อินเวอร์เตอร์หลายระดับชนิดเอช-บริดจ์
H-Bridge Multi-level Inverter

ณัฐพงศ์ ทรัพย์เย็น[1*] ศิริพรม ภูพนาสวัสดิ์[1] บัญชา หิรัญสิงห์[1,2] วทัญญู มีศรีสุข[2] และอนุวัฒน์ จางวนิชเลิศ[3]

[1]สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม
[2]สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม
[3]ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
[*]freedomslide@gmail.com

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนวงจรอินเวอร์เตอร์หลายระดับชนิดเอช-บริดจ์ ซึ่งเป็นวงจรที่แปลงสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงเป็นสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับ ซึ่งจะให้สัญญาณจากด้านเอาต์พุตของวงจรเป็นสัญญาณที่มีหลายระดับขั้น เพื่อต้องการให้สัญญาณที่ออกมามีระดับขั้นบันได เพื่อให้สัญญาณที่ออกมามีลักษณะใกล้เคียงกับสัญญาณไซน์ ซึ่งเป็นสัญญาณที่ช่วยกำจัดคลื่นฮาร์มอนิกส์ออกไปจากสัญญาณทางด้านเอาต์พุตได้มากและสามารถนำสัญญาณที่ได้มาแปลงเป็นสัญญาณรูปคลื่นไซน์ได้ง่าย ในงานวิจัยนี้เลือกใช้วงจรอินเวอร์เตอร์ 9 ระดับ เป็นวงจรที่ประกอบด้วยวงจรเอช-บริดจ์อินเวอร์เตอร์จำนวน 4 วงจรต่อกันแบบอนุกรม จึงทำให้ระดับแรงดันทางด้านเอาต์พุตมีค่าเท่ากับผลรวมของแหล่งจ่ายวงจรเอช-บริดจ์อินเวอร์เตอร์ทั้ง 4 รวมกัน จากหลักการนี้ทำให้เมื่อสัญญาณเอาต์พุตมีระดับแรงดันมากเท่าไหร่ ค่าของกำลังไฟฟ้าที่ได้จากวงจรก็ยิ่งมากขึ้นเท่านั้น ซึ่งเป็นผลให้สามารถนำสัญญาณที่ได้ไปใช้กับโหลดที่ต้องการกำลังสูง ๆ ได้ บทความวิจัยนี้ได้อธิบายถึงหลักการทำงานของวงจรอินเวอร์เตอร์ 9 ระดับชนิดเอช-บริดจ์ รวมไปถึงการออกแบบโครงสร้างการทำงานของวงจร

คำสำคัญ: อินเวอร์เตอร์ อินเวอร์เตอร์หลายระดับ อินเวอร์เตอร์หลายระดับชนิดเอช-บริดจ์

Abstract

This paper presents multi-level inverter type H-bridge that converts electrical signals from DC to AC signal which can provide multi-level waveforms at the output side of inverter. The waveforms close to sinusoidal. This is a waveform that eliminates harmonic wave from the output so that it can be converted to be a sinusoidal waveform easily. The inverter circuit 9 levels is a circuit that includes 4 circuits of H-bridge inverter that connected in series. As a result, the output voltage is equal to the sum of the power supply circuit. From this principle, if the level of output voltage level is higher, the value of the power of the circuit is greater. As a result, it can be appropriate to apply with high power level applications. This paper describes the working principle of the inverter circuit 9 of the H-bridge.

Keywords: inverter, multi-level inverter, H-bridge multi-level inverter

1. บทนำ

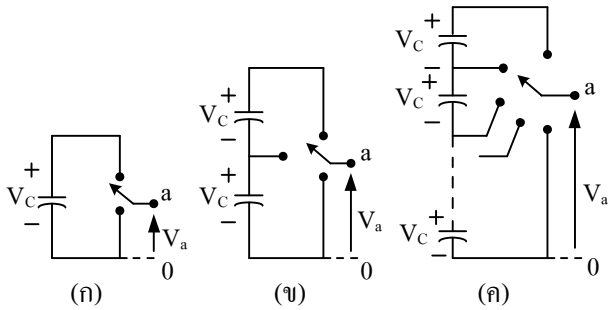
อินเวอร์เตอร์หลายระดับ (Multilevel Inverter) เป็นที่นิยมและถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายในปัจจุบันเช่น การแปลงผันกำลังไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานไปยังระบบไฟฟ้า (Grid Connected Inverter) การขับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ (AC Drive) กำลังสูงในงานอุตสาหกรรม เป็นต้น โดยทั่วไปมีการใช้งานในปัจจุบันมี 3 ชนิดหลัก ๆ คือ อินเวอร์เตอร์หลายระดับชนิดเอช-บริดจ์คาสเคดเซลล์ (H-bridge Multilevel Inverter) อินเวอร์เตอร์หลายระดับชนิดคาปาซิเตอร์แคลมป์ (Capacitor Clamp Multilevel Inverter) และอินเวอร์เตอร์หลายระดับชนิดไดโอดแคลมป์ (Diode Clamp Multilevel Inverter) [1] นอกจากนั้นยังมีอินเวอร์เตอร์หลายระดับชนิดอื่น ๆ อีกเช่น อินเวอร์เตอร์หลายระดับชนิด Generalized (Generalized Multilevel Inverter) อินเวอร์เตอร์หลายระดับชนิดผสมระดับไฮบริดจ์ (Mixed-Level Hybrid Multilevel Inverter) อินเวอร์เตอร์หลายระดับชนิดแบ็คทูแบ็คไดโอดแคลมป์ (Back to Back Diode-clamp Multilevel Inverter) โดยในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้อินเวอร์เตอร์ 11 ระดับชนิดเอช-บริดจ์คาสเคดเซลล์ ที่มีข้อดีคือโครงสร้างวงจรไม่สลับซับซ้อน ทำให้ง่ายต่อการออกแบบ แรงดันไฟฟ้าด้านออกคุณภาพสูงและมีค่าฮาร์มอนิกต่ำ เหมาะสมกับการขับมอเตอร์ไฟฟ้าที่มีค่าพิกัดกำลังไฟฟ้าสูง เป็นต้น

