การออกแบบและจำลองการปรับปรุงตัวประกอบกำลังสำหรับวงจรเซปิคคอนเวอร์เตอร์โดยใช้เทคนิคการมอดูเลตแบบเดลต้า

Design and Simulation of Power Factor Correction for SEPIC Converter by Using Delta Modulation Technique

วทัญญู มีศรีสุข[1*] และอนุวัฒน์ จางวนิชเลิศ[2]

[1]สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม
[2]ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
[*]watanyu@webmail.npru.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการออกแบบและการจำลองการปรับปรุงตัวประกอบกำลังด้านไลน์อินพุตของวงจรเซปิคคอนเวอร์เตอร์ เนื่องจากวงจรเซปิคคอนเวอร์เตอร์ จะมีความไม่เป็นเชิงเส้น เป็นผลทำให้กระแสอินพุตของวงจรมีความผิดเพี้ยนไปจากสัญญาณไซน์และยังทำให้ตัวประกอบกำลังของวงจรมีค่าต่ำ ด้วยเหตุนี้จึงได้ทำการนำเสนอเทคนิคการปรับปรุงตัวประกอบกำลังเพื่อควบคุมการทำงานของวงจรเรียกว่าเทคนิคการมอดูเลตแบบเดลต้า โดยทำการจำลองการทำงานของวงจรด้วยโปรแกรม PSIM ที่พิกัดแรงดันไฟฟ้าขาเข้า 100 โวลต์ พิกัดกำลังงานขาออก 700 วัตต์ โดยได้ทำการเปรียบเทียบผลการจำลองระหว่างกรณีควบคุมแบบวงรอบเปิดและกรณีใช้การมอดูเลตแบบเดลต้าโดยใช้พารามิเตอร์เดียวกันพบว่าเทคนิคการมอดูเลตแบบเดลต้าสามารถลดความความผิดเพี้ยนของรูปคลื่นกระแสด้านอินพุตได้เป็นอย่างดีและทำให้ตัวประกอบกำลังของวงจรมีค่าเข้าใกล้ 1

คำสำคัญ: ตัวประกอบกำลัง มอดูเลตแบบเดลต้า เซปิคคอนเวอร์เตอร์

Abstract

This paper presents the design and simulation of power factor correction on input side of SEPIC converter. Since the SEPIC converter is non-linear system, the line input current (i_S) has a distortion from a sinusoidal signal and the power factor of circuit (PF) is low value. So, this research proposes a power factor correction technique which is called delta modulation for controlling a SEPIC converter. The operation of circuit was simulated by PSIM simulation software at 100 Volt rated input voltage, rated output power of 700 Watt. In addition, the result of simulation in case of using the delta modulation technique was compared with an open-loop control case by using the same parameters. It is found that the delta modulation can reduce a distortion of input current remarkably and improve a power factor of circuit nearly 1.

