

การเปรียบเทียบเชิงประสิทธิภาพระหว่างวงจรซีต้าคอนเวอร์เตอร์ และวงจรซิงโครนัสซีต้าคอนเวอร์เตอร์

Comparison on Performance between ZETA Converter and Synchronous ZETA Converter

กวีพจน์ วรเนตรสุทธิกุล* วิทยา วงษ์กลาง*** สิริพรรณ ตระกูลดิษฐ์*
วิชิต มาลาเวช* ศักดิ์วีร์ ขุนเพ็ชร* และ สมหมาย ศรีสุข**

Kaweepoj Woranetsuttikul*, Wittaya Wongklang**, Siripan Trakuldit*,
Vichit Malawech*, Sakrapee Khunpetch* and Sommai Srisuk**

บทคัดย่อ

บทความวิจัยนี้นำเสนอการเปรียบเทียบเชิงประสิทธิภาพระหว่างวงจรซีต้าคอนเวอร์เตอร์และวงจรซิงโครนัสซีต้าคอนเวอร์เตอร์ (Zeta converter) โดยพิจารณาจากประสิทธิภาพของวงจรและคุณภาพสัญญาณเอาต์พุตบทความนี้ได้พัฒนางจรซีต้าคอนเวอร์เตอร์แบบทั่วไปที่มีการทำงานในโหมดบั๊ก (Buck) และบูสต์ (Boost) พัฒนามาเป็นวงจรซิงโครนัสซีต้าคอนเวอร์เตอร์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานในการใช้ติดตามกำลังไฟฟ้าสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์ทดสอบโดยการปรับค่าดิวิตซ์ไคเคลตั้งแต่ 0.3-0.7 เพื่อให้สามารถทำงานในโหมดกระแสต่อเนื่องได้ทั้งในโหมดบั๊ก-บูสต์ (Buck-boost) ความถี่ที่ใช้ในการสวิตซ์ซิงสัญญาณใช้ที่ 20kHz ส่วนท้ายเป็นการสรุปประสิทธิภาพของวงจรและค่าระลอกคลื่นของแรงดันเอาต์พุตโดยวงจรที่ได้ทำการพัฒนาขึ้นใหม่มีค่าประสิทธิภาพสูงกว่าวงจรเดิมทำให้สามารถนำวงจรที่ถูกพัฒนาขึ้นไปประยุกต์ใช้ในการติดตามกำลังไฟฟ้าสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์ต่อไป

คำสำคัญ: ซีต้าคอนเวอร์เตอร์, ซิงโครนัสซีต้าคอนเวอร์เตอร์, ประสิทธิภาพ

* อาจารย์ประจำสาขาวิชาเทคโนโลยีไฟฟ้าอุตสาหกรรมคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช e-mail: kaweeppott@hotmail.co.th

** อาจารย์ประจำสาขาวิชาเทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช

*** อาจารย์ประจำสาขาวิชาเทคโนโลยีเครื่องกล คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช

Abstract

This paper presents the performance comparison results of ZETA and synchronous ZETA which focusing on the converter efficiency and the output waveform quality. This paper improved the conventional ZETA converters that operated in both Buck and Boost modes by modifying circuits to be the synchronous ZETA converters for increasing the converter efficiency that used to track the maximum power of solar panel. The operating conditions were setup while the duty cycle changed (0.3 - 0.7) for covering the continuous current modes of buck-boost. Switching frequencies at 20 kHz. Final part is summary of circuit efficiency and ripple of output voltage which the efficiency of proposal circuit is better than conventional circuit. So this circuit could be adapted into tracking the maximum power of solar cell.

