



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โดย ผศ. ดร. สุรินทร์ คำฝอย

มีนาคม 2554

รายงานฉบับสมบูรณ์

โครงการ: ระบบควบคุม และระบบป้องกันสำหรับระบบจ่าย
กำลังไฟฟ้ากระแสตรงขนาดเล็ก โดยใช้เซลล์แสงอาทิตย์ และเครื่อง
กำเนิดไฟฟ้าความร้อนร่วมเป็นแหล่งจ่ายพลังงาน

ผู้วิจัย

ผศ.ดร. สุรินทร์ คำฝอย

สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

สนับสนุนโดยสำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา และสำนักงาน
กองทุนสนับสนุนการวิจัย

(ความเห็นในรายงานนี้เป็นของผู้วิจัย สกอ. และ สกว. ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

สัญญาเลขที่ **MRG5280027**

ชื่อโครงการ: ระบบควบคุม และระบบป้องกันสำหรับระบบจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงขนาดเล็ก โดยใช้เซลล์แสงอาทิตย์และเครื่องกำเนิดไฟฟ้าความร้อนร่วมเป็นแหล่งจ่ายพลังงาน

บทคัดย่อ

ชื่อนักวิจัย: ดร.สุรินทร์ คำฝอย
หน่วยงาน: สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ระยะเวลาโครงการ: 2 ปี (16 มีนาคม 2552 ถึง 15 มีนาคม 54)
E-mail: kkhsurin@kmitl.ac.th

งานวิจัยนี้เสนอ ระบบควบคุมและระบบป้องกันสำหรับระบบจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงขนาดเล็ก โดยใช้เซลล์แสงอาทิตย์และเครื่องกำเนิดไฟฟ้าความร้อนร่วมเป็นแหล่งจ่ายพลังงาน ระบบจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงขนาดเล็ก สามารถประยุกต์ใช้งานสำหรับอาคารชุมสายโทรศัพท์ หรืออาคารข้อมูล มากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ของการใช้พลังงานในอาคารข้อมูล และเป็นระบบปรับอากาศ ประกอบกับภาระไฟฟ้าในอาคารข้อมูลส่วนใหญ่จะสามารถใช้ไฟฟ้ากระแสตรง เครื่องกำเนิดไฟฟ้าความร้อนร่วมสามารถจะใช้งานกับเครื่องทำความเย็นได้โดยใช้ระบบดูดซึมความร้อนซิลเลอร์ การผลิตกำลังไฟฟ้าวระหว่าง เซลล์แสงอาทิตย์ และเครื่องกำเนิดไฟฟ้าความร้อนร่วมมีแนวโน้มที่จะทำให้การใช้พลังงานมีประสิทธิภาพมากขึ้น การสำเร็จผลทางด้านประสิทธิภาพพลังงานต้องการระบบป้องกัน และการควบคุมอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลัง ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงได้พัฒนาระบบป้องกัน และอินเวอร์เตอร์ผสมผสานแบบหลายระดับ การจำลองทางโปรแกรมคอมพิวเตอร์โดยใช้ PSIM และ MATLAB/ SIMULINK สร้างโมเดลเพื่อทดสอบเทคนิคที่นำเสนอ นอกจากนี้ ระบบจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรง 48 โวลท์ และอินเวอร์เตอร์ผสมผสานแบบหลายระดับ ได้พัฒนาขึ้นเพื่อเชื่อมต่อระบบไฟฟ้ากระแสตรง กับระบบไฟฟ้ากระแสสลับทั้งเฟสเดียวและสามเฟส จากผลการจำลอง และผลการทดลองชี้ให้เห็นว่า ระบบป้องกันที่พัฒนาขึ้นสามารถตรวจจับจลจลในในเวลาหนึ่งลูกคลื่น อีกทั้งอินเวอร์เตอร์ผสมผสานแบบหลายระดับที่พัฒนาขึ้น สามารถลดจำนวนการใช้งานของสวิตช์กำลัง จึงส่งผลให้การสูญเสียของระบบลดลง ซึ่งประสิทธิภาพของเครื่องต้นแบบของอินเวอร์เตอร์ผสมผสานแบบหลายระดับขนาด 3 kVA เท่ากับ 97.45 เปอร์เซ็นต์ งานวิจัยนี้ได้พัฒนาระบบแก้คืนกลับหลังจากตรวจจับข้อบกพร่องแบบอัตโนมัติอีกด้วย องค์ความรู้จากการทำวิจัยเห็นได้ว่าระบบป้องกันและระบบควบคุมที่นำเสนอมีแนวโน้มที่ดีในการนำไปใช้ระบบจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงขนาดเล็กซึ่งมี เซลล์แสงอาทิตย์ และเครื่องกำเนิดไฟฟ้าความร้อนร่วมเป็นแหล่งพลังงาน และ สามารถนำประยุกต์ใช้งานสำหรับอาคารชุมสายโทรศัพท์ หรืออาคารข้อมูล

คำสำคัญ: ระบบไฟฟ้ากระแสตรงขนาดเล็ก เครื่องกำเนิดไฟฟ้าความร้อนร่วม เซลล์แสงอาทิตย์ ระบบป้องกันฟอลต์ ระบบวินิจฉัยฟอลต์ อินเวอร์เตอร์หลายระดับ และ อิเล็กทรอนิกส์กำลัง

Contact code: **MRG5280027**

Project title: A Control and Protection System for a dc Microgrid Using Photovoltaic and Combined Heat Power as Distributed generator

Abstract

Investigator: Dr. Surin Khomfoi
Affiliation: Department of Electrical Engineering Faculty of Engineering
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
E-mail: kkhsurin@kmitl.ac.th
Project period: 2 years (March 15, 2009 to March 15, 2011)

Control and protection techniques for a dc microgrid using photovoltaic and combined heat power as distributed generator is focused in this research. The application of the proposed dc microgrid is for data center or telecommunication switching building. More than 50 percent of energy consumption in data center building is a cooling system. Also, most of the load in data center building can be consumed dc power. The heat from combined heat power (CHP) generator can be utilized to produce a cold air for cooling system by using heat absorb chiller. The cogeneration system between photovoltaic and CHP can be results on higher overall energy efficient. To achieve this, the protection system and power electronics interface are key issues for a dc microgrid application. Therefore, the protection and a hybrid cascaded multilevel inverter are developed in this research. The simulation model is proposed by using PSIM and MATLAB/ SIMULINK to perform the proposed technique. In addition, The 48 V dc distribution prototype is developed together with the hybrid inverter to interface a low dc distribution to a normal ac load both single phase and three phase system. The simulation and experimental results show that the developed protection method can perform the fault detection and fault clearing within about one cycle. Also, the modified PWM technique is also developed to control the hybrid inverter. The proposed topology can reduce the number of required power switches compared to a traditional cascaded multilevel inverter. Besides, a possible reconfiguration technique after faulty condition is also discussed. The 3 kVA prototype inverter efficiency is 97.45% under tested condition. The results show that the proposed hybrid inverter control topology and the protection paradigm are a promising method for a low voltage dc microgrid

with photovoltaic and CHP. This proposed dc microgrid can be applied for multiple loads in telecommunication buildings.

Keywords: dc microgrid, combined heat power, Photovoltaic, fault protection, fault diagnosis, multilevel inverter, and power electronics

สัญญาเลขที่ **MRG5280027**

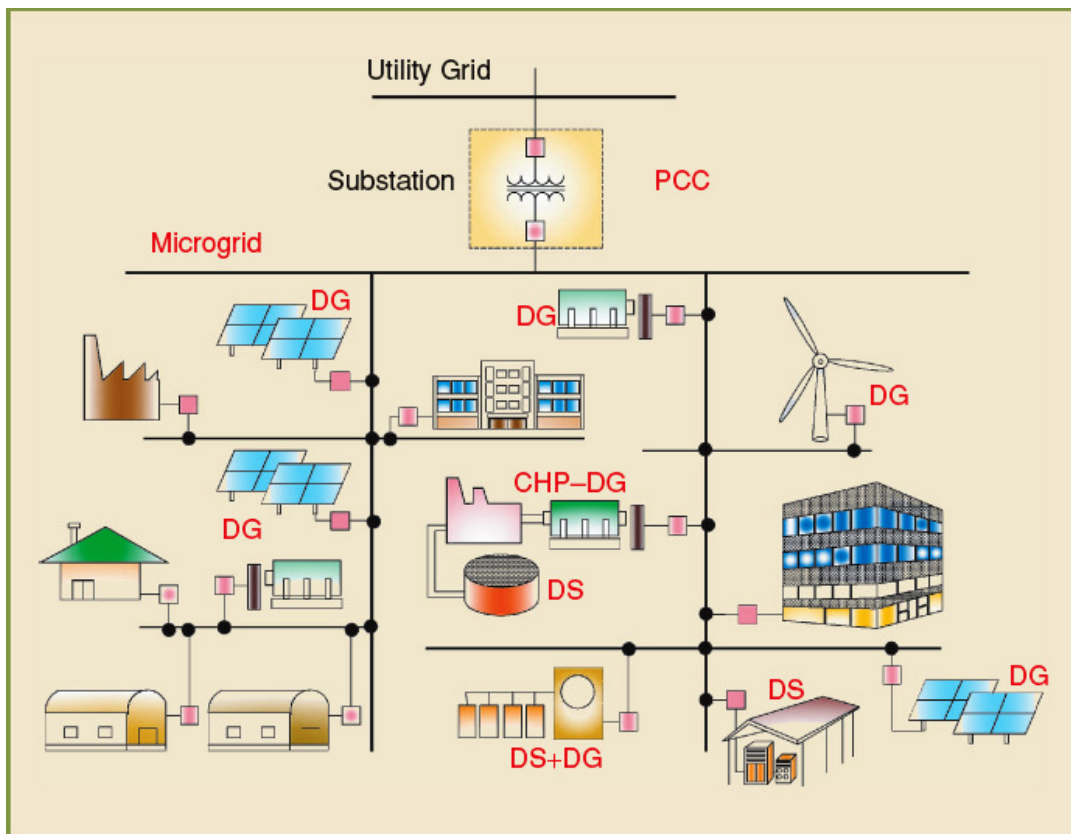
ชื่อโครงการ: ระบบควบคุม และระบบป้องกันสำหรับระบบจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงขนาดเล็ก โดยใช้เซลล์แสงอาทิตย์และเครื่องกำเนิดไฟฟ้าความร้อนร่วมเป็นแหล่งจ่ายพลังงาน

Executive Summary

ความต้องการกำลังงานไฟฟ้าของประเทศไทยมีปริมาณสูงขึ้นตามเวลาและการพัฒนาของประเทศ ถ่านหิน น้ำมัน และก๊าซธรรมชาติได้ถูกนำมาใช้เพื่อกำเนิดกำลังไฟฟ้ามากกว่าทศวรรษจนทำให้ทุกวันนี้พลังงาน ที่ได้จากฟอสซิล เช่น น้ำมัน ถ่านหินและก๊าซธรรมชาติมีปริมาณลดลง ประกอบกับพลังงานเหล่านี้ได้กำเนิด ไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x) คาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) และ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO₂) ซึ่งส่งผลให้เกิดมลภาวะทางอากาศ และเป็นปัญหาสิ่งแวดล้อมที่สำคัญ เพื่อที่จะบรรเทาปัญหามลภาวะนี้การประยุกต์ใช้งานแหล่งจ่ายพลังงานทดแทน เช่น เซลล์แสงอาทิตย์ (Photovoltaic) และเครื่องกำเนิดไฟฟ้าความร้อนร่วม มาใช้เพื่อเป็นแหล่งจ่ายพลังงาน (Distributed generator, DG) จึงเป็นสิ่งจำเป็นและมีความเหมาะสมสำหรับประเทศไทยอย่างมาก

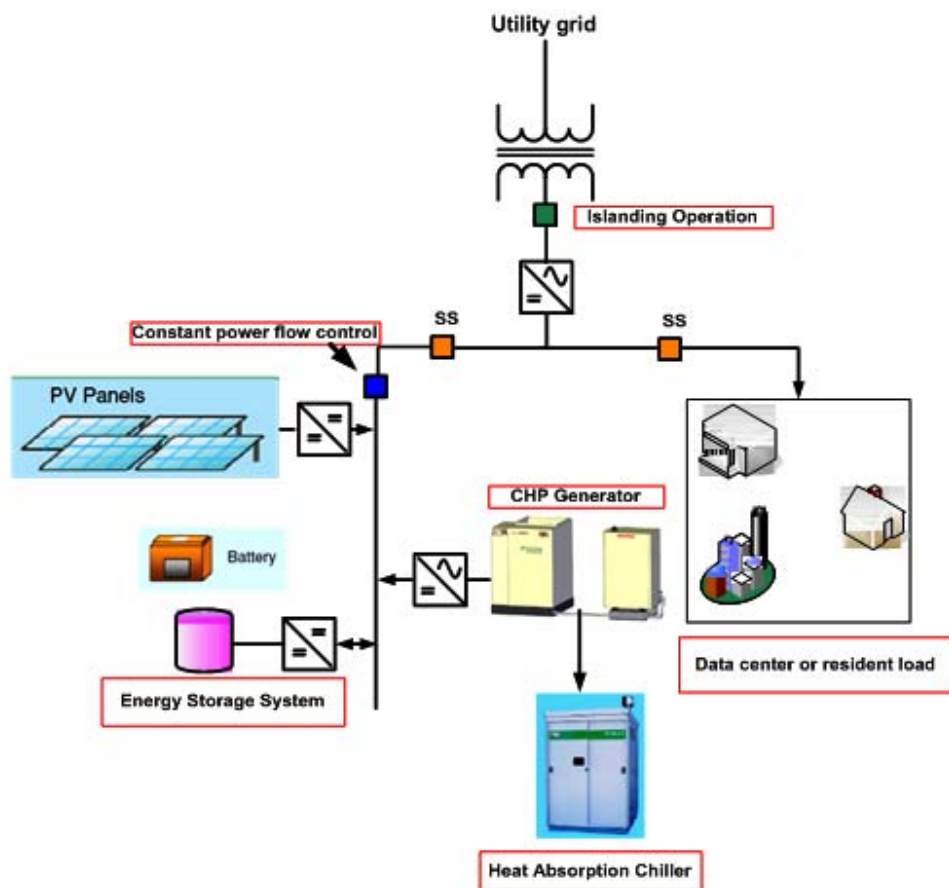
ระบบจ่ายกำลังไฟฟ้าขนาดเล็ก (Microgrid) ได้มีการวิจัยอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน ทั้งในอเมริกา ยุโรป และญี่ปุ่น เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้า และลดการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ ระบบจ่ายกำลังไฟฟ้าขนาดเล็ก มีโครงสร้างและการประยุกต์ใช้งานในหลายรูปแบบ เช่น ระบบจ่ายกำลังไฟฟ้าเพื่อการค้า ระบบจ่ายกำลังไฟฟ้าเพื่ออุตสาหกรรม ระบบจ่ายกำลังไฟฟ้าในพื้นที่ห่างไกล และระบบกำลังไฟฟ้าเสริมสำหรับระบบจำหน่าย โดยทั่วไประบบจ่ายกำลังไฟฟ้าขนาดเล็ก จะมี โครงสร้าง ในรูปที่ 1

จากรูปที่ 1 จะเห็นได้ว่า ระบบจ่ายกำลังไฟฟ้าขนาดเล็ก มีองค์ประกอบหลักสามส่วน คือ ระบบกำเนิดกำลังไฟฟ้า (DG) ระบบเก็บพลังงานไฟฟ้า (DS) และ ระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า ระบบกำเนิดไฟฟ้าในระบบจ่ายกำลังไฟฟ้าขนาดเล็ก สามารถใช้ พลังงานทดแทน เช่น ลม เซลล์แสงอาทิตย์ และ เซลล์พลังงาน ซึ่งรวมไปถึง เครื่องกำเนิดไฟฟ้าความร้อนร่วม ส่วนระบบเก็บพลังงานเช่น แบตเตอรี่ Supercapacitor Superconducting magnetic (SMES) และ Flywheel สามารถเชื่อมต่อเข้ากับระบบจ่ายกำลังไฟฟ้าขนาดเล็กโดยใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลัง ในระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า โดยทั่วไปจะมีสองแบบ คือ กระแสตรง และ กระแสสลับซึ่งมีข้อดีข้อเสียแตกต่างกันและขึ้นอยู่กับการนำมาประยุกต์ใช้งาน ซึ่งขึ้นอยู่กับการใช้งาน ตามงานวิจัยขององค์กร Smartgrid ของสหภาพยุโรป [<http://www.smartgrids.eu/>]



รูปที่ 1 โครงสร้างทั่วไปของระบบจ่ายกำลังไฟฟ้าขนาดเล็ก [The Power of Microgrid, *IEEE Power&Energy Magazine*, IEEE PES Trans, Vol.6 No. 3 , 2008]

ในงานวิจัยนี้จะมุ่งเน้น ที่ระบบส่งจ่ายกระแสตรงของระบบจ่ายกำลังไฟฟ้าขนาดเล็กแบบ ไฟฟ้ากระแสตรง ที่มีเซลล์แสงอาทิตย์ และเครื่องกำเนิดไฟฟ้าความร้อนร่วมเป็นแหล่งจ่ายพลังงาน และมีแบตเตอรี่ เป็นระบบเก็บพลังงาน เพื่อการประยุกต์ใช้งานใน อาคารเก็บข้อมูล หรืออาคาร ชุมสายโทรคมนาคม (Data center of telecommunication switching building) และยังสามารถ ประยุกต์ใช้ในอาคารที่อยู่อาศัยได้อีกด้วย ดังแสดงในรูปที่ 2 การที่ผู้วิจัยเลือกใช้ เซลล์แสงอาทิตย์ และ เครื่องกำเนิดไฟฟ้าความร้อนร่วมเป็นแหล่งจ่ายพลังงาน เนื่องจากเซลล์แสงอาทิตย์เป็นการลงทุนใน ระยะยาว และมีการใช้งานในเชิงพาณิชย์สูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง ซึ่งมีเทคโนโลยีที่เหมาะสมกับประเทศไทย ส่วนเครื่องกำเนิดความร้อนร่วม นั้นใช้ แก๊สธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิงในการกำเนิดไฟฟ้า และสามารถนำ ความร้อนที่เหลือจากการกำเนิดไฟฟ้ามาใช้ในการทำความเย็น โดยใช้ ระบบ heat absorption chiller ได้อีกด้วย อีกทั้งระบบกำเนิดไฟฟ้าความร้อนร่วมนั้นได้มีการใช้งาน แพร่หลายใน อเมริกา และญี่ปุ่น และมีการจำหน่ายในเชิงพาณิชย์ดังแสดงใน <http://www.toolbase.org/Technology->

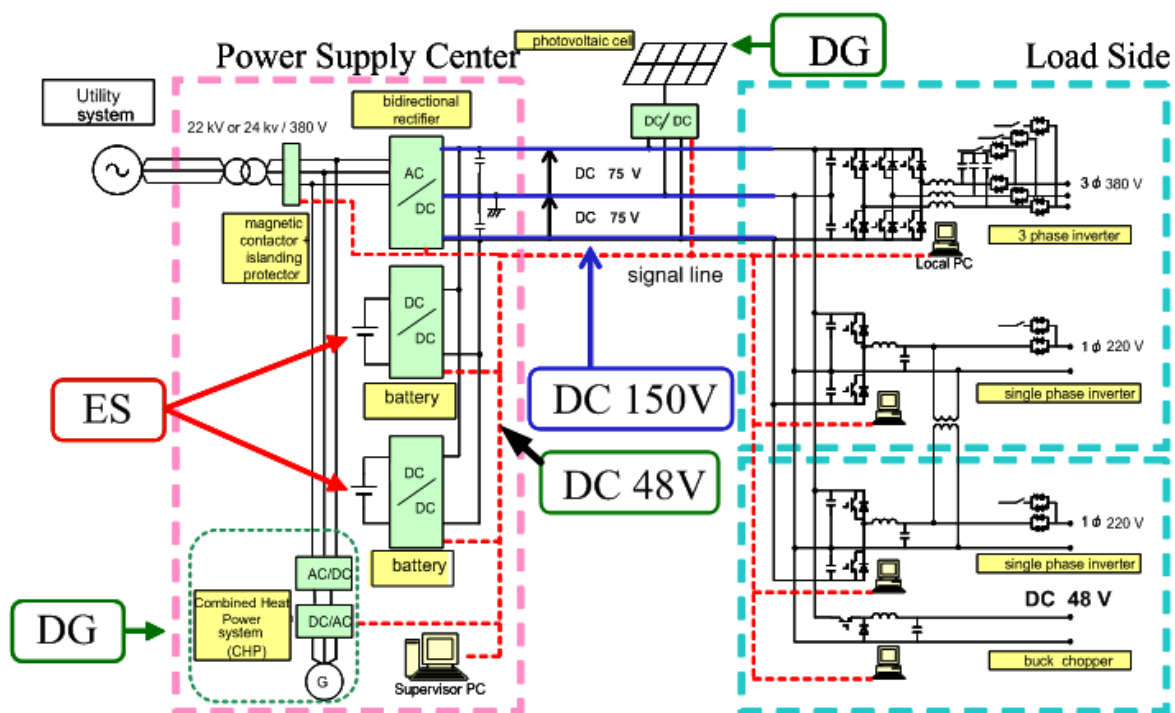


รูปที่ 2 โครงสร้างของระบบจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสดตรงขนาดเล็กที่ใช้ในการศึกษาในโครงงานวิจัยนี้

การที่ผู้วิจัยมุ่งเน้นการประยุกต์ใช้งาน ในอาคารเก็บข้อมูลหรือชุมสาย เนื่องจากโดยทั่วไปการใช้พลังงานของอาคารดังกล่าวนั้น 50 % มาจากระบบระบายความร้อนให้กับ ระบบเก็บข้อมูล คอมพิวเตอร์ และอุปกรณ์สื่อสารโทรคมนาคม ซึ่งอุปกรณ์เหล่านั้นโดยทั่วไป จะใช้ไฟฟ้ากระแสดตรงเป็นหลัก (48 V) ดังนั้น ผู้วิจัยจึงเลือกใช้ระบบส่งจ่ายกระแสดตรง เพื่อลดการแปลงผันพลังงาน และการสูญเสียในระบบส่งจ่ายไฟฟ้า และระบบส่งจ่ายไฟฟ้ากระแสดตรง มีปัญหาน้อยกว่าระบบส่งจ่ายกระแสดสลับในประเด็นของการผิดเพี้ยน และคุณภาพของกำลังไฟฟ้า ซึ่งส่งผลกระทบอย่างมากต่ออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ซึ่ง จะอ่อนไหวต่อการเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้า อีกทั้งระบบจ่ายกำลังไฟฟ้าขนาดเล็กยังสามารถ จ่ายกำลังให้กับภาระไฟฟ้าที่ต่ออยู่ ถึงแม้ว่าระบบจำหน่ายไฟฟ้าหลัก มีความเสียหายเกิดขึ้นในการควบคุมแบบแยกอิสระ (Islanding operation) ทั้งนี้การส่งจ่ายกำลังงานไฟฟ้ามีระยะทาง และพื้นที่ควบคุมใน

อาคารเท่านั้นซึ่งไม่ไกลมากนัก ระบบส่งจ่ายแบบกระแสตรงจึงมีความเหมาะสมสำหรับการประยุกต์ใช้งานในอาคารชุมสาย และอาคารข้อมูล ซึ่งมีมากกว่า 500 อาคารในประเทศตามหน่วยงานต่างๆ ทั้งภาครัฐ และเอกชน

อย่างไรก็ตาม การวิจัยในเรื่องระบบควบคุม และระบบป้องกันสำหรับระบบจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรงขนาดเล็ก โดยใช้เซลล์แสงอาทิตย์ และเครื่องกำเนิดไฟฟ้าความร้อนร่วมเป็นแหล่งจ่ายพลังงาน ยังมีได้แพร่หลายมากนักเพื่อรองรับ การประยุกต์ใช้งานดังกล่าว ซึ่งผู้วิจัยเห็นว่าเป็นสิ่งจำเป็น ต่อการออกแบบระบบจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรงขนาดเล็กในอนาคต ดังนั้นในโครงการวิจัยนี้ ผู้วิจัย จะแบ่งงานวิจัยออกเป็น 2 ส่วน คือส่วนระบบป้องกัน และส่วนระบบควบคุม ดังแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3 ระบบจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรงขนาดเล็กที่ใช้ในโครงการวิจัยนี้

ส่วนของระบบป้องกัน ผู้วิจัยได้กำหนดวิธีวิจัยเป็น 2 ส่วนดังนี้ การวินิจฉัยฟอลต์(Fault diagnosis) และการตรวจจับฟอลต์ (Fault detection) ทั้ง 2 กระบวนการได้ทำการศึกษาโดยสร้างแบบจำลองคอมพิวเตอร์ ในระบบส่งจ่ายไฟฟ้าขนาดเล็กนั้น ไม่สามารถตรวจจับได้ทันที เมื่อเกิดฟอลต์เนื่องจากจะส่งผลถึงอุปกรณ์ ที่มีความไวสูงในชุมสายโทรศัพท์ ดังนั้นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ จะทำงานในโหมดจำกัดกระแส (Current limit) เพื่อที่จะพยายามรักษาระดับแรงดันของระบบ จะเห็นได้ว่าอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลัง ที่สำคัญในระบบแสดงในรูปที่ 3 ในด้านแหล่งจ่ายไฟฟ้า (Power supply) คือ เครื่อง

เปลี่ยนไฟฟ้ากระแสสลับเป็น กระแสตรง (dc to dc converter) ซึ่งจะเชื่อมต่อกับระบบกริดของการไฟฟ้า และ CHP ดังนั้นในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้สร้างเครื่องต้นแบบ ac to dc converter เพื่อทดสอบระบบป้องกัน 2 ขั้นตอนที่ได้นำเสนอขึ้น จากผลการจำลองและผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการพัฒนาวิธีการวินิจฉัยฟอลต์นี้สามารถนำไปใช้ในการตรวจจับฟอลต์ที่เกิดขึ้นได้ภายใน 1 ลูกคลื่น (น้อยกว่า 20 ms สำหรับระบบไฟฟ้า 50 Hz) ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการวินิจฉัยฟอลต์ที่นำเสนอขึ้น มีประสิทธิภาพเป็นที่น่าพอใจในการตรวจจับฟอลต์แบบสวิตช์เปิดวงจร นอกจากนี้ผลการจำลองและผลการทดลองจริงนั้นยังสอดคล้องกันอีกด้วย ซึ่งเป็นสิ่งที่บ่งบอกได้ว่าเทคนิคที่นำเสนอขึ้นเราสามารถดำเนินการเพิ่มการโปรแกรมใน DSP เพียงเล็กน้อย เพื่อใช้ในการควบคุมทั้งในโหมดแรงดันไฟเออร์ และ อินเวอร์เตอร์ ซึ่งผลการจำลอง และผลการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่าความเชื่อถือได้ของเอซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์ที่เชื่อมต่อกับไมโครกริดสามารถปรับปรุงให้ดีขึ้นได้ด้วยวิธีการวินิจฉัยฟอลต์ที่นำเสนอขึ้น ซึ่งระบบป้องกันที่ทำการออกแบบสามารถกำจัดฟอลต์ที่เกิดขึ้นได้เป็นอย่างดี

ส่วนระบบควบคุม ผู้วิจัยได้นำเสนออุปกรณ์เชื่อมต่ออิเล็กทรอนิกส์กำลังแบบใหม่ เพื่อความเหมาะสมกับภาระทางไฟฟ้าที่หลากหลายของ อาคารชุมสายโทรศัพท์ ซึ่งมีทั้งระบบไฟฟ้าเฟสเดียว และระบบไฟฟ้าสามเฟส โดยเรียกว่า “ไฮบริดอินเวอร์เตอร์แบบคาสเคดหลายระดับ” (Hybrid cascaded multilevel inverter, HMI) HMI จะทำให้ระบบไมโครกริด มีการสูญเสียที่ต่ำกว่าระบบอิเล็กทรอนิกส์ทั่วไป เนื่องจาก ระบบควบคุมจะนำเสนอวิธีการกำเนิดสัญญาณแบบใหม่ และด้วยโครงสร้างของ HMI ระบบสามารถแก้ไขคืนกลับแบบอัตโนมัติ ในกรณีที่เกิดฟอลต์ในระบบ ผู้วิจัยได้สร้างเครื่องต้นแบบขนาด 3 kVA เพื่อทดสอบการทำงานของ HMI และระบบควบคุมที่นำเสนอ จากผลการจำลอง และผลการทดลองพบว่าค่าสูญเสียจากการสวิตช์ของไฮบริดอินเวอร์เตอร์น้อยกว่าอินเวอร์เตอร์หลายระดับแบบดั้งเดิม ดังนั้นประสิทธิภาพของระบบจะเพิ่มขึ้นเมื่อใช้ไฮบริดอินเวอร์เตอร์ โดยไฮบริดอินเวอร์เตอร์ที่นำเสนอมีประสิทธิภาพ 97.45% ตามภาระไฟฟ้าขณะทดลอง และเทคนิคการทนต่อความผิดปกติหลังจากเกิดความผิดปกติ ทำให้ระบบมีความน่าเชื่อถือมากยิ่งขึ้น ซึ่งจากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าไฮบริดอินเวอร์เตอร์ที่ได้นำเสนอขึ้น สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในระบบไฟฟ้ากระแสตรงขนาดเล็กแรงดันต่ำในอาคารชุมสายโทรศัพท์ได้อย่างเหมาะสม

ทั้งสองส่วนงานวิจัยผู้วิจัยได้เสนอเพื่อการตีพิมพ์ในวารสารนานาชาติ และรายละเอียดการวิจัยทั้งสองขั้นตอน ได้นำเสนอรายละเอียดในเนื้อหางานวิจัย

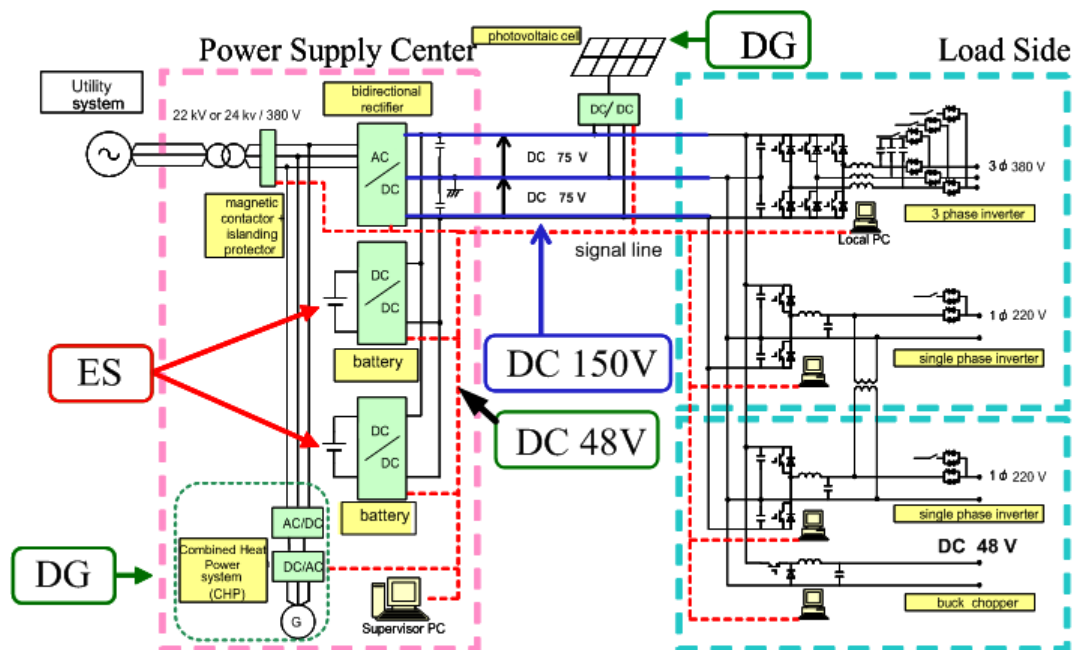
ชื่อโครงการ: ระบบควบคุม และระบบป้องกันสำหรับระบบจ่ายไฟฟ้ากระแสดตรงขนาดเล็ก โดยใช้
เซลล์แสงอาทิตย์และเครื่องกำเนิดไฟฟ้าความร้อนร่วมเป็นแหล่งจ่ายพลังงาน
เนื้อหางานวิจัย ส่วนที่ 1 ระบบป้องกัน

1. บทนำ

ระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าขนาดเล็ก หรือ Microgrid เป็นระบบการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าขนาดย่อมที่สามารถสร้างสมดุลระหว่างการผลิตพลังงานไฟฟ้ากับภาระทางไฟฟ้าที่ต่ออยู่กับระบบ ซึ่งสามารถเชื่อมต่อขนานเข้ากับระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าหลัก หรืออาจจะบริหารจัดการแยกเป็นอิสระโดยไม่มี การเชื่อมต่อ เช่น พื้นที่ที่เป็นเกาะ และอาจมีการรวมเอาแหล่งจ่ายพลังงานหมุนเวียนต่าง ๆ เช่น พลังงานลม พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานน้ำ ฯลฯ เชื่อมต่อเข้าด้วยกัน ทั้งนี้พลังงานหมุนเวียนนั้น ถือได้ว่าเป็นพลังงานที่สะอาด ไม่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม และมีข้อดีในด้านการจัดการทางพลังงานได้ ง่าย สามารถตอบสนองต่อภาระทางไฟฟ้าได้อย่างรวดเร็ว แต่อย่างไรก็ตามการศึกษาค้นคว้าวิจัย เกี่ยวกับการป้องกันระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าขนาดเล็กนั้น ยังไม่มีการศึกษากันอย่างแพร่หลายซึ่งไม่ สามารถใช้อุปกรณ์ได้เหมือนกับระบบไฟฟ้ากระแสสลับได้ ทั้งที่ความเป็นจริงแล้วระบบป้องกัน สำหรับระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้านั้น เป็นสิ่งที่สำคัญ และมีความจำเป็น เนื่องจากเสถียรภาพทางไฟฟ้า และความเชื่อถือได้ของระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า ตลอดจนความปลอดภัยของผู้ใช้งานเองนั้นถือเป็น เรื่องที่ต้องให้ความสำคัญ ซึ่งถ้าหากไม่มีระบบป้องกันที่ดีแล้วนั้น เมื่อเกิดฟอลต์ขึ้นในระบบส่งจ่าย กำลังไฟฟ้าจะส่งผลทำให้เกิดความเสียหายตามมาได้

ระบบไฟฟ้าในอาคารชุมสายโทรศัพท์ และอาคารข้อมูล โดยทั่วไป จะใช้ ac to dc converter แปลงระบบไฟฟ้าจากการไฟฟ้าซึ่งเป็นระบบไฟฟ้ากระแสสลับ 380 V ลงมาเป็น ระบบไฟฟ้า กระแสตรง 150 V สำหรับระบบจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงให้กับภาระไฟฟ้า และจะลดระดับแรงดัน เป็น 48 V สำหรับระบบการสื่อสาร จะเห็นได้ว่าเซลล์แสงอาทิตย์จึงมีความเหมาะสมในการเชื่อมต่อ โดยตรงเข้ากับระบบไฟฟ้ากระแสตรง ส่วนเครื่องกำเนิดไฟฟ้า CHP ก็สามารถเชื่อมต่อเข้ากับระบบ ไฟฟ้ากระแสตรงได้โดยใช้ ac to dc converter ดังนั้นในกรณีศึกษาของงานวิจัยนี้จึงมิได้มีการ เปลี่ยนแปลงระบบเดิมแต่อย่างใด กล่าวคืออุปกรณ์เดิมที่อาคารชุมสายมีอยู่แล้วก็สามารถใช้ประโยชน์ ได้แต่ได้มีการติดตั้ง dc to dc converter เพิ่มเติมในกรณีเชื่อมต่อเซลล์แสงอาทิตย์ เข้ากับระบบไฟฟ้ากระแสตรง ซึ่งจะส่งผลให้อาคารชุมสายสามารถลดการใช้ไฟฟ้า จากการไฟฟ้าฯ ลง โดยการนำกำลังไฟฟ้าที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์จ่ายกำลังไฟฟ้า และ CHP จ่ายให้กับระบบทำ ความเย็นเพื่อประหยัดพลังงาน ซึ่งไม่สามารถใช้อุปกรณ์ได้เหมือนกับระบบไฟฟ้ากระแสสลับได้

งานวิจัยนี้จึงนำเสนอการศึกษาพฤติกรรมของความผิดปกติทางไฟฟ้า (fault) ในระบบส่ง จ่ายกำลังไฟฟ้าขนาดเล็ก ซึ่งในที่นี้ใช้ระบบจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรง เพื่อนำไปสู่การออกแบบ ระบบป้องกันและเลือกใช้อุปกรณ์ป้องกันให้มีความเหมาะสม โดยใช้โปรแกรม PSIM ในการจำลอง การทำงานของระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า และระบบป้องกัน

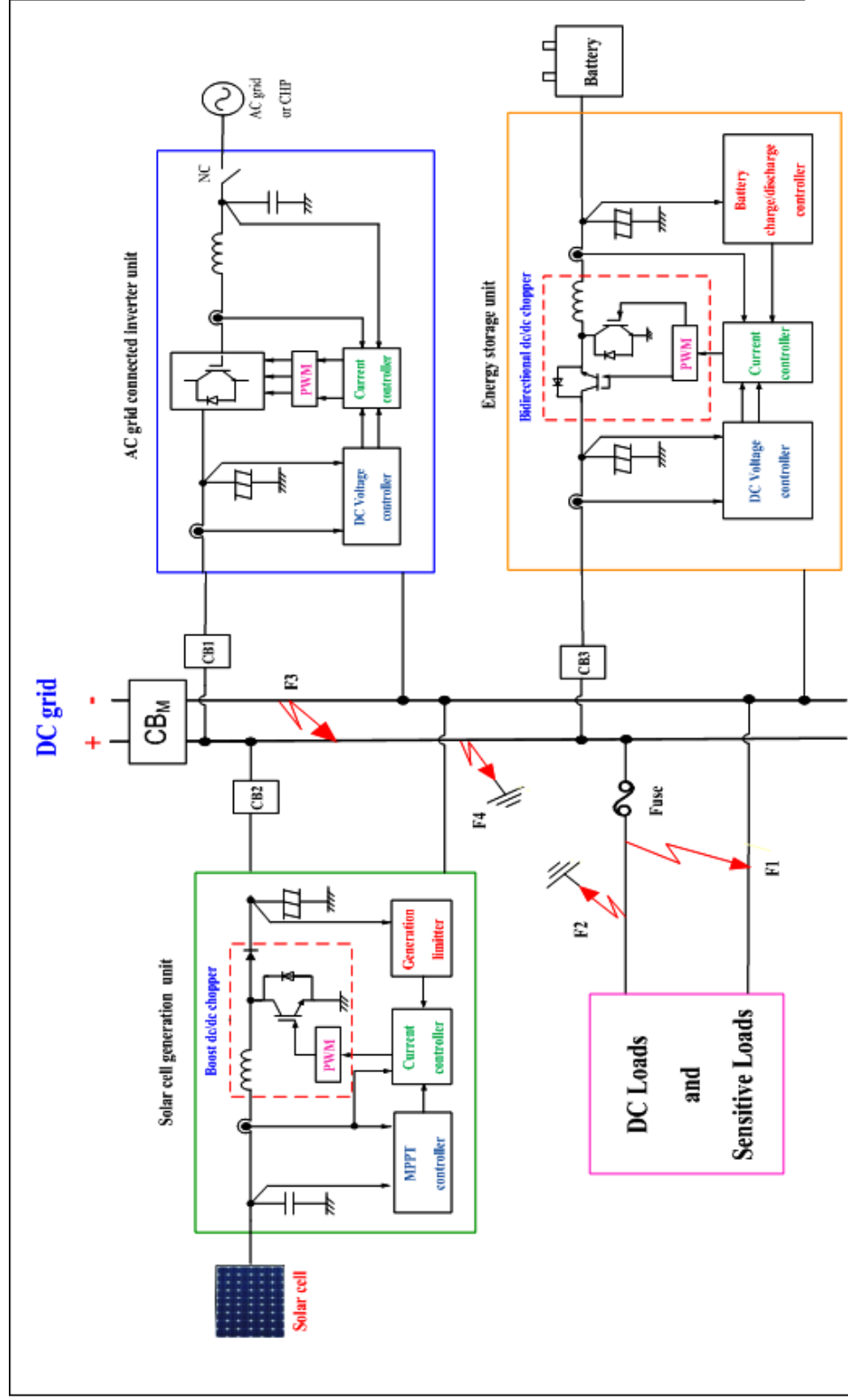


รูปที่ 1.1 แผนผังระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าขนาดเล็ก (Microgrid)

2. ระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรงขนาดเล็ก (DC microgrid)

การส่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรงนั้น มีความเหมาะสมกับระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าขนาดเล็กที่มีการเชื่อมต่อกับ เซลล์แสงอาทิตย์ ทั้งนี้ เซลล์แสงอาทิตย์และภาระทางไฟฟ้าส่วนใหญ่ในอาคารชุมชน จะใช้เป็นไฟฟ้ากระแสตรง ทำให้ช่วยลดจำนวนคอนเวอร์เตอร์ในการแปลงผันแรงดันไฟฟ้าจากไฟฟ้ากระแสสลับไปเป็นไฟฟ้ากระแสตรง นอกจากนี้ยังมียังงานวิจัยที่สนับสนุนว่าการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรงนั้นจะเกิดค่าความสูญเสีย (loss) ในระบบการส่งจ่ายน้อยกว่าการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสสลับถึง 15% [2] จึงทำให้ระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรงมีประสิทธิภาพในการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าที่สูงกว่า

ในงานวิจัยนี้ได้จำลองการทำงานของระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรงขนาดเล็กหรือ (dc microgrid) ขนาด 150 โวลต์ ซึ่งเป็นระบบที่เชื่อมต่อกับแหล่งจ่ายพลังงานหมุนเวียน โดยใช้เป็นพลังงานแสงอาทิตย์ ผ่านวงจรแปลงกระแสตรงเป็นกระแสตรง (dc/dc converter) โดยมีระบบสะสมพลังงานเป็นแบตเตอรี่ รวมทั้งมีการเชื่อมต่อกับระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสสลับ (ac power system) โดยผ่านวงจรเรียงกระแสแบบ 2 ทิศทาง (Bidirectional rectifier) นอกจากนี้ยังมีภาระทางไฟฟ้า ซึ่งใช้พลังงานไฟฟ้ากระแสตรง (dc loads) เชื่อมต่ออยู่ด้วยดังแสดงในรูปที่ 1.2



รูปที่ 1.2 แผนผังการเชื่อมต่ออุปกรณ์เข้ากับระบบส่งกำลังไฟฟ้ากระแสตรงขนาดเล็กและอุปกรณ์อื่น ๆ รวมทั้งตำแหน่งที่เกิดฟอลต์

3. ฟอลต์ และผลกระทบของฟอลต์

ฟอลต์ที่เกิดขึ้นในระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสดตรงนั้น แบ่งได้เป็น 3 ชนิด คือ ฟอลต์ระหว่างสายส่ง (Line to Line Fault), ฟอลต์ระหว่างสายส่งชั่ววอกกับกราวด์ (Positive Line to Ground Fault) และฟอลต์ระหว่างสายส่งชั่ววอกกับกราวด์ (Negative Line to Ground Fault) โดยสามารถคำนวณหากระแสฟอลต์ได้ตามสมการพื้นฐาน [3] ดังต่อไปนี้

$$I_{dc(F)} = \frac{E_{dc(0)} - E_{dc(F)}}{R_{dc(F)}} \quad (1)$$

เมื่อ $I_{dc(F)}$ คือ กระแสฟอลต์
 $E_{dc(0)}$ คือ แรงดันก่อนเกิดฟอลต์
 $E_{dc(F)}$ คือ แรงดันในขณะเกิดฟอลต์
 $R_{dc(F)}$ คือ ความต้านทานของสายส่ง

สำหรับผลกระทบของฟอลต์ที่เกิดขึ้นต่อระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้านั้น จะทำให้อุปกรณ์ไฟฟ้าที่อยู่อยู่กับระบบได้รับความเสียหาย โดยเฉพาะอุปกรณ์ทางด้านอิเล็กทรอนิกส์ หรืออุปกรณ์ควบคุม ที่มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของกระแส และแรงดันในขณะเกิดฟอลต์สูง ดังนั้นจึงจำเป็นอย่างยิ่ง ที่จะต้องทำการศึกษาการออกแบบระบบป้องกันสำหรับระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสดตรงขนาดเล็ก ให้มีความเหมาะสม และสามารถป้องกันความเสียหายที่อาจจะเกิดขึ้นได้

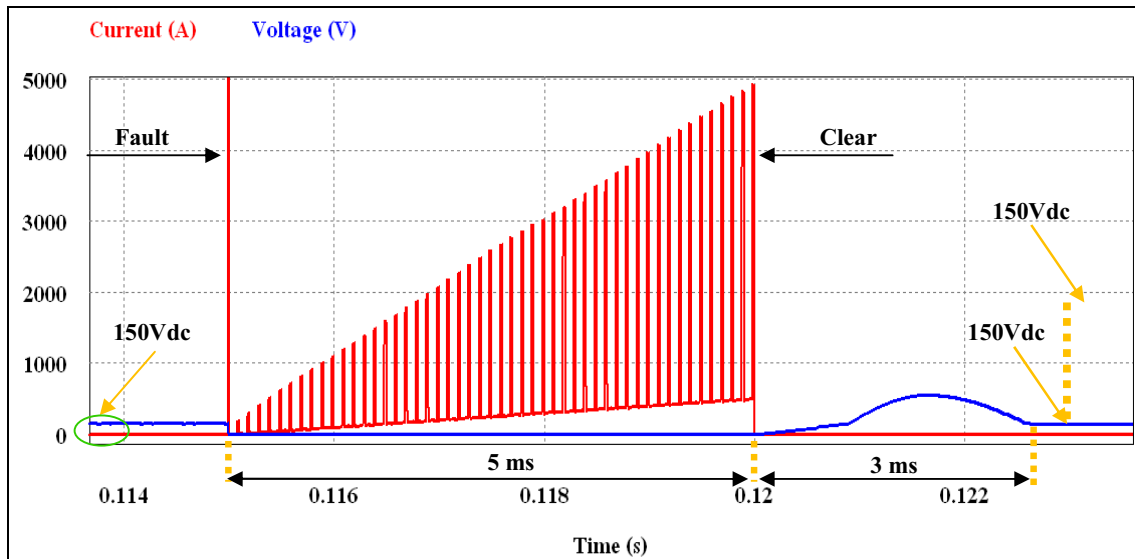
4. การจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

