O-CP05

# การศึกษาคอนเวอร์เตอร์แบบสองทิศทางกับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงด้วยเทคนิคอินเตอร์ลีฟ

Study of Bidirectional converter for DC motor with interleave technical.

**เสาวนีย์ กันต๊ะ[1*],บุญยัง ปลั่งกลาง[1],พรชัย พรหฤทัย[2],**

[1]ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
[2]ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้าเครื่องกลการผลิต คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา
E-mail: saowanee_kanta@hotmail.com

**บทคัดย่อ**

บทความนี้เป็นการนาเสนอการศึกษาการออกแบบวงจรแปลงผันไฟฟ้าแบบสองทิศทางสาหรับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงพิกัด 24 VDC /12 VDC, 350W. โดยใช้หลักการการทบและทอนแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงแบบขนาน 3 เฟส 2 ทิศทางทำการจำลองการทำงานของระบบโดยใช้โปรแกรม MATLAB / SIMULINK เพื่อทาการวิเคราะห์หาค่ากระแสและแรงดันขณะที่วงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าในทิศทางแรกเป็นวงจรทบแรงดัน (Boost Converter) เพื่อจ่ายพลังงานให้กับระบบ 24Vdc และทิศทางที่สองขณะทางานเป็นวงจรทอนแรงดัน (Buck Converter) เพื่อทาการเก็บพลังงานไว้ที่แบตเตอรี่ขนาด 12Vdc จากการทดสอบการพบว่าวงจรที่ออกแบบสามารถทาการเก็บพลังงานไว้ในแบตเตอรี่และถ่ายเทพลังงานให้กับระบบได้อย่างต่อเนื่องโดยการควบคุมแบบ PID.

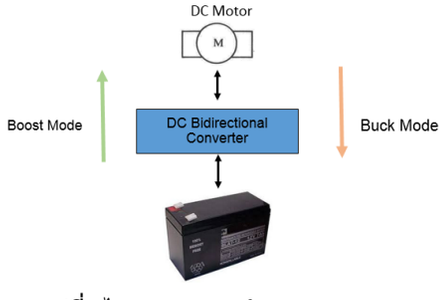
คำสำคัญ: วงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรง ,มอเตอร์ ,แบตเตอรี่

## 1.บทนำ

ในปัจจุบันนี้ระบบรถยนต์ไฮบริดจ์ถือเป็นระบบที่ทั่วโลกให้ความสนใจเนื่องจากเป็นการนำพลังงานสูญเปล่าขณะทำการเบรกมาใช้ คือ เมื่อผู้ขับขี่แตะเบรก มอเตอร์ไฟฟ้าจะเปลี่ยนไปทำหน้าที่เป็นเครื่องกำเนิดพลังงาน (ไดนาโม) และแปลงพลังงานจลน์ที่เกิดจากการเบรกเป็นกระแสไฟฟ้า เราจึงสามารถสำรองพลังงานเหล่านี้เก็บไว้ในแบตเตอรี่แต่เมื่อเร่งความเร็วแบบกะทันหัน มอเตอร์ไฟฟ้าจะดึงพลังงานเพิ่มจากแบตเตอรี่มาเสริมกำลังช่วยให้เครื่องยนต์มีกำลังสูงสุดและสามารถเร่งความเร็วได้ตามความต้องการแต่เนื่องจากแรงดันที่เก็บไว้ในแบตเตอรี่ได้ยังคงมีค่าแรงดันต่ำกว่าจึงไม่สามารถที่จะนำพลังงานเหล่านี้มาใช้กับโหลดได้โดยตรงดังนั้นบทความนี้จึงนำเสนอการออกแบบคอนเวอร์เตอร์กระแสตรงแบบสองทิศทางด้วยหลักการจากการถ่ายเทพลังงานจากแบตเตอรี่เพื่อจ่ายให้กับโหลดมอเตอร์ได้อย่างต่อเนื่องด้วยเทคนิคการอินเตอร์ลีฟเพื่อให้สามารถจ่ายกำลังได้สูงกว่าเนื่องจากกระแสกระเพื่อมลดน้อยลง

