

การออกแบบและสร้างระบบแปลงผันพลังงานแบบเชื่อมต่อโครงข่ายไฟฟ้าสำหรับจักรยานออกกำลังกาย Designed and Implementation of Grid Connected Converter System for Exercise Bike

จิรวุฒิ เบนญจนราสุทธิ์

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ jirawut.b@eng.kmutnb.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการออกแบบ และสร้างระบบแปลงผันพลังงานแบบเชื่อมต่อโครงข่ายไฟฟ้าสำหรับจักรยานออกกำลังกายขนาด 250 โวลต์แอมป์ ประกอบด้วยจักรยานออกกำลังกายเชื่อมต่อกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและระบบแปลงผันพลังงานซึ่งประกอบด้วยสองส่วนหลัก ส่วนแรกคือซิงโครนัสคอนเวอร์เตอร์ ทำหน้าที่ปรับระดับความหนืดของจักรยานผ่านการควบคุมกระแสของซิงโครนัสคอนเวอร์เตอร์โดยการประยุกต์ใช้ Analog comparator module ของไมโครคอนโทรลเลอร์ STM32F334R8 มาใช้ในการควบคุมกระแส และส่วนที่สองคือกริดไทน์อินเวอร์เตอร์ทำหน้าที่การแปลงผันพลังงานจากซิงโครนัสคอนเวอร์เตอร์เข้าสู่ระบบโครงข่ายไฟฟ้า จากผลการทดสอบยืนยันว่าระบบที่สร้างขึ้นสามารถปรับระดับความหนืดของจักรยานผ่านการควบคุมกระแสได้เสมือนจักรยานออกกำลังกายทั่ว ๆ สามารถจ่ายพลังงานเข้าสู่ระบบโครงข่ายไฟฟ้าได้สูงถึง 236 วัตต์อย่างมีเสถียรภาพ มีประสิทธิภาพ 86.92 เปอร์เซ็นต์ ค่าตัวประกอบกำลัง 0.95 และ THDi 2.5 เปอร์เซ็นต์

คำสำคัญ: กริดไทน์อินเวอร์เตอร์, การควบคุมกระแสจ่ายอด, Analog comparator module

1

²Abstract

This paper proposed an experimental design and implementations of 250 VA grid connected converter system for an exercise bike that consist of an exercise bike, coupling with a generator and a grid connected converter system. The converter system has two main parts. The first part is a synchronous boost converter that adjusts viscosity of an exercise bike generator via control synchronous boost converter current. It was applied to an analog comparator module of STM32F334R8 microcontroller. The second part is a grid tie inverter that transfers energy from synchronous boost converter to grid. The experimental results verify the system can adjust the viscosity of an exercise bike equal to the conventional exercise bike and can deliver

the power from the exercise bike to the grid at 232W with stability, while the system have efficiency at 86.92%, power factor 0.95 and THDi 2.5%.

Keywords: Grid tie inverter, Peak current control, Analog comparator module

1. บทนำ

ปัจจุบันคนเราสนใจสุขภาพมากขึ้น ซึ่งการออกกำลังกายด้วยจักรยานออกกำลังกายจึงเป็นที่นิยมมากขึ้น เนื่องจากใช้พื้นที่น้อย สะดวก โดยการออกกำลังกายด้วยจักรยานออกกำลังกายจะมีรูปแบบเป็นแบบคาร์ดิโอ ซึ่งจะใช้เวลาในการออกกำลังกายที่ค่อนข้างนาน (30 นาทีขึ้นไป) ด้วยเหตุผลนี้ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะนำพลังงานเสียเปล่าจากการออกกำลังกายมาใช้ให้เกิดประโยชน์ โดยการนำพลังงานนี้เข้าสู่ระบบโครงข่ายไฟฟ้าเพื่อเป็นการอนุรักษ์พลังงาน โดยบทความนี้เสนอการออกแบบและสร้างระบบแปลงผันพลังงานจากจักรยานออกกำลังกาย เข้าสู่ระบบโครงข่ายไฟฟ้า โดยหัวข้อที่ 2 อธิบายถึงโครงสร้างของระบบแปลงผันพลังงานจากจักรยานออกกำลังกาย หัวข้อที่ 3 อธิบายถึงระบบควบคุมของวงจรแปลงผันพลังงาน หัวข้อที่ 4 แสดงผลการทดสอบ และหัวข้อที่ 5 เป็นการสรุปผลและข้อเสนอแนะ