งานวิจัยนี้ใช้โปรแกรม PSIM ในการจำลองการทำงานของระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า และระบบป้องกัน โดยที่การออกแบบการจำลองนั้น จะศึกษาฟอลต์ 2 ชนิด คือ ฟอลต์ระหว่างสายส่งชั่ววอก กับสายส่งชั่ววอก และฟอลต์ระหว่างสายส่งชั่ววอกกับกราวด์ โดยให้เกิดฟอลต์ขึ้นที่บัส และที่โหลด เพื่อพิจารณาถึงลักษณะการเปลี่ยนแปลงของกระแส และแรงดันในระบบ ซึ่งฟอลต์ที่โหลดนั้น ฟอลต์ F1 กำหนดให้เป็นฟอลต์ระหว่างสายส่งชั่ววอกกับสายส่งชั่ววอก ส่วนฟอลต์ F2 เป็นฟอลต์ระหว่างสายส่งชั่ววอกกับกราวด์ สำหรับฟอลต์ที่ตำแหน่งบัสของระบบนั้น ฟอลต์ F3 เป็นฟอลต์ระหว่างสายส่งชั่ววอกกับสายส่งชั่ววอก และฟอลต์ F4 เป็นฟอลต์ระหว่างสายส่งชั่ววอกกับกราวด์ ดังรูปที่ 1.2 โดยให้ระยะเวลาในการเกิดฟอลต์ F1 เป็นเวลา 5 ms เพื่อเปรียบเทียบระหว่างระยะเวลาที่เกิดฟอลต์กับผลกระทบที่เกิดขึ้นกับระบบ รวมถึงลักษณะกระแส และแรงดันในขณะเกิดฟอลต์ที่ตำแหน่งต่าง ๆ ของระบบ

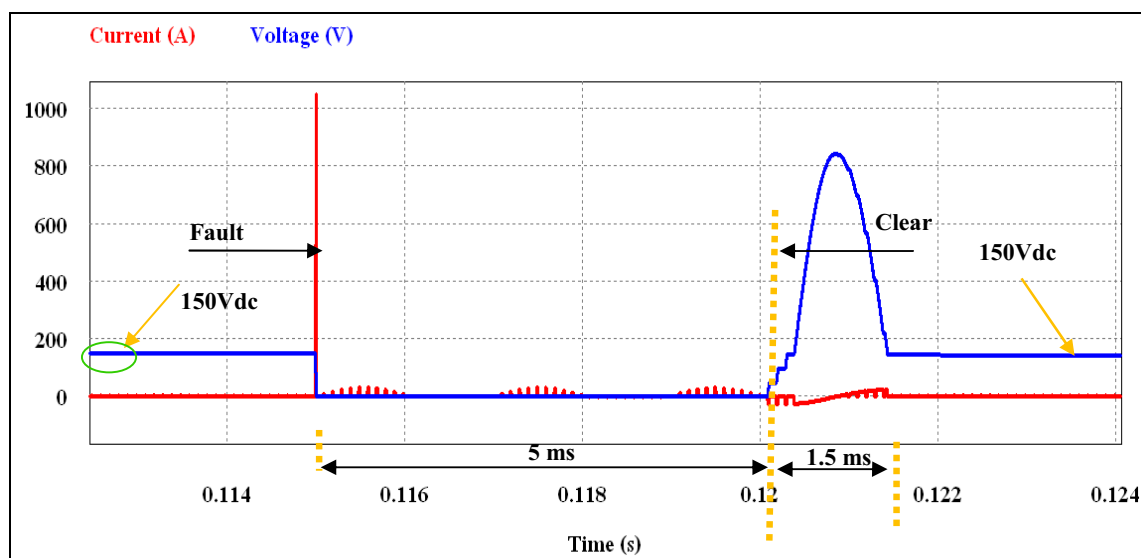
5. ผลการจำลอง

จากการจำลองด้วยโปรแกรม PSIM เพื่อศึกษาพฤติกรรมของฟอลต์ทั้ง 2 ชนิดที่ตำแหน่งต่าง ๆ ตามที่กล่าวมาแล้วข้างต้น สามารถแสดงผลการจำลองได้ดังต่อไปนี้

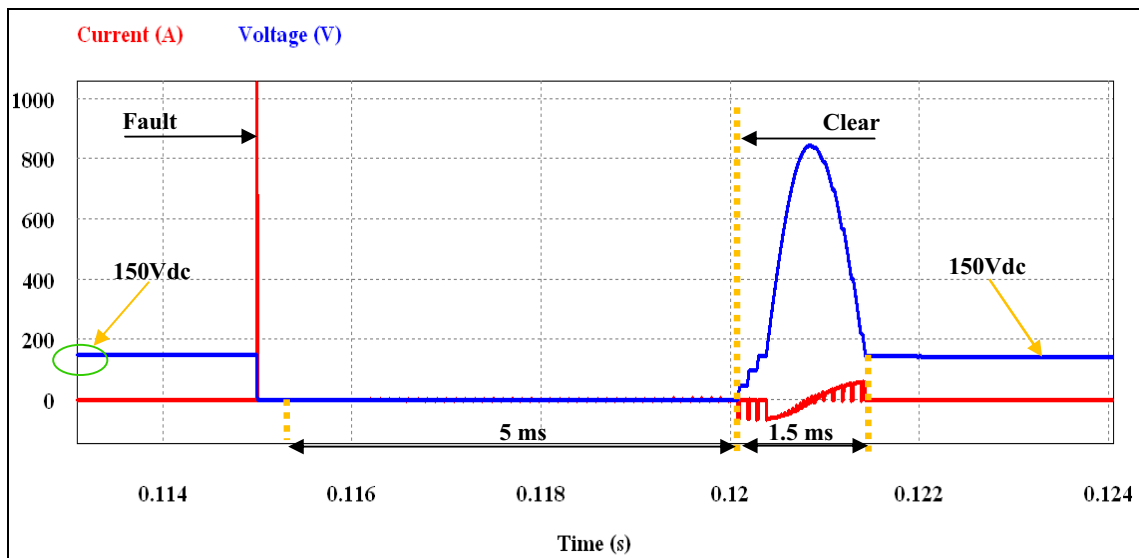
5.1 ฟอลต์ที่โหลด (F1) ระหว่างสายส่งชั่วคราวกับสายส่งชั่วลบ



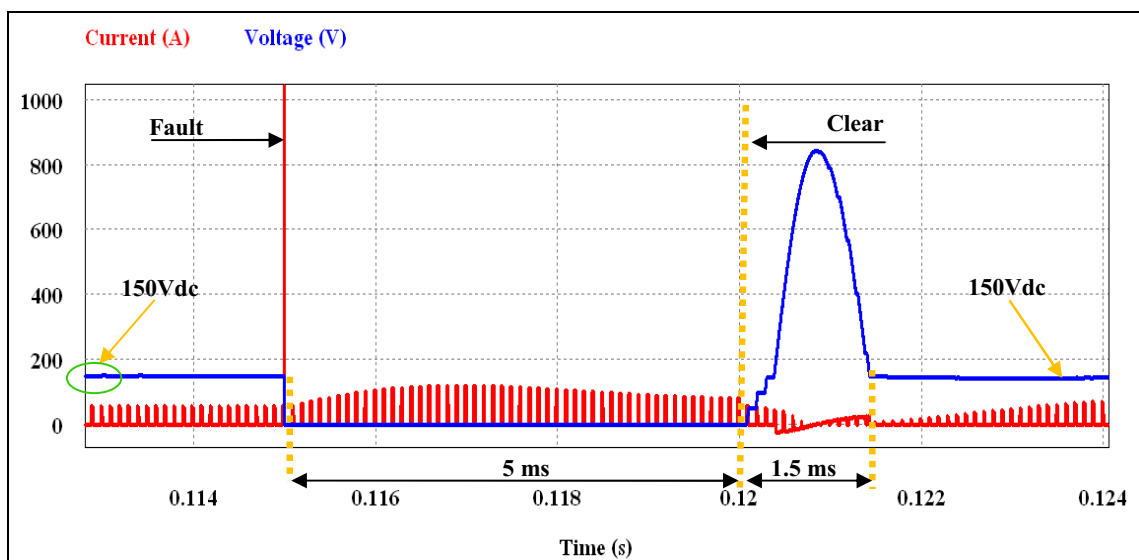
รูปที่ 1.3 กระแส และแรงดันขณะเกิดฟอลต์ (F1) เป็นระยะเวลา 5 ms



รูปที่ 1.4 กระแส และแรงดันที่ Solar cell ขณะเกิดฟอลต์ (F1)



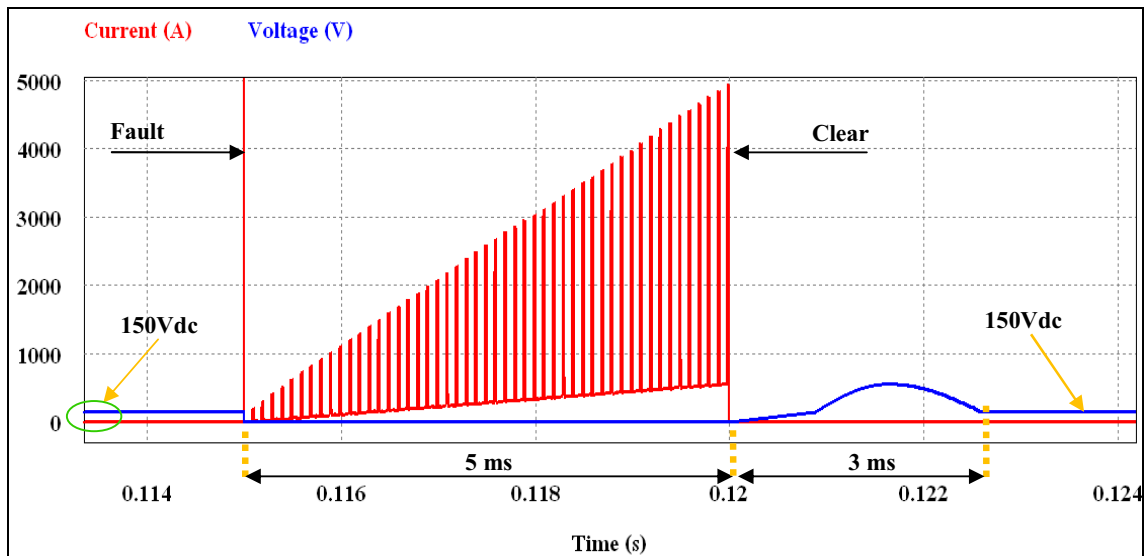
รูปที่ 1.5 กระแส และแรงดันที่ Battery ขณะเกิดฟอลต์ (F1)



รูปที่ 1.6 กระแส และแรงดันที่ Converter ขณะเกิดฟอลต์ (F1)

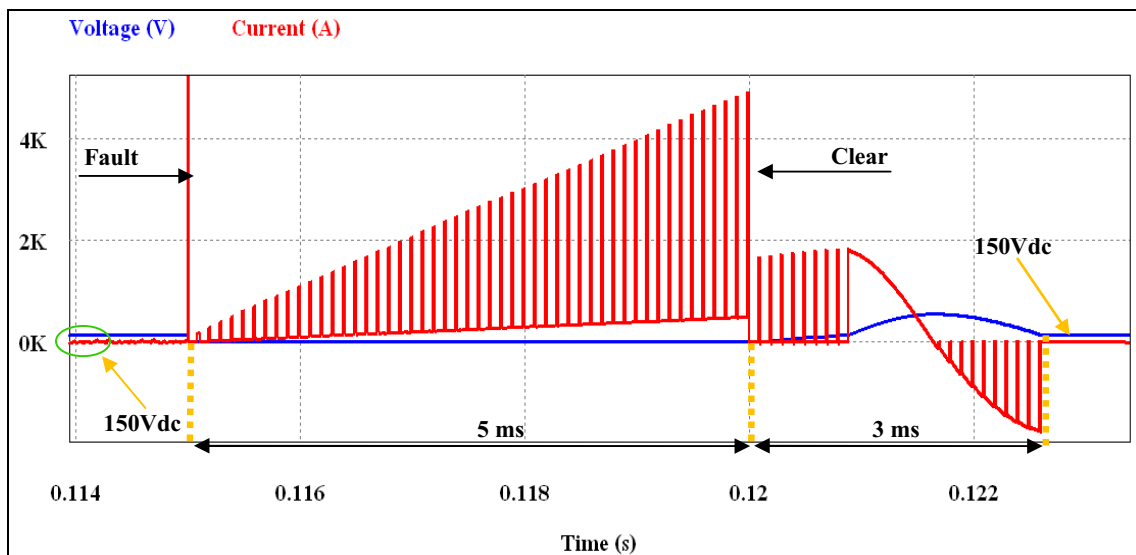
จากผลการจำลองฟอลต์ F1 ในรูปที่ 1.4-1.6 จะเห็นได้ว่า ฟอลต์มีการแพร่กระจายผลกระทบ ถึงแม้ว่า ฟอลต์จะเกิดขึ้นที่โหลด ก็ส่งผลกระทบไปสู่ เซลล์แสงอาทิตย์ แบตเตอรี่ และ converter ดังนั้น ถ้าเราใช้อุปกรณ์ป้องกัน เช่น เซอร์คิตเบรกเกอร์ และ Fuse ทั่วไป ถ้าไม่สามารถตัดวงจร ได้ทัน จะส่งผลกระทบไปสู่แหล่งจ่ายไฟฟ้าอื่น ผลการจำลองนี้ชี้ให้เห็นว่า อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลังจำเป็นต้องทำงานในโหมดจำกัดกระแส เพื่อที่จะสามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าได้ต่อเนื่อง ถึงแม้จะไม่เต็มพิกัด กำลังก็ตาม นอกจากนี้ การ coordinate ของอุปกรณ์ป้องกันก็เป็นสิ่งจำเป็น

5.2 ฟอลต์ที่โหลด (F2) ระหว่างสายส่งชั่วคราวกับกราวด์



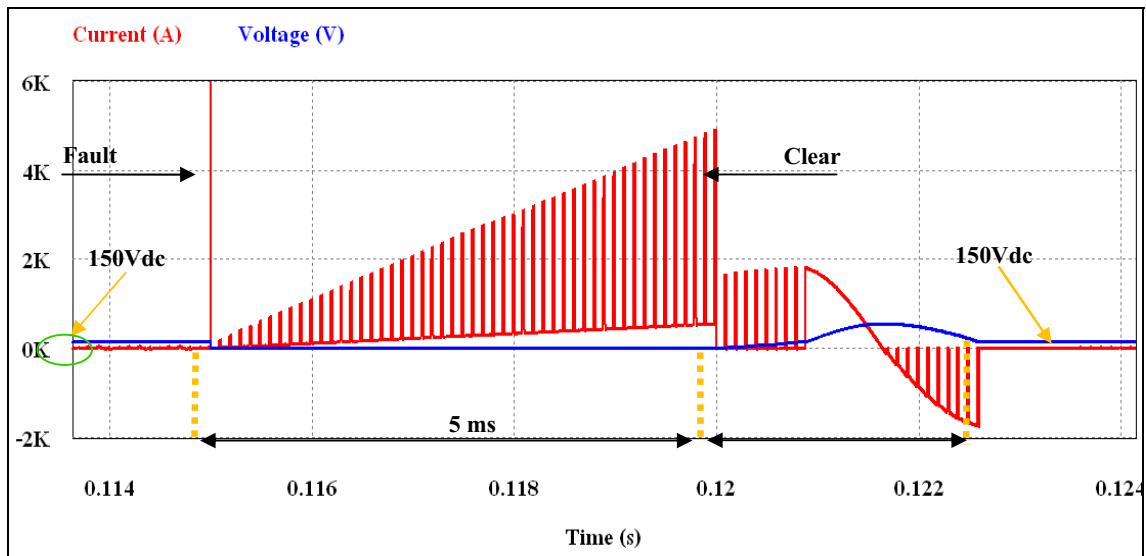
รูปที่ 1.7 กระแส และแรงดันขณะเกิดฟอลต์ (F2) เป็นระยะเวลา 5 ms

5.3 ฟอลต์ที่บัส (F3) ระหว่างสายส่งชั่วคราวกับสายส่งชั่วคราว



รูปที่ 1.8 กระแส และแรงดันขณะเกิดฟอลต์ (F3) เป็นระยะเวลา 5 ms

5.4 ฟอลต์ที่บัส (F4) ระหว่างสายส่งชั่วคราวกับกราวนด์



รูปที่ 1.9 กระแส และแรงดันขณะเกิดฟอลต์ (F4) เป็นระยะเวลา 5 ms

จากผลการจำลองพบว่า เมื่อเปรียบเทียบฟอลต์ระหว่างสายส่งชั่วคราวกับสายส่งขั้วลบ และฟอลต์ระหว่างสายส่งชั่วคราวกับกราวนด์นั้น จะมีการเปลี่ยนแปลงของกระแส และแรงดันคล้ายกัน และถ้าเกิดฟอลต์เป็นเวลานานจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของกระแสเพิ่มมากขึ้น ยกตัวอย่างเช่น ฟอลต์ F1 ฟอลต์ที่โหนดระหว่างสายส่งชั่วคราวกับสายส่งขั้วลบ ระยะเวลาการเกิดฟอลต์นาน 5 ms จะมีขนาดของกระแสฟอลต์มากขึ้น สำหรับตำแหน่งที่เกิดฟอลต์ ระหว่างฟอลต์ที่เกิดขึ้นที่โหนด กับฟอลต์ที่เกิดขึ้นที่บัส จะมีลักษณะการเปลี่ยนแปลงของกระแสที่แตกต่างกันกล่าวคือ หลังจากที่ถูกอุปกรณ์ป้องกันได้กำจัดฟอลต์ออกจากระบบแล้วกระแสนี้ยังคงมีการแกว่งตัวต่ออีกช่วงหนึ่งก่อนที่จะเข้าสู่สภาวะปกติ ซึ่งจะเห็นได้ว่าฟอลต์ที่บัสจะใช้เวลาในการกลับเข้าสู่สภาวะคงตัว ของระบบนานกว่าฟอลต์ที่เกิดขึ้นที่โหนด ขณะเดียวกันที่ตำแหน่งอื่น ๆ ของระบบก็จะปรากฏ กระแสฟอลต์ F1 เช่นกัน แต่มีขนาดเล็กกว่า นอกจากนี้ยังพบว่ากระแสลูกแรกหลังจากเกิดฟอลต์ขึ้น ในระบบจะมีขนาดสูงมากดังนั้นอุปกรณ์ป้องกัน จึงควรทำงานให้ถูกต้อง และเร็วที่สุด เพื่อที่จะป้องกันความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นกับระบบส่งจ่าย กำลังไฟฟ้าได้

6. แนวทางการออกแบบการป้องกันระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าขนาดเล็ก

ในการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้านั้น มีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีการติดตั้งระบบป้องกัน โดยอาศัย อุปกรณ์ป้องกันหลัก ๆ ดังนี้ [4], [5]

1. ฟิวส์ (Fuse) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการป้องกันกระแสเกิน โดยอาศัยการหลอมละลายของวัสดุตัวนำ ซึ่งอาจจะเป็นทองแดง หรือเงินที่มีจุดหลอมเหลวต่ำ เพื่อตัดวงจรที่เกิดฟอลต์ออกจากระบบ

2. เซอร์กิตเบรกเกอร์ (Circuit Breaker) เป็นอุปกรณ์ป้องกันที่สามารถเปิดวงจรได้อัตโนมัติ เมื่อมีกระแสไหลผ่านเกินกว่าค่าที่กำหนด ซึ่งในปัจจุบันมีการพัฒนาให้สามารถทำงานได้เร็วขึ้น โดยนำเอาสวิตช์อิเล็กทรอนิกส์มาประยุกต์ใช้ เรียกว่า โซลิดสเตทเซอร์กิตเบรกเกอร์

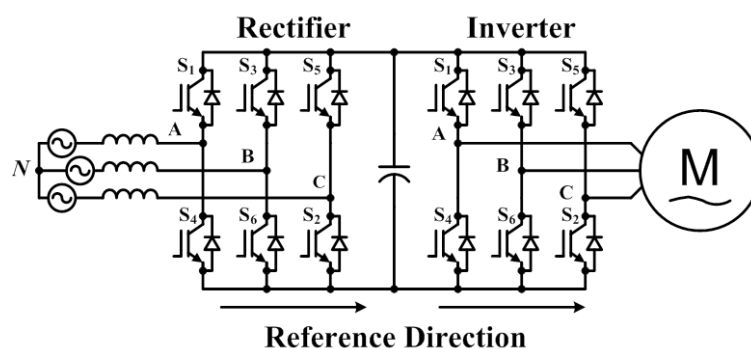
สำหรับการออกแบบระบบป้องกันสำหรับระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้านั้น หลักการสำคัญ คือ ระบบป้องกันจะต้องสามารถทำงานได้อย่างถูกต้อง และรวดเร็ว โดยจะต้องเลือกใช้อุปกรณ์ป้องกัน ตามความเหมาะสม เช่น เลือกใช้เซอร์กิตเบรกเกอร์ ที่มีความเร็วในการทำงานสูง เช่น **โซลิดสเตทเซอร์กิตเบรกเกอร์** ซึ่งปัจจุบันมีงานวิจัยที่สามารถทำงานได้เร็วถึง 0.5 ms หรือในกรณีที่ เป็นโหลดที่ไม่มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของกระแส และแรงดันมากนักก็อาจใช้ฟิวส์ที่มีความเร็วในการหลอมละลายสูง เช่น ultra fast fuse ที่ใช้เวลาการหลอมละลายของโลหะตัวนำเร็วกว่าฟิวส์แบบธรรมดา เป็นต้น ทั้งนี้จะต้องทำการออกแบบลำดับการทำงานของอุปกรณ์ป้องกัน (Coordination) ตลอดจนระบบป้องกันสำรอง (Back up Protection) ในกรณีที่ระบบป้องกันหลักไม่ทำงาน หรือทำงานผิดพลาด เช่น กรณีเกิดฟอลต์ F1 และ F2 หากฟิวส์ที่ใช้ป้องกันโหลดไม่สามารถทำการตัดวงจรออกจากระบบได้ CB1 ที่ Converter, CB2 ที่ Solar cell และ CB3 ที่ Battery จะต้องทำการตัดวงจรออกจากระบบ โดยลำดับเวลาในการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันในที่นี้คือ เซอร์กิตเบรกเกอร์จะตั้งให้ช้ากว่าเวลาการทำงานของฟิวส์ เช่น ฟอลต์ F1 ถ้าฟิวส์ทำงานที่ 2 ms ก็ควรตั้ง CB ไว้ที่ประมาณ 3 ms และขนาดกระแสทำงานของ CB ควรจะน้อยกว่าขนาดกระแสฟอลต์ที่ปรากฏที่ตำแหน่งต่าง ๆ ของระบบ ซึ่งอาจใช้รีเลย์ป้องกันทำงานร่วมด้วย ในขณะที่เดียวกัน CB1, CB2 และ CB3 ก็ต้องป้องกันอุปกรณ์ที่อยู่ภายใน Zone ป้องกันในกรณีที่เกิดฟอลต์ขึ้นที่บัสด้วย

ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องทำการหาตำแหน่งของฟอลต์ที่เกิดขึ้นให้ได้ว่าฟอลต์ที่เกิดขึ้นนั้นเป็นฟอลต์ที่โหลด หรือฟอลต์ที่บัส ซึ่งจะอาศัยอุปกรณ์ในการตรวจจับทั้งกระแส และแรงดัน เพื่อให้ระบบป้องกันสามารถตรวจจับ และกำจัดฟอลต์ที่เกิดขึ้นออกจากระบบ ได้อย่างถูกต้อง และรวดเร็ว โดยจะอาศัยวิธีการวินิจฉัยฟอลต์ที่สามารถตรวจจับฟอลต์ที่เกิดขึ้นได้อย่างเหมาะสม และส่งสัญญาณควบคุมให้กับ converter ทำงานในโหมดจำกัดกระแส เพื่อที่จะให้ระบบไมโครกริดยังคงจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับโหลดอื่นๆ ได้ และแรงดันที่บัสไม่สูญเสียเสถียรภาพ ซึ่งงานวิจัยส่วนนี้จะนำเสนอวิธีการตรวจจับฟอลต์ที่เกิดขึ้นที่อุปกรณ์สวิตช์ของคอนเวอร์เตอร์ที่เชื่อมต่ออยู่กับระบบไมโครกริด เพื่อเป็นแนวทางในการออกแบบระบบป้องกันต่อไป

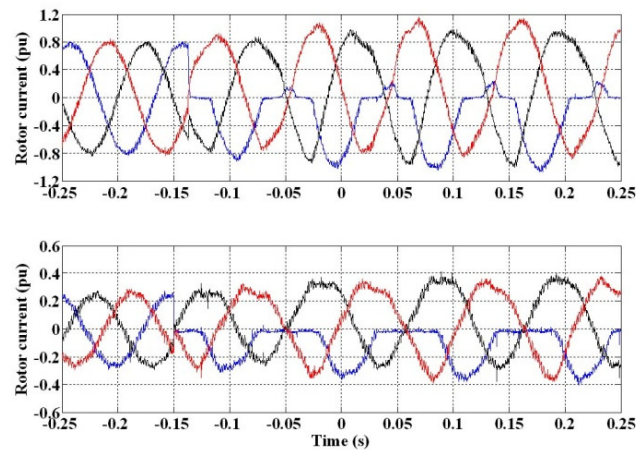
จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่า งานวิจัยเกี่ยวกับเทคนิคการวินิจฉัยฟอลต์ในระยะเริ่มแรกคือ การวินิจฉัยฟอลต์ในอินเวอร์เตอร์แบบจ่ายแรงดัน (VSI) ซึ่งฟอลต์ชนิดต่าง ๆ ของอินเวอร์เตอร์แบบจ่ายแรงดัน สำหรับมอเตอร์เหนี่ยวนำได้มีการพิจารณาไว้ใน [6] ดังนั้นจึงได้มีการผสมผสานกันของระบบการวินิจฉัยฟอลต์ในชุดขับเคลื่อนอินเวอร์เตอร์แบบจ่ายแรงดัน (VSI) ซึ่งได้อธิบายไว้ใน

[7] โดยระบบผสมผสานที่นำเสนอแนะนั้นจะทำการแก้ไขทันทีหลังจากที่เกิดความผิดพลาดขึ้น เพราะฉะนั้นความเชื่อถือได้ของระบบและความสามารถในการทนต่อฟอลต์จะต้องได้รับการปรับปรุง เทคนิคการไม่รบกวนสำหรับการวินิจฉัยฟอลต์ของชุดขับเคลื่อนมอเตอร์บนพื้นฐานของตัวบ่งชี้ในการกำหนดรูปแบบที่ไม่ซ้ำกันนั้น สอดคล้องกับวิธี Park's Vector ซึ่งได้นำเสนอไว้ใน [8 - 9] การเปรียบเทียบคุณสมบัติราคาค่าใช้จ่าย และขีดจำกัดในการทนต่อฟอลต์ของชุดขับเคลื่อนมอเตอร์กระแสสลับ 3 เฟส ได้มีการศึกษาไว้ใน [10] วิธีการวินิจฉัยฟอลต์สำหรับอินเวอร์เตอร์บนพื้นฐานของการพิจารณาตามเวลาและความถี่ได้มีการนำเสนอไว้ใน [11 - 18] และใน [14, 18] ได้กล่าวถึงการตรวจจับฟอลต์สำหรับแร็คตีไฟเออร์

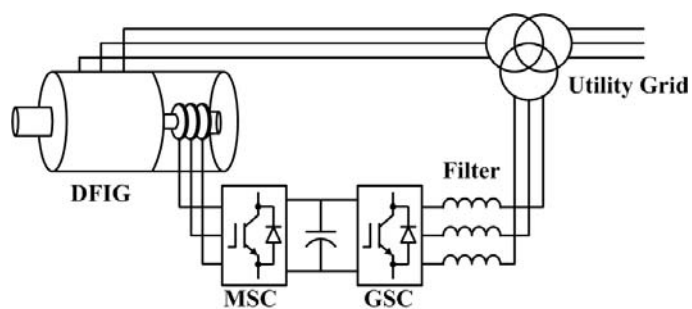
นอกจากนี้ข้อมูลของพฤติกรรมของฟอลต์ในอินเวอร์เตอร์และแร็คตีไฟเออร์นั้นเป็นสิ่งสำคัญที่จะใช้ในการปรับปรุงการออกแบบระบบ การป้องกัน และการควบคุมฟอลต์ ปัจจุบันงานวิจัยจะมุ่งเน้นไปที่วิธีการวินิจฉัยฟอลต์ในแร็คตีไฟเออร์หรือเอช-ดีซีคอนเวอร์เตอร์สำหรับการประยุกต์ใช้ในไมโครกริดซึ่งจะมีหลายย่านความเร็วอันเนื่องมาจากชนิดของแหล่งกำเนิดกำลังไฟฟ้า (DG) ยกตัวอย่างเช่น เครื่องจักรกลไฟฟ้าสำหรับระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วม (CHP) เครื่องกำเนิดไฟฟ้า ขนาดเล็ก และกังหันลม อาจจะทำจากความเร็วเชิงโคโรนัสจนถึงความเร็วซูปเปอร์ซิงโครนัส ดังแสดงในรูปที่ 1.10 – 1.12 ดังนั้นวิธีการวินิจฉัยฟอลต์สำหรับเอช-ดีซีคอนเวอร์เตอร์ที่ประยุกต์ใช้งานในไมโครกริดจึงได้รับการพัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้ วิธีการวินิจฉัยฟอลต์ที่นำเสนอแนะเป็นการทำงานร่วมกันระหว่างเทคนิค Absolute Normalized DC Current และวิธีการระบุสัญญาณเตือนที่ผิดพลาด ซึ่งวิธีการวินิจฉัยฟอลต์ที่นำเสนอแนะสามารถลดเวลาในการตรวจจับฟอลต์ และหลีกเลี่ยงการสัญญาณเตือนที่ผิดพลาดอื่น ๆ เป็นผลทำให้ระบบสามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่องอีกด้วย



รูปที่ 1.10 ชุดขับเคลื่อนเหนี่ยวนำกับ back to back คอนเวอร์เตอร์



รูปที่ 1.11 กระแสที่ไหลผ่านไดโอดในขณะที่เกิดกระแสฟอลต์ (บน) โหมดแรงดันไฟเออร์ (ล่าง) อินเวอร์เตอร์โหมด



รูปที่ 1.12 แผนผังอย่างง่ายของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำชนิดกระตุ้น 2 ทาง

7. การวินิจฉัยฟอลต์และเทคนิคการวินิจฉัยฟอลต์ที่ได้เคยนำเสนอในบทความวิชาการ

วิธีการวินิจฉัยนี้ได้มีการกล่าวถึงใน [8 - 18] แต่เทคนิคการประมวลผลสัญญาณดิจิทัล ที่น่าสนใจมีดังต่อไปนี้

Slope Method [11, 12]

Park's Vector Method [13, 14]

Control Deviation Method [15]

Normalized DC Current Method [16]

Modified Normalized DC Current Method [9, 18]

Simple DC Current Method [16]

สำหรับข้อดีและข้อเสียของวิธีการเหล่านี้จะถูกกล่าวถึงใน [9, 18] โดยปัญหาที่สำคัญที่สุดคือ สัญญาณแจ้งเตือนการเกิดฟอลต์ ซึ่งได้รับการแก้ไขบางส่วน และมีการแนะนำให้แก้ไขเพิ่มเติมสำหรับแต่ละวิธี [18] อย่างไรก็ตาม การแก้ไขเพิ่มเติมก็ไม่สามารถป้องกันสัญญาณแจ้งเตือนที่ผิดพลาดในทุก ๆ สถานะการทำงานทั้งหมดได้ การแก้ไขเพิ่มเติมสามารถใช้ใน grid-side คอนเวอร์เตอร์ได้ แต่ไม่สามารถใช้ใน machine-side คอนเวอร์เตอร์ ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงความถี่ได้ ซึ่งถือเป็นข้อเสียหนึ่งสำหรับวิธีการตรวจจับฟอลต์ที่มีอยู่ในขณะนี้

หากไม่รวมถึงวิธี slope method ในแต่ละวิธีจะขึ้นอยู่กับการคำนวณองค์ประกอบของกระแสตรงและหรือองค์ประกอบพื้นฐานของเวกเตอร์ 1 เฟสจาก 3 เฟส หรือทั้ง 3 เฟส และกระแสนี้จะถูกใช้เป็นดัชนีการวินิจฉัย เทคนิค recursive moving average จะถูกใช้ในการคำนวณหาดัชนีชี้วัด อย่างไรก็ตาม ในกรณีของ machine-side คอนเวอร์เตอร์ ความถี่ของกระแสจะผ่านจุดศูนย์ ภายใต้เงื่อนไข เมื่อความเร็วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทำงานที่ความเร็วเชิงโคโรนัส วิธี slope method และวิธี Control Deviation จะไม่สามารถแสดงการแจ้งเตือนการเกิดฟอลต์ได้ แต่วิธี Park's Vector วิธี Normalized DC Current วิธี Modified Normalized DC Current และวิธี Simple DC Current สามารถแสดงการแจ้งเตือนการเกิดฟอลต์ได้ภายใต้เงื่อนไขนี้ เนื่องจากเป็นลักษณะเฉพาะของการคำนวณแบบ moving average ซึ่งวิธีการนี้จะใช้ข้อมูลในอดีตในการคำนวณเพื่อให้เป็นข้อมูล moving average ปัจจุบัน

ในกรณีที่มี N ตัวอย่างต่อ 1 ลูกคลื่น ค่าเฉลี่ยปัจจุบันจะใช้ค่าปัจจุบัน และค่าก่อนหน้า ($N - 1$) ในการคำนวณ เมื่อเครื่องจักรกลไฟฟ้าทำงานที่ความเร็วเชิงโคโรนัส กระแสจะกลายเป็นกระแสตรง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับอัตราการเปลี่ยนแปลงของความเร็ว องค์ประกอบพื้นฐานของกระแสเป็นศูนย์หรือเกือบเป็นศูนย์สำหรับช่วงเวลาที่เหมาะสม ซึ่งจะทำให้ค่าเฉลี่ย และค่าเฉลี่ยปกติจะสูงมาก หลังจากที่มีความเร็วถึงความเร็วเชิงโคโรนัส

วิธี Control Deviation จะไม่ได้รับสัญญาณแจ้งเตือนฟอลต์ภายใต้เงื่อนไขเหล่านี้ เนื่องจากไม่มีองค์ประกอบพื้นฐานของกระแส แต่สามารถแจ้งเตือนฟอลต์ได้ภายใต้สภาวะชั่วคราว และภายใต้สภาวะกระแสลดต่ำลง นอกจากนี้ขั้นตอนการตรวจจับฟอลต์จะต้องรวมในส่วนของการควบคุมด้วย

สำหรับวิธี slope method นั้นจะไม่สามารถใช้ในการตรวจจับฟอลต์ได้ดีนักตามที่อธิบายไว้ใน [9, 18] ซึ่งจะใช้เวลาในการตรวจจับฟอลต์นานกว่าวิธีอื่น ๆ เนื่องจากวิธี slope method จะมีบางค่าอยู่ในย่านที่เกิดฟอลต์ภายใต้เงื่อนไขสภาวะปกติ [18] ดังแสดงใน [9, 18] วิธี Modified Normalized DC Current ถือว่าเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดของวิธีที่มีอยู่ทั้งหมด ซึ่งวิธีนี้นำเสนอเป็นครั้งแรกโดย Abramik et al. [9] และมีการแก้ไขในภายหลังโดย Rothenhagen และ Fuchs [9, 18] วิธีการนี้จะใช้ค่า moving average ของกระแสไลน์ เพื่อใช้เป็นตัวแปรในการวินิจฉัย เพื่อให้ตัวแปรนี้เป็นอิสระจากโหลด ค่า moving average จึงต้องปรับองค์ประกอบพื้นฐานของกระแสโดยใช้ DFT ดังแสดงในสมการด้านล่าง

$$\mu_v = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N I_v(k\tau), \quad (2)$$

$$I_{1,v} = a_{1,v} \cos\left(\frac{2\pi}{T} k\tau\right) + b_{1,v} \sin\left(\frac{2\pi}{T} k\tau\right), \quad (3)$$

$$\gamma_v = \frac{\mu_v}{I_{1,v}}, \quad (4)$$

$$a_{1,v} = \frac{2}{N} \sum_{k=1}^N I_v(k\tau) \cos\left(\frac{2\pi k}{N}\right), \quad (5)$$

$$b_{1,v} = \frac{2}{N} \sum_{k=1}^N I_v(k\tau) \sin\left(\frac{2\pi k}{N}\right), \quad (6)$$

$$v \in [a, b, c], \quad (7)$$

$$\frac{1}{f} = N\tau, \quad (8)$$

เมื่อ K คือ 1, 2, 3 ... 64 N คือ 64 และ γ_v คือตัวแปรที่ใช้วินิจฉัยสำหรับวิธี Modified Normalized DC Current Method ในแต่ละเฟส

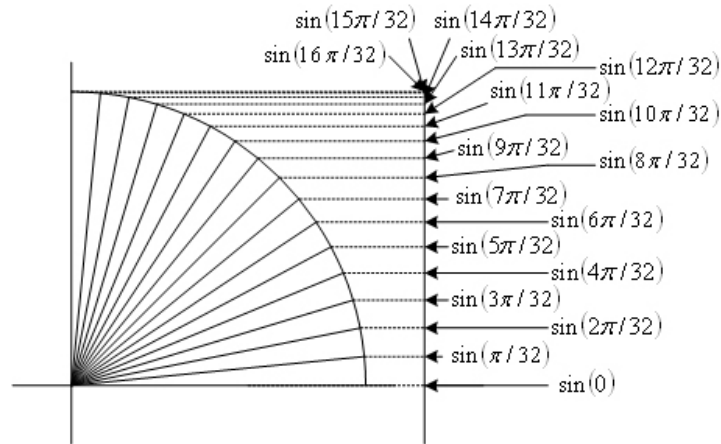
ภายใต้สภาวะปกติ ค่าของ γ_v จะมีค่าเท่ากับ 0.45 เสมอ [11, 20]; อย่างไรก็ตาม ภายใต้สภาวะที่เกิดฟอลต์ ค่าของ γ_v ในเฟสที่เกิดฟอลต์จะเกินกว่าค่าที่กำหนด ในกรณีนี้ค่าของ γ_v จะเกินกว่าค่าที่กำหนดอยู่ 1 เฟส ซึ่งค่าสัมบูรณ์ที่สูงสุดของ γ_v อยู่ในเฟสที่เกิดฟอลต์

8. วิธีการวินิจฉัยฟอลต์ที่นำเสนอ

จากการศึกษาวิธี Normalized DC Current [16] และวิธี Modified Normalized DC Current [9, 18] ตามที่ได้กล่าวไปแล้วข้างต้น วิธีนี้จะใช้เวลานานและต้องใช้ DFT ในการคำนวณ เพื่อลดภาระของ DSP ซึ่งเป็นทางเลือกสำหรับการวินิจฉัยที่นำเสนอ นอกจากนี้จุดประสงค์ของการแนะนำการตรวจจับฟอลต์คือเพื่อเป็นการปรับปรุงความเชื่อถือได้ รวมถึงจะต้องหลีกเลี่ยงสัญญาณเตือนที่ผิดพลาด ดังนั้นในส่วนนี้จึงได้นำเสนอวิธีการตรวจจับ และระบุตำแหน่งที่เกิดฟอลต์ รวมถึงการป้องกันสัญญาณ

เดือนที่ผิดพลาด ซึ่งงานวิจัยนี้จึงได้นำเสนอวิธี Absolute Normalized DC Current [19] ในการแก้ปัญหาดังกล่าว

ตามที่มีการนำเสนอโดย Abramik et al. [16] สัญญาณจะถูกสุ่มมาเป็น N เวลา ในหนึ่งคาบ ด้วยระยะห่างเชิงมุมคงที่ระหว่างแฉมเปิดดังแสดงในรูปที่ 1.13



รูปที่ 1.13 เซกเตอร์แรกของวงกลมหนึ่งหน่วยสำหรับการคำนวณกระแสฟอลต์
ในระหว่างเกิดฟอลต์ครึ่งลูกคลื่น

วงกลมหนึ่งหน่วยจะแบ่งออกเป็น 4 เซกเตอร์ และจะพิจารณาเฉพาะเซกเตอร์แรกดังแสดงในรูปที่ 16 โดยในแต่ละเซกเตอร์จะมี 16 แฉมเปิด ซึ่งมีค่าเท่ากับ $\sin(2m\pi/N)$ เมื่อ m คือ 1, 2, 3, ..., 16 และ N คือ 1, 2, 3, ..., 64

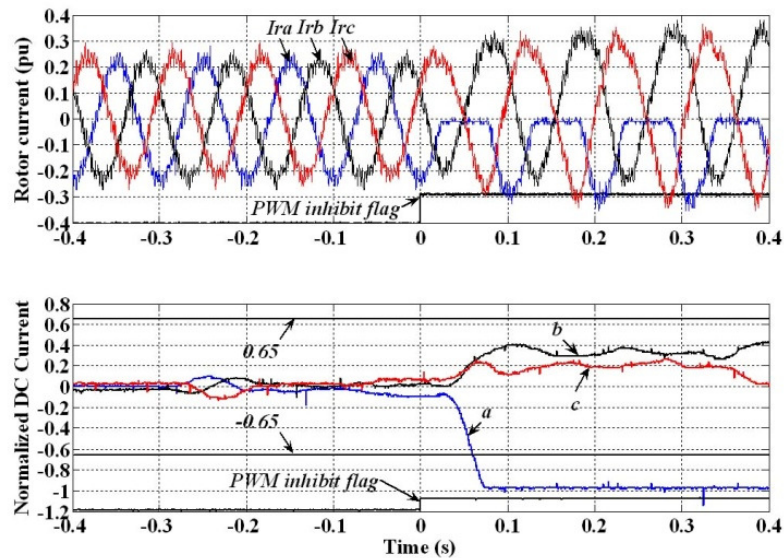
8.1 วิธี Absolute Normalized DC Current

วิธีนี้จะคล้ายกับวิธี Normalized DC Current แต่จะแทนการใช้ตัวแปรองค์ประกอบพื้นฐานที่ทำการนอโมไลซ์ ด้วยการใช้ค่าเฉลี่ยสัมบูรณ์ของกระแสในแต่ละเฟส ในขณะที่เกิดฟอลต์ กระแสฟอลต์จะเกิดขึ้นเพียงครึ่งลูกคลื่น ดังนั้นค่าเฉลี่ยจึงมีค่าตามสมการที่ 2 ซึ่งวิธีการนี้จะคำนวณค่าสัมบูรณ์เพียงอย่างเดียว และจะใช้เวลาคำนวณน้อยกว่าและค่าสิ่งที่ใช้ในการตรวจจับฟอลต์จะมีขนาดเล็กกว่าด้วย ซึ่งค่า 0.65 นั้น มีความเหมาะสมทั้งการจำลองและการทดลอง สมการที่ใช้ในการคำนวณตัวแปรสำหรับการวินิจฉัยด้วยวิธีการนี้จะป็นค่ากระแสเฉลี่ยของดังแสดงในสมการที่ 2 ร่วมกับสมการที่ 9 และ 10 ดังนี้

$$\lambda_v = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N |I_v(k\tau)|, \quad (9)$$

$$\xi_v = \frac{\mu_v}{\lambda_v}, \quad (10)$$

เมื่อ ξ_v คือ ตัวแปรวินิจฉัยสำหรับวิธี Absolute Normalized DC Current ในแต่ละเฟส ดังแสดงในรูปที่ 1.14 (บน) สวิตช์ตัวบนในเฟส A เปิดวงจร ดังนั้นจึงมีการสูญเสียด้านบวกไปครึ่งลูกคลื่น ค่าของ ξ_v หลังจากเกิดฟอลต์เปิดวงจรใน machine-side คอนเวอร์เตอร์ ในขณะที่ทำงานในโหมดอินเวอร์เตอร์ดังแสดงในรูปที่ 1.14 (ล่าง) ค่าของ ξ_v ในเฟส A จะเกินกว่าค่าที่กำหนดไว้ และจะอ้อมตัวในช่วง ± 1 ในขณะที่ค่าของ ξ_v ในเฟส B และ C จะยังคงอยู่ไม่เกินค่าที่กำหนด ซึ่งในรูปนี้แสดงให้เห็นว่า ค่าของ ξ_v สามารถใช้เป็นตัวแปรการวินิจฉัยในลักษณะเดียวกันกับค่าของ γ_v

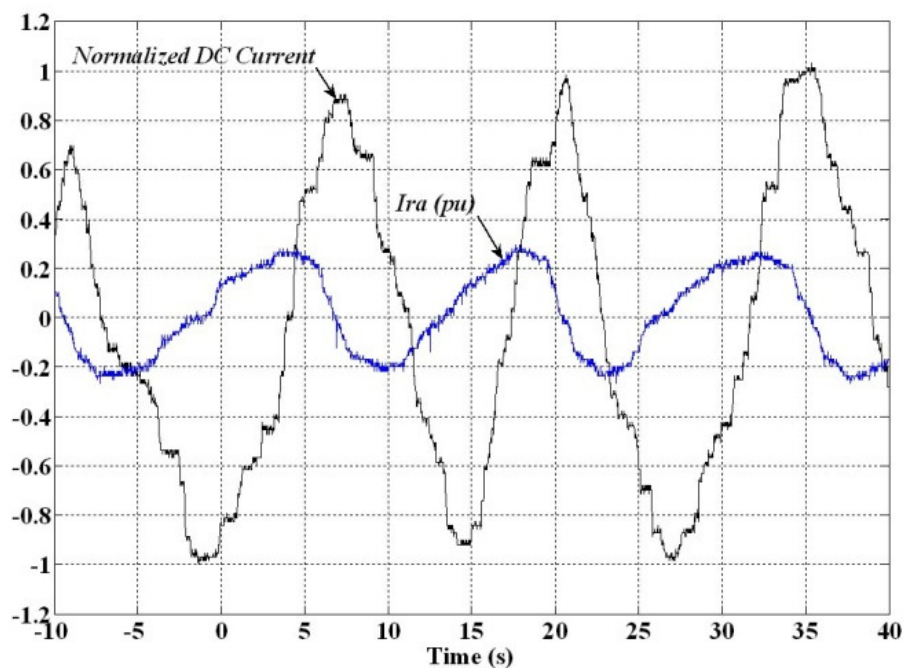


รูปที่ 1.14 ผลการทดลอง (บน) กระแสโรเตอร์ และ (ล่าง) ค่าตัวแปรวินิจฉัยสำหรับวิธี Absolute Normalized DC Current ในขณะที่เกิดฟอลต์เปิดวงจรโดยที่ทำงานในโหมดอินเวอร์เตอร์

จากรูปที่ 1.14 แสดงให้เห็นว่าตัวแปรวินิจฉัยที่นำเสนอสามารถตรวจจับฟอลต์ได้อย่างถูกต้อง และวิธี Absolute Normalized DC Current นี้สามารถช่วยลดเวลาในการคำนวณสำหรับการตรวจจับฟอลต์ได้อีกด้วย อย่างไรก็ตาม ปัญหาสำคัญของสัญญาณเตือนที่ผิดพลาดนั้นยังคงมีอยู่ และปัญหานี้จะสามารถแก้ไขได้โดยวิธีการระบุสัญญาณเตือนที่ผิดพลาด

เนื่องจากลักษณะของ ξ_v ดังแสดงในรูปที่ 1.15 ถ้า DFIG ทำงานที่ความเร็วเชิงโรตัส ค่าของ ξ_v อาจจะสูงกว่าค่าที่กำหนดไว้ไม่น้อยกว่า 1/3 ลูกคลื่น ซึ่งลักษณะของค่า ξ_v นี้ จะสามารถใช้วิธีการระบุสัญญาณเตือนที่ผิดพลาดได้ เพื่อหลีกเลี่ยงการเตือนที่ผิดพลาด โดยแนะนำให้มีความล่าช้า

