การออกแบบจำลองต้นแบบวงจรทอน - ทบแรงดันด้านเข้าไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับที่มีสมรรถนะสูงราคาถูก

Design and Simulation of a Low Cost High Performance Buck - Boost DC/AC Inverter

ชลัช สัตยารักษ์[1] และธีรพงษ์ ฉิมเพชร[1]

Received: November, 2015; Accepted: February, 2016

บทคัดย่อ

บทความวิจัยนี้นำเสนอต้นแบบวงจรแปลงผันแรงดันแบบทอน – ทบชนิดแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับเพื่อเพิ่มสมรรถนะของวงจรแปลงผัน โดยวงจรมีแหล่งจ่ายด้านเข้าเป็นไฟฟ้ากระแสตรงที่ถูกออกแบบให้สามารถทอนหรือทบแรงดันได้ เพื่อส่งผ่านกำลังงานให้กับโหลดที่ต้องการไฟฟ้ากระแสสลับ ในการทำงานของวงจรสวิตช์จะถูกออกแบบให้ควบคุมการแปลงผันแบบอัตโนมัติ จากการทดสอบจำลองการทำงานพบว่าวงจรต้นแบบดังกล่าวมีสมรรถนะที่ดี ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงสามารถที่จะนำไปพัฒนาเป็นวงจรต้นแบบจริงต่อไปได้

คำสำคัญ : วงจรทอน – ทบแรงดัน; ไมโครคอนโทรลเลอร์; วงจรแปลงผัน

[1] *คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย สงขลา*
E – mail : chalash.s@gmail.com

Abstract

This paper presents a prototype of buck - boost DC to AC inverter to increase the DC - AC inverter performance. A DC source was designed as a buck - boost circuit to transfer power to AC load. In circuit, switch is designed for automatic inverter control. For simulation results, the prototype circuit offers high performance. Therefore, it can be implemented for real circuit prototype.

Keywords: Buck - Boost Converter; Microcontroller; Inverter

บทนำ

เนื่องด้วยปัจจุบันเทคโนโลยีทางด้านอิเล็กทรอนิกส์ได้มีบทบาทในงานหลายด้าน ซึ่งเทคโนโลยีทางด้านนี้สามารถปรับเปลี่ยนและประยุกต์การใช้งานได้หลายรูปแบบขึ้นอยู่กับความเหมาะสม แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ ก็เป็นส่วนหนึ่งของเทคโนโลยีทางด้านอิเล็กทรอนิกส์กำลังที่มีความจำเป็นกับอุปกรณ์มากมายทั้งทางด้านไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ อย่างไรก็ตามปัจจุบันพลังงานหมุนเวียนมีส่วนเข้ามาเกี่ยวข้องในการผลิตกำลังไฟฟ้าเนื่องจากเป็นพลังงานสะอาด ซึ่งอาจมีการกักเก็บพลังงานในรูปไฟฟ้ากระแสตรงก่อนนำไปใช้จึงต้องมีการปรับเปลี่ยนระดับแรงดันให้เหมาะสมกับโหลด

อุปกรณ์แปลงผันในปัจจุบันที่ใช้กันอยู่ทั่วไปคือ หม้อแปลง ซึ่งประกอบไปด้วยขดลวดทองแดงและแกน ซึ่งจะมีน้ำหนักมากและมีราคาสูงขึ้นตามราคาของทองแดง ในบทความนี้นำเสนอต้นแบบวงจรที่สามารถแปลงผันได้โดยใช้ตัวเหนี่ยวนำแทนหม้อแปลงในการแปลงผัน ทำให้วงจรมีขนาดเล็กลงและน้ำหนักเบากว่าเมื่อเทียบกับหม้อแปลง เพื่อเป็นการเพิ่มสมรรถนะวงจรถูกออกแบบให้สามารถรองรับแรงดันไฟฟ้าด้านเข้าที่มีระดับแรงดันสูงกว่าหรือต่ำกว่าแรงดันแอมปลิจูดด้านออกได้อีกด้วย การกำหนดโหมดการทำงาน การวิเคราะห์วงจร รวมทั้งการออกแบบเพื่อเป็นต้นแบบสำหรับแหล่งจ่ายแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับต่อไป

