



# เทรนเนอร์จักรยานเชื่อมต่อระบบโครงข่ายไฟฟ้า

เดชา ปานประเสริฐ\* และ วราห์ สาตะระ

ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์กำลัง, วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม,  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

\* ผู้ประสานงานเผยแพร่ (Corresponding Author), E-mail: decha.p@cit.kmutnb.ac.th

วันที่รับบทความ: 29 กุมภาพันธ์ 2567; วันที่ทบทวนบทความ: 1 เมษายน 2567; วันที่ตอบรับบทความ: 23 เมษายน 2567

วันที่เผยแพร่ออนไลน์: 20 สิงหาคม 2567

**บทคัดย่อ:** ชุดเทรนเนอร์จักรยานเชื่อมต่อระบบโครงข่ายไฟฟ้า โดยใช้จักรยานเป็นแหล่งกำเนิดพลังงานกลเพื่อขับเคลื่อนเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน จากนั้นทำการแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่ผลิตได้เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเพื่อเป็นแหล่งพลังงานให้อินเวอร์เตอร์เชื่อมต่อระบบโครงข่ายไฟฟ้าชนิด 1 เฟส แรงดันที่ออกจากอินเวอร์เตอร์เชื่อมต่อระบบโครงข่ายไฟฟ้ามีค่า 12 โวลต์กระแสสลับและใช้หม้อแปลงยกกระดุมแรงดันเป็น 220 โวลต์กระแสสลับ อินเวอร์เตอร์เชื่อมต่อระบบโครงข่ายไฟฟ้าใช้เทคนิคการควบคุมกระแสฮิสเตอร์ซิสแบบซิงเกิลแบนด์ ทำการทดสอบโหมดเรียงกระแส โหมดทบระดับแรงดันไฟฟ้าหรือ บูสคอนเวอร์เตอร์ และโหมดอินเวอร์เตอร์เชื่อมต่อระบบโครงข่ายไฟฟ้า ผลการทดสอบชุดเทรนเนอร์จักรยานเชื่อมต่อระบบโครงข่ายไฟฟ้าวัดค่ากำลังไฟฟ้าจริงได้ 109 วัตต์ มีค่าตัวประกอบกำลัง 0.92 ในโหมดบูสคอนเวอร์เตอร์ขณะมีการต่อโหลด และการทดสอบชุดเทรนเนอร์จักรยานเชื่อมต่อระบบโครงข่ายไฟฟ้า สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าจริงเข้าไปยังระบบโครงข่ายไฟฟ้า 107 วัตต์ และมีค่าตัวประกอบกำลัง 0.98 โดยประสิทธิภาพของวงจรอินเวอร์เตอร์เชื่อมต่อระบบโครงข่ายไฟฟ้าชนิด 1 เฟส มีค่าเท่ากับ 63.7 %

**คำสำคัญ:** เทรนเนอร์จักรยาน; การควบคุมกระแสฮิสเตอร์ซิสแบบซิงเกิลแบนด์; เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน; อินเวอร์เตอร์เชื่อมต่อระบบโครงข่ายไฟฟ้า; บูสคอนเวอร์เตอร์

## Bicycle Trainer Connected to The Grid

Decha Panprasert\* and Wara Sadara

Department of Electrical Engineering Technology, College of Industrial Technology,  
King Mongkut's University of Technology North Bangkok

\* Corresponding author, E-mail: decha.p@cit.kmutnb.ac.th

Received: 29 February 2024; Revised: 1 April 2024; Accepted: 23 April 2024

Online Published: 20 August 2024

**Abstract:** The bicycle trainer is connected to the grid by using a bicycle as a mechanical source to drive a DC brushless generator. Then convert the AC voltage to DC voltage to be an energy source for the single-phase inverter connected to the grid. The output voltage from the inverter connected to the grid has a value of 12 volts AC and uses a step-up transformer to raise the voltage to 220 volts AC. The inverter connected to the grid using a single-band hysteresis current control technique. Perform a rectifying mode, step-up voltage or boost converter mode, and inverter connected to the grid mode. Testing result the bicycle trainer connected to the grid measured the real power of 109 watts with a power factor of 0.92 in boost converter mode under load conditions and the inverter connected to the grid was able to supply real power of 107 watts and with a power factor of 0.98. The efficiency of the single-phase inverter connected to the grid equals 63.7%.

**Keywords:** Bicycle trainer; Single-band hysteresis current control; DC brushless generator; Inverter connected to the grid; Boost Converter



## 1. บทนำ

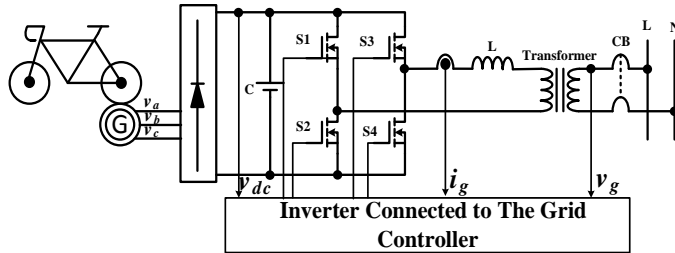
ปัจจุบันการออกกำลังกายเพื่อเสริมสร้างความแข็งแรงให้กับร่างกาย ได้รับความนิยมนิยมเพิ่มมากขึ้นไม่ว่าจะเป็นออกกำลังกายกลางแจ้งและการออกกำลังกายในร่มเช่น การว่ายน้ำ การวิ่ง การเล่นฟุตบอล การชก เจทสกี การปั่นจักรยาน การเข้ายิม ฟิตเนส โยคะและการออกกำลังกายแบบอื่นๆ ซึ่งข้อดีของการออกกำลังกายมีมากมาย เช่น การเผาผลาญไขมันส่วนเกิน ลดระดับน้ำตาลและคอเลสเตอรอล ลดความเสี่ยงต่อการเป็นโรคหัวใจ ร่างกายมีกล้ามเนื้อที่กระชับ ส่งเสริมการลดน้ำหนัก [1] โดยกิจกรรมออกกำลังกายต่างๆ สามารถทำได้ทั้งในบ้าน นอกบ้าน ในยิม นอกจากนี้การออกกำลังกายอาจจะต้องมีอุปกรณ์ประกอบการออกกำลังกาย เช่น ลู่วิ่งไฟฟ้า ซึ่งทำให้ต้องมีค่าใช้จ่ายเพิ่มมากขึ้นจากการใช้พลังงานไฟฟ้าในการออกกำลังกาย เป็นการดีหากการออกกำลังกาย นอกจากจะส่งเสริมให้ร่างกายมีความแข็งแรงแล้วยังช่วยให้สามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้า ด้วยการปั่นจักรยานเพื่อนำมาผลิตพลังงานไฟฟ้า ซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดพลังงานทดแทนที่สะอาดและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม

บทความนี้นำเสนอเทรนเนอร์จักรยานเชื่อมต่อบริเวณระบบโครงข่ายไฟฟ้า โดยชุดเทรนเนอร์จักรยานเชื่อมต่อบริเวณโครงข่ายไฟฟ้าทำหน้าที่แปลงพลังงานกลจากการปั่นจักรยานไปเป็นพลังงานไฟฟ้าด้วยเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน ส่วนที่ 2 ของบทความอธิบายเทรนเนอร์จักรยานเชื่อมต่อบริเวณโครงข่ายระบบไฟฟ้า ส่วนที่ 3 แสดงหลักการทำงานของอินเวอร์เตอร์เชื่อมต่อบริเวณโครงข่ายไฟฟ้า

ส่วนที่ 4 การจำลองการทำงานชุดเทรนเนอร์จักรยานเชื่อมต่อบริเวณโครงข่ายไฟฟ้า ส่วนที่ 5 การทดสอบชุดเทรนเนอร์จักรยานเชื่อมต่อบริเวณโครงข่ายไฟฟ้า ส่วนที่ 6 ผลการทดสอบ และส่วนที่ 7 สรุปผลการทดสอบ