2. โครงสร้างของระบบแปลงผันพลังงานจากจักรยานออกกำลังกาย

การสร้างระบบแปลงผันพลังงานที่จะนำไปใช้กับจักรยานออกกำลังกายซึ่งเชื่อมต่อกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัสแบบแม่เหล็กถาวรขนาด 250 วัตต์ โดยมีอัตราทดของงานป้อนกับเพลของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในอัตราส่วน 1:5 รอบ ดังแสดงในรูปที่ 1 (ก) และรูปที่ 1 (ข) แสดงโครงสร้างภายในเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบซิงโครนัสชนิดแม่เหล็กถาวร โดยเมื่อทดสอบทำการปั่นจักรยาน เครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะมีความเร็วรอบอยู่ในช่วง 0-400 rpm ซึ่งกราฟของแรงดันไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (ผ่านวงจรเรกติฟายเออร์) และความเร็วรอบแสดงดังรูปที่ 2



(ก)

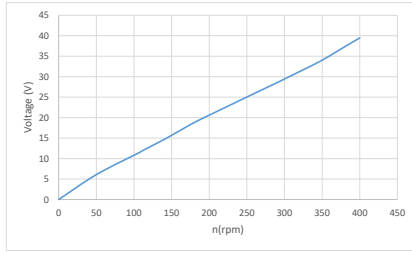


(ข)

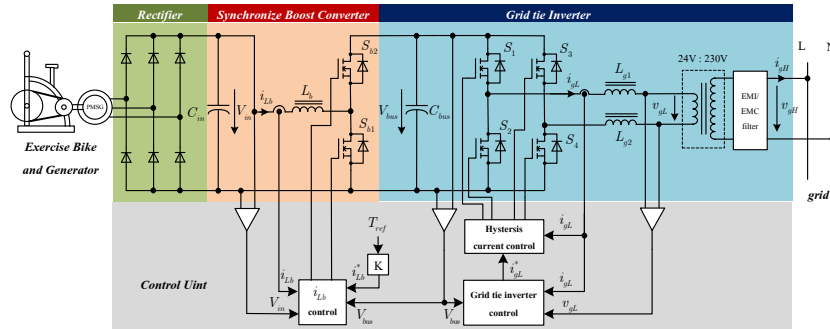
รูปที่ 1 (ก) จักรยานออกกำลังกายที่สร้างขึ้นและ (ข) โครงสร้างของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

The manuscript received August 20, 2020; revised October 1, 2020; accepted November 30, 2020; available online April 8, 2021.

*Corresponding author: จิรวุฒิ เบนญจนราสุทธิ์, ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ (E-mail: jirawut.b@eng.kmutnb.ac.th)



รูปที่ 2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้ากับความเร็วยกของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า



รูปที่ 3 ระบบแปลงผันพลังงานแบบเชื่อมต่อกับโครงข่ายไฟฟ้าของจักรยานออกกำลังกาย

ซึ่งในการออกแบบระบบแปลงผันพลังงานจะใช้ผลการทดสอบในรูปที่ 2 เพื่อนำไปใช้ออกแบบจุดเริ่มต้น และพิกัดแรงดันทำงานของคอนเวอร์เตอร์ โดยกำหนดให้คอนเวอร์เตอร์ที่ออกแบบทำงานในช่วงแรงดันไฟฟ้าอยู่ระหว่าง 10-40 โวลต์

