บัสสื่อสารข้อมูลสำหรับการควบคุมชุดแปลงผันกำลังไฟฟ้าแบบขนาน

Data Communication Bus for a Parallel-Connected Converter Module Control

ยุทธนา กันทะพะเยา

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ

7/1 ถ.นนทบุรี 1 ต.สวนใหญ่ อ.เมือง จ.นนทบุรี 11000 E-mail: yutthana.k@rmutsb.ac.th

บทคัดย่อ

ระบบควบคุมการขนานมอดูลแปลงผันกำลังไฟฟ้า เช่น ไฟฟ้ากระแสสลับเป็นกระแสตรง ไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสตรง ไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ และแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าต่อเนื่อง ตัวควบคุมของแต่ละมอดูลต้องมีบัสสื่อสารข้อมูล เพื่อเชื่อมต่อระหว่างตัวควบคุมของแต่ละมอดูลสำหรับควบคุมการทำงาน รวมถึงทำหน้าที่ตรวจสอบการทำงานของระบบ บัสข้อมูลนี้แบ่งออกเป็นสองกลุ่มใหญ่ๆ คือ บัสข้อมูลแบบสัญญาณไฟฟ้า และบัสข้อมูลแบบสัญญาณดิจิตอล บทความนี้จะกล่าวถึง บัสข้อมูลดังกล่าวโดยสรุปทั้งข้อดีและข้อจำกัดของบัสการสื่อสารข้อมูลแต่ละแบบสำหรับควบคุมมอดูลแปลงผันกำลังไฟฟ้าที่ต่อแบบขนาน

คำสำคัญ: บัสข้อมูล การสื่อสารข้อมูล มอดูลแปลงผันกำลังไฟฟ้า

Abstract

The control system of a parallel-connected converter module such as AC/DC DC/DC DC/AC and uninterruptible power supply (UPS), those has the data communication bus. This is used for connecting among the controller of each converter to control and monitoring the system operation. The data bus is divided into two-group as follow as: the electrical signal and digital signal bus. This paper illustrates the data communication bus it is focused to control a parallel-connected power converter module. In addition, the advantage and disadvantage of the data communication bus will be discussed in this paper.

Keywords: data bus, data communication, power converter module

1. บทนำ

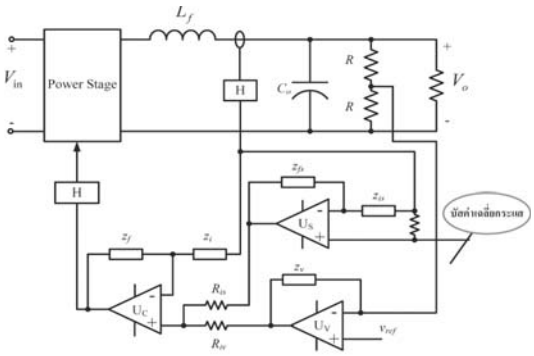
ระบบการต่อขนานมอดูลการแปลงผันกำลังไฟฟ้า ยกตัวอย่างเช่น วงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสสลับเป็นกระแสตรง (AC/DC) ไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสตรง (DC/DC) และไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสสลับ (DC/AC) และแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าต่อเนื่อง (UPS) ระบบของแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าเหล่านี้ถูกนำมาใช้ในงานอุตสาหกรรมอย่างแพร่หลายยกตัวอย่าง เช่น ระบบการสื่อสารข้อมูล ระบบโครงข่ายคอมพิวเตอร์ อุตสาหกรรมทางทหาร และศูนย์เก็บข้อมูล เป็นต้น ดังอธิบายไว้ใน [1] ระบบควบคุมการทำงานของแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าที่มีการต่อขนานของมอดูลแปลงผันกำลังไฟฟ้า ตัวควบคุมของแต่ละมอดูลต้องมีสายสัญญาณเชื่อมต่อถึงกันระหว่างตัวควบคุม เพื่อเป็นข้อมูลควบคุมการทำงานของแต่ละมอดูล ข้อมูลที่บรรจุอยู่ในสายสัญญาณยกตัวอย่างเช่น ข้อมูลการแบ่งกระแสและข้อมูลการคุมค่าแรงดันเอาต์พุต เป็นต้น กล่าวได้ว่าบัสข้อมูลสำหรับควบคุมการขนานมอดูลแปลงผันกำลังไฟฟ้ามีเป้าประสงค์เพื่อให้ตัวควบคุมแต่ละมอดูลนำข้อมูลที่ได้รับไปควบคุมการทำงานของมอดูลการแปลงผันกำลังไฟฟ้าให้ช่วยกันจ่ายกำลังงานเอาต์พุตให้กับโหลดด้วยขนาดที่เท่าเทียมกัน