## 2. เทรนเนอร์จักรยานเชื่อมต่อบริเวณโครงข่ายไฟฟ้า

เทรนเนอร์จักรยานเชื่อมต่อบริเวณโครงข่ายไฟฟ้าแสดงในรูปที่ 1 ประกอบด้วย 3 ส่วนหลัก คือ ส่วนที่ 1 จักรยานทำหน้าที่เป็นแหล่งกำเนิดพลังงานกล ส่วนที่ 2 เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน ทำหน้าที่เป็นแหล่งกำเนิดพลังงานไฟฟ้า โดยโครงสร้างของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแบบไร้แปรงถ่านประกอบไปด้วยส่วนประกอบ 2 ส่วนคือ ส่วนที่ 1 สเตเตอร์จะมีแม่เหล็กถาวรติดตั้งไว้ภายใน ส่วนที่ 2 โรเตอร์ประกอบไปด้วยขดลวด 3 ชุด วางทำมุมกัน 120 องศา ซึ่งแรงดันที่ออกจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแบบไร้แปรงถ่านมีสัญญาณเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟสและใช้วงจรเรียงกระแสไฟฟ้า 3 เฟสทำหน้าที่แปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง วงจรอินเวอร์เตอร์เชื่อมต่อบริเวณโครงข่ายไฟฟ้าชนิด 1 เฟส ทำหน้าที่แปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ [2, 3] หม้อแปลงไฟฟ้าสำหรับยกระดับแรงดัน ส่วนที่ 3 วงจรควบคุมอินเวอร์เตอร์เชื่อมต่อบริเวณโครงข่ายไฟฟ้าทำหน้าที่ควบคุมการจ่ายพลังงานไปยังระบบโครงข่ายไฟฟ้า



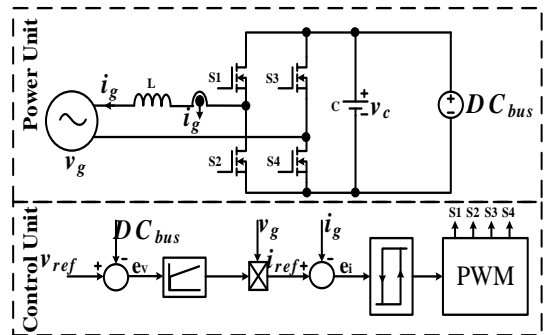
รูปที่ 1 ชุดเทรนเนอร์จักรยานเชื่อมต่อระบบโครงข่ายไฟฟ้า

### 3. หลักการทำงานอินเวอร์เตอร์เชื่อมต่อระบบโครงข่ายไฟฟ้า

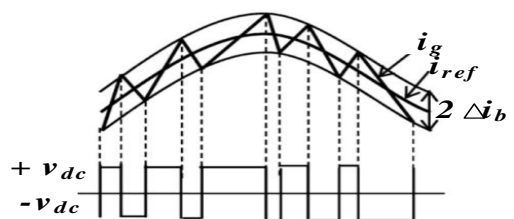
การทำงานของวงจรอินเวอร์เตอร์เชื่อมต่อระบบโครงข่ายไฟฟ้าชนิด 1 เฟสแบ่งเป็น 2 ส่วนใหญ่ๆ คือ วงจรภาคกำลังและวงจรภาคควบคุมดังแสดงในรูปที่ 2 วงจรภาคกำลังด้านซ้ายมือของรูปคือระบบโครงข่ายไฟฟ้า ส่วนถัดมาเป็นตัวเหนี่ยวนำทำหน้าที่กรองกระแสไฟฟ้า ส่วนถัดมาเป็นวงจรอินเวอร์เตอร์ชนิด 1 เฟส และส่วนสุดท้ายด้านขวามือของรูปคือแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง

วงจรภาคควบคุมจะแบ่งการควบคุมเป็น 2 ส่วน คือการควบคุมแรงดันดีซีบัส และการควบคุมกระแส โดยการควบคุมแรงดันจะนำแรงดันอ้างอิง ( $v_{ref}$ ) มาเปรียบเทียบกับแรงดันดีซีบัส ค่าความผิดพลาด ( $e_v$ ) จะถูกส่งไปยังตัวควบคุมแบบพีไอ จากนั้นนำสัญญาณที่ได้คูณกับแรงดันของระบบโครงข่ายไฟฟ้า เพื่อสร้างสัญญาณกระแสอ้างอิง ( $i_{ref}$ ) การควบคุมกระแสจะนำสัญญาณกระแสอ้างอิงมาเปรียบเทียบกับสัญญาณกระแสของระบบโครงข่ายไฟฟ้า ( $i_g$ ) ค่าความผิดพลาด ( $e_i$ ) จะถูกส่งไปยังตัวควบคุมกระแส การควบคุมกระแสจะใช้เทคนิคฮิสเทอรีซิส [4-11] เปิด-ปิด การทำงานของสวิตช์อิเล็กทรอนิกส์กำลัง

ตามการเคลื่อนตัวของปริมาณกระแสตามขอบเขตกระแสบน และขอบเขตกระแสล่าง โดยความกว้างของแบนมีค่าเท่ากับ ( $2\Delta i_b$ ) ผลที่ได้จะเป็นรูปแบบของการ ปิด-เปิด สวิตช์อิเล็กทรอนิกส์กำลังโดยมีลักษณะกระแสของระบบโครงข่ายไฟฟ้างดังรูปที่ 3



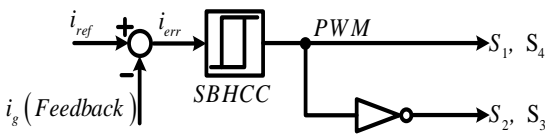
รูปที่ 2 วงจรอินเวอร์เตอร์เชื่อมต่อระบบโครงข่ายไฟฟ้าชนิด 1 เฟส



รูปที่ 3 สัญญาณการสวิตช์ของฮิสเทอรีซิสแบบซิงเกิลแบนด์



รูปที่ 4 แสดงบล็อกไดอะแกรมการควบคุมสวิตช์โดยใช้เทคนิคการควบคุมกระแสฮิสเตอร์ซิสแบบซิงเกิลแบนด์ โดยกระแสอ้างอิง ( $i_{ref}$ ) จะถูกนำไปเปรียบเทียบกับกระแสของระบบโครงข่ายไฟฟ้า ( $i_g$ ) ซึ่งผลต่างที่ได้คือค่าความผิดพลาด ( $i_{err}$ ) จะถูกส่งเข้าไปที่วงจรถ่ายยิบฮิสเตอร์ซิสโดยสัญญาณด้านออกมีลักษณะเป็นสัญญาณพีดีบีเอ็ม (PWM) โดยเมื่อกระแสของระบบโครงข่ายไฟฟ้าเป็นบวก วงจรถ่ายยิบจะส่งสัญญาณให้ S1, S4 ทำงานและเมื่อกระแสของระบบโครงข่ายไฟฟ้าเป็นลบ วงจรถ่ายยิบจะส่งสัญญาณให้ S2, S3 ทำงาน ซึ่งสวิตช์อิเล็กทรอนิกส์กำลังในบทความนี้ใช้ MOSFET กระแสของระบบโครงข่ายไฟฟ้า ( $i_g$ ) เคลื่อนที่ติดตามกระแสอ้างอิง ( $i_{ref}$ ) โดยมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ในแถบความกว้างฮิสเตอร์ซิสที่ได้กำหนดไว้ โดยกระแสของระบบโครงข่ายไฟฟ้าที่ได้นั้นจะมีลักษณะเป็นสัญญาณไซน์ซอชด์ ซึ่งมีมุมต่างเฟสกับสัญญาณแรงดัน 180 องศา ส่งผลให้กำลังไฟฟ้ามี่ค่าเป็นลบ (จ่ายพลังงานให้กับระบบโครงข่ายไฟฟ้า)