## 2. คอนเวอร์เตอร์กระแสตรงแบบสองทิศทาง.

วงจรที่ทำการศึกษาคือวงจรคอนเวอเตอร์กระแสตรงแบบสองทิศทางโดยใช้หลักการของวงจร Buck และ Boost คอนเวอร์เตอร์ทำการออกแบบโดยเลือกใช้ IGBT เป็นอุปกรณ์สวิตชิ่งเพื่อลดแรงดันตกคร่อมที่ตัวอุปกรณ์หลักการการทำงานของคอนเวอร์เตอร์ที่ต่อกับแบตเตอรี่จะทำการส่งถ่ายเทพลังงานออกเป็น 2 ทิศทางดังแสดงในรูปที่ 1 โดยมีเงื่อนไขการทำงานดังนี้




**รูปที่1** ไดอะแกรมการทำงานของระบบ

ทิศทางที่ 1 (Charge Battery) เมื่อขณะทำการเบรกวงจรคอนเวอร์เตอร์จะทำงานเป็นลักษณะวงจรทอนแรงดันจาก DC BUS 24V เข้าเก็บไว้ในแบตเตอรี่ 12V โดยผู้วิจัยได้เลือกใช้แบตเตอรี่แบบตะกั่ว-กรด (Lead-acid) ขนาด 12V และมีรูปแบบการชาร์ตแบบ Three stage charging การชาร์ตวิธีนี้คือจะเริ่มทำการชาร์ตแบตเตอรี่ในส่วนแรก 70-80% ด้วยกระแสคงที่ขั้นที่สองคือชาร์ตส่วนที่เหลือ 20- 30% ส่วนที่สามคือส่วนสุดท้ายเพื่อทาการชดเชย self-discharge ของแบตเตอรี่ทำให้แบตเตอรี่มี SOC (state of charge) เข้าถึง 100% ในระยะเวลาอันรวดเร็ว.

ทิศทางที่ 2 (Battery discharge) เมื่อทำการเร่งเครื่องยนต์วงจรคอนเวอเตอร์จะทำงานเป็นลักษณะวงจรทบแรงดัน (Boost converter) เพื่อจ่ายพลังงานจากแบตเตอรี่จ่ายให้กับมอเตอร์ ขนาด 24V 350W โดยวงจรนี้มีอุปกรณ์หลักคือตัวเหนี่ยวนำ อุปกรณ์สวิตช์ความถี่สูง, ตัวเหนี่ยวนำนี้เป็นอุปกรณ์ที่สำคัญมากเนื่องจากมีหน้าที่ในการเก็บและคายพลังงานเพื่อให้ระดับแรงดันเอาต์พุตสูงกว่าอินพุตหลักการทางานเมื่อสวิตช์ไม่นำกระแสกระแสไฟฟ้าจะเปลี่ยนแปลงทันทีทันใดไม่ได้ไดโอดจะถูกไบอัสไปข้างหน้าให้นำกระแสไฟฟ้าไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำอย่างต่อเนื่อง.
คำนวณหาค่าของตัวเหนี่ยวนาได้จากสมการ

$$L = \frac{Vs.D}{\Delta I_L . f_s} \quad (1)$$

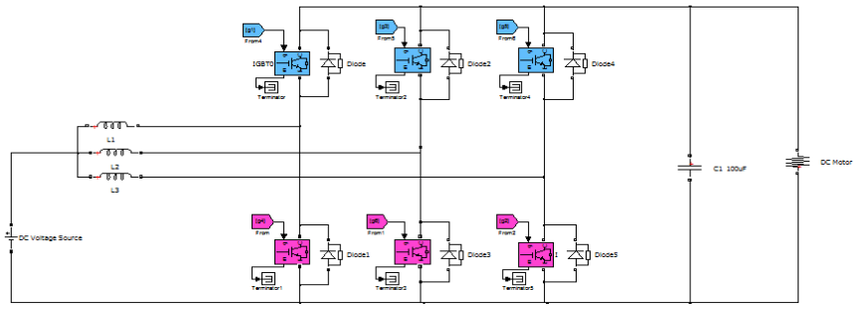
Duty cycle มีค่าเท่ากับ 0.5 และใช้ความถี่ในการสวิตช์เท่ากับ 15 kHz ซึ่งเป็นความถี่ที่อุปกรณ์สามารถทำงานได้
คือกระแสกระเพื่อมทางอินพุตมีค่า 13เปอร์เซ็นต์ของกระแสอินพุต