วัตถุประสงค์การวิจัย

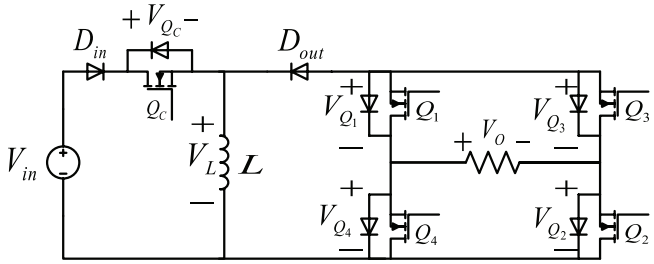
1. เพื่อออกแบบต้นแบบวงจรแปลงผันแบบทอน - ทบระดับแรงดันด้านเข้าของแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับโดยใช้ตัวเหนี่ยวนำแทนหม้อแปลง
2. เพื่อจำลองวิเคราะห์สภาวะการทำงานของวงจรในกรณีแรงดันด้านเข้าต่ำกว่าแรงดันด้านออกและกรณีแรงดันด้านเข้าสูงกว่าแรงดันด้านออก
3. เพื่อลดขนาด น้ำหนัก และราคาของวงจรเมื่อเทียบกับวงจรที่ต้องใช้หม้อแปลง

วิธีดำเนินการวิจัย

โครงสร้างวงจรต้นแบบ

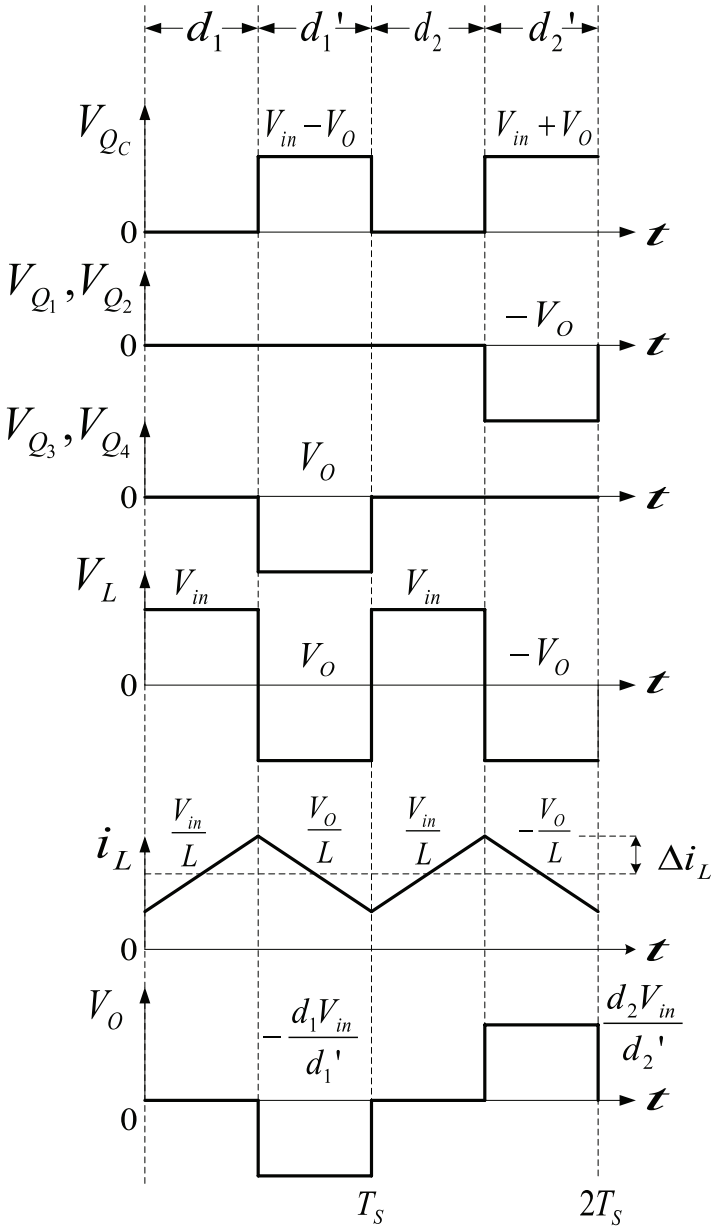
โครงสร้างของวงจรแปลงผันแบบทอน - ทบแรงดันด้านเข้าของแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับแสดงดังรูปที่ 1 วงจรนี้ถูกออกแบบให้สามารถใช้กับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงด้านเข้าที่มีระดับแรงดันสูงกว่าแรงดันแอมปลิจูดด้านออก และสามารถใช้กับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงด้านเข้าที่มีระดับแรงดันต่ำกว่าแรงดันแอมปลิจูดด้านออกได้อีกด้วย โดยอาศัยสวิตช์ Q_C เพื่อควบคุมแรงดันแอมปลิจูดด้านออกที่ต้องการ กำหนดให้ค่าดิวตี้ไซเคิล $D = D_1 = D_2$ โดยที่ D อยู่ในช่วง $0 \le D \le 1$ ซึ่งเป็นไปตามทฤษฎีของวงจรทอน-ทบแรงดันดังนี้