รูปที่ 4 บล็อกไดอะแกรมการควบคุมสวิตช์โดยใช้การควบคุมกระแสฮิสเตอร์ซิสแบบซิงเกิลแบนด์

เมื่อสัญญาณสวิตช์สั่งให้มอสเฟตทำงานเป็นคู่สลับกันสามารถคำนวณหาอัตราส่วนมอดูเลชันได้จากสมการที่ (1) [12]

$$m = \frac{\sqrt{2} \times V_g}{V_{dc}} \quad (1)$$

เมื่อ  $m$  คือ อัตราส่วนการมอดูเลชัน  $V_g$  คือ ค่ายอดของแรงดันระบบโครงข่ายไฟฟ้า  $V_{dc}$  คือ แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงด้านอินพุต ความถี่สวิตช์เฉลี่ยในกรณีใช้การควบคุมกระแสของระบบโครงข่ายไฟฟ้าด้วยเทคนิคฮิสเตอร์ซิสแบบซิงเกิลแบนด์แสดงในสมการที่ (2) [12]

$$f_{Avg} = \frac{V_{dc}}{4hL} \left( 1 - \frac{1}{2}m^2 \right) \quad (2)$$

เมื่อ  $f_{Avg}$  คือ ความถี่การสับสวิตช์เฉลี่ย  $h$  คือ ความกว้างของแบนด์  $L$  คือ ค่าตัวเหนี่ยวนำ  
คำนวณค่าตัวเหนี่ยวนำได้จากสมการที่ (3) [12]

$$L = \frac{V_{dc}}{4hf_{Avg}} \left( 1 - \frac{1}{2}m^2 \right) \quad (3)$$

วงจรมิตทริกเกอร์เป็นวงจรถ่ายยิบแบบแรงดันซึ่งมีการต่อป้อนกลับแบบบวก [13] ดังรูปที่ 5 แรงดันอินพุต  $v_i$  จะมีการกระตุ้นแรงดันเอาต์พุต  $v_o$  ทุกครั้งที่มีการเปลี่ยนแปลงระดับแรงดันที่ขั้วอินพุตทั้งสอง โดยที่ระดับแรงดันเหล่านี้คือแรงดันเทรสโลต์ด้านสูง ( $V_{UT}$ ) และแรงดันเทรสโลต์ด้านต่ำ ( $V_{LT}$ ) ผลต่างของระดับแรงดันทั้งสองนี้เรียกว่า ความกว้างของฮิสเตอร์ซิส สามารถคำนวณหาค่าแรงดันเหล่านี้ได้โดยสมมติว่าแรงดันเอาต์พุต  $v_o$  เท่ากับ  $V_{+SAT}$



ดังนั้น แรงดันที่ขาเข้าไม่กลับเฟส (+) จะมีค่าตามสมการที่ (4)

$$V_{UT} = \frac{R_2}{R_1 + R_2}V_{ref} + \frac{R_1}{R_1 + R_2}V_{+SAT} \quad (4)$$

เมื่อแรงดันเอาต์พุต  $v_o$  เท่ากับ  $V_{-SAT}$  แรงดันที่ขาเข้าไม่กลับเฟส (+) จะมีค่าเป็นตามสมการที่ (5)

$$V_{LT} = \frac{R_2}{R_1 + R_2}V_{ref} + \frac{R_1}{R_1 + R_2}V_{-SAT} \quad (5)$$

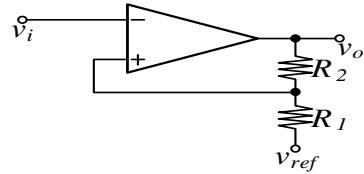
ความกว้างของฮิสเทอรีซิส  $V_H$  ในกรณีที่ขนาดของ  $V_{+SAT}$  มีขนาดเท่ากับ  $V_{-SAT}$  สามารถหาค่า  $V_H$  ได้จากสมการที่ (6)

$$V_H = V_{UT} - V_{LT} \quad (6)$$

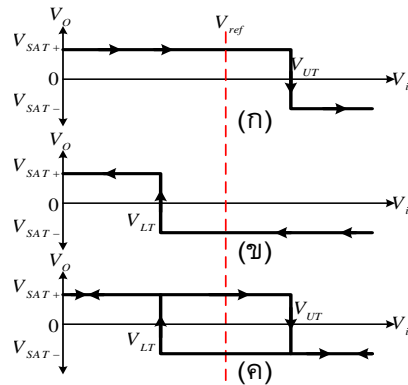
แรงดันอินพุต  $v_i$  มีค่าน้อยกว่า  $V_{UT}$  แรงดันเอาต์พุต  $v_o$  ก็ยังคงมีค่าเป็น  $V_{+SAT}$  เมื่อ  $v_i$  มาถึงจุดที่มากกว่า  $V_{UT}$  เอาต์พุตจะเปลี่ยนเป็น  $V_{-SAT}$  และแรงดันเอาต์พุตจะยังคงรักษาระดับแรงดันอยู่ที่ ค่านี้นานเท่าที่  $v_i > V_{UT}$  ดังแสดงในรูปที่ 6 (ก) และแรงดันอินพุต  $v_i$  จะต้องมีค่าน้อยกว่า  $V_{LT}$  เพื่อเปลี่ยนแปลงแรงดันเอาต์พุตจาก  $V_{-SAT}$  เป็น  $V_{+SAT}$  ตามที่แสดงในรูปที่ 6 (ข) คุณสมบัติการส่งถ่ายของวงจรมิตทริกเกอร์ที่สมบูรณ์แสดงดังรูปที่ 6 (ค)

ตัวควบคุมแบบพีโอ เป็นการนำเอาคุณสมบัติของตัวควบคุมแบบพีและตัวควบคุมแบบไอมารวมกัน สัญญาณด้านเอาต์พุตดังแสดงในสมการที่ (7) [12]

$$V_{OUT}(t) = G_p \times V_{in}(t) + \frac{1}{T} \int_0^t V_{in}(T) dT \quad (7)$$