Keywords: power factor, delta modulation, SEPIC converter

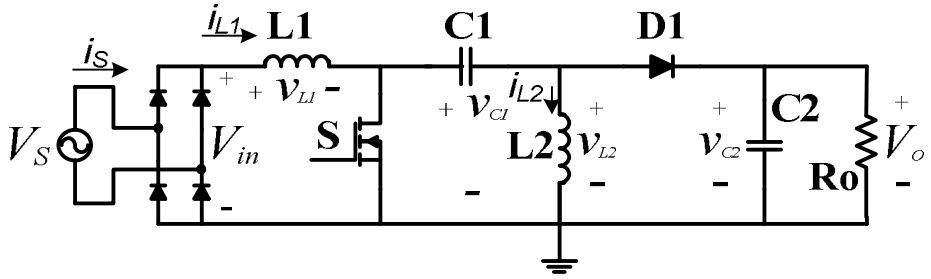
1. บทนำ

ในปัจจุบันนี้ได้มีการนำวงจรทางอิเล็กทรอนิกส์กำลังมาใช้งานกันอย่างแพร่หลายที่เกี่ยวข้องกับการแปลงผันกำลังงานไฟฟ้า เช่นการแปลงผันกำลังงานไฟฟ้าจากระบบไฟฟ้าให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรงที่มีระดับแรงดันไฟฟ้าเหมาะสมต่อการชาร์จแบตเตอรี่หรือการแปลงผันระดับแรงดันไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ให้มีค่าสูงขึ้นเพื่อใช้งานกับอินเวอร์เตอร์ ดังนั้นวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสตรงจึงมีความจำเป็นต่อการนำมาใช้ในงานดังกล่าว โดยเฉพาะอย่างยิ่งวงจรแปลงผันกำลังงานไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสตรง (DC /DC Converter) เป็นที่นิยมใช้งานกันมาก เช่นวงจรบั๊ค-บูสท์ คอนเวอร์เตอร์ วงจรชุค คอนเวอร์เตอร์ เป็นต้น เนื่องจากวงจรทั้งสองดังกล่าวมีข้อดีคือสามารถลดและเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตได้ตรงตามความต้องการกับงานนั้นๆ แต่ก็ยังคงมีปัญหาบางประการได้แก่ค่าของแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตที่ได้นั้นมีค่าเป็นลบ เพื่อที่จะเป็นการแก้ไขปัญหาในเรื่องนี้จึงได้มีการนำเสนอวงจรแปลงผันกำลังงานไฟฟ้ากระแสตรงที่เรียกว่าวงจรเซปิคคอนเวอร์เตอร์ (SEPIC) ซึ่งให้ค่าแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตที่มีค่าเป็นบวกและยังสามารถลดและเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตได้เหมือนกับวงจรบั๊ค-บูสท์ คอนเวอร์เตอร์ วงจรชุค คอนเวอร์เตอร์ แต่ในการใช้งานวงจรเซปิคคอนเวอร์เตอร์ในกรณีที่ใช้แหล่งจ่ายไฟจากระบบของการไฟฟ้านั้น ยังพบปัญหาที่สำคัญคือเกิดความผิดเพี้ยนของกระแสอินพุต ขึ้นทำให้ผลรวมความผิดเพี้ยนทางฮาร์มอนิกส์ (THDi) ของกระแสสูงซึ่งอาจส่งผลเสียต่อระบบไฟฟ้าได้ อีกประการหนึ่งคือค่าตัวประกอบกำลังของวงจรมีค่าค่อนข้างต่ำ ดังนั้นเพื่อที่จะเป็นการแก้ไขปัญหาดังกล่าวในบทความนี้จึงได้ทำการนำเสนอเทคนิคการมอดูเลตแบบเดลต้าสำหรับการควบคุมวงจรเซปิคคอนเวอร์เตอร์ (Kanaan et al., 2004;Keipour et al., 2012;Lin et al.,2007) ซึ่งสามารถที่จะลดความผิดเพี้ยนทางฮาร์มอนิกของกระแสอินพุตและปรับปรุงตัวประกอบกำลังของวงจรให้ดีขึ้น ซึ่งจะได้ทำการออกแบบและจำลองการควบคุมวงจรเซปิคคอนเวอร์เตอร์โดยใช้เทคนิคการมอดูเลตแบบเดลต้า

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 วงจรเซปิคคอนเวอร์เตอร์ (Hart, 2011)

วงจรเซปิคคอนเวอร์เตอร์เป็นวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสตรงที่สามารถให้ค่าแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตที่มีค่ามากกว่าหรือน้อยกว่าแรงดันไฟฟ้าด้านอินพุตก็ได้ขึ้นอยู่กับช่วงเวลาการทำงานของสวิตช์ภายในวงจรหรือที่เราเรียกว่าดิวตี้ไซเกิล (D) โดยวงจรเซปิคคอนเวอร์เตอร์เป็นดังภาพที่ 1 ซึ่งประกอบไปด้วยตัวเหนี่ยวนำเป็นตัวเก็บสะสมพลังงาน L1 และ L2 ตัวเก็บประจุ C1 และตัวเก็บประจุ C2 ซึ่งต่ออยู่กับโหลดเพื่อลดค่าแรงดันไฟฟ้ากระเพื่อมด้านขาออก ไดโอด D1 ถูกต่ออนุกรมกับตัวเก็บประจุ C1 เพื่อกำหนดทิศทางการไหลของกระแสและใช้มอสเฟต S เป็นสวิตช์ในวงจร