$\Delta I_L$ ขนาดของตัวเหนี่ยวนำต้องมีค่าอย่างน้อย 100$\mu$H

เนื่องจากต้องทำการจ่ายโหลดที่มีขนาดสูง350W ดังนั้นจึงได้ทำการออกแบบโดยเพิ่มเทคนิคการอินเตอร์ลีฟมาใช้เพื่อลดขนาดของกระแสกระเพื่อมขณะจ่ายกาลังไฟฟ้าหลักการอินเตอร์ลีฟสามารถสร้างได้ด้วยการนำเอาสัญญาณขับนำสวิตช์ของวงจรบูสคอนเวอร์เตอร์จานวน*N* วงจรมาต่อขนานกันแล้วกำหนดเฟสของสัญญาณขับนาสวิตช์ให้เหลื่อมเวลาการทำงานกันออกไป. ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสูตร

มุมในการสวิตช์ = *360/ N* (3) (2)

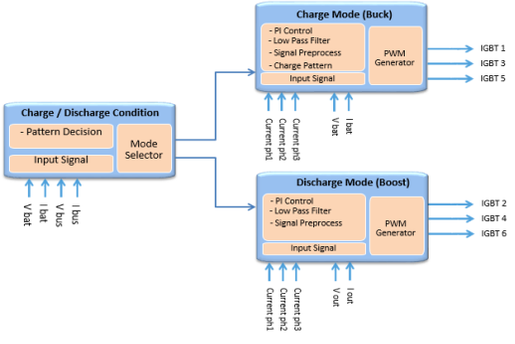
*N คือ*จำนวนวงจรที่นามาขนานกันในวงจรนี้ทำการขนานกัน3เฟส
ดังนั้นมุมที่ใช้สวิตช์ในแต่ละเฟสคือ 120องศา




**รูปที่ 3** วงจรกำลังของ Bi-directional 3 Phase Interleave Converter

การขนานเฟสนี้จะทำให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านแต่ละเฟสเป็น 1/3 ของกระแสทั้งหมดดังวงจรตามรูปที่ 3 จะทำให้แรงดันตกคร่อมและความสูญเสียรวมในตัวอุปกรณ์สวิตชิ่งลดลง ขนาดของตัวเหนี่ยวนำในวงจรก็มีขนาดเล็กลงการจ่ายกำลังไฟฟ้ารวมให้กับระบบเพิ่มมากขึ้น

**3.การควบคุมการทำงาน**




**รูปที่ 4** หลักการทำงานของ Bidirectional 3 Phase Interleave Converter

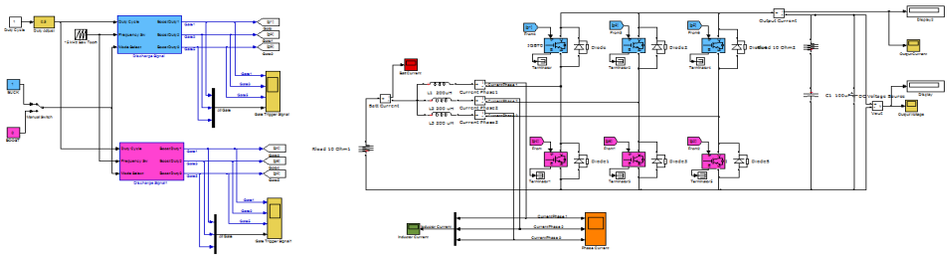
หลักการทำงานของ Bidirectional 3 Phase Interleave Converter เริ่มแรกทำการสร้างการเงื่อนไขที่ใช้ในการควบคุมแบบ PIDเพื่อควบคุมการ Charge/ Discharge ของแบตเตอรี่โดยรับสัญญาณ input มาจาก I bus, V bus,I bat, V batและหลังจากนั้นทำการส่งสัญญาณ PWM เพื่อไปควบคุมการขับนำสวิตช์ในวงจรกำลัง ของแต่ละ Mode การทำงาน.