Keywords: ZETA converter, Synchronous Zeta converter, Efficiency

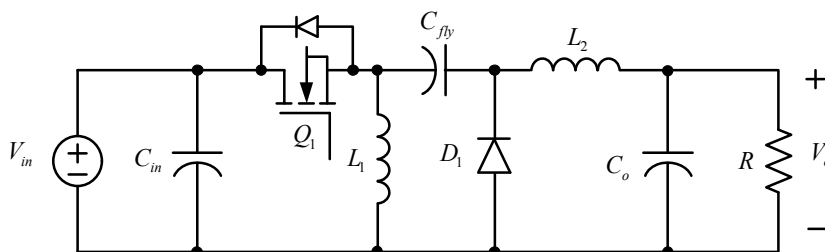
1. บทนำ

ในปัจจุบันเทคโนโลยีพลังงานแสงอาทิตย์ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลาย เพราะพลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์สามารถนำมาใช้ในรูปแบบของพลังงานไฟฟ้าได้เลยโดยใช้เพียงแสงขาวจากดวงอาทิตย์เท่านั้น จึงเป็นที่สนใจในอุตสาหกรรมกลุ่มพลังงาน และได้มีการพัฒนาอุปกรณ์ต่างๆ ซึ่งเป็นส่วนประกอบของเทคโนโลยีพลังงานแสงอาทิตย์ ให้มีการเปลี่ยนแปลงพลังงานดียิ่งขึ้นหรือมีประสิทธิภาพสูงขึ้น สำหรับในขั้นตอนการเปลี่ยนแปลงพลังงานไฟฟ้า ได้นำวิธีการหาจุดจ่ายกำลังไฟฟ้าสูงสุดมาประยุกต์ใช้กับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลัง เพื่อให้ได้กำลังไฟฟ้าด้านเอาต์พุตมากขึ้น มีประสิทธิภาพสูง ลดการสูญเสีย และอุปกรณ์มีขนาดเล็กลง (Blaabjerg, *et al.*, 2005; Niculescu, Niculescu & Purcaru, 2008; Bose, 2009) จึงได้มีแนวโน้มพัฒนาและคิดค้นวงจรที่ใช้หาจุดจ่ายกำลังไฟฟ้าสูงสุดหรือวงจรดีซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์ (DC-DC Converter) ให้สามารถทำงานในโหมดเพิ่มและลดระดับแรงดันได้ดีขึ้น (Blaabjerg, *et al.*, 2005; Bose, 2009; Niculescu, Niculescu & Purcaru, 2008) แต่วงจรที่มีประสิทธิภาพสูงและมีความเสถียรภาพมีน้อย ได้แก่ วงจรบัค-บูสต์คอนเวอร์เตอร์ (Buck-Boost Converter) และวงจรซีพิกคอนเวอร์เตอร์ (Sepic Converter) (Matthew & Kessler, 2010; Gu, 2007; Viero, *et al.*, 2010)

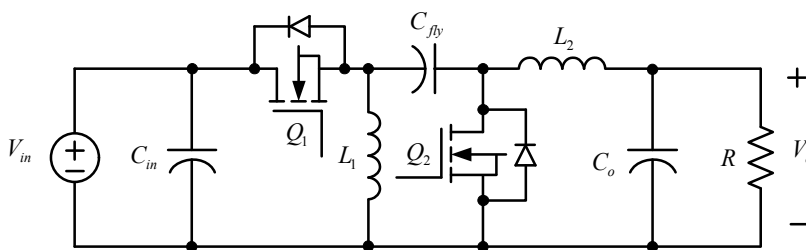
ในการวิจัยนี้ได้นำเสนอวงจรซีต้าคอนเวอร์เตอร์ (Zeta Converter) ที่มีประสิทธิภาพสูงและยังสามารถทำงานในโหมดเพิ่มและลดระดับแรงดันไฟฟ้า อีกทั้งยังพัฒนางจรให้มีประสิทธิภาพและเสถียรภาพมากขึ้นด้วยการเปลี่ยนแปลงวงจรเป็นวงจรซิงโครนัสซีต้าคอนเวอร์เตอร์ (Synchronous ZETA converter) โดยนำวงจรทั้งสองเปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของแรงดันและกระแสทั้งทางด้านอินพุตและทางด้านเอาต์พุตรวมทั้งเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวงจรทั้งสอง นำผลการทดลองเพื่อสรุปผลต่อไป

2. วงจรซีต้าคอนเวอร์เตอร์และซิงโครนัสซีต้าคอนเวอร์เตอร์

ส่วนประกอบของวงจรซีต้าคอนเวอร์เตอร์และซิงโครนัสซีต้าคอนเวอร์เตอร์ จะมีอุปกรณ์เหมือนกัน คือ 1) ตัวเก็บประจุด้านอินพุท (C_{in}) 2) ตัวเก็บประจุที่อยู่ระหว่างกลาง (C_{fy}) 3) ตัวเก็บประจุด้านเอาต์พุท (C_o) 4) ตัวเหนี่ยวนำ 1 (L_1) และ 5) ตัวเหนี่ยวนำ 2 (L_2) สำหรับอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ในการสวิตซ์ซิ่ง(Switching)คือมอสเฟส (MOSFET) โดยวงจรทั้งสองจะแตกต่างกันตรงที่ตำแหน่งไดโอด (D_1) ของวงจรซีต้าคอนเวอร์เตอร์ดังภาพที่ 1 จะเปลี่ยนเป็นมอสเฟส 2 (Q_2) เข้ามาทำงานแทนที่ เพื่อลดการสูญเสียกำลังไฟฟ้าที่ไดโอด ดังภาพที่ 2