งานวิจัยในอดีตสายสัญญาณที่เชื่อมต่อถึงกันระหว่างตัวควบคุมของแต่ละมอดูลแบ่งออกเป็นสองกลุ่มใหญ่ๆ คือ

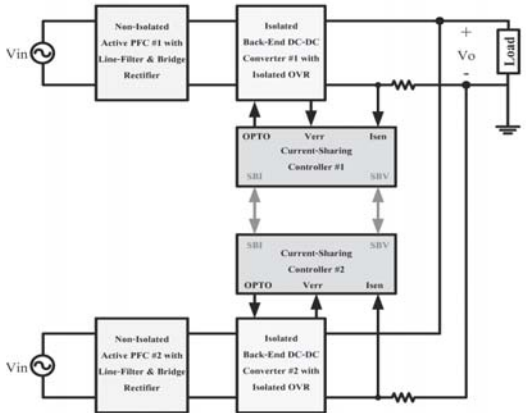
บัสข้อมูลแบบสัญญาณไฟฟ้าแสดงใน [2-3] และบัสการสื่อสารข้อมูลด้วยสัญญาณดิจิตอลที่นำเสนอใน [4] ตามลำดับ บทความนี้จะกล่าวถึงบัสสัญญาณข้อมูลทั้งสองแบบที่ถูกนำมาใช้ควบคุมการขนานมอดูลแปลงผันกำลังไฟฟ้า

2. บัสข้อมูลสำหรับควบคุมการทำงานของการขนานมอดูลแปลงผันกำลังไฟฟ้า

สายสัญญาณข้อมูลที่ใช้ควบคุมการทำงานของระบบการขนานมอดูลแปลงผันกำลังไฟฟ้า ข้อมูลที่ได้รับจากสายสัญญาณดังกล่าวถูกใช้เป็นข้อมูลการแบ่งกระแสของแต่ละมอดูล การคุมค่าแรงดันเอาต์พุตของระบบให้คงที่ และการตรวจสอบการทำงานของระบบ เป็นต้น ส่วนรายละเอียดต่างๆ ของบัสข้อมูลดังกล่าวจะแสดงรายละเอียดดังต่อไปนี้



รูปที่ 1 บัสข้อมูลค่าเฉลี่ยกระแสที่ใช้ควบคุมการทำงานของระบบการขนานมอดูลแปลงผันกำลังไฟฟ้า



รูปที่ 2 บัสข้อมูลกระแส (SBI) และแรงดัน (SBV) ที่ใช้ควบคุมการทำงานการขนานมอดูลแปลงผันกำลังไฟฟ้า