ส่วนวงจรควบคุมอินเวอร์เตอร์หลายระดับนั้นจะใช้การมอดูเลตระหว่างสัญญาณไซน์ที่ความถี่หลักมูลกับสัญญาณคลื่นพาหะแบบสามเหลี่ยมวางซ้อนกันหลาย ๆ ชั้น โดยทั่วไปแล้วจะนิยมใช้สัญญาณสามเหลี่ยมที่มีความถี่คงที่ 4 แบบคือ เทคนิค PD (Phase Disposition) ซึ่งมุมเฟสเริ่มต้นในแต่ละคลื่นพาหะมีมุมเฟสตรงกัน เทคนิค POD (Phase Opposition Disposition) มีมุมเฟสเริ่มต้นในซีกบวกจะแตกต่างกันเท่ากับ 180 องศา ส่วนเทคนิค APOD (Alternative Phase Opposition Disposition) นั้น มีมุมเฟสเริ่มต้นในแต่ละคลื่นพาหะแตกต่างกันเท่ากับ 180 องศาจากคลื่นพาหะรอบข้าง และเทคนิค PSCPWM (Phase Shifted Carrier Pulse Width Modulation) นั้น แต่ละคลื่นพาหะจะมีความสูงจากยอดบนจนถึงยอดล่างเท่ากับ 1 จนถึง -1 และมุมเฟสของแต่ละคลื่นพาหะจะเลื่อนเฟสกัน ตามลำดับ แต่ในงานวิจัยนี้เลือกใช้สัญญาณพีดับเบิลยูเอ็มความถี่ต่ำที่เลื่อนเฟส เพื่อนำไปขับนำสวิตช์มอสเฟตที่อยู่ภายในอินเวอร์เตอร์แต่ละโมดูล เพื่อให้เกิดเป็นแรงดันไฟฟ้าด้านขาออกในลักษณะระดับขั้นบันได

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 วงจรอินเวอร์เตอร์หลายระดับ

วงจรอินเวอร์เตอร์หลายระดับ (Multilevel inverters) คือ การรวมสวิตช์อิเล็กทรอนิกส์กำลังและแหล่งจ่ายแรงดันจากตัวเก็บประจุเพื่อให้ได้แรงดันไฟฟ้าด้านออกเป็นขั้น ๆ การสับเปลี่ยนกระแสของสวิตช์จะทำให้ตัวเก็บประจุต่อกับแรงดันไฟฟ้าสูงด้านออก ในขณะที่ตัวสวิตช์จะได้รับแรงดันน้อยลง วงจรอินเวอร์เตอร์หลายระดับสามารถแบ่งออกได้ตามระดับดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 วงจรอินเวอร์เตอร์หลายระดับที่มีสถานการณ์ทำงานเป็น (ก)2, (ข)3 และ (ค)n ระดับ