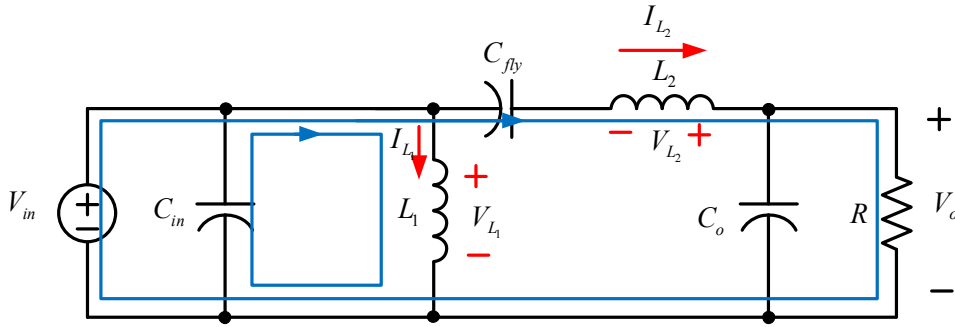
ภาพที่ 1 วงจรซีต้าคอนเวอร์เตอร์



ภาพที่ 2 วงจรซิงโครนัสซีต้าคอนเวอร์เตอร์

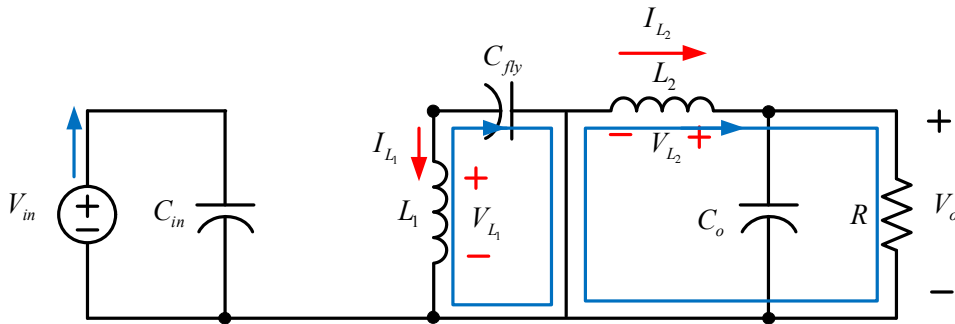
การทำงานในโหมดกระแสต่อเนื่อง (Continuous Conduction Mode: CCM) ของวงจรซีต้าคอนเวอร์เตอร์และวงจรซิงโครนัสซีต้าคอนเวอร์เตอร์จะมีลักษณะการทำงานเหมือนกัน แต่ต่างกันตรงที่การใช้มอสเฟสเข้ามาทำงานแทนที่ไดโอด จากการวิจัยนี้ได้ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ dsPIC30f4011 ทำหน้าที่ให้การสร้างสัญญาณ Pulse-Width Modulation (PWM) เพื่อใช้ในการขับเกด

สำหรับการทำงานของวงจรซิงโครนัสซีต้าคอนเวอร์เตอร์แบ่งออกเป็น 2 ช่วง คือ ช่วงแรกสวิตซ์ Q_1 จะนำกระแส และ Q_2 ไม่นำกระแส โดยกระแสไฟฟ้าจะถูกเข้าไปเก็บไว้ที่ตัวเหนี่ยวนำ L_1 และแรงดันไฟฟ้าถูกชาร์จ (Charge) ประจุเข้าไปยังตัวเก็บประจุ C_{fy} ดังภาพที่ 3 (Falin, 2008)



ภาพที่ 3 สวิตช์ Q₁ ทำงานและ Q₂ หยุดทำงาน

ช่วงที่สองสวิตช์ Q₁ ไม่นำกระแส และ Q₂ จะนำกระแส โดยกระแสไฟฟ้าที่ถูกคายจากตัวเหนี่ยวนำ L₁ ผ่านตัวเหนี่ยวนำ L₂ ไหลลงสู่โหลด และตัวเก็บประจุ C_{fly} จะทำหน้าที่ในการดิสชาร์จ (Discharge) ประจุไฟฟ้าผ่าน Q₂ ไหลลงสู่โหลดดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 สวิตช์ Q₁ หยุดทำงานและ Q₂ ทำงาน

การเพิ่มและลดระดับแรงดันไฟฟ้า สามารถทำได้โดยการกำหนดค่าเปอร์เซ็นต์ดีวตี้ไซเคิล (%Duty cycle) หากค่าเปอร์เซ็นต์ดีวตี้ไซเคิลน้อยกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ดีวตี้ไซเคิล วงจรจะทำงานในโหมดบักคอนเวอร์เตอร์(Buck Converter) หรือลดระดับแรงดันไฟฟ้า แต่กระแสที่ได้จะมีค่าสูงขึ้น หากมีค่าเปอร์เซ็นต์ดีวตี้ไซเคิลมากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ดีวตี้ไซเคิล จะทำงานในโหมดบูสต์คอนเวอร์เตอร์(Boost Converter) หรือเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้า