ออกไปครึ่งลูกคลื่น ($N/2$ จุด) ในระหว่างที่มีความล่าช้านี้ ถ้าค่าของ ξ_v ในเฟสใดเฟสหนึ่งเกินกว่าค่าที่กำหนด สัญญาณแฉ่งเตือนฟอลต์ของทุกเฟสจะถูกตั้งค่าให้เป็น 0 เป็นผลให้ไม่มีการเตือนที่ผิดพลาดปรากฏ ถึงแม้ว่าความเร็วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะเข้าใกล้ความเร็วซิงโครนัส ด้วยวิธีการนี้ ปัญหาของการทำงานงาน DFIG ที่ความเร็วเข้าใกล้ความเร็วซิงโครนัส หรือที่ความเร็วซิงโครนัส จะสามารถแก้ไขได้อย่างสมบูรณ์ และมีข้อสังเกตว่าวิธีการระบุสัญญาณเตือนที่ผิดพลาดอาจจะไม่จำเป็นต้องระบุสำหรับการประยุกต์ใช้งานเอช-ดีซีคอนเวอร์เตอร์อื่น ๆ ยกตัวอย่างเช่น ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วม (CHP) และพลาสมาเวอร์ชันความเร็วคงที่ ดังนั้นวิธีการระบุการแฉ่งเตือนที่ผิดพลาดนี้ จึงสามารถนำมาใช้ร่วมกับวิธี Absolute Normalized DC Current ได้ซึ่งวิธีการนี้จะใช้สำหรับการกลับคืนของระบบ ดังที่นำเสนอไว้ใน [10] และวิธีการนี้ยังสามารถประยุกต์ใช้กับการควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้าแบบ 4 จตุภาคได้อีกด้วย [19]



รูปที่ 1.15 ผลการทดลองลักษณะของ ξ_v

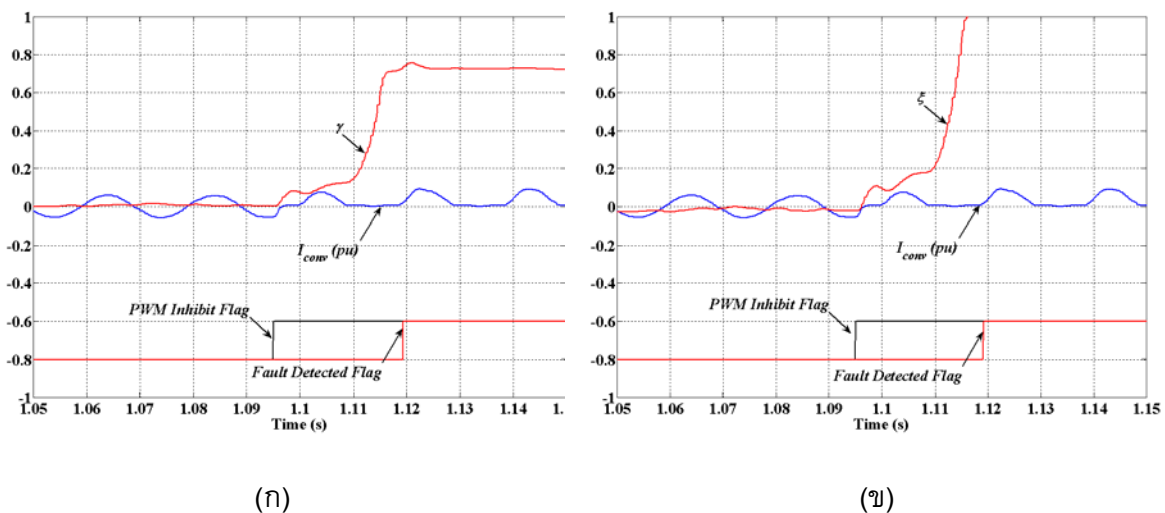
9. ผลการจำลอง และผลการทดลอง

9.1 ผลของการจำลอง

สำหรับการจำลองจะใช้โปรแกรม MATLAB / simulink จำลองการทำงานของ back to back คอนเวอร์เตอร์ในรูปที่ 1.12 ซึ่งผลการจำลองดังรูปที่ 1.16 แสดงให้เห็นว่าระยะเวลาที่ใช้ในการตรวจจับฟอลต์ในแต่ละกรณีนั้นประมาณ 1 ลูกคลื่น จากรูปฟอลต์จะเกิดที่ประมาณกึ่งกลางของลูกคลื่น

ที่สวิตช์ที่เกิดฟอลต์นำกระแส การสร้างฟอลต์ที่จุดนี้เพื่อจะหาช่วงเวลาสูงสุดสำหรับการตรวจจับฟอลต์ในแต่ละวิธี และฟอลต์จะถูกสร้างขึ้นที่จุดเดียวกันบนรูปคลื่นของกระแสสำหรับวิธีการตรวจจับฟอลต์ทั้ง 2 วิธี ผลการจำลองในรูปที่ 1.16 แสดงให้เห็นว่าระยะเวลาที่ใช้ในการตรวจจับฟอลต์ทั้งวิธี Absolute Normalized DC Current Method และวิธี Normalized DC Current Method จะคล้ายกัน ตามที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น ผลการจำลองในรูปที่ 1.16 แสดงค่าของ ξ_v ตามที่กล่าวก่อนหน้านี้ แสดงให้เห็นว่าในระหว่างเกิดฟอลต์ ค่าของ ξ_v จะมีค่าอยู่ในช่วง ± 1 ซึ่งในรูปที่ 1.16 นี้ ค่าของ γ_v จะไม่อิ่มตัว อันเนื่องมาจากผลของกระแสไดโอด

เมื่อเปรียบเทียบทั้ง 2 วิธี ภายใต้เงื่อนไขที่ค่าของ ξ_v ยังน้อยกว่าค่าที่กำหนดคือ 0.65 ในขณะที่ค่าของ γ_v มีค่าใกล้เคียงกับค่าที่กำหนด คือ 0.45 ซึ่งอาจจะมีผลทำให้ไม่มีการแจ้งเตือน ถ้าหากค่าของ γ_v ยังคงน้อยกว่าค่าที่กำหนดไว้อยู่

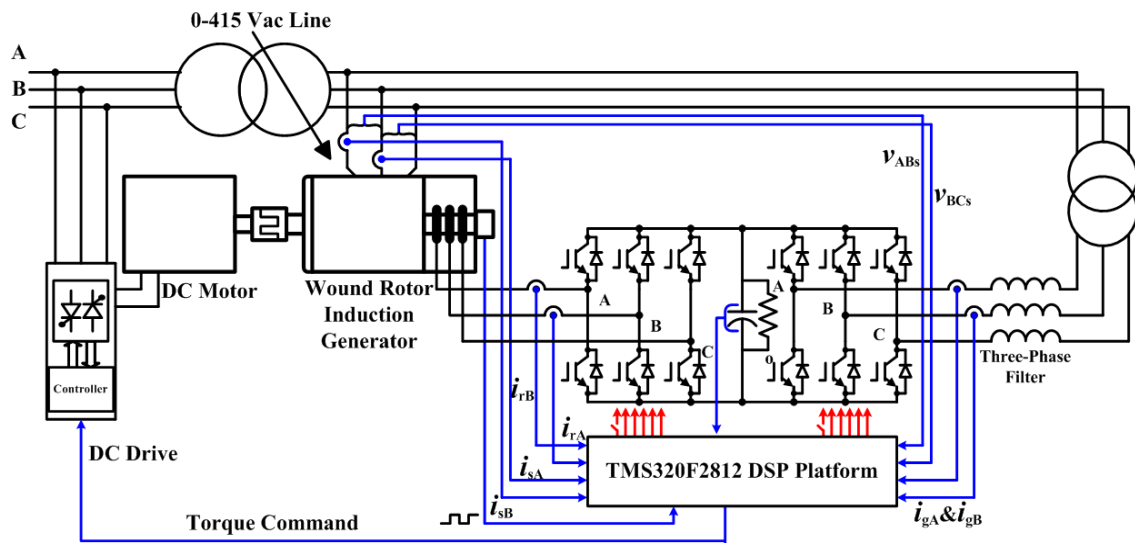


รูปที่ 1.16 ผลการจำลองเปรียบเทียบการตรวจจับฟอลต์เปิดวงจรใน PWM คอนเวอร์เตอร์
ทำงานในโหมดแรงดันไฟเออร์ที่ความถี่มูลฐาน 50 Hz
(ก) วิธี Modified Normalized DC Current และ (ข) วิธี Absolute Normalized DC Current

9.2 ผลการทดลอง

ในการตั้งค่าการทดลองสำหรับเทคนิคการวินิจฉัยฟอลต์ที่นำเสนอจะแสดงในรูปที่ 1.17 โดยใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำขนาด 7.5 กิโลวัตต์ ซึ่งใช้เป็นแหล่งกำเนิดกำลังไฟฟ้า ต่ออยู่กับมอเตอร์

ไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 10 กิโลวัตต์ เพื่อความปลอดภัยจึงใช้ back to back คอนเวอร์เตอร์ เชื่อมต่อระหว่างโรเตอร์ กับการไฟฟ้า มีข้อสังเกตว่าเทคนิคที่นำเสนอนี้สามารถประยุกต์ใช้เอช-ดีซีคอนเวอร์เตอร์อื่นสำหรับไมโครกริด โดยที่จะใช้ TMS320F2812 DSP ในการควบคุมทั้งโหมดแรกติไฟเออร์และอินเวอร์เตอร์ เพื่อควบคุมความเร็วของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง และวินิจัยฟอลต์ในระบบที่นำเสนอนี้ ทั้งนี้จะเห็นว่า ได้เลือกใช้ DSP ในการประมวลผล เพราะการวินิจัยฟอลต์จะต้องทำงานอย่างเร็วที่สุด และเทคนิคการวินิจัยที่นำเสนอนี้จะมีคำสั่งเพียงไม่กี่บรรทัด เมื่อเทียบกับวิธีที่นำเสนอใน [9, 18]

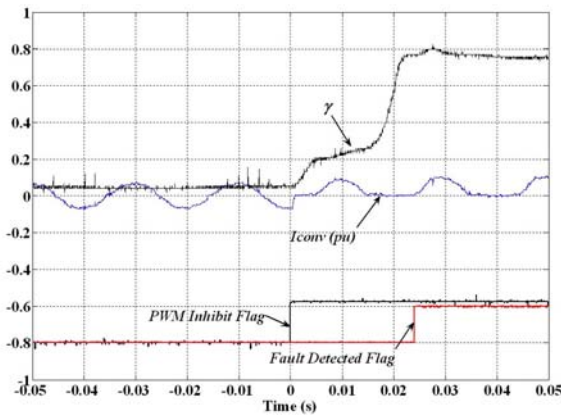


รูปที่ 1.17 การทดลองโดยใช้ DFIG สำหรับการวินิจัยฟอลต์

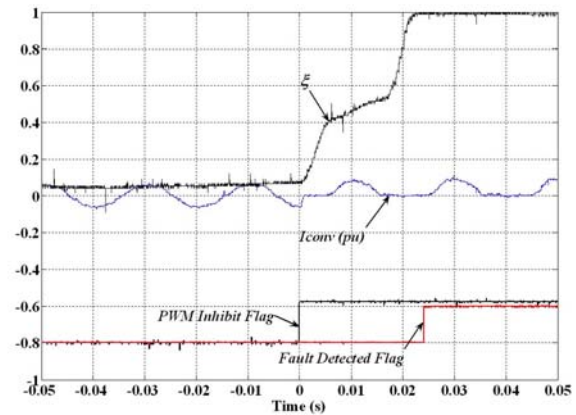
ผลการทดลองแสดงในรูปที่ 1.18 ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบผลการตรวจจับฟอลต์ระหว่างวิธี Modified Normalized DC Current และวิธี Absolute Normalized DC Current ขณะที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำทำงานที่ความถี่ 50 Hz จะเห็นได้ชัดเจนว่าวิธีที่นำเสนอการตรวจจับฟอลต์สามารถทำงานได้โดยไม่ต้องขึ้นอยู่กับความถี่ ซึ่งถือว่าเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับการประยุกต์ในไมโครกริด เพราะแหล่งกำเนิดกำลังไฟฟ้า (DG) หรือแหล่งพลังงานหมุนเวียน (RES) อาจทำงานที่ความถี่แตกต่างกัน ดังนั้นแรกติไฟเออร์จึงจำเป็นต้องรักษาระดับแรงดันที่บัสกระแสตรงให้คงที่ ถึงแม้ว่าฟอลต์อาจจะเกิดขึ้นทั้ง 2 เฟส พร้อมกันก็สามารถทำงานได้ ตามที่อธิบายไว้ใน [10] สำหรับจะใช้เวลาในการตรวจจับฟอลต์ 0.025 สำหรับการทำงานที่ความถี่ 50 Hz

ซึ่งเป็นที่ชัดเจนว่าวิธีการวินิจัยฟอลต์ที่นำเสนอนี้ สามารถตรวจจับฟอลต์ได้เหมือนกับวิธี Modified Normalized DC Current แต่มีข้อสังเกตว่าวิธีที่นำเสนอนี้จะทำการประมวลผลด้วย DSP น้อยกว่าวิธี Modified Normalized DC Current ดังแสดงในรูปที่ 1.18 สำหรับจุดที่เกิดฟอลต์ขึ้น เวลาที่ใช้ใน

การตรวจจับฟอลต์จะใกล้เคียงกัน นั่นหมายความว่าวิธี Absolute Normalized DC Current มีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้ ซึ่งจะเห็นได้ว่าผลการจำลองและผลการทดลองจะเหมือนกันในทุกกรณี ซึ่งเป็นสิ่งที่บ่งบอกได้ว่าวิธีที่นำเสนอนี้เราสามารถดำเนินการเพิ่มการโปรแกรมใน DSP เพียงเล็กน้อย เพื่อใช้ในการควบคุมทั้งในโหมดแรงดันไฟเออร์ และอินเวอร์เตอร์ นอกจากนี้วิธีที่นำเสนอนี้ยังช่วยปรับปรุงความเชื่อถือได้ของเอซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์ที่เชื่อมต่อกับไมโครกริดได้อีกด้วย



(ก)



(ข)

รูปที่ 1.18 ผลการทดลองเปรียบเทียบการตรวจจับฟอลต์เบ็ดเสร็จใน PWM คอนเวอร์เตอร์

ทำงานในโหมดแรงดันไฟเออร์ที่ความถี่มูลฐาน 50 Hz

(ก) วิธี Modified Normalized DC Current และ (ข) วิธี Absolute Normalized DC Current

10. บทสรุป

ในบทความฉบับนี้นำเสนอแนะผลการศึกษารูปแบบการป้องกันระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรงขนาดเล็กที่เชื่อมต่อกับแหล่งจ่ายพลังงานหมุนเวียน และเทคนิควิธีการวินิจฉัยฟอลต์ในเอซี-ดีซีคอนเวอร์เตอร์สำหรับการประยุกต์ใช้งานในไมโครกริดได้รับการพัฒนาขึ้น ซึ่งวิธีการวินิจฉัยที่นำเสนอนี้เป็นการทำงานร่วมกันระหว่างวิธี Absolute Normalized DC Current และวิธีการระบุสัญญาณแจ้งเตือนที่ผิดพลาด เพื่อป้องกันการเกิดฟอลต์เป็นเวลานานและปัญหาสัญญาณแจ้งเตือนการเกิดฟอลต์ จากผลการจำลองและผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการพัฒนาวิธีการวินิจฉัยฟอลต์นี้สามารถนำไปใช้ในการตรวจจับฟอลต์ที่เกิดขึ้นได้ภายใน 1 ลูกคลื่น ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการวินิจฉัยฟอลต์ที่นำเสนอมีประสิทธิภาพเป็นที่น่าสนใจในการตรวจจับฟอลต์แบบสวิตช์

เปิดวงจร นอกจากนี้ผลการจำลองและผลการทดลองจริงนั้นยังสอดคล้องกันอีกด้วย ซึ่งเป็นสิ่งที่บ่งบอกได้ว่าเทคนิคที่นำเสนอนี้เราสามารถดำเนินการเพิ่มการโปรแกรมใน DSP เพียงเล็กน้อย เพื่อใช้ในการควบคุมทั้งในโหมดแรงดันไฟเออร์ และอินเวอร์เตอร์ ซึ่งผลการจำลอง และผลการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่าความเชื่อถือได้ของเอช-ดีซีคอนเวอร์เตอร์ที่เชื่อมต่อกับไมโครกริดสามารถปรับปรุงให้ดีขึ้นได้ด้วยวิธีการวินิจฉัยฟอลต์ที่นำเสนอนี้ ซึ่งระบบป้องกันที่ทำการออกแบบสามารถกำจัดฟอลต์ที่เกิดขึ้นได้เป็นอย่างดี และสามารถใช้เป็นแนวทางในการออกแบบระบบป้องกันสำหรับการใช้งานจริงต่อไป

เอกสารอ้างอิง

- [1] Youichi Ito, Yang Zhongqing and Hirofumi Akagi, "DC Micro-grid Based Distribution Power Generation System," *Power Electronics and Motion Control Conference*, 2004, pp. 1740 – 1745.
- [2] H. Kakigano, M. Nomura and T. Ise, "Loss Evaluation of DC Distribution for Residential Houses Compared with AC system," *The 2010 International Power Electronics Conference*, 2010, pp. 480-486.
- [3] Daniel J. Tylavsky, "The Calculation of DC Fault Currents with Contributions from DC Machines and Rectifiers" *IEEE Transactions on Industry Applications*. Jan. 1985, pp.170-179.
- [4] Daniel Salomonsson, Lennart Soder and Ambra Sannino, "Protection of Low-Voltage DC Microgrid," *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 24, no. 3, Jul. 2009. pp. 1045-1053.
- [5] Robert M. Cuzner and Giri Venkataramanan., "The Status of DC Micro-Grid Protection," *IEEE Transactions on Industry Applications*. Oct. 2008, pp.1-8.
- [6] D. Kastha, B. K. Bose, "Investigation of Fault Modes of Voltage-fed Inverter System for Induction Motor Drive," *IEEE Trans. Industry Applications*, vol. 30, no. 4, Jul. 1994, pp. 1028-1038.
- [7] D. Kastha, B. K. Bose, "On-Line Search Based Pulsating Torque Compensation of a Fault Mode Single-Phase Variable Frequency Induction Motor Drive," *IEEE Trans. Industry Applications*, vol. 31, no. 4, Jul./Aug. 1995, pp. 802-811.
- [8] A. M. S. Mendes, A. J. Marques Cardoso, E. S. Saraiva, "Voltage Source Inverter Fault Diagnosis in Variable Speed AC Drives by Park's Vector Approach," in *Proceedings of the 1998 IEE 7th International Conference on Power Electronics and Variable Speed Drives*, pp. 538-543.

- [9] K. Rothenhagen, F. W. Fuchs "Performance of Diagnosis Methods for IGBT Open Circuit Faults in Three Phase Voltage Source Inverters for AC Variable Speed Drives," in *Proceedings of the 2005 European Conference on Power Electronic and Applications*, Dresden, Germany, pp. P.1-P.10.
- [10] B. A. Welchko, T. A. Lipo, T. M. Jahns, S. E. Schulz, "Fault Tolerant Three-Phase AC Motor Drive Topologies: A Comparison of Features, Cost, Limitations," *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 19, no. 4, Jul. 2004, pp. 1108-1116.
- [11] R. Peugeot, S. Courtine, and J.P. Rognon, "Two Knowledge-Based Approaches to Fault Detection and Isolation on a PWM Inverter," *Proceedings of the 1997 IEEE International Conference on Control Applications*, pp. 565-570.
- [12] Raphael Peugeot, St'ephane Courtine, and Jean-Pierre Rognon, "Fault Detection and Isolation on a PWM Inverter by Knowledge-Based Model," *IEEE Trans. on Industry Applications*, vol. 34, no. 6, Nov./Dec. 1998, pp. 1318-1326.
- [13] A. M. S. Mendes and A. J. Marques Cardoso, "Voltage Source Inverter Fault Diagnosis in Variable Speed AC Drives, by the Average Current Park's Vector Approach," *Proceedings of International Conference on Machines and Drives*, 1999, pp. 704-706.
- [14] A. M. S. Mendes and A. J. Marques Cardoso, "Fault Diagnosis in a Rectifier-Inverter System Used in Variable Speed AC Drive by the Average Park's Vector Approach," *Proceedings of the 1999 EPE 8th European Conference on Power Electronics and Applications*, pp. P.1-P.9.
- [15] C. Kral and K. Kafka, "Power Electronics Monitoring for a Controlled Voltage Source Inverter," *Proceedings of IEEE Power Electronics Specialists Conference*, 2000, pp. 213-217.
- [16] S. Abramik *et al.*, "A Diagnostic Method for On-line Fault Detection and Localization in VSI-Fed AC Drive," *Proceedings of the 2003 EPE 10th European Conference on Power Electronics and Applications*, pp. P.1-P.8.
- [17] F. W. Fuchs, "Some Diagnosis Methods for Voltage Source Inverters in Variable Speed Drives with Induction Machines a Survey," *Proceedings of the 29th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society*, November 2003, pp. 1378-1385.
- [18] K. Rothenhagen and F. W. Fuchs, "Performance of Diagnosis Methods for IGBT Open Circuit Faults in Voltage Source Active Rectifiers," *Proceedings of the 35th Power Electronics Specialists Conference*, 2004, pp. 4348-4354.

- [19] W. Sae-Kok and D. M. Grant, "Open Switch Fault Diagnosis for a Doubly-Fed Induction Generator," *Proceeding of the 7th International Conference on Power Electronics and Drive System*, 2007, pp. 131-138.

ชื่อโครงการ: ระบบควบคุม และระบบป้องกันสำหรับระบบจ่ายไฟฟ้ากระแสดตรงขนาดเล็ก โดยใช้เซลล์แสงอาทิตย์และเครื่องกำเนิดไฟฟ้าความร้อนร่วมเป็นแหล่งจ่ายพลังงาน

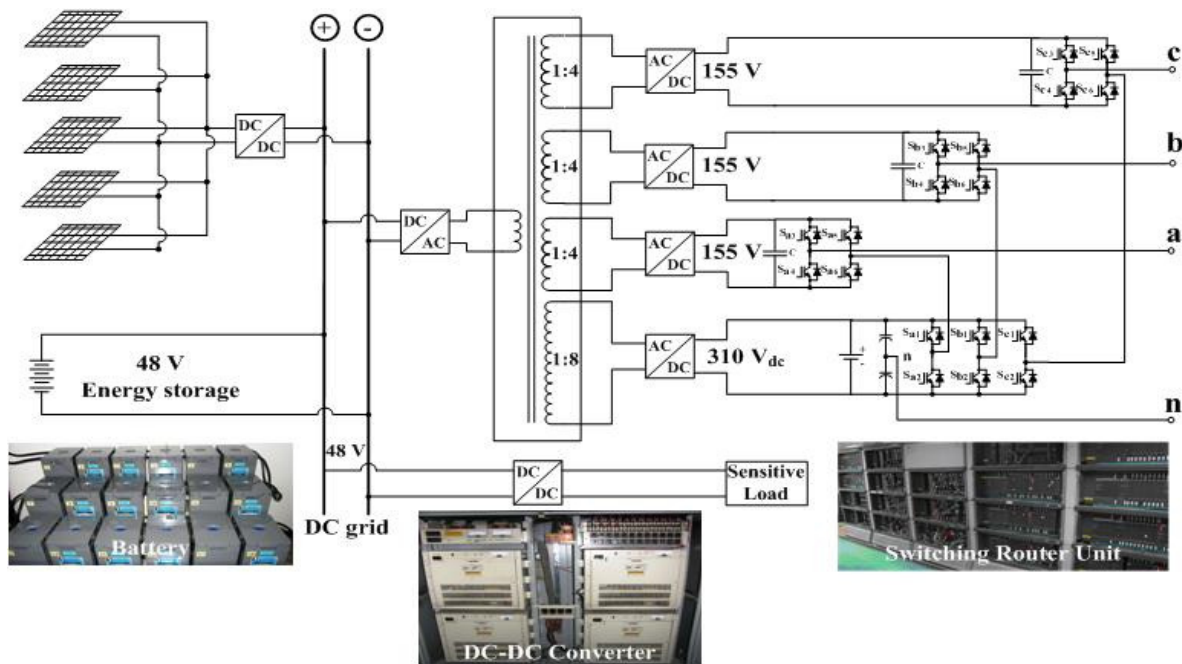
เนื่อหางานวิจัย ส่วนที่ 2 ระบบควบคุม

1. บทนำ

ปัจจุบันการกระจายระบบผลิตไฟฟ้า (DG) โดยการผลิตไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายพลังงานหมุนเวียนมีการใช้กันอย่างแพร่หลาย โดยการนำเซลล์แสงอาทิตย์ กังหันขนาดเล็ก กังหันลม และเซลล์เชื้อเพลิง มาประยุกต์ใช้เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพสูง และเทคโนโลยีด้านอิเล็กทรอนิกส์กำลังมีส่วนสำคัญในการพัฒนาแหล่งจ่ายพลังงานหมุนเวียนและการประยุกต์ใช้กับการกระจายระบบผลิตไฟฟ้า (DG) โดยเฉพาะอย่างยิ่งแนวคิดระบบไฟฟ้าขนาดเล็กที่ถูกกล่าวใน [1] ต้องสามารถรองรับความต้องการของระบบได้ และความยืดหยุ่นในการควบคุมเมื่อระบบมีแหล่งจ่ายพลังงานหมุนเวียนหลายแห่ง อีกทั้งระบบไฟฟ้าขนาดเล็กยังช่วยเพิ่มประสิทธิภาพแหล่งพลังงานหมุนเวียนในการเชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้า นอกจากนี้ข้อกำหนดด้านคุณภาพไฟฟ้า ความน่าเชื่อถือของระบบ และความยืดหยุ่นในการควบคุม จะทำได้โดยใช้แนวคิดระบบไฟฟ้าขนาดเล็กตามที่กล่าวใน [2]

ศูนย์ข้อมูลหรืออาคารชุมสายโทรศัพท์ในประเทศไทยโดยทั่วไปจะประกอบไปด้วยภาระทางไฟฟ้าที่ไม่เป็นเชิงเส้น (non linear load) เช่น อุปกรณ์เชื่อมโยงเครือข่าย เครื่องคอมพิวเตอร์ จอแสดงผล แสงสว่างและระบบปรับอากาศ ส่วนระบบไฟฟ้าที่ใช้กับอุปกรณ์การสื่อสารเป็นระบบไฟฟ้ากระแสดตรงแรงดันต่ำ -48V ซึ่งเครื่องคอมพิวเตอร์ จอแสดงผล และแสงสว่างใช้ระบบไฟฟ้าเฟสเดียว 220 V 50Hz ในขณะที่ระบบไฟฟ้าสามเฟส 220/380 V 50 Hz ถูกนำมาใช้สำหรับระบบปรับอากาศ ดังนั้นระบบไฟฟ้ากระแสดตรงขนาดเล็กในอาคารชุมสายโทรศัพท์ประกอบด้วยแหล่งจ่ายพลังงานหมุนเวียนคือเซลล์แสงอาทิตย์ แบตเตอรี่เป็นแหล่งเก็บพลังงาน และเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลเป็นแหล่งจ่ายสำรอง จะสามารถทำให้การใช้พลังงานมวบรวมในอาคารชุมสายโทรศัพท์เป็นศูนย์ได้ ส่วนระบบไฟฟ้ากระแสดตรงขนาดเล็กสำหรับที่อยู่อาศัยได้ถูกกล่าวใน [3] และระบบจำหน่ายแรงดันต่ำในเชิงพาณิชย์ที่เชื่อมต่อกับภาระทางไฟฟ้าที่ไวต่อการตอบสนองได้ถูกกล่าวใน [4] สำหรับระบบไฟฟ้ากระแสดตรงในอาคารชุมสายโทรศัพท์ต้องการคอนเวอร์เตอร์ประสิทธิภาพสูง และพิกัดกำลังสูง (100kW) ที่ให้คุณภาพสัญญาณแรงดันขาออกสูง และต้องสามารถใช้ได้ทั้งระบบไฟฟ้า 1เฟส และ3เฟส ดังนั้นอินเวอร์เตอร์หลายระดับจึงเหมาะกับการใช้งานประเภทนี้ เพราะอินเวอร์เตอร์หลายระดับสามารถรองรับการใช้งานที่พิกัดกำลังสูงได้ ยิ่งไปกว่านั้นการนำอินเวอร์เตอร์หลายระดับชนิดเอช-บริดจ์ ไปใช้ในแหล่งจ่ายพลังงานหมุนเวียนยังสามารถเชื่อมต่อกับแบตเตอรี่ เซลล์แสงอาทิตย์ หรือเซลล์พลังงานได้อีกด้วย อินเวอร์เตอร์หลายระดับแบบอนุกรมอาจจะมีศักยภาพมากกว่าโครงสร้างอินเวอร์เตอร์หลายระดับแบบ

อื่น เนื่องจากแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงขาเข้าแยกอิสระ และสามารถเชื่อมต่อเป็นอินเวอร์เตอร์หลายระดับได้ เพื่อรองรับแรงดันขาออกที่สูงขึ้น และมีคุณภาพสัญญาณแรงดันขาออกดีขึ้นตามที่ได้อธิบายใน [5] แต่อย่างไรก็ตามอินเวอร์เตอร์หลายระดับจำเป็นต้องใช้สวิทช์กำลังจำนวนมากขึ้นอยู่กับจำนวนระดับแรงดันขาออกที่ต้องการ ดังนั้นคุณภาพสัญญาณแรงดันขาออกจะแตกต่างกับการสูญเสียจากการสวิทช์ที่สูงขึ้น ซึ่งโครงสร้างอินเวอร์เตอร์หลายระดับที่ใช้สำหรับระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระได้มีการกล่าวถึงใน[6] และเครื่องต้นแบบใน[6] เป็นอินเวอร์เตอร์หนึ่งเฟสมีประสิทธิภาพ 96% ที่ 3kVA จะเป็นการดีถ้าเราสามารถลดจำนวนสวิทช์กำลังในอินเวอร์เตอร์โดยยังสามารถทำงานได้เหมือนเดิมเพื่อลดค่าสูญเสียจากการสวิทช์ และเพิ่มประสิทธิภาพอินเวอร์เตอร์ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้นำไฮบริดอินเวอร์เตอร์หลายระดับ (HMI) หรือที่เรียกกันว่าอินเวอร์เตอร์หลายระดับแบบไม่สมมาตรมาประยุกต์ใช้กับระบบไฟฟ้ากระแสตรงขนาดเล็กในอาคารชุมสายโทรศัพท์ ดังแสดงในรูปที่ 2.1 จากรูปจะเห็นว่าไฮบริดอินเวอร์เตอร์สามารถจ่ายไฟฟ้าได้ทั้งหนึ่งเฟส และสามเฟส จากที่กล่าวก่อนหน้านี้ระบบไฟฟ้าสามเฟส 220/380V สำหรับระบบปรับอากาศ และระบบไฟฟ้าหนึ่งเฟส 220V สำหรับแสงสว่างและเครื่องคอมพิวเตอร์ โดยไฮบริดอินเวอร์เตอร์หลายระดับประกอบด้วยอินเวอร์เตอร์ 2 ชนิดมาต่ออนุกรมกัน ได้แก่อินเวอร์เตอร์ 3เฟส 6 สวิทช์ แบบดั้งเดิม และเอช-บริดจ์อินเวอร์เตอร์ 4 สวิทช์ ไฮบริดอินเวอร์เตอร์หลายระดับได้มีการนำเสนอการใช้งานในรูปแบบต่างๆตามที่ได้อธิบายไว้อย่างชัดเจนใน[7-9] นอกจากนี้โครงสร้างใหม่ของอินเวอร์เตอร์หลายระดับแบบไม่สมดุล พร้อมทั้งรายละเอียดเทคนิคPWM ได้กล่าวใน[10] และในปัจจุบันได้มีการศึกษาความผิดเพี้ยนของกระแสเมื่อใช้การควบคุมแบบสเปกเวกเตอร์ ได้มีการอธิบายอย่างชัดเจนใน [11] อย่างไรก็ตามจนถึงขณะนี้การประยุกต์ใช้ในระบบจำหน่าย 48V ของอาคารชุมสายโทรศัพท์ยังมีข้อจำกัดอยู่ ด้วยเหตุนี้เองไฮบริดอินเวอร์เตอร์หลายระดับแบบอนุกรมสำหรับระบบไฟฟ้ากระแสตรงแรงต่ำในอาคารชุมสายโทรศัพท์ โดยใช้เทคนิคการทนต่อความผิดพร่อง จึงได้ถูกพัฒนาเกิดขึ้นเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพ และความน่าเชื่อถือของระบบ



รูปที่ 2.1 ระบบไฟฟ้ากระแสตรงแรงต่ำสำหรับอาคารชุมสายโทรศัพท์

2. สัญญาณPWM สำหรับไฮบริดอินเวอร์เตอร์

ในงานวิจัยนี้จะควบคุมการทำงานของอินเวอร์เตอร์ 3 เฟส 6 สวิตช์(อินเวอร์เตอร์หลัก) ด้วยสัญญาณสี่เหลี่ยมเพื่อลดความสูญเสียจากการสวิตช์และควบคุมการทำงานของอินเวอร์เตอร์ 1 เฟส 4 สวิตช์(อินเวอร์เตอร์รอง) ด้วยสัญญาณPWM ดังแสดงในรูปที่ 2.2 โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการกำเนิดสัญญาณ ซึ่งในทางปฏิบัติไมโครคอนโทรลเลอร์หนึ่งตัวจะกำเนิดสัญญาณพาหะได้ 1 สัญญาณ และกำเนิดสัญญาณPWMได้ 6 สัญญาณ แต่ไฮบริดอินเวอร์เตอร์หลายระดับต้องใช้สัญญาณPWMทั้งหมด 12 สัญญาณ ดังนั้นสัญญาณอ้างอิงของSPWM ที่ใช้สำหรับอินเวอร์เตอร์รองต้องมีการแก้ไขตามสมการที่ (1)-(4) และจากการรวมสัญญาณตามสมการที่ (3), (4) จะได้สัญญาณ PWM ตามวงจรลอจิกแสดงในรูปที่ 2.3 และตารางที่ 2.1 โดยในงานนี้จะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์PICเบอร์18F4431 กำเนิดสัญญาณPWM ร่วมกับCPLD XC9536XL เพื่อรวมสัญญาณให้ได้สัญญาณการควบคุมสวิตช์กำลังแต่ละตัว สำหรับไฮบริดอินเวอร์เตอร์หลายระดับ

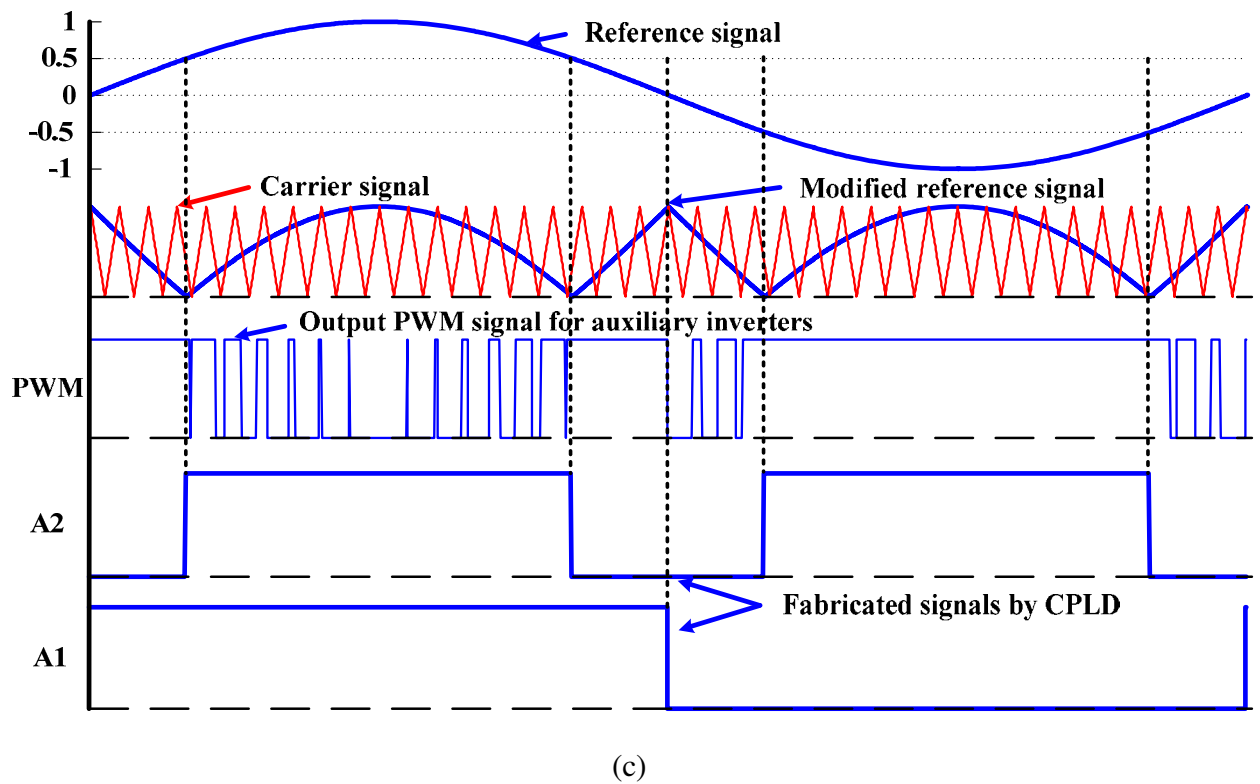
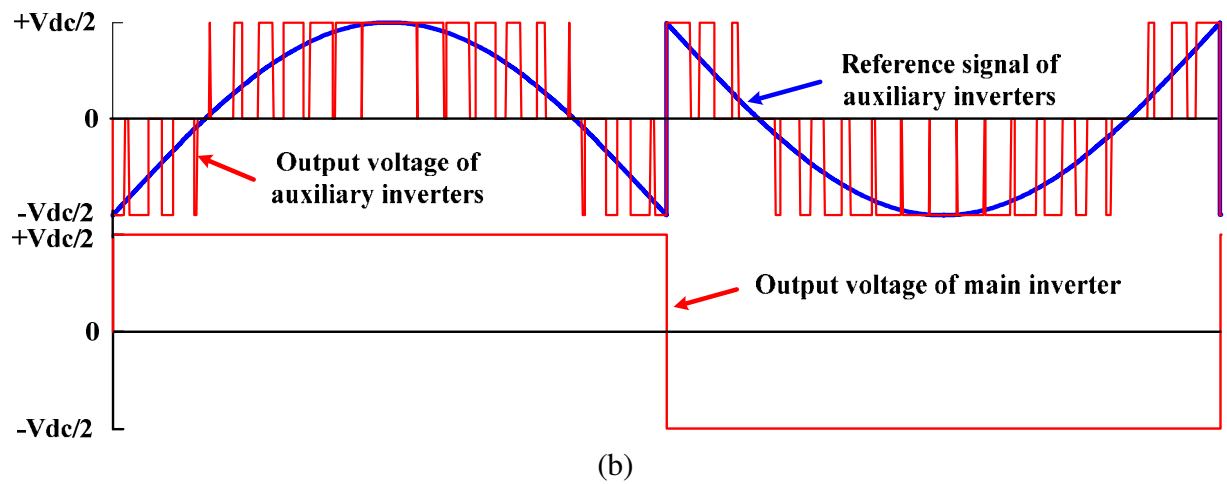
$$f(t) = m_a \cdot \sin(\omega t) \quad (1)$$

$$\frac{T_P}{T_C} = \begin{cases} 2\left(f(t) - \frac{1}{2}\right) ; \frac{1}{2} \leq |f(t)| \leq 1 \\ 2\left(\frac{1}{2} - f(t)\right) ; 0 \leq |f(t)| \leq \frac{1}{2} \end{cases} \quad (2)$$

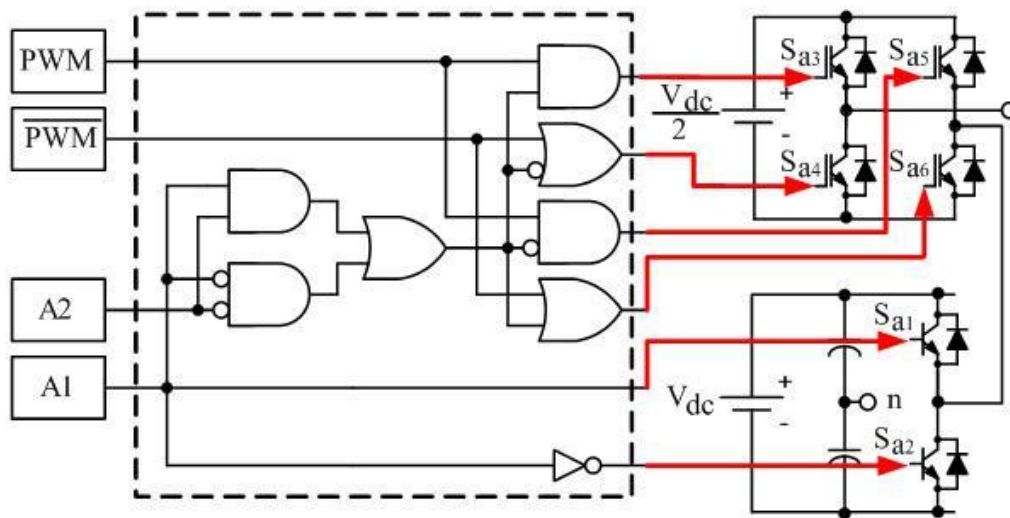
$$A_1 = \begin{cases} 1 ; f(t) \geq 0 \\ 0 ; f(t) < 0 \end{cases} \quad (3)$$

$$A_2 = \begin{cases} 1 ; |f(t)| \geq \frac{1}{2} \\ 0 ; |f(t)| < \frac{1}{2} \end{cases} \quad (4)$$

เมื่อ	$f(t)$	สัญญาณอ้างอิง
	m_a	ดัชนีมือดุลเลขชั้น (0.0/1.0-1.0/1.0),
	A_1	สัญญาณที่ใช้ในการรวม #1,
	A_2	สัญญาณที่ใช้ในการรวม #2,
	$\frac{T_P}{T_C}$	ความกว้างสัญญาณPWM (0.0–1.0).



รูปที่ 2.2 เทคนิคควบคุมการทำงานของไฮบริดอินเวอร์เตอร์แบบPWM



รูปที่ 2.3 บล็อกไดอะแกรมของลอจิกสำหรับไฮบริดอินเวอร์เตอร์

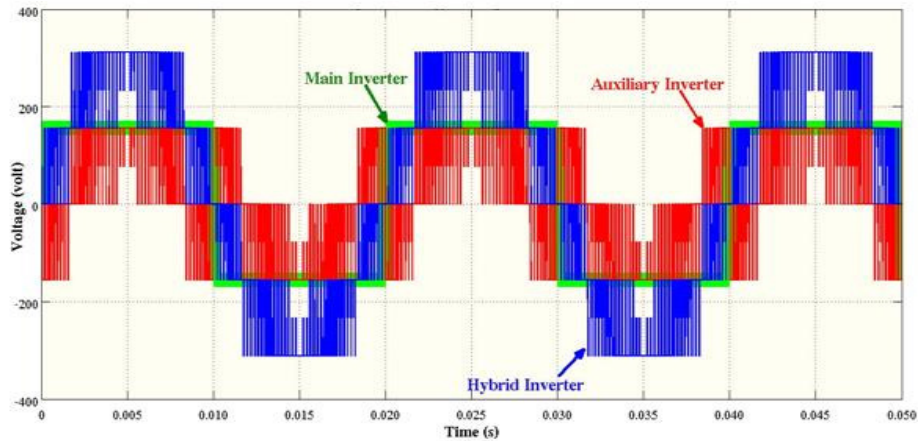
ตารางที่ 2.1 การสร้างสัญญาณPWM สำหรับไฮบริดอินเวอร์เตอร์

S_n	สวิตช์กำลังในไฮบริดอินเวอร์เตอร์
S_{a1}	$A1$
S_{a2}	$\overline{A1}$
S_{a3}	$PWM \bullet ((A2 \bullet A1) + (\overline{A2} \bullet \overline{A1}))$
S_{a4}	$\overline{PWM} + ((A2 \bullet A1) + (\overline{A2} \bullet \overline{A1}))$
S_{a5}	$PWM \bullet ((A2 \bullet A1) + (\overline{A2} \bullet \overline{A1}))$
S_{a6}	$\overline{PWM} + ((A2 \bullet A1) + (\overline{A2} \bullet \overline{A1}))$

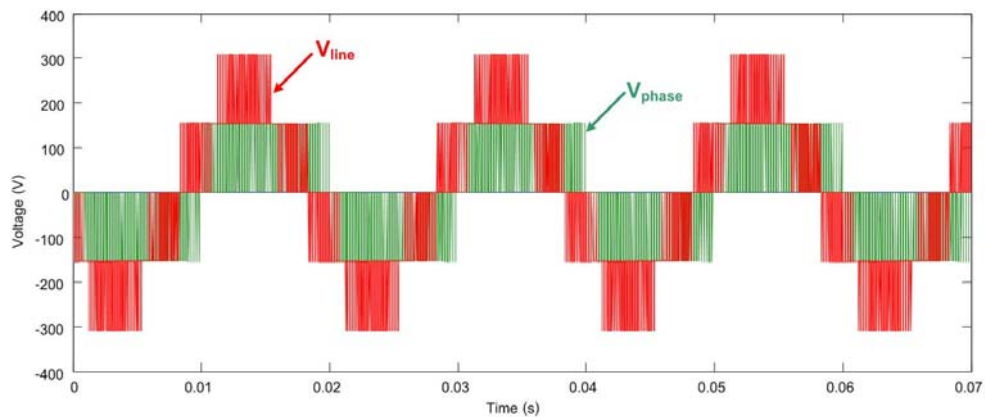
3. ผลการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

บทความนี้ใช้โปรแกรม PSIM (Powersim) และโปรแกรมMATLAB/Simulink ในการจำลองการทำงานของไฮบริดอินเวอร์เตอร์ โดยใช้โปรแกรม PSIM (Powersim) เป็นวงจรกำลัง และใช้โปรแกรม

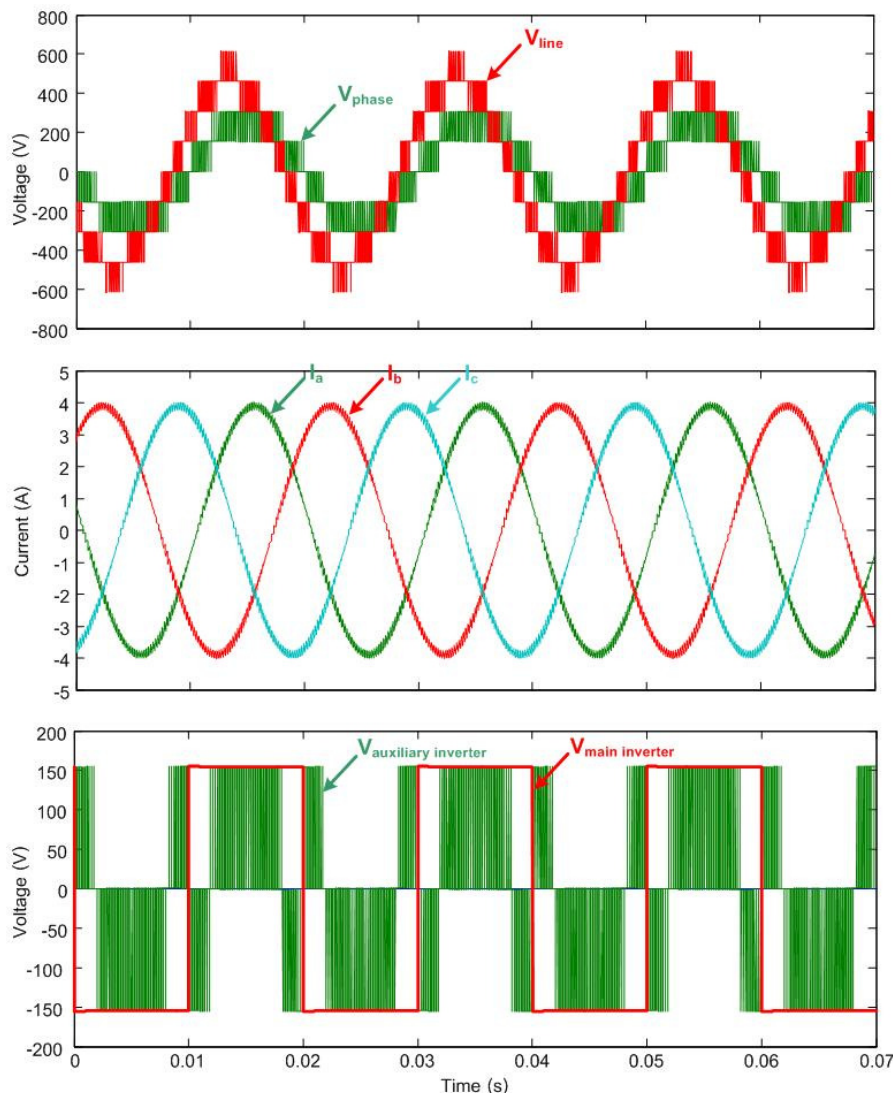
MATLAB/Simulink เป็นวงจรควบคุม ซึ่งสะดวกในการปรับเปลี่ยนรูปแบบการควบคุม และง่ายต่อการนำมาใช้สร้างวงจรควบคุมของเครื่องต้นแบบ ซึ่งแรงดันขาออกสามารถปรับค่าได้โดยการปรับค่าดัชนีมอดูเลชัน (m_a) และปรับความถี่โดยการปรับความถี่ของสัญญาณอ้างอิง



รูปที่ 2.4 แรงดันของอินเวอร์เตอร์หลัก และอินเวอร์เตอร์รองทำงานที่ $m_a = 0.9/1.0$.