การคำนวณหาขนาดแรงดันด้านออกของวงจรอินเวอร์เตอร์หลายระดับสามารถหาได้จาก

$$V_o = V_{dc1} + V_{dc2} + \ldots + V_{dc(S-1)} + V_{dcS} \quad (1)$$

จำนวนของระดับสัญญาณหาได้จากสมการที่3.6

$$m = 2s + 1 \quad (2)$$

เมื่อ m คือ จำนวนของระดับสัญญาณที่ต้องการ

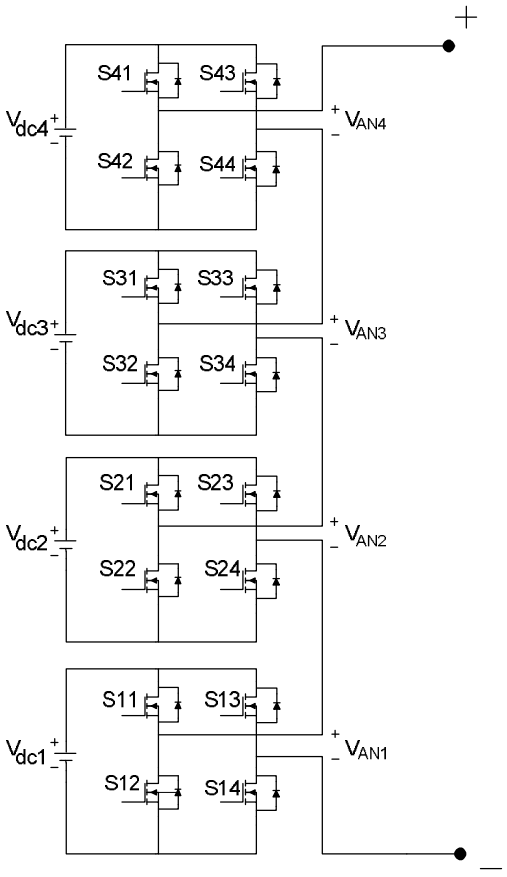
s คือ จำนวนวงจรฟูลบริดจ์อินเวอร์เตอร์ที่ต้องใช้

3. หลักการทำงาน

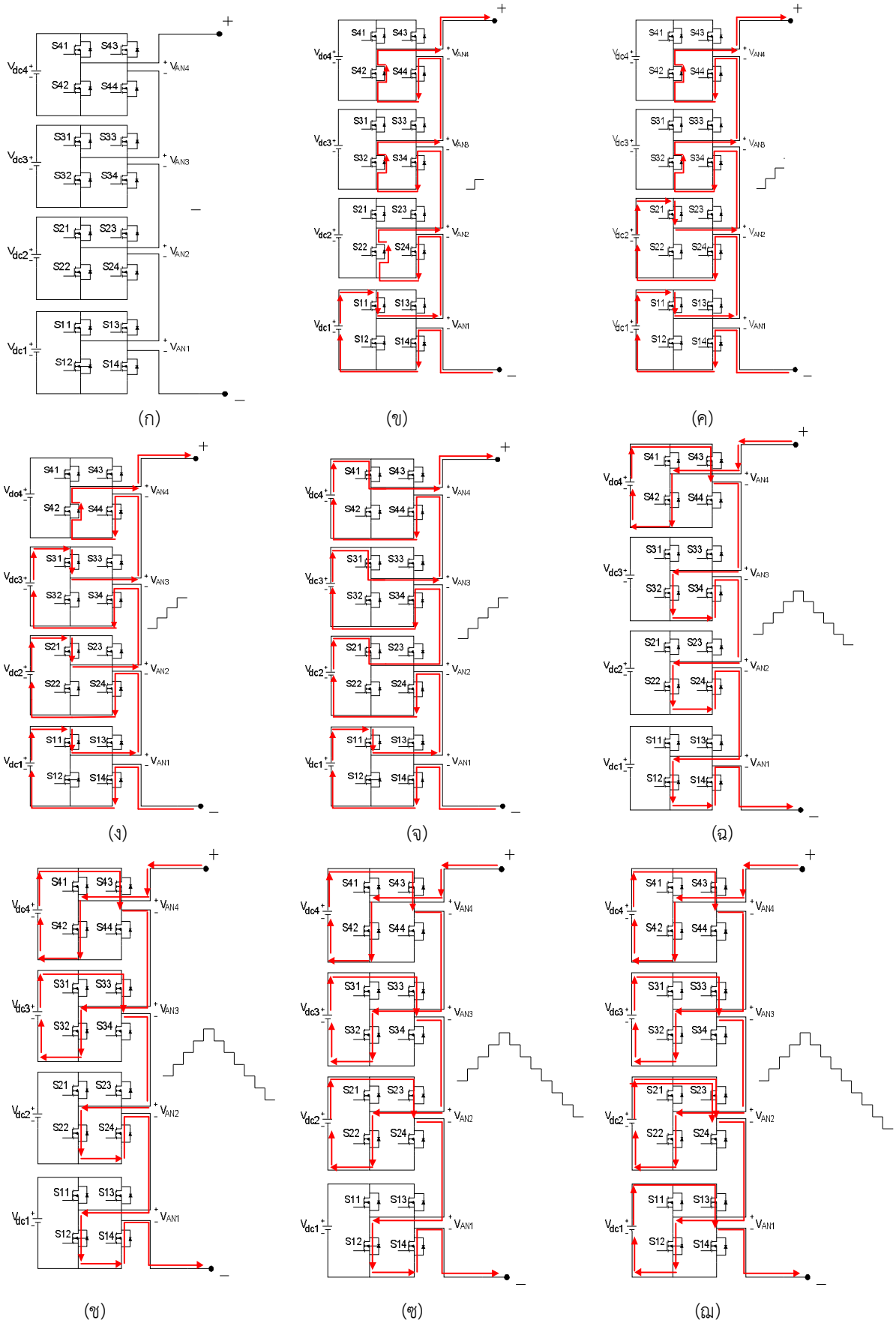
ในงานวิจัยนี้เลือกใช้วงจรอินเวอร์เตอร์ 9 ระดับ เนื่องจากมีความเหมาะสมกับจำนวนแหล่งจ่ายแรงดันด้านเข้าและแรงดันด้านออกเพื่อประยุกต์ใช้งานกับโหลดเครื่องใช้ไฟฟ้า หลักการทำงานของวงจรแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ วงจรภาคกำลังและวงจรภาคควบคุมดังนี้