สมมุติวงจรมีค่าประสิทธิภาพเท่ากับ 100% สมการของวงจรซีต้าคอนเวอร์เตอร์และวงจรซิงโครนัสซีต้าคอนเวอร์เตอร์ ในโหมดกระแสต่อเนื่อง สามารถออกแบบค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของวงจรได้ จากสมการที่ (1)-(7) ดังนี้

$$V_o = V_{in} \times \frac{D}{1-D} \dots\dots\dots (1)$$

ค่า L_1 และ L_2 สามารถหาได้ดังสมการที่ (2)

$$L_{1, \min} = \frac{(1-D)^2}{2Df} \times R \dots\dots\dots (2)$$

$$I_{DC} = \frac{I_o \times V_o}{V_{in, \min} \times E_{ff}} \dots\dots\dots (3)$$

$$I_{sat} \geq 1.15 \times I_{DC} \dots\dots\dots (4)$$

$$C_{fly} = \frac{I_o \times V_o}{(V_{in} + V_o) \times f \times V_{ripple}} \dots\dots\dots (5)$$

$$C_{in} = I_o \times \frac{1}{2 \times f \times I_{ripple} \times V_s} \dots\dots\dots (6)$$

$$C_o = \frac{1-D}{8 \times L \times V_{ripple} \times f_s^2} \dots\dots\dots (7)$$

เมื่อ

C_{in}	คือ ค่าความเก็บประจุด้านอินพุท
C_o	คือ ค่าความเก็บประจุด้านเอาต์พุท
C_{fly}	คือ ค่าความเก็บประจุระหว่างกลาง
D	คือ ค่าดีวตี้ไซเคิล
E_{ff}	คือค่าประสิทธิภาพ
f_s	คือ ความถี่ในการสวิตช์
I_{ripple}	คือ กระแสกระเพื่อม (Ripple current)
I_o	คือ กระแสไฟฟ้าด้านเอาต์พุท
I_{DC}	คือกระแสไฟฟ้าทางด้านอินพุท
I_{sat}	คือกระแสไฟฟ้าสูงสุดด้านอินพุท
L	คือ ค่าความเหนี่ยวนำ
$L_{1, \min}$	คือ ค่าความเหนี่ยวนำที่น้อยสุดในโหมด CCM
R	คือ ค่าความต้านทานที่โหลด
V_{in}	คือ แรงดันอินพุท
$V_{in, \min}$	คือ แรงดันอินพุทน้อยสุด
V_o	คือ แรงดันเอาต์พุท
V_{ripple}	คือ แรงดันกระเพื่อม (Ripple voltage)

3. การจำลองและผลการจำลอง

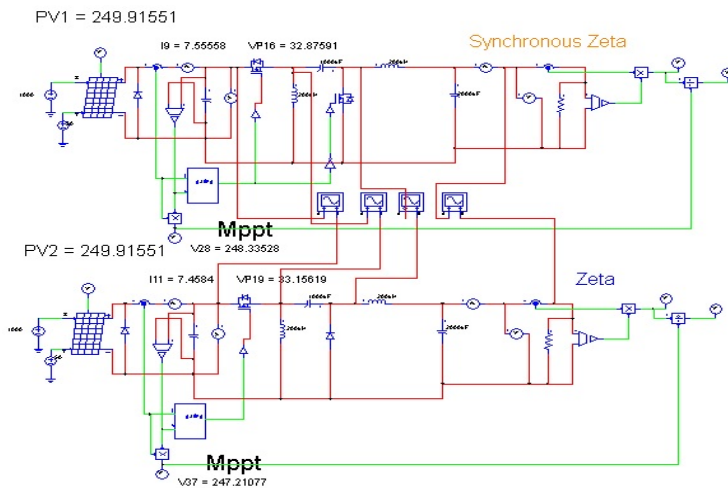
สำหรับการจำลองวงจรเพื่อหาผลของเปอร์เซ็นต์ I_{ripple} และ V_{ripple} ด้านอินพุท เอาท์พุท และเปอร์เซ็นต์ประสิทธิภาพของทั้งสองวงจร โดยกำหนดความถี่ในการสวิตซ์ที่ 20kHz และใช้พารามิเตอร์ในการจำลอง ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการจำลอง

C_{in}	1000 μF	C_{out}	1000 μF
L_1	100 μH	C_{fly}	1000 μF
MOFET	IRF 2807	$R_{ds(on)}$	13 $m\Omega$

3.1 การจำลองวงจร

ในการจำลองการทำงานของวงจรจะใช้โปรแกรม Power sim ดังภาพที่ 5 โดยการปรับค่าดิวิตีไซเคิลตั้งแต่ 0% และปรับเพิ่มขึ้นทีละ 5% ไปจนถึง 65% ดิวิตีไซเคิลเก็บผลข้อมูลทั้ง I_{ripple} และ V_{ripple} ที่เกิดขึ้นนำผลที่ได้ไปเปรียบเทียบระหว่างผลการจำลองของวงจรซีต้าคอนเวอร์เตอร์และวงจรที่ถูกพัฒนาขึ้นเป็นซิงโครนัสคอนเวอร์เตอร์