รูปที่ 2.5 แรงดันไลน์ และแรงดันเฟสของไฮบริดอินเวอร์เตอร์ทำงานที่ $m_a = 0.48/1.0$



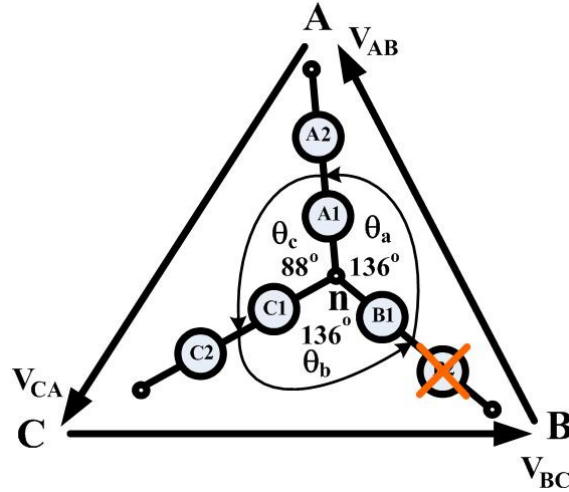
รูปที่ 2.6 แรงดันไลต์ แรงดันเฟส และกระแสของไฮบริดอินเวอร์เตอร์ทำงานที่ $m_a=0.9/1.0$

จากผลการจำลองในรูปที่ 2.4-2.6 จะเห็นว่าไฮบริดอินเวอร์เตอร์สามารถทำงานได้ที่ค่าดัชนีมอดดูเลทชั้นต่างๆ ส่วนค่าการสูญเสียจากการสวิตช์ที่ได้มีกล่าวไว้ใน [12] เป็นการเปรียบเทียบระหว่างไฮบริดอินเวอร์เตอร์กับอินเวอร์เตอร์หลายระดับอนุกรมแบบดั้งเดิม ซึ่งไฮบริดอินเวอร์เตอร์มีค่าการสูญเสียจากการสวิตช์น้อยกว่าประมาณ 26% ที่ 3kVA จากผลการจำลองจะเห็นได้ว่าไฮบริดอินเวอร์เตอร์ที่นำเสนอนี้ จะทำให้ประสิทธิภาพโดยรวมของระบบเพิ่มขึ้น

4. เทคนิคการทดแทนการผิดพร่อง

เทคนิคการเลื่อนตำแหน่งจุดนิวทรัลได้กล่าวได้ใน [13] สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับความผิดพร่องในไฮบริดอินเวอร์เตอร์ได้ โดยพื้นฐานของการเลื่อนตำแหน่งจุดนิวทรัล จะทำโดยการปรับมุมเฟส

ในระบบการต่อแบบวาย ดังแสดงในรูปที่ 2.7 มุมแรงดันเฟส (V_{an} , V_{bn} , V_{cn}) จะห่างกันไม่เท่ากับ 120° แต่อย่างไรก็ตามแรงดันไลน์ (V_{ab} , V_{bc} , V_{ca}) ยังคงสมดุลอยู่ ถึงแม้ว่าจะเกิดความผิดพร่องในอินเวอร์เตอร์ของเฟส B โดยมุมของสัญญาณอ้างอิงที่ใช้ในการเลื่อนจุดนิวทรัลขณะเกิดความผิดพร่องในอินเวอร์เตอร์ของเฟส B สามารถหาได้ดังนี้



รูปที่ 2.7 วิธีเลื่อนจุดนิวทรัล [7] สำหรับเทคนิคการทนต่อความผิดพร่อง

ก. ความผิดพร่องที่อินเวอร์เตอร์ของเฟส A :

$$\theta_a = 60^\circ + \cos^{-1}\left(\frac{V_{an} \cdot \sin(30^\circ)}{V_{bn}}\right); \quad (5)$$

$$\theta_c = \theta_a; \quad (6)$$

$$\theta_b = 360^\circ - \theta_a - \theta_c. \quad (7)$$

ข. ความผิดพร่องที่อินเวอร์เตอร์ของเฟส B :

$$\theta_b = 60^\circ + \cos^{-1}\left(\frac{V_{bn} \cdot \sin(30^\circ)}{V_{cn}}\right); \quad (8)$$

$$\theta_a = \theta_b; \quad (9)$$

$$\theta_c = 360^\circ - \theta_a - \theta_b. \quad (10)$$

ค. ความผิดพร่องที่อินเวอร์เตอร์ของเฟส C :

$$\theta_c = 60^\circ + \cos^{-1}\left(\frac{V_{cn} \cdot \sin(30^\circ)}{V_{an}}\right); \quad (11)$$

$$\theta_b = \theta_c ; \quad (12)$$

$$\theta_a = 360^\circ - \theta_b - \theta_c . \quad (13)$$

ตัวอย่างการคำนวณความผิดพร่องที่อินเวอร์เตอร์รองเฟส B แสดงดังต่อไปนี้

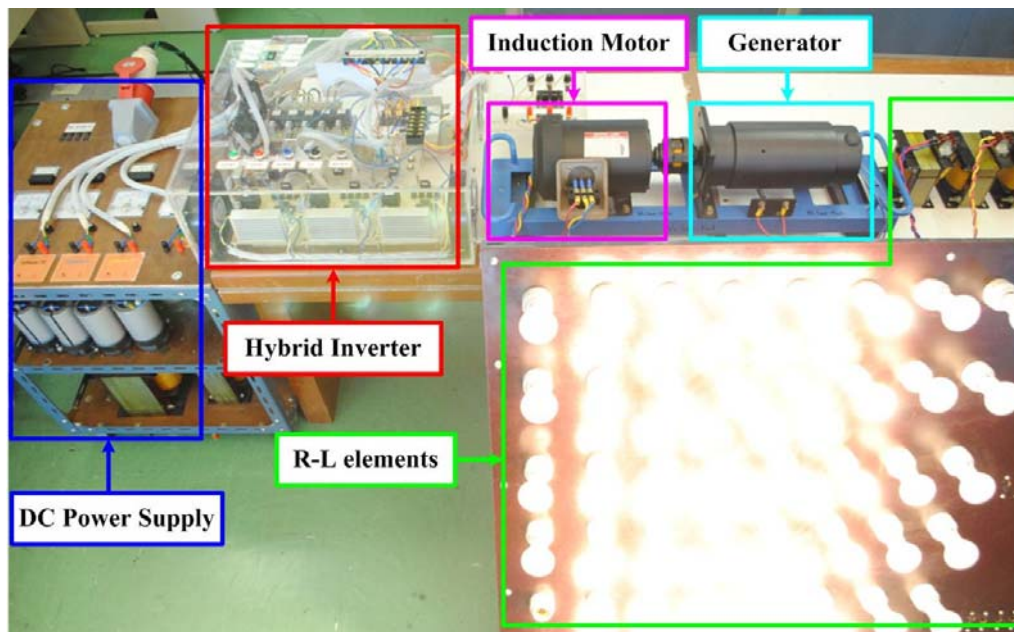
$$\begin{aligned} \theta_b &= 60^\circ + \cos^{-1} \left(\frac{120 \cdot \sin(30^\circ)}{150} \right); \\ \theta_b &= 136.66^\circ; \\ \theta_a &= \theta_b = 136.33^\circ; \\ \theta_c &= 360^\circ - 136.66^\circ - 136.66^\circ; \\ \theta_c &= 87.34^\circ. \end{aligned} \quad (14)$$

จากการคำนวณข้างต้นจะเห็นได้ว่ามีขั้นตอนไม่ยุ่งยากและสามารถนำมาโปรแกรมลงในไมโครคอนโทรลเลอร์ได้ โดยเทคนิคที่ได้นำเสนอนี้สามารถทำได้เฉพาะเมื่อเกิดความผิดพร่องในอินเวอร์เตอร์รองเท่านั้น แต่ถ้าเกิดความผิดพร่องในอินเวอร์เตอร์หลัก อินเวอร์เตอร์รองทั้งหมดจะบายพาส และได้มีกล่าวเทคนิคการทนต่อการผิดพร่องสำหรับอินเวอร์เตอร์ 6 สวิตช์ แบบดั้งเดิมไว้ใน [14] ซึ่งสามารถนำมาใช้ได้ ซึ่งแน่นอนอยู่แล้วว่าคุณภาพสัญญาณแรงดันขาออกจะลดลง และไม่สามารถทำงานที่พิกัดได้ อย่างไรก็ตามก็ขึ้นอยู่กับการนำไฮบริดอินเวอร์เตอร์ไปประยุกต์ใช้งาน แต่ส่วนใหญ่การลดลงของพิกัดอินเวอร์เตอร์ยังส่งผลดีว่าการหยุดเดินระบบ ซึ่งในงานวิจัยนี้นำไปประยุกต์ใช้กับระบบปรับอากาศ เนื่องจากระบบปรับอากาศสามารถทำงานที่ต่ำกว่าพิกัดได้ และยอมรับคุณภาพสัญญาณแรงดัน

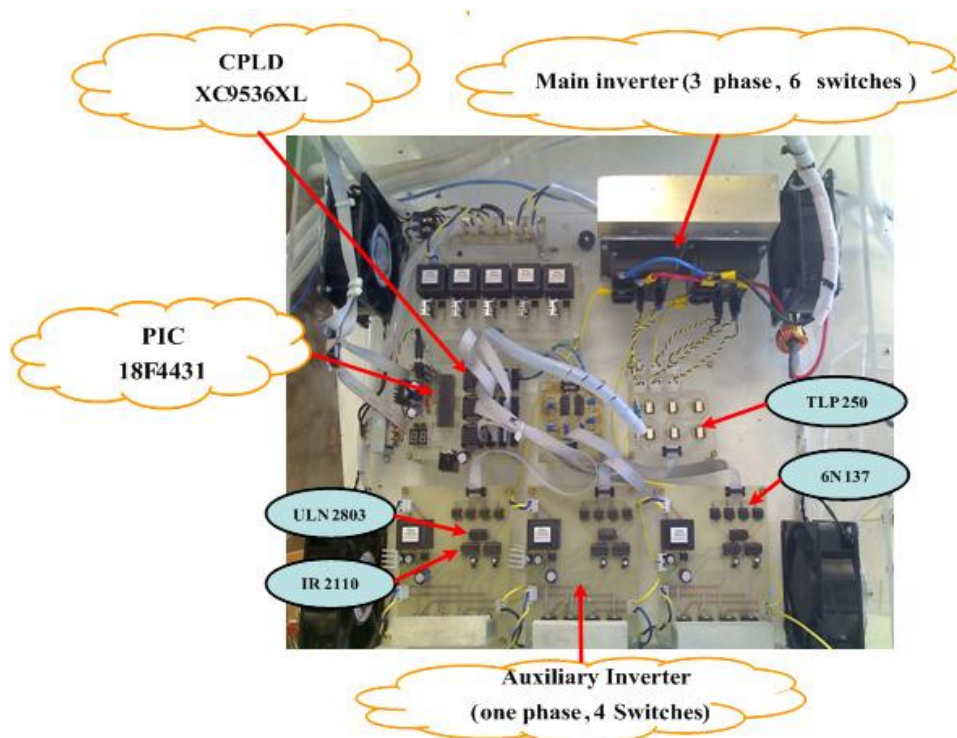
5. ผลการทดลอง

การสร้างเครื่องต้นแบบไฮบริดอินเวอร์เตอร์พิกัด 3 kVA ใช้สวิตช์กำลังของอินเวอร์เตอร์หลักเป็นโมดูล IGBT (Mitsubishi, CM20TH-24H 1200V 20A) และอินเวอร์เตอร์รองใช้ MOSFET (Fairchild, IRFP 450, 500 V, 14 A) โดยมีแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงที่ถูกแยกอย่างอิสระเพื่อจ่ายให้กับไฮบริดอินเวอร์เตอร์ ภาระทางไฟฟ้าใช้มอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำขนาด 2 แรงม้าที่ถูกจำลองให้เป็นเครื่องปรับอากาศภายในอาคาร และใช้เครื่องออสซิลโลสโคป ยี่ห้อ Yokogawa ในการเก็บผลการทดสอบ ดังแสดงในรูปที่ 2.8

จากผลการทดลองรูปที่ 2.9(ก) แสดงแรงดันเฟสและกระแสที่ค่าดัชนีมอดดูเลทชัน (m_a) เท่ากับ 1 พบว่าไฮบริดอินเวอร์เตอร์ทำงานในโหมด PWM และรูปที่ 2.9(ข) แสดงสัญญาณแรงดันขาออกของอินเวอร์เตอร์หลักเป็นรูปสี่เหลี่ยม และอินเวอร์เตอร์รองเป็นสัญญาณ PWM ส่วนคุณภาพสัญญาณแรงดันแสดงในรูปที่ 2.9(ค) ซึ่งแรงดันขาออกสามารถปรับได้โดยการปรับค่าดัชนีมอดดูเลทชัน (m_a) ดังแสดงรูปที่ 2. 10 จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าสามารถนำมาใช้งานกับการขับเคลื่อนมอเตอร์ที่ต้องการโหมด V/f ได้อีกด้วย

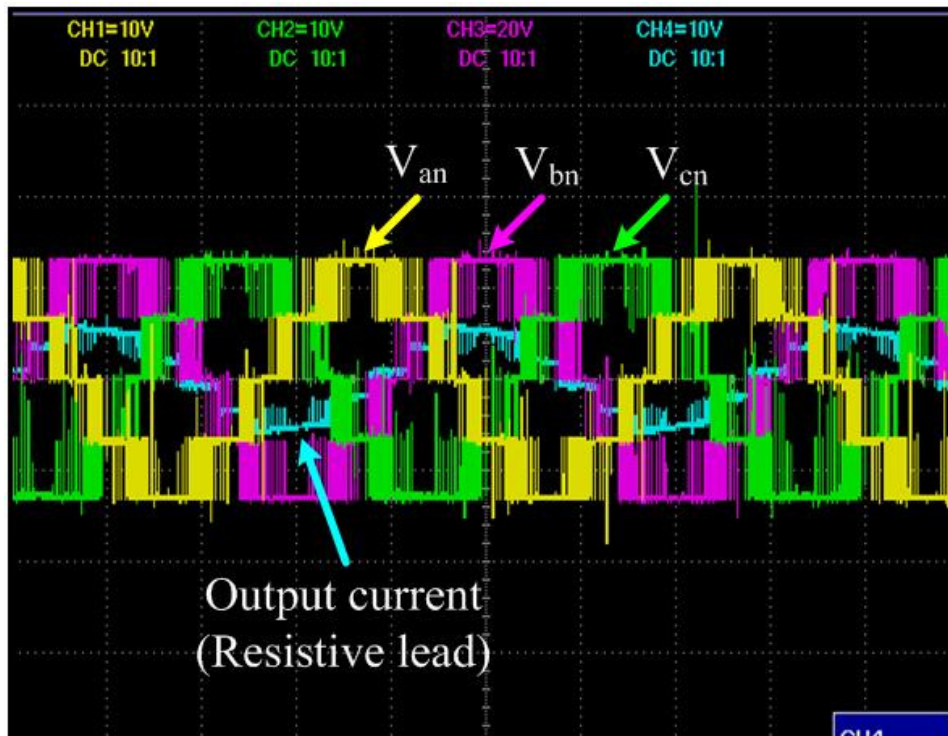


(ก) การเชื่อมต่อภาระทางไฟฟ้า

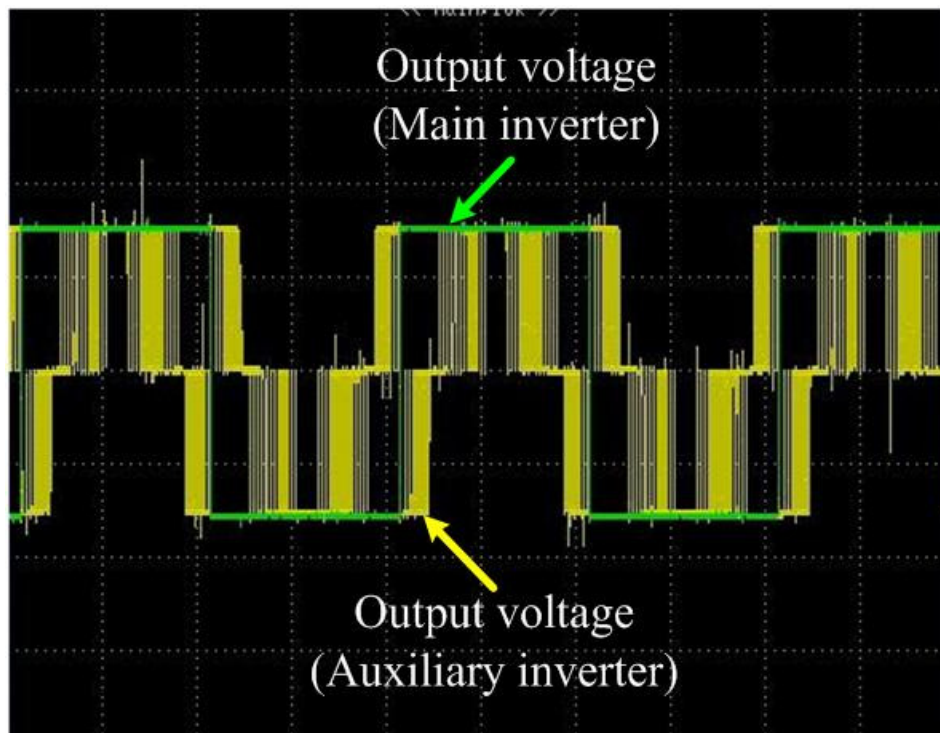


(ข) ไฮบริดอินเวอร์เตอร์หลายระดับ

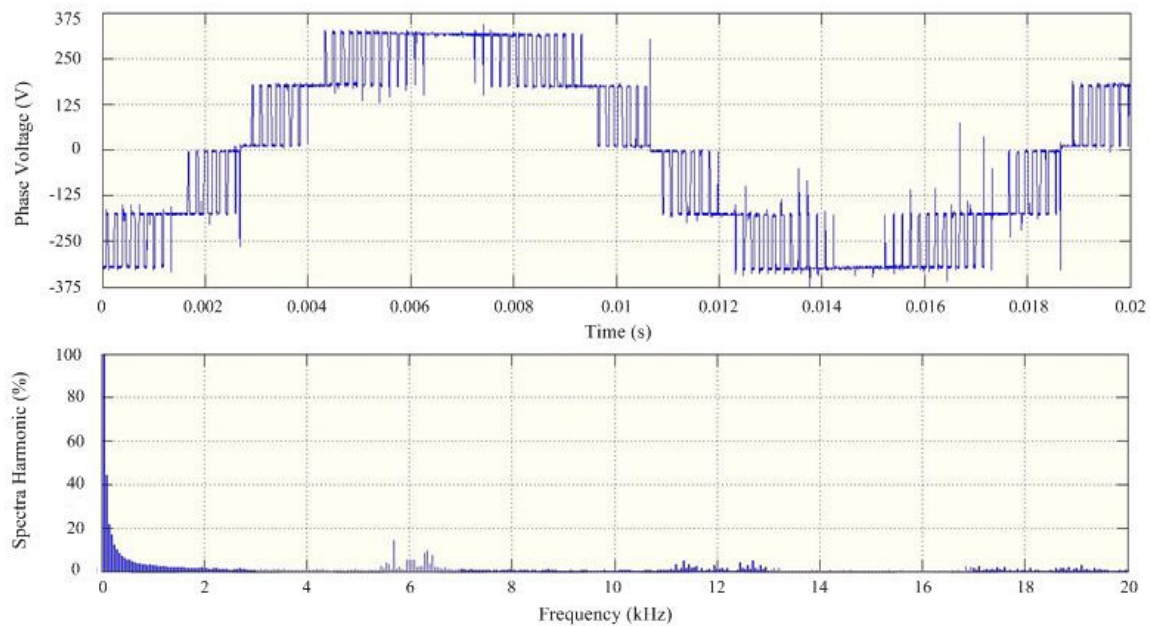
รูปที่ 2.8 การจัดเตรียมการทดลอง



(ก) แรงดันเฟส และกระแส



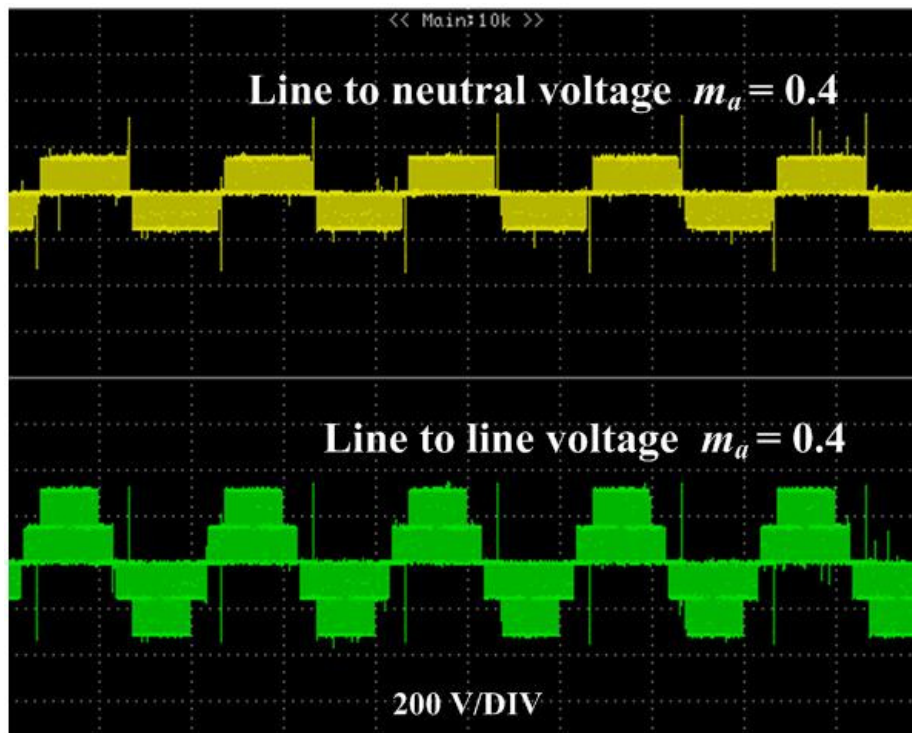
(ข) แรงดันของอินเวอร์เตอร์หลัก และอินเวอร์เตอร์รอง



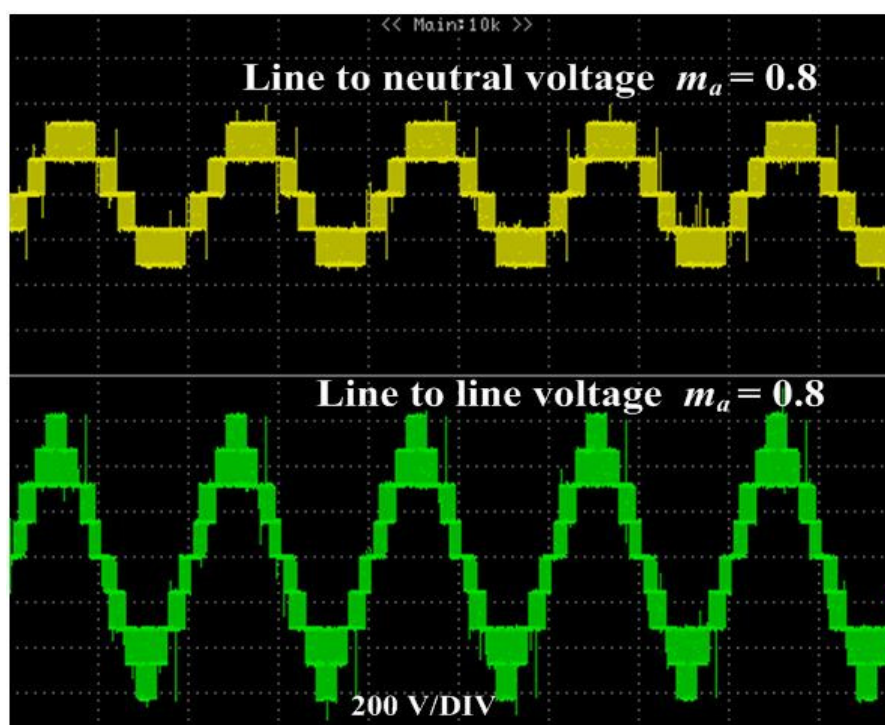
(ค) คุณภาพแรงดันไฟฟ้า

รูปที่ 2.9 ผลการทดลองขณะทำงานที่ $m_a=1.0/1.0$

ประสิทธิภาพของไฮบริดอินเวอร์เตอร์คิดได้จากรูปที่ 2.11, 2.12 และ 2.13 ซึ่งแรงดัน กระแส และพลังงานของฝั่งแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงขาเข้าแสดงในรูปที่ 2.11 ขณะที่แรงดัน กระแส และพลังงานของฝั่งแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับขาออกแสดงในรูปที่ 2.12 ซึ่งค่าพลังงานในด้านแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงขาเข้า และแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับขาออกรวมทั้งบอร์ควบคุมได้สรุปรวมไว้ในตารางที่ 2.2 จากผลการทดลองไฮบริดอินเวอร์เตอร์มีประสิทธิภาพ 97.45% ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับคุณลักษณะของภาระทางไฟฟ้าด้วย ถ้าภาระทางไฟฟ้าเป็นแสงสว่างอาจจะทำให้ประสิทธิภาพลดลง จะเห็นว่าไฮบริดอินเวอร์เตอร์ที่น่าเสนอสามารถนำมาใช้กับแหล่งจ่ายพลังงานหมุนเวียนเพื่อมีแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงแยกอิสระ ตัวอย่างเช่นแบตเตอรี่หรือเซลล์เชื้อเพลิงที่สามารถเชื่อมต่อกับอินเวอร์เตอร์หลักได้ และตัวเก็บประจุขนาดใหญ่หรือเซลล์แสงอาทิตย์ก็สามารถเชื่อมต่อกับอินเวอร์เตอร์รองได้เช่นกัน

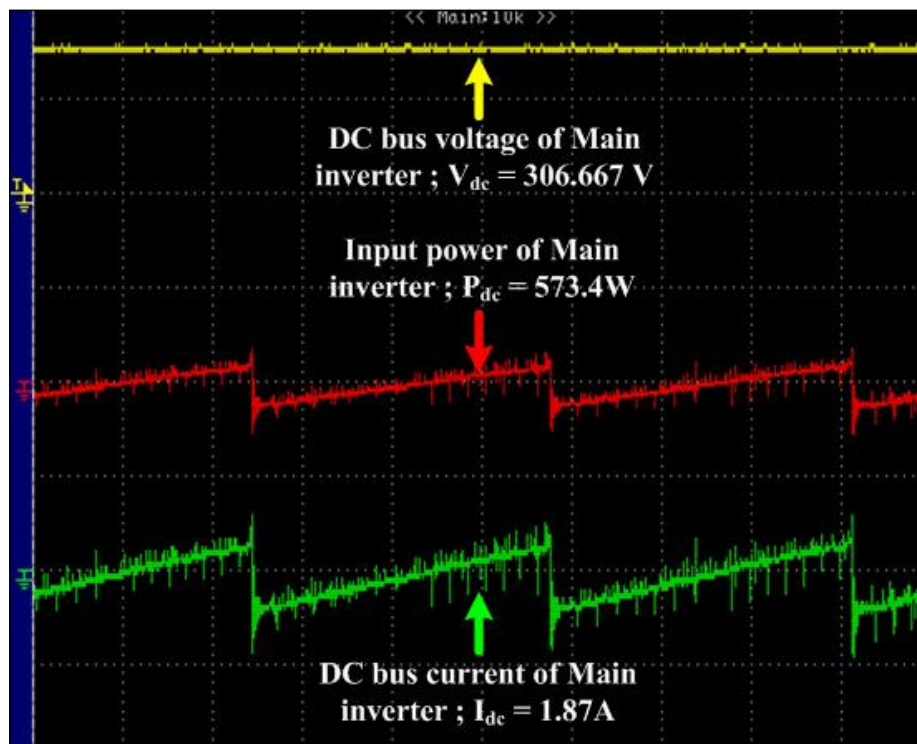


(ก) $m_a = 0.4$

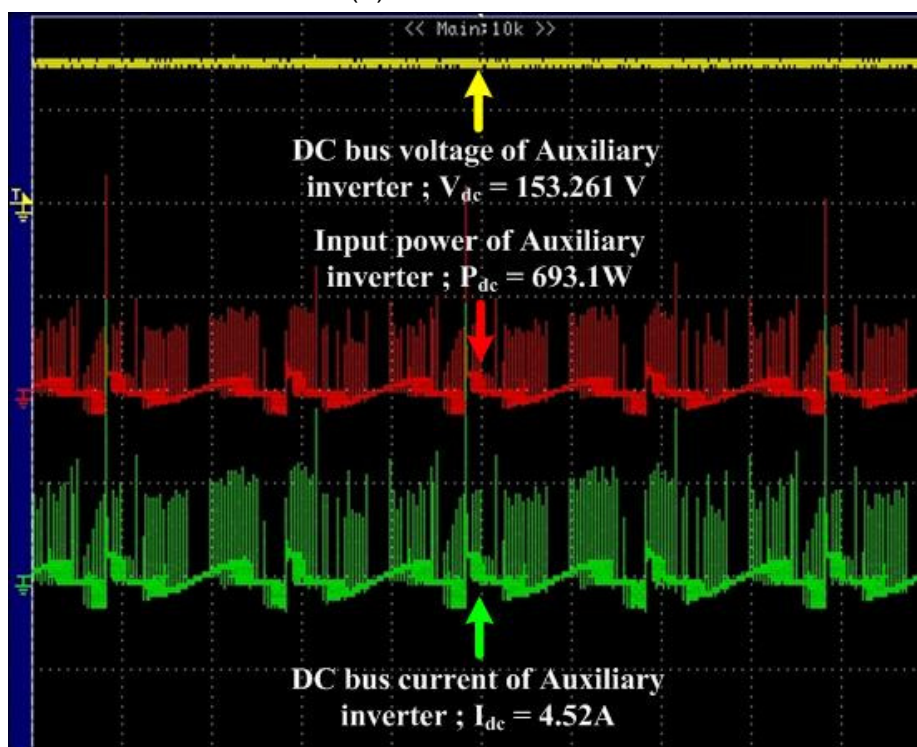


(ข) $m_a = 0.8$

รูปที่ 2.10 แรงดันเฟส และแรงดันไลน์

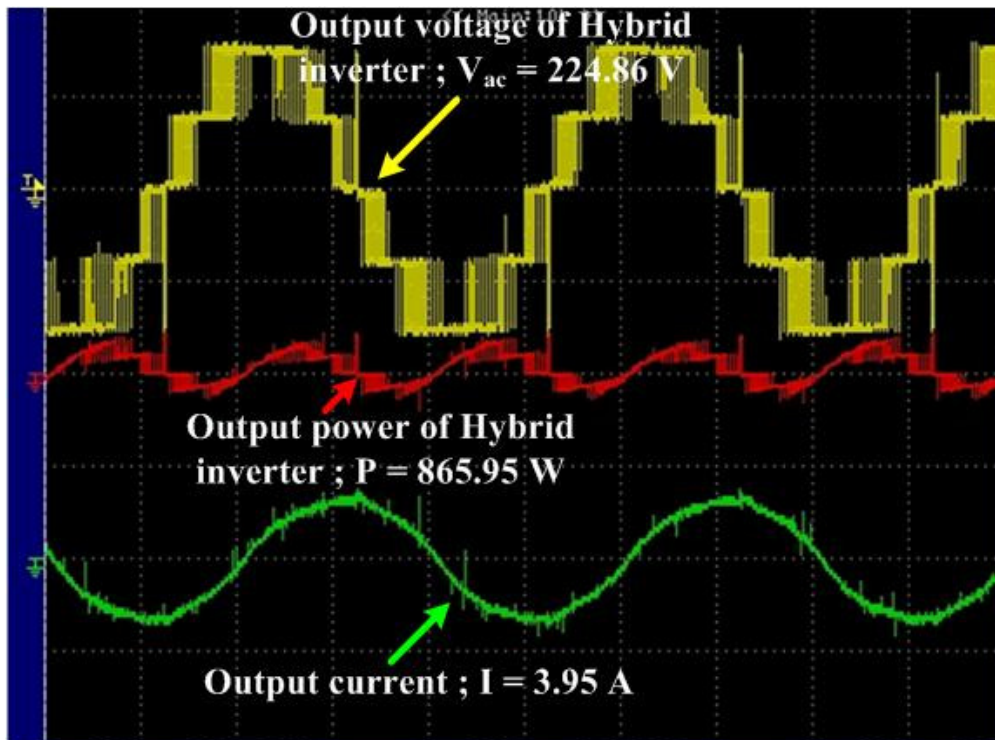


(ก) อินเวอร์เตอร์หลัก

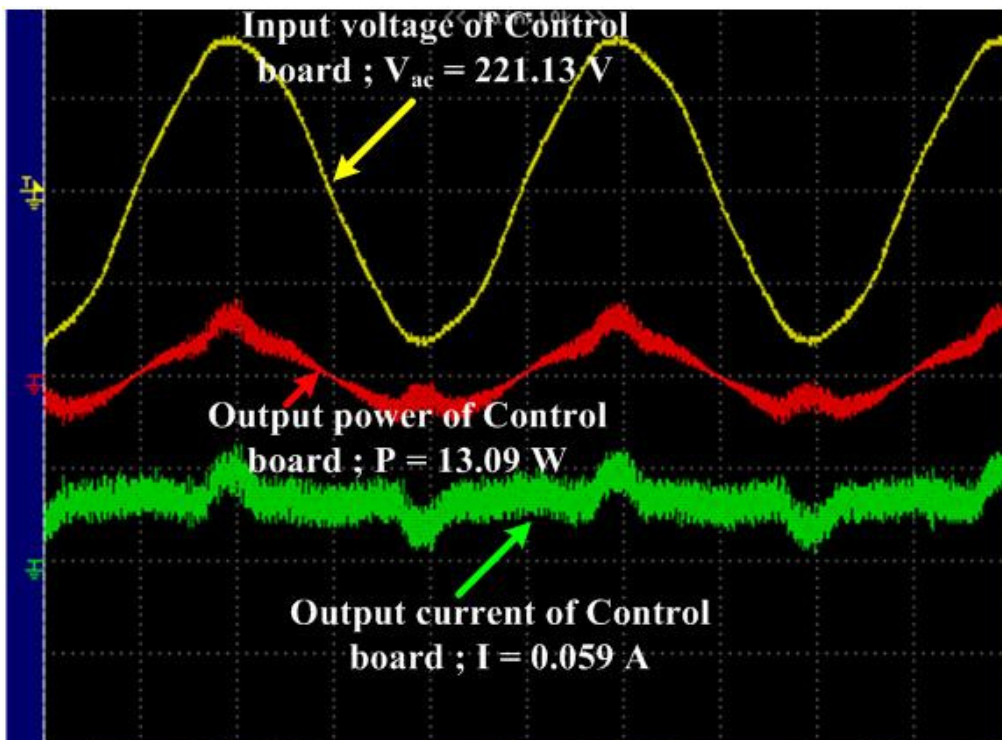


(ข) อินเวอร์เตอร์รอง

รูปที่ 2.11 แรงดัน กระแส และพลังงานขณะทำงานที่ $m_a = 1.0/1.0$ ด้านแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง



รูปที่ 2.12 แรงดัน กระแส และพลังงานขณะทำงานที่ $m_a = 1.0/1.0$ ด้านแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ



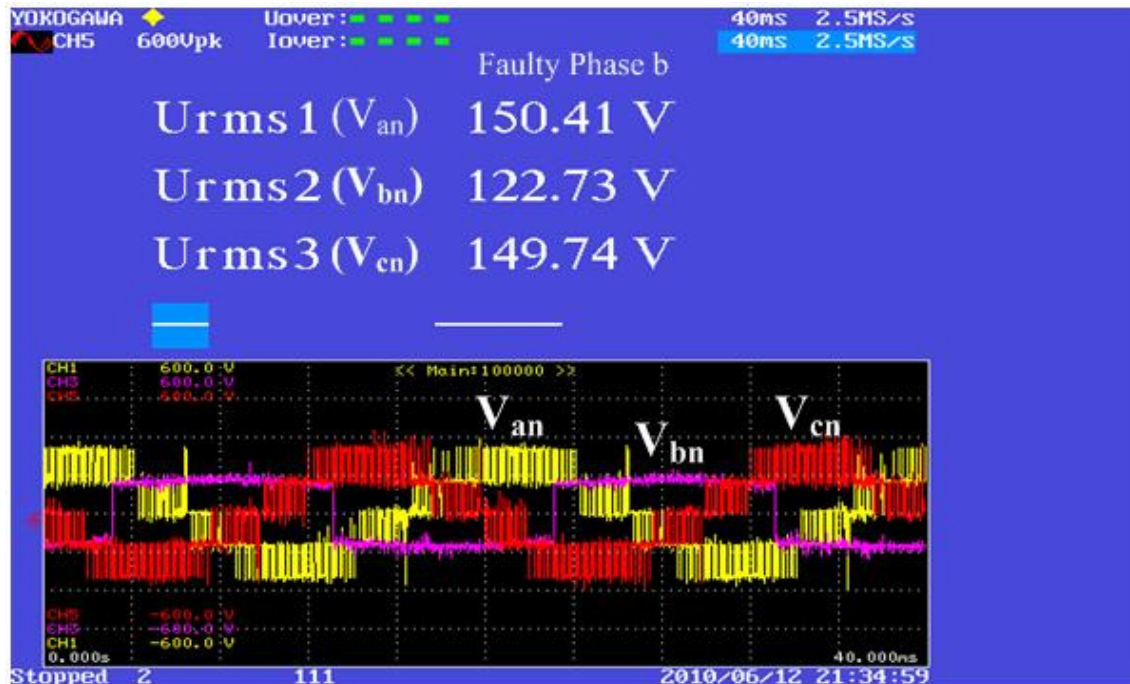
รูปที่ 2.13 แรงดัน กระแส และพลังงานของบอร์ดควบคุม

ตารางที่ 2.2 การคำนวณประสิทธิภาพของไฮบริดอินเวอร์เตอร์

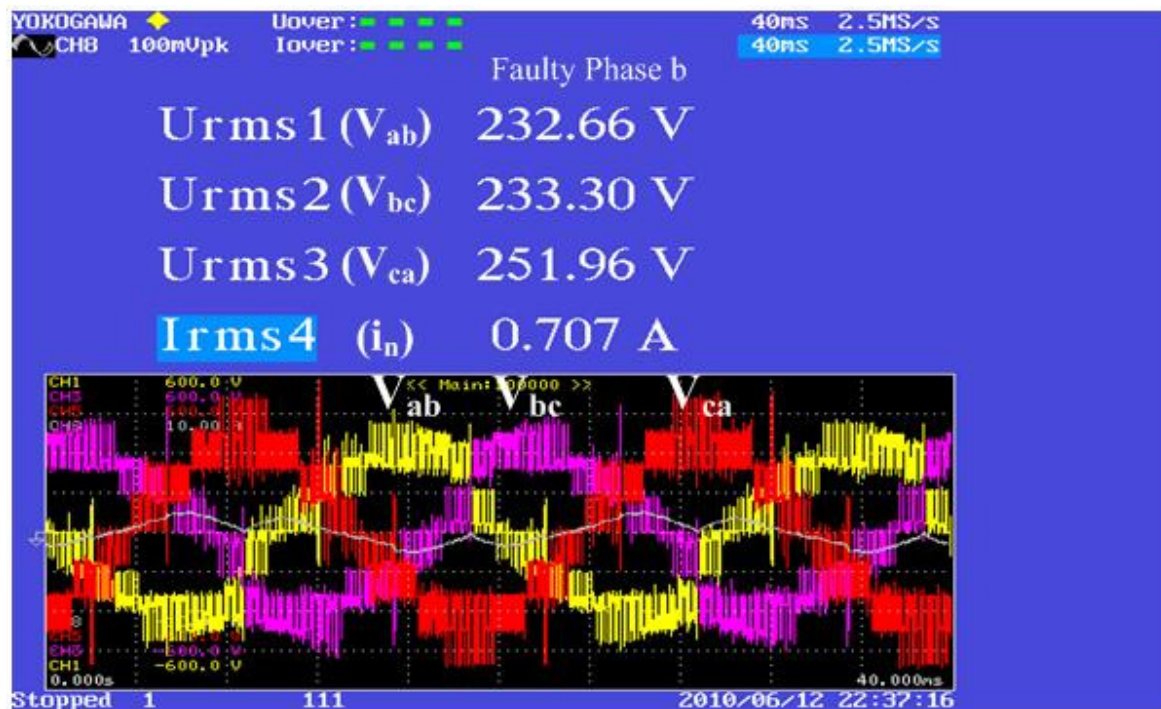
รายละเอียด	ด้านแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง		ด้านแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ	บอร์ตควบคุมและสัญญาณควบคุมสวิทช์ทั้งหมด
	อินเวอร์เตอร์หลัก	อินเวอร์เตอร์รอง	ไฮบริดอินเวอร์เตอร์	
แรงดัน (V)	306.7	153.3	224.86	221.13
กระแส (A)	1.87	4.52	3.95	0.059
พลังงาน (W)	2652.7		2597.85	13.09
ค่าการสูญเสีย (W)	67.94			
% การสูญเสีย	2.55 %			

เมื่อทำการทดลองไฮบริดอินเวอร์เตอร์ภายใต้สภาวะที่เกิดความผิดพร่องขึ้นที่เฟส b ของชุดอินเวอร์เตอร์รอง พบว่ารูปคลื่นแรงดันเฟสและแรงดันไลน์ขาออกจะผิดเพี้ยน และไม่สมดุลกัน ดังแสดงในรูปที่ 2.9(ก) และ 2. 9(ข) ซึ่งความผิดเพี้ยน และไม่สมดุลของแรงดันไลน์ดังกล่าวสามารถแก้ไขได้โดยใช้เทคนิคการควบคุมตามที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 4 ดังแสดงในรูปที่ 2.14

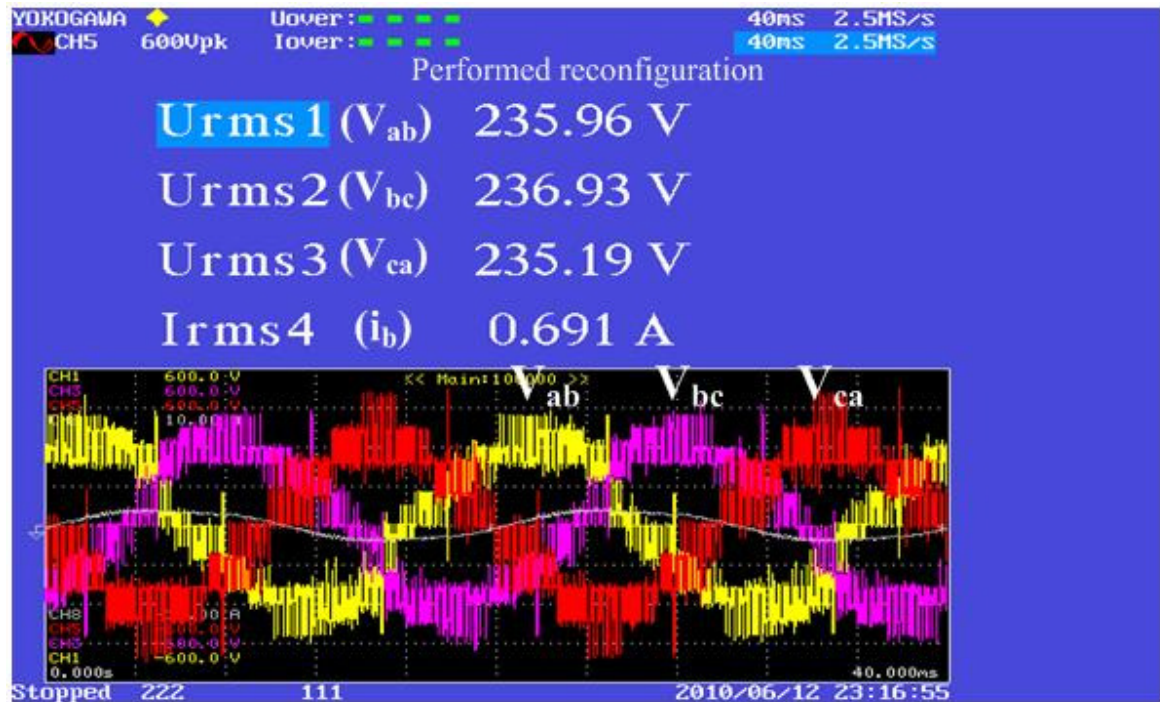
จากผลการทดลอง จะเห็นได้ว่าไฮบริดอินเวอร์เตอร์ที่ได้นำเสนอนี้ ให้คุณภาพแรงดันเอาต์พุตที่มีคุณภาพดี อีกทั้งยังมีประสิทธิภาพ และความน่าเชื่อถือสูง ในกรณีการนำไปใช้กับแหล่งจ่ายพลังงานหมุนเวียนไม่จำเป็นต้องมีค่าดัชนีมอดดูเลทชั้น(m_a) ที่กว้างมาก แต่ค่าดัชนีมอดดูเลทชั้น(m_a) ที่กว้างเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับงานขับเคลื่อนมอเตอร์ นอกจากนี้แรงดันกระแสตรงของอินเวอร์เตอร์รองต้องเป็นครึ่งหนึ่งของอินเวอร์เตอร์หลักจึงทำให้แรงดันขาออกสมดุลได้



(ก) แรงดันเฟสขณะเกิดความผิดปกติที่อินเวอร์เตอร์ของเฟส B



(ข) แรงดันไลน์ และกระแสขณะเกิดความผิดปกติที่อินเวอร์เตอร์ของเฟส B



(ค) แรงดันไลน์ และกระแสหลังจากใช้เทคนิคการทนต่อการผิดพ่วง

รูปที่ 2.14 รูปคลื่นแรงดัน และกระแส เมื่อเกิดการผิดพ่วงที่เฟส B

6. บทสรุป

งานวิจัยนี้ได้พัฒนาไฮบริดอินเวอร์เตอร์หลายระดับที่ใช้เทคนิคการทนต่อความผิดพ่วง สำหรับประยุกต์ใช้งานกับระบบจำหน่ายไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันต่ำในอาคารชุมสายโทรศัพท์ โดยใช้เทคนิคควบคุมแบบ PWM เพื่อลดค่าการสูญเสียจากการสวิตช์ นอกจากนี้โครงสร้างที่นำเสนอสามารถช่วยลดจำนวนสวิตช์กำลังเมื่อเทียบกับอินเวอร์เตอร์หลายระดับแบบดั้งเดิม จากผลการจำลอง และผลการทดลองพบว่าค่าสูญเสียจากการสวิตช์ของไฮบริดอินเวอร์เตอร์น้อยกว่าอินเวอร์เตอร์หลายระดับแบบดั้งเดิม ดังนั้นประสิทธิภาพของระบบจะเพิ่มขึ้นเมื่อใช้ไฮบริดอินเวอร์เตอร์ โดยไฮบริดอินเวอร์เตอร์ที่นำเสนอมีประสิทธิภาพ 97.45% ตามภาระไฟฟ้าขณะทดลอง และเทคนิคการทนต่อความผิดพ่วงหลังจากเกิดความผิดพ่วง ทำให้ระบบมีความน่าเชื่อถือมากยิ่งขึ้น ซึ่งจากการทดลองแสดงให้เห็นว่าไฮบริดอินเวอร์เตอร์ที่ได้นำเสนอนี้ สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในระบบไฟฟ้ากระแสตรงขนาดเล็กแรงดันต่ำในอาคารชุมสายโทรศัพท์ได้อย่างเหมาะสม

เอกสารอ้างอิง

- [1] R. Lasseter, "Microgrid," *Proc. IEEE Power Engineering Society Winter Meeting 2002*, pp. 305-308.
- [2] F. Z. Peng, Y. W. Li, L. M. Tolbert, "Control and Protection of Power Electronics Interfaced Distributed Generation Systems in a Customer-Driven Microgrid," *IEEE Power and Energy Society General Meeting*, Alberta, Canada, July 26-30, 2009.
- [3] Hiroaki Kakigano, Yushi Miura, Toshifumi Ise, Ryohei Uchida, "DC Micro-grid for Super High Quality Distribution -System Configuration and Control of Distributed Generations and Energy Storage Devices," *37th Annual IEEE Power Electronics Specialists Conference*, Korea, 2006, pp. 3148-3154.
- [4] D. Salomonson, and A. Sannino, "Low-Voltage DC Distribution System for Commercial Power System with Sensitive Electronic Loads," *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 22, no. 3, July 2007 pp 1620-1627
- [5] S. Khomfoi, L. M. Tolbert, "Multilevel Power Converters," *Power Electronics Handbook*, 2nd Edition Elsevier, 2007, ISBN 978-0-12-088479-7, Chapter 17, pp. 451-482.
- [6] S. Daher, J. Schmid, F. L. M. Antunes, "Multilevel Inverter Topologies for Stand-Alone PV Systems," *IEEE Trans. on Industry Electronics*, vol. 55, no. 7, pp. 2703-2711, July 2008.
- [7] M. D. Manjrekar, P. Steimer, T. A. Lipo, "Hybrid Multilevel Power Conversion System: A Competitive Solution for High Power Applications," *IEEE Trans. on Industry Applications*, vol. 36, no. 3, pp. 834-841, May/June 2000.
- [8] Z. Du, B. Ozpineci, L. M. Tolbert, J. N. Chiasson, "A Novel Inductor-less DC-AC Cascaded H-bridge Multilevel Boost Inverter for Electric/Hybrid Electric Vehicle Applications," *IEEE Industry Applications Society Annual Meeting*, September 23-27, 2007, New Orleans, Louisiana, pp. 603-608.
- [9] H. Liu, L. M. Tolbert, B. Ozpineci, Z. Du, "Comparison of Fundamental Frequency and PWM Methods Applied on a Hybrid Cascaded Multilevel Inverter," *IEEE Industrial Electronics Society Annual Conference*, Orlando, Florida, Nov. 10-13, 2008, pp. 3233-3237.
- [10] S. Mariethoz, A. Rufer, "New Configurations for the Three-phase Asymmetrical Multilevel Inverter," *Proceedings of The 39th IEEE IAS Annual meeting conference*, Seattle, Washington, October 3-7, 2004, pp. 828-835.
- [11] S. Lu, S. Mariethoz, K. A. Corzine, "Asymmetrical Cascade Multilevel Converters with Noninteger or Dynamically Changing DC Voltage Ratios: Concepts and Modulation

- Techniques ,” *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 57, no. 7, Jul. 2010, pp. 2411-2418.
- [12] S. Khomfoi, N. Praisuwanna, “A Hybrid Cascaded Multilevel Inverter for interfacing with renewable energy resources,” *Proceedings of The 2010 International Power Electronics Conference (IPEC)*, Sapporo, Japan, June 21-24, 2010, pp. 2912-2917
- [13] D. Eaton, J. Rama, P. W. Hammond, “Neutral Shift,” *IEEE Industry Applications Magazine*, Nov./Dec. 2003, pp. 40-49.
- [14] B. A. Welchko, T. A. Lipo, T. M. Jahns, S. E. Schulz, “Fault Tolerant Three-Phase AC Motor Drive Topologies: A Comparison of Features, Cost, Limitations,” *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 19, no. 4, Jul. 2004, pp. 1108-1116.

