางด้านออกหาได้จาก สมการที่ (8)

$$C_o = \frac{I_o D}{f \Delta V_o} \quad (8)$$

แทนค่าเพื่อหาค่าตัวเก็บประจุทางด้านออก

$$C_o = \frac{I_o D}{f \Delta V_o} \quad (9)$$

ดังนั้นควรเลือกขนาดตัวเก็บประจุทางด้านออก ของวงจรที่มีค่าสูงกว่า 118.75 ไมโครฟารัด และแรงดันที่ทนได้ต้องไม่ต่ำกว่าแรงดันด้านออก โครงการนี้ ได้เลือกใช้ขนาดตัวเก็บประจุทางด้านออก 220 ไมโครฟารัด ทนแรงดันได้ 63 โวลต์ ในการเลือกค่าตัวเก็บประจุหากใช้ค่าที่มีความจุยิ่งสูงจะทำให้แรงดันกระเพื่อมทางด้านออกมีค่าลดลง แต่ค่าความจุของตัวเก็บประจุจะต้องไม่น้อยกว่าค่าที่คำนวณได้ ถ้าเลือกตัวเก็บประจุที่มีค่าความจุและอัตราทนแรงดันสูง ๆ ราคา ก็จะสูงตามไปด้วยจึงต้องเลือกให้เหมาะสมกับการใช้งาน

อุปกรณ์สวิตซ์ในวงจรทอนแรงดัน-ทบแรงดัน ดีซีทูดีซีคอนเวอร์เตอร์ควรเลือกอุปกรณ์ที่สามารถทำงานได้ดีที่สุดที่ความถี่สูงเวลาในการเปลี่ยนสถานะค่อนข้างสั้น ในโครงการนี้ได้เลือกใช้เพาเวอร์มอสเฟตทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์สวิตซ์ เวลาในการสับสวิตซ์อยู่ในช่วงนาโนวินาที และในวงจรซัพเพาเวอร์มอสเฟตนั้นสามารถทำได้ง่ายเพราะควบคุมด้วยแรงดันและกระแส ด้านเข้าค่าต่ำ ๆ เท่านั้น โดยได้เลือกใช้เพาเวอร์มอสเฟตเบอร์ IRF3205 ของบริษัท International Rectifier ซึ่งมีคุณลักษณะสมบัติต่าง ๆ ที่สำคัญดังนี้ ความต้านทานระหว่างขาเดรนและซอร์ส ขณะนำกระแส $R_{DS(on)} = 0.008$ โอห์ม ซึ่งมีค่าต่ำมาก แรงดันตกคร่อมระหว่างขาเดรนและซอร์ส (V_{DS}) ที่ทนได้ 55 โวลต์ กระแสเดรน (I_D) สูงสุดที่สามารถไหลผ่านได้ 110 แอมแปร์

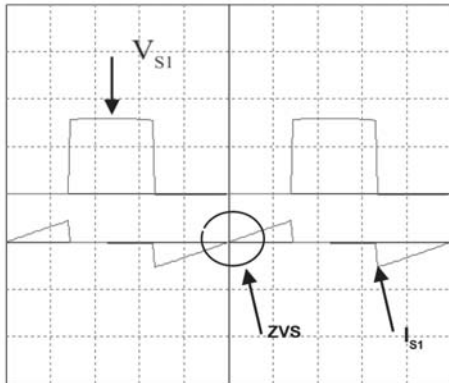
ตารางที่ 1 รายการและข้อกำหนดทั่วไปที่ใช้ในการจำลองและการทดลอง

รายละเอียด	กำหนดการ
แรงดันด้านต่ำ (V_{in})	5-6 โวลต์
ค่าความจุด้านเข้า (C_i)	220 ไมโครฟารัด
ค่าความเหนี่ยวนำเล็กที่สุด (L_{min})	190 ไมโครเฮนรี
ค่าความจุเรโซแนนซ์ (C_r)	10 นาโนฟารัด
ค่าความเหนี่ยวนำเรโซแนนซ์ (L_r)	5 ไมโครเฮนรี
ค่าความจุด้านออก (C_o)	220 ไมโครฟารัด
ค่าความต้านทานโหลด (R_{Load})	20 โอห์ม
แรงดันด้านสูง (V_o)	8 โวลต์
ดิวตี้ไซเคิล (D)	ร้อยละ 38
ความถี่ (f)	20 กิโลเฮิร์ตซ์