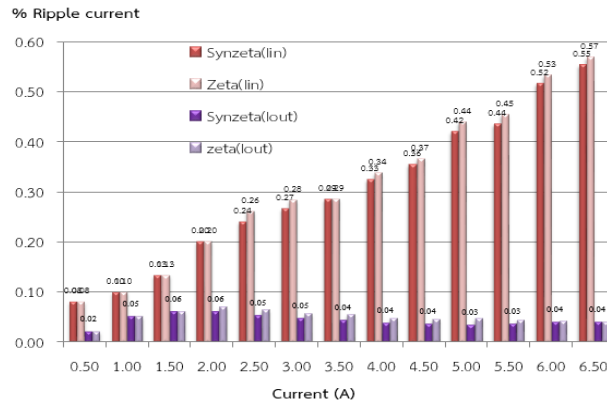


ภาพที่ 5 การจำลองวงจรโดยใช้โปรแกรมPower sim

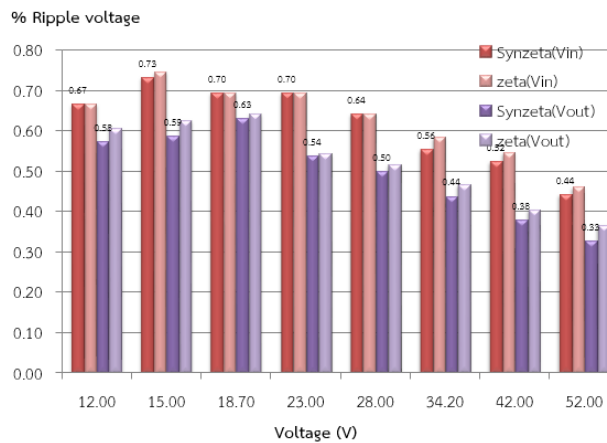
3.2 ผลการจำลองเปรียบเทียบวงจรถีต้าคอนเวอร์เตอร์และวงจรถิงโครนัสซีต้าคอนเวอร์เตอร์

สำหรับผลการจำลองการทำงานของทั้งสองวงจรจะแสดงในรูปแบบของกราฟแท่ง โดยผลที่ได้มีดังนี้ เมื่อทำการเพิ่มค่าเปอร์เซ็นต์ดิวิตีไซเคิลตั้งแต่ 30% จนถึง 70% ดิวิตีไซเคิล จากผลการทดลอง ดังภาพที่ 6 จะเห็นได้ว่าค่า I_{ripple} ของวงจรถิงโครนัสซีต้าคอนเวอร์เตอร์จะมีค่าน้อยกว่าวงจรถีต้าคอนเวอร์เตอร์ แต่ V_{ripple} ดังภาพที่ 7 ของวงจรถีต้าคอนเวอร์เตอร์จะมีค่าน้อยกว่าวงจรถิงโครนัสซีต้าคอนเวอร์เตอร์

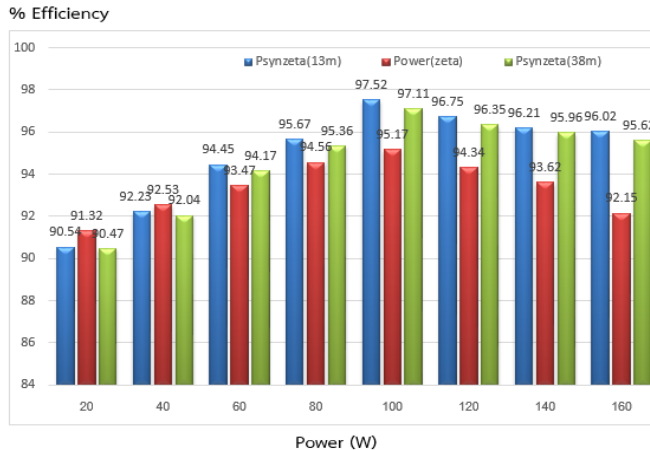
ซึ่งครีนิสซีต้าคอนเวอร์เตอร์ ตลอดทุกช่วงที่มีการทดลอง เนื่องจากผลจากการเปลี่ยนแปลงการสวิตซ์ที่มีการนำมอสเฟสเข้ามาทำงานแทนที่ไดโอด โดยค่า I_{ripple} สูงสุดของทั้งสองวงจรไม่เกิน 0.6% และค่า V_{ripple} สูงสุดของทั้งสองวงจรไม่เกิน 0.8% ซึ่งมีค่าน้อยมากและอยู่ในเกณฑ์ดีมาก ส่วนค่าประสิทธิภาพ ดังภาพที่ 8 จะเห็นได้อย่างชัดเจนว่าวงจรซึ่งครีนิสซีต้าคอนเวอร์เตอร์จะมีค่าประสิทธิภาพมากกว่าวงจรซีต้าคอนเวอร์เตอร์ เนื่องจากการลดการสูญเสียที่ไดโอดโดยการนำมอสเฟสเข้ามาทำหน้าที่แทน