2.1 บัสข้อมูลแบบสัญญาณไฟฟ้า

งานวิจัยในอดีตที่ใช้บัสข้อมูลสัญญาณไฟฟ้าควบคุมการทำงานของระบบการขนานมอดูลแปลงผันกำลังไฟฟ้า ข้อมูลที่บรรจุอยู่ในสายสัญญาณประกอบด้วย ค่าเฉลี่ยของกระแส คำสั่งกระแส คำสั่งควบคุมแรงดันเอาต์พุต เป็นต้น สัญญาณเหล่านี้จะถูกนำไปควบคุมการทำงานของแต่ละมอดูลที่ต่ออยู่ในระบบ เพื่อช่วยกันจ่ายกำลังงานเอาต์พุตด้วยขนาดที่เท่าเทียมกัน ข้อดีของการใช้สายสัญญาณแบบสัญญาณไฟฟ้าเนื่องจากว่าลักษณะการควบคุมเป็นรูปแบบการควบคุมแบบแอนะล็อก ดังนั้นจึงส่งผลให้การทำงานของระบบได้รับการตอบสนองเร็ว แต่ยังมีข้อจำกัดในเรื่องความยืดหยุ่นสำหรับควบคุมการทำงานของระบบ เช่นหากต้องการปรับเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม นั้นจะกระทำได้ค่อนข้างยุ่งยาก งานวิจัยที่นำเสนอไว้ใน [2] แสดงระบบควบคุมการขนานมอดูลการแปลงผันกำลังไฟฟ้าดังรูปที่ 1 ระบบควบคุมใช้บัสข้อมูลค่าเฉลี่ยของกระแส ต่ออยู่ระหว่างตัวควบคุมของแต่ละมอดูล โดยสัญญาณนี้จะถูกป้อนเข้าไปในลูปควบคุมแรงดันของแต่ละมอดูล สำหรับคำนวณคำสั่งกระแสของแต่ละมอดูลเพื่อช่วยกันจ่ายกำลังงานเอาต์พุตของระบบ งานวิจัยที่ได้นำเสนอไว้ใน [3] แสดงดังรูปที่ 2 จะเห็นได้ว่าระบบควบคุมการขนานมอดูลแปลงผันกำลังไฟฟ้าใช้สายสัญญาณไฟฟ้าต่ออยู่ระหว่างตัวควบคุมของมอดูลอื่นๆ ที่ต่ออยู่ในระบบ โดยข้อมูลที่บรรจุอยู่ในสายสัญญาณทั้งสอง คือ สายสัญญาณ SBI เป็นบัสข้อมูลค่าเฉลี่ยของการแบ่งกระแสของแต่ละมอดูล ส่วนสายสัญญาณ SBV เป็นสายสัญญาณการคุมค่าแรงดันเอาต์พุต ซึ่งมีหลักการคุมค่าแรงดันเอาต์พุตดังนี้ เมื่อแรงดันเอาต์พุตของมอดูลใดมีค่าแรงดันเอาต์พุตมากกว่ามอดูลอื่นๆ จะส่งผลให้การตรวจจับสัญญาณป้อนกลับแรงดันเอาต์พุตของตัวควบคุมนั้น ตรวจจับแรงดันเอาต์พุตได้ค่าแรงดันมากกว่าตัวควบคุมของมอดูลอื่นๆ ดังนั้นจึงเป็นเหตุให้ตัวควบคุมของมอดูลนี้ ต้องทำหน้าที่ส่งสัญญาณควบคุมแรงดันเอาต์พุตไปยัง

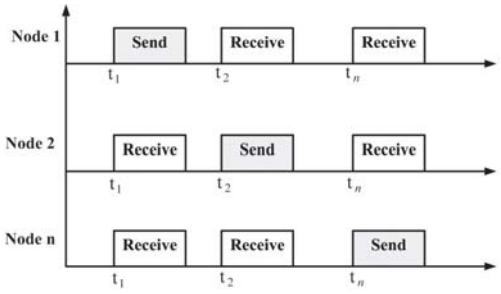
ตัวควบคุมของมอดูลอื่น เพื่อคุมค่าแรงดันเอาต์พุตของระบบให้คงที่

2.2 บัสข้อมูลแบบสัญญาณดิจิตอล

ระบบควบคุมการขนานมอดูลแปลงผันกำลังไฟฟ้า กรณีใช้บัสการสื่อสารข้อมูลแบบดิจิตอล โดยปกติแล้วการรับส่งข้อมูลต้องผ่านตามชั้นมาตรฐาน 7 ชั้น แต่สำหรับการรับส่งข้อมูลในระบบควบคุมการขนานมอดูลการแปลงผันกำลังไฟฟ้าที่จะกล่าวถึงในบทความนี้ จะอิงเกณฑ์ตามมาตรฐานเฉพาะชั้นกายภาพ (Physical) ซึ่งจะทำหน้าที่แปลงข้อมูลในรูปของสัญญาณดิจิตอลให้ผ่านตัวกลางแต่ละชนิด เพื่อสื่อสารข้อมูลสำหรับควบคุมการทำงานของระบบ การส่งผ่านข้อมูลถึงกันของระบบควบคุมด้วยบัสการสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรมนี้ มีข้อดีในเรื่องของจำนวนสายสัญญาณที่ใช้ต่อถึงกันระหว่างตัวควบคุมนั้น มีจำนวนน้อยเมื่อเทียบกับการรับส่งข้อมูลแบบขนาน ก่อนที่จะกล่าวถึงงานวิจัยที่ใช้บัสการสื่อสารข้อมูลควบคุมการทำงานของระบบนั้น จะขอกล่าวถึงบัสการสื่อสารข้อมูลที่นิยมนำมาใช้ควบคุมในงานอุตสาหกรรมดังแสดงไว้ใน [4] ก่อน ยกตัวอย่าง เช่น บัส RS485 RS232 I^2C CAN และ SPI เป็นต้น โดยบัสการสื่อสารข้อมูลเหล่านี้มีลักษณะเฉพาะที่แตกต่างกันแสดงในตารางที่ 1 ชี้ให้เห็นถึงจำนวนโนดของอุปกรณ์ที่ต่ออยู่ในระบบ ระยะทางและความเร็วการรับส่งข้อมูลของบัสแต่ละแบบ โดยแสดงทั้งข้อดีและข้อจำกัดดังนี้