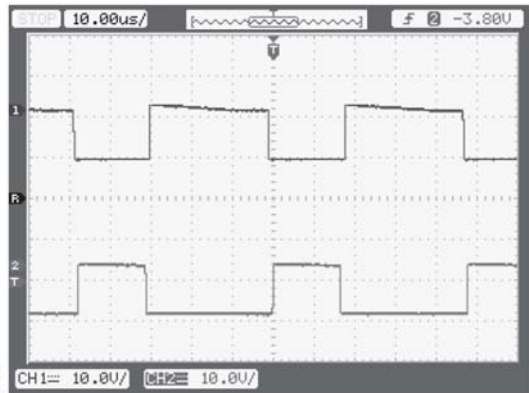
3. ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล

การจำลองการทำงานด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

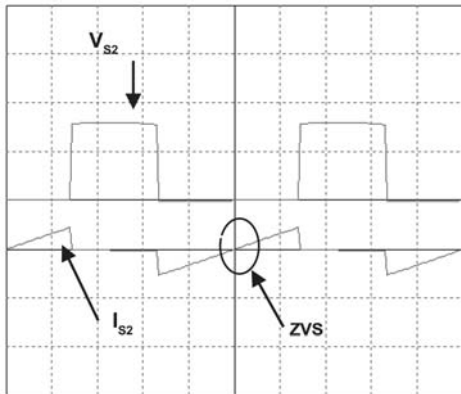
จากรูปที่ 5 เป็นผลของการจำลองการทำงานด้วยโปรแกรมจำลองการทำงานด้วยคอมพิวเตอร์ โดยจะมีการแสดงสัญญาณขั้วเกต และแรงดันและกระแสขณะเพาเวอร์มอสเฟตทำงาน การไหลของกระแสจะเริ่มนำกระแสที่ไดโอดในด้านลบ เมื่อถึงจุดที่สถานะแรงดันเป็นศูนย์เพาเวอร์มอสเฟตก็จะเริ่มนำกระแสในด้านบวก ส่วนในรูปที่ 4 แสดงแรงดันทางด้านออกในโหมดทบแรงดัน โดยกำหนดแรงดันทางด้านเข้า 5 โวลต์ วงจรทบแรงดันทำงานที่ดิวตี้ไซเคิลร้อยละ 38 จะได้แรงดันทางด้านออกเท่ากับ 8 โวลต์ ซึ่งเป็นแรงดันที่สามารถประจุแบตเตอรี่ได้



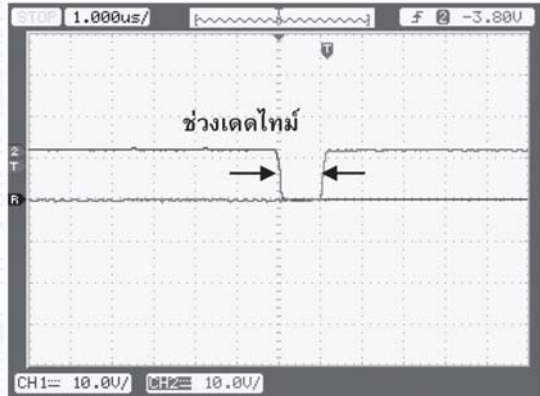
ก. กระแสและแรงดันที่ผ่านเพาเวอร์มอสเฟตตัวที่หนึ่ง (S_1) ($V_1 : 5V/Div$, $V_2 : 5V/Div$, $Time : 10\mu s/Div$)



ก. สัญญาณขับเคลื่อนของเพาเวอร์มอสเฟตตัวที่หนึ่งและตัวที่สอง ($V_1 : 10V/Div$, $V_2 : 10V/Div$, $Time : 10\mu s/Div$)



ข. กระแสและแรงดันที่ผ่านเพาเวอร์มอสเฟตตัวที่สอง (S_2) ($V_1 : 5V/Div$, $V_2 : 5V/Div$, $Time : 10\mu s/Div$)