ภาพที่ 6 $\%I_{ripple}$ ทางด้านอินพุทและเอาต์พุทของทั้งสองวงจร



ภาพที่ 7 $\%V_{ripple}$ ทางด้านอินพุทและเอาต์พุทของทั้งสองวงจร



ภาพที่ 8 % ประสิทธิภาพของทั้งสองวงจร

4. การทดลองและผลการทดลอง

สำหรับการทดลองจะใช้ค่าพารามิเตอร์จริงให้เหมือนกับการจำลอง และทำการบันทึกค่าสัญญาณ I_{ripple} และ V_{ripple} ของวงจรทั้งสอง และนำผลการทดลองมาเปรียบเทียบกับผลการจำลอง ซึ่งการทดลองจะประกอบไปด้วย

- 1) ปรับค่า % ดิวตี้ไซเคิล ตั้งแต่ 30% จนถึง 70% เพื่อทดลองการทำงานในโหมด บั๊กคอนเวอร์เตอร์และบูสต์คอนเวอร์เตอร์
- 2) กำหนดค่าความถี่ที่ใช้ในการสวิตซ์ซึ่งที่ 20kHz
- 3) ทำการทดลองโดยการเพิ่มกำลังไฟฟ้าที่โหลด ตั้งแต่ 0W และปรับเพิ่มขึ้นทีละ 20W จนถึง 160W

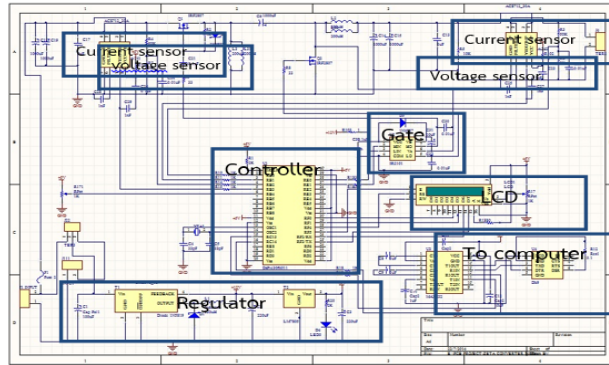
4.1 การทดลอง

กำหนดค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองของวงจรซีต้าคอนเวอร์เตอร์และวงจรซิงโครนัสซีต้าคอนเวอร์เตอร์ ดังตารางที่ 2 โดยมี V_{in} ที่ 28V

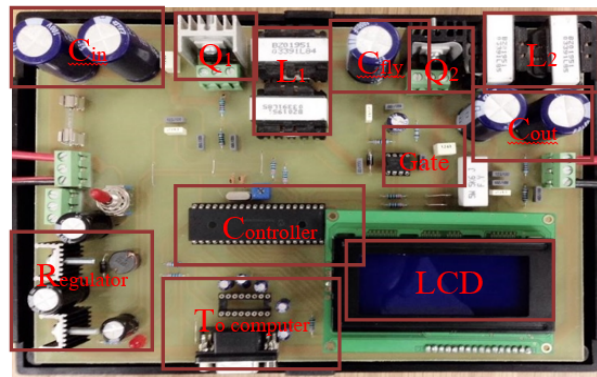
ตารางที่ 2 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง

C_{in}	1000 μ F	C_o	1000 μ F
L_1	100 μ H	L_2	100 μ H
C_{fly}	1000 μ F	f_s	20 kHz
MOSFET	IRF 2807	$R_{ds(on)}$	13 m Ω

สำหรับวงจรที่ออกแบบ (Schematic) เพื่อใช้ในการทดลองจะใช้ โปรแกรม Altium 10 ดังภาพที่ 9 และนำมาสร้างเป็นวงจรจริง ดังภาพที่ 10 เพื่อใช้ในการทดลองหาค่าต่างๆ