โครงสร้างของระบบแปลงผันพลังงานที่ออกแบบแสดงดังรูปที่ 3 ประกอบด้วยวงจรเรกติไฟเออร์ในบล็อกสีเขียวทำหน้าที่แปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นกระแสตรง เพื่อส่งให้วงจรซิงโครนัสคอนเวอร์เตอร์ในบล็อกสีแดง ซึ่งวงจรนี้มีประสิทธิภาพสูงกว่าวงจรคอนเวอร์เตอร์เนื่องจากเปลี่ยนจากไดโอด เป็นมอสเฟต S_{b2} ซึ่งจะทำให้แรงดันตกคร่อมในขณะที่นำกระแสลดลงจากประมาณ 0.6 โวลต์ลงเหลือที่ประมาณ 0.2 โวลต์ โดยวงจรนี้ทำหน้าที่ในเพิ่มระดับแรงดันให้เหมาะสมกับกริดไทร์อินเวอร์เตอร์ และทำหน้าที่ในการปรับความหนืด (Load torque) ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าให้เหมือนกับการปั่นจักรยานออกกำลังกาย โดยการปรับความหนืดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสามารถทำได้โดยการปรับกระแสที่ตัวเหนี่ยวนำ L_b (i_{Lb}) โดยความสัมพันธ์ของแรงบิด (T) สามารถประมาณได้จากสมการที่ (1) [1]

$$T = K i_{Lb} \quad (1)$$

ส่วนถัดมาคือ กริดไทร์อินเวอร์เตอร์ ในบล็อกสีฟ้าส่วนนี้จะทำหน้าที่แปลงผันพลังงานจาก ซิงโครนัสคอนเวอร์เตอร์เข้าสู่ระบบโครงข่ายไฟฟ้า การเชื่อมต่อกับโครงข่ายไฟฟ้าจะทำการเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้าจาก 24 โวลต์ เป็น 230 โวลต์โดยใช้หม้อแปลงแยกโดด 24V/230V ขนาด 250 VA เพื่อความปลอดภัยกับผู้ใช้จักรยานออกกำลังกาย และส่วนสุดท้ายคือระบบควบคุมที่อยู่ทางด้านล่างของรูปที่ 3 โดยจะอธิบายในหัวข้อถัดไป

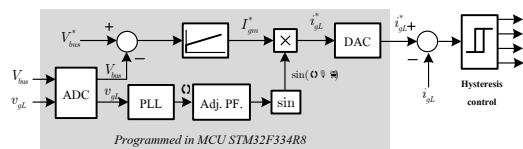
3. ระบบควบคุมการแปลงผันพลังงาน

ระบบควบคุมการแปลงผันพลังงานของจักรยานออกกำลังกายจะแบ่งเป็น 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนกริดไทร์อินเวอร์เตอร์และส่วนของซิงโครนัสคอนเวอร์เตอร์ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.1 ระบบควบคุมของกริดไทร์อินเวอร์เตอร์

โดยระบบควบคุมส่วนนี้จะอยู่ในบล็อก Grid tie inverter control ในรูปที่ 3 โดยบล็อกนี้มีโคแอดแกรมการควบคุมแสดงดังรูปที่ 4 ซึ่งแบ่งเป็นสองส่วนใหญ่ ๆ โดยส่วนแรกบล็อกควบคุมกระแสทางด้านขวามือของภาพ ส่วนนี้จะทำหน้าที่ในการควบคุมการจ่ายกระแสเข้าสู่ระบบโครงข่ายไฟฟ้าให้ได้รูปร่างกระแสเป็นไซน์ที่มีขนาด แอมพลิจูดและเฟส ตามสัญญาณกระแสอ้างอิง i_{gL}^* ซึ่งเป็นไปตามสมการที่ (2) โดยที่ θ คือมุมของแรงดันระบบโครงข่ายไฟฟ้า ϕ คือมุมต่างเฟสของกระแสอ้างอิงเพิ่มเข้ามาเพื่อใช้สำหรับปรับค่าตัวประกอบกำลัง I_{gm}^* คือค่ายอดของกระแสอ้างอิง สำหรับการควบคุมกระแสให้ได้ค่าตามกระแสอ้างอิงจะใช้วิธีการควบคุมกระแสแบบ Hysteresis [2] ซึ่งจะทำให้การสร้างจาก comparator เบอร์ LM311