$$V_0 = -V_{in}\frac{D}{D} \tag{1}$$

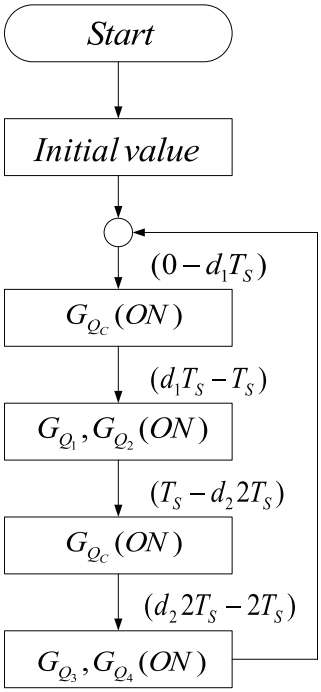


รูปที่ 1 โครงสร้างของวงจรแปลงผันแบบทอน - ทบแรงดันด้านเข้าของแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ

การวิเคราะห์การทำงานของวงจร ซึ่งสามารถอธิบายค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ในวงจรแสดงดังรูปที่ 2 และรูปแบบการควบคุมการทำงานของสวิตช์โดยอัตโนมัติแสดงดังรูปที่ 3

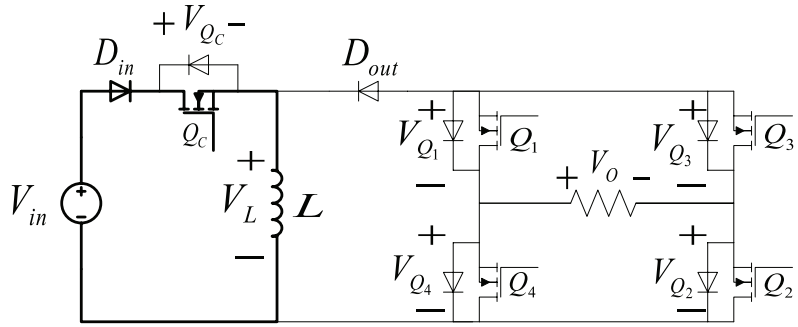


รูปที่ 2 รูปคลื่นสัญญาณแรงดันและกระแส



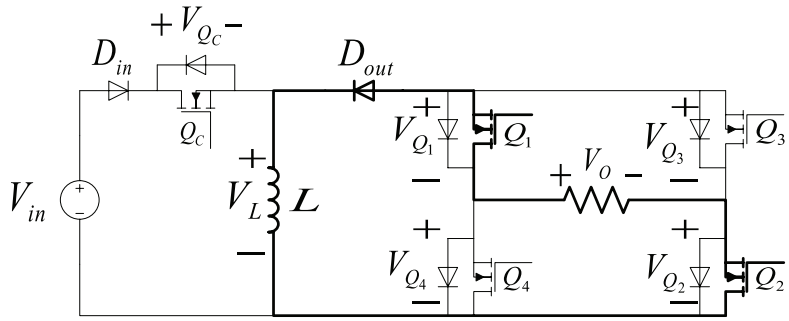
รูปที่ 3 ผังแสดงการทำงานของสวิตช์

1. โหมดทอน - ทบแรงดันด้านเข้า สวิตช์ Q_C จะถูกกำหนดให้นำกระแสนำกระแส เพื่อทำการชาร์จพลังงานให้กับตัวเหนี่ยวนำ ด้วยคาบเวลา $(0-d_1T_S)$ และ $(T_S-d_2 2T_S)$ แสดงดังรูปที่ 4