ตารางที่ 1 คุณลักษณะของบัสการสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรม

บัส	จำนวนอุปกรณ์ที่เชื่อมต่อในระบบ	ระยะทางการส่งข้อมูล (ft)	ความเร็ว (bps)	ข้อดี	ข้อจำกัด
Point-to-Point UART RS232	2 โนด	50-100	20k	ง่ายต่อการใช้งาน ราคาปานกลาง	การส่งข้อมูลได้เพียงจุดต่อจุดเท่านั้น
Multi-Point UART RS485	32 โนด	4000	10M	จำนวนโนดสามารถมีได้ถึง 32 โนด และเหมาะกับการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ที่ระยะไกล	ต้องใช้สัญญาณออสซิสเลเตอร์เชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ตัวรับ/ส่งที่มีความแม่นยำ
I^2C	40 โนด	18	3.4M	ราคาถูก ง่ายต่อการใช้งาน	ระยะทางจำกัด ถูกการรบกวนสัญญาณจากภายนอกได้ง่าย
SPI	8 โนด	10	2.1M	ราคาถูก ง่ายต่อการใช้งานและการกำหนดที่อยู่ของอุปกรณ์	การส่งข้อมูลใช้ตัวมาสเตอร์เดียวเท่านั้น และต้องการสายต่อระหว่างอุปกรณ์อย่างน้อย N+3
CAN	32 โนด	328	33k	การส่งผ่านสัญญาณบนระบบบัสเป็นแบบสมดุลย์ จึงทำให้ทนทานต่อสัญญาณการรบกวน	ราคาสูง ยุ่งยากต่อการทำงานแบบ Hot Swap



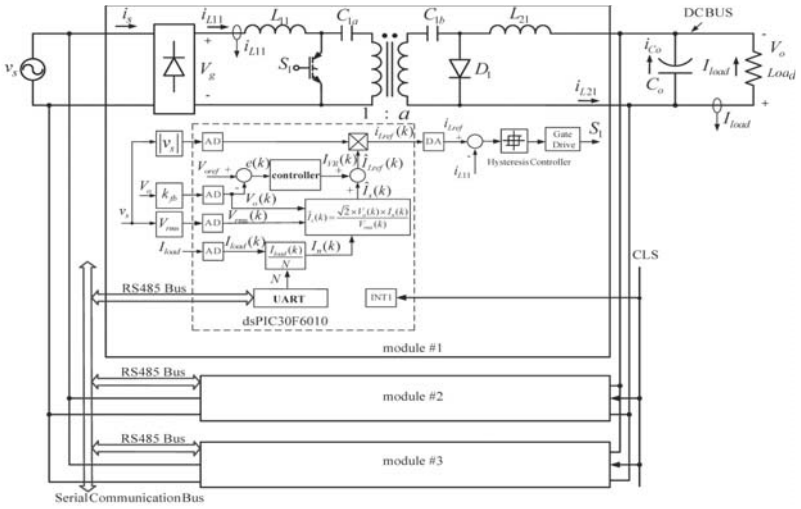
รูปที่ 3 การจัดจราจรบนบัสข้อมูลด้วยการซิงโครไนซ์