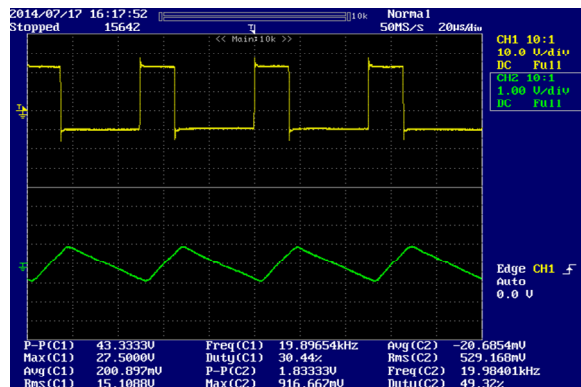


ภาพที่ 9 Schematic

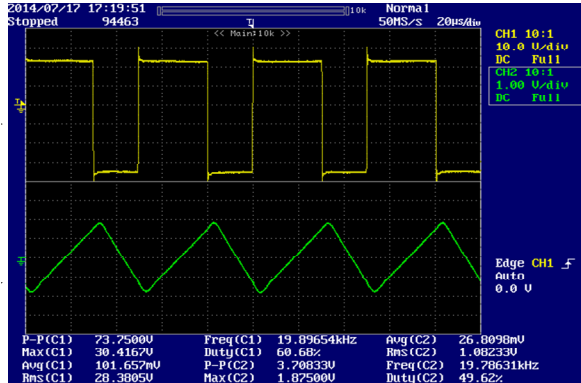


ภาพที่ 10 วงจรที่สร้างจริง

นำวงจรที่สร้างขึ้นมาทดลองเพื่อหาค่าสัญญาณขับเคลื่อนของวงจรทั้งสองสำหรับการทำงาน ทั้งในโหมดบับคอนเวอร์เตอร์และบูสต์คอนเวอร์เตอร์ รวมถึงแสดงค่ากระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่าน ตัวเหนี่ยวนำ L_1 ดังภาพที่ 11 และ 12 ตามลำดับ



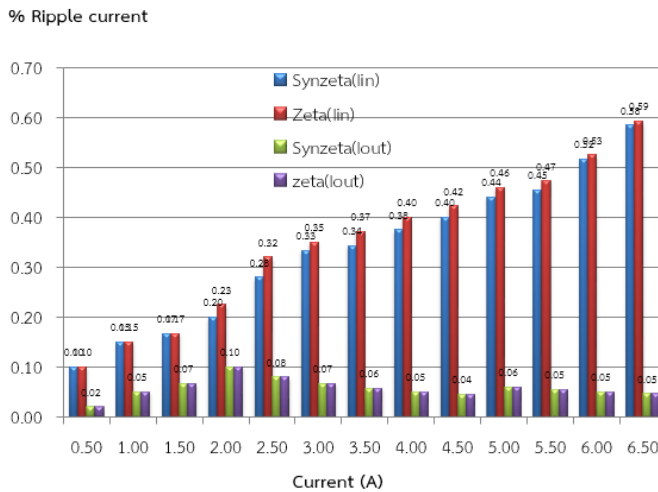
ภาพที่ 11 สัญญาณขับเคลื่อนที่ Q_1 และกระแสที่ L_1 ในโหมดบับคอนเวอร์เตอร์



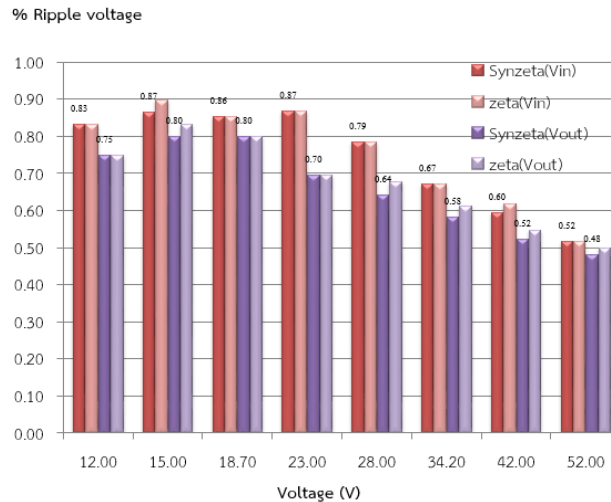
ภาพที่ 12 สัญญาณเกตที่ Q_1 และกระแสที่ L_1 ในโหมดบวสต์คอนเวอร์เตอร์