ข. ช่วงเดดไทม์

($V_1 : 10V/Div$, $V_2 : 10V/Div$, $Time : 1\mu s/Div$)

รูปที่ 5 แรงดันและกระแสขณะเพาเวอร์มอสเฟตทำงานที่ดิวิตีไซเคิลร้อยละ 38

รูปที่ 6 สัญญาณขับเคลื่อนของเพาเวอร์มอสเฟตและช่วงเดดไทม์โหมดทบแรงดัน

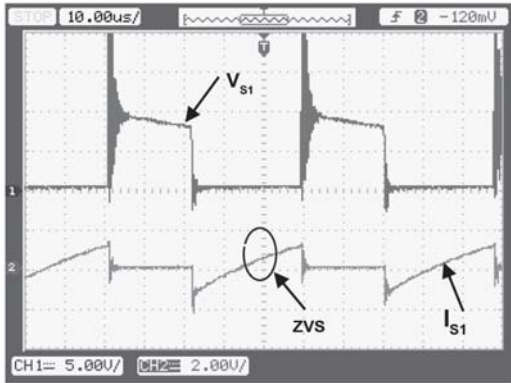
การทดสอบการทำงานของระบบจริง

ในการทดสอบการทำงานจริงของวงจรบดแรงดัน ทอนแรงดัน คอนเวอร์เตอร์แบบสองทิศทางนั้น จะทดสอบการให้งานที่ละโหมดการทำงานซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

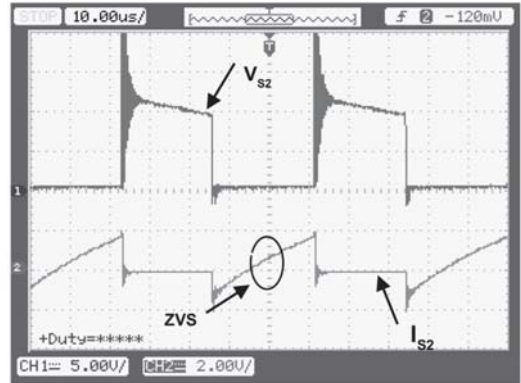
จากรูปที่ 6 แสดงการทดสอบการทำงานจริงของสัญญาณขับเคลื่อนของเพาเวอร์มอสเฟตและช่วงเดดไทม์ โดยช่วงเดดไทม์ที่ได้คือ 1 ไมโครวินาที

การทดสอบในโหมดทบแรงดัน

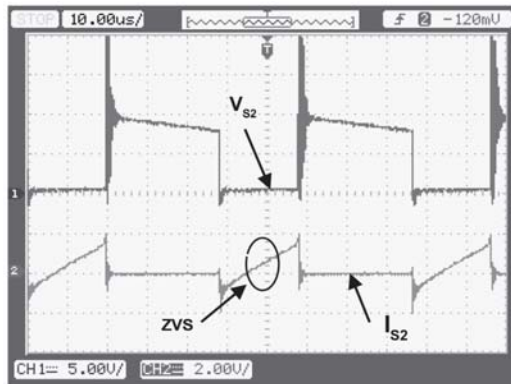
การทดสอบการทำงานจริงในโหมดทบแรงดันจะมีการแสดงแรงดันและกระแสขณะเพาเวอร์มอสเฟตทำงานโดยจะทดสอบที่ดิวิตีไซเคิลร้อยละ 40 และ 50 แสดงดังรูปที่ 7 และ 8



ก. เพาเวอร์มอสเฟตตัวที่หนึ่ง
 ($V_{s1} : 5V/Div, I_{s1} : 2A/Div, Time : 10us/Div$)

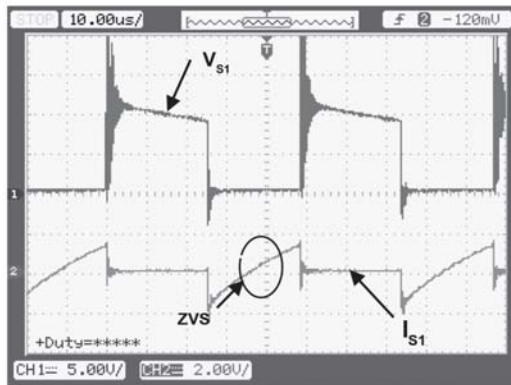


ข. เพาเวอร์มอสเฟตตัวที่สอง
 ($V_{s1} : 5V/Div, I_{s2} : 2A/Div, Time : 10us/Div$)