ตารางที่ 2 รูปแบบข้อความการรับส่งข้อมูล

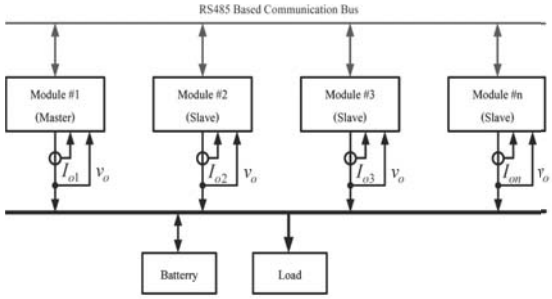
ผู้ส่ง		
ไบต์	ข้อความ	คำอธิบาย
0	: (ASCII 58)	เริ่มส่งข้อมูล
1	Address	ระบุผู้รับ
2	1 (ASCII 58)	คำสั่ง
3	Location	ระบุตำแหน่งในการอ่าน
4	LF (ASCII 10)	สิ้นสุดการสื่อสาร
ผู้รับ		
0	: (ASCII 58)	เริ่มสื่อสารข้อมูล
1	Address	ระบุผู้ส่ง
2	Data	คำสั่งที่มีนัยสำคัญมาก
3	Data	คำสั่งที่มีนัยสำคัญน้อย
4	LF (ASCII 10)	สิ้นสุดการสื่อสาร

องค์ประกอบสำหรับพิจารณาเลือกบัสการสื่อสารข้อมูลเพื่อควบคุมการทำงานการขนานมอดูลแปลงผันกำลังไฟฟ้านั้น ควรคำนึงถึง รูปแบบการรับส่งข้อมูล ระยะทางระหว่างตัวควบคุมของแต่ละมอดูล จำนวนอุปกรณ์ที่ต่ออยู่บนบัส การถอดเข้าถอดออกของมอดูลแปลงผันกำลังไฟฟ้าโดยไม่ปิดเครื่อง (Hot Swap) สัญญาณรบกวนบนบัสการสื่อสารข้อมูล รวมถึงค่าใช้จ่าย เป็นต้น ส่วนการจัดจราจรการรับส่งข้อมูลบนบัสรวมถึงโพรโตคอลที่ใช้สำหรับการสื่อสารข้อมูลก็เป็นสิ่งจำเป็นเช่นเดียวกัน สำหรับข้อมูลบนบัสการสื่อสารโดยปกติแล้ว ณ เวลาหนึ่งจะมีเพียงโนดเดียวทำหน้าที่ส่งข้อมูล ส่วนโนดอื่นๆ ที่ต่ออยู่ในระบบจะทำหน้าที่เป็นผู้รับข้อมูล งานวิจัยที่แสดงใน [5] นำเสนอการจัดจราจรการรับส่งข้อมูลโดยใช้เวลาสำหรับซิงโครไนซ์การรับส่งข้อมูลของแต่ละโนดที่ต่ออยู่ระบบโดยหลักการดังกล่าวแสดงดังรูปที่ 3 จะเห็นได้ว่าแต่ละโนดนั้นสลับกันรับส่งข้อมูล ดังนั้นบนบัสข้อมูลสามารถหลีกเลี่ยงการชนกันของข้อมูลได้ ส่วนโพรโตคอลที่ใช้สำหรับการสื่อสารข้อมูลอาจใช้รูปแบบข้อความ เช่น คำสั่งและการตอบสนอง เป็นต้น ยกตัวอย่างรูปแบบข้อความสำหรับการรับส่งข้อมูลที่อธิบายไว้ใน [6] นั้นได้แสดงดังตารางที่ 2 ประกอบด้วยรูปแบบโพรโตคอลทั้งผู้รับและผู้ส่ง