3.1 วงจรภาคกำลัง

วงจรอินเวอร์เตอร์ 9 ระดับที่ใช้ในงานวิจัย ประกอบด้วยแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงด้านขาเข้า 4 ชุด วงจรฟูลบริดจ์อินเวอร์เตอร์ 4 โมดูล แต่ละโมดูลประกอบด้วยสวิตช์ 4 ตัว ดังนั้นสวิตช์ทั้งหมด 16 ตัว วงจรแสดงดังภาพที่ 3



ภาพที่ 2 วงจรอินเวอร์เตอร์ 9 ระดับที่ใช้ในงานวิจัย



ภาพที่ 3 โหมดการทำงานวงจรอินเวอร์เตอร์ 9 ระดับ (ก-ฌ)

หลักการทำงานของวงจรอินเวอร์เตอร์ 9 ระดับที่ใช้ในงานวิจัย มีการทำงานทั้งหมด 9 โหมดการทำงาน แสดงดังภาพที่ 3 สามารถอธิบายได้ดังนี้

โหมดการทำงานที่ 1 ในโหมดนี้สวิตซ์มอสเฟตตัวที่ 1 และ 3 ของวงจรฟูล-บริดจ์อินเวอร์เตอร์ทุกวงจรจะไม่มีการทำงาน ดังนั้นแรงดันทางด้านเอาต์พุตที่ได้จะเป็น 0 ดังภาพที่ 3 (ก)

โหมดการทำงานที่ 2 ในโหมดนี้ มอสเฟตตัวที่ 1 และ 3 ของวงจรฟูลบริดจ์อินเวอร์เตอร์วงจรที่ 1 จะทำงาน พร้อมกับ มอสเฟตตัวที่ 2 และ 4 ของวงจรฟูลบริดจ์อินเวอร์เตอร์ที่เหลือ ทำให้กระแสไฟฟ้าไหลจากแหล่งจ่ายของวงจรที่ 1 ผ่านสวิตซ์มอสเฟตตัวที่ 1 เข้าไปที่สวิตซ์มอสเฟตตัวที่ 2 และ 4 ของวงจรที่เหลือ และไหลผ่านโหลด ผ่านสวิตซ์มอสเฟตตัวที่ 4 ลงกราวด์ ทำให้เกิดแรงดันที่โหลดเท่ากับแรงดันที่แหล่งจ่ายของฟูล-บริดจ์อินเวอร์เตอร์วงจรที่ 1 ดังภาพที่ 3 (ข)

โหมดการทำงานที่ 3 ในโหมดนี้ มอสเฟตตัวที่ 1 และ 3 ของวงจรฟูลบริดจ์อินเวอร์เตอร์วงจรที่ 1 และ 2 จะทำงาน พร้อมกับ มอสเฟตตัวที่ 2 และ 4 ของวงจรฟูลบริดจ์อินเวอร์เตอร์ที่เหลือ ทำให้กระแสไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายฟูลบริดจ์อินเวอร์เตอร์วงจรที่ 1 ไหลผ่าน S11, S24 จะผ่านแหล่งจ่ายของวงจรฟูล-บริดจ์อินเวอร์เตอร์ที่ 2 ผ่าน S21, S34, S32, S44, S42 ผ่านโหลดและ S14 ลงกราวด์ซึ่งเป็นผลให้แรงดันเอาต์พุตเพิ่มขึ้นเป็น Vdc1 + Vdc2 ดังภาพที่ 3 (ค)

โหมดการทำงานที่ 4 ในโหมดนี้ มอสเฟตตัวที่ 1 และ 3 ของวงจรฟูลบริดจ์อินเวอร์เตอร์วงจรที่ 1,2 และ 3 จะทำงาน พร้อมกับ มอสเฟตตัวที่ 2 และ 4 ของวงจรฟูลบริดจ์อินเวอร์เตอร์ที่เหลือ ทำให้กระแสไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายฟูลบริดจ์อินเวอร์เตอร์วงจรที่ 1 ไหลผ่าน S11, S24 จะผ่านแหล่งจ่ายของวงจรฟูลบริดจ์อินเวอร์เตอร์ที่ 2 ผ่าน S21, S34, Vdc3, S31, S44, S42 ผ่านโหลดและ S14 ลงกราวด์ซึ่งเป็นผลให้แรงดันเอาต์พุตเพิ่มขึ้นเป็น Vdc1 + Vdc2 + Vdc3 ดังภาพที่ 3 (ง)