$$i_{gL}^* = I_{gm}^* \sin(\omega t \pm \phi) \quad (2)$$



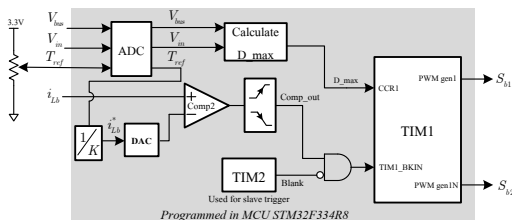
รูปที่ 4 ระบบควบคุมในบล็อก Grid tie inverter control

ส่วนถัดมาคือส่วนของการสร้างกระแสอ้างอิง i_{gL}^* ส่วนนี้จะอยู่ทางด้านซ้ายมือของรูปที่ 4 ในกรอบสี่เหลี่ยม ส่วนนี้จะทำหน้าที่ควบคุมแรงดัน V_{bus} ให้มีค่าเท่ากับ V_{bus}^* โดยกำหนดไว้ที่ 48 โวลต์โดยใช้ตัวควบคุมแบบพีไอ การทำงานของวงจรควบคุมนี้ เมื่อมีกระแสจากวงจรซิงโครนัสคอนเวอร์เตอร์ไหลเข้ามาที่ตัวเก็บประจุ C_{bus} จะทำให้

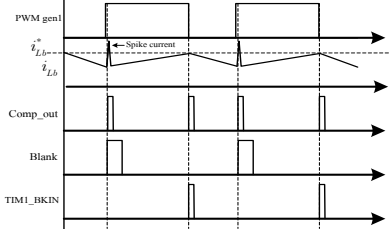
แรงดัน V_{bus} มีค่าสูงขึ้น ตัวควบคุมแบบฟีดแบ็คจะทำหน้าที่ในการเพิ่มค่า I_{gm}^* เพื่อสมดุลกระแสที่ไหลเข้าและไหลออกตัวเก็บประจุ C_{bus} ให้มีแรงดันที่ 48 โวลต์เพื่อให้ได้กระแสอ้างอิง i_{gL}^* จำเป็นต้องมีส่วนที่ทำการซิงโครไนส์กับแรงดันของระบบโครงข่ายไฟฟ้าจะใช้บล็อกเฟสล็อกคูล (PLL) เพื่อสร้างสัญญาณมุมของแรงดัน (θ) แล้วปรับตัวประกอบกำลังโดยการประมูมต่างเฟส (ϕ) เพื่อให้ได้สัญญาณ $\sin(q \pm f)$ แล้วนำไปคูณกับสัญญาณควบคุม I_{gm}^* เพื่อให้ได้สัญญาณตามสมการที่ (2) แล้วส่งไปยังส่วนควบคุมกระแสต่อไป โดยบล็อกในส่วนที่สองนี้จะถูกโปรแกรมอยู่ในไมโครคอนโทรลเลอร์ STM32F334R8