ภาพที่ 1 วงจรเซปิคคอนเวอร์เตอร์

แรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตของวงจรสามารถหาได้จาก

$$V_O = V_{in}\left(\frac{D}{1-D}\right) \quad (1)$$

2.2 ตัวประกอบกำลังของวงจรเซปิคคอนเวอร์เตอร์

ในการใช้ไฟฟ้าจากระบบไฟฟ้าเป็นแหล่งจ่ายไฟให้กับวงจรเซปิคคอนเวอร์เตอร์จะทำให้เกิดความผิดเพี้ยนไปของรูปคลื่นกระแสอินพุต (i_s) เป็นผลอันเนื่องมาจากความไม่เป็นเชิงเส้นของวงจรเซปิค ดังนั้นจึงทำให้เกิดฮาร์มอนิกลำดับต่างๆขึ้นซึ่งฮาร์มอนิกที่เกิดขึ้นนี้จะส่งผลเสียต่อระบบไฟฟ้า (วีระเชษฐ์ และวุฒิพล,2549) นอกจากนี้แล้วยังส่งผลทำให้ค่าตัวประกอบกำลังด้านอินพุตของวงจรมีค่าต่ำลงเป็นไปตาม (2)

$$PF = \frac{1}{\sqrt{1+THD_i^{\,2}}} \cdot \cos\varphi_1 \quad (2)$$

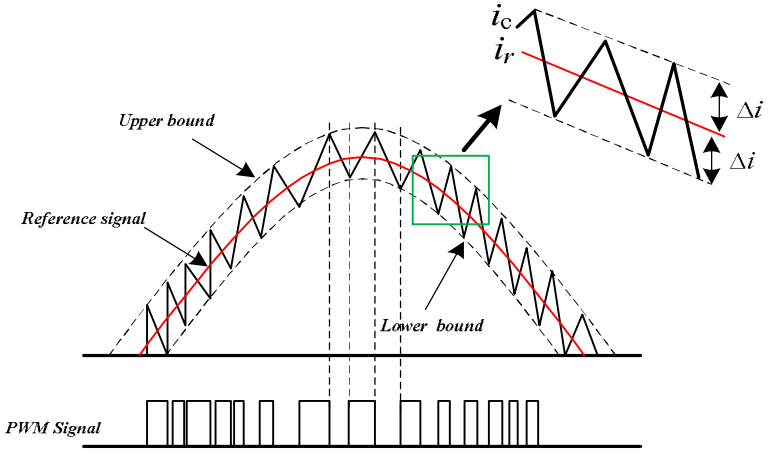
เมื่อ THD_i คือค่าความผิดเพี้ยนรวมทางฮาร์มอนิกของรูปคลื่นกระแส

$\cos\varphi_1$ คือค่าตัวประกอบกำลัง displacement พิจารณาที่ความถี่มูลฐาน

ดังนั้นเพื่อที่จะลดผลเสียที่เกิดขึ้นจากวงจรเซปิคคอนเวอร์เตอร์ที่มีต่อระบบไฟฟ้า จึงได้นำเสนอเทคนิคและวิธีการเพื่อที่จะปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังด้านอินพุตของวงจรเซปิคคอนเวอร์เตอร์โดยใช้เทคนิคที่เรียกว่าการมอดูเลตแบบเดลต้า

2.3 เทคนิคการมอดูเลตแบบเดลต้า

เทคนิคการมอดูเลตแบบเดลต้า(Chen et al, 2008; Kheraluwa &Divan, 1990; Kimball et al, 2006) มีการใช้งานอย่างแพร่หลาย เนื่องจากเป็นเทคนิคที่สามารถควบคุมให้กระแสมีลักษณะใกล้เคียงรูปคลื่นไซน์ เหมาะสำหรับใช้ควบคุมอินเวอร์เตอร์และขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับเมื่อต้องการควบคุมให้เส้นแรงแม่เหล็กคงที่ (Field Oriented Control) ซึ่งในบทความนี้จะนำเทคนิคการมอดูเลตแบบเดลต้านี้มาประยุกต์ใช้ควบคุมวงจรแปลงผันกำลังงานไฟฟ้ากระแสตรงชนิดเซปิคคอนเวอร์เตอร์เพื่อใช้สร้างสัญญาณควบคุมสวิตช์ในวงจร ซึ่งลักษณะรูปคลื่นสัญญาณการมอดูเลตแบบเดลต้าสามารถแสดงได้ดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 รูปคลื่นสัญญาณการมอดูเลตแบบเดลต้า