โหมดการทำงานที่ 5 ในโหมดนี้ มอสเฟตตัวที่ 1 และ 3 ของวงจรฟูลบริดจ์อินเวอร์เตอร์วงจรที่ 1, 2, 3 และ 4 จะทำงานพร้อมกัน ทำให้กระแสไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายฟูลบริดจ์อินเวอร์เตอร์วงจรที่ 1 ไหลผ่าน S11,S24 และจะไหลผ่านแหล่งจ่ายของวงจรฟูลบริดจ์อินเวอร์เตอร์ที่ 2 และจะไหลผ่าน S21, S34, Vdc3, S31, S44, Vdc4 ไหลผ่านโหลดและ S14 ลงกราวด์ซึ่งเป็นผลให้แรงดันเอาต์พุตเพิ่มขึ้นเป็น Vdc1 + Vdc2 + Vdc3 + Vdc4 ดังภาพที่ 3 (จ)

โหมดการทำงานที่ 6 ในโหมดนี้ มอสเฟตตัวที่ 2 และ 3 ของวงจรฟูลบริดจ์อินเวอร์เตอร์วงจรที่ 4 จะทำงาน พร้อมกับ มอสเฟตตัวที่ 2 และ 4 ของวงจรฟูลบริดจ์อินเวอร์เตอร์ที่เหลือ ทำให้กระแสไฟฟ้าไหลจากแหล่งจ่ายของวงจรที่ 4 ผ่านสวิตซ์มอสเฟตตัวที่ 3 เข้าไปที่สวิตซ์มอสเฟตตัวที่ 2 และ 4 ของวงจรที่เหลือ และไหลผ่านโหลด ผ่านสวิตซ์มอสเฟตตัวที่ 2 ลงกราวด์ ทำให้เกิดแรงดันที่โหลดเท่ากับ – Vdc4 ดังภาพที่ 3 (ฉ)

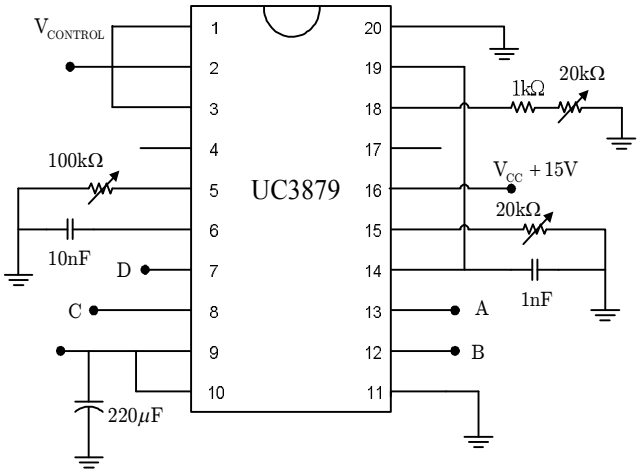
โหมดการทำงานที่ 7 ในโหมดนี้ มอสเฟตตัวที่ 2 และ 3 ของวงจรฟูลบริดจ์อินเวอร์เตอร์วงจรที่ 4 และ 3 จะทำงาน พร้อมกับ มอสเฟตตัวที่ 2 และ 4 ของวงจรฟูลบริดจ์อินเวอร์เตอร์ที่เหลือ ทำให้กระแสไฟฟ้าไหลจากแหล่งจ่ายของวงจรที่ 4 ผ่าน S43, S32 เข้าแหล่งจ่ายของวงจรที่ 3 ผ่าน S33 และผ่าน S22, S24 ของวงจรที่เหลือ และไหลผ่านโหลด ผ่านสวิตซ์มอสเฟตตัวที่ S42 ลงกราวด์ ทำให้เกิดแรงดันที่โหลดเท่ากับ -Vdc4 -Vdc3 ดังภาพที่ 3 (ช)

โหมดการทำงานที่ 8 ในโหมดนี้ มอสเฟตตัวที่ 2 และ 3 ของวงจรฟูลบริดจ์อินเวอร์เตอร์วงจรที่ 4, 3 และ 2 จะทำงาน พร้อมกับ มอสเฟตตัวที่ 2 และ 4 ของวงจรฟูลบริดจ์อินเวอร์เตอร์ที่ 1 ทำให้กระแสไฟฟ้าไหลจากแหล่งจ่ายของวงจรที่ 4 ผ่าน S43, S32 เข้าแหล่งจ่ายของวงจรที่ 3 ผ่าน S33, S22, Vdc2, S23, S12, S14 และไหลผ่านโหลด ผ่านสวิตซ์มอสเฟตตัวที่ S42 ลงกราวด์ ทำให้เกิดแรงดันที่โหลดเท่ากับ -Vdc4 -Vdc3 -Vdc2 ดังภาพที่ 3 (ซ)