3.2 ระบบควบคุมของซิงโครไนส์คอนเวอร์เตอร์

การควบคุมแรงบิดเพื่อปรับความเหน็ดของจักรยานจะทำการปรับ T_{ref} แล้วแปลงให้อยู่ในรูปกระแสอ้างอิง i_{Lb}^* ดังสมการที่ (1) จากนั้นจะควบคุมกระแส i_{Lb} ของซิงโครไนส์คอนเวอร์เตอร์ให้ได้ค่าตาม i_{Lb}^* โดยการใช้บล็อก i_{Lb} control ในรูปที่ 3 เพื่อควบคุมกระแสค่ายอด (Peak current control) ซึ่งมีข้อดีคือสามารถควบคุมกระแสได้ดีทั้ง โหมดกระแสต่อเนื่อง และกระแสไม่ต่อเนื่อง ซึ่งแต่เดิมจะต้องใช้วงจรอนาล็อกในการควบคุมซึ่งมีความยุ่งยากในการออกแบบโดยเฉพาะการปัญหากระแสสปาร์ (Spike current) แต่ในบทความนี้จะประยุกต์ใช้โมดูล Comparator (Comp2) [3] ภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ STM32F334R8 ซึ่งสามารถควบคุมกระแสค่ายอด และสามารถเขียนโปรแกรมเพื่อแก้ปัญหากระแสสปาร์ได้ในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยแสดงไคอะแกรมการควบคุม และแก้ปัญหากระแสสปาร์แสดงดังรูปที่ 5 และมี Timing diagram การทำงานแสดงดังรูปที่ 6



รูปที่ 5 แสดงระบบควบคุมในบล็อก i_{Lb} control



รูปที่ 6 Timing diagram ของการควบคุมกระแสค่ายอด ในบล็อกรูปที่ 5

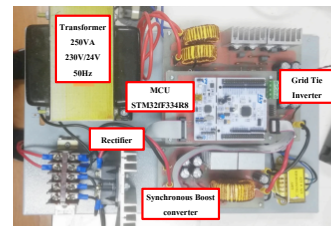
ไคอะแกรมรูปที่ 5 แสดงการทำงานส่วนที่ใช้สำหรับสร้างสัญญาณ PWM เพื่อไปควบคุมซิงโครไนส์คอนเวอร์เตอร์ จะใช้ TIM1 สร้างสัญญาณที่มีความถี่ 20kHz และมี Duty cycle = D_{max} โดยค่า D_{max} จะเป็นไปตามสมการที่ (3) โดยเมื่อกระแส i_{Lb} มีค่ามากกว่า i_{Lb}^*

comparator ก็ที่จะส่งสัญญาณไปที่ รีจิสเตอร์ TIM1_BKIN เพื่อหยุดสัญญาณ PWM แต่ในทางปฏิบัติขณะที่วงจรทำการสวิตช์จะเกิด กระแสสปาร์ขึ้นทำให้มีสัญญาณด้านนอกของ comparator (Comp_out) ขณะเกิดกระแสสปาร์ทำให้กระการควบคุมกระแสค่ายอดผิดพลาดได้ เพื่อแก้ปัญหาเรื่องนี้จึงทำการสร้างสัญญาณ Blank จาก TIM2 โดยทำหน้าที่เป็น Slave trigger ของ TIM1 ซึ่งสัญญาณนี้ออกมาขณะเกิดกระแสสปาร์ในช่วงการเริ่มสวิตช์เพื่อไม่ให้สัญญาณ Comp_out ไปหยุดสัญญาณ PWM ดังแสดงในไคอะแกรมรูปที่ 6

$$D_{max} = \begin{cases} 0.8 & , V_m < 15 \\ 1 - V_m/V_{m0} + 0.1 & , 15 < V_m < 48 \\ 0 & , V_m > 48 \end{cases} \quad (3)$$

4. ผลการทดสอบ

การทดสอบระบบแปลงผันพลังงานแบบเชื่อมต่อโครงข่ายไฟฟ้าสำหรับจักรยานออกกำลังกาย โดยระบบแปลงผันที่สร้างขึ้นมาดังแสดงในรูปที่ 7 โดยมีค่าพารามิเตอร์ของอุปกรณ์แสดงดังตารางที่ 1 โดยการทดสอบประกอบด้วย 1) ทดสอบผลตอบสนองเชิงไดนามิกส์ของกริดไทร์อินเวอร์เตอร์ 2) ทดสอบระบบแปลงผันพลังงานรวมและ 3) ทดสอบระบบแปลงผันพลังงานร่วมกับจักรยานออกกำลังกาย