จากภาพที่ 2 ความถี่สวิตช์ f_s และค่าดิวตี้ไซเกิล D ของการมอดูเลตแบบเดลต้า จะขึ้นอยู่กับขอบเขตของแถบฮิสเตอรีซิส Δi ความชันของสัญญาณพาหะ S_c และความชันของสัญญาณอ้างอิงไซน์ S_r สามารถหาค่าได้ดังนี้

$$f_s = \frac{S_c^2 - S_r^2}{4 \cdot \Delta v \cdot S_c} \tag{3}$$

$$D = \frac{1}{2}\left(1 + \frac{S_r}{S_c}\right) \tag{4}$$

ถ้าสัญญาณอ้างอิง (Reference signal) i_r เป็นสัญญาณไซน์ จะได้ว่า

$$i_r = I_m \sin \omega t \tag{5}$$

เมื่อ I_m คือแอมปลิจูด หน่วยเป็นโวลต์
ω คือความถี่เชิงมุม หน่วยเป็น เรเดียนต่อวินาที

ถ้าทำการอนุพันธ์สมการที่ (5) ทำให้ได้ค่าความชันของสัญญาณอ้างอิงไซน์ ดังสมการ

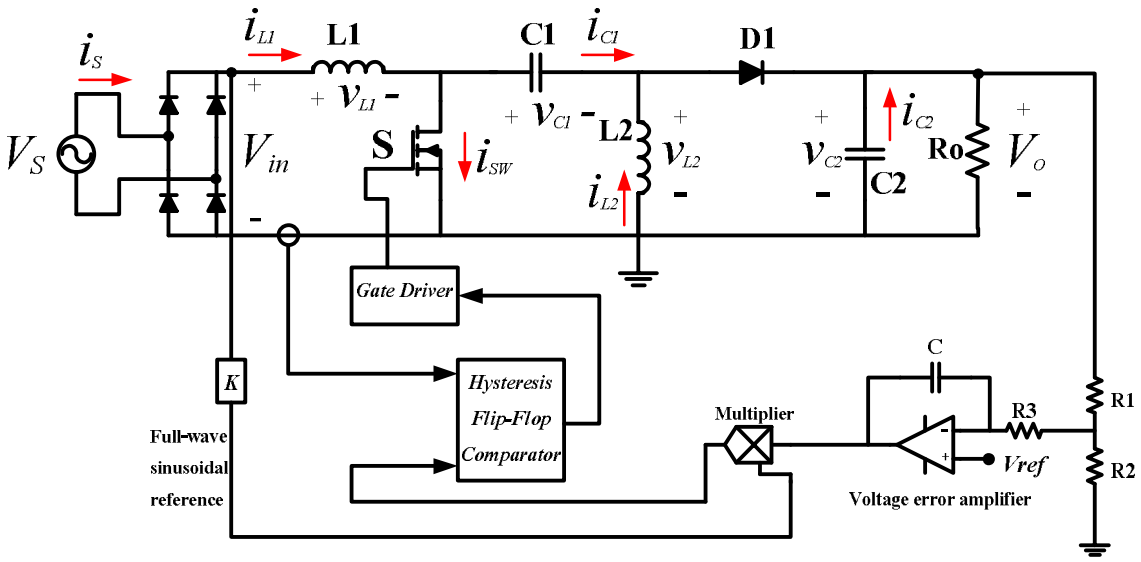
$$S_r = \omega I_m \cos \omega t \tag{6}$$

และความชันของสัญญาณพาหะสามารถแสดงได้ดังสมการ

$$S_C = \begin{cases} \dfrac{V_{in}}{L_1}, S \Rightarrow ON \\ \dfrac{V_{in} - V_O - v_{C1}}{L_1}, S \Rightarrow OFF \end{cases} \tag{7}$$