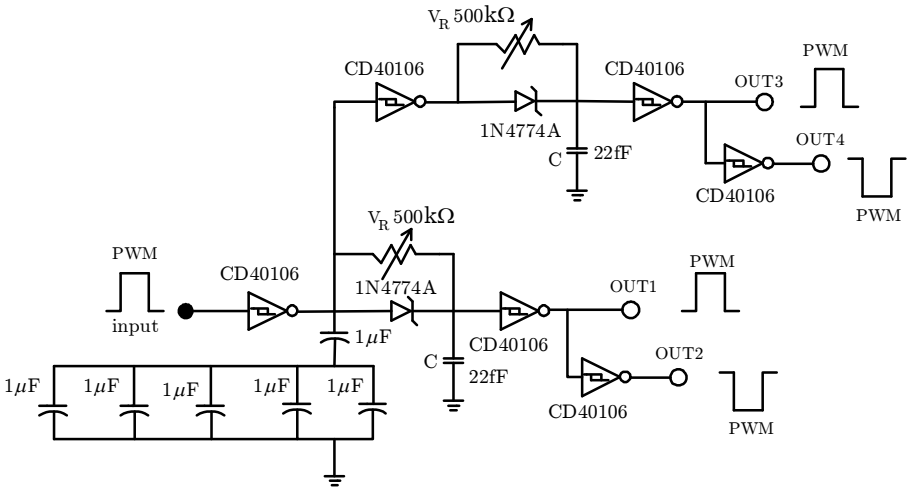
โหมดการทำงานที่ 9 ในโหมดนี้ มอสเฟตตัวที่ 2 และ 3 ของวงจรฟูลบริดจ์อินเวอร์เตอร์วงจรที่ 4, 3, 2 และ 1 ทำให้กระแสไฟฟ้าไหลจากแหล่งจ่ายของวงจรที่ 4 ผ่าน S43, S32 เข้าแหล่งจ่ายของวงจรที่ 3 ผ่าน S33, S22, Vdc2, S23, S12, Vdc1, S13 และไหลผ่านโหลด ผ่านสวิตซ์มอสเฟตตัวที่ S42 ลงกราวด์ ทำให้เกิดแรงดันที่โหลดเท่ากับ -Vdc4 -Vdc3 –Vdc2 -Vdc1 ดังภาพที่ 3 (ฌ)

3.2 วงจรภาคควบคุม

วงจรควบคุมในงานวิจัยนี้ประกอบด้วย วงจรสร้างสัญญาณพีดับเบิลยูเอ็มโดยใช้วงจร UC3879 ดังภาพที่ 4 และวงจรเลื่อนสัญญาณ ดังภาพที่ 5 รายละเอียดดังนี้