เงื่อนไขในการควบคุมวงจรคอนเวอร์เตอร์แบบสองทิศทางโดยการอ้างอิงปริมาณ I, V ที่ BUS และ SOC ของแบตเตอรี่เป็นตัวแปรหลักในการควบคุมการทำงาน Buck Mode เมื่อแบตเตอรี่มีขนาด 0.4 < SOC < 0.9 และ P Bus ต้องมีปริมาณมากกว่า P Bat. Boost Mode เมื่อแบตเตอรี่มี SOC >0.9 และ P Bat ต้องมีปริมาณมากกว่า P Bus
นอกเหนือจากนี้ ระบบจะหยุดและจะวนกลับไปวัดปริมาณของ P Bus และ SOC อีกครั้งเพื่อตรวจสอบว่าควรเข้าเงื่อนไขใน mode การทำงานใดๆ ที่กล่าวมา

**4. การทดสอบ**

ทำการจำลองการทำงานของวงจรแปลงผันแบบสองทิศทางโดยใช้โปรแกรม MATLAB/ SIMULINK โดยแบ่งการทำงานออกเป็น 2 คือส่วนของวงจรและสัญญาณควบคุมการทำงานของวงจร

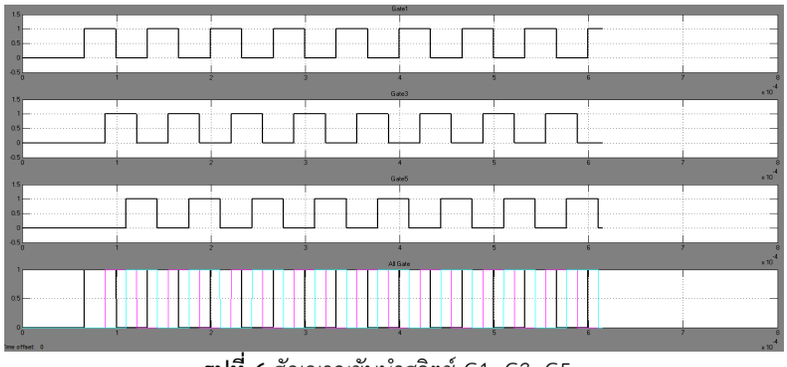
ส่วนสัญญาณควบคุมส่วนวงจร



**รูปที่ 5** แบบจำลองวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสตรงแบบสองทิศทาง

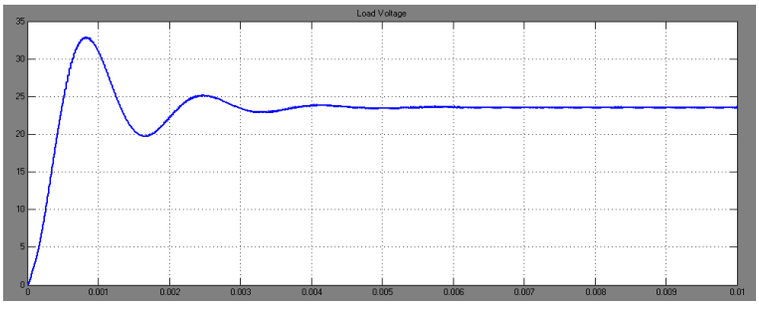
ส่วนของสัญญาณควบคุม คือทำการสร้าง 2 สัญญาณอ้างอิง เพื่อส่งสัญญาณ PWM ไปขับนำสวิตช์ในแต่ละชุด จำลองการทำงานของวงจรขณะทำงานเป็นวงจรทบและทอนแรงดัน