รูปที่ 5 วงจรมิตทริกเกอร์

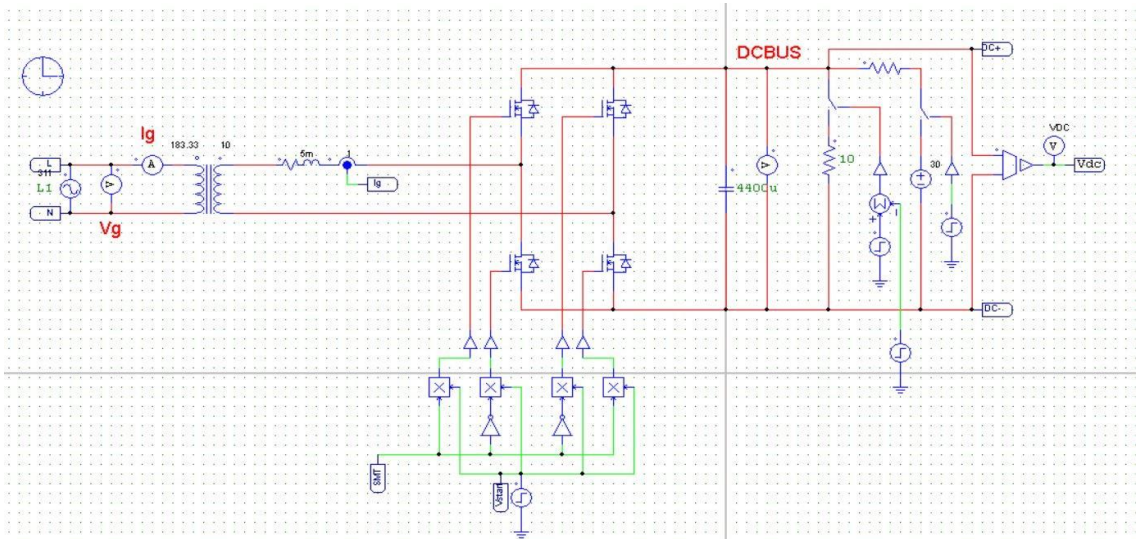


รูปที่ 6 ลักษณะสมบัติการส่งถ่ายของวงจรมิตทริกเกอร์

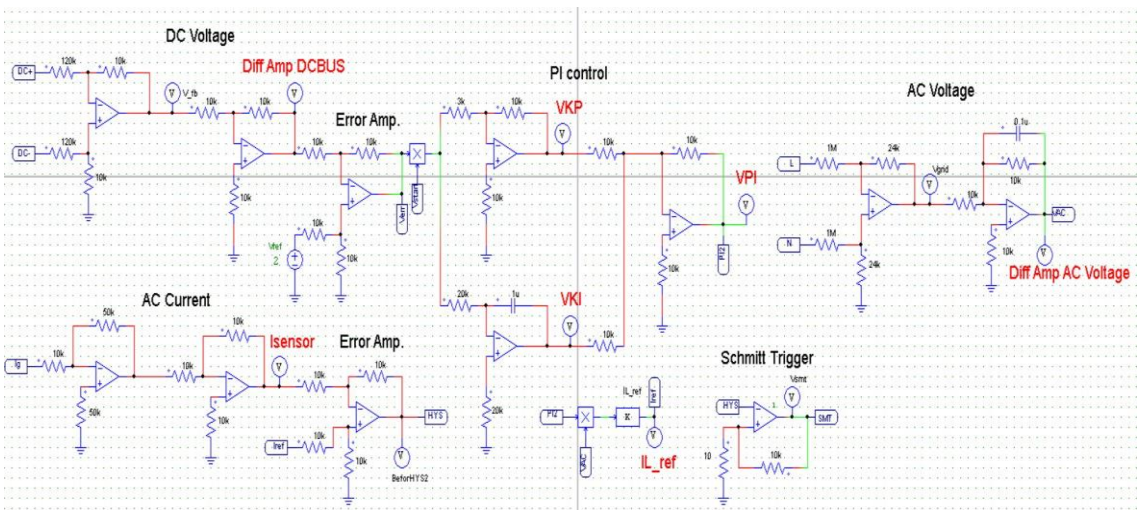
ระบบควบคุมแบบพีโอของอินเวอร์เตอร์เชื่อมต่อกับระบบโครงข่ายไฟฟ้าชนิด 1 เฟส เป็นระบบควบคุมแบบอนาล็อก ซึ่งใช้ออปแอมป์ในการสร้างตัวควบคุมแบบพีโอ

#### 4. การจำลองการทำงานชุดเทรนนอร์จิกรยานเชื่อมต่อบนระบบโครงข่ายไฟฟ้า

การจำลองการทำงานชุดเทรนนอร์จิกรยานเชื่อมต่อบนระบบโครงข่ายไฟฟ้า เพื่อศึกษาพฤติกรรมของแบบระบบควบคุมและตรวจสอบสถานะ การทำงานด้วยโปรแกรม PSIM โดยจำลองการทำงานอินเวอร์เตอร์เชื่อมต่อบนระบบโครงข่ายไฟฟ้าชนิด 1 เฟส ซึ่งแบ่งวงจรออกเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนแรกคือวงจรภาคกำลังดังแสดงในรูปที่ 7 ส่วนที่ 2 วงจรภาคควบคุมดังแสดงในรูปที่ 8



รูปที่ 7 วงจรแสดงการจำลองการทำงานวงจรภาคกำลังของอินเวอร์เตอร์เชื่อมต่อบริเวณระบบโครงข่ายไฟฟ้าชนิด 1 เฟส



รูปที่ 8 วงจรแสดงการจำลองการทำงานภาคควบคุมของอินเวอร์เตอร์เชื่อมต่อบริเวณระบบโครงข่ายไฟฟ้าชนิด 1 เฟส

โดยทำการจำลองการทำงานเป็น 2 โหมด ได้แก่ โหมดเรียงกระแสจำลองการทำงานแบบทบระดับแรงดันไฟฟ้าหรือบูสคอนเวอร์เตอร์ คือแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง

และโหมดอินเวอร์เตอร์เชื่อมต่อบริเวณโครงข่ายไฟฟ้าชนิด 1 เฟสคือแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ วงจรภาคกำลังดังแสดงในรูปที่ 7 ประกอบด้วยด้านซ้ายมือคือระบบโครงข่ายไฟฟ้า



จุดวัดแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า ซึ่งจะถูกส่งไปยังภาคควบคุม ส่วนถัดมาคือหม้อแปลงไฟฟ้าทำหน้าที่ยกแรงดันให้สูงขึ้นส่วนถัดมาคือตัวเหนี่ยวนำทำหน้าที่กรองกระแสไฟฟ้าให้เรียบขึ้น ส่วนถัดมาคือวงจรฟลูบริดจ์คอนเวอร์เตอร์ และ ส่วนสุดท้ายคือดีซีชีบัส โดยจำลองการทำงานในสภาวะมีโหลดและไม่มีโหลด รูปที่ 8 แสดงวงจรภาคควบคุมอินเวอร์เตอร์เชื่อมต่อกับระบบโครงข่ายไฟฟ้าชนิด 1 เฟส ประกอบด้วย DC Voltage ทำหน้าที่วัดแรงดันที่ดีซีชีบัส เพื่อนำไปเปรียบเทียบกับแรงดันอ้างอิง ส่วนถัดมาเป็นวงจรควบคุมแบบพีไอ การปรับค่าพีไอใช้วิธีการ Ziegler and Nichols [14-16] โดยสัญญาณที่ออกจากวงจรควบคุมแบบพีไอจะถูกนำมาคูณกับวงจร AC Voltage ซึ่งเอาต์พุตที่ได้คือสัญญาณกระแสอ้างอิง ซึ่งสัญญาณนี้จะถูกนำมาเปรียบเทียบกับ วงจร AC Current ซึ่งเอาต์พุตจะถูกส่งไปยังวงจร Schmitt Trigger เพื่อสร้างสัญญาณสวิตซ์

#### 4.1 ผลการจำลองการทำงานในโหมดเรียงกระแสและโหมดทบทระดับแรงดันไฟฟ้า

การจำลองแบ่งการทำงานออกเป็น 4 ช่วงคือ ช่วงเวลา 0 ถึง 5 วินาที เป็นการทดสอบการทำงานในโหมดเรียงกระแส แรงดันที่ดีซีชีบัส 16.9 โวลต์และกระแสของระบบโครงข่ายไฟฟ้ามียุคไซน์ ช่วงเวลา 5 ถึง 10 วินาที เป็นการจำลองการทำงานในโหมดทบทระดับแรงดันไฟฟ้าหรือบัสคอนเวอร์เตอร์ขณะไม่มีโหลด โดยยกแรงดันที่ดีซีชีบัสขึ้นจาก 16.9 โวลต์เป็น 24 โวลต์ และกระแสของระบบโครงข่ายไฟฟ้ามียุค 0.1 แอมแปร์ ช่วงเวลา 10 วินาทีถึง 15 วินาที เป็นการจำลองการ

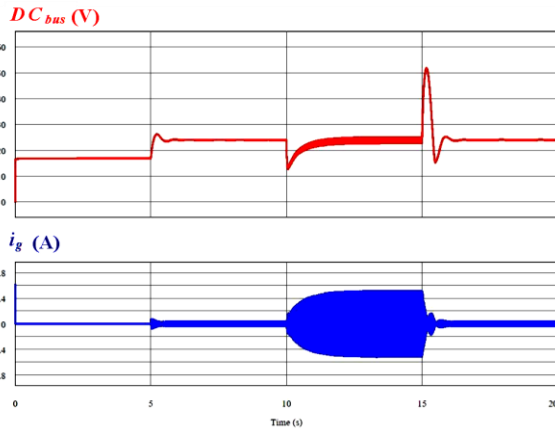
ทำงานในโหมดทบทระดับแรงดันไฟฟ้าหรือบัสคอนเวอร์เตอร์ขณะมีการต่อโหลด เมื่อมีต่อโหลดแรงดันดีซีชีบัสตกลงจาก 24 โวลต์เหลือ 16 โวลต์ และกลับเข้าสู่สภาวะคงตัวที่ 24 โวลต์ และกระแสของระบบโครงข่ายไฟฟ้าเพิ่มขึ้นเป็น 0.58 แอมแปร์ ช่วง 15 ถึง 20 วินาที เป็นการจำลองการทำงานในโหมดทบทระดับแรงดันไฟฟ้าหรือบัสคอนเวอร์เตอร์ขณะปลดโหลดออกทันที เมื่อปลดโหลดกระแสของระบบโครงข่ายไฟฟ้าจะลดลงอย่างรวดเร็วทำให้แรงดันดีซีชีบัสเกิดโอเวอร์ชู้ตขึ้นโดยมีขนาด 52 โวลต์และกลับเข้าสู่สภาวะคงตัวที่ 24 โวลต์