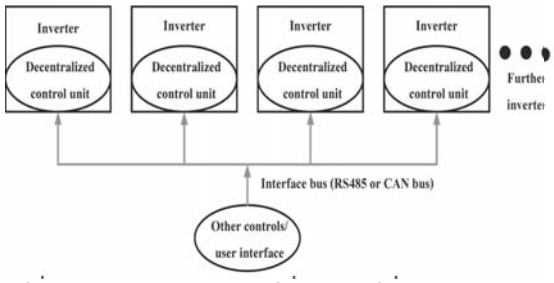
งานวิจัยที่แสดงใน [7-8] ได้นำบัส RS485 มาควบคุมการทำงานของระบบการขนานมอดูลแปลงผันกำลังไฟฟ้า งานวิจัยที่นำเสนอใน [7] แสดงดังรูปที่ 4 ใช้การสื่อสารข้อมูลบนบัส RS485 ควบคุมการแบ่งกระแสของแต่ละมอดูล โดยตัวควบคุมแต่ละมอดูลจะถูกกำหนดที่อยู่ไว้ ในกรณีที่มอดูลใดทำงานตัวควบคุมจะแจ้งที่อยู่ไปยังตัวควบคุมของมอดูลอื่นๆ ที่ต่ออยู่ในระบบ ดังนั้นตัวควบคุมของแต่ละมอดูลจะทราบจำนวนมอดูลที่ต่ออยู่ในระบบ สำหรับคำนวณคำสั่งกระแสของแต่ละมอดูล ส่วนงานวิจัยใน [8] แสดงดังรูปที่ 5 ตัวควบคุมแต่ละมอดูลจะตรวจจับกระแสด้านเอาต์พุตของแต่ละมอดูลจากนั้นจะใช้บัส RS485 ส่งข้อมูลค่ากระแสไปยังตัวควบคุมหลักให้คำนวณค่าเฉลี่ยของกระแส เพื่อแบ่งกระแสของแต่ละมอดูลให้ช่วยกันจ่ายกำลังงานเอาต์พุตของระบบ งานวิจัยที่นำเสนอใน [9] มีแผนภาพบล็อกของระบบที่นำเสนอดังรูปที่ 6 เป็นการควบคุมแบบกระจายของการขนานมอดูลอินเวอร์เตอร์โดยแต่ละมอดูลนั้น มีตัวควบคุมของตัวมันเอง แต่ระหว่างตัวควบคุมของแต่ละมอดูลมีบัสการสื่อสารข้อมูลที่เชื่อมสัญญาณถึงกันด้วยบัส RS485 หรือ CAN Bus ซึ่งบัสการเชื่อมต่อระหว่างตัวควบคุมแต่ละมอดูลจะทำหน้าที่สื่อสารข้อมูลไปยังตัวควบคุมของมอดูลอื่นๆ เพื่อควบคุมการทำงานของตัวมันเอง รวมถึงตรวจสอบการทำงานของระบบอีกหน้าที่หนึ่ง ระบบที่นำเสนอนี้มีข้อดีในด้านการทำงานสำรองได้ของระบบ เพราะว่าในระบบไม่มีตัวควบคุมหลัก รวมถึงบัสการสื่อสารข้อมูลไม่จำเป็นต้องมีความเร็วมากนักทำหน้าที่นี้ ดังเช่นงานวิจัยที่นำเสนอใน [10] ใช้การส่งข้อมูลผ่านใยแก้วนำแสงควบคุมการทำงานการขนานมอดูลอินเวอร์เตอร์ ซึ่งจะเป็นการเพิ่มต้นทุนของระบบ



รูปที่ 4 บัส RS485 ถูกต่อระหว่างตัวควบคุมของแต่ละมอดูลในระบบการขนานมอดูลการแปลงผันกำลังไฟฟ้า



รูปที่ 5 บัส RS485 นำมาใช้เป็นบัสส่งข้อมูลค่ากระแสไปยังตัวควบคุมหลักให้คำนวณค่ากระแสเฉลี่ย



รูปที่ 6 การควบคุมแบบกระจายที่ใช้บัสการสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรมควบคุมการทำงานของระบบ

วิธีการควบคุมการขนานมอดูลแปลงผันกำลังไฟฟ้าอีกแบบหนึ่งที่ใช้การสื่อสารข้อมูล คือ การใช้สัญญาณการสื่อสารข้อมูลแบบไร้สาย (Wireless) ดังนำเสนอใน [11] โดยมุ่งประเด็นแก้ไขจุดด้อยการใช้สายสัญญาณเชื่อมต่อระหว่างตัวควบคุมของแต่ละมอดูล ซึ่งกรณีที่เป็นระบบควบคุมแบบกระจายแล้วสายสัญญาณนี้จะลดความเป็นมอดูลของระบบการขนานมอดูลแปลงผันกำลังไฟฟ้าลง ซึ่งจะส่งผลต่อความน่าเชื่อถือได้ของระบบ