ข. เพาเวอร์มอสเฟตตัวที่สอง
 ($V_{s1} : 5V/Div, I_{s2} : 2A/Div, Time : 10us/Div$)

รูปที่ 7 แรงดันและกระแสขณะเพาเวอร์มอสเฟตทำงานที่ดิวตี้ไซเคิลร้อยละ 40 โหมดทบทแรงดัน

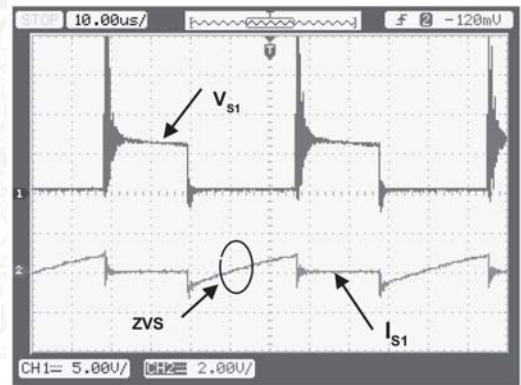


ก. เพาเวอร์มอสเฟตตัวที่หนึ่ง
 ($V_{s1} : 5V/Div, I_{s1} : 2A/Div, Time : 10us/Div$)

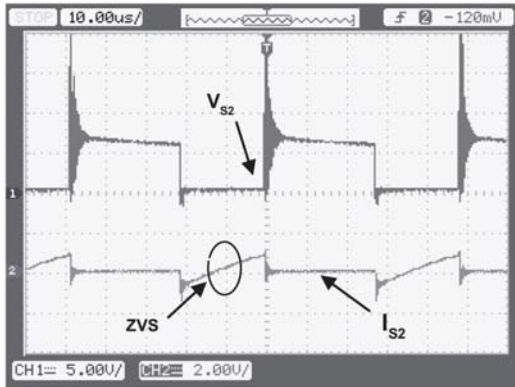
รูปที่ 8 แรงดันและกระแสขณะเพาเวอร์มอสเฟตทำงานที่ดิวตี้ไซเคิลร้อยละ 50 โหมดทบทแรงดัน

การทดสอบการทำงานจริงในโหมดทอนแรงดัน

การทดสอบการทำงานจริงในโหมดทอนแรงดัน จะมีการแสดงแรงดันและกระแสขณะเพาเวอร์มอสเฟตทำงานโดยจะทดสอบที่ดิวตี้ไซเคิลต่าง ๆ ดังรูปที่ 9 และ 10



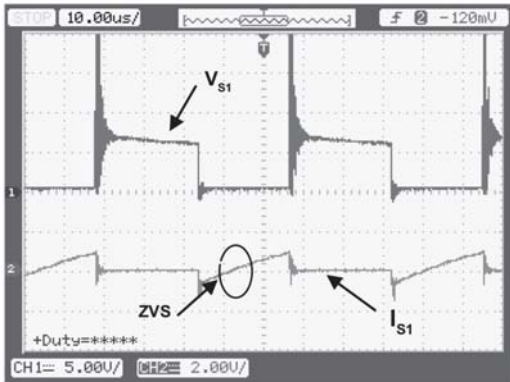
ก. เพาเวอร์มอสเฟตตัวที่หนึ่ง
 ($V_{s1} : 5V/Div, I_{s1} : 2A/Div, Time : 10us/Div$)



ข. เพาเวอร์มอสเฟตตัวที่สอง

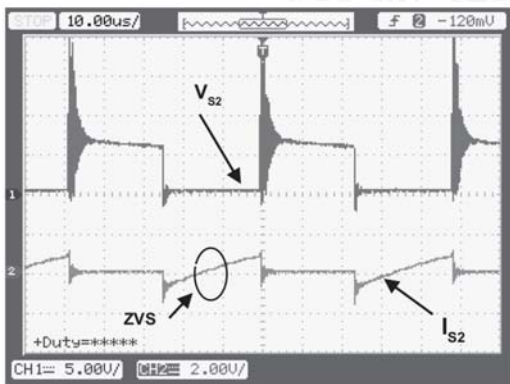
($V_{s2} : 5V/Div, I_{s2} : 2A/Div, Time : 10us/Div$)