รูปที่ 7 ระบบแปลงผันพลังงานสำหรับจักรยานออกกำลังกาย

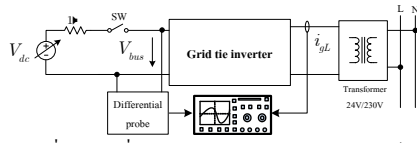
ตารางที่ 1 พารามิเตอร์ของอุปกรณ์

พารามิเตอร์	ขนาด, พิกัด
C_{in}	1,000mF, 70V
C_{bus}	2,000mF, 70V
L_b	0.7mH, 10A
L_{s1}, L_{s2}	0.3mH, 10A

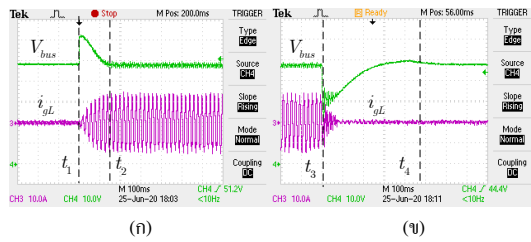
4.1 การทดสอบผลตอบสนองเชิงไดนามิกส์ของกริดไทร์อินเวอร์เตอร์

การทดสอบนี้ทำเพื่อยืนยันว่ากริดไทร์อินเวอร์เตอร์ที่สร้างขึ้นสามารถตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงแรงดัน V_{bus} แบบทันทีทันใดได้ โดยไคอะแกรมของระบบทดสอบแสดงดังรูปที่ 8 โดยการทดสอบทำการปรับแหล่งจ่ายไฟกระแสตรง V_{dc} ให้กริดไทร์อินเวอร์เตอร์ จ่ายกระแสที่พิกัดแล้วทำการเปิดสวิตช์ SW จากนั้นเริ่มทำการทดสอบโดยการปิดสวิตช์ SW ทันทีทันใดแล้วรอให้ระบบเข้าสู่สภาวะคงตัวจากนั้นจึงเปิดสวิตช์ SW แล้วรอให้ระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว โดยผลจากการทดสอบแสดงดังรูปที่ 9 โดยรูปที่ 9 (ก) แสดงผลตอบสนองต่อขณะปิดสวิตช์ SW ที่เวลา t_1 โดยระบบสามารถรักษาระดับแรงดัน V_{bus} ที่ 48 โวลต์ได้โดยการดึงพลังงานที่ล้นเข้าสู่ระบบโครงข่ายไฟฟ้าโดยการจ่ายกระแส i_{gL} โดยใช้เวลา 125 ms จึงเข้าสู่สภาวะคงตัวที่เวลา t_2 รูปที่ 9 (ข) แสดง

ผลตอบสนองขณะเปิดสวิตช์ SW ที่เวลา t_3 โดยระบบสามารถรักษาแรงดันแรงดัน V_{bus} ให้กลับมาที่ 48 โวลต์ได้โดยการลดกระแส i_{gL} ที่เข้าโครงข่ายระบบไฟฟ้าโดยใช้เวลา 500 ms จึงเข้าสู่สภาวะคงตัวที่เวลา t_4



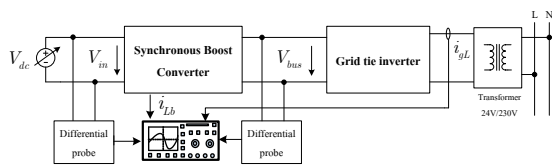
รูปที่ 8 ระบบที่ใช้ทดสอบผลตอบสนองเชิงไดนามิกส์



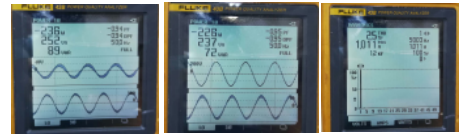
รูปที่ 9 ผลตอบสนองเชิงไดนามิกส์กริดไทโรอินเวอร์เตอร์ ก) ปิด SW และ ข) เปิด SW