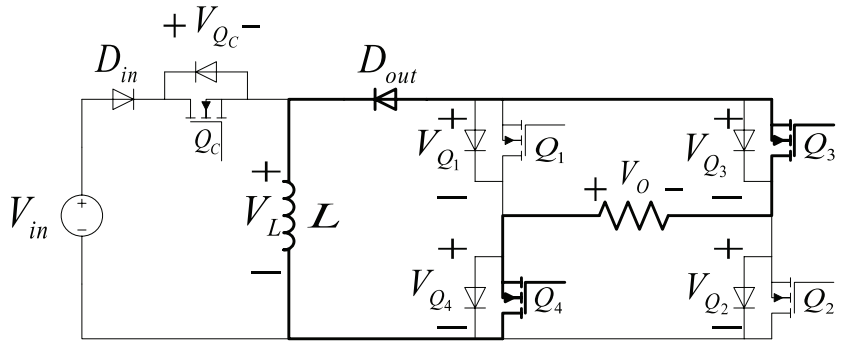
รูปที่ 4 สถานการณ์ทำงานของโหมดทอน - ทบแรงดันด้านเข้า

2. โหมดแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับซีกลบ สวิตช์ Q_1 และ Q_2 จะเริ่มนำกระแสที่คาบเวลา $(d_1T_S-T_S)$ ซึ่งจะเป็นสัญญาณแรงดันซีกลบที่ด้านออกแสดงดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 สถานการณ์ทำงานของโหมดแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสสลับซีกลบ

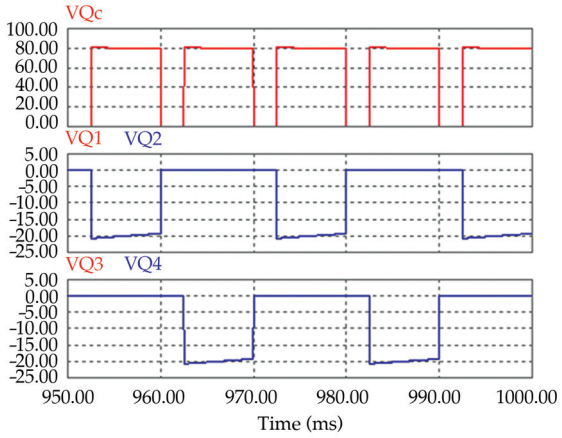
3. โหมดแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับซีกบวก สวิตช์ Q_3 และ Q_4 จะเริ่มนำกระแสที่คาบเวลา $(d_2 2T_S - 2T_S)$ ซึ่งจะเป็นสัญญาณแรงดันซีกบวกที่ด้านออกแสดงดังรูปที่ 6



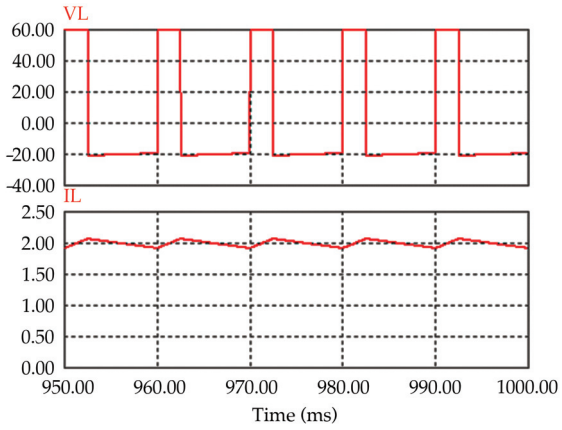
รูปที่ 6 สถานการณ์ทำงานของโหมดแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสสลับซีกบวก

ผลการวิเคราะห์

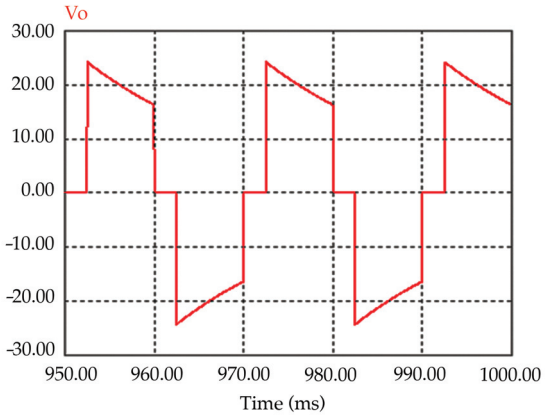
การจำลองการทำงานของวงจรแปลงผันแบบทอน – ทบแรงดันด้านเข้าของแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ กรณีแรงดันด้านเข้าสูงกว่าแรงดันเฉลี่ยด้านออก กำหนดค่าแรงดันด้านเข้า 60 โวลต์ ความถี่การสวิตช์เท่ากับ 50 เฮิรตซ์ โหลดความต้านทานด้านออก 10 โอห์ม ค่าความเหนี่ยวนำ 0.75 เฮนรี่ แรงดันเฉลี่ยด้านออก 20 โวลต์ กำลังไฟฟ้า 40 วัตต์ กำหนดให้รูปคลื่นแรงดันเป็นสัญญาณบนและรูปคลื่นกระแสเป็นสัญญาณล่าง กรณีแรงดันและกระแสอยู่ในรูปเดียวกัน