รูปที่ 10 แสดงสัญญาณแรงดันและกระแสของระบบโครงข่ายไฟฟ้าในโหมดทบทระดับแรงดันหรือบัสคอนเวอร์เตอร์ในสภาวะมีโหลด เส้นสีแดงแสดงสัญญาณแรงดันระบบโครงข่ายไฟฟ้า โดยแรงดันมีค่า 220 โวลต์ เส้นสีน้ำเงินแสดงสัญญาณกระแสระบบโครงข่ายไฟฟ้า โดยสัญญาณกระแสมีค่า 0.38 แอมแปร์ และมีการเลื่อนเฟส 20 องศาทางไฟฟ้า

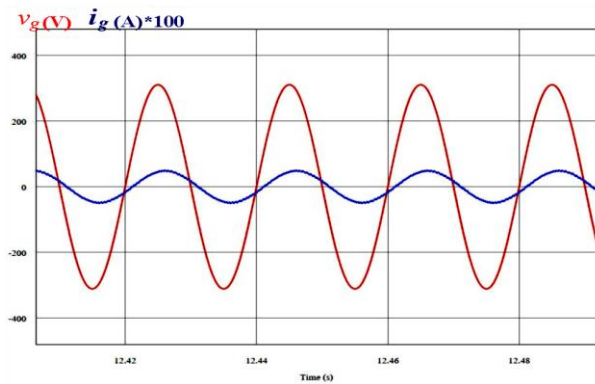
#### 4.2 ผลการจำลองในโหมดดีอินเวอร์เตอร์เชื่อมต่อกับระบบโครงข่ายไฟฟ้า

รูปที่ 11 แสดงสัญญาณแรงดันและกระแสของระบบโครงข่ายไฟฟ้าในโหมดดีอินเวอร์เตอร์เชื่อมต่อกับระบบโครงข่ายไฟฟ้า เส้นสีแดงแสดงสัญญาณแรงดันระบบโครงข่ายไฟฟ้า โดยแรงดันมีค่า 220 โวลต์ เส้นสีน้ำเงินแสดงสัญญาณกระแสระบบโครงข่ายไฟฟ้า โดยสัญญาณกระแสมีค่า 0.38 แอมแปร์มีมุมเฟสต่างกัน 180 องศาทางไฟฟ้าและมีการเลื่อนเฟส 20 องศา (จ่ายพลังงานให้กับระบบโครงข่ายไฟฟ้า)

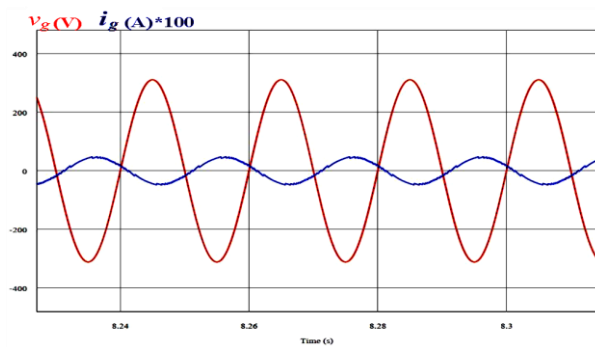




รูปที่ 9 สัญญาณแรงดันดีซีบัสและกระแสของระบบโครงข่ายไฟฟ้าในโหมดเรียงกระแสและโหมดทบระดับแรงดันไฟฟ้า



รูปที่ 10 สัญญาณแรงดันและกระแสของระบบโครงข่ายไฟฟ้าในโหมดเรียงกระแสและโหมดทบระดับแรงดันไฟฟ้า



รูปที่ 11 สัญญาณแรงดันและกระแสของระบบโครงข่ายไฟฟ้าในโหมดอินเวอร์เตอร์เชื่อมต่อบนระบบโครงข่ายไฟฟ้า



### 5. การทดสอบชุดทรานเนอร์จิกยานเชื่อมต่อบระบบโครงข่ายไฟฟ้า

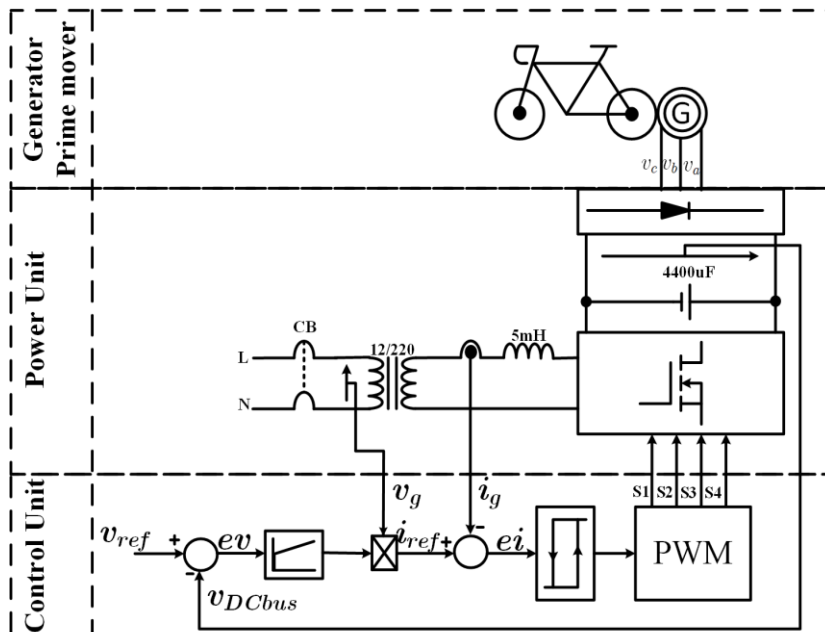
บล็อกไดอะแกรมทรานเนอร์จิกยานเชื่อมต่อบระบบโครงข่ายไฟฟ้า แบ่งออกเป็น 3 ส่วนคือ ส่วนแรกเครื่องต้นกำลังและเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ส่วนที่สองภาคกำลังวงจรอินเวอร์เตอร์เชื่อมต่อบระบบโครงข่ายไฟฟ้าชนิด 1 เฟส และส่วนที่สามภาคควบคุม ดังแสดงในรูปที่ 12 พารามิเตอร์ทรานเนอร์จิกยานเชื่อมต่อบระบบโครงข่ายไฟฟ้าที่ทำการทดสอบแสดงในตารางที่ 1

รูปที่ 13 แสดงการติดตั้งจกัรยานเข้ากับชุดทรานเนอร์จิกยานไฟฟ้าเชื่อมต่อบระบบโครงข่ายไฟฟ้า เมื่อบันจกัรยาน ล้อจกัรยานที่สัมผัสกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแบบไร้แปรงถ่านโดยตรง

ทำให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าหมุน ซึ่งส่วนที่หมุนเป็นส่วนของสเตเตอร์ ทำให้มีสนามแม่เหล็กตัดผ่านขดขดลวดทั้ง 3 ส่งผลให้เกิดแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส

ตารางที่ 1 พารามิเตอร์ทรานเนอร์จิกยานเชื่อมต่อบระบบโครงข่ายไฟฟ้า

พารามิเตอร์	พิกัด
พิกัดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	250 วัตต์
แรงดันดีซีบัส	24 โวลต์
พิกัดอินเวอร์เตอร์เชื่อมต่อบระบบโครงข่ายไฟฟ้าชนิด 1 เฟส	500 วัตต์
พิกัดแรงดันด้านออก	12 โวลต์
พิกัดหม้อแปลงยกกระต๊อบแรงดัน	150 โวลต์แอมแปร์



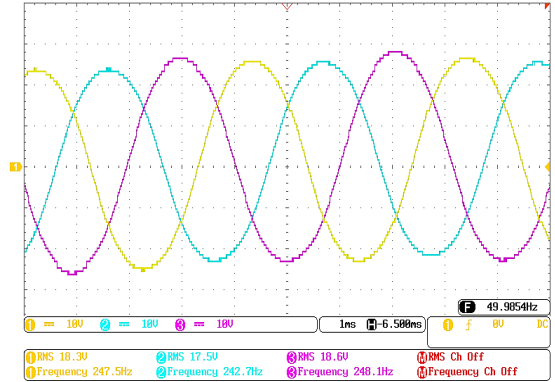
รูปที่ 12 บล็อกไดอะแกรมการทำงานของทรานเนอร์จิกยานเชื่อมต่อบระบบโครงข่ายไฟฟ้า



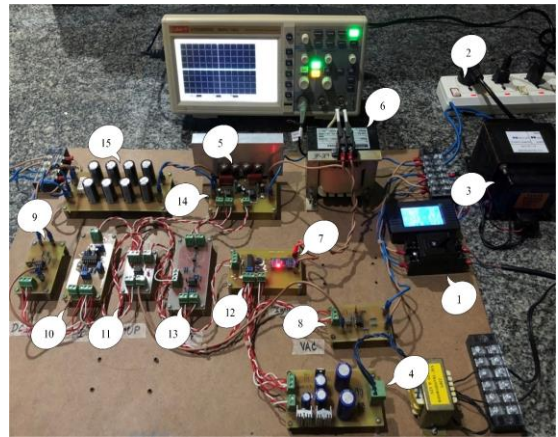
รูปที่ 13 ชูตเทรนเนอร์จักรยานเชื่อมต่อโครงข่ายระบบไฟฟ้า

รูปที่ 14 แสดงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส ที่ออกมาจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงแบบไร้แปรงถ่านแรงดันดังกล่าวจะถูกเรียงกระแสด้วย วงจรบริดจ์เรกติไฟร์ 3 เฟส ซึ่งทำหน้าที่เปลี่ยนจากแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับไปเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง เพื่อเป็นอินพุตให้กับวงจรอินเวอร์เตอร์เชื่อมต่อบนโครงข่ายไฟฟ้าชนิด 1 เฟส

รูปที่ 15 แสดงระบบที่ใช้ในการทดสอบเทรนเนอร์จักรยาน เชื่อมต่อโครงข่ายระบบไฟฟ้า ซึ่งประกอบด้วย (1) เซอร์คิตเบรกเกอร์ 1 เฟส (2) สวิตช์เปิด-ปิดแหล่งจ่ายไฟเลี้ยง (3) หม้อแปลงไฟฟ้า 220/12 โวลต์, 150 โวลต์-แอมแปร์ (4) แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้า  $\pm 15$  โวลต์ และ  $+5$  โวลต์ (5) วงจรอินเวอร์เตอร์เชื่อมต่อบนโครงข่ายไฟฟ้าชนิด 1 เฟส (6) ตัวเหนี่ยวนำ 5 มิลลิเฮนรี่ (7) เซนเซอร์วัดกระแส (8) วงจรขยายความแตกต่างฝั่งแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ (9) วงจรขยายความแตกต่างฝั่งแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง (10) วงจรควบคุมแบบพีไอ (11) วงจรคุณสมบัติแอนะล็อก (12) วงจรปรับปรุงสัญญาณกระแส (13) วงจรสมิตริกเกอร์ (14) วงจรขั้วเกต และ (15) คาปาซิเตอร์ที่บัสไฟตรง



รูปที่ 14 สัญญาณแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส ที่ออกมาจากมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน



รูปที่ 15 ระบบที่ใช้ในการทดสอบ

## 6. ผลการทดสอบ

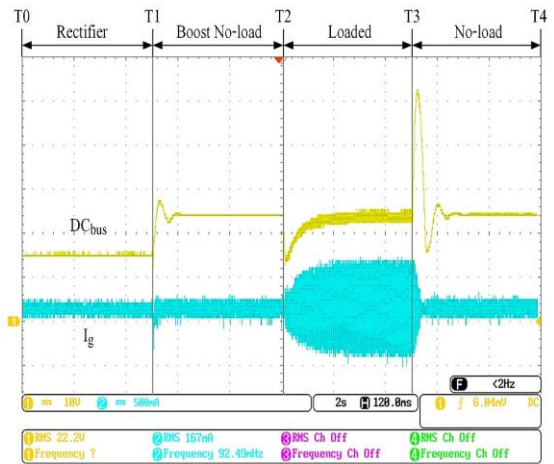
จากรูปที่ 15 ทำการทดสอบใน 2 กรณีคือการทดสอบในสภาวะโหมดเรียงกระแสและโหมดทบระดับแรงดันไฟฟ้าหรือบัสคอนเวอร์เตอร์ และการทดสอบในโหมดอินเวอร์เตอร์เชื่อมต่อบนโครงข่ายไฟฟ้า โดยผลการทดสอบจะอธิบายหัวข้อถัดไป



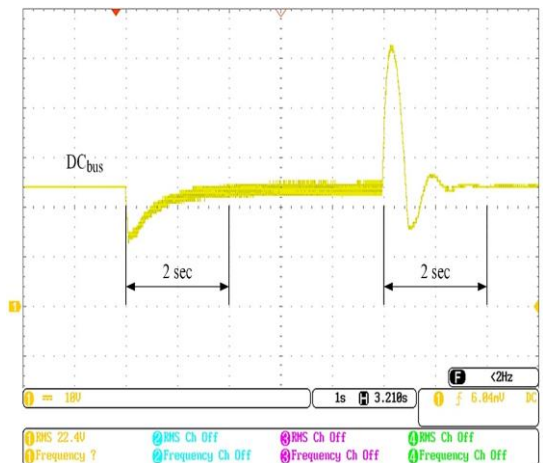
### 6.1 ผลการทดสอบในสภาวะโหมดเรียงกระแสและโหมดทบทระดับแรงดันไฟฟ้าหรือบูสคอนเวอร์เตอร์

รูปที่ 16 แสดงผลการทดสอบซึ่งแบ่งการทดสอบเป็น 4 ช่วงคือ ช่วง T0 ถึง T1 เป็นการทดสอบการทำงานของโหมดเรียงกระแส โดยแรงดันที่ตีซีบัสมีค่า 16.9 โวลต์และกระแสของระบบโครงข่ายไฟฟ้ามีค่าใกล้เคียงศูนย์ ช่วง T1 ถึง T2 เป็นการทดสอบในโหมดทบทระดับแรงดันไฟฟ้าหรือบูสคอนเวอร์เตอร์ ขณะไม่มีโหลด โดยแรงดันตีซีบัสเพิ่มจาก 16.9 โวลต์เป็น 24 โวลต์ ช่วง T2 ถึง T3 เป็นการทดสอบในโหมดทบทระดับแรงดันไฟฟ้าหรือบูสคอนเวอร์เตอร์ ขณะมีการต่อโหลด จะเห็นได้ว่าเมื่อมีต่อโหลดแรงดันตีซีบัส (DC<sub>bus</sub>) จะตกลงจาก 24 โวลต์เหลือ 16 โวลต์และกลับเข้าสู่สภาวะคงตัวที่ 24 โวลต์ในเวลา 2 วินาที และกระแสของระบบโครงข่ายไฟฟ้ามีค่า 0.38 แอมแปร์ ช่วง T3 ถึง T4 เป็นการทดสอบในโหมดทบทระดับแรงดันไฟฟ้าหรือบูสคอนเวอร์เตอร์ ขณะปลดโหลดออกทันที เมื่อปลดโหลดกระแสของระบบโครงข่ายไฟฟาลดลงอย่างรวดเร็วทำให้แรงดันตีซีบัสเกิดโอเวอร์ชูดสูงขึ้นและสามารถกลับมารักษาระดับแรงดันที่ 24 โวลต์ในเวลา 2 วินาที