4.2 การทดสอบระบบแปลงผันพลังงานรวม

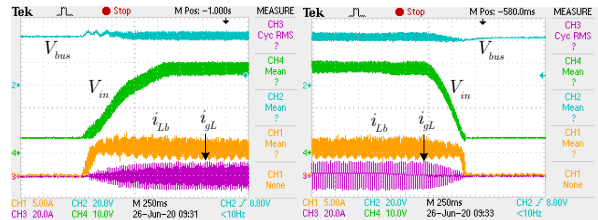
ระบบทดสอบระบบแปลงผันพลังงานรวมแสดงดังรูปที่ 10 โดยการทดสอบจะทำการปรับให้ซึ่งโครนัสตคอนเวอร์เตอร์ ควบคุมกระแสค่าออกไว้ที่ 7.5 A จากนั้นทำการปรับแรงดันจากแหล่งจ่าย V_{dc} จาก 0 จนถึงกระทั่งระบบทำงานที่ที่กิตติ์ 250 VA จากนั้นวัดกำลังไฟฟ้า 3 จุด ได้แก่ 1) กำลังไฟฟ้าด้านเข้าของซึ่งโครนัสตคอนเวอร์เตอร์ 2) กำลังไฟฟ้าด้านออกของกริดไทโรอินเวอร์เตอร์ ฟัง 24 โวลต์และ 3) กำลังไฟฟ้าด้านออกฝั่ง 230 โวลต์โดยทำการวัดกำลังไฟฟ้าแต่ละจุดได้ที่ 260W, 236W และ 226W ตามลำดับ โดยสัญญาณแรงดัน กระแส และกำลังไฟฟ้าทางด้านออกฝั่งแรงดัน 24 โวลต์และ 230 โวลต์ แสดงในรูปที่ 11 (ก) และ (ข) ตามลำดับ โดยผลการทดสอบขณะเพิ่มแรงดันแหล่งจ่าย V_{dc} แสดงดังรูปที่ 13 (ก) จากนั้นทำการลดแรงดันจากแหล่งจ่าย V_{dc} ลงมาที่ 0 โวลต์โดยผลการทดสอบขณะลดแรงดันแหล่งจ่าย V_{dc} แสดงดังรูปที่ 13 (ข) โดยจากผลการทดสอบจะเห็นได้ว่าแรงดัน V_{bus} จะถูกรักษาไว้ที่ 48 โวลต์ตลอดช่วงการทำงาน และในส่วนของการควบคุมกระแส i_{Lb} หากเข้าสู่ช่วงการทำงานที่ $V_{in} > 10$ โวลต์ระบบจะสามารถควบคุมให้กระแส i_{Lb} มีค่าขอยคงที่ได้ตลอดช่วงการทำงาน และในส่วนของประสิทธิภาพรวมของระบบจะอยู่ที่ 86.92% ตัวประกอบกำลัง 0.95 และ THDi 2.5%



รูปที่ 10 ระบบที่ใช้ทดสอบระบบแปลงผันพลังงานรวม



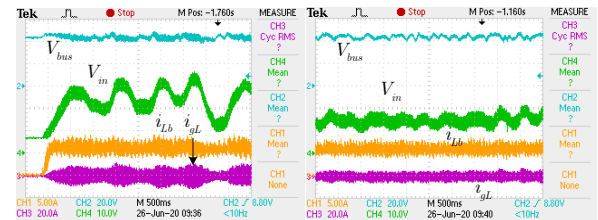
รูปที่ 11 (ก) แรงดัน กระแส และกำลังไฟฟ้าทางด้านออกฝั่ง 24 โวลต์ (ข) แรงดัน กระแส และกำลังไฟฟ้าทางด้านออกฝั่ง 230 โวลต์ (ค) THDi ที่ด้านออก