รูปที่ 7 รูปคลื่นสัญญาณแรงดันที่สวิตช์กรณีแรงดันด้านเข้าสูงกว่าแรงดันเฉลี่ยด้านออก

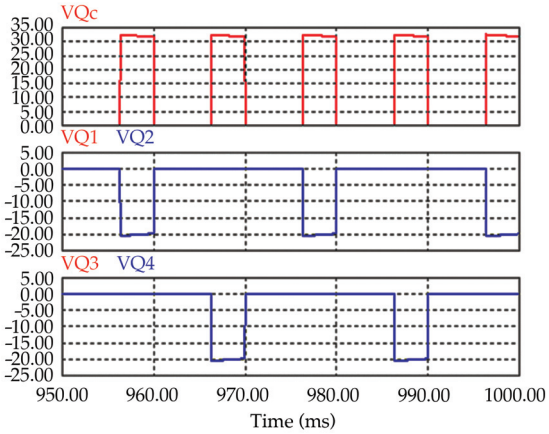


รูปที่ 8 รูปคลื่นสัญญาณแรงดันและกระแสที่ตัวเหนี่ยวนำกรณีแรงดันด้านเข้าสูงกว่าแรงดันเฉลี่ยด้านออก

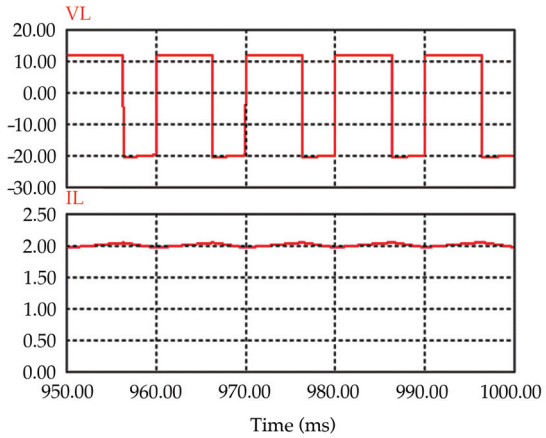


รูปที่ 9 รูปคลื่นสัญญาณแรงดันที่ตัวเหนี่ยวนำ และแรงดันด้านออกกรณีแรงดันด้านเข้าสูงกว่าแรงดันเฉลี่ยด้านออก

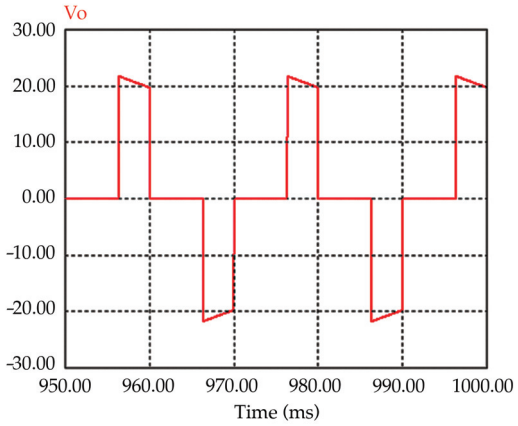
การจำลองการทำงานของวงจรแปลงผันแบบทอน – ทบระดับแรงดันด้านเข้าของแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ กรณีแรงดันด้านเข้าต่ำกว่าแรงดันเฉลี่ยด้านออก กำหนดค่าแรงดันด้านเข้า 12 โวลต์ ความถี่การสวิตช์เท่ากับ 50 เฮิรตซ์ โหลดความต้านทานด้านออก 10 โอห์ม ค่าความเหนี่ยวนำ 0.378 เฮนรี่ แรงดันเฉลี่ยด้านออก 20 โวลต์ กำลังไฟฟ้า 40 วัตต์ กำหนดให้รูปคลื่นแรงดันเป็นสัญญาณบนและรูปคลื่นกระแสเป็นสัญญาณล่าง กรณีแรงดันและกระแสอยู่ในรูปเดียวกัน