รูปที่ 9 แรงดันและกระแสขณะเพาเวอร์มอสเฟตทำงานที่ดิวิตีไซเคิลร้อยละ 40 โหมดทอนแรงดัน



ก. เพาเวอร์มอสเฟตตัวที่หนึ่ง

($V_{s1} : 5V/Div, I_{s1} : 2A/Div, Time : 10us/Div$)



ข. เพาเวอร์มอสเฟตตัวที่สอง

($V_{s1} : 5V/Div, I_{s2} : 2A/Div, Time : 10us/Div$)

รูปที่ 10 แรงดันและกระแสขณะเพาเวอร์มอสเฟตทำงานที่ดิวิตีไซเคิลร้อยละ 50 โหมดทอนแรงดัน

จากรูปที่ 6-10 เห็นได้ว่าขณะสวิตช์นำกระแส จะไม่มีการสูญเสีย เนื่องจากสวิตช์นำกระแสที่แรงดันเป็นศูนย์ แต่ในขณะที่สวิตช์หยุดนำกระแสมังมีการสูญเสียอยู่จึงเกิดสไปท์บนสวิตช์ S_1 และ S_2 ขณะหยุดนำกระแสการชาร์จและปล่อยพลังงานไฟฟ้าทำได้ทั้ง 2 ทิศทางในโหมดคัพและทอนแรงดัน ดังรูปที่ 6-10 ซึ่งผลประสิทธิภาพแสดงดังตารางที่ 2 และ 3 ตามลำดับ

ตารางที่ 2 ประสิทธิภาพการทำงานในโหมดคัพแรงดัน

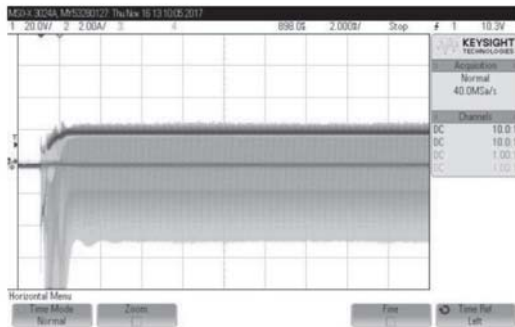
D (%)	โหมดคัพแรงดัน (Boost Mode)		
	Power Input (W)	Power Output (W)	η (%)
30	2.75	2.46	89.45
40	3.85	3.4	88.38
50	4.95	4.6	92.92
60	7.75	7.67	98.96
70	14.8	13.05	88.17
80	23.5	20.10	85.53

ตารางที่ 3 ประสิทธิภาพการทำงานในโหมดทอนแรงดัน

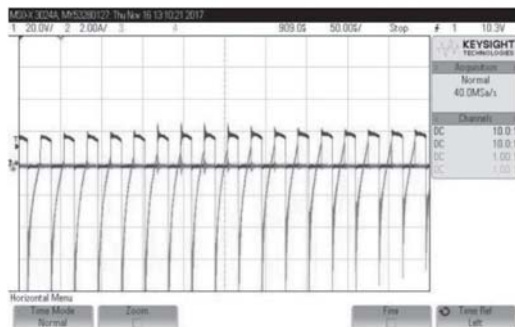
D (%)	โหมดทอนแรงดัน (Buck Mode)		
	Power Input (W)	Power Output (W)	η (%)
30	0.84	0.74	88.21
40	0.6	0.54	90
50	0.42	0.39	92.85
60	0.3	0.24	80
70	0.18	0.13	72.22
80	0	0	0

จากตารางที่ 2 และ 3 แสดงประสิทธิภาพการทำงานของวงจรในแต่ละโหมดการทำงาน ซึ่งประสิทธิภาพที่สูงที่สุดจะอยู่ในช่วงที่ดิวิตีไซเคิลร้อยละ 40 ถึง 80