3. สรุป

บทความนี้ได้กล่าวถึงบทบาทของบัสการสื่อสารข้อมูลสำหรับควบคุมการทำงานการขนานมอดูลแปลงผันกำลังไฟฟ้า โดยอ้างอิงข้อมูลจากงานวิจัยที่ได้นำเสนอมาในอดีต จะพบว่าบัสข้อมูล ทั้งบนสายสัญญาณทางไฟฟ้าหรือบัสสัญญาณดิจิตอล ที่ใช้เชื่อมต่อระหว่างตัวควบคุมของแต่ละมอดูลที่ต่ออยู่ในระบบนั้น จะเห็นได้ว่านอกจากสามารถนำข้อมูลที่ได้รับมาควบคุมการทำงานของระบบแล้วยังสามารถนำข้อมูลที่ได้จากบัสข้อมูลมาตรวจสอบการทำงานของระบบได้อีกหน้าที่หนึ่ง ซึ่งเป็นการเพิ่มสมรรถนะการทำงานของระบบให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งในแหล่งจ่ายไฟฟ้าที่นำมอดูลมาต่อขนานกันเพื่อช่วยกันจ่ายกำลังงานเอาต์พุต รวมถึงความน่าเชื่อถือได้ของแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าที่ต้องจ่ายกำลังงานไฟฟ้าให้กับโหลดที่ต้องทำงานต่อเนื่องตลอดเวลา เช่น ระบบการสื่อสาร ศูนย์เก็บข้อมูล เป็นต้น

4. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ศูนย์วิจัยและถ่ายทอดพลังงานแสงอาทิตย์ และศูนย์พัฒนาทักษะวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ที่สนับสนุนการนำเสนอบทความวิชาการนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] Fred C. Lee, Peter Barbosa, Peng Xu, Jindong Zhang, Bo Yang and Francisco Canales. “Design Challenges for Distributed Power systems,” *Power Electronics and Motion Control Conference*, 2006, pp.1-15.

[2] Chang-Shiarn Lin and Chern-Lin Chen. “Single-Wire Current-Share Paralleling of Current-Mode-Controlled DC Power Supplies.” *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 47, Aug. 2000,pp. 780-786

[3] Kasemsan Siri and Michael Willhoff. “Current-Sharing among Parallel-Connected Systems of Active Power Factor Correction,” *Aerospace Conference IEEE*, 2010, pp.1-9.

[4] Robert V. White and Dave Freeman. “Data Communi cations Issues For Power System Management,” *APEC2007*, 2007, pp. 1188-1199.

[5] Stefan Poledna, Wolfgang Ettlmayr and Markus Novak. “Communication Bus for Automotive Applications,” *ESSCIRC 2001*, 2001, pp. 482-485.

[6] Jan Axelson. *Serial Port Complete: COM Ports USB Virtual COM Ports and Ports for Embedded Systems Second Edition*, Chinook Ln: Lakeview Research LLC, 2007, pp 284-286.

[7] Yutthana Kanthaphayao,Viboon Chunkag, Uthen Kamnarn. “Fuzzy Gain Scheduling of PI controller for Distributed Control of Parallel AC/DC Converters.” *IJICIC International Journal of Innovative Computing ,Information and Control*,vol.7,Dec.2011,pp.6757-6742.

[8] K. Kutluay, I. Cadirci, A. Yafavi & Y. Cadirci. “Dual 8-b Microcontroller Digital Control of Universal Telecommunication Power Supplies,” *Industry Applications Magazine,* vol.12, 2006, pp. 59-67.

[9] Andreas Schonknecht and Rik W. De Doncker. “Distributed Control Scheme for Parallel Connected Soft-Switching High-Power High-Frequency Inverters,” *Power Electronics Specialists Conference*, 2002, pp. 1395-1400.

[10] Gerald W. Francis, Rolando P. Burgos, Ivan Celanovic, Fred Wang, Dushan Boroyevich. “A Universal Controller for Distributed Control of Power Electronics Systems in Electric Ships,” *American Control Conference*, 2005, pp. 8-10.

[11] Y.M. Lai, S.-C. Tan and Y.M. Tsang. “Wireless control of load current sharing information for parallel-connected DC/DC power converters,” *IET Power Electron.*, Vol. 2, No. 1, 2009, pp.14-21.

ประวัติผู้เขียนบทความ

ยุทธนา กันทะพะเยา สำเร็จการศึกษา ค.อ.บ. และ วศ.ม. สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี และ ปร.ด. สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ปัจจุบันเป็นอาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ศูนย์นนทบุรี

งานวิจัยที่สนใจ ทางด้านระบบการควบคุมวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้า ตัวควบคุมแบบฟัซซีและไมโครคอนโทรลเลอร์สำหรับการประยุกต์ใช้ควบคุมวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้า การปรับปรุงคุณภาพไฟฟ้าและพลังงานทดแทน