4.2 ผลการเปรียบเทียบวงจรซิด้าคอนเวอร์เตอร์และวงจรซิงโครนัสซิด้าคอนเวอร์เตอร์

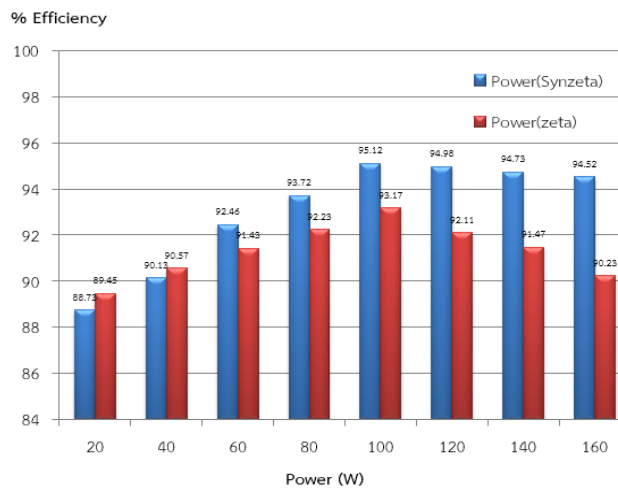
จากการเปรียบเทียบผลการทดลองของทั้งสองวงจร พบว่า I_{ripple} และ V_{ripple} ทางด้านอินพุตและทางด้านเอาต์พุต ดังภาพที่ 13 และ 14 ตามลำดับ ผลที่ได้จะไม่แตกต่างกัน เนื่องจากอุปกรณ์หลักๆ ยังคงเหมือนเดิม แต่เมื่อทำการเปรียบเทียบผลของประสิทธิภาพ พบว่า วงจรซิงโครนัสซิด้าคอนเวอร์เตอร์มีค่าประสิทธิภาพที่สูงกว่าวงจรซิด้าคอนเวอร์เตอร์เนื่องจากการใช้มอสเฟสเข้ามาทำหน้าที่แทนจะมีการสูญเสียที่ $R_{ds(ON)}$ ซึ่งทำให้มีค่าน้อยลงเมื่อเทียบกับแรงดันที่ตกคร่อมไดโอดดังภาพที่ 15



ภาพที่ 13 %Ripple current



ภาพที่ 14 %Ripple voltage



ภาพที่ 15 ประสิทธิภาพ

4. การอภิปรายผล หรือการวิจารณ์และสรุป

สรุปผลการวิจัย ผู้วิจัยได้ทำการสร้างวงจรซีต้าคอนเวอร์เตอร์และวงจรซิงโครนัสซีต้าคอนเวอร์เตอร์ภายในบอร์ดเดียวกัน เพียงแต่ทำการเพิ่มประสิทธิภาพโดยการเปลี่ยนการทำงานที่ไดโอดเป็นการใช้มอสเฟสเข้ามาทำหน้าที่แทน พบว่า วงจรทั้งสองมีค่า I_{ripple} และ V_{ripple} ไม่แตกต่างกัน เนื่องจากอุปกรณ์การทำงานหลักๆของทั้งสองวงจรยังทำงานเหมือนกัน โดยค่า I_{ripple} อยู่ที่ไม่เกิน 0.6% และ V_{ripple} ไม่เกิน 1% แต่เมื่อเปรียบเทียบผลของประสิทธิภาพ พบว่า วงจรซิงโครนัสซีต้าคอนเวอร์เตอร์มีประสิทธิภาพที่สูงกว่าวงจรซีต้าคอนเวอร์เตอร์ โดยมีค่าประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น 2-3% เนื่องจาก

การสูญเสียที่ไดโอดมีค่ามากกว่าการสูญเสียที่มอสเฟสเนื่องจากการใช้มอสเฟสเข้ามาทำหน้าที่แทน จะมีการสูญเสียที่ $R_{ds(ON)}$ ซึ่งทำให้มีค่าน้อยลงเมื่อเทียบกับแรงดันที่ตกคร่อมไดโอดนั่นเอง

5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบคุณคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม และสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช ที่ให้การสนับสนุนในการเขียนบทความวิจัย

6. เอกสารอ้างอิง

- Blaabjerg, F.; Consoli, A.; Ferreira, J.A.J. & Vanwyk, D. (2005). The future of electronic power processing and conversion. **IEEE Transactions on Industry Applications**, 41(1), 3-8.
- Bose, B.K. (2009). The past, present, and future of power electronics – Guest introduction. **IEEE on Industrial Electronics Magazine**, 3, 7-11.
- Falin, J. (2008). Designing DC/DC converters based on SEPIC topology. **Analog Applications Journal**, 1-6.
- Gu, W. (2007). Designing A SEPIC Converter. **National Semi-conductor**, Application Note 1484, June 2007, 1-6.
- Matthew, C. & Kessler. (2010). Synchronous Inverse SEPIC Using the ADP1870/ADP1872 Provides High Efficiency for Noninverting Buck/Boost Applications. **AN-1075**, 1-7.
- Niculescu, E.; Niculescu, M.C. & Purcaru, D.M. (2008). Modelling the PWM Zeta Converter in Discontinuous Conduction Mode. **Electrotechnical Conference**, 651-657.
- Stalter, O.; Kranzer, D.; Rogalla, S. & Burger, B. (2010). Advanced Solar Power Electronics. **Proc. of International Symposium on Power Semiconductor Devices & ICs - ISPSD**, 3-10.
- Viero, R.C.; Lopez, H.F.M.; Zollmann, C.A. & dos Reis, F.S. (2010). Dynamic Modeling of a Sinusoidal Inverter Based on ZETA Converter Working in DCM for PV Arrays. **Annual Conference on IEEE Industrial Electronics Society**, 439-444.