สัญญาเลขที่ MRG5280027

ชื่อโครงการ: ระบบควบคุม และระบบป้องกันสำหรับระบบจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงขนาดเล็ก โดยใช้เซลล์แสงอาทิตย์และเครื่องกำเนิดไฟฟ้าความร้อนร่วมเป็นแหล่งจ่ายพลังงาน

Output จากโครงการวิจัย

1. ผลงานตีพิมพ์ในวารสารวิชาการนานาชาติ (ระบุชื่อผู้แต่ง ชื่อเรื่อง ชื่อวารสาร ปี เล่มที่ เลขที่ และหน้า) หรือผลงานตามที่คาดไว้ในสัญญาโครงการ

ระหว่างการดำเนินงานวิจัย ผู้วิจัยได้ส่งบทความวารสารวิชาการระดับนานาชาติเพื่อพิจารณาตีพิมพ์ดังต่อไปนี้ จดหมายจากบรรณาธิการได้แนบไว้ในภาคผนวก

1.1 บทความ: **A hybrid cascaded multilevel inverter including a reconfiguration technique application for low voltage dc**

วารสารที่ส่งตีพิมพ์: IEEE Transaction on Industry Application

Impact Factor 2009: 1.298

วันที่ส่ง: 8 กุมภาพันธ์ 2554 (ขณะนี้กำลังรอผลการประเมิน)

สำหรับบทความของบทความและจดหมายแสดงการได้รับบทความเพื่อพิจารณาประเมินจากบรรณาธิการได้แนบไว้ในภาคผนวก

1.2 บทความ: **A Fault Diagnostic Technique for an AC to DC Converter Applied in Microgrid Applications**

วารสารที่ส่งตีพิมพ์: Journal of Power Electronics

Impact Factor 2009: 1.238

วันที่ส่ง: 14 พฤษภาคม 2554 (ขณะนี้กำลังรอผลการประเมิน)

สำหรับบทความของบทความและจดหมายแสดงการได้รับบทความเพื่อพิจารณาประเมินจากบรรณาธิการได้แนบไว้ในภาคผนวก

2. การนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์

- เชิงสาธารณะ (มีเครือข่ายความร่วมมือ/สร้างกระแสความสนใจในวงกว้าง)

วิทยาการรับเชิญ

เสนาเรื่อง “หนทางรอดวิกฤติการณ์ 2012” Wind, Solar และ Smart grid จัดโดย สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน วันที่ 10 มีนาคม 2553

http://www.eppo.go.th/power/fueloption/FuelOptionSeminar.html

สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน

ขอเรียนเชิญร่วมการสัมมนา

Fuel Options for Electricity Generation

วันพุธที่ 10 มีนาคม 2553 เวลา 8.00 - 16.30 น.
ณ ห้องนิรโรคัล แกรนด์ บอลรูม ชั้น 4 โรงแรมนิรโรคัล แกรนด์ คอนเวนชั่น

เอกสารจากการสัมมนา
"Fuel Options for Electricity Generation"
วันที่ 10 มีนาคม 2553 เวลา 8.00 - 16.30 น.
ณ ห้องนิรโรคัล แกรนด์ บอลรูม ชั้น 4 โรงแรมนิรโรคัล แกรนด์ คอนเวนชั่น

08.00 - 09.00 น.	ลงทะเบียน
09.00 - 09.10 น.	กล่าวเปิดและส่งต่อการสัมมนา
09.10 - 09.30 น.	ผู้ดำเนินการสำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน
09.30 - 10.30 น.	กล่าวเปิดการสัมมนา และกล่าวปาฐกถาพิเศษ "ภาพรวมพลังงานไทยในอนาคต" - นพ. วรณรัตน์ ช่างบุญกุล รัฐมนตรีว่าการกระทรวงพลังงาน ปาฐกถาพิเศษ โดยวิทยากรผู้ทรงคุณวุฒิ Mr. Nick Butler, Chairman of Cambridge Center for Energy

http://www.eppo.go.th/power/fueloption/FuelOptionSeminar.html

หัวข้อ

สัมมนาเรื่อง "เปิดศักยภาพพลังงานทางเลือก.....เพื่อเพิ่มการผลิตไฟฟ้าแห่งอนาคต"

ห้อง A

13.00 - 13.15 น.	บรรยายความรู้เรื่อง Mini Hydro, Biogas, wind, Solar และ Smart grid - ดร.สุรชัย ชัยพัฒน์ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า, คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
13.15 - 14.45 น.	เสนาเรื่อง "พลังงานเพื่อชุมชน เส้นทางของวิสาหกิจวิสาหกิจ" (Biogas และ Mini Hydro) ผู้ร่วมเสนา - คุณอนุชา อภิรัตน์ ผู้อำนวยการ กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน - คุณสมศักดิ์ ศรีภูมิทอง นักธุรกิจเจ้าของโครงการบ้านแม่กลางหลวง - คุณสุวัฒน์ สุประกิจ เจ้าของฟาร์มกังหันน้ำ - ดำเนินการเสนาโดย คุณศุภณัฐ ภูหาญ
14.45 - 15.00 น.	พักรับประทานอาหารว่าง
15.00 - 16.30 น.	เสนาเรื่อง "หนทางรอดวิกฤติการณ์ 2012" (Wind, Solar และ Smart Grid) ผู้ร่วมเสนา - ดร.กฤษณา จงใหญ่พัฒน์ รองประธานกรรมการ, บริษัท บางกอกโซลาร์ จำกัด - ผศ.ดร.สุรินทร์ คำผุย เลขาธิการศูนย์วิจัยระบบพลังงาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง - ดร.วิชัย ไชยมงคล ผู้อำนวยการศูนย์พลังงานลม ป่าและแสงอาทิตย์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล

วิทยาการรับเชิญ

บรรยายพิเศษเรื่อง “Power electronics and Renewable Energy Applications” จัดโดย Thai-French Innovation Institute ณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ เมื่อ วันที่ 21-23 ตุลาคม 2553



การเชื่อมโยงทางวิชาการกับนักวิชาการอื่น ๆ ทั้งในและต่างประเทศ

ในโครงการวิจัยนี้ ได้รับการสนับสนุนและความร่วมมือจาก Prof. Dr. Leon M. Tolbert จากมหาวิทยาลัยเทนเนสซี (University of Tennessee) ประเทศสหรัฐอเมริกา ทั้งทางด้านการให้คำปรึกษา แลกเปลี่ยนความคิดเห็น และ Dr. Tolbert ได้รับเชิญเป็นวิทยากร โดยได้รับความร่วมมือกับ กฟผ. ในวันที่ 12 พฤษภาคม 2553.



- เชิงวิชาการ (มีการพัฒนาการเรียนการสอน/สร้างนักวิจัยใหม่)
ผู้วิจัยได้สอนวิชา 90108005 เทคโนโลยีพลังงานทดแทน (RENEWABLE ENERGY TECHNOLOGIES) ซึ่งบางส่วนของ Class ได้นำผลวิจัยเพื่อให้ นักศึกษาเข้าใจในการประยุกต์ใช้งาน

3. อื่นๆ (เช่น ผลงานตีพิมพ์ในวารสารวิชาการในประเทศ การเสนอผลงานในที่ประชุมวิชาการ หนังสือ การจดสิทธิบัตร)

3.1 บทความระดับประเทศ

บทความ: การออกแบบการป้องกันระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรงขนาดเล็กที่เชื่อมต่อกับแหล่งจ่ายพลังงานหมุนเวียน

การประชุมวิชาการทางไฟฟ้าครั้งที่ 33, เชียงใหม่, 1-3 ธันวาคม 2553, หน้า 505-508.

บทความ: อินเวอร์เตอร์ขนาด 3 กิโลวัตต์ 5 ระดับแรงดันโดยใช้เทคนิคไฮบริดจ์สำหรับการประยุกต์ใช้งานระบบไฟฟ้าขนาดเล็ก

การประชุมวิชาการทางไฟฟ้าครั้งที่ 33, เชียงใหม่, 1-3 ธันวาคม 2553, หน้า 569-572.

3.2 บทความระดับนานาชาติ

บทความ: Z-Source Grid-Connected Inverter for Solving the photovoltaic cell Shading problem
Proceedings of The 2010 Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications, and Information Technology International Conference, (ECTI-CON 2010), 19-21 May 2010, Chiangmai, Thailand, pp. 823-827.

บทความ: A Hybrid Cascaded Multilevel Inverter
Proceedings of The 2009 Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications, and Information Technology International Conference, (ECTI-CON 2010), 19-21 May 2010, Chiangmai, Thailand, pp.1041-1044.

บทความ: A hybrid cascaded multilevel inverter application for interfacing with renewable energy resources
Proceedings of IPEC-2010, 21-24 June 2010, Sapporo, Japan, pp. 2912-2917.

บทความ: A hybrid cascaded multilevel inverter application for renewable energy resources including a reconfiguration technique
Proceedings of ECCE 2010, 12-16 September 2010, Atlanta, Georgia, USA, pp.3998-4005.

สัญญาเลขที่ MRG5280027

ชื่อโครงการ: ระบบควบคุม และระบบป้องกันสำหรับระบบจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงขนาดเล็ก โดยใช้เซลล์
แสงอาทิตย์และเครื่องกำเนิดไฟฟ้าความร้อนร่วมเป็นแหล่งจ่ายพลังงาน

ภาคผนวก

A Hybrid Cascaded Multilevel Inverter Including a Reconfiguration Technique Application for Low Voltage DC Distribution

Abstract- A hybrid cascaded multilevel inverter including a reconfiguration technique application for low voltage dc distribution is developed. The objective of this research is to propose an alternative topology of hybrid cascaded multilevel inverter applied to a low voltage dc microgrid in telecommunication buildings. The modified PWM technique is also developed to reduce switching losses. Also, the proposed topology can reduce the number of required power switches compared to a traditional cascaded multilevel inverter. A possible reconfiguration technique after faulty condition is also discussed. PSIM and Simulink/MATLAB are used to simulate the circuit operation and control signal. A 3-kVA prototype is developed to validate the proposed technique. The switching losses of the proposed multilevel inverter are also investigated. By using the modified PWM technique and reconfiguration method, the proposed hybrid inverter can improve system efficiency and reliability. The prototype experimental inverter efficiency is 97.45% under tested condition. The results show that the proposed hybrid inverter topology is a promising method for a low voltage dc distribution interfacing with renewable energy resources and can be applied for multiple loads in telecommunication buildings.

A Fault Diagnostic Technique for an AC to DC Converter Applied in Microgrid Applications

Abstract- A fault diagnostic method for an ac to dc converter used in microgrid applications is developed in this paper. An ac to dc converter is a key technology for microgrids in order to interface both distributed generation (DG) and renewable energy resources (RES). Also, high reliability of an ac to dc converter is necessary to keep the converter in continuous operation as long as possible during power switch fault condition. Therefore, the proposed fault diagnostic method is developed to reduce the fault detection time and to avoid any other fault alarms because continuous operation is desired. The proposed diagnostic method is a combination between the absolute normalized dc current technique and false alarm suppression algorithm to overcome the long fault detection time and fault alarm problems. The simulation and experimental results show that the developed fault diagnostic method can perform the fault detection within about one cycle. The results illustrate that the reliability of an ac to dc converter interfaced with microgrid can be improved by using the proposed fault diagnostic method.



การประชุมวิชาการ ทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ ๓๓

33rd Electrical Engineering Conference (EECON-33)

- ไฟฟ้ากำลัง (PW)
- อิเล็กทรอนิกส์กำลัง (PE)
- งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิศวกรรมไฟฟ้า (GN)
- ไฟฟ้าสื่อสาร (CM)
- อิเล็กทรอนิกส์ (EL)
- การประมวลผลสัญญาณดิจิทัล (DS)
- ระบบควบคุมและการวัดคุม (CT)
- ไฟโตนิคส์ (PH)
- คอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ (CP)
- วิศวกรรมชีวการแพทย์ (BE)



ร่วมจัดโดย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหาดน

ABB CSG
SOLUTION



*111 Years Engineering
Innovation*

การออกแบบการป้องกันระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรงขนาดเล็กที่เชื่อมต่อกับแหล่งจ่ายพลังงานหมุนเวียน

Design of a Protection Paradigm for a DC Microgrid Incorporating with Renewable Energy Resource

สัมพันธุ์ จูภา¹ วรชาติ แซ่ก๊ก¹ สุรินทร์ คำผอย^{1,2}

¹สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

²ศูนย์นวัตกรรมระบบพลังงาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เลขที่ 1 ซอยฉลองกรุง 1 แขวงลาดกระบัง เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520 โทร/โทรสาร. 0-2739-2478 E-mail : sumphanj@hotmail.com

บทคัดย่อ

บทความฉบับนี้นำเสนอการออกแบบระบบป้องกันสำหรับระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรงขนาดเล็กที่เชื่อมต่อเข้ากับแหล่งจ่ายพลังงานหมุนเวียน โดยทำการศึกษาถึงพฤติกรรมของฟอลต์ที่เกิดขึ้นทั้งในระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรง และอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลัง ซึ่งเป็นข้อมูลสำคัญที่จะใช้ในการออกแบบระบบป้องกัน โดยได้ทำการศึกษา และจำลองพฤติกรรมของฟอลต์ รวมถึงผลกระทบที่เกิดขึ้นด้วยโปรแกรม PSIM นอกจากนี้ยังได้นำเสนออุปกรณ์ป้องกันที่ใช้ในการออกแบบระบบป้องกันให้สามารถตัดวงจรที่เกิดฟอลต์ออกจากระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าได้อย่างเหมาะสม จากผลการจำลองพบว่าระบบป้องกันที่ทำการออกแบบสามารถกำจัดฟอลต์ได้เป็นอย่างดี

คำสำคัญ : ระบบป้องกัน, ระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรงขนาดเล็ก, แหล่งจ่ายพลังงานหมุนเวียน, ฟอลต์

Abstract

The design of a protection paradigm for a dc microgrid incorporating with renewable energy resource is presented in this paper. The acquaintance of fault occurring in a dc distribution and power electronic devices is a key issue for designing of the protection system. The faults and their consequences are also clearly explained by utilizing the PSIM software package. In addition, the protection devices are designed to protect and clear the fault. The simulation results illustrate that the designed protection system can clear the occurring fault satisfactorily.

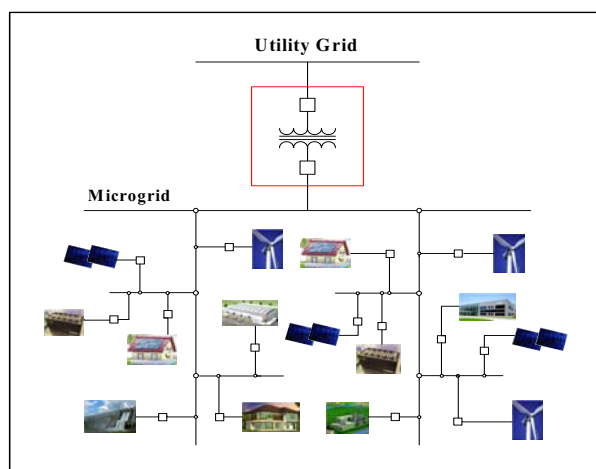
Keyword : Protection system, DC Microgrid system, Renewable energy resource, Fault

1. บทนำ

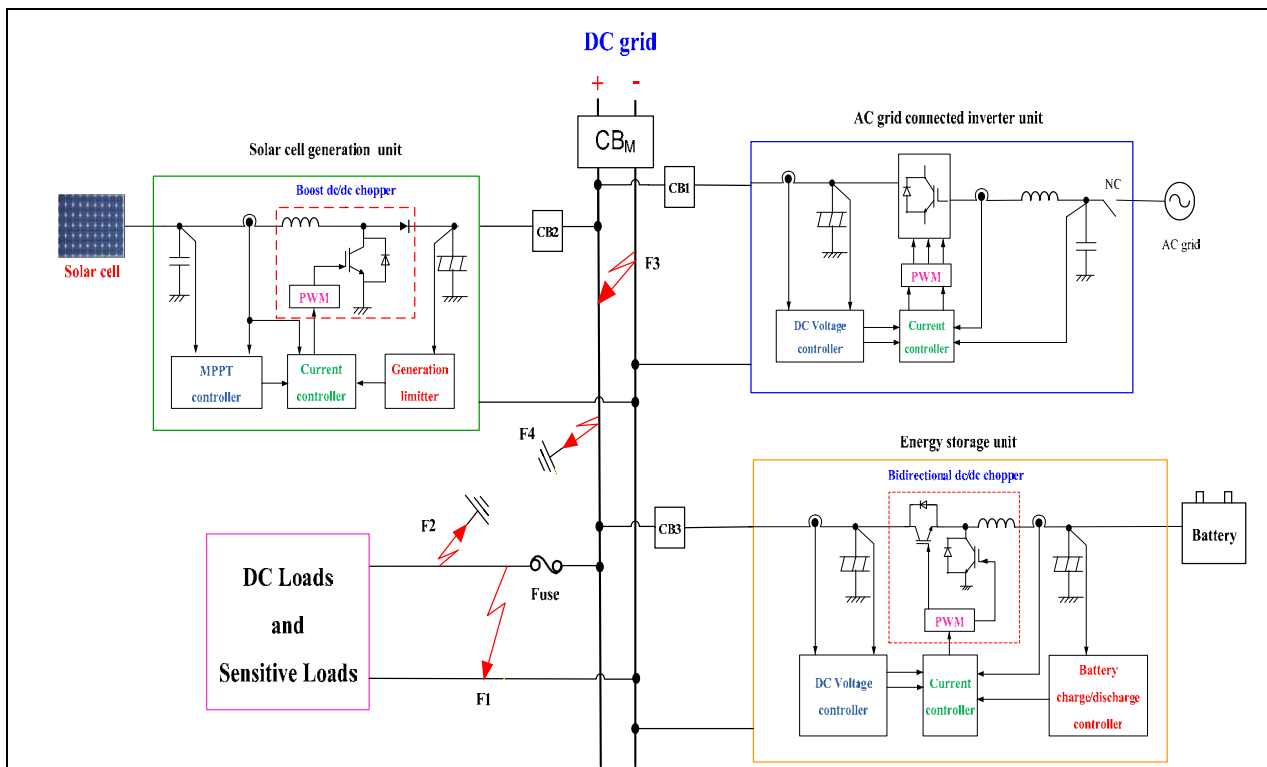
ระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าขนาดเล็ก หรือ Microgrid นั้น เป็นระบบการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าขนาดเล็กที่สามารถสร้างสมดุลระหว่างการผลิตพลังงานไฟฟ้ากับภาระทางไฟฟ้าที่ต่ออยู่กับระบบ ซึ่งสามารถเชื่อมต่อ

ขนานเข้ากับระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าหลัก หรืออาจจะบริหารจัดการแยกเป็นอิสระโดยไม่มีการเชื่อมต่อ เช่น พื้นที่ที่เป็นเกาะ และอาจมีการรวมเอาแหล่งจ่ายพลังงานหมุนเวียนต่าง ๆ เช่น พลังงานลม พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานน้ำ ฯลฯ เชื่อมต่อเข้าด้วยกัน ทั้งนี้พลังงานหมุนเวียนนั้น ถือได้ว่าเป็นพลังงานที่สะอาด ไม่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม และมีข้อดีในด้านการจัดการทางพลังงานได้ง่าย สามารถตอบสนองต่อภาระทางไฟฟ้าได้อย่างรวดเร็ว แต่อย่างไรก็ตามการศึกษาค้นคว้าวิจัยเกี่ยวกับการป้องกันระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าขนาดเล็กนั้น ยังไม่มีการศึกษากันอย่างแพร่หลาย ทั้งที่ความเป็นจริงแล้วระบบป้องกันสำหรับระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้านั้น เป็นสิ่งที่สำคัญ และมีความจำเป็น เนื่องจากเสถียรภาพทางไฟฟ้า และความเชื่อถือได้ของระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า ตลอดจนความปลอดภัยของผู้ใช้งานเองนั้นถือเป็นเรื่องที่ต้องให้ความสำคัญ ซึ่งถ้าหากไม่มีระบบป้องกันที่ดีแล้วนั้น เมื่อเกิดฟอลต์ขึ้นในระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าจะส่งผลทำให้เกิดความเสียหายตามมาได้

บทความฉบับนี้จึงนำเสนอการศึกษาพฤติกรรมของความผิดปกติของทางไฟฟ้า (fault) ในระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าขนาดเล็ก ซึ่งในที่นี้ใช้เป็นระบบจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรง เพื่อนำไปสู่การออกแบบระบบป้องกัน และเลือกใช้อุปกรณ์ป้องกันให้มีความเหมาะสม โดยใช้โปรแกรม PSIM ในการจำลองการทำงานของระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า และระบบป้องกัน



รูปที่ 1 แผนผังระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าขนาดเล็ก (Microgrid)



รูปที่ 2 แผนผังการเชื่อมต่ออุปกรณ์เข้ากับระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรงขนาดเล็ก และอุปกรณ์ป้องกัน รวมทั้งตำแหน่งที่เกิดฟอลต์ [1]

2. ระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรงขนาดเล็ก (DC microgrid)

การส่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรงนั้น มีความเหมาะสมกับระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าขนาดเล็กที่มีการเชื่อมต่อกับแหล่งจ่ายพลังงานหมุนเวียนต่าง ๆ เช่น พลังงานแสงอาทิตย์ ทั้งนี้แหล่งจ่ายพลังงานหมุนเวียน และภาระทางไฟฟ้าส่วนใหญ่นั้น จะใช้เป็นไฟฟ้ากระแสตรง ทำให้ช่วยลดจำนวนคอนเวอร์เตอร์ในการแปลงผันแรงดันไฟฟ้าจากไฟฟ้ากระแสสลับไปเป็นไฟฟ้ากระแสตรง นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยที่สนับสนุนว่าการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรงนั้นจะเกิดค่าความสูญเสีย (loss) ในระบบการส่งจ่ายน้อยกว่าการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสสลับถึง 15% [2] จึงทำให้ระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรงมีประสิทธิภาพในการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าที่สูงกว่า

ในบทความฉบับนี้ ได้จำลองการทำงานของระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรงขนาดเล็กหรือ (DC microgrid) ขนาด 150 โวลต์ ซึ่งเป็นระบบที่เชื่อมต่อกับแหล่งจ่ายพลังงานหมุนเวียน โดยใช้เป็นพลังงานแสงอาทิตย์ ผ่านวงจรแปลงกระแสตรงเป็นกระแสตรง (DC/DC converter) โดยมีระบบสะสมพลังงานเป็นแบตเตอรี่ รวมทั้งมีการเชื่อมต่อกับระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสสลับ (AC power system) โดยผ่านวงจรเรียงกระแสแบบ 2 ทิศทาง (Bidirectional rectifier) นอกจากนี้ยังมีภาระทางไฟฟ้า ซึ่งใช้พลังงานไฟฟ้ากระแสตรง (DC loads) เชื่อมต่ออยู่ด้วย ดังแสดงในรูปที่ 2

3. ฟอลต์ และผลกระทบของฟอลต์

ฟอลต์ที่เกิดขึ้นในระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรงนั้น แบ่งได้เป็น 3 ชนิด คือฟอลต์ระหว่างสายส่ง (Line to Line Fault), ฟอลต์ระหว่างสายส่งชั่ววอกกับกราวด์ (Positive Line to Ground Fault) และฟอลต์ระหว่างสายส่งชั่ววอกกับกราวด์ (Negative Line to Ground Fault) โดยสามารถคำนวณหากระแสฟอลต์ได้ตามสมการพื้นฐานดังต่อไปนี้

$$I_{dc(F)} = \frac{E_{dc(0)} - E_{dc(F)}}{R_{dc(F)}} \quad (1)$$

เมื่อ $I_{dc(F)}$ คือ กระแสฟอลต์
 $E_{dc(0)}$ คือ แรงดันก่อนเกิดฟอลต์
 $E_{dc(F)}$ คือ แรงดันในขณะเกิดฟอลต์
 $R_{dc(F)}$ คือ ความต้านทานของสายส่ง

สำหรับผลกระทบของฟอลต์ที่เกิดขึ้นต่อระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้านั้น จะทำให้อุปกรณ์ไฟฟ้าที่ต่ออยู่กับระบบได้รับความเสียหาย โดยเฉพาะอุปกรณ์ทางด้านอิเล็กทรอนิกส์ หรืออุปกรณ์ควบคุมที่มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของกระแส และแรงดันในขณะเกิดฟอลต์สูง ดังนั้นจึงจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องทำการศึกษารอบนอกแบบระบบป้องกันสำหรับระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรงขนาดเล็กให้มีความเหมาะสม และสามารถป้องกันความเสียหายที่อาจจะเกิดขึ้นได้

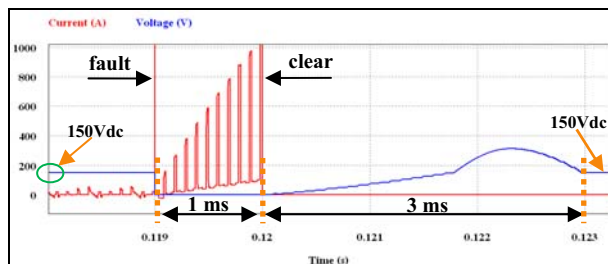
4. การจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

งานวิจัยนี้ใช้โปรแกรม PSIM ในการจำลองการทำงานของระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า และระบบป้องกัน โดยที่การออกแบบการจำลองนั้นจะศึกษาฟอลต์ 2 ชนิดคือ ฟอลต์ระหว่างสายส่งชั่วคราวกับสายส่งชั่วถาวร และฟอลต์ระหว่างสายส่งชั่วคราวกับกราวด์ โดยให้เกิดฟอลต์ขึ้นที่บัสและที่โหลด เพื่อพิจารณาถึงลักษณะการเปลี่ยนแปลงของกระแส และแรงดันในระบบ ซึ่งฟอลต์ที่โหนดนั้น ฟอลต์ F1 กำหนดให้เป็นฟอลต์ระหว่างสายส่งชั่วคราวกับสายส่งชั่วถาวร ส่วนฟอลต์ F2 เป็นฟอลต์ระหว่างสายส่งชั่วคราวกับกราวด์ สำหรับฟอลต์ที่ตำแหน่งบัสของระบบนั้น ฟอลต์ F3 เป็นฟอลต์ระหว่างสายส่งชั่วคราวกับสายส่งชั่วถาวร และฟอลต์ F4 เป็นฟอลต์ระหว่างสายส่งชั่วคราวกับกราวด์ ดังรูปที่ 2 โดยให้ระยะเวลาในการเกิดฟอลต์ F1 เป็นเวลา 1 ms และ 5 ms เพื่อเปรียบเทียบระหว่างระยะเวลาที่เกิดฟอลต์กับผลกระทบที่เกิดขึ้นกับระบบ รวมถึงลักษณะกระแส และแรงดันในขณะเกิดฟอลต์ที่ตำแหน่งต่าง ๆ ของระบบ

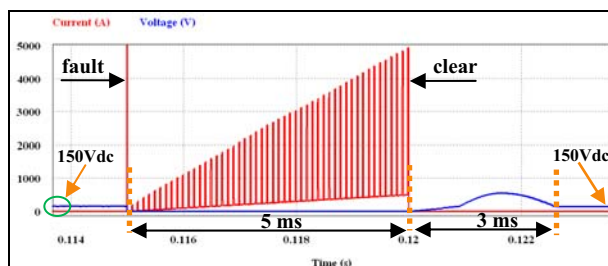
5. ผลการจำลอง

ผลการจำลองด้วยโปรแกรม PSIM สามารถแสดงได้ดังต่อไปนี้

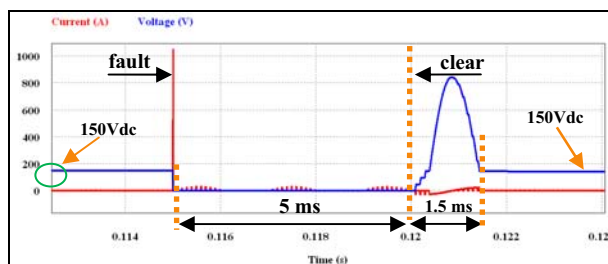
5.1 ฟอลต์ที่โหนด (F1) ระหว่างสายส่งชั่วคราวกับสายส่งชั่วถาวร



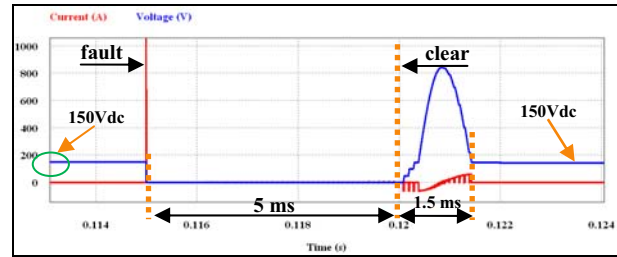
รูปที่ 3 กระแส และแรงดันขณะเกิดฟอลต์ (F1) เป็นระยะเวลา 1 ms



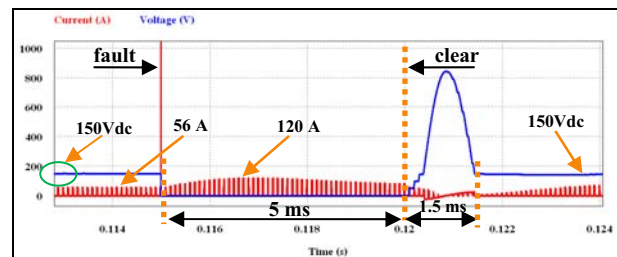
รูปที่ 4 กระแส และแรงดันขณะเกิดฟอลต์ (F1) เป็นระยะเวลา 5 ms



รูปที่ 5 กระแส และแรงดันที่ Solar cell ขณะเกิดฟอลต์ (F1)

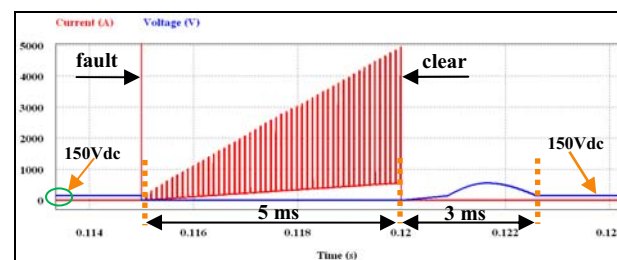


รูปที่ 6 กระแส และแรงดันที่ Battery ขณะเกิดฟอลต์ (F1)



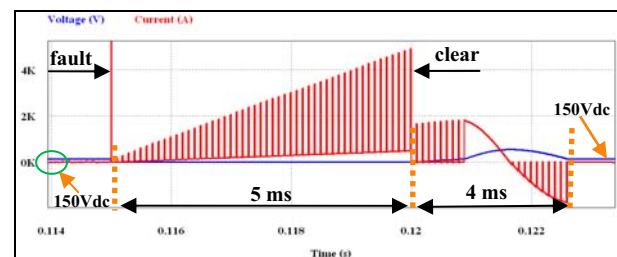
รูปที่ 7 กระแส และแรงดันที่ Converter ขณะเกิดฟอลต์ (F1)

5.2 ฟอลต์ที่โหนด (F2) ระหว่างสายส่งชั่วคราวกับกราวด์



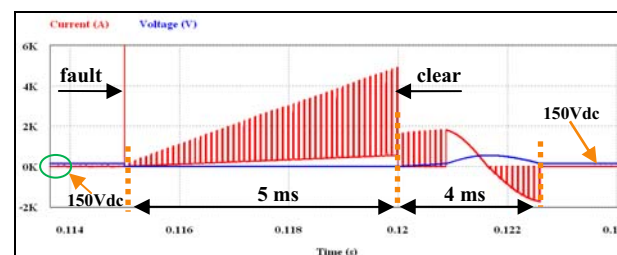
รูปที่ 8 กระแส และแรงดันขณะเกิดฟอลต์ (F2) เป็นระยะเวลา 5 ms

5.3 ฟอลต์ที่บัส (F3) ระหว่างสายส่งชั่วคราวกับสายส่งชั่วถาวร



รูปที่ 9 กระแส และแรงดันขณะเกิดฟอลต์ (F3) เป็นระยะเวลา 5 ms

5.4 ฟอลต์ที่บัส (F4) ระหว่างสายส่งชั่วคราวกับกราวด์



รูปที่ 10 กระแส และแรงดันขณะเกิดฟอลต์ (F4) เป็นระยะเวลา 5 ms

จากผลการจำลองพบว่า เมื่อเปรียบเทียบฟอลต์ระหว่างสายส่ง ขั้วบวกกับสายส่งขั้วลบ และฟอลต์ระหว่างสายส่งขั้วบวกกับกราวด์นั้น จะมีการเปลี่ยนแปลงของกระแส และแรงดันคล้ายกัน และถ้าเกิดฟอลต์ เป็นระยะเวลาสั้นจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของกระแสเพิ่มมากขึ้น ยกตัวอย่างเช่น ฟอลต์ F1 ฟอลต์ที่โหนดระหว่างสายส่งขั้วบวกกับสายส่ง ขั้วลบ ระยะเวลาการเกิดฟอลต์ 5 ms จะมีขนาดของกระแสฟอลต์ เป็น 5 เท่าเมื่อเทียบกับระยะเวลาการเกิดฟอลต์ 1 ms ก่อนที่ระบบป้องกัน จะทำการตัดวงจรที่เกิดฟอลต์ออกจากระบบไฟฟ้า สำหรับตำแหน่งที่เกิด ฟอลต์ ระหว่างฟอลต์ที่เกิดขึ้นที่โหนดกับฟอลต์ที่เกิดขึ้นที่บัส จะมี ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของกระแสที่แตกต่างกันกล่าวคือ หลังจากที่ อุปกรณ์ป้องกันได้กำจัดฟอลต์ออกจากระบบแล้วกระแสยังคงมีการแกว่ง ตัวต่ออีกช่วงเวลาหนึ่งก่อนที่จะเข้าสู่สภาวะปกติ ซึ่งจะเห็นได้ว่าฟอลต์ ที่บัสจะใช้เวลาในการกลับเข้าสู่สภาวะคงตัวของระบบนานกว่าฟอลต์ ที่เกิดขึ้นที่โหนด ขณะเดียวกันที่ตำแหน่งอื่น ๆ ของระบบก็จะปรากฏ กระแสฟอลต์ F1 เช่นกันแต่มีขนาดเล็กกว่า นอกจากนี้ยังพบว่ากระแสสูง แรกหลังจากเกิดฟอลต์ขึ้นในระบบจะมีขนาดสูงมาก ดังนั้นอุปกรณ์ ป้องกันจึงควรทำงานให้ถูกต้อง และเร็วที่สุด เพื่อที่จะป้องกันความ เสียหายที่อาจเกิดขึ้นกับระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าได้

6. แนวทางการออกแบบการป้องกันระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าขนาดเล็ก

ในการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้านั้น มีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีการติดตั้งระบบป้องกัน โดยอาศัยอุปกรณ์ป้องกันหลัก ๆ ดังนี้ [3], [4]

1. ฟิวส์ (Fuse) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการป้องกันกระแสเกิน โดยอาศัยการหลอมละลายของวัสดุตัวนำ ซึ่งอาจจะเป็นทองแดง หรือเงินที่มี จุดหลอมเหลวต่ำ เพื่อตัดวงจรที่เกิดฟอลต์ออกจากระบบ
2. เซอร์คิตเบรกเกอร์ (Circuit Breaker) เป็นอุปกรณ์ป้องกันที่สามารถเปิดวงจรได้อัตโนมัติ เมื่อมีกระแสไหลผ่านเกินกว่าค่าที่กำหนด ซึ่งในปัจจุบันมีการพัฒนาให้สามารถทำงานได้เร็วขึ้น โดยนำเอาสวิตช์ อิเล็กทรอนิกส์มาประยุกต์ใช้ เรียกว่า โซลิดสเตทเซอร์คิตเบรกเกอร์

สำหรับการออกแบบระบบป้องกันสำหรับระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า นั้น หลักการสำคัญคือ ระบบป้องกันจะต้องสามารถทำงานได้อย่าง ถูกต้อง และรวดเร็ว โดยจะต้องเลือกใช้อุปกรณ์ป้องกันตามความ เหมาะสม เช่น เลือกใช้เซอร์คิตเบรกเกอร์ ที่มีความเร็วในการทำงานสูง อาทิ โซลิดสเตทเซอร์คิตเบรกเกอร์ ซึ่งปัจจุบันมีงานวิจัยที่สามารถ ทำงานได้เร็วถึง 0.5 ms หรือในกรณีที่โหนดที่ไม่มีความไวต่อการ เปลี่ยนแปลงของกระแส และแรงดันมากนักก็อาจใช้ฟิวส์ที่มีความเร็วใน การหลอมละลายสูง เช่น ultra fast fuse ที่ใช้เวลาการหลอมละลายของ โลหะตัวนำเร็วกว่าฟิวส์แบบธรรมดา เป็นต้น ทั้งนี้จะต้องทำการ ออกแบบลำดับการทำงานของอุปกรณ์ป้องกัน (Coordination) ตลอดจน ระบบป้องกันสำรอง (Back up Protection) ในกรณีที่ระบบป้องกันหลัก ไม่ทำงาน หรือทำงานผิดพลาด เช่น กรณีเกิดฟอลต์ F1 และ F2 หากฟิวส์ ที่ใช้ป้องกันโหนด ไม่สามารถทำการตัดวงจรออกจากระบบได้ CB1 ที่

Converter, CB2 ที่ Solar cell, และ CB3 ที่ Battery จะต้องทำการตัดวงจร ออกจากระบบ โดยลำดับเวลาในการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันในที่นี้คือ เซอร์คิตเบรกเกอร์จะตั้งให้ช้ากว่าเวลาการทำงานของฟิวส์ เช่น ฟอลต์ F1 ถ้าฟิวส์ทำงานที่ 2 ms ก็ควรตั้ง CB ไว้ที่ประมาณ 3 ms และขนาด กระแสทำงานของ CB ควรจะน้อยกว่าขนาดกระแสฟอลต์ที่ปรากฏที่ ตำแหน่งต่าง ๆ ของระบบ ซึ่งอาจใช้รีเลย์ป้องกันทำงานร่วมด้วย ใน ขณะเดียวกัน CB1, CB2 และ CB3 ก็ต้องป้องกันอุปกรณ์ที่อยู่ภายใน Zone ป้องกันในกรณีที่เกิดฟอลต์ขึ้นที่บัสด้วย ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่ จะต้องทำการหาตำแหน่งของฟอลต์ที่เกิดขึ้นให้ได้ว่าฟอลต์ที่เกิดขึ้นนั้น เป็นฟอลต์ที่โหนด หรือฟอลต์ที่บัส ซึ่งจะอาศัยอุปกรณ์ในการตรวจจับ ทั้ง กระแส และแรงดัน เพื่อให้ระบบป้องกันสามารถตรวจจับ และ กำจัดฟอลต์ที่เกิดขึ้นออกจากระบบได้อย่างถูกต้อง และรวดเร็ว

7. บทสรุป

บทความฉบับนี้นำเสนอผลการศึกษารูปแบบการป้องกัน ระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรงขนาดเล็กที่เชื่อมต่อกับแหล่งจ่าย พลังงานหมุนเวียน โดยใช้โปรแกรม PSIM จำลองการทำงาน เพื่อศึกษา ถึงผลการเปลี่ยนแปลงของกระแส และแรงดันที่เกิดขึ้นจากฟอลต์ ซึ่งผล การจำลองพบว่าขณะที่เกิดฟอลต์แรงดันที่สายส่งจะลดลงเป็นศูนย์ ส่วน กระแสจะเกิดการแกว่งตัว และเปลี่ยนแปลงตลอดเวลากว่าอุปกรณ์ ป้องกันจะตัดวงจรที่เกิดฟอลต์ออกจากระบบ ซึ่งระบบป้องกันที่ทำการ ออกแบบสามารถกำจัดฟอลต์ที่เกิดขึ้นได้เป็นอย่างดี และสามารถใช้เป็น แนวทางในการออกแบบระบบป้องกันสำหรับการใช้งานจริงต่อไป

8. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัย จากกองทุนเพื่อส่งเสริมการ อนุรักษ์พลังงาน สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน (EPPO) และจากสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ภายใต้ สัญญาเลขที่ MRG5280027

เอกสารอ้างอิง

- [1] Youichi Ito, Yang Zhongqing and Hirofumi Akagi, "DC Micro-grid Based Distribution Power Generation System," Power Electronics and Motion Control Conference, 2004, pp. 1740 – 1745.
- [2] H. Kakigano, M. Nomura and T. Ise, "Loss Evaluation of DC Distribution for Residential Houses Compared with AC system," The 2010 International Power Electronics Conference, 2010, pp. 480-486.
- [3] Daniel Salomonsson, Lennart Soder and Ambra Sannino, "Protection of Low-Voltage DC Microgrid," IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 24, no. 3, Jul. 2009. pp. 1045-1053.
- [4] Robert M. Cuzner and Giri Venkataramanan, "The Status of DC Micro-Grid Protection," IEEE Transactions on Industry Applications. Oct. 2008, pp.1-8.