4.1 ทดสอบ Discharge mode (Boost) โดยทำการส่งสัญญาณ PWM เข้าไปขับนำสวิตช์ G1, G3, G5, คอนเวอร์เตอร์ทำงานเป็นวงจรทบแรงดัน จากแบตเตอรี่ขนาด 12V ให้กับ DC Motor 24V

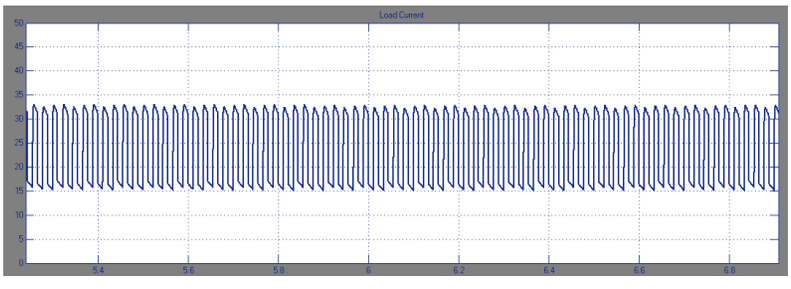



**รูปที่ 6** สัญญาณขับนำสวิตช์ G1, G3, G5,

พบว่าสวิตช์ G1, G3, G5, มีการทำงานเหลื่อมกัน Phase Shift120 องศา ใน1 คาบเวลา ดังแสดงในรูปกราฟที่ 6 และสวิตช์ แต่ละตัวมีการทำงานที่ 120, 240, 360 องศาตามลำดับ.



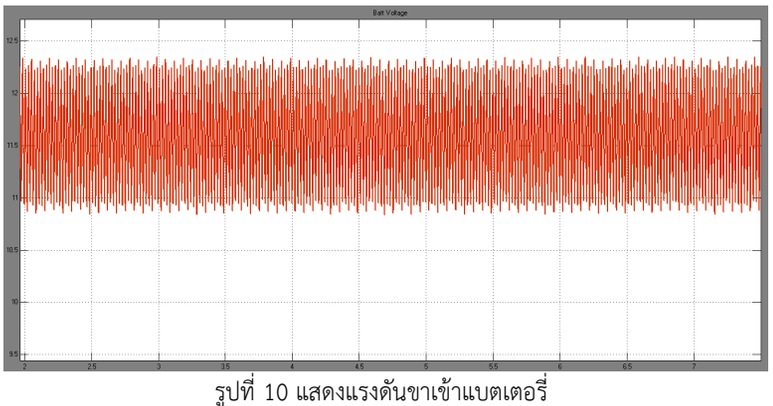

**รูปที่ 7** แสดงแรงดันที่ DCLoad Voltage



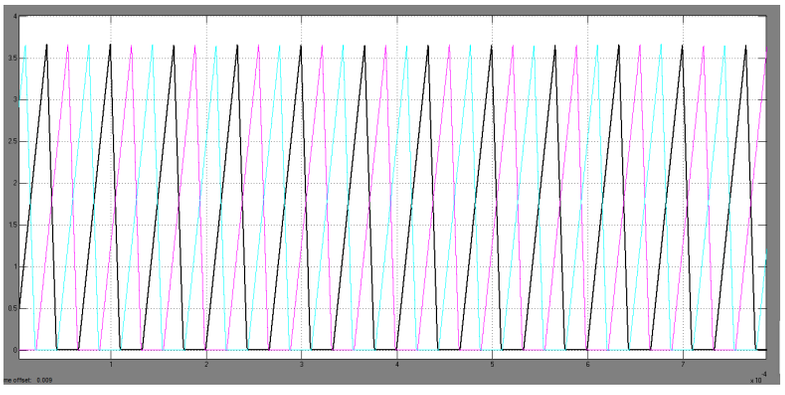

**รูปที่ 8** แสดงกระแสที่ DCLoad Current

ผลจากการ Simulation เมื่อคอนเวอร์เตอร์ทำงานเป็นวงจรทบแรงดัน จากแบตเตอรี่ 12V พบว่ามีปริมาณแรงดันที่ BUS load เพิ่มขึ้นจนถึง 24V ตามรูปที่ 7 และมีปริมาณของกระแสไฟฟ้าที่ BUS load ตามรูปที่ 8 ซึ่งถือได้ว่าค่าของกระแสและแรงดันที่ได้ มีค่าตรงกับขอบเขตที่กำหนดไว้ 24V 350W เพื่อให้แบตเตอรี่ช่วยจ่ายพลังงานให้กับโหลดอย่างต่อเนื่อง