ตารางที่ 2 เป็นการทดสอบในโหมดทบทวนแรงดัน เพื่อเก็บพลังงานไว้ในแบตเตอรี่โดยสังเกตได้ว่ากำลังไฟฟ้าเพิ่มขึ้นตามดิวตี้ไซเคิล แต่ในตารางที่ 3 เป็นการทดสอบในโหมดทอนแรงดัน ซึ่งจะเห็นได้ว่าเมื่อเพิ่มดิวตี้ไซเคิลลงกำลังไฟฟ้าจะลดลง เนื่องมาจากมีการพลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์อยู่แล้วจึงทำให้มีการนำพลังงานจากแบตเตอรี่มานใช้น้อย

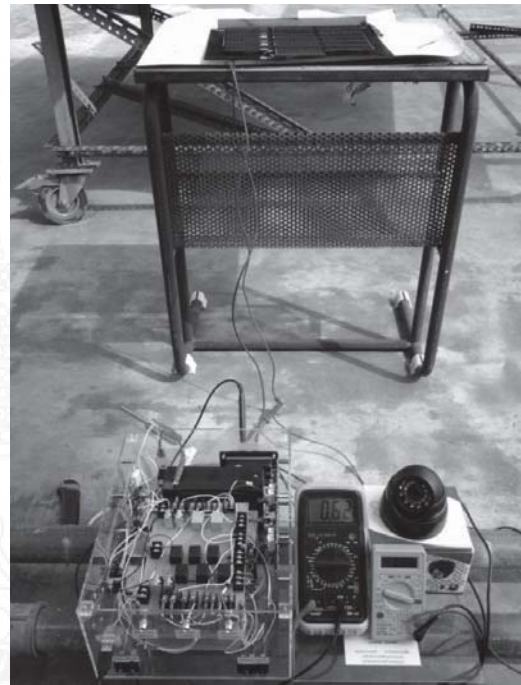


รูปที่ 11 แรงดันและกระแสขณะทำงานเพาเวอร์มอสเฟตในสภาวะชั่วคราว ($V_{S1} : 5V/Div$, $I_{S2} : 2A/Div$, Time : 2ms/Div)



รูปที่ 12 รูปขยายแรงดันและกระแสขณะทำงานเพาเวอร์มอสเฟตในสภาวะชั่วคราว ($V_{S1} : 5V/Div$, $I_{S1} : 2A/Div$, Time: 50us/Div)

จากรูปที่ 11 และ 12 แสดงแรงดันและกระแสขณะทำงานของเพาเวอร์มอสเฟตในสภาวะชั่วคราว การทดสอบการทำงานจริงของเซลล์แสงอาทิตย์ แสดงดังรูปที่ 13



รูปที่ 13 การทดสอบการทำงานจริงของเซลล์แสงอาทิตย์

4. สรุปผลการวิจัย

ผลการจำลองและผลการทดลอง วงจรซอฟต์แวร์สวิตชิงดีซีทูดีซี คอนเวอร์เตอร์เรโซแนนซ์แบบสองทิศทางโดยใช้หลักการของแอลซีเรโซแนนซ์ต่อเพิ่มเติมเข้าไปในวงจร ซึ่งสวิตซ์จะทำงานที่ความถี่ 20 กิโลเฮิร์ตซ์ ในสภาวะแรงดันเป็นศูนย์ สามารถใช้งานได้จริง จากการทดลองการทำงานของสวิตซ์แรงดันศูนย์จะมีอัตราการสูญเสียของพลังงานที่น้อยลง ทำให้ลดค่าสูญเสียของพลังงานอันเกิดจากการทำงานของสวิตซ์ทำให้เพิ่มประสิทธิภาพให้กับวงจรได้ โดยการทำงานในโหมดทบทวนแรงดันและโหมดทอนแรงดันจะอาศัยการควบคุมแรงดันด้วยการปรับดิวตี้ไซเคิล เพื่อรักษาระดับแรงดันที่ตีสลิปส์ ให้มีค่าคงที่เหมาะสมสำหรับการใช้งานของกัลลึงวงจรปิด

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ และมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ ที่สนับสนุนทุนในการทำวิจัย