3. หลักการทำงาน

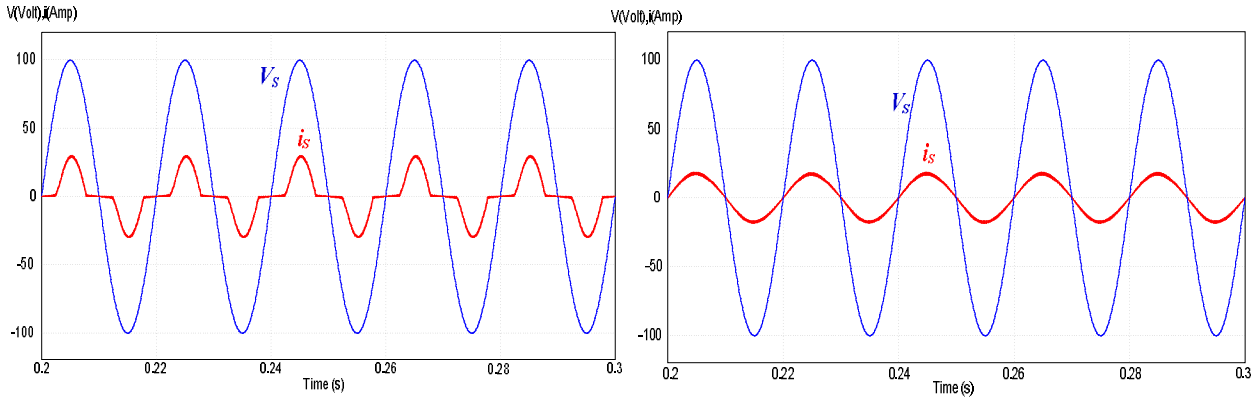
การทำงานของการควบคุมโดยใช้เทคนิคการมอดูเลตแบบเดลต้าสามารถแสดงได้ดังภาพที่ 3 โดยการทำงานจะเริ่มจากการตรวจจับแรงดันไฟฟ้าด้านเอาต์พุตของวงจรเพื่อนำมาเปรียบเทียบกับค่าแรงดันอ้างอิง (*Vref*) โดยใช้วงจรขยายความผิดพลาดแรงดัน (Voltage error amplifier) จากนั้นสัญญาณเอาต์พุตที่ได้จากวงจรขยายดังกล่าวจะถูกนำมาคูณด้วยตัวคูณ (Multiplier)เข้ากับสัญญาณแรงดันไซน์เต็มคลื่น (Full-wave sinusoidal reference) ที่ตรวจจับมาจากวงจรเรียงกระแสแบบเต็มบริดจ์ สัญญาณเอาต์พุตที่ได้จากการคูณกันจะถูกส่งต่อไปยังวงจรเปรียบเทียบฮิสเตอรีซิสแบบฟลิปฟลอป (Hysteresis flip-flop comparator) เพื่อนำมาเปรียบเทียบกับกระแสจริงของวงจรที่ตรวจได้ สัญญาณเอาต์พุตที่ได้จะเป็นสัญญาณควบคุมสวิตช์พีดับเบิลยูเอ็ม (PWM) จากนั้นสัญญาณ PWM ดังกล่าวจะถูกส่งผ่านไปยังวงจรขับเกตเพื่อปรับระดับแรงดันให้สามารถขับสวิตช์มอสเฟต