รูปแบบสัญญาณที่เหมาะสมกับอินเวอร์เตอร์หลายระดับสำหรับประยุกต์ใช้ในระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์ แสงอาทิตย์แบบอิสระ

Waveform optimization of a multilevel inverter for PV stand-alone applications

ธนาวดี แจ่มอ้น¹, สุรินทร์ คำผอย^{1,2}

¹สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

²ศูนย์นวัตกรรมระบบพลังงาน สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

1 ซอย จลองกรุง 1 แขวงลาดกระบัง เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

Email : j_thanawadee@yahoo.com , kkhsurin@kmitl.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้ได้นำเสนอเกี่ยวกับ รูปแบบสัญญาณที่เหมาะสมกับอินเวอร์เตอร์หลายระดับสำหรับประยุกต์ใช้ในระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ ซึ่งต้องการคุณสมบัติดังนี้ จ่ายพลังงานได้สองทิศทาง, แหล่งจ่ายเดียว, ค่าความผิดเพี้ยนต่ำ โดยอินเวอร์เตอร์หลายระดับชนิด Multi-winding Transformer สามารถรองรับความต้องการดังกล่าวได้ โปรแกรม MATLAB/Simulink ได้ถูกนำมาใช้ในการวิเคราะห์รูปแบบสัญญาณที่เหมาะสมสำหรับอินเวอร์เตอร์หลายระดับชนิด Multi-winding Transformer จากผลการจำลองชี้ให้เห็นว่ารูปแบบสัญญาณที่เหมาะสมสำหรับอินเวอร์เตอร์หลายระดับชนิด Multi-winding Transformer คือ 63 ระดับแรงดัน ซึ่งจะทำได้รูปคลื่นแรงดันที่มีคุณภาพสูง

คำสำคัญ : อินเวอร์เตอร์หลายระดับ, ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ

Abstract

Waveform optimization of a multilevel inverter for PV stand alone applications is discussed in this paper. Bidirectional power flow, single dc source, and low total harmonic distortion are required for PV stand-alone application. Thereupon, the multilevel inverter with multi-winding configuration is suitable for this particular application. Also, the waveform optimization for high quality output voltages is also analyzed. The MATLAB/Simulink software package is utilized for the waveform optimization of a multi-winding multilevel inverter. The results show that the 63 levels of the output voltage is suitable for a multi-winding multilevel inverter with high quality output voltage waveform.

Keywords : Multilevel inverter, PV Stand-alone

1. บทนำ

ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ (PV Stand-alone) ได้รับการออกแบบสำหรับใช้งานในพื้นที่ชนบทที่ไม่มีระบบจำหน่ายไฟฟ้าจากการไฟฟ้า โดยมีหลักการทำงานแบ่งได้เป็น 2 ช่วงเวลา กล่าวคือ ช่วงเวลากลางวัน เซลล์แสงอาทิตย์ได้รับแสงแดดสามารถผลิตไฟฟ้าจ่ายให้แก่โหลดพร้อมทั้งประจุพลังงานไฟฟ้าส่วนเกินไว้ในแบตเตอรี่พร้อมๆ กัน ส่วนในช่วงกลางคืน เซลล์แสงอาทิตย์ไม่ได้รับแสงแดดจึงไม่สามารถผลิตไฟฟ้าได้ ดังนั้น พลังงานจากแบตเตอรี่ที่เก็บประจุไว้ในช่วงกลางวันจะถูกจ่ายให้แก่โหลด จึงสามารถกล่าวได้ว่า ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระสามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าให้โหลดได้ทั้งกลางวันและกลางคืน อุปกรณ์ของระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระที่สำคัญประกอบด้วย แผงเซลล์แสงอาทิตย์ (PV) อุปกรณ์ควบคุมการประจุแบตเตอรี่ (Charge controller) แบตเตอรี่ (Battery) และอินเวอร์เตอร์ (Inverter) สำหรับเปลี่ยนระบบไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ ดังแสดงในรูปที่ 1

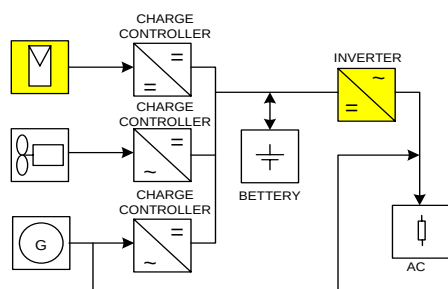
อินเวอร์เตอร์หลายระดับ (Multilevel inverter) ได้ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อให้สามารถใช้งานในระบบที่มีพิกัดกำลังสูงและยังสามารถสร้างรูปคลื่นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่คล้ายคลึงกับรูปคลื่นไซน์ (Sine wave) ทำให้ได้คุณภาพของสัญญาณดี และยังเป็นทางเลือกการสูญเสียเนื่องจากการสวิตช์ (Switching loss) โดยที่ไม่จำเป็นต้องอาศัยหม้อแปลงและตัวฟิวเจอร์ (Filter) นอกจากนี้ อินเวอร์เตอร์หลายระดับยังสามารถนำไปใช้กับแหล่งจ่ายพลังงานทดแทน (Renewable Energy Source) เช่น แหล่งจ่ายพลังงานแสงอาทิตย์ แหล่งจ่ายพลังงานจากลม แหล่งจ่ายพลังงานความร้อนใต้พิภพ เป็นต้น ซึ่งแหล่งพลังงานเหล่านี้สามารถนำไปใช้เชื่อมต่อกับอินเวอร์เตอร์หลายระดับได้โดยตรง อินเวอร์เตอร์หลายระดับมีด้วยกันอยู่หลายชนิดได้ถูกอธิบายไว้แล้วใน [1-2]

คุณสมบัติของอินเวอร์เตอร์หลายระดับที่สำคัญต่อระบบ PV Stand-alone สามารถแยกพิจารณาได้ดังตารางที่ 1 และ 2 [2] โดยพบว่า อินเวอร์เตอร์หลายระดับชนิด Diode-Clamped ไม่สามารถรองรับระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระได้ เนื่องจากไม่สามารถจ่ายโหลดได้ด้วย dc level component และไม่สามารถจ่ายโหลดได้ด้วย ac level component

สามารถแยกแรงดันอินพุตกับเอาต์พุตอย่างอิสระได้ (Not Input-output isolation) ส่วนอินเวอร์เตอร์หลายระดับชนิด Cascade H-bridge with multi-winding transformer ไม่เหมาะสมเนื่องจากไม่สามารถรองรับการจ่ายพลังงานสองทิศทางได้ ส่วนอินเวอร์เตอร์หลายระดับชนิด Cascade H-bridge with bi-directional DC/DC converter นั้นไม่เหมาะสมอีกเช่นกันเนื่องจากไม่สามารถสวิตช์ที่ความถี่สวิตช์ต่ำได้ ดังนั้น จากตารางที่ 1 และ 2 [2] จะเห็นว่ามีเพียงอินเวอร์เตอร์หลายระดับชนิด Multi-winding Transformer เพียงชนิดเดียวเท่านั้นที่เหมาะสมสำหรับระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ ดังนั้นบทความนี้จะได้นำเสนอเกี่ยวกับอินเวอร์เตอร์หลายระดับชนิด Multi-winding Transformer สำหรับประยุกต์ใช้งานในระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ และแนวคิดเกี่ยวกับรูปแบบสัญญาณที่เหมาะสมกับอินเวอร์เตอร์หลายระดับชนิด Multi-winding Transformer

2. อินเวอร์เตอร์หลายระดับชนิด Multi-winding Transformer

อินเวอร์เตอร์หลายระดับชนิด Multi-winding Transformer ได้ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อนำไปประยุกต์ใช้งานร่วมกับระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระได้โดยตรง ซึ่งอินเวอร์เตอร์หลายระดับชนิด Multi-winding Transformer มีข้อดีคือ ต้องการแหล่งจ่ายแรงดันด้านอินพุต (input) เพียง 1 แหล่งจ่าย และยังสามารถแยกแรงดันด้านอินพุตและแรงดันด้านเอาต์พุตออกจากกันได้อย่างอิสระ (input-output isolated) โดยโครงสร้างของอินเวอร์เตอร์หลายระดับชนิด Multi-winding Transformer ได้ถูกแบ่งเป็นสองส่วนดังแสดงในรูปที่ 2 คือ ส่วนของวงจรเฮช-บริดจ์ (H-Bridge) ที่ต่อเข้ากับขดลวดปฐมภูมิ (primary) ของหม้อแปลง และส่วนที่สองเป็นส่วนที่ต่ออยู่กับขดลวดทุติยภูมิ (secondary) ของหม้อแปลง คือ วงจรสวิตช์สองทางซึ่งมีข้อดีคือรองรับการจ่ายพลังงานได้สองทิศทาง โดยส่วนที่เป็นวงจร H-Bridge นั้นจะสร้างแรงดันรูปคลื่นสี่เหลี่ยม (square wave) ออกมา เพื่อที่จะนำมาเป็นแหล่งจ่ายให้กับขดลวดทุติยภูมิของหม้อแปลง แต่ถ้าต้องการเพิ่มระดับแรงดันทางด้านขาออกของอินเวอร์เตอร์หลายระดับชนิด Multi-winding Transformer ก็สามารถทำได้โดยการเพิ่มจำนวนเซลล์ของวงจรสวิตช์สองทางเข้าไปต่อкасцепกัน



รูปที่ 1 ระบบผลิตไฟฟ้าแบบอิสระ (Stand-alone system)

ตาราง 1 คุณสมบัติสำหรับระบบ PV Stand-alone [2]

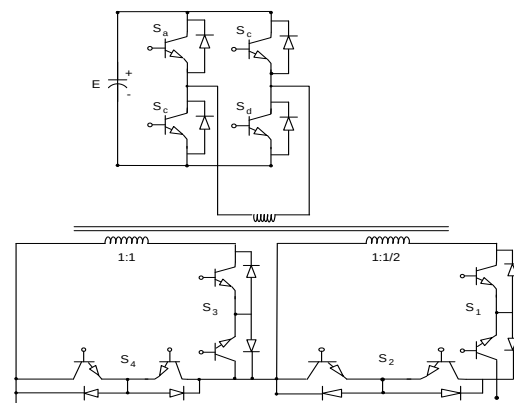
Id.	คุณสมบัติของอินเวอร์เตอร์สำหรับระบบ PV Stand-alone
M1	แหล่งจ่ายเดียว(single source input)
M2	ความถี่สวิตช์ต่ำ (Mainly based on low-frequency switching)
M3	สามารถจ่ายโหลดได้ด้วย dc level component
M4	คุณภาพแรงดันสูง
O1	จ่ายพลังงานได้สองทิศทาง (Bi-directional power flow)
O2	แรงดันอินพุตกับแรงดันเอาต์พุตแยกกัน (Input-output isolation)

*M=mandatory (ความจำเป็น) ; O= (ทางเลือกเสริม)

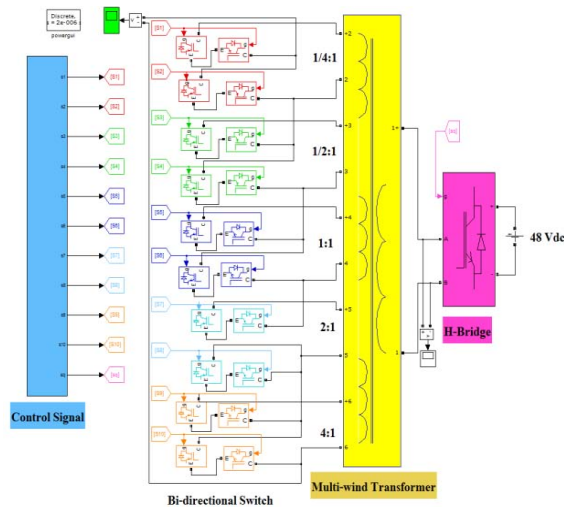
ตาราง 2 เปรียบเทียบคุณสมบัติของอินเวอร์เตอร์หลายระดับสำหรับระบบ PV Stand-alone [2]

No.	ชนิดของอินเวอร์เตอร์	M1	M2	M3	M4	O1	O2
1.	อินเวอร์เตอร์สามเฟสแบบทั่วไป	Y	Y	N	N	N	N
2.	Diode clamped	Y	Y	N	N	Y	N
3.	Cascade H-bridge with multi-winding transformer	Y	Y	Y	Y	N	Y
4.	Cascade H-bridge with bi-directional DC/DC converter	Y	N	Y	Y	Y	Y
5.	Multi-winding transformer	Y	Y	Y	Y	Y	Y

*Y=Yes(มี) , N=No(ไม่มี)



รูป 2 อินเวอร์เตอร์หลายระดับชนิด Multi-winding Transformer แบบ 2 เซลล์



รูป 3 แบบจำลองอินเวอร์เตอร์หลายระดับชนิด Multi-winding Transformer แบบ 5 เซลล์ โดยใช้ MATLAB/Simulink

3. ผลการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

โปรแกรม MATLAB/Simulink ได้ถูกนำมาใช้ในการจำลองการสร้างสัญญาณในการขับสวิตช์ของอินเวอร์เตอร์หลายระดับชนิด Multi-winding Transformer แบบ 5 เซลล์ ดังแสดงในรูปที่ 3 โดยสัญญาณที่ใช้เป็นแบบ Fundamental Frequency Switching ซึ่งรูปแบบสัญญาณที่ได้มีการสูญเสียเนื่องจากสวิตช์ (Switching loss) ต่ำกว่าสัญญาณแบบ SPWM (Sinusoidal Pulse Wide Modulation) โดยเทคนิคในการสร้างสัญญาณดังกล่าวนี้ได้อธิบายไว้แล้ว [2-3] ในการจำลองวงจรของอินเวอร์เตอร์หลายระดับชนิด Multi-winding Transformer แบบ 5 เซลล์ นี้ได้กำหนดแรงดันอินพุตดีซี (DC-link) เท่ากับ 48 โวลต์ (v) โดยอัตราส่วนของหม้อแปลงกำหนดดังนี้ คือ เซลล์ที่ 1 (เซลล์บนสุด) มีอัตราส่วนหม้อแปลงเป็น 1:1/4 เซลล์ที่ 2 มีอัตราส่วนหม้อแปลงเป็น 1:1/2 เซลล์ที่ 3 มีอัตราส่วนหม้อแปลงเป็น 1:1 เซลล์ที่ 4 มีอัตราส่วนหม้อแปลงเป็น 1:2 และเซลล์ที่ 5 (เซลล์ล่างสุด) มีอัตราส่วนหม้อแปลงเป็น 1:4 และได้ทำการจำลองโดยการเปลี่ยนแปลงระดับแรงดัน (p) และการเปลี่ยนแปลงค่าดัชนีมอดูเลชัน (Modulation index, m_i) เพื่อทำการหาค่าความผิดเพี้ยน (THD) และระดับแรงดันเอาต์พุต (V_{out_level}) แล้วนำมาเปรียบเทียบกับค่า p และ m_i ที่เหมาะสมกับระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ (PV Stand-alone) สำหรับประเทศไทย ซึ่งการหาค่า p และ V_{out_level} สามารถหาได้จากสมการที่ (1) และ (2) ส่วน m_i สามารถหาได้จากสมการที่ (3)

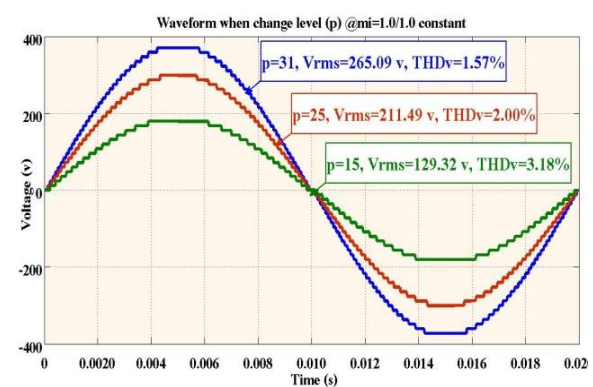
$$p=2^N-1 \quad (1)$$

$$V_{out_level}=2p+1 \quad (2)$$

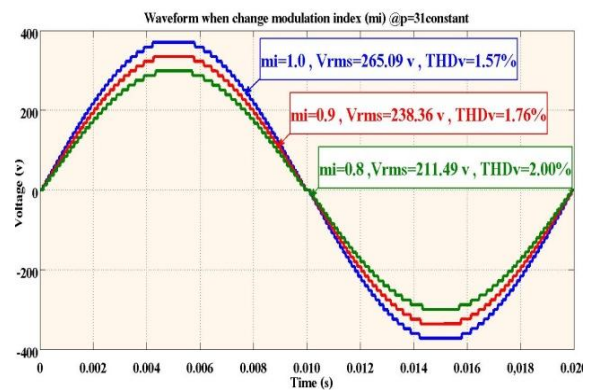
$$m_i = \frac{V_{rms}}{V_{peak}/\sqrt{2}} \quad (3)$$

โดยที่

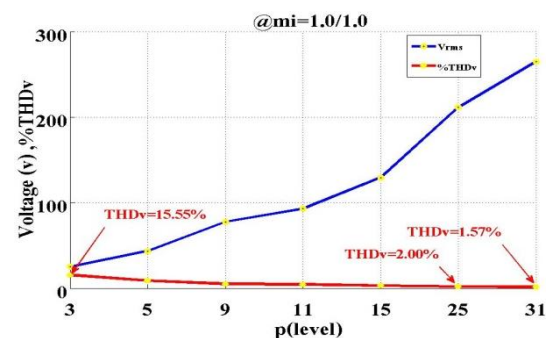
- p คือ ระดับแรงดันที่ชั่วใดชั่วหนึ่ง
- N คือ จำนวนเซลล์ของอินเวอร์เตอร์ฝั่งทุติยภูมิของหม้อแปลง
- m_i คือ ดัชนีค่ามอดูเลชัน (0.0-1.0/1.0)
- V_{out_level} คือ ระดับแรงดันเอาต์พุต (ระดับ)
- V_{rms} คือ แรงดันเอาต์พุต rms ที่ต้องการ (โวลต์,v)
- V_{peak} คือ แรงดันเอาต์พุต peak ณ $m_i=1.0/1.0$ (โวลต์,v)



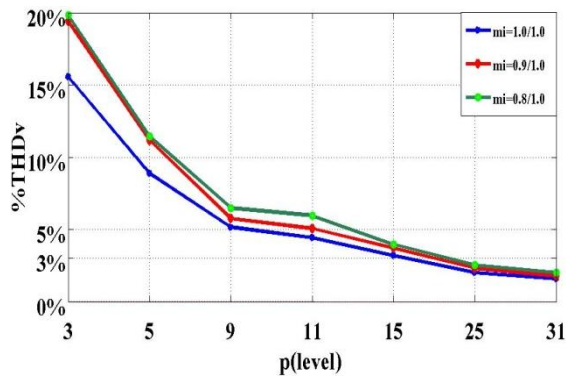
รูป 4 ระดับแรงดันเอาต์พุต ที่ $m_i=1.0/1.0$ คงที่ $p=15, 25$ และ 31



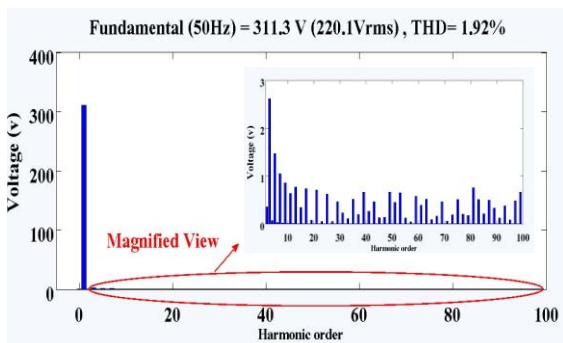
รูป 5 ระดับแรงดันเอาต์พุต ที่ $p=31$ คงที่ $m_i=0.8, 0.9$ และ $1.0/1.0$



รูปที่ 6 แสดงการเปรียบเทียบ V_{rms} และ %THD_v ที่ $m_i=1.0/1.0$ $p=3, 5, 9, 11, 15, 25$ และ 31



รูปที่ 7 แสดงการเปรียบเทียบ %THD_v ที่ $m_i=0.8, 0.9$ และ $1.0/1.0$
 $p=3, 5, 9, 11, 15, 25$ และ 31



รูปที่ 8 แสดงค่า %THD_v ของแรงดันเอาต์พุตที่เหมาะสมสำหรับระบบ
 PV Stand-alone ในประเทศไทย ที่ $p=31$ $m_i=0.832/1.0$

จากผลการจำลอง เมื่อคงที่ $m_i=1.0/1.0$ แล้วทำการเปลี่ยนค่า p พบว่า ที่ $p=15$ จะได้แรงดันเอาต์พุต $V_{rms}=129.32$ v และระดับแรงดันเอาต์พุตเท่ากับ 31 ระดับ THD_v=3.18% ส่วนที่ $p=31$ จะได้แรงดันเอาต์พุต $V_{rms}=265.09$ v ($V_{peak}=374.00$ v) และระดับแรงดันเอาต์พุตเท่ากับ 63 ระดับ THD_v=1.57% ดังแสดงในรูปที่ 4 ส่วนรูปที่ 5 แสดงแรงดันเอาต์พุต เมื่อคงที่ $p=31$ แล้วเปลี่ยนค่า m_i พบว่า ที่ $m_i=0.8/1.0$ จะได้แรงดันเอาต์พุต $V_{rms}=211.49$ v และค่า THD_v = 2.00 % ส่วนที่ $m_i=1.0/1.0$ จะได้แรงดันเอาต์พุต $V_{rms}=265.09$ v ($V_{peak}=374.00$ v) และ THD_v = 1.57% ดังนั้นถ้าต้องการแรงดันเอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์หลายระดับชนิด Multi-winding Transformer แบบ 5 เซลล์ ที่มีความผิดเพี้ยนต่ำ (THD_v < 3%) สามารถทำได้โดยการปรับตัวแปร 2 ตัว คือ ค่า p และ ค่า m_i ดังแสดงในรูปที่ 6 และ 7 โดยพบว่า ค่า p ควรมีค่าระหว่าง $p=25-31$ เนื่องจากให้ค่า THD_v ต่ำกว่า 3% และหากพิจารณาว่า m_i พบว่า ค่า m_i ควรมีค่าระหว่าง $m_i=0.8-1.0/1.0$

จึงได้ว่า การหารูปแบบของสัญญาณเอาต์พุตที่เหมาะสมกับอินเวอร์เตอร์หลายระดับชนิด Multi-winding Transformer แบบ 5 เซลล์ คือ ที่ระดับแรงดัน $p=25$ ถึง $p=31$ และค่าดัชนีมอดูเลชัน $m_i=0.8/1.0$ ถึง $m_i=1.0/1.0$ ทำให้ได้แรงดันเอาต์พุตที่มีค่าความผิดเพี้ยนต่ำ (THD_v < 3%) แต่ถึงแม้จำนวนระดับแรงดันจะมีมากและทำให้ต้องสวิตช์ที่ความถี่สวิตช์สูง แต่ค่า

ความสูญเสียเนื่องจากการสวิตช์ไม่ได้มีผลมากนักต่อจำนวนระดับแรงดันเมื่อเปรียบเทียบกับค่าความสูญเสียเนื่องจากการนำกระแส (conduction loss)

สำหรับระบบจำหน่ายไฟฟ้าภายในประเทศไทยเป็นแบบ 3 เฟส 4 สาย ระดับแรงดัน 380/220 โวลต์ (v) ความถี่ 50 เฮิร์ซ (Hz) ทำให้การหาค่าระดับแรงดันเอาต์พุตหรือรูปแบบของสัญญาณแรงดันเอาต์พุตที่เหมาะสมกับอินเวอร์เตอร์หลายระดับชนิด Multi-winding Transformer แบบ 5 เซลล์ ที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ (PV Stand-alone) สำหรับประเทศไทย คือ ที่ระดับแรงดัน $p=31$ และค่าดัชนีมอดูเลชัน $m_i=0.832/1.0$ จะทำให้ได้แรงดันเอาต์พุต $V_{rms}=220$ v ความถี่เท่ากับ 50 Hz และมีค่าผิดเพี้ยน THD_v ต่ำเพียง 1.92% ดังแสดงในรูปที่ 8

5.กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากสำนักงานกองทุนสนับสนุนงานวิจัย (สกว.) ภายใต้สัญญาเลขที่ MRG5280027

6.สรุป

อินเวอร์เตอร์หลายระดับชนิด Multi-winding Transformer แบบ 5 เซลล์ สามารถสร้างแรงดันเอาต์พุตได้ 63 ระดับแรงดัน ซึ่งมีลักษณะใกล้เคียงกับสัญญาณไซน์ โดยการปรับค่าระดับแรงดัน $p=31$ ระดับ ส่วนค่าดัชนีมอดูเลชัน $m_i=1.0/1.0$ ทำให้ค่าแรงดันเอาต์พุต $V_{rms}=265.09$ v ($V_{peak}=374.00$ v) และมีค่าความผิดเพี้ยน THD_v = 1.57% แต่ระดับแรงดันเอาต์พุตหรือรูปแบบของสัญญาณเอาต์พุตที่เหมาะสมกับอินเวอร์เตอร์หลายระดับชนิด Multi-winding Transformer แบบ 5 เซลล์ ที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ (PV Stand-alone) สำหรับประเทศไทย คือ ที่ระดับแรงดัน $p=31$ และ ค่าดัชนีมอดูเลชัน $m_i=0.832/1.0$ ทำให้ได้แรงดันเอาต์พุต $V_{rms}=220$ v ความถี่เท่ากับ 50 Hz และมีค่าผิดเพี้ยน THD_v ต่ำเพียง 1.92%

เอกสารอ้างอิง

- [1] S. Khomfoi, L. M. Tolbert, "Multilevel Power Converters," *Power Electronics Handbook*, 2nd Edition Elsevier, 2007, ISBN 978-0-12-088479-7, Chapter 17, pp. 451-482.
- [2] Sergio Daher, Jurgen Schmid, and Fernando L.M. Antunes, Member, IEEE "Multilevel Inverter Topologies for Stand-Alone PV System", *IEEE Transactions on Industrial Electronics*. Vol. 55, No. 7 July 2008
- [3] S. Dhaer, "Analysis, design and implementation of a high efficiency multilevel converter for renewable energy systems", Ph.D. dissertation, Dept. Electr. Eng, Kassel, Brazil, 2005



ECTI-CON 2010

The Empress Hotel Convention Centre

Chiang Mai, Thailand

19 - 21 May 2010

<http://ecticon2010.org>



ECTI-CON 2010 is the seventh annual international conference organized by Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI) Association, Thailand. The conference aims to be an international forum for presentation of technological advances and research results in the field of electrical engineering, electronics, computer, telecommunications, and information technology. Accepted papers will be published in the *Proceedings of ECTI-CON 2010* and will be available via **IEEE Xplore** (IEEE Catalog Number: CFP1006E-ART). Acceptance will be based on quality, relevance, and originality.

Steering Committee

Apirat Siritaratiwat ('10)
Chaiwut Chat-uthai ('10)
Kosin Chamnongthai ('10)
Sawasd Tantaratan ('10)
Seyed Hossein Hosseini ('10)
Tuptim Angkaew ('10)
Weerachet Kanngern ('10)
Banlue Srisuchinwong ('11)
Prayoot Akkaraekthalin ('11)
Jitkasame Ngarmnil ('11)
Vara Varavithya ('11)
Vutipong Areekul ('11)
Wanlop Surakampon ('11)

General Chair

Booncharoen Sirinaovakul

General Co-Chair

Nipon Theera-Umpon

Technical Program Chair

Sansanee Auephanwiriaykul

Technical Program Committee

Sermak Uatrongjit (Area 1)
Chiranut Sa-ngiamsak (Area 1)
Anan Phonphoem (Area 2)
Juggapong Natwichai (Area 2)
Phumin Kirawanich (Area 3)
Chaodit Aswakul (Area 3)
Nipapon Siripon (Area 3)
Kasemsak Uthachana (Area 4)
Manop Wongsaisuwan (Area 4)
Poj Tangamchit (Area 4)
Suttichai Premrudeepreechacharn (Area 5)
Natthaphob Nimpitiwan (Area 5)
Peerapol Jirapong (Area 5)
Matthew Dailey (Area 6)
Somchart Chokchaitam (Area 6)

Finance Chair

Sermak Uatrongjit
Banlue Srisuchinwong
Pairin Kaewkuay

Information System Chair

Sakgasit Rarningwong

Publication Chairs

Sansanee Auephanwiriaykul
Kasin Prakobwaitayakul
Narat Montreekhachorn

General Secretary

Nipon Theera-Umpon

Important Dates

Paper submission

Notification of acceptance

Camera ready copy due/ Early bird registration

15 January 2010

1 March 2010

19 March 2010

Call for Contributed Papers

The annual ECTI-CON is a premier event in the areas of Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology. It will be held during the 19th to 21st May 2010 in Chiang Mai, Thailand. This conference will focus on all topics, including, but not limited to:

Area 1) Circuits and Systems: Analog Circuits, Digital Circuits, Mixed Signal Circuits, Nonlinear Circuits and Systems, Sensing and Sensor Networks, Filters and Data Conversion Circuits, RF and Wireless Circuits, Photonic and Optoelectronic Circuits, Low Power Design and VLSI Physical Design, Bio-medical Circuits, Assembly and Packaging, Test and Reliability, Advanced Technologies (i.e. MEMS and Nano-electronic Devices);

Area 2) Computers and Information Technology: Computer Architecture, Computational Biology and Bioinformatics, Knowledge and Data Engineering, Learning Technologies, Multimedia Services and Technologies, Mobile Computing, Parallel/Distributed Computing and Grid Computing, Pattern Analysis and Machine Intelligence, Software Engineering, Visualization and Computer Graphics;

Area 3) Communication Systems: Communication Theory and Information Theory, Antenna and Propagation, Microwave Theory and Techniques, Modulation, Coding, and Channel Analysis, Networks Design, Network Protocols, and Network Management, Optical Communications, Wireless/Mobile Communications & Technologies;

Area 4) Controls: Control Theory and Applications, Adaptive and Learning Control System, Fuzzy and Neural Control, Mechatronics, Manufacturing Control Systems and Applications, Process Control Systems, Robotics and Automation;

Area 5) Electrical Power Systems: Power Engineering and Power Systems, Electromagnetic Compatibility, Energy Conversion, High Voltage Engineering and Insulation, Power Delivery, Power Electronics, Illumination;

Area 6) Signal Processing: Signal Processing Theory, Digital Signal Processing Algorithms, Digital Filter Design & Implementation, Array Processing, Adaptive Signal Processing, Audio, Speech, and Language Processing, Image Processing, Video Processing, Medical Signal Processing, Medical Imaging; Submissions for oral and poster presentation are invited from researchers, practitioners and students worldwide.

For more information visit the web site <http://ecticon2010.org>

For general inquiry, please contact General co-chair Nipon Theera-Umpon at nipon@ieee.org.

For program inquiry, please contact Program chair Sansanee Auephanwiriaykul at sansanee@ieee.org.

Z-Source Grid-Connected Inverter for Solving the photovoltaic cell Shading problem

Anucha Pattanaphol² Surin Khomfoi¹ Prapart Paisuwanna²

¹Center of Excellence for Innovative Energy Systems, ²Faculty of Engineering,
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Chalongkrung Rd., Ladkrabang, Bangkok, 10520, THAILAND

Abstract

An application of grid-connected inverter interfacing with renewable energy resources for electrical power generation such as photovoltaic, fuel cell, and microturbine has a higher attraction. The application of photovoltaic cell normally faces the shading problem of solar light: this will lead to inconsistent power generation and low system efficiency; therefore, the z-source grid connected inverter is proposed in this paper. The operation of a grid-connected inverter is explained. The boosted capability of dc voltage bus in the z-source inverter is also investigated for this grid-connected application. The design of z-source elements is also demonstrated including simulation results. The simulation results suggest that a z-source inverter is a promising technique to apply in a grid-connected inverter in order to improve the overall grid-connected inverter efficiency and solve the shading problems.

I. INTRODUCTION

Recently, renewable energy resources have become an alternative power sources. Also, power electronics technologies have provided an important improvement of renewable energy applications. Many renewable energy applications will require high power inverters (>50 kW); for instance, a grid connected inverter for microgrid application. Furthermore, a photovoltaic production cost is reduced; thereupon, an application of grid-connected inverter interfaced with renewable energy resources for electrical power generation such as photovoltaic, fuel cell, and microturbine has a higher attraction. The application of photovoltaic cell normally faces the shading problem of solar light: this will lead to inconsistent power generation and low system efficiency. So far, dc-dc converters are utilized to constant dc bus voltage fed to a grid-connected inverter as shown in Fig. 1. A dc-dc converter requires at least an additional power switch to keep the dc bus constant; consequently, additional losses of a dc-dc converter will reduce the grid-connected inverter efficiency. The grid-connected inverter may require multiple dc-dc converters for a solar farm because of the limitation of NEC for dc distribution (< 600 V). The overall grid-connected inverter reliability would be reduced and the overall cost would be high. Therefore, it would be better if the grid-connected inverter can keep the dc bus constant without an extra dc-dc converter.

Z-source inverter topology has been proposed in [1] to improve inverter efficiency with both voltage source inverter

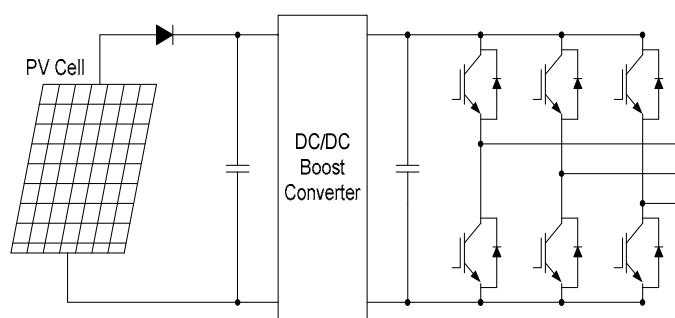


Fig. 1. A conventional inverter for photovoltaic application

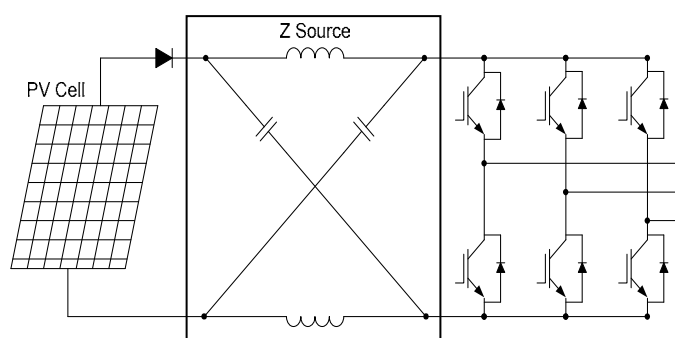


Fig. 2. A z-source topology for photovoltaic application

(VSI) and current source inverter (CSI). The z-source inverter consists of passive elements connected at the dc bus: two inductors and two capacitors as shown in Fig. 2. The dc voltage bus can be maintained by using the zero vector of the space vector paradigm as clearly explained in [2]. The boosted voltage capability can be up to three times of the input dc voltage [3]; however, the boosted voltage capability is depended upon the switching time of the zero vectors. Z-source inverters may not be required the dead time so that the additional 3-phase output voltage can be achieved. This z-source topology can be applied in a grid-connected inverter; nonetheless, a few researches on z-source grid-connected inverter have been presented.

Thus far, the z-source grid connected inverter is developed in this paper. The operation of a grid-connected inverter is clearly explained. The boosted capability of dc bus is also investigated for this grid-connected application. The design of z-source elements is also demonstrated including simulation results. The use of z-source technique in a grid-connected inverter may improve the overall grid-connected inverter efficiency.

II. Z-SOURCE CIRCUIT ANALYSIS AND OPERATION

The famous space vector modulation (SVM) is applied for the 3-phase inverter in this research as shown in (1). By briefly explained, V_{ref} is a referent vector to represent the output voltage trajectory which can be calculated from the vector V_α and V_β at a speed of ω ($2\pi f$) which f is a fundamental frequency reference. SVM technique has a different eight vectors using to switch the IGBT: six active vectors and two zero vectors as shown in Table I.

As can be seen in Table I., the zero vectors (V_0 and V_7) are used to buck or boost the dc bus voltage as the shoot-through switching states. V_0 and V_7 provide the zero output voltage vectors for the remained switching period from the active vector which is controlled by the referent vector (V_{ref}), in conventional SVM technique; but, V_0 and V_7 in z-source topology are used to boosted the dc bus voltage by turning on the upper and lower power switches at the same time which also provide a zero output voltages. At this switching period, the z-source can act as the conventional buck-boost converter. The ability of buck-boost voltage is depended upon the zero switching periods (T_0) which can be calculated in (3).

$$\begin{aligned} T_1 &= \frac{\sqrt{3}T_z|V_{ref}|}{V_{dc}} \left(\sin\left(\frac{\pi}{3} - \alpha + \frac{n-1}{3}\pi\right) \right), \\ &= \frac{\sqrt{3}T_z|V_{ref}|}{V_{dc}} \left(\sin\frac{n}{3}\pi - \alpha \right), \\ &= \frac{\sqrt{3}T_z|V_{ref}|}{V_{dc}} \left(\sin\frac{n}{3}\pi \cos\alpha - \cos\frac{n}{3}\pi \sin\alpha \right). \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} T_2 &= \frac{\sqrt{3}T_z|V_{ref}|}{V_{dc}} \left(\sin\left(\alpha - \frac{n-1}{3}\pi\right) \right), \\ &= \frac{\sqrt{3}T_z|V_{ref}|}{V_{dc}} \left(-\cos\alpha \sin\frac{n-1}{3}\pi + \sin\alpha \cos\frac{n-1}{3}\pi \right). \end{aligned} \quad (2)$$

$$T_0 = T_z - T_1 - T_2, \quad (3)$$

where n is the sector 1 to 6 of the SVM,
 V_{dc} is dc bus voltage,
 α is $\tan^{-1}\left(\frac{V_\beta}{V_\alpha}\right)$.

TABLE I. IGBT SWITCHING PATTERN.

Space vectors		Switching states	Output voltage ratio		
			v_{AO}	v_{BO}	v_{CO}
Zero vector	V_7	[111]	0	0	0
	V_0	[000]	0	0	0
Active vector	V_1	[001]	-1/3	-1/3	2/3
	V_2	[010]	-1/3	2/3	-1/3
	V_3	[011]	-2/3	1/3	1/3
	V_4	[100]	2/3	-1/3	-1/3
	V_5	[101]	1/3	-2/3	1/3
	V_6	[110]	1/3	1/3	-2/3

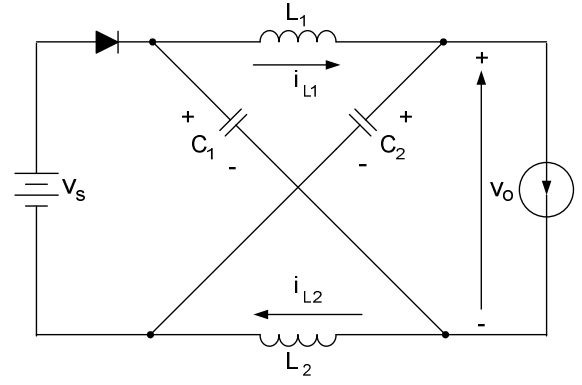


Fig. 3. A z-source equivalent circuit.

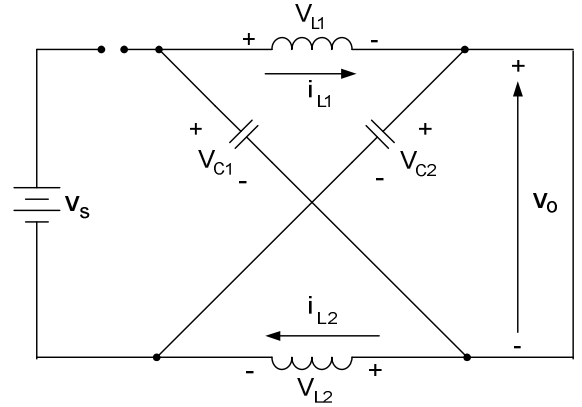


Fig. 4. A z-source equivalent circuit during shoot-through state.

Fig. 3. shows the equivalent circuit of a z-source inverter. The circuit operation of this z-source topology has been clearly explained in [2] and will briefly elucidate here for better understanding. A z-source technique normally has nine states: one additional state from a conventional inverter, having eight states, is a shoot trough state (positive and negative bus is connected). During this shoot-through state, z-source inverter is acting as a normal buck-boost converter which can be control by a modulation index (m_a) as depicted in Fig. 4 and Fig.5

The buck-boost capability of z-source inverter can be analyzed as follows:

First, using KVL applied in Fig. 4, we get;

$$V_L - V_C = 0,$$

$$V_L = L \frac{di_L}{dt},$$

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{V_C}{L}.$$

Again, with the help of KVL in Fig. 3, we also get;

$$-V_{dc} + V_L + V_C = 0,$$

$$V_L = V_{dc} - V_C,$$

$$V_L = L \frac{di_L}{dt},$$

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{V_{dc} - V_C}{L}.$$

Assuming that the averaged voltage across the inductors (V_{L1} and V_{L2}) is zero within one cycle of switching period. The relationship between voltage gain and shoot-through interval can be written as:

$$\begin{aligned} V_{L,av} &= V_{L,shoot} + V_{L,nonshoot} = 0, \\ \frac{V_C T_0}{T} + \frac{(V_{dc} - V_C) T_1}{T} &= 0, \\ \frac{V_C}{V_{dc}} &= \frac{T_1}{T_1 - T_0}. \end{aligned} \quad (4)$$

Let D is the shoot-through duty ratio, the (4) can be rewritten as:

$$\begin{aligned} V_C D T + (V_{dc} - V_C)(1 - D)T &= 0, \\ V_C(D - 1 + D) + V_{dc}(1 - D) &= 0, \\ \frac{V_C}{V_{dc}} &= \frac{1 - D}{1 - 2D}, \end{aligned} \quad (5)$$

$$\frac{V_C}{V_{dc}} = \frac{1 - \frac{T_0}{T}}{1 - 2\frac{T_0}{T}} \quad (6)$$

The amplitude of output phase voltage of a 3-phase inverter at fundamental frequency is

$$v_{AO,1} = m_a \frac{v_o}{2}. \quad (7)$$

Assuming that the average of dc voltage bus in one cycle of switching period is zero; therefore, the shoot-through state is:

$$V_0 = 0. \quad (8)$$

The normal or active vector state are:

$$\begin{aligned} V_0 &= V_C - V_L, \\ V_0 &= 2V_C - V_{dc}, \\ v_{0,av} &= \frac{0T_0 + (2V_C - V_{dc})T_1}{T}, \\ v_{0,av} &= V_C = \frac{T_1}{T_1 - T_0} V_{dc}. \end{aligned} \quad (10)$$

The maximum of output dc voltage bus in one switching cycle can be represented as [1]:

$$v_{o,peak} = \frac{T}{T_1 - T_0} V_{dc} = B V_{dc}, \quad (11)$$

$$B = \frac{T}{T_1 - T_0} = \frac{1}{1 - 2\frac{T_0}{T}}. \quad (12)$$

where B is boosted factor.

Substituting (11) into (7), we get

$$v_{AO,1} = m_a B \frac{V_{dc}}{2}. \quad (13)$$

Equation (13) shows that the output voltage of a 3-phase inverter can be adjusted by controlling m_a and B . The boosted factor, B , relates with the modulation index, m_a , as follows:

$$\frac{T_0}{T} = 1 - m_a, \quad (14)$$

Substituting (14) into (5), the relationship between voltage gain and modulation index can be written as;

$$\frac{V_C}{V_{dc}} = \frac{m_a}{2m_a - 1}, \quad (15)$$

and with the help of (14) and (12), we get

$$B = \frac{1}{2m_a - 1}. \quad (16)$$

From previously analyzed, the amplitude of output phase voltage in a z-source inverter at fundamental frequency is

$$v_{AO,1} = \frac{m_a}{2(2m_a - 1)} V_{dc}. \quad (17)$$

Equation (5) and (15) can graphically illustrate the relationship between voltage gain and modulation index of a z-source inverter as shown in Fig. 5.

Fig. 5 shows that the maximum boosted capability is about three times of dc input voltage theoretically. The only boosted region is focused in this particular application because the z-source grid-connected inverter is expected to solve the shading problem of photovoltaic cell. We can see that if shading problem occurs, the dc bus can be boosted by adjusting the modulation index to increase the voltage gain

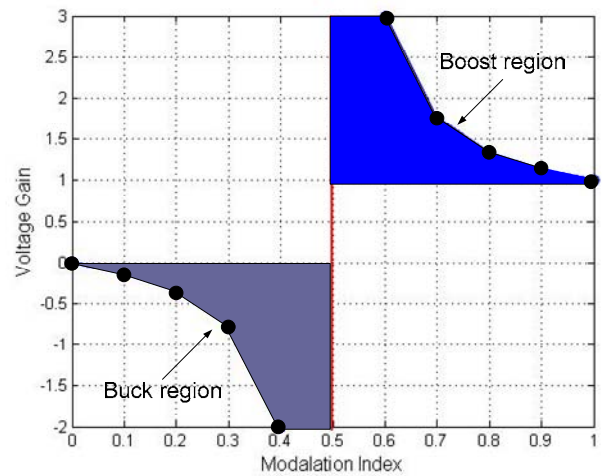


Fig. 5. The relationship between voltage gain and modulation index of a z-source inverter.

to add up the output voltage inverter as high as requested voltage. It should be noted that at low modulation index (0.5-0.7) the active vector interval is quite short so that the zero vector interval (shoot-through state) is long; this leads to higher voltage gain increasing the output voltage of a z-source inverter; for instance, if the z-source inverter operates at 0.6/1.0 m_a , the output voltage of a z-source inverter increases about 80% compared to a conventional inverter operated at 1.0/1.0 m_a .

III. DESIGN EXAMPLE OF THE Z-SOURCE GRID-CONNECTED INVERTER

A grid-connected inverter normally consists of three main parts: 3-phase inverter, isolation transformer and output voltage filter. The z-source is placed between the photovoltaic array cell and dc voltage bus as illustrated in Fig. 6. Designing impedance network of a z-source inverter has been proposed in [4] which can be modified into this particular grid-connected application. 220 Vrms output voltage and 50 Hz fundamental frequency are selected in this work. Equation (16) demonstrates that we can keep the output voltage of the z-source grid-connected inverter constant by controlling m_a related with T_o and D . Therefore, the inverter will operate at $m_a=1.0/1.0$; consequently, $D = 0.0/1.0$ during the normal operation.

For boosted operation, the inverter will operate at m_a varying from 0.5 to 0.99 out of 1.0. The z-source components such as L_1, L_2, C_1 and C_2 used in this research can be designed by using (18) and (19). Table II shows a list of all components and parameters utilized in the simulation model in the next section.

$$C = \frac{I_o T_s (2V_o - V_{dc})}{2kV_s (4V_o - V_{dc})}, \quad (18)$$

$$L = \frac{V_s T_s (2V_o - V_{dc})}{2kI_o (4V_o - V_{dc})}, \quad (19)$$

where k is voltage ripple factor at dc voltage bus.