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] leonics. (2012, May 10). Solar cell theory. [Online]. Available:<http://www.leonics.co.th/html/th/aboutpower/solarknowledge.php>
- [2] W. KhanNgern, V. Tarateeraseth, *Power Electronics*, Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, 2004.
- [3] T. Pansuwan, R. Nuchkamnead, K. Chuchaloem, W. Pechpunsri, V. Hathairatsiri and S. Chudjuarjeen, "Bidirectional Converter with Duty Cycle Control using Solar Energy for CCTV," in *Proceeding of Electrical Engineering Network of Rajamangala University of Technology EENET 7th*, Thailand, pp. 688-691, 2015.
- [4] Jun-Gu Kim, Seung-Won Park, Young-Ho Kim, Yong-Chae Jung, and Chung- Yuen Won, "Bidirectional Soft Switching DC-DC Converter," in *Proceeding of International Power Electronics Conference*, 2010.
- [5] S. Chudjuarjeen, S. Jayasuriya, S. Yachiangkam, J. C. Jimenez, C. O. Nwankpa, K. Miu and A. Sangswang, "Analysis of Measurement Delay Errors in a DC-DC Buck-Boost Converter using Stochastic Differential Equations," in *Proceeding of 37th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society (IECON 2011)*, Melbourne, Australia, Nov; 2011.
- [6] Y. C. Chuang, "High-Efficiency ZCS Buck Converter for Rechargeable Batteries," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 57, no. 7, pp. 2463-2472, July 2010.
- [7] Hung-Liang Cheng, and Cheng-Wei Lin, "Design and Implementation of a High-Power Factor LED Driver with Zero-Voltage Switching-On Characteristics," *IEEE Trans. Power. Electron.*, vol. 9, no. 9, pp. 4949-4958, Sep. 2014.
- [8] S. Inoue and H. Akagi, "A bidirectional dc-dc converter for an energy storage system with galvanic isolation," *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 22, no. 6, pp. 2299-2306, Nov. 2007.
- [9] L. Zhu, "A novel soft-commutating isolated boost full-bridge ZVSPWM DCDC converter for bidirectional high power applications," *IEEE Trans. Power Electron*, vol. 21, no. 2, pp. 422-429, 2006.
- [10] Lee, J., Jo, J., Choi, S., Han, S. B., "A 10-kw SOFC low-voltage battery hybrid power conditioning system for residential use," *IEEE Trans. Energy Converter*, vol. 21, no. 2, pp. 575-585, 2006.
- [11] Chiu, H. J., Lin, L. W. "A bidirectional DCDC converter for fuel cell electric vehicle driving system," *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 21, no. 4, pp. 950-958, 2006.

- [12] Zhao, Q., Lee, F.C. "High-efficiency, high step-up DCDC converters," *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 18, no. 1, pp. 65–73, 2003.
- [13] Schuch, L., Rech, C., Hey, H.L., Grundling, H.A., Pinheiro, H., Pinheiro, J.R. "Analysis and design of a new high-efficiency bidirectional integrated ZVT PWM converter for DC-bus and battery-bank interface," *IEEE Trans. Ind. Appl.*, vol. 42, no. 5, pp. 1321–1332, 2006.
- [14] N. M. L. Tan, T. Abe, and H. Akagi, "Design and performance of a bidirectional isolated DC-DC converter for a battery energy storage system," *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 27, no. 3, pp. 1237–1248, Mar. 2012.
- [15] K. Wang, C. Y. Lin, L. Zhu, D. Qu, F. C. Lee, and J. S. Lai, "Bidirectional dc/dc converters for fuel cell systems," *IEEE Trans. Power Electron.*, pp. 47–51, 1998.
- [16] F. Z. Peng, H. Li, G.-J. Su, and J. S. Lawler, "A new ZVS bidirectional DC-DC converter for fuel cell and battery application", *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 19, no. 1, pp. 54–65, Jan. 2004.
- [17] S. Inoue and H. Akagi, "A bidirectional dc-dc converter for an energy storage system with galvanic isolation," *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 22, no. 6, pp. 2299–2306, Nov. 2007.
- [18] S. Chudjuarjeen, V. Hathairasiri and W. Pechpunsri, "An Induction Furnace with Half Bridge Resonant Inverter For Brass," *RMUTP Research Journal Special Issue*, pp. 529–537, Nov. 2007.