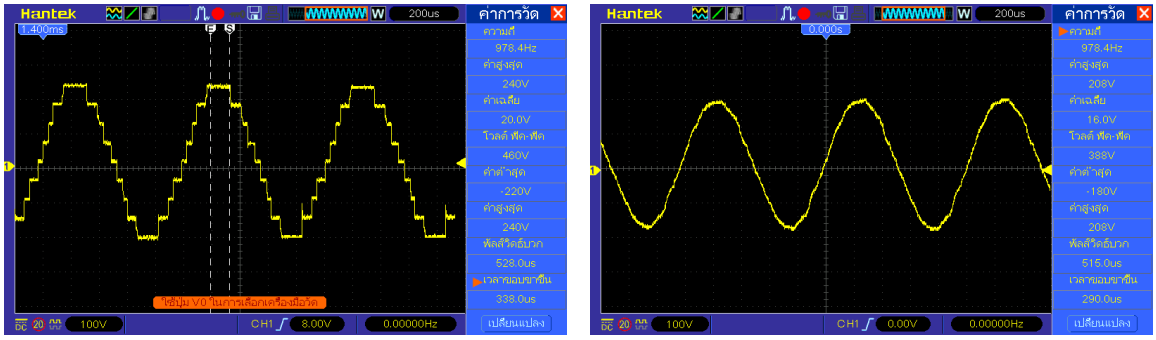
ภาพที่ 4 วงจรสร้างสัญญาณพีดับเบิลยูเอ็ม



ภาพที่ 5 วงจรเลื่อนสัญญาณ

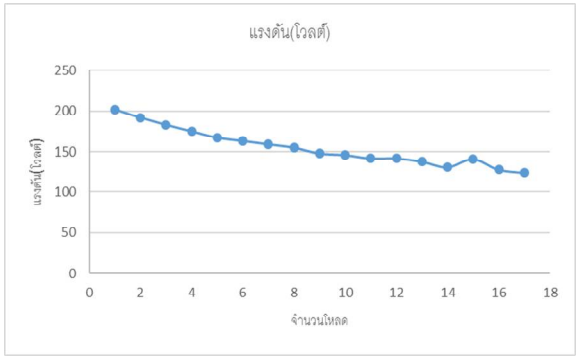
4. ผลทดลอง

การทดลองของงานวิจัยชิ้นนี้กำหนดตัวแปรต่างๆ ของวงจรคือ แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงด้านเข้า 100 โวลต์ เพื่อให้ได้แรงดันไฟฟ้าด้านออกกระแสสลับค่ายอด 400 โวลต์ สวิตช์อิเล็กทรอนิกส์กำลังเลือกใช้เบอร์ IRPF 450 ที่สามารถทนกระแสและแรงดัน 15 แอมแปร์ และ 500 โวลต์ ตามลำดับ ไอซีสร้างสัญญาณพีดับเบิลยูเอ็มสำเร็จรูปเบอร์ UC3879N ส่วนวงจรกรองความถี่เลือกใช้วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านแบบตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุ โดยค่าที่เลือกใช้คือ 2.2 มิลลิเฮนรีและ 9 ฟารัด ตามลำดับ ผลการทดลองดังนี้

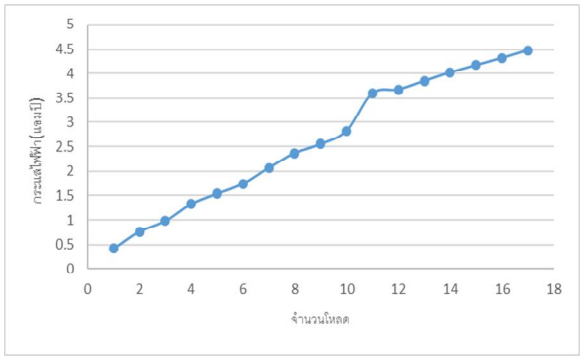


(ก) (ข)

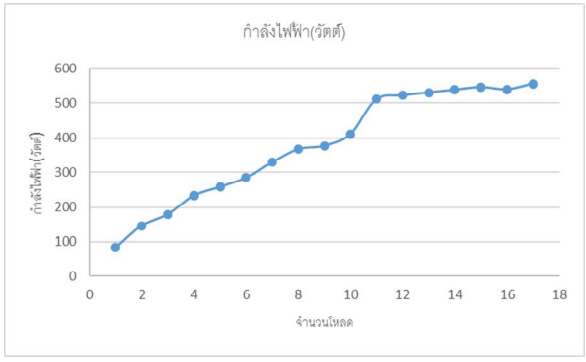
ภาพที่ 6 แรงดันไฟฟ้าด้านขาออกของวงจรอินเวอร์เตอร์ 9 ระดับ (ก) ก่อนผ่านวงจรกรอง (ข) หลังผ่านวงจรกรอง



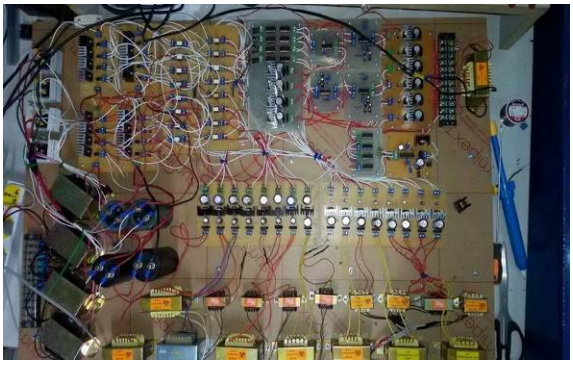
ภาพที่ 7 กราฟแรงดันไฟฟ้าด้านออกเมื่อเปลี่ยนแปลงโหลด