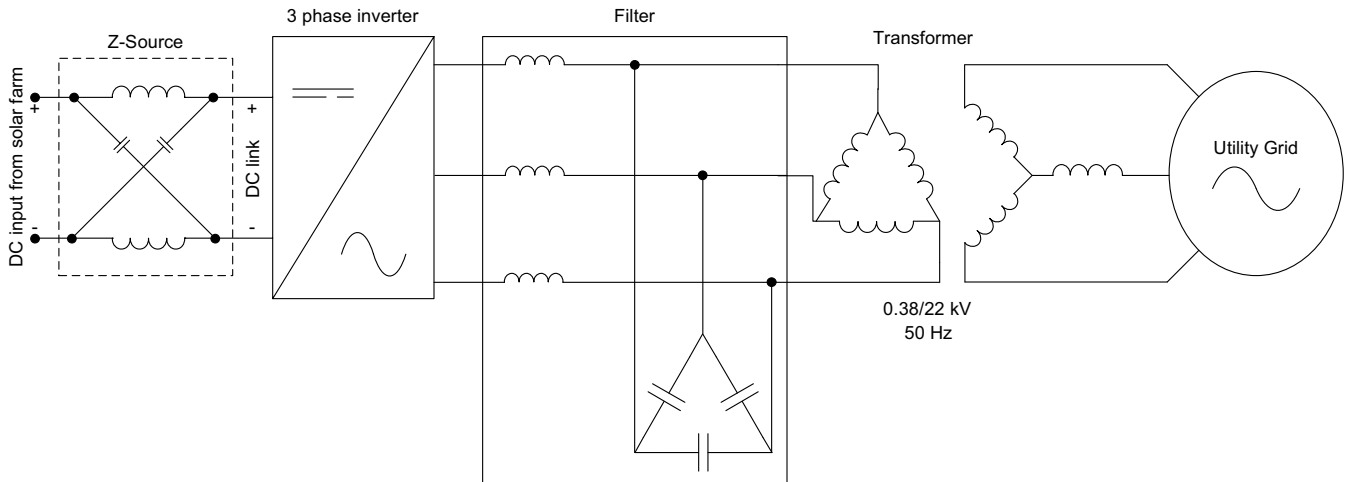


Fig. 6. Proposed 3-phase grid-connected inverter

TABLE II. COMPONENTS AND PARAMETERS USED IN THE SIMULATION MODEL.

Variables	Value of variables
Switching frequency	10 kHz
C_1 and C_2	1,000 uF
L_1 and L_2	1.2 mH
Transformer	400/400 V
Inductance L_{filter}	50 uH
Capacitance C_{filter}	250 kVAR
Grid voltage (rms)	220 V _{ph} /50 Hz
Rated inverter	125 kW

IV. SIMULATION AND EXPERIMENTAL RESULTS

MATLAB/Simulink is used to simulate the z-source grid-connected inverter as shown in Fig. 6. The z-source grid-connected inverter components and parameters are listed in Table II. The z-source inverter is generated power at 125 kW with 220V phase voltage, 50 Hz fundamental frequency and 311V dc bus voltage at normal operation. Fig. 7 is simulation results of the z-source inverter operating at $m_a = 0.80/1.0$, the voltage across C_1 (V_{c1}) which operating at $m_a = 0.8/1.0$. and waveform quality both output voltage and current are very good, probed after the filter circuit as shown in Fig. 7. Fig.7 is simulation results of the z-source inverter operating at $m_a = 0.8/1.0$. As can be seen, the dc voltage across C_1 is increased from 311 V to about 350 V. This operation is boosted the dc voltage bus during shading problem. One can see that the fine quality output voltage of the z-sources inverter is almost the same as illustrated in Fig. 7. The simulation results suggest that the z-source technique can be applied to a grid connected inverter to solve the shading problems.

The experiment validation with a 1 kW phototype is also developed as shown in Fig. 8. The two solar panel was connected in series in order to achieve the 80 Vdc bus voltage. The z-source inverter was connected with the 1-hp induction motor as the load. The results show that the dc voltage bus can boost upto about 1.7 times during the shading condition as shown in Fig. 9.

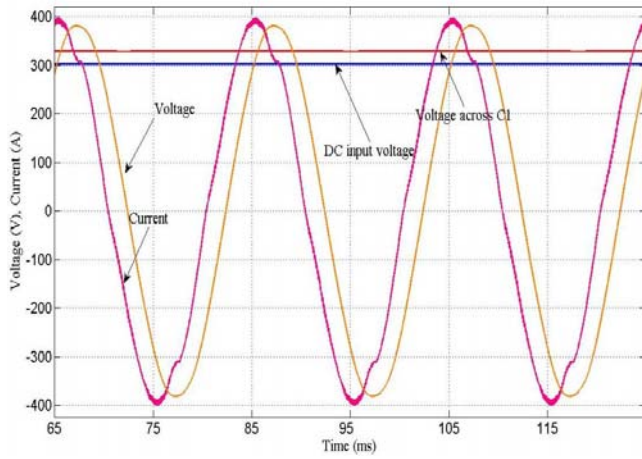


Fig. 7. The voltage across C_1 , V_{C1} , the output voltage and current of the z-source grid-connected inverter operating at $m_a = 0.8/1.0$.

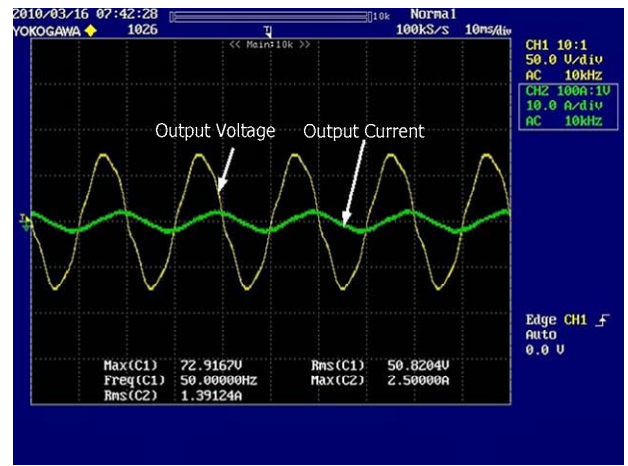


Fig. 10. The output voltage and current of the z-source grid-connected inverter operating at $m_a = 0.8/1.0$.

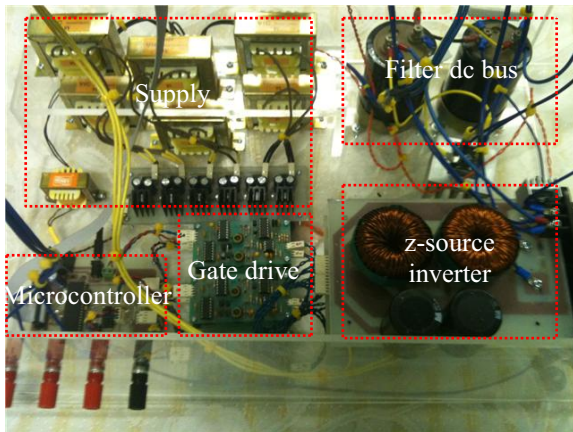


Fig. 8. 1 kW z-source inverter prototype

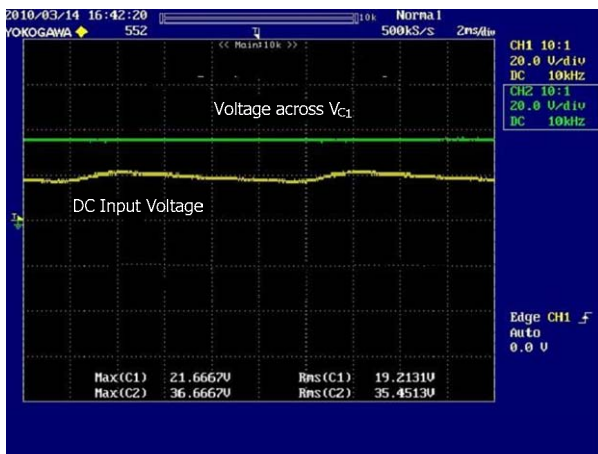


Fig. 9. The voltage across C_1 , V_{C1} , operating at $m_a = 0.8/1.0$

Fig. 10. show that the z-source inverter can supply the induction motor with the fine voltage and current waveform quality. However, the experiment validation for grid-connected application is required to prove the idea which will present in the near future.

V. CONCLUSION

The z-source grid connected inverter has been proposed in this paper. The operation of a grid-connected inverter has been explained. The dc bus voltage boosted capability has been also investigated for this grid-connected application. The design of z-source elements has also been demonstrated including simulation results. The simulation results suggest that the use of z-source technique in a grid-connected inverter could improve the overall grid-connected inverter efficiency and could solve the shading problems; however, the experiment validation is required to prove the idea which will present in the near future.

ACKNOWLEDGEMENT

The authors would like to thank Ministry of Energy Thailand under EPPO Research Grant and Thailand Research Fund under the MRG5280027 contact number.

REFERENCE

- [1] Fang Zheng Peng, "Z-Source Inverter," *IEEE Transactions on Industry Applications*, vol. 39, no.2, March/April 2003.
- [2] Miaosen Shen and Fang Z. Peng, "Operation Modes and Characteristics of the Z-Source Inverter with Small Inductance," *IAS 2005*.
- [3] F. Z. Peng and Miaosen Shen, Zhaoming Qian, "Maximum Boost Control of the Z-source Inverter," *in Proc.of IEEE PESC 2004*.
- [4] S. Rajakaruna and Y. R. L. Jayawickrama, "Designing Impedance Network of Z-Source Inverter,"

A Hybrid Cascaded Multilevel Inverter

Nattapat Praisuwanna², Surin Khomfoi^{1,2}

¹Center of Excellence for Innovative Energy Systems, ²Faculty of Engineering

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Chalongkrung Rd. Ladkrabang, Bangkok, 10520, THAILAND

Abstract- A hybrid cascaded multilevel inverter for interfacing with renewable energy resources is developed. The objective of this research is to propose an alternative topology of hybrid cascaded multilevel inverter applications. The modified PWM technique is also developed to reduce switching losses. Also, the proposed topology can reduce the number of required power switches compared to a traditional cascaded multilevel inverter. PSIM (PowerSim) and Simulink/MATLAB are used to simulate the circuit operation and control signal. The 3-kW prototype is developed. The reduced switching losses of the proposed multilevel inverter are also discussed. The results show that this alternative topology can be applied for high power applications.

I. INTRODUCTION

Renewable energy resources have become an alternative power sources in recent year. Also, power electronics technologies have provided an important improvement of renewable energy applications. Many renewable energy applications will require high power inverters (>50 kW); for instance, a grid connected inverter. Therefore, multilevel inverters are suitable for this application because a multilevel inverter can possibly provide the high voltampere ratings; more specially, in renewable energy applications, a cascaded H-bridge multilevel inverter can be applied to interface a group of batteries, photovoltaic or fuel cells. Generally, three different major multilevel converter structures have been reported in the literature: cascaded H-bridges converter with separate dc sources (SDCS), diode clamped (neutral-clamped), and flying capacitors (capacitor clamped). An advantage and disadvantage of each type of multilevel inverter have been discussed in [1] and will not be repeated here. As explained in [1], a cascaded multilevel inverter may have more potential than others since input SDCS (Photovoltaic and Fuel cell) could be naturally interfaced to the multilevel inverter to provide higher output voltages; this may offer a high transformerless multilevel inverter in a grid connected application. Moreover, a cascaded configuration would provide a possibility to connect a higher SDCS (> 600 VDC) for getting higher output voltages which do not exceed the 600 VDC – to ground as NEC limits. However, a cascaded multilevel inverter contains a lot of power switches and this number of power switches will be depended upon a number of required output voltage levels. Consequently, higher switching losses will be traded off with output voltage quality.

A cascaded hybrid multilevel inverter has been developed from a conventional cascaded multilevel inverter as illustrated in Fig. 1. An IGBT H-Bridge inverter and an IGCT H-Bridge inverter are used as a hybrid multilevel inverter as proposed in

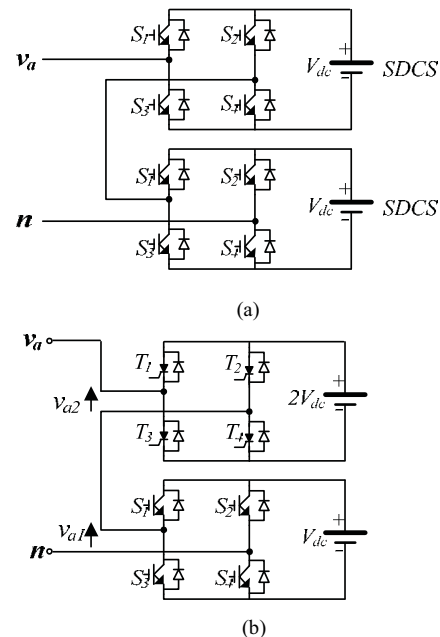


Fig. 1. Single phase cascaded multilevel inverter configuration (a) a conventional multilevel inverter (b) hybrid multilevel inverter using IGCTs and IGBTs.

[2]. The IGCT inverter can be used at higher voltampere rating than the IGBT inverter; however, the IGBT inverter can be operated at higher switching frequency than the IGCT inverter. This illustrates that the hybrid inverter can operate at higher voltampere rating with lower switching losses than a conventional cascaded multilevel inverter. The IGCT inverter can operate at fundamental switching frequency (square wave) and the IGBT inverter can operate at PWM switching mode as clearly explained in [2]. The hybrid inverter proposed in [2] has the same number of power switches compared to a conventional cascaded multilevel inverter. It would be better if we could reduce a number of power switches in a hybrid inverter with the same functionality. The application of hybrid multilevel inverter with a single SDCS can be also applied in vehicle applications as proposed in [3-4].

Therefore, an alternative hybrid multilevel inverter (HMI) is developed as shown in Fig. 2. The HMI consists of two types of inverter: a conventional three phase six switches inverter and a single phase four switches H-bridge inverter. The objective of this proposed HMI is to apply with the renewable energy resources for a high power application; thereupon, two SDCS is used to supply both inverters. The switching paradigm of both inverters will be developed with low switching losses.

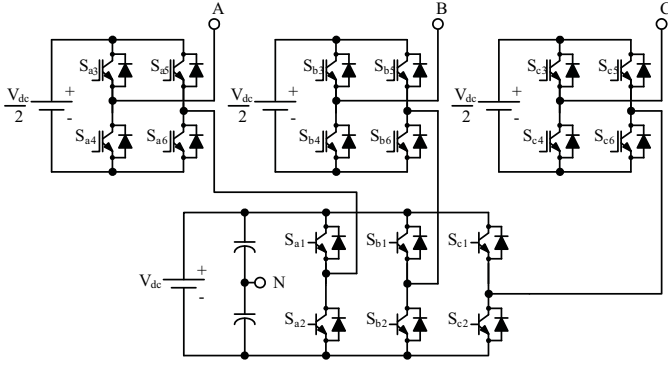


Fig. 2. Proposed three phase cascaded hybrid multilevel inverter.

II. PROPOSED PWM PARADIGM

Before continuing discussion in this research, it should be noted that the word *main inverter* is used to refer to the six-switch three phase inverter and the word *auxiliary inverter* is referred to four-switch H-bridge inverter. Since the low switching losses during PWM operation is required, the main inverter will operate at square wave mode and auxiliary inverter will operate PWM mode as depicted in Fig. 3. In practical, if a single chip is used to generate the PWM signals, it normally has only one carrier signal with six PWM channels; nevertheless, the HMI requires 12 PWM channels for both main and auxiliary inverter. Thereafter, the referent signal of sinusoidal PWM (SPWM) used for the auxiliary inverter is modified by using equation (1)-(4). The multiplexing signals from (3) and (4) are used to fabricate PWM signal by using logic diagram as shown in Table I. and Fig. 4. In this particular application, PIC18F4431 single chip is used to generate the PWM signals incorporating with a CPLD XC9536XL to fabricate the PWM signals for the HMI.

$$f(t) = m_a \sin(\omega t) \quad (1)$$

$$\frac{T_p}{T_c} = \begin{cases} 2 \left(f(t) - \frac{1}{2} \right); & \frac{1}{2} \leq f(t) \leq 1 \\ 2 \left(\frac{1}{2} - f(t) \right); & 0 \leq f(t) \leq \frac{1}{2} \end{cases} \quad (2)$$

$$A_1 = \begin{cases} 1; & f(t) \geq 0 \\ 0; & f(t) < 0 \end{cases} \quad (3)$$

$$A_2 = \begin{cases} 1; & |f(t)| \geq \frac{1}{2} \\ 0; & |f(t)| < \frac{1}{2} \end{cases} \quad (4)$$

when $f(t)$ is Reference signal,
 m_a is Modulation Index (0-1.0),
 A_1 is multiplexing signal #1,
 A_2 is multiplexing signals #2,
 $\frac{T_p}{T_c}$ is Pulse width of PWM (0-1).

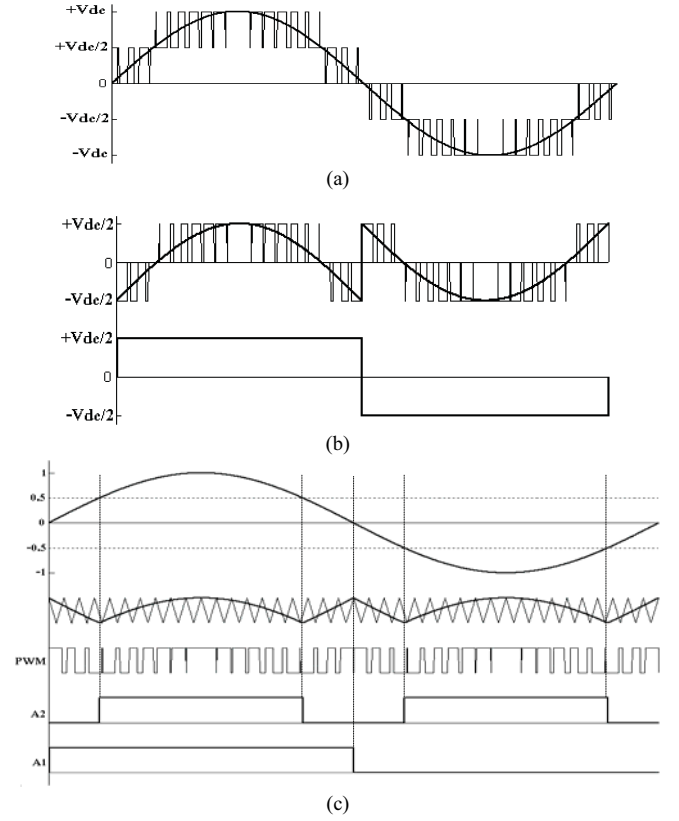


Fig. 3. Proposed PWM paradigm: (a) Output phase voltage, (b) Auxiliary and main inverter output voltages and (c) Modulation signals of both main and auxiliary inverter.

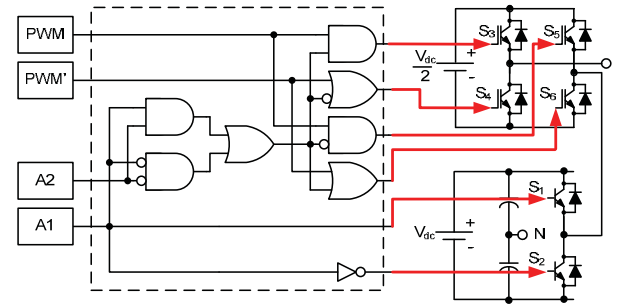


Fig. 4. Logic diagram.

TABLE I.
FABRICATED PWM SIGNAL FOR PROPOSED HYBRID MULTILEVEL INVERTER

S_n	Hybrid PWM mixing operator
S_{A1}	$A1$
S_{A2}	$\overline{A1}$
S_{A3}	$PWM \bullet ((A2 \bullet A1) + (\overline{A2} \bullet \overline{A1}))$
S_{A4}	$PWM' + ((A2 \bullet A1) + (\overline{A2} \bullet \overline{A1}))$
S_{A5}	$PWM \bullet ((A2 \bullet A1) + (\overline{A2} \bullet \overline{A1}))$
S_{A6}	$PWM' + ((A2 \bullet A1) + (\overline{A2} \bullet \overline{A1}))$

III. SIMULATION STUDY

PSIM (Powersim) [5] and MATLAB/Simulink are utilized to create the simulation model. MATLAB/Simulink is used to simulate the control signals and PSIM acts as a hardware prototype. This simulation model could offer the simplicity of a changing control scheme and simple to transfer the control model from simulation to implementation in a single chip. Fundamental output voltages can be controlled by changing a modulation index m_a of referent signal; also, the fundamental output frequency can be adjusted by changing frequency of the referent signal. The simulation results of the proposed hybrid multilevel inverter are illustrated in Fig. 5-7. As can be seen, the simulation model can operate at different modulation indices. The results show that this hybrid can be also applied with traction drive applications. The simulation results on switching losses analysis are also performed to compare between the conventional multilevel inverter and the proposed hybrid multilevel inverter as shown in the table II.

TABLE II.
SWITCHING LOSSES COMPARISON

Switching losses	Proposed HMI (Fig. 2)		Cascaded multilevel inverter Fig. 1 (a)	
	Main inverter	Auxiliary inverter	Lower H-Bridge	Upper H-Bridge
Phase A	25.68	39.786	48.1	40.627
Phase B	25.68	39.782	48.1	40.006
Phase C	25.68	39.785	48.1	40.535
Total	196.393 W		265.542 W	

IV. EXPERIMENTAL SETUP

The 3-kW prototype was developed by using power bipolar junction transistor (BJT) (TOSHIBA MG50G6EL1 50A 600V) in main inverter and IGBT (FAIRCHILD G20N60B30 40A 600V) in auxiliary inverter. The switching power supplies were used as SDCS for supplying dc voltages to HMI. A 1-hp induction motor was used as a load. A Yokogawa oscilloscope incorporating with a PC was used to perform a measurement unit. The experiment setup is shown in Fig. 9. The BJTs were used because the conduction power loss in BJTs is quite small.

Experimental results are illustrated Fig. 10. Fig. 10 (a) shows the output line to neutral voltage and line output current of the proposed HMI operating at unity modulation index. As can be seen, the HMI can operate in PWM mode with a good sinusoidal output current. The output voltage of main and auxiliary inverter is depicted in Fig. 10 (b). Clearly, the main inverter operates at square wave mode, but the auxiliary inverter operates at PWM mode. This operation can reduce the switching frequency losses in the HMI. The experimental results suggest that the proposed HMI can be used with renewable energy resources. It should be noted that, in most cases, the HMI in renewable energy applications may not require a wide range of modulation index; however, a wide range modulation index does require for drive applications. Also, it should be mentioned that this HMI do require a half of dc input voltage of the main inverter supplying to the auxiliary inverter in order to achieve a balance output voltages.

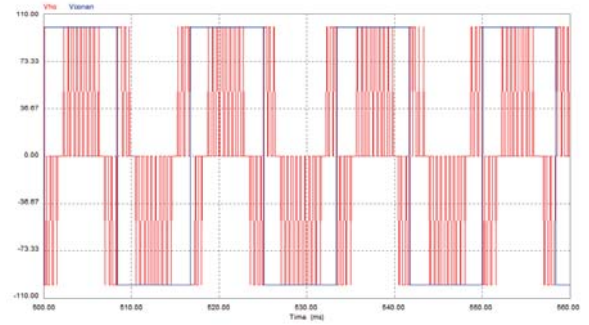


Fig. 5. Output voltage of main and auxiliary inverter operated at m_a 0.9/1.0.

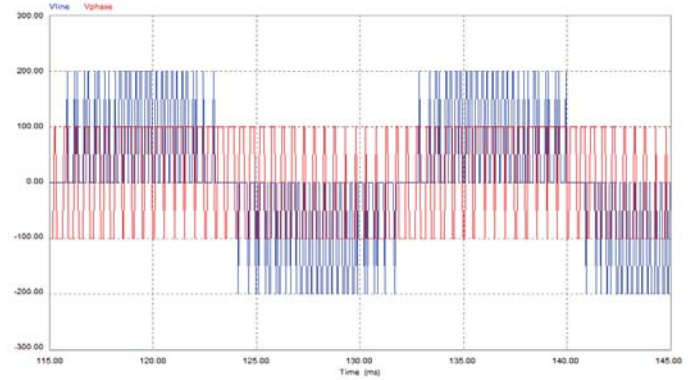


Fig. 7. Line to line and line to neutral Output voltage of the hybrid inverter operated at $m_a = 0.48/1.0$.

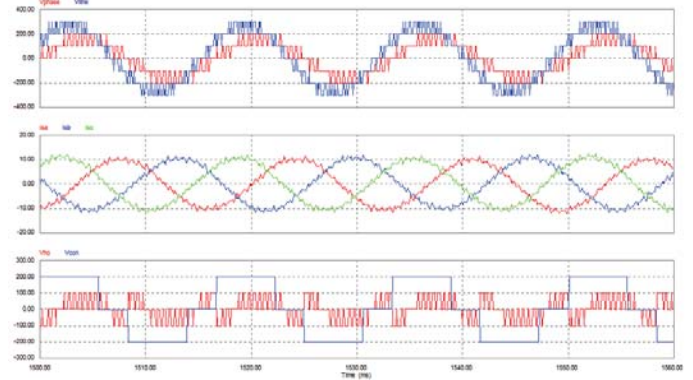
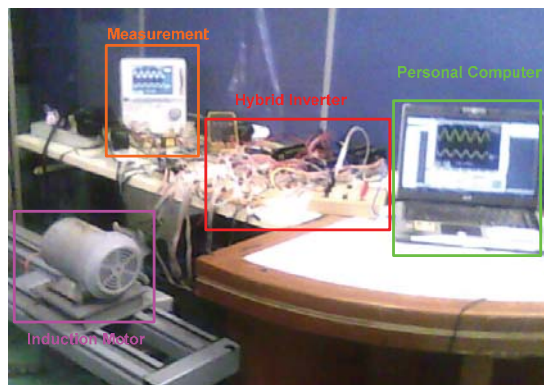
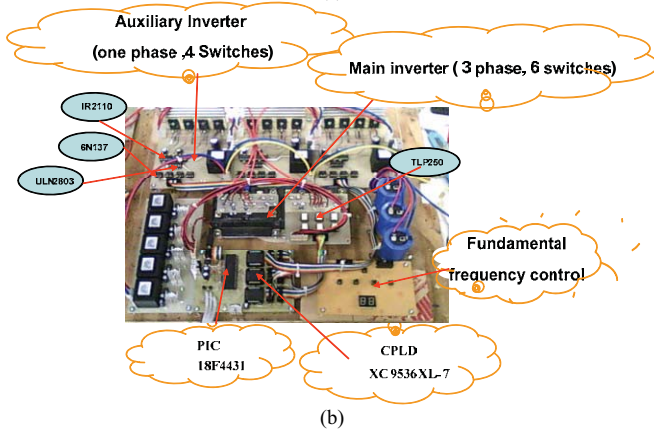


Fig. 8. Line to line and line to neutral Output voltage and output current of the hybrid inverter operated at $m_a = 0.9/1.0$.



(a)



(b)

Fig. 9. Experimental setup: (a) test rig and measurement unit, (b) proposed hybrid multilevel inverter.

V. CONCLUSION

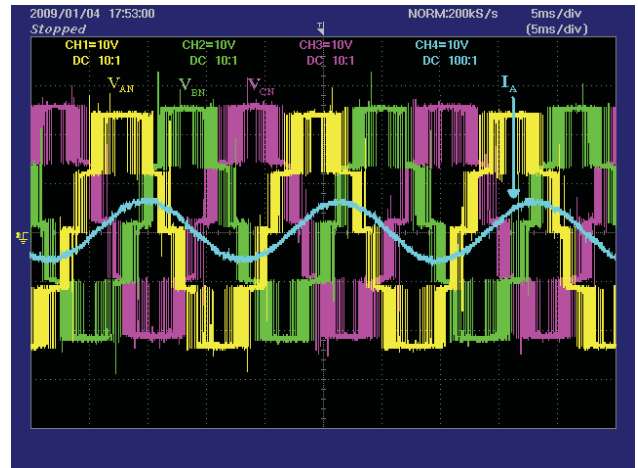
In the conclusion of this summary, the hybrid cascaded multilevel inverter for interfacing with renewable energy resources has been proposed. The modified PWM technique has also been developed to reduce switching losses. Also, the proposed topology can reduce the number of required power switches compared to a traditional cascaded multilevel inverter. Simulation and experimental results have been validated. The results show that this alternative cascaded hybrid multilevel inverter topology can be applied for high power applications as a multilevel inverter and can be used to interface with renewable energy resources.

ACKNOWLEDGEMENT

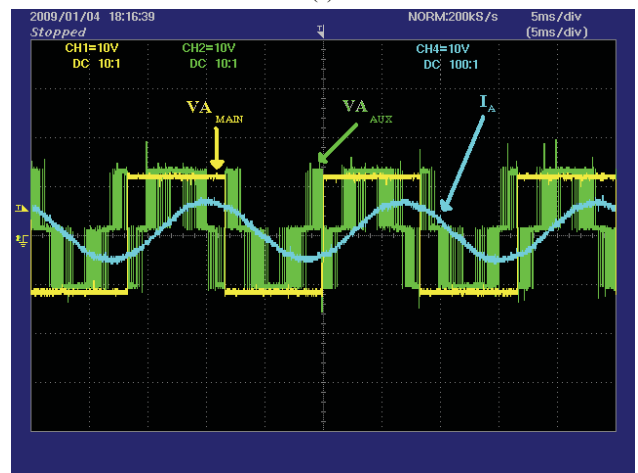
This research is supported by King's Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang Research Fund and Thailand Research Fund under the MRG5280027 contact number.

REFERENCES

- [1] S. Khomfoi, L. M. Tolbert, "Multilevel Power Converters," *Power Electronics Handbook*, 2nd Edition Elsevier, 2007, ISBN 978-0-12-088479-7, Chapter 17, pp. 451-482.
- [2] M. D. Manjrekar, P. Steimer and T. A. Lipo, "Hybrid Multilevel Power Conversion System: A Competitive Solution for High Power Applications," *IEEE Trans. On Industry Applications*, Vol. 36, No. 3, pp. 834-841, May/June 2000.



(a)



(b)

Fig. 10. Experimental results operating at $m_a=1.0/1.0$: (a) Output phase voltages and line current (b) Output voltages of main and auxiliary inverter with line current.

- [3] Z. Du, B. Ozpineci, L. M. Tolbert, J. N. Chiasson, "A Novel Inductorless DC-AC Cascaded H-bridge Multilevel Boost Inverter for Electric/Hybrid Electric Vehicle Applications," *IEEE Industry Applications Society Annual Meeting*, September 23-27, 2007, New Orleans, Louisiana, pp. 603-608.
- [4] H. Liu, L. M. Tolbert, B. Ozpineci, Z. Du, "Comparison of Fundamental Frequency and PWM Methods Applied on a Hybrid Cascaded Multilevel Inverter," *IEEE Industrial Electronics Society Annual Conference*, Orlando, Florida, November 10-13, 2008, pp. 3233-3237.
- [5] Powersim Inc, *PSIM User's Guide Version 6*, Powersim Inc, 2003, <http://www.powersimtech.com>.
- [6] S. Khomfoi, A. Chatrchai, "A 5-Level Cascaded Hybrid Multilevel Inverter for Interfacing with Renewable Energy Resources", *Proceedings of The 2009 Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications, and Information Technology International Conference, (ECTI-CON 2009)*, 6-9 May 2009, Pattaya, Thailand.

The 2010 International Power Electronics Conference - ECCE ASIA -

IPEC-Sapporo 2010

June 21-24, 2010 Sapporo Convention Center, Sapporo, Japan



Illustrated by Mikihiko Matsui

PROCEEDINGS



The Institute of Electrical Engineers of Japan
Industry Applications Society

A Hybrid Cascaded Multilevel Inverter for Interfacing with Renewable Energy Resources

Surin Khomfoi^{1,2}, Nattapat Praisuwanna²

¹Center of Excellence for Innovative Energy Systems, ²Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Chalongkrung Rd. Ladkrabang, Bangkok, 10520, THAILAND

Abstract- A hybrid cascaded multilevel inverter for interfacing with renewable energy resources is developed. The objective of this research is to propose an alternative topology of hybrid cascaded multilevel inverter applications. The modified PWM technique is also developed to reduce switching losses. Also, the proposed topology can reduce the number of required power switches compared to a traditional cascaded multilevel inverter. PSIM (PowerSim) and Simulink/MATLAB are used to simulate the circuit operation and control signal. The 3-kW prototype is developed. The reduced switching losses of the proposed multilevel inverter are also discussed. The results show that this alternative multilevel inverter topology can be applied to interface with renewable energy resources.

I. INTRODUCTION

Renewable energy resources have become an alternative power sources in recent year. Also, power electronics technologies have provided an important improvement of renewable energy applications. Many renewable energy applications will require high power inverters (>50 kW); for instance, a grid connected inverter. Therefore, multilevel inverters are suitable for this application because a multilevel inverter can possibly provide the high voltampere ratings; more specially, in renewable energy applications, a cascaded H-bridge multilevel inverter can be applied to interface a group of batteries, photovoltaic or fuel cells. Generally, three different major multilevel converter structures have been reported in the literature: cascaded H-bridges converter with separate dc sources (SDCS), diode clamped (neutral-clamped), and flying capacitors (capacitor clamped). An advantage and disadvantage of each type of multilevel inverter have been discussed in [1] and will not be repeated here. As explained in [1], a cascaded multilevel inverter may have more potential than others since input SDCS (Photovoltaic and Fuel cell) could be naturally interfaced to the multilevel inverter to provide higher output voltages: this may offer a high transformerless multilevel inverter in a grid connected application. Moreover, a cascaded configuration would provide a possibility to connect a higher SDCS (> 600 VDC) for getting higher output voltages which do not exceed the 600 VDC to ground as NEC limits. However, a cascaded multilevel inverter contains a lot of power switches and this number of power switches will be depended upon a number of required output voltage levels. Consequently, higher switching losses will be traded off with output voltage quality.

A cascaded hybrid multilevel inverter has been developed from a conventional cascaded multilevel

inverter as illustrated in Fig. 1. An IGBT H-Bridge inverter and an IGCT H-Bridge inverter are used as a hybrid multilevel inverter as proposed in [2]. The IGCT inverter can be used at higher voltampere rating than the IGBT inverter; however, the IGBT inverter can be operated at higher switching frequency than the IGCT inverter. This illustrates that the hybrid inverter can operate at higher voltampere rating with lower switching losses than a conventional cascaded multilevel inverter. The IGCT inverter can operate at fundamental switching frequency (square wave) and the IGBT inverter can operate at PWM switching mode as clearly explained in [2]. The hybrid inverter proposed in [2] has the same number of power switches compared to a conventional cascaded multilevel inverter. It would be better if we could reduce a number of power switches in a hybrid inverter with the same functionality. The application of hybrid multilevel inverter with a single SDCS can be also applied in vehicle applications as proposed in [3-4].

Therefore, an alternative hybrid multilevel inverter (HMI) is developed as shown in Fig. 2. The HMI consists of two types of inverter: a conventional three phase six switches inverter and a single phase four switches H-bridge inverter. The objective of this proposed HMI is to apply with the renewable energy resources for a high power application; thereupon, two SDCS is used to supply both inverters. The switching paradigm of both inverters will be developed with low switching losses.

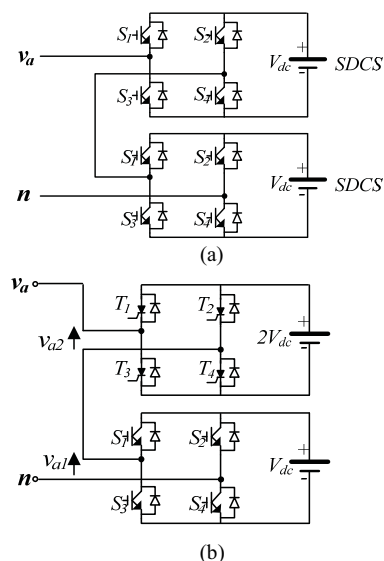


Fig. 1. Single phase cascaded multilevel inverter configuration (a) a conventional multilevel inverter (b) hybrid multilevel inverter using IGCTs and IGBTs.

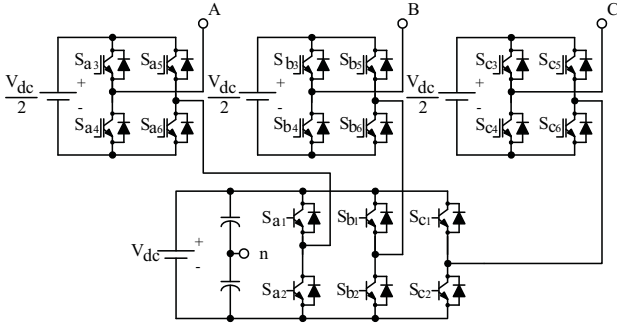


Fig. 2. Proposed three phase cascaded hybrid multilevel inverter.

II. PROPOSED PWM SCHEME

Before continuing discussion in this research, it should be noted that the word *main inverter* is used to refer to the six-switch three phase inverter and the word *auxiliary inverter* is referred to four-switch H-bridge inverter. Since the low switching losses during PWM operation is required, the main inverter will operate on square wave mode and auxiliary inverter will operate on PWM mode as depicted in Fig. 3. In practical, if a single chip is used to generate the PWM signals, it normally has only one carrier signal with six PWM channels; nevertheless, the HMI requires 12 PWM channels for both main and auxiliary inverter. Thereafter, the referent signal of sinusoidal PWM (SPWM) used for the auxiliary inverter is modified by using equation (1)-(4). The multiplexing signals from (3) and (4) are used to fabricate PWM signal by using logic diagram as shown in Table I. and Fig. 4. In this particular application, PIC18F4431 single chip is used to generate the PWM signals incorporating with a CPLD XC9536XL to fabricate the PWM signals for the proposed HMI.

$$f(t) = m_a \cdot \sin(\omega t) \quad (1)$$

$$\frac{T_p}{T_c} = \begin{cases} 2\left(f(t) - \frac{1}{2}\right); & \frac{1}{2} \leq f(t) \leq 1 \\ 2\left(\frac{1}{2} - f(t)\right); & 0 \leq f(t) \leq \frac{1}{2} \end{cases} \quad (2)$$

$$A_1 = \begin{cases} 1; & f(t) \geq 0 \\ 0; & f(t) < 0 \end{cases} \quad (3)$$

$$A_2 = \begin{cases} 1; & |f(t)| \geq \frac{1}{2} \\ 0; & |f(t)| < \frac{1}{2} \end{cases} \quad (4)$$

where $f(t)$ is a referent signal,
 m_a is modulation Index (0.0/1.0-1.0/1.0),
 A_1 is a multiplexing signal #1,
 A_2 is a multiplexing signals #2,
 $\frac{T_p}{T_c}$ is pulse width of PWM (0.0-1.0).

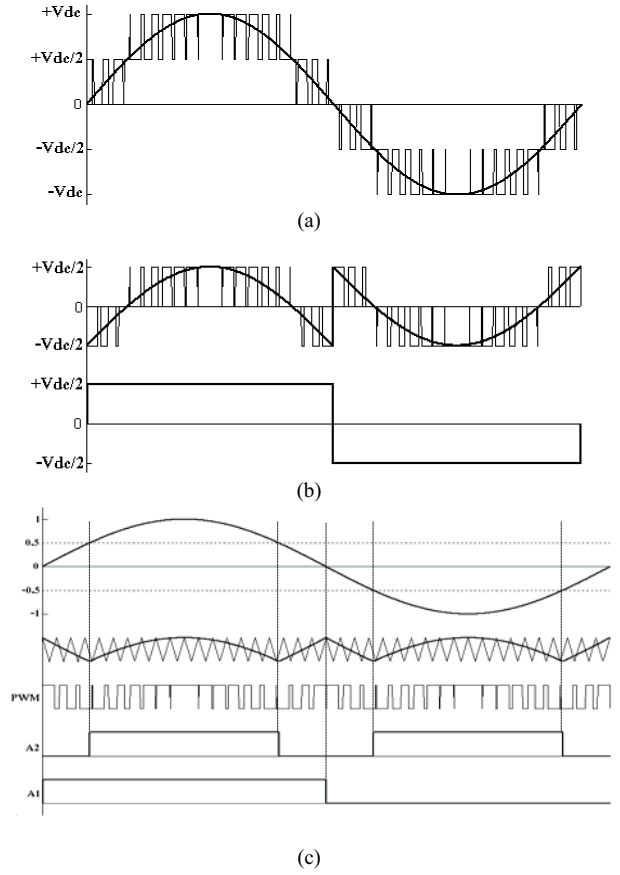


Fig. 3. Proposed PWM paradigm: (a) output phase voltage, (b) auxiliary and main inverter output voltages and (c) modulation signals of both main and auxiliary inverter.

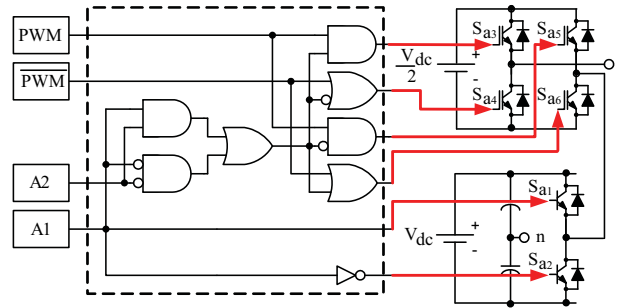


Fig. 4. Logic diagram.

TABLE I.
FABRICATED PWM SIGNAL FOR PROPOSED HYBRID MULTILEVEL INVERTER

S_n	Hybrid PWM mixing operator
S_{A1}	$A1$
S_{A2}	$\overline{A1}$
S_{A3}	$PWM \bullet ((A2 \bullet A1) + (\overline{A2} \bullet \overline{A1}))$
S_{A4}	$\overline{PWM} + ((A2 \bullet A1) + (\overline{A2} \bullet \overline{A1}))$
S_{A5}	$PWM \bullet ((A2 \bullet A1) + (\overline{A2} \bullet \overline{A1}))$
S_{A6}	$\overline{PWM} + ((A2 \bullet A1) + (\overline{A2} \bullet \overline{A1}))$

III. SIMULATION STUDY

PSIM (Powersim) [5] and MATLAB/Simulink are utilized to create the simulation model. MATLAB/Simulink is used to simulate the control signals and PSIM acts as a hardware prototype. This simulation model could offer the simplicity of a changing control scheme and simple to transfer the control model from simulation to implementation in a single chip. Fundamental output voltages can be controlled by changing a modulation index (m_a) of referent signal; also, the fundamental output frequency can be adjusted by changing frequency of the referent signal.

The simulation results of the proposed hybrid multilevel inverter are illustrated in Fig. 5-7. As can be seen, the simulation model can operate at different modulation indices. The simulation results on switching losses are also performed to compare between the conventional multilevel inverter (Fig. 1.(a)) and the proposed hybrid multilevel inverter as shown in the Table II. The simulation study shows that switching losses of proposed HMI are less than the conventional multilevel

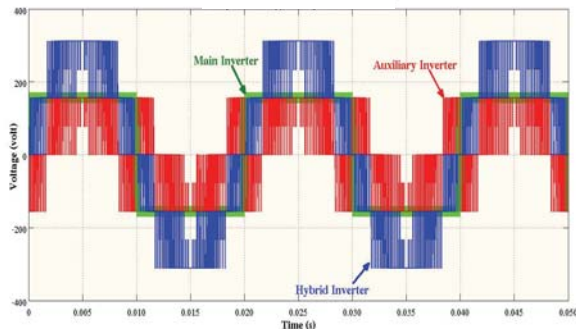


Fig. 5. Output voltage of main and auxiliary inverter operated at $m_a = 0.9/1.0$.

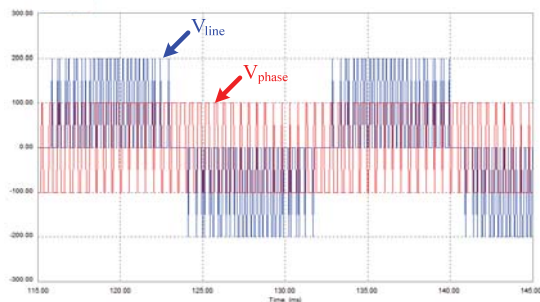


Fig. 6. Line to line and line to neutral output voltage of the hybrid inverter operated at $m_a = 0.48/1.0$.

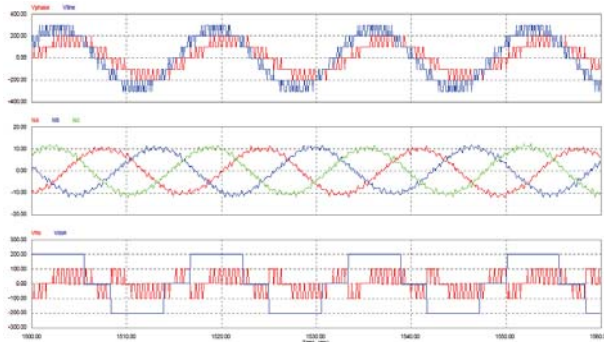


Fig. 7. Line to line and line to neutral output voltage and output current of the hybrid inverter operated at $m_a = 0.9/1.0$.

inverter. This result illustrates that the system efficiency could improve by using the proposed HMI.

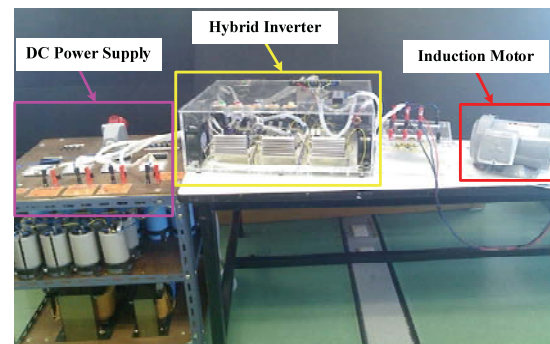
TABLE II.
SIMULATION RESULT ON SWITCHING LOSSES COMPARISON

Switching losses	Proposed HMI (Fig. 2)		Cascaded multilevel inverter Fig. 1 (a)	
	Main inverter	Auxiliary inverter	Lower H-Bridge	Upper H-Bridge
Phase A	25.68	39.786	48.1	40.627
Phase B	25.68	39.782	48.1	40.006
Phase C	25.68	39.785	48.1	40.535
Total	196.393 W		265.542 W	

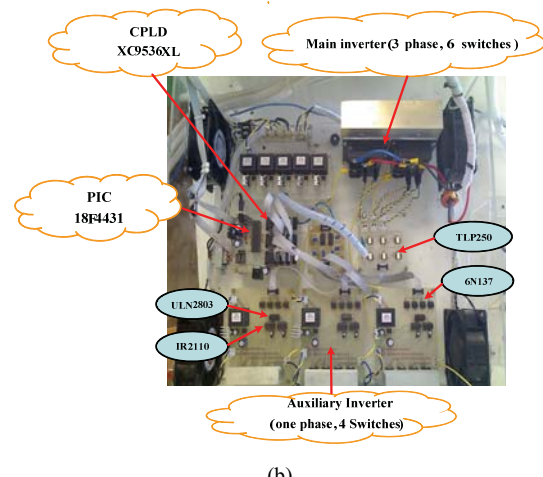
IV. EXPERIMENTAL SETUP AND RESULTS

The 3-kW prototype was developed by using power bipolar transistor (TOSHIBA MG50G6EL1 50A 600V) in main inverter and IGBT (FAIRCHILD G20N60B30 40A 600V) in auxiliary inverter. The switching power supplies were used as SDCS for supplying dc voltages to the HMI. An 1-hp induction motor was used as a load. A Yokogawa oscilloscope incorporating with a PC was used to perform a measurement unit. The experimental setup is shown in Fig. 8.