รูปที่ 10 รูปคลื่นสัญญาณแรงดันที่สวิตช์กรณีแรงดันด้านเข้าต่ำกว่าแรงดันเฉลี่ยด้านออก



รูปที่ 11 รูปคลื่นสัญญาณแรงดันและกระแสที่ตัวเหนี่ยวนำกรณีแรงดันด้านเข้าต่ำกว่าแรงดันเฉลี่ยด้านออก



รูปที่ 12 รูปคลื่นสัญญาณแรงดันที่ตัวเหนี่ยวนำ และแรงดันด้านออกกรณีแรงดันด้านเข้าต่ำกว่าแรงดันเฉลี่ยด้านออก

สรุปผลการดำเนินการ

ต้นแบบวงจรแปลงผันแบบทอน - ทบแรงดันด้านเข้าของแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับที่นำเสนอในบทความนี้เป็นการรวมวงจรบั๊ก - บูส และวงจรอินเวอร์เตอร์เข้าด้วยกันเพื่อเพิ่มขีดความสามารถในการเพิ่ม และลดแรงดัน รวมไปถึงการแปลงผันแรงดันไฟฟ้า ได้ตามทฤษฎีของวงจรบั๊ก - บูสต์คอนเวอร์เตอร์ ซึ่งทำให้วงจรมีขนาดเล็กกว่า และราคาถูกลงเมื่อเทียบกับวงจรที่ต้องใช้หม้อแปลงในการแปลงผัน ซึ่งจำกัดแรงดันตามค่าสัดส่วนจำนวนรอบของการพันหม้อแปลง รวมไปถึงการทำงานในค่าความถี่ที่จำกัดของหม้อแปลง จากผลการจำลองการทำงานจะเห็นได้ว่าวงจรต้นแบบสามารถรักษาระดับแรงดันเฉลี่ยด้านออกได้ทั้งสองกรณี ซึ่งเป็นการเพิ่มสมรรถนะของวงจรให้สามารถรองรับแรงดันด้านเข้าทั้งแบบที่ระดับแรงดันสูงกว่า และต่ำกว่าแรงดันด้านออก

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย ที่เอื้อเฟื้อสถานที่และอุปกรณ์บางส่วนในการดำเนินการทดลองงานวิจัยในครั้งนี้ อีกทั้งคณาจารย์สาขาวิศวกรรมไฟฟ้าที่คอยให้คำปรึกษา ชี้แนะแนวทางในการทำวิจัยเป็นอย่างดี

References

Chalash S., Umpon B. and Somkid L. (2014). Double input DC-DC Converter for High-Low Voltage. Proceeding of The 6th Conference of Electrical Engineering Network of Rajamangala University of Technology. pp. 26-28

Chalash S. and Pituk B. (2014). Double Input Converters for Different Voltage Sources with Isolated Charger. **KKU Engineering Journal**. Vol. 41. No. 3. pp. 367-372

Chen Y.M., Liu Y.C., and Lin S.H. (2006). Double Input PWM DC/DC Converter for High-/LowVoltage Sources. **Proceedings IEEE Transactions on Industrial Electronics**. pp. 1538-1545

Yalamanchili K.P., Ferdowsi M. and Corzine, K. (2006). New Double input DC-DC Converter for Automotive. **IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference**. pp. 1-6

Hwu K.I. and Peng T.J. (2012). A Novel Buck-Boost Converter Combining KY and Buck Converters. **IEEE Transactions on Power Electronics**. Vol. 27. Issue 5. pp. 2236-2241

Zhu M. and Luo L. (2007). Implementing of Developed Voltage Lift Technique on SEPIC, Cuk and Double-Output DC-DC Converters. **Proceedings d IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications**. pp. 674-681

Somayajula D. and Ferdowsi M. (2010). Small-Signal Modeling and Analysis of the Double-Input Buckboost Converter. **Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC)**. pp. 2111-2115

Dongsheng Y., Min Y. and Xinbo R. (2012). One-Cycle Control for a Double-Input DC/DC Converter. **IEEE Journals & Magazines. Vol.** 27. Issue 11. pp. 4646-4655

Erickson R.W. and Maksimovic D. (2001). **Fundamental of Power Electronics**. 2nd ed. Kluwer Acadamic Publisher