รูปที่ 17 แสดงสัญญาณแรงดันที่ตีซีบัส เมื่อทำการเพิ่มโหลด แรงดันตีซีบัสตกลงจาก 24 โวลต์เหลือ 16 โวลต์ และกลับเข้าสู่สภาวะคงตัวที่ 24 โวลต์ในเวลา 2 วินาที เมื่อทำการปลดโหลดแรงดันตีซีบัสมีค่าโอเวอร์ชูด 52 โวลต์และกลับเข้าสู่สภาวะคงตัวที่ 24 โวลต์ เวลา 2 วินาที โดยแรงดันโอเวอร์ชูดที่เกิดขึ้นนั้นมีค่าต่ำกว่าพิกัดแรงดันที่มอสเฟตสามารถทนได้จึงไม่ทำให้เกิดความเสียหายกับอุปกรณ์



รูปที่ 16 สัญญาณแรงดันตีซีบัสและกระแสของระบบโครงข่ายไฟฟ้าในโหมดเรียงกระแสและโหมดทบทระดับแรงดันไฟฟ้าที่ทำการทดสอบ



รูปที่ 17 การเข้าสู่ภาวะคงตัวในสภาวะมีโหลดและไม่มีโหลดของแรงดันตีซีบัส



รูปที่ 18 แสดงสัญญาณแรงดันและกระแสของระบบโครงข่ายไฟฟ้าในการทดสอบโหมดทบระดับแรงดันไฟฟ้าหรือบวสคอนเวอร์เตอร์ขณะมีการต่อโหลดโดยแรงดันระบบโครงข่ายไฟฟ้าวัดได้ 243 โวลต์เส้นสีเหลือง กระแสของระบบโครงข่ายไฟฟ้าวัดได้ 0.383 แอมแปร์เส้นสีฟ้า และกำลังไฟฟ้าปรากฏของระบบโครงข่ายไฟฟ้ามีค่า 109 โวลต์-แอมแปร์ โดยสัญญาณแรงดันและกระแสของระบบโครงข่ายไฟฟ้ามีมุมต่างเฟส 22 องศาทางไฟฟ้า ส่งผลให้มีค่าตัวประกอบกำลังเท่ากับ 0.92 ดังนั้นกำลังไฟฟ้าจริงที่ได้จากการคำนวณมีค่า 101.06 วัตต์

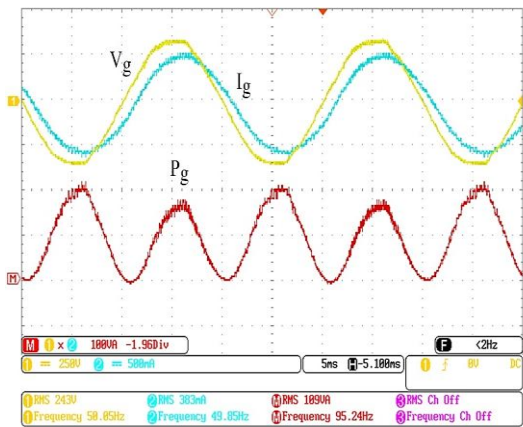
รูปที่ 19 แสดงค่าที่วัดจากพาวเวอร์มิเตอร์ซึ่งแรงดันระบบโครงข่ายไฟฟ้ามีค่า 234 โวลต์ กระแสระบบโครงข่ายไฟฟ้ามีค่า 0.51 แอมแปร์ กำลังไฟฟ้าจริง 109 วัตต์ พลังงาน 14 วัตต์-ชั่วโมง ความถี่ 50 เฮิร์ต ค่าตัวประกอบกำลัง 0.92

## 6.2 ผลการทดสอบในโหมดอินเวอร์เตอร์เชื่อมต่อบระบบโครงข่ายไฟฟ้า

การทดสอบในโหมดอินเวอร์เตอร์เชื่อมต่อบระบบโครงข่ายไฟฟ้าทำโดยการปั่นจักรยานที่อยู่บนชุดเทรนนอร์เพื่อเป็นแหล่งพลังงานวงจรอินเวอร์เตอร์เชื่อมต่อบระบบโครงข่ายไฟฟ้าชนิด 1 เฟส เมื่อแรงดันที่ดีซีบัลลัสสูงกว่าแรงดันอ้างอิงจะส่งผลให้ค่ากระแสอ้างอิงมีค่าเป็นลบ ซึ่งจะส่งผลให้สัญญาณกระแสของระบบโครงข่ายไฟฟ้าเป็นมุมต่างเฟสจากแรงดันของระบบโครงข่ายไฟฟ้าเป็นมุม 180 องศาทางไฟฟ้า ส่งผลให้ค่ากำลังไฟฟ้าจริงมีค่าเป็นลบ (จ่ายพลังงานให้กับระบบโครงข่ายไฟฟ้า)

จากรูปที่ 20 แสดงสัญญาณแรงดัน กระแสและกำลังไฟฟ้าปรากฏในโหมดอินเวอร์เตอร์เชื่อมต่อบระบบ

โครงข่ายไฟฟ้า โดยแรงดันระบบโครงข่ายไฟฟ้าวัดได้ 240 โวลต์เส้นสีเหลือง กระแสของระบบโครงข่ายไฟฟ้าวัดได้ 0.372 แอมแปร์เส้นสีฟ้า และกำลังไฟฟ้าปรากฏของระบบโครงข่ายไฟฟ้ามีค่า 109 โวลต์-แอมแปร์เส้นสีแดง โดยสัญญาณแรงดันและกระแสของระบบโครงข่ายไฟฟ้ามีมุมต่างเฟส 183.6 องศาทางไฟฟ้า ส่งผลให้มีค่าตัวประกอบกำลังเท่ากับ 0.99 ดังนั้นกำลังไฟฟ้าจริงที่ได้จากการคำนวณมีค่า 107.91 วัตต์



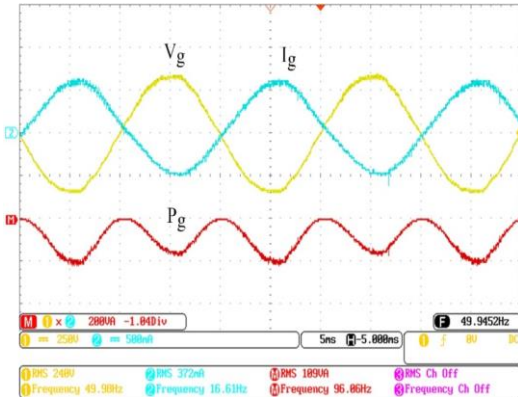
รูปที่ 18 สัญญาณแรงดันและกระแสของระบบโครงข่ายไฟฟ้าในการทดสอบโหมดทบระดับแรงดันไฟฟ้าหรือบวสคอนเวอร์เตอร์ขณะมีการต่อโหลด



รูปที่ 19 ปริมาณทางไฟฟ้าจากการทดสอบในโหมดทบระดับแรงดันไฟฟ้าขณะไม่มีโหลด



บทความวิจัย



รูปที่ 20 สัญญาณแรงดัน กระแส และกำลังไฟฟ้า ปรากฏในโหมตอินเวอร์เตอร์เชื่อมต่อบระบบ โครงข่ายไฟฟ้า