Experimental results are illustrated Fig.9 (a) shows the output line to neutral voltage and line output current of the proposed HMI operating at unity modulation index. As can be seen, the HMI can operate in PWM mode with an output current. The output voltage of main and auxiliary inverter are depicted in Fig. 9 (b). Clearly, the



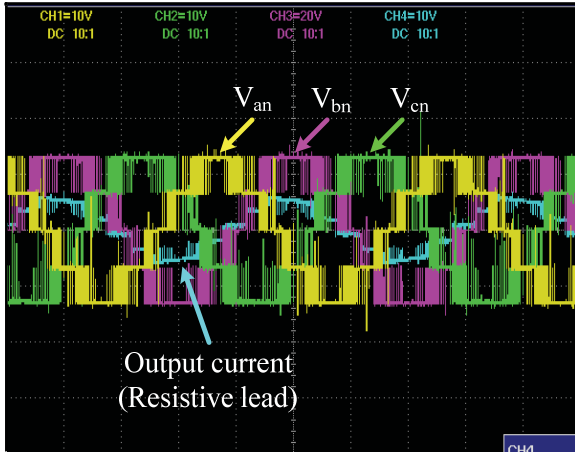
(a)



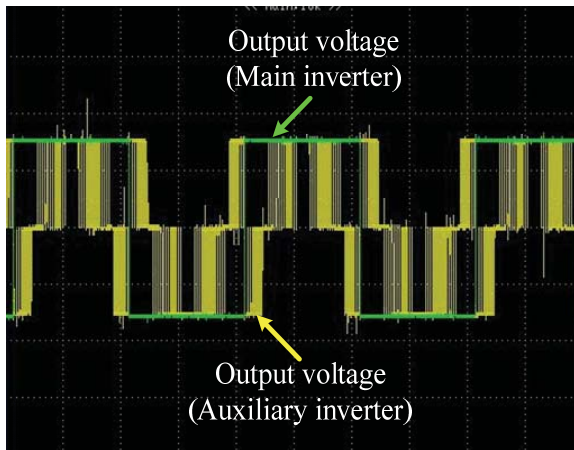
(b)

Fig. 8. Experimental setup: (a) connected with load and measurement unit, (b) proposed hybrid multilevel inverter.

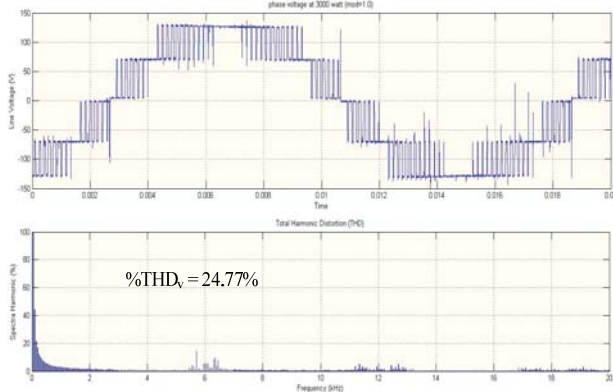
main inverter operates on square wave mode, but the auxiliary inverter operates on PWM mode. The output waveform quality in PWM mode is shown in Fig 9 (c). The output voltages of the HMI with different m_a operation are shown in Fig. 10. One can see that the fundamental output voltage can be controlled by adjusting m_a : this imply that the HMI can also be applied in traction drives requiring V/f control mode.



(a)



(b)

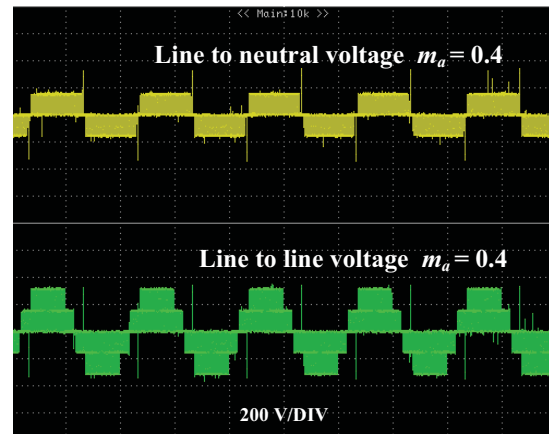


(c)

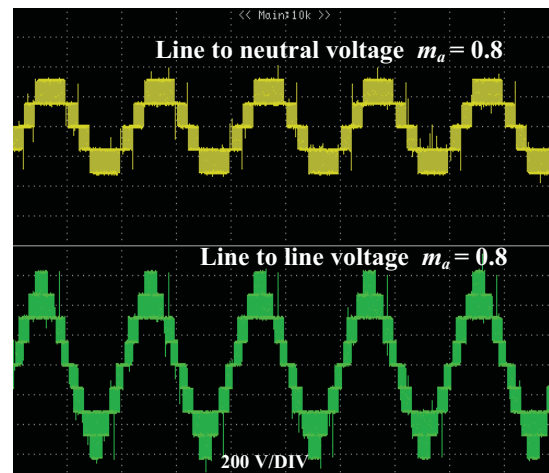
Fig. 9. Experimental results operating at $m_a=1.0/1.0$: (a) output phase voltages and line current (b) output voltages of main and auxiliary inverter (c) waveform quality of output voltage.

The proposed HMI efficiency is evaluated as illustrated in Fig. 11. and Fig. 12. The voltage, current and power waveform on the dc side are shown in Fig. 11., whereas the voltage, current and power waveform on the ac side are depicted in Fig. 12. The power consumption operating at unity modulation index on dc and ac side is summarized in Table III. The result show that the proposed HMI efficiency is about 97.33% in this particular load condition. As can be seen, the proposed HMI can be applied with renewable energy resources ; more specially, multiple separated dc sources is available. For instance, a battery or fuel cell can interface with main inverter and ultra capacitor or photovoltaic cell can also connect to auxiliary inverter.

By utilizing the proposed HMI, the very good output voltage waveform quality with high inverter efficiency can be achieved. It should be noted that, in most cases, the HMI in renewable energy applications may not require a wide range of modulation index; however, a wide range modulation index does require for drive applications. Also, it should be mentioned that this HMI does require a half of dc input voltage of the main inverter supplying to the auxiliary inverter in order to achieve a balance output voltages.

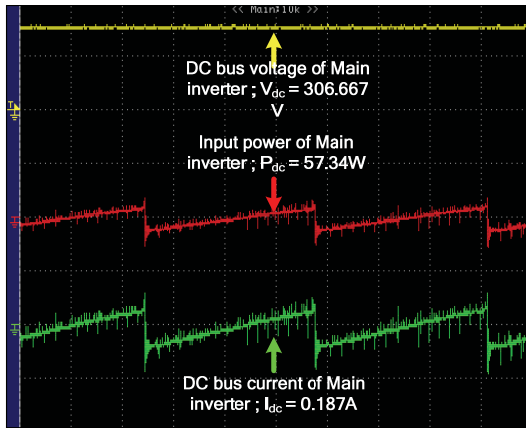


(a)

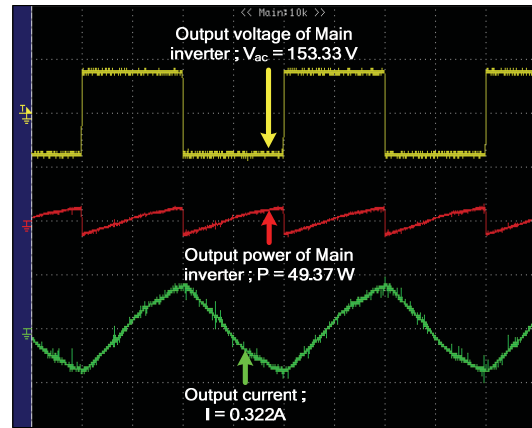


(b)

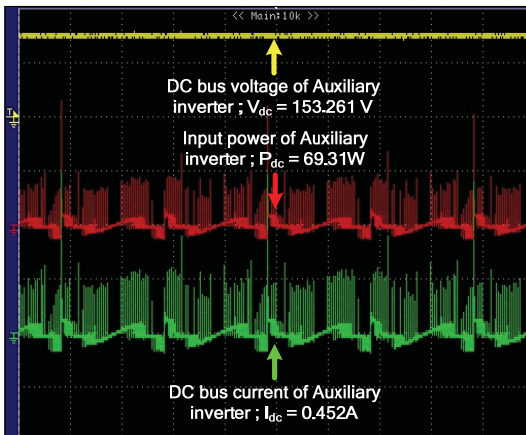
Fig. 10. Line to neutral and line to line voltage: (a) operating at $m_a = 0.4$, (b) operating at $m_a = 0.8$.



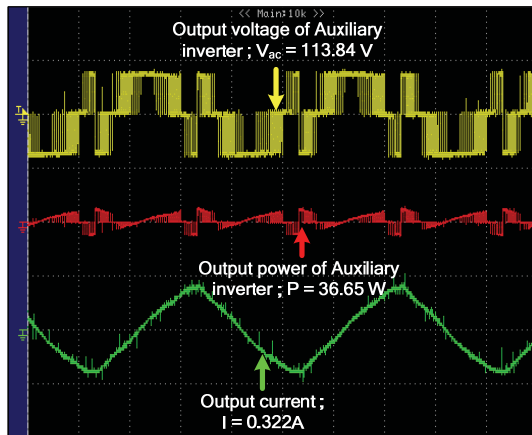
(a)



(a)



(b)



(b)

Fig. 11. Voltage, current and power waveform operating at $m_a = 1.0/1.0$ for dc side: (a) main inverter, (b) auxiliary inverter.

Fig. 12. Voltage, current and power waveform operating at $m_a = 1.0/1.0$ for ac side: (a) main inverter, (b) auxiliary inverter.

TABLE III
EFFICIENCY EVALUATION OF PROPOSED HYBRID MULTILEVEL INVERTER

Description	dc side		ac side	
	Main inverter	Auxiliary inverter	Main inverter	Auxiliary inverter
Voltage	306.667 V _{dc}	153.261 V _{dc}	153.33 V _{rms}	113.84 V _{rms}
Current	0.187 A _{dc}	0.452 A _{dc}	0.322 A _{rms}	0.322 A _{rms}
Single phase power	19.11 W	69.27 W	49.37 W	36.65 W
Three phase power	57.34 W	207.81 W	148.12 W	109.95 W
Total Power	265.15 W		258.07 W	
Total losses	7.08 W			
% losses	2.67 %			

V. CONCLUSION

The hybrid cascaded multilevel inverter for interfacing with renewable energy resources has been proposed. The modified PWM technique has also been developed to reduce switching losses. Also, the proposed topology can reduce the number of required power switches compared to a traditional cascaded multilevel inverter. Simulation and experimental results have been validated including efficiency evaluation. The switching losses of the HMI are less than the conventional multilevel inverter; consequently, the system efficiency would be improved by utilizing the HMI. In addition, 97.33% inverter efficiency has been achieved based on this particular load condition. The results show that this alternative cascaded hybrid multilevel inverter topology can be applied for high power applications as a multilevel inverter and can be used to interface with renewable energy resources.

ACKNOWLEDGEMENT

This work is supported by King's Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang Research Fund and Thailand Research Fund under MRG5280027 contact number.

REFERENCES

- [1] S. Khomfoi, L. M. Tolbert, "Multilevel Power Converters," *Power Electronics Handbook*, 2nd Edition Elsevier, 2007, ISBN 978-0-12-088479-7, Chapter 17, pp. 451-482.
- [2] M. D. Manjrekar, P. Steimer and T. A. Lipo, "Hybrid Multilevel Power Conversion System: A Competitive Solution for High Power Applications," *IEEE Trans. On Industry Applications*, Vol. 36, No. 3, pp. 834-841, May/June 2000.
- [3] Z. Du, B. Ozpineci, L. M. Tolbert, J. N. Chiasson, "A Novel Inductor-less DC-AC Cascaded H-bridge Multilevel Boost Inverter for Electric/Hybrid Electric Vehicle Applications," *IEEE Industry Applications Society Annual Meeting*, September 23-27, 2007, New Orleans, Louisiana, pp. 603-608.
- [4] H. Liu, L. M. Tolbert, B. Ozpineci, Z. Du, "Comparison of Fundamental Frequency and PWM Methods Applied on a Hybrid Cascaded Multilevel Inverter," *IEEE Industrial Electronics Society Annual Conference*, Orlando, Florida, November 10-13, 2008, pp. 3233-3237.
- [5] Powersim Inc, *PSIM User's Guide Version 6*, Powersim Inc, 2003, <http://www.powersimtech.com>.
- [6] S. Khomfoi, A. Chatrchai, "A 5-Level Cascaded Hybrid Multilevel Inverter for Interfacing with Renewable Energy Resources", Proceedings of The 2009 Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications, and Information Technology *International Conference*, (ECTI-CON 2009), 6-9 May 2009, Pattaya, Thailand.

Tutorials | Technical Sessions | Exhibits | Rap Sessions



September 12-16, 2010 | Atlanta, Georgia | Hilton Atlanta Hotel

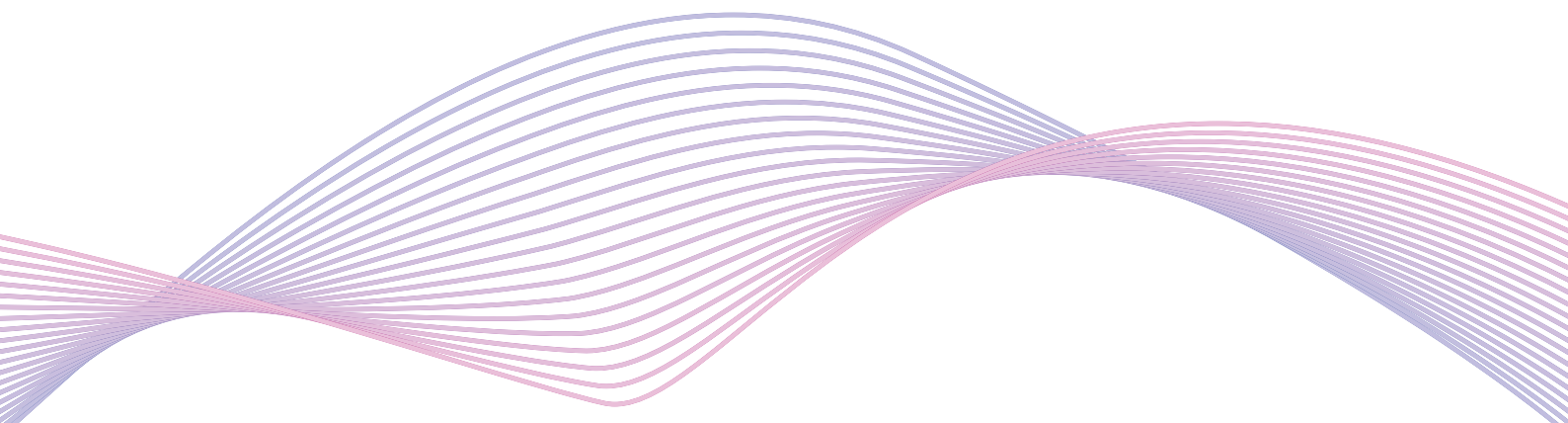
IEEE ENERGY CONVERSION CONGRESS & EXPO



Sponsored by the IEEE Power Electronics and Industry Applications Societies

ECCE 2010 would like to express our gratitude for the generous support received from the following media partners:





Welcome Letter.....	2
Leadership.....	3
Detailed Schedule.....	4
Maps (i.e. hotel floorplan).....	18
Registration Services.....	19
Message & Information Center.....	19
General Information.....	20
Accessibility.....	20
Business Center.....	20
Cyber Café/Internet Access.....	20
Cameras & Recording Devices.....	20
Hotels.....	20
Local Transportation.....	20
Parking.....	20
Lost & Found.....	20
Meals & Refreshments.....	20
Special Events.....	21
Presenter Information.....	22
Committee Meetings.....	23
Plenary Session.....	24
Tutorials.....	25
Rap Sessions.....	28
Technical Program Schedule.....	29
Expo.....	62
Expo Hall Floorplan.....	62
Expo Exhibitors.....	63
Exhibitor Directory.....	63
Schedule at a Glance.....	Back Cover



It gives me great pleasure to be able to welcome you to Atlanta for the 2nd Annual IEEE Energy Conversion Conference and Exhibition. As we hope this is now widely known, this conference is the merging of the PELS Power Electronics Specialist Conference and the Industrial Power Conversion Systems Department sessions of the IAS Annual Meetings. The broad size, appeal and quality of ECCE are a testament to the cooperation and strategic planning of both organizations. Since this is only the second year for ECCE, the conference is still in its “transient” state. We are making every attempt to give ECCE its own “look and feel” that will continue to attract attendees to the very important event for years to come. It is hoped that year’s technical program of around 675 papers from around the world and from many varying organizations will stimulate technical interactions and learning. We are very pleased to have a full program of a large number of oral papers, a much smaller number of poster papers, tutorials, rap sessions, meetings, and an exhibition. The plenary session has been planned to give members the view of industrial and thought leaders in our technology. It is my hope that we can all be proud of ECCE, as it strives to be the preeminent conference in energy conversion technologies.

This year’s ECCE 2010 will also incorporate the programs previously featured at the IEEE Energy 2030 conference. Held in 2008, the IEEE Energy 2030 conference provided a forum for experts from a broad range of disciplines to discuss the technology, policy and economic framework required for the creation of a global sustainable energy. The incorporation of IEEE Energy 2030 has led to a new Energy Public Policy and Economics Track at ECCE (*Sessions 5,15,25,125,139*). The track will explore the intersection of technology, policy and economics. Presenters include some familiar faces to ECCE as well as public policy experts and systems engineers. Also, an Industry Panel (*Session 62, Wednesday 8:00 - 9:40 am*) has been created, providing

an opportunity for business leaders in the sustainable energy space to discuss the latest challenges and opportunities in this sector. Given the dynamics of policies and technology in this sector, we think this will be especially useful to attendees.

I would also like to welcome everyone to Atlanta, Georgia, USA, the so-called “Capital of the South.” Atlanta is home to companies such as Coca-Cola, CNN, United Parcel, and AT&T. In addition to industry, Atlanta is also a high tech center with the Georgia Institute of Technology, Emory University, and the US Centers for Disease Control and Prevention. Visitors to Atlanta can experience a diverse and thriving cultural scene at the city’s many theaters, museums, galleries, concert halls and family attractions. To enjoy Atlanta’s present, one must experience the city’s past. From Atlanta’s role in the Civil War, to the Civil Rights movement, to the 1996 Centennial Olympic Games, Atlanta’s historical attractions promise both education and entertainment.

Finally, I would like to thank all the members of the organizing committee, the program chairs and vice chairs, the program committee (over 1000 reviewers), the authors and the professionals at Courtesy Associates for their efforts in putting together this event. I hope that you enjoy this important technical meeting in a most timely and exciting field!



Tom Habetler
2010 IEEE ECCE General Chair

Organizing Committee

General Chair

Tom Habetler, Georgia Tech, School of Electrical and Computer Engineering, USA

Vice Chair

Ron Harley, Georgia Tech, School of Electrical and Computer Engineering, USA

Program Chairs

John Shen, School of Electrical Engineering and Computer Science University of Central Florida, USA

Pete Wung, A.O. Smith Electrical Products Company, USA

Exhibition Chair

Uday Deshpande, General Atomics Electromagnetic Systems, USA

Industry Program Chair

Deepak Divan, Georgia Tech, School of Electrical and Computer Engineering, USA

Finance Chair

Mark Nelms, Department of Electrical & Computer Engineering, Auburn University, USA

Tutorial Chair

Phil Krein, University of Illinois at Urbana-Champaign, USA

Conference Web Chair

Leon Tolbert, The University of Tennessee, Electrical and Computer Engineering, USA

Publicity Chair

Bin Lu, Eaton Corporation – Innovation Center, USA

Awards Chair

Mohammad Islam, Nexteer Automotive, USA

Publications Chair

Enrico Santi, The University of South Carolina, College of Engineering and Computing, USA

Rap Sessions Chair

Jerry Hudgins, College of Engineering, University of Nebraska-Lincoln, USA

Dean Patterson, FASCO, Australia

Plenary Session Chairs

R. Steve Colby, Schneider Electric, USA

George Gao, Schneider Electric, USA

Program Subcommittees

Sustainable Energy Applications

Dehong (Mark) Xu (Vice Chair), Zhejiang University, China

Sudip Mazumder (Vice Chair), University of Illinois-Chicago, USA

Burak Ozturk, Oak Ridge National Labs, USA

Robert Chin, ABB, Sweden

Pat Wheeler, University of Nottingham, UK

Naaser Kutkut, University of Central Florida, USA

Robert Balog, Texas A&M University, USA

Annette von Jouanne, Oregon State University, USA

Ted Brekken, Oregon State University, USA

Madhav D. Manjrekar, Siemens, USA

Liuchen Chang, University of New Brunswick, Canada

Francisco Canales, ABB, Switzerland

Zhe Chen, Aalborg University, Denmark

Subhashish Bhattacharya, North Carolina State University, USA

Energy Efficiency and Industrial Applications

Po-Tai Cheng (Vice Chair), National Tsinghua University, Taiwan

William Peterson (Vice Chair), E & M Power, USA

Stefan Schröder, GE Global Research, Germany

Haidong Yu, John Deere Corporation, USA

Ahmed Zobaa, Brunel University, UK

Caisheng Wang, Wayne State University, USA

Kevin Lee, Eaton Corporation, USA

Jo Olsen, Sylvania, USA

Tsornng-Juu (Peter) Liang, National Cheng Kung University, Taiwan

Annabelle Pratt, Intel Corporation, USA

Richard Wallace, Whirlpool Corporation, USA

Transportation Applications

Ali Emadi (Vice Chair), Illinois Institute of Technology, USA

Gui-Jia Su, Oak Ridge National Laboratories, USA

Anand Sathyan, Chrysler LLC, USA

Srdjan Lukic, North Carolina State University, USA

Sewan Choi, Seoul National University of Technology, Korea

Suresh Gopalakrishnan, General Motor, USA

Zareh Soghomonian, BMT Syntek Technologies, USA

Mahesh Krishnamurthy, Illinois Institute of Technology, USA

Energy Public Policy, Economics, and Business Perspectives

Deepak Divan (Vice Chair), Georgia Institute of Technology, USA

Frank Kreikebaum, Georgia Institute of Technology, USA

Adam Skorek, University of Quebec, Canada

Ahmed Zobaa, University of Exeter, UK

DC-DC Converters

Dragan Maksimovic (Vice Chair), University of Colorado, USA

Yanfei Liu (Vice Chair), Queen's University, Canada

Javier Sebastián, Universidad de Oviedo, Spain

Jaber Abu-Qahouq, University of Alabama, USA

Zhiliang Zhang, Nanjing University of Aero and Astronautics, China

Oscar García Suárez, UPM, Spain

Tsornng-Juu (Peter) Liang, National Cheng Kung University, Taiwan

Gerry Moschopoulos, University of Western Ontario, Canada

Regan Zane, University of Colorado, USA

Matthew Wilkowsky, Empirion, USA

AC-DC Rectifiers

Jian Sun (Vice Chair), Rensselaer Polytechnic Institute, USA

Rolando Burgos, ABB, USA

Min Chen, National Semiconductor, USA

Mohamed Orabi, South Valley University, Egypt

Xiong Du, Chongqing University, China

Yongsug Suh, Chonbuk National University, South Korea

Thomas Nussbaumer, Levitronix, Switzerland

DC-AC Inverters

Fang Peng (Vice Chair), Michigan State University, USA

Edison Da Silva, Federal University of Campina Grande, Brazil

Bingsen Wang, Michigan State University, USA

Hideaki Fujita, Tokyo Institute of Technology, Japan

Gui-jia Su, Oak Ridge National Laboratories, USA

Andrew Loh, Nanyang Technological University, Singapore

Jin Wang, Ohio State University, USA

Madhav Manjrekar, Siemens, USA

Toshihisa Shimizu, Tokyo Metropolitan University, Japan

AC-AC Converters

Lixiang Wei (Vice Chair), Rockwell Automation, USA

Pat Wheeler, University of Nottingham, UK

Robert Balog, Texas A&M University, USA

Rolando Burgos, ABB, USA

Bingsen Wang, Michigan State University, USA

Electric Machines

Aldo Boglietti (Vice Chair), Politecnico di Torino, Italy

Mircea Popescu (Vice Chair), Motor Design Ltd., UK

Emmanuel Agamloh, Advanced Energy Corporation, USA

Andy Knight, University of Alberta, Canada

Dan Ionel, VESTAS, USA

Ayman El-Refaie, GE Global Research Center, USA

Francesco Cupertino, Politecnico di Bari, Italy

Yoshiaki Kano, Nagoya Toyota National College of Technology, Japan

Akira Chiba, Tokyo University of Science, Japan

David Dorrell, University of Technology Sydney, Australia

Andrea Cavagnino, Politecnico di Torino, Italy

Lee Sang Bin, Korea University, South Korea

Electric Drives

Alfio Consoli (Vice Chair), University of Catania, Italy

Yen-Shin Lai (Vice Chair), National Taipei Institute of Technology, Taiwan

Michael Harke (Vice Chair), Danfoss Power Electronics, USA

Nicola Bianchi, University of Padova, Italy

Radu Bojoi, Politecnico di Torino, Italy

Ranga Tallam, Rockwell Automation, USA

Fernando Briz, University of Oviedo, Spain

Gianmario Pellegrino, Politecnico di Torino, Italy

Parag Kshirsagar, United Technologies Research Center, USA

Mario Pacas, University of Siegen, Germany

Components, Materials, Packaging, and Other Enabling Technologies

Adam Konopka (Vice Chair), Hamilton Sundstrand, USA

Angus Bryant (Vice Chair), University of Warwick, UK

Charlie Sullivan, Dartmouth College, USA

J. Braham Ferreira, Delft University of Technology, Netherlands

Jean-Luc Schanen, G2E Lab, France

Adam Skorek, University of Quebec, Canada

Z. John Shen, University of Central Florida, USA

Other Energy Conversion Related Topics

Z. Qiang Zhu (Vice Chair), University of Sheffield, UK

Ayman El-Refaie (Vice Chair), General Electric, USA

Chunbo Zhu (Vice Chair), Harbin Institute of Technology, China

SATURDAY, SEPTEMBER 11, 2010

3:00 pm – 5:00 pm Registration Open..... Prefunction South

SUNDAY, SEPTEMBER 12, 2010

7:00 am – 7:00 pm Registration Open..... Prefunction South

Tutorials Group 1 • 8:30 am – 12:00 pm			
	Room 201	Room 202	Room 203
T1-1 Medium Voltage Drives		T1-2 Photovoltaic Microinverters: Topologies, Control Aspects, Reliability Issues, and Applicable Standards	
			T1-3 Understanding IGBT Modules Used in Energy Conversion
			T1-4 Advanced Thermal Management Materials for Energy Conversion

12:00 pm – 1:00 pm Lunch on Own

Tutorials Group 2 • 1:00 pm – 5:00 pm			
	Room 201	Room 202	Room 203
T2-1 Design and Control of Permanent Magnet Machines for Geared and Gearless Applications			
		T2-2 Introduction to LED Lighting Systems and Their Power Electronic Drivers	
			T2-3 Digital PWM for DC to AC Conversion
			T2-4 Grid Converters for PV and Wind Turbine Systems

4:30 pm – 5:00 pm New to ECCE/PELS/IAS Reception (for those new to the organizations)..... Grand Ballroom West (C/D)

5:00 pm – 7:00 pm Opening Reception..... Grand Ballroom West (C/D)

MONDAY, SEPTEMBER 13, 2010

7:00 am – 7:00 pm Registration Open..... Prefunction South

8:00 am – 10:00 am Plenary Session..... Grand Ballroom East (A/B)

10:00 am – 10:20 am AM Break..... Grand Salon Prefunction Area

Breakout Sessions • 10:20 am – 12:00 pm									
Room 201	Room 202	Room 203	Room 204	Room 205	Room 206	Room 207	Grand Ballroom C	Grand Ballroom D	Grand Ballroom East
S1 Electric Machines: Induction Machines	S2 DC-AC Inverters: Grid Connected Inverters I	S3 Energy Efficiency and Industrial Applications: Power System Fault Isolation	S4 Enabling Technologies: Power Semiconductors I	S5 Energy Public Policy and Economics: Intersection of Technology and Policy	S6 Sustainable Energy Applications: Active Power Filters	S7 Energy Efficiency and Industrial Applications: LED Lighting I	S8 Electric Drives: Direct Torque Control	S9 DC-DC Converters: Digital Control I	S10 DC-DC Converters: Synchronous Rectifier Converters
A Frequency Demodulation Approach to Induction Motor Speed Detection	Modularized Bidirectional Grid-tied Inverter with Asynchronous Sigma-delta Modulation	Inverter-based versus Synchronous-based Distributed Generation; Fault Current Limitation and Protection Issues	Electromechanical Characterization of "Flying" Planar Gate Punch through IGBT Bare Die	Power Electronics for Sustainable Energy Future — Quantifying the Value of Power Electronics	Reactive Power Compensation and Harmonics Elimination at Medium-voltage Using Hexagram Converter	Resonant Assisted Buck Converter for Off-line Driving of High Brightness LED Replacement Lamps	A Novel Control Scheme for Wide Speed Range Operation of Direct Torque Controlled Synchronous Reluctance Motor	An Adaptive Digital PID Controller Scheme for Power Converters	Design Considerations of a Self-biased Current Driven SR in DCM Flyback DC-DC Converter
Optimal Split Ratio for High Speed Induction Machines	Predictive Digital Controlled Three Phase Bidirectional Inverter with Wide Inductance Variation	Protection of Meshed Microgrids with Communication Overlay	Robustness Evaluation of High Voltage Press Pack IGBT Modules in Enhanced Short Circuit Test	Supporting Schemes for Renewable Energies the Italian Way	Study of Closed-loop Control Scheme for Source Current Detection Type Active Power Filter	LED Lighting Flicker and Potential Health Hazards: IEEE Standard. PART1789 Update	Model Predictive Direct Torque Control of Permanent Magnet Synchronous Motors	Digital Controller for Rapid Cycling Synchronon Magnet Power Supply with Very High Tracking Precision	A New Driving Method for Synchronous Rectifiers of LLC Resonant Converter with Zero-crossing Noise Filter

MONDAY, SEPTEMBER 13, 2010 (Continued)

Breakout Sessions • 10:20 am – 12:00 pm (Continued)							
	Room 201	Room 202	Room 203	Room 204	Room 205	Room 206	Room 207
	S1 Electric Machines: Induction Machines	S2 DC-AC Inverters: Grid Connected Inverters I	S3 Energy Efficiency and Industrial Applications: Power System Fault Isolation	S4 Enabling Technologies: Power Semiconductors I	S5 Energy Public Policy and Economics: Intersection of Technology and Policy	S6 Sustainable Energy Applications: Active Power Filters	S7 Energy Efficiency and Industrial Applications: LED Lighting I
11:10 am – 11:35 am	Effect of Winding Asymmetries and Winding Connection on Small Synchronous Machines	Design and Implementation of a 5 kW Single Phase Bidirectional Inverter with Wide Inductance Variation	Power Sequencing Approach to Fault Isolation in DC Systems: Influence of System Parameters	Comparisons of 6.5kV 25A Si IGBT and 10-kV SiC MOSFET in Solid-state Transformer Applications	Lowest Cost Path to Meeting Electricity Demand at the State Level: Implications of Carbon Cap-and-trade	DC-side Shunt Active Power Filter for Line Commutated Rectifiers to Mitigate the Output Voltage Harmonics	Estimation of Internal Junction Temperature and Thermal Resistance of Light-emitting Diodes Using External Luminescence Flux Measurements
11:35 am – 12:00 pm	New Method for Current and Voltage Measuring Offset Correction in and Induction Motor Sensorless Drive	A Novel Control Method for Dual Mode Time-sharing Grid-connected Inverter	Research on Current Control Strategy for Grid-connected Inverter Using LCL Filter Based on Passivity Based Control	Modeling of the Impact of Diode Junction Capacitance on High Voltage Rectifiers Based on 10kV SiC JBS Diodes	Grid Stability Battery Systems for Renewable Energy Success	Scaling the Dynamic Capacitor (ID-CAP) to Medium Voltages	A General Photo-electro-thermo-temporal Theory for Light-emitting Diode Systems
12:00 pm – 1:20 pm	Lunch on Own						
Breakout Sessions • 1:20 pm – 3:00 pm							
	Room 201	Room 202	Room 203	Room 204	Room 205	Room 206	Room 207
	S11 Electric Machines: Machine Design I	S12 DC-AC Inverters: Grid Connected Inverters II	S13 Sustainable Energy Applications: Photovoltaics I	S14 Enabling Technologies: Power Semiconductors II	S15 Energy Public Policy and Economics: Renewable Energy Generation	S16 Sustainable Energy Applications: Sensing and Measurement	S17 Energy Efficiency and Industrial Applications: LED Lighting II
1:20 pm – 1:45 pm	Development of a Totally Enclosed Fan Cooled Traction Motor	An Operating Scheme for DFIG-based Wind Generation System at Low Speeds	Coordinated Real and Reactive Power Management Implementation Based on Dual-stage PLL Method for PV System with ESS	Characterization of a High Gain BJT Used in Power Conversion on AC Mains	Quantifying State-policy Incentives for the Renewable Energy Investor	A Novel Frequency-adaptive PLL for Single-phase Grid-connected Converters	A Driving Technology for LED Retrofit Lamp for Fluorescent Lighting Fixtures with Electronic Ballasts
1:45 pm – 2:10 pm	Winding Design for Pole-phase Modulation of Induction Machines	A Three-phase Programmable Voltage Sag Generator for Low Voltage Ride-through Capability Test of Wind Turbines	Control of Hybrid Battery/Ultracapacitor Energy Storage for Stand-alone Photovoltaic System	An Investigation into the Effects of the Gate Drive Resistance on the Losses of the MOSFET-snubber-diode Configuration	LCOE Reduction for Megawatts PV System Using Efficient 500 kW Transformerless Inverter	Grid Synchronization PLL Based on Cascaded Delayed Signal Cancellation	Power-transfer of Isolated Converter with Integrated Power Sharing for LED Lighting System Dependent on Transformer Coupling
Grand Ballroom East							
	Grand Ballroom C	Grand Ballroom D	Grand Ballroom E	Grand Ballroom F	Grand Ballroom G	Grand Ballroom H	Grand Ballroom East
	S8 Electric Drives: Direct Torque Control	S9 DC-DC Converters: Digital Control I	S10 DC-DC Converters: Synchronous Rectifier Converters	S11 DC-DC Converters: Isolated Converters I	S12 DC-DC Converters: Isolated Converters II	S13 DC-DC Converters: Isolated Converters III	S14 DC-DC Converters: Isolated Converters IV
1:20 pm – 1:45 pm	Computationally Efficient Model Predictive Direct Torque Control	Digital Power Controller with Sensorless DCM Operation	Digital Implementation of Driving Scheme for Synchronous Rectification in LLC Resonant Converter	Asymmetrical Leading-triangle Modulation Technique for Improved Digital Valley Current Controlled DC-DC Converters	Implementation of Deadbeat Direct Torque and Flux Control for AC Induction Machine Control	Efficiency Improvement Evaluation of Non-sinusoidal Back-EMF PMSM Machines Using Field Oriented Current Harmonic Injection Strategy	Efficiency Characterization and Optimization in Flyback DC-DC Converters
1:45 pm – 2:10 pm	Output DC Voltage and Power Control of a Flux Strengthening IPM Generator and a High Speed Motor	Digital Enhanced V2-type Constant On-time Control Using Inductor Current Ramp Estimation for a Buck Converter with Small ESR Capacitors	Analysis of a High Step-up Ratio Flyback Converter with Active Clamp and Voltage Multiplier				

MONDAY, SEPTEMBER 13, 2010 (Continued)

Breakout Sessions • 1:20 pm – 3:00 pm (Continued)

	Room 201	Room 202	Room 203	Room 204	Room 205	Room 206	Room 207	Grand Ballroom C	Grand Ballroom D	Grand Ballroom East
	\$11 Electric Machines: Machine Design I	\$12 DC-AC Inverters: Grid Connected Inverters II	\$13 Sustainable Energy Applications: Photovoltaics I	\$14 Enabling Technologies: Power Semiconductors II	\$15 Energy Public Policy and Economics: Renewable Energy Generation	\$16 Sustainable Energy Applications: Sensing and Measurement	\$17 Energy Efficiency and Industrial Applications: LED Lighting II	\$18 Electric Drives: Drive Control	\$19 DC-DC Converters: Digital Control II	\$20 DC-DC Converters: Isolated Converters I
2:10 pm – 2:35 pm	A Novel Method for Multi-objective Design and Optimization of Three-phase Induction Machines	Exploring Inherent Damping Characteristic of LCL-filters for Three-phase Grid-connected Voltage Source Inverters	Model Construction of Single Crystalline Photovoltaic Panels for Real-time Simulation	Modeling the Inter-electrode Capacitances of Si CoolMOSTM Transistors for Circuit Simulation in High Efficiency Power Systems	Control of Receiver Temperature and Shaft Speed in Dish-string Solar Power Plants to Meet Grid Integration Requirements	Real-time Measurement of Power Quantities Under Sinusoidal and Nonsinusoidal Conditions for Single-phase Systems	High Efficiency DC-DC Converter with Twin-bus for Dimmable LED Lighting	A Time-varying Sliding Surface for Robust Position Control of Six Phase Induction Machine (6PIM)	A Novel Digital Capacitor Charge Balance Control Algorithm with a Practical Extreme Voltage Detector	An Isolated High Step-up Forward/Flyback Active Clamp Converter with Output Voltage Lift
2:35 pm – 3:00 pm	Optimal Design of an In-wheel BLDC Motor for a Kick Scooter	A Current Source Converter Based Active Power Filter for Mitigation of Harmonics at the Interface of Distribution and Transmission Systems	Compact Integrated Solar Energy Generation Systems	FITMOS Modeling and Dynamic On-state Characteristic Evaluation	Estimates of the Cost of New Electricity Generation in the South	A New Fast Peak Detector for Single or Three-phase Unsymmetrical Voltage Sags	One-stage High-brightness LED Driver with Power Factor Correction Using Standard Peak-current Mode Integrated Controllers	A Novel Technique for Sensorless Control of High Power Induction Motors Using Multilevel Converters	A New Digital Control DC-DC Converter with Neural Network Predictor	Self-oscillating Flyback Converter with Lossless Snubber for Contactless Power Supply Applications

Break.....Grand Salon Prefunction Area.....

Breakout Sessions • 3:20 pm – 5:00 pm

	Room 201	Room 202	Room 203	Room 204	Room 205	Room 206	Room 207	Grand Ballroom C	Grand Ballroom D	Grand Ballroom East
3:20 pm – 3:45 pm	S21 Electric Machines: Machine Design II	S22 DC-AC Inverters: Grid Connected Inverters III	S23 Sustainable Energy Applications: Photovoltaics II	S24 Enabling Technologies: Contactless Power Transfer	S25 Energy Public Policy and Economics: Renewable Energy Integration	S26 Sustainable Energy Applications: Distributed Resources	S27 Energy Efficiency And Industrial Applications: LED Lighting III	S28 Electric Drives: Performance Improvement	S29 DC-DC Converters: Digital Control III	S30 DC-DC Converters: Isolated Converters II
	Novel Design of Flux-intensifying Interior Permanent Magnet Synchronous Machine Suitable for Power Conversion and Self-sensing Control at Very Low Speed	Grid-connected Inverter with Inner Output Impedance and Governor-free Characteristics	Maximum Power Limiting with Average Current Mode Control for Photovoltaic System	LCL Pick-up Circulating Current Controller for Inductive Power Transfer Systems	A Methodology for Quantifying Variability of Renewable Energy Sources by Reserve Requirement Calculation	On Power-sharing of Solar-based Hybrid Motor-drive Systems	A Comparative Study on the Circuit Topologies for High-efficient Passive Light-emitting Diode (LED) Drivers	DC Bus Voltage Clamp Method to Prevent Over-voltage Faults in Adjustable Speed Drives	Digital Load Share Controller Design of Parallel Phase-shifted Full-bridge Converters Referencing the Highest Current	High Step-up Boost Converter Integrated with Voltage-doubler
3:45 pm – 4:10 pm	Slot Design for Iron Loss AC Rotating Electrical Machine Reduction	Real Time Selective Harmonic Minimization for Multilevel Inverters Connected to Solar Panels Using Artificial Neural Network Angle Generation	Switching Loss Analysis of a Three-phase Solar Power Conditioner Using a Single-phase PWM Control Method	High Performance Inductive Power Transfer System with Narrow Rail Width for Online Electric Vehicles	A Methodology to Consider Electrical Infrastructure and Real-time Power-flow Impact Costs Together in Planning Large-scale Renewable Energy Farms	A New Droop Control Method for the Autonomous Operation of Distributed Energy Resource Interface Converters	LED Spectral and Power Characteristics Under Hybrid PWM/AM Dimming Strategy	Active Motor Terminal Overvoltage Mitigation Method for Parallel Two-level Voltage Source Inverters	Average Inductor Current Sensor for Digitally-controlled Switched-mode Power Supplies	An Investigation of the Natural Balancing Mechanisms of Modular Input-series-output-series DC-DC Converters

Breakout Sessions • 3:20 pm – 5:00 pm (Continued)

	Room 201	Room 202	Room 203	Room 204	Room 205	Room 206	Room 207	Grand Ballroom C	Grand Ballroom D	Grand Ballroom East
4:10 pm – 4:35 pm	S21 Electric Machines: Machine Design II	S22 DC-AC Inverters: Grid Connected Inverters III	S23 Sustainable Energy Applications: Photovoltaics II	S24 Enabling Technologies: Contactless Power Transfer	S25 Energy Public Policy and Economics: Renewable Energy Integration	S26 Sustainable Energy Applications: Distributed Resources	S27 Energy Efficiency And Industrial Applications: LED Lighting III	S28 Electric Drives: Performance Improvement	S29 DC-DC Converters: Digital Control III	S30 DC-DC Converters: Isolated Converters II
	Comparison of Different Winding Schemes of an Asynchronous Machine Driven by a Multi-functional Converter System	An Easy, Simple, and Flexible Control Scheme for a Three-phase Grid-tie Inverter System	A New Cost-effective Analog Maximum Power Point Tracker for Photovoltaic Systems	2-D Alignment Analysis of Capacitively Coupled Contactless Power Transfer Systems	Utilizing a STATCOM to Prevent the Flicker Propagation in a Wind Power System	Evaluation of the Voltage Support Strategies for Low Voltage Grid Connected PV Generators	Emergency Lamp Using High-brightness LEDs	Appropriate Tuning and Robust Design of a Generalized Predictive Speed Controller for Drive Systems with Resonant Loads	Multi-resolution Feedback to Minimize Communication Data and Improve Output Accuracy in Isolated Digital Power Supplies	Zero-voltage Switching Flyback-boost Converter with Voltage-doubler Rectifier for High Step-up Applications
4:35 pm – 5:00 pm	Modeling and Design Optimization of PM AC Machines Using Computationally Efficient - finite Element Analysis	Single-stage DC-AC Converter for Photovoltaic System	Performance of Photovoltaic Maximum Power Point Tracking Algorithms in the Presence of Noise	Analysis on a Single-layer Winding Array Structure for Contactless Battery Charging Systems with Localized Charging Feature	Overlaying a Parallel Market to Increase Renewable Penetration	Grid Side Cascade Inverter System as an Interface for Wind Energy Storage	Third Harmonic Filtered 13.56 MHz Push-pull Class-E Power Amplifier	A General Approach of Damping Torsional Resonance Modes in Multi-megawatt Applications	Implementation of Digitally Controlled Phase Shift Full Bridge Converter for Server Power Supply	Improvement of Light Load Efficiency of Dual Active Bridge DC-DC Converter by Using Dual Leakage Transformer and Variable Frequency

TUESDAY, SEPTEMBER 14, 2010

100%

	Room 201	Room 202	Room 203	Room 204	Room 205	Room 206	Room 207	Grand Ballroom C	Grand Ballroom D	Grand Ballroom A	Grand Ballroom B
	Room 201 S31 Electric Drives: Modeling and Control of Overvoltage Transients	Room 202 S32 Transportation Applications: PHEV	Room 203 S33 AC-DC Converters: Analog Control of PFC	Room 204 S34 Enabling Technologies: EMI Analysis and Suppression I	Room 205 S35 Enabling Technologies: Reliability and Lifetime Estimation	Room 206 S36 Electric Machines: Machine Losses and Material Issues	Room 207 S37 Energy Efficiency And Industrial Applications: HID Lighting	Grand Ballroom C S38 DC-AC Inverters: Inverter Control And Analysis I	Grand Ballroom D S39 Electric Machines: Fractional Slot Machines I	Grand Ballroom A S40 DC-DC Converters Isolated Converters III	Grand Ballroom B S41 DC-DC Converters: Bidirectional Converters I
8:00 am – 8:25 am	Integrated Differential-mode and Common-mode Filter to Mitigate the Effects of Long Motor Leads on AC Drives	Effects of V2G Reactive Power Compensation on the Component Selection in an EV or PHEV Bidirectional Charger	An Improved Control Strategy Based on CRM Flyback PFC to Reduce Line Current Peak Distortion	Adaptive DV/DT and DI/DT Control for Isolated Gate Power Devices	Condition Monitoring Solder Fatigue in a Power Module Using the Rise of Case-above-ambient Temperature	New Lines of Investigation on the Effects of Processing Conditions on Soft Magnetic Composite Materials Behaviour for Electromagnetic Applications	Medium Power Ceramic HID Lamps: Problems and Opportunities Resulting from Low Lamp Power Factor	Comparison between Two Control Strategies for Input-series output-series Inverters System	Design, Analysis, and Fabrication of a High-performance Fractional Slot Concentrated Winding Surface PM Machine	Active Clamped Three-phase Isolated Boost Converter with Series Output Connection for High Step-up Applications	Three-phase Bidirectional DC-DC Converter with Enhanced Current Sharing
8:25 am – 8:50 am	High-frequency Cable and Motor Modeling of Long-cable-fed Induction Motor Drive Systems	Design Considerations for High-voltage DC Bus Architecture and Wire Mechanization for Electric/Hybrid Electric Vehicle Applications	A Novel SFVM Control Scheme for Two-phase Interleaved CCM/DCM Boundary Mode Boost Converter in Power Factor Correction Applications	Characterization of a Modified USN for Effective Separated Measurements of Common Mode and Differential Mode EMI Noise	The Lifetime/Volume Ratio as an Index to Assess the Reliability of Power Converters	Analytical Prediction of Rotor Eddy Current Loss Due to Stator Slotting in PM Machines	A Timing Controllable and Polarity Tracked Igniter for High Intensity Discharge Lamp Electronic Ballast	Approaches to Enhance Discrete Control Algorithms Serving for Motor Drive System	Unsaturated and Saturated Saliency Trends in Fractional-slot Concentrated-winding Interior Permanent Magnet Machines	A Simple and Effective Control Strategy for Improved Operation of a Current-fed Push-pull Converter	Bidirectional High-voltage DC-DC Converter for Advanced Railway Locomotives

Breakout Sessions • 8:00 am – 9:40 am (Continued)

	Room 201	Room 202	Room 203	Room 204	Room 205	Room 206	Room 207	Grand Ballroom C	Grand Ballroom D	Grand Ballroom A	Grand Ballroom B
	S31 Electric Drives: Modeling and Control of Overvoltage Transients	S32 Transportation Applications: PHEV	S33 AC-DC Converters: Analog Control of PFC	S34 Enabling Technologies: EMI Analysis and Suppression I	S35 Enabling Technologies: Reliability and Lifetime Estimation	S36 Electric Machines: Machine Losses and Material Issues	S37 Energy Efficiency And Industrial Applications: HID Lighting	