ภาพที่ 3 หลักการทำงานเทคนิคการมอดูเลตแบบเดลต้า

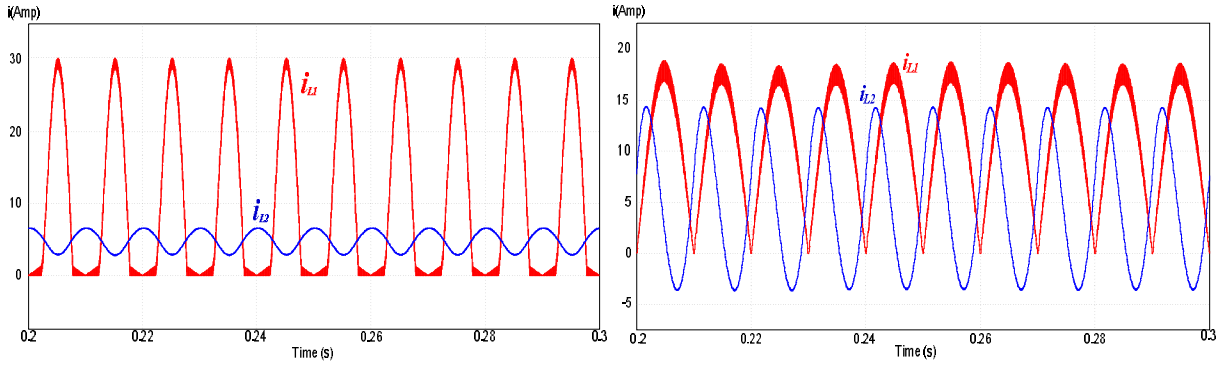
4. ผลการศึกษา

ในการทดสอบการออกแบบเทคนิคการมอดูเลตแบบเดลต้าที่ใช้ในการควบคุมการทำงานของวงจรเซปิคคอนเวอร์เตอร์ จะกระทำการทดสอบการทำงานจากการจำลองโดยโปรแกรม PSIM โดยได้ทำการออกแบบและใช้พารามิเตอร์ต่างๆ ของวงจรเซปิคคอนเวอร์เตอร์ดังนี้ L1 = 800 µH , C1 = 500 µF , L2 = 10 mH , C2 = 1500 µF และ Ro = 30 Ω และในส่วนของวงจรขยายความผิดพลาดของแรงดันจะใช้พารามิเตอร์ R1 = 100 kΩ , R2 = 1kΩ ,R3 = 1kΩ และ C = 1 µF ซึ่งในการทดสอบการจำลองจะกระทำที่แรงดันขาเข้า V_S = 100 Vpeak แรงดันขาออกเฉลี่ย 145 V ที่กำลังไฟฟ้าขาออก 700 Watt และเพื่อชี้ให้เห็นถึงประโยชน์ของเทคนิคการมอดูเลตแบบเดลต้าที่ได้นำเสนอนี้ จะทำการจำลองเพื่อเปรียบเทียบการทำงานของวงจรเซปิคคอนเวอร์เตอร์ในกรณีที่ควบคุมด้วยการมอดูเลตแบบเดลต้ากับในกรณีที่ควบคุมแบบลูปเปิดโดยผลการทดสอบที่ได้เป็นดังนี้



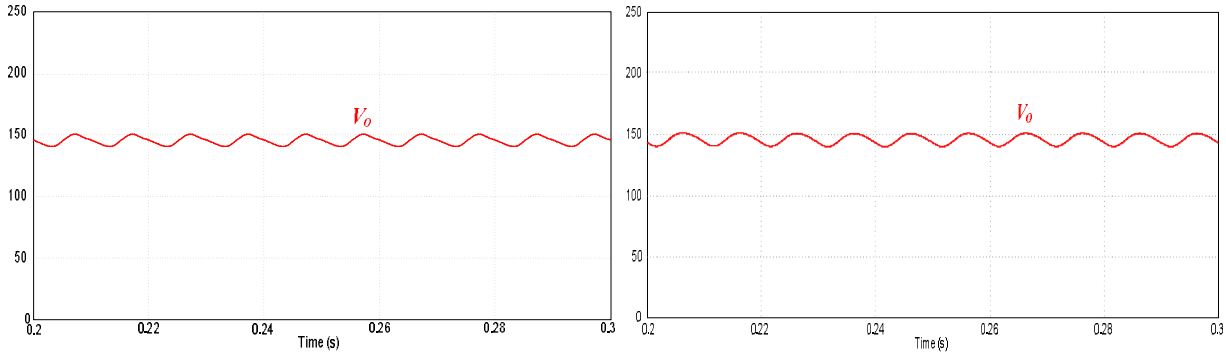
(ก) $V_{s,rms}$ = 70.71 V และ $i_{s,rms}$ = 15.18 (ข) $V_{s,rms}$ = 70.71 V และ $i_{s,rms}$ = 12.12 A

ภาพที่ 4 แรงดันอินพุต (V_S) และกระแสอินพุต (i_S) ของวงจร (ก) Open-Loop (ข) Delta-Modulation



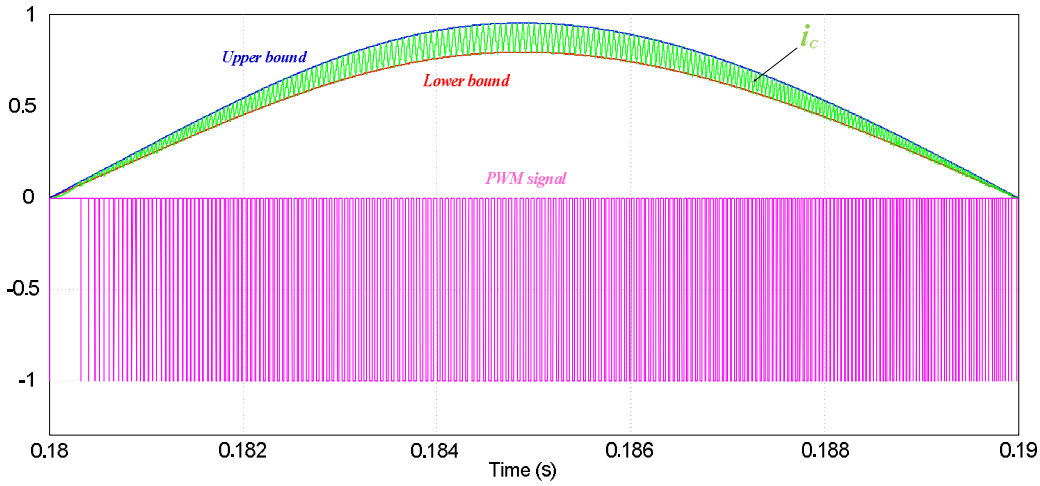
(ก) i_{L1} = 15.18 A และ i_{L2} = 5.04 A (ข) i_{L1} = 12.12 A และ i_{L2} = 7.97 A