ภาพที่ 8 กราฟกระแสไฟฟ้าด้านขาออกเมื่อเปลี่ยนแปลงโหลด



ภาพที่ 9 กราฟกำลังไฟฟ้าเมื่อเปลี่ยนแปลงโหลด



ภาพที่ 10 วงจรต้นแบบ

ภาพที่ 6(ก) แสดงรูปคลื่นแรงดันแรงดันไฟฟ้าด้านขาออกของวงจรอินเวอร์เตอร์ ซึ่งจะพบว่าระดับแรงดันด้านออกของวงจรเป็น 9 ระดับ ซึ่งเมื่อผ่านวงจรกรองจะทำให้รูปคลื่นมีความใกล้เคียงรูปคลื่นไซน์ดังรูปที่ 6(ข) ภาพที่ 7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าด้านออกกับจำนวนโหลด เมื่อทำการเพิ่มโหลดโดยการเพิ่มจำนวนหลอดไฟพบว่าค่าแรงดันไฟฟ้าด้านออกมีค่าลดลงเนื่องวงจรที่ได้นำเสนอยังไม่มีการควบคุมแบบลูปปิดทำให้เมื่อกระแสสูงขึ้นแรงดันตกคร่อมในวงจรจึงมีมากขึ้นยังผลให้แรงดันไฟฟ้าด้านออกมีค่าลดลง ภาพที่ 8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าด้านออกกับจำนวนโหลดพบว่าเมื่อจำนวนโหลดเพิ่มขึ้นกระแสไฟฟ้าก็มีค่าสูงตามไปด้วย และเมื่อกระแสไฟฟ้าสูงขึ้นก็จะทำให้กำลังไฟฟ้าของวงจรที่ได้นำเสนอเพิ่มขึ้นไปด้วยดังแสดงในภาพที่ 9 ขณะที่ภาพที่ 10 แสดงรูปวงจรต้นแบบที่ได้ทำการสร้างขึ้นจริงและทำการทดสอบในห้องปฏิบัติการ

5. บทสรุป

บทความนี้นำเสนวงจรอินเวอร์เตอร์หลายระดับชนิดเอช-บริดจ์ ซึ่งเป็นวงจรที่แปลงสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงเป็นสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับ ซึ่งจะให้สัญญาณจากด้านเอาต์พุตของวงจรเป็นสัญญาณที่มีหลายระดับขั้น เพื่อต้องการให้สัญญาณที่ออกมามีระดับขั้นบันได เพื่อให้สัญญาณที่ออกมามีลักษณะใกล้เคียงกับสัญญาณไซน์ ซึ่งเป็นสัญญาณที่ช่วยกำจัดคลื่นฮาร์มอนิกส์ออกไปจากสัญญาณทางด้านเอาต์พุตได้มากและสามารถนำสัญญาณที่ได้มาแปลงเป็นสัญญาณรูปคลื่นไซน์ได้ง่าย ในงานวิจัยนี้เลือกใช้วงจรอินเวอร์เตอร์ 9 ระดับ เป็นวงจรที่ประกอบด้วยวงจรเอช-บริดจ์อินเวอร์เตอร์จำนวน 4 วงจรต่อกันแบบอนุกรม จึงทำให้ระดับแรงดันทางด้านเอาต์พุตมีค่าเท่ากับผลรวมของแหล่งจ่ายวงจรเอช-บริดจ์อินเวอร์เตอร์ทั้ง 4 รวมกัน จากหลักการนี้ทำให้เมื่อสัญญาณเอาต์พุตมีระดับแรงดันมากเท่าไหร่ ค่าของกำลังไฟฟ้าที่ได้จากวงจรก็ยิ่งมากขึ้นเท่านั้น ซึ่งเป็นผลให้สามารถนำสัญญาณที่ได้ไปใช้กับโหลดที่ต้องการกำลังสูงๆได้ ปริญญานิพนธ์นี้ได้อธิบายถึงหลักการทำงานของวงจรอินเวอร์เตอร์ 9 ระดับชนิดเอช-บริดจ์ รวมไปถึงการออกแบบโครงสร้างการทำงานของวงจร นอกจากนั้นวงจรที่นำเสนอนั้นยังใช้จำนวนสวิตช์น้อยกว่าวงจรอินเวอร์เตอร์แบบ 11 ระดับแต่สามารถทำงานได้โดยมีสมรรถนะใกล้เคียงกัน

6. กิตติกรรมประกาศ

โครงงานนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม โครงการวิจัยบูรณาการนักศึกษาและอาจารย์เพื่อการพัฒนาท้องถิ่นและความเป็นทางวิชาการ ปีงบประมาณ 2560

7. เอกสารอ้างอิง

วีระเชษฐ์ ขันเงิน และวุฒิพล ธาราธีรเศรษฐ์. (2555). **อิเล็กทรอนิกส์กำลัง**. กรุงเทพฯ: วี.เจ. พริ้นติ้ง.

บัญชา หิรัญสิงห์ และอนุวัฒน์ จางวนิชเลิศ. (2559). “อินเวอร์เตอร์ 11 ระดับชนิดเอช-บริดจ์คาสเคดเซลล์โดยใช้เทคนิคพีดับบลิวเอ็มแบบความถี่สวิตชิ่งแปรค่าได้.” **วาระสืบเนื่องการประชุมเชิงวิชาการทาง วิศวกรรมไฟฟ้าครั้งที่ 39,** 59, 11, 271-274.

Batarseh, I. (2004). **Power Electronics Circuits**. John Wiley & Sons.

Daniel, W. H. (1997). **Introduction to Power Electronics**. Prentice Hall.

Mohan, N., Undeland, T. M., & Robbins, W. P. (1995). **Power Electronics: Converter, Applications, and Design** (2nd ed.). John Wiley & Sons.

Rashid, M. H. (2004). **Power Electronics: Circuits, Devices and Applications** (3rd ed.). Prentice Hall.