รูปที่ 21 แสดงค่าที่วัดจากพาวเวอร์มิเตอร์ ซึ่งแรงดันระบบโครงข่ายไฟฟ้ามีค่า 235 โวลต์ กระแสระบบโครงข่ายไฟฟ้ามีค่า 0.465 แอมแปร์ กำลังไฟฟ้าจริง 107 วัตต์ พลังงาน 4 วัตต์-ชั่วโมง ค่าตัวประกอบกำลัง 0.98 สามารถคำนวณหาค่า ประสิทธิภาพจากสมการที่ (8)

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \quad (8)$$

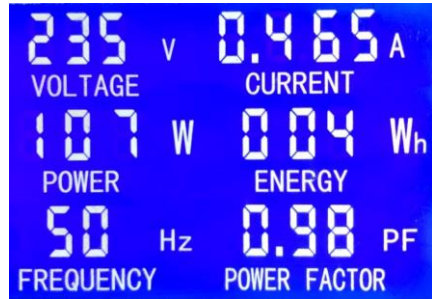
เมื่อ

$\eta$  คือ ประสิทธิภาพ

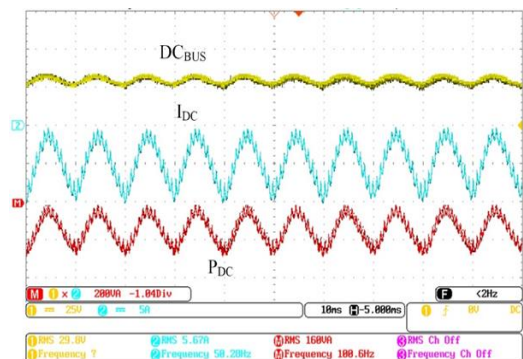
$P_{out}$  คือ กำลังไฟฟ้าด้านออก

$P_{in}$  คือ กำลังไฟฟ้าด้านเข้า

จากรูปที่ 22 กำลังไฟฟ้าดีซีบัสคือกำลังไฟฟ้าด้านเข้าอินเวอร์เตอร์เชื่อมต่อบระบบโครงข่ายไฟฟ้า ซึ่งมีค่าเท่ากับ 168 วัตต์ และเมื่อนำกำลังไฟฟ้าด้านออกมามา คำนวณหาประสิทธิภาพ พบว่าประสิทธิภาพของวงจรรินเวอร์เตอร์เชื่อมต่อบระบบโครงข่ายไฟฟ้าชนิด 1 เฟส มีค่าเท่ากับ 63.7 %



รูปที่ 21 ปริมาณทางไฟฟ้าในโหมตอินเวอร์เตอร์ เชื่อมต่อบระบบโครงข่ายไฟฟ้า



รูปที่ 22 สัญญาณแรงดันดีซีบัส กระแสดีซีบัส และ กำลังไฟฟ้าดีซีบัส ในโหมตอินเวอร์เตอร์เชื่อมต่อบระบบโครงข่ายไฟฟ้า

### 7. สรุปผลการทดสอบ

จากผลการทดสอบชุดเทรนเนอร์จักรยานเชื่อมต่อบระบบโครงข่ายไฟฟ้าเมื่อผู้ใช้งานปั่นจักรยานเพื่อออกกำลังกายทำให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าสร้างแรงดันไฟฟ้า กระแสสลับจากนั้นถูกเรียงกระแสด้วยวงจรบริดจ์ เรกติไฟร์เพื่อเป็นแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงให้กับวงจรรินเวอร์เตอร์เชื่อมต่อบระบบโครงข่ายไฟฟ้าชนิด 1 เฟส โดยใช้เทคนิคการควบคุมกระแส อิสเตอร์ซีสแบบซิงเกิลแบนด์ จากการทดสอบ



ชุดทรานส์ฟอร์มเมอร์เชื่อมต่อบริเวณระบบโครงข่ายไฟฟ้าวัดค่ากำลังไฟฟ้าจริงได้ 109 วัตต์ ค่าตัวประกอบกำลังเท่ากับ 0.92 ในโหมดบัสคอนเวอร์เตอร์ขณะมีการต่อโหลด และการทดสอบชุดทรานส์ฟอร์มเมอร์เชื่อมต่อบริเวณระบบโครงข่ายไฟฟ้า สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าจริงเข้าไปยังระบบโครงข่ายไฟฟ้า 107 วัตต์ ค่าตัวประกอบกำลังเท่ากับ 0.98 โดยประสิทธิภาพของวงจรอินเวอร์เตอร์เชื่อมต่อบริเวณโครงข่ายไฟฟ้าชนิด 1 เฟสมีค่าเท่ากับ 63.7 %

## 8. เอกสารอ้างอิง

- [1] A. Sukwatjane, Exercise for elders, Srinakharinwirot Research and Development Journal of Humanities and Social Sciences, 2012, 216-223. (in Thai)
- [2] F. Blaabjerg, R. Teodorescu, M. Liserre, and A.V. Timbus, Overview of control and grid synchronization for distributed power generation systems, IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2006, 53(5), 1398-1409.
- [3] J. Benjanarasut and B. Neammanee, The d- q-axis control technique of single phase grid connected converter for wind turbines with MPPT and anti-islanding protection, The 8th Electrical Engineering/ Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI), Proceeding, 2011, 649-652.
- [4] B. Pradyumna Kumar, S. Anurag and P. Monalisa, Design and implementation of a single-band hysteresis current controlled H-bridge inverter, International Conference on Power Electronics (IEEE-2020), Proceeding, 1-6.
- [5] Y. Xue, L. Chang, S.B. Kjaer, J. Bordonau, and T. Shimizu, Topologies of single-phase inverters for small distributed power generators, IEEE transactions on Power Electronics, 2004, 19(5), 1305-1314.
- [6] J.K. Singh and R.K. Behera, Hysteresis current controllers for grid connected inverter, IEEE International Conference on Power Electronics, Drives and Energy Systems (PEDES), Proceeding, 2018, 1-6.
- [7] A.I. Putri, A. Rizqiawan, F. Rozzi, N. Zakkia, Y. Haroen and P.A. Dahono, A hysteresis current controller for grid-connected inverter with reduced losses, 2016 2nd International Conference of Industrial, Mechanical, Electrical, and Chemical Engineering (ICIMECE), Proceeding, 2016, 167-170.
- [8] T. Nguyen-Van, R. Abe, and K. Tanaka, A digital hysteresis current control for half-bridge inverters with constrained switching frequency, Energies, 2017, 1-13.
- [9] P. Dahono, New hysteresis current controller for single-phase full bridge inverters, IET Power Electronics, 2009, 585 - 594.



- [10] Y. Kobayashi and H. Funato, Current control method based on hysteresis control suitable for single phase active filter with LC output filter, 13th International Power Electronics and Motion Control Conference, Proceeding, 2008, 479-484.
- [11] G.H. Bode and D.G. Holmes, Implementation of three level hysteresis current control for a single phase voltage source inverter, 31st Annual Power Electronics Specialists Conference, Proceeding, 2000, 33-38.
- [12] N. Mohan, T.M. Undeland and W.P. Robbins, Power electronics converters applications and design, 3rd Ed., Wiley, NY, USA, 2002.
- [13] P. Rama Krishna, Kakarla Hari Kishore and M. Swathi, A low-power reconfigurable ADC for bioimpedance monitoring system, Electronic Devices, Circuits and Systems for Biomedical Applications, 2021, 13-15.
- [14] K.H. Raut and S.R. Vaishnav, Performance analysis of PID tuning techniques based on time response specification, International Journal of Innovative Research in Electrical, Electronics, Instrumentation and Control Engineering, 2014, 2(1), 616-619.
- [15] G. Mallesham, S. Mishra and A.N. Jha, Ziegler-Nichols based controller parameters tuning for load frequency control in a microgrid, 2011 International Conference on Energy, Automation and Signal, Proceeding, 2011, 1-8.
- [16] A. Ratna and H. Yulita, Implementation of ziegler-nichols PID tuning method on stabilizing temperature of hot-water dispenser, 16th International Conference on Quality in Research (QIR), Proceeding, 2019, 1-5.