ภาพที่ 5 กระแสตัวเหนี่ยวนำ (i_{L1}) และ (i_{L2}) ของวงจร (ก) Open-Loop (ข) Delta-Modulation



(ก) $V_{O,avg}$ = 145.68 V และ %ripple voltage = 6.79 % (ข) $V_{O,avg}$=145.74 V และ %ripple voltage = 7.29 %

ภาพที่ 6 แรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตของวงจร (ก) Open-Loop (ข) Delta-Modulation



ภาพที่ 7 การสร้างสัญญาณ PWM ด้วยวิธีการมอดูเลตแบบเดลต้า

จากภาพที่ 4(ก) และ 4(ข) เป็นผลการจำลองแรงดันไฟฟ้าอินพุต (V_S) และกระแสไฟฟ้าอินพุต (i_S) ของวงจรเซปิคคอนเวอร์เตอร์ในกรณีที่ควบคุมแบบวงรอบเปิดและกรณีที่ควบคุมด้วยเทคนิคการมอดูเลตแบบเดลต้า จะเห็นได้ชัดเจนว่ากรณีที่ควบคุมด้วยเทคนิคการมอดูเลตแบบเดลต้านั้นจะทำให้กระแสไฟฟ้าอินพุต (i_S) มีความใกล้เคียงรูปคลื่นไซน์มากกว่าในกรณีที่

ควบคุมแบบวงรอบเปิดทั่วไป โดยในกรณีที่ควบคุมแบบวงรอบเปิดค่าแรงดันอินพุตประสิทธิผล($V_{S,rms}$) เท่ากับ 70.71 V และค่ากระแสอินพุตประสิทธิผล ($i_{S,rms}$) เท่ากับ 15.18 A ในขณะที่กรณีที่ควบคุมด้วยเทคนิคการมอดูเลตแบบเดลต้านั้นจะมีค่าแรงดันอินพุตประสิทธิผล($V_{S,rms}$) เท่ากับ 70.71 V และค่ากระแสอินพุตประสิทธิผล ($i_{S,rms}$) เท่ากับ 12.12 A ซึ่งจะสังเกตได้ว่าเมื่อทำการปรับปรุงตัวประกอบกำลัง (PF) แล้วกระแสอินพุตที่ใช้จะลดลงที่พิกัดกำลังงานเอาต์พุตเท่ากัน เมื่อทำการวัดค่า THDi ของกระแสอินพุตและค่าตัวประกอบกำลัง (PF) ของทั้งสองกรณีพบว่าในกรณีควบคุมด้วยเทคนิคการมอดูเลตแบบเดลต้ามีค่า THDi และตัวประกอบกำลัง (PF) ดีกว่ากรณีที่ควบคุมแบบวงรอบเปิดซึ่งค่าที่ได้เป็นไปตามตารางที่ 1

ภาพที่ 5(ก) และ 5(ข) แสดงรูปคลื่นกระแสของตัวเหนี่ยวนำ i_{L1} และ i_{L2} โดยในกรณีที่ควบคุมแบบวงรอบเปิดค่ากระแสตัวเหนี่ยว $L1$ และ $L2$ มีค่าประสิทธิผลเท่ากับ 15.18 A และ 5.04 A ตามลำดับ ส่วนกรณีที่ควบคุมด้วยเทคนิคการมอดูเลตแบบเดลต้าค่ากระแสตัวเหนี่ยว $L1$ และ $L2$ มีค่าประสิทธิผลเท่ากับ 12.12 A และ 7.97 A ตามลำดับ ภาพที่ 6(ก) และ 6(ข) แสดงรูปแรงดันไฟฟ้าด้านเอาต์พุตของวงจร ในกรณีที่ควบคุมแบบวงรอบเปิดมีค่าแรงดันเอาต์พุตเฉลี่ยเท่ากับ 145.68 V และมีค่าแรงดันกระเพื่อม 6.79 % ในกรณีที่ควบคุมด้วยเทคนิคการมอดูเลตแบบเดลต้านั้นมีค่าแรงดันเอาต์พุตเฉลี่ยเท่ากับ 145.74 V และสามารถวัดค่าแรงดันกระเพื่อมได้เท่ากับ 7.29 % และภาพที่ 7 แสดงแถบฮิสเตอรีซิสสำหรับการสร้างสัญญาณควบคุมพีดับเบิลยูเอ็มที่ใช้ในการจำลองเทคนิคการมอดูเลตแบบเดลต้าซึ่งจะพบว่าสัญญาณควบคุมพีดับเบิลยูเอ็มที่ได้จะมีค่าดิวตี้ไซเกิลและความถี่ไม่คงที่ซึ่งขึ้นอยู่กับแถบความกว้างของฮิสเตอรีซิสซึ่งจะแตกต่างจากการควบคุมแบบวงรอบเปิดซึ่งใช้ความถี่ของสัญญาณพีดับเบิลยูเอ็มคงที่เท่ากับ 40 กิโลเฮิรตซ์