รูปที่ 13 ผลการทดสอบระบบรวม

4.3 การทดสอบระบบรวมกับจักรยานออกกำลังกาย

การทดสอบนี้จะเป็นการทดสอบระบบรวมกับจักรยานออกกำลังกายโดยแกรมการทดสอบแสดงดังรูปที่ 10 แต่เปลี่ยนจากแหล่งจ่ายไฟกระแสตรง V_{dc} เป็นจักรยานออกกำลังกายและวงจรเรียงกระแส โดยการทดสอบจะทำการปรับให้ซึ่งโครนัสตคอนเวอร์เตอร์ ควบคุมกระแสค่าขอยไว้ที่ 7.5 A จากนั้นทำการปั่นจักรยานแบบเร็วและเบาสลับไปมา และ ปั่นจักรยานด้วยความเร็วคงที่ โดยผลการทดสอบแสดงดังรูปที่ 14(ก) และ รูปที่ 14(ข) ตามลำดับ จากการทดสอบจะเห็นได้ว่าระบบสามารถทำงานได้โดยที่แรงดัน V_{bus} คงที่และค่าขอยของกระแส i_{Lb} คงที่ในช่วง $V_{in} > 10$ โวลต์



รูปที่ 14 ผลการทดสอบระบบรวมกับจักรยานออกกำลังกาย

5. สรุป

ระบบแปลงผันพลังงานแบบเชื่อมต่อบริเวณโครงข่ายไฟฟ้าสำหรับจักรยานออกกำลังกายที่สร้างขึ้นสามารถนำพลังงานที่สูญเสียไปจากการออกกำลังกายมาใช้ประโยชน์โดยใช้จักรยานออกกำลังกายต่อกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซึ่งโครนัสแบบแม่เหล็กถาวร แล้วนำพลังงานที่ได้ส่งไปที่ระบบโครงข่ายไฟฟ้าผ่านระบบแปลงผันพลังงานแบบเชื่อมต่อบริเวณโครงข่ายไฟฟ้า ระบบแปลงผันพลังงานประกอบด้วยสองส่วนหลักคือ ซึ่งโครนัสตคอนเวอร์เตอร์ซึ่งมีข้อดีคือสามารถควบคุมกระแสได้ตั้งโหมดกระแสต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่อง และกริดไทโรอินเวอร์เตอร์แบบแรงดันต่ำซึ่งใช้หม้อแปลงแบบแยกโคตเพื่อความปลอดภัย โดยระบบควบคุมใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ STM32F334R8 ในการควบคุม การ

ทำงานของระบบแปลงผันที่สร้างขึ้น โดยระบบแปลงผันที่สร้างขึ้น สามารถควบคุมความถี่ของจักษยานออกกำลังกายได้เสมือนจักษยาน ออกกำลังกายทั่ว ๆ สามารถจ่ายพลังงานเข้าสู่ระบบโครงข่ายไฟฟ้าได้สูง ถึง 236 วัตต์อย่างมีเสถียรภาพ มีประสิทธิภาพ 86.92 เปอร์เซนต์ ค่าตัว ประกอบกำลัง 0.95 และ THDi 2.5 เปอร์เซนต์

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบคุณ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า พระนครเหนือที่สนับสนุนสถานที่ รวมถึงทรัพยากรณ์ในการทำวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- [1] P.C. Sen, "Speed control of synchronous motors" in *Principles of electric machines and power electronics 3rd edition*. : Wiley, 2013, ch.6, pp. 330-335.
- [2] N. Krismadinata, A. Rahim and J. Selvaraj, "Implementation of Hysteresis Current Control for Single-Phase Grid Connected Inverter," in *Proc. 7th International Conference on Power Electronics and Drive Systems.*, 2007.
- [3] ST Microelectronics, "RM0364 Reference manual," STM32F334xx Advanced ARM-base 32-bit MCUs, Jan. 2017.
- [4] D. W. Hart, "Power Electronics," McGraw-Hill, 2011.