4.2 ทดสอบ Charge Mode (Buck) เริ่มโดยทำการส่งสัญญาณ PWM ไปขับนำสวิตช์ G2, G4, G6 คอนเวอเตอร์ทำงานเป็นวงจรทอนแรงดันจาก DC BUS 24V เข้าเก็บที่แบตเตอรี่ขนาด 12V




รูปที่ 10 แสดงแรงดันขาเข้าแบตเตอรี่



**รูปที่ 11** แสดงกระแสขาเข้าแบตเตอรี่

ผลการ Simulation เมื่อคอนเวอร์เตอร์ทำงานเป็นวงจรทอนแรงดัน จะเห็นได้ว่ามีแรงดันขาเข้าที่แบตเตอรี่เพิ่มขึ้นจนถึงแรงดัน 24V ดังรูปที่ 10, และมีค่าของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำในแต่ละ Phase มีปริมาณเท่าๆกันดังแสดงในรูปที่ 11, กระแสไฟฟ้าขาเข้าที่แบตเตอรี่มีปริมาณทั้งหมด 12A เป็นไปตามพิกัดของแบตเตอรี่ Lead –Acid ที่ผู้วิจัยทำการออกแบบไว้ขนาด 12V, 12Ah

**5. สรุปผล**

จากการจำลองการทำงานด้วย MATLAB / SIMULIK ของวงจรคอนเวอร์เตอร์แบบสองทิศทางที่ออกแบบนี้ สามารถทำการชาร์จแบตเตอรี่ขนาด 12V ได้เมื่อขณะทำการเบรกมอเตอร์ และสามารถส่งคืนพลังงานจากแบตเตอรี่เพื่อถ่ายเทพลังงานไฟฟ้าให้กับโหลดกระแสตรงขนาด 350W 24V ได้อย่างต่อเนื่องเมื่อทำการเร่งความเร็ว ด้วยการคบคุมแบบ PIDและด้วยเทคนิคของการขนานเฟสนี้ ทำให้ความสูญเสียที่ตัวอุปกรณ์สวิตช์มีค่าลดลง ตัวเหนี่ยวนำในวงจรมีขนาดเล็กลง จ่ายกำลังไฟฟ้าได้มากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับวงจรทบ/ทอน แรงดันแบบปกติ

**6. เอกสารอ้างอิง**

[1] K. N. Hasan, M. E. Haque and M. Negnevitsky “Control of Energy Storage Interface with a Bidirectional Converter for Photovoltaic Systems” Australasian Universities Power Engineering Conference (AUPEC'08) Paper P-138 page 3 ,2008

[2]E. Koutroulis and K. Kalaitzakis “Novel battery charging regulation system for photovoltaic applications,” *IEE Proc. Electr. Power Appl*., vol 151, no. 2, pp. 191-197, Mar. 2004.

[3] P.Thounthong, P.Sethakul, S. Rael, and B.Davat,“Design and Implementation of 2-Phase Interleaved BoostConverter for FuelCell Power Source,” Proc. IET-PEMD. York, UK. pp. 91-95. 2008

[4] สรรธพล คุ้มทรัพย์ 1 บุญช่วย เจริญผล 1 และพินิจ เทพสาธร 2“Control of 4 Modules Parallel Boost Dc to dc Converter using Interleaved Technique” การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้าครั้งที่ 35 (EECON-35) ,หน้าที่ 2-4, 2012

[5]D.G. Holmes, B.P. McGrath, D.Segaran, and W.Y. Kong,“Dynamic Control of a 20 kW Interleaved Boost Converter forTraction Applications” Industry Applications Society Annual Meeting.IAS,pp. 1-8, 2008