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบค่า **THDi** และ **P.F.** ของการควบคุมแต่ละแบบ

ค่าที่ใช้เปรียบเทียบ	Open-Loop	Delta-Modulation
THDi	55.34 %	3.82 %
PF	0.87	0.99

5. บทสรุป

บทความนี้ได้ทำการออกแบบและจำลองเทคนิคการมอดูเลตแบบเดลต้าสำหรับควบคุมวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสตรงแบบเซปิคคอนเวอร์เตอร์โดยใช้โปรแกรม PSIM ซึ่งพบว่าการใช้เทคนิคการมอดูเลตแบบเดลต้าสามารถลดค่า THDi ของกระแสอินพุตได้เป็นอย่างดีเมื่อเปรียบเทียบกับการควบคุมแบบวงรอบเปิดโดยทั่วไป ทั้งนี้ยังช่วยปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลัง (PF) ของวงจรเซปิคคอนเวอร์เตอร์ให้มีค่าเข้าใกล้หนึ่ง ซึ่งจะเป็นการลดฮาร์มอนิกในระบบไฟฟ้าอันเป็นผลอันเนื่องมาจากความไม่เป็นเชิงเส้นของวงจรเซปิคคอนเวอร์เตอร์ จากการทำการจำลองด้วยแรงดันไฟฟ้าอินพุต 100 โวลต์ แรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตเฉลี่ย 145 โวลต์ ที่พิกัดกำลังไฟฟ้าเอาต์พุต 700 วัตต์ ซึ่งพบว่าการควบคุมแบบวงรอบเปิดมีค่าประสิทธิภาพของวงจรเพียง 75.40 % แต่เมื่อควบคุมด้วยเทคนิคการมอดูเลตแบบเดลต้าจะมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นเป็น 82.85% แต่อย่างไรก็ตามเทคนิคที่นำเสนอจะมีแรงดันกระเพื่อมมากกว่าเล็กน้อย

6. เอกสารอ้างอิง

วีระเชษฐ์ ขันเงินและวุฒิพล ธาราธีรเศรษฐ์.(2549). อิเล็กทรอนิกส์กำลัง. กรุงเทพฯ. ห้างหุ้นจำกัด วี.เจ.พริ้นติ้ง.
Hart, D.W.(2011).Power Electronics.(2 ed.). New York. The McGraw-Hill Companies, Inc.

Chen , Y.M., Chen, Y.C. & Wu, H.C.(2008). Improved delta modulation control for PWM inverter. Proc. of the IEEE Industrial Technology(ICIT),1-6.

Kanaan, H.Y., Al-Haddad, K. & Fnaiech, F.(2004).Switching-function-based modeling and control of a SEPIC power factor correction circuit operating in continuous and discontinuous current modes. Proc. of the IEEE Industrial Technology(ICIT),1,431-437.

Keipour, A., Sudi, Z., Mohagheghi, E., Lakmehsari, A.H. & Hajihosseinlu, A.(2012). A novel control technique for power factor correction in SEPIC converter utilizing input/output voltage waveforms sampling. Proc. of the IEEE Power and Energy (PECon), 268-273.

Kimball, J.W., Krein, P.T. & Chen, Y.X.(2006, July). Hysteresis and Delta Modulation Control of Converter Using Sensorless Current Mode. IEEE Transactions on Power Electronics,21,1154-1158.

Kheraluwala, M.H. & Divan, D.M.(1990, April). Delta modulation strategies for resonant link inverter. IEEE Transactions on Power Electronics,5,220-228.

Lin, B.-R., Chen, J.-J. & Wan, J.F.(2007). Active clamp SEPIC converter with power factor correction. Proc. of the IEEE Industrial Electronics Society(IECON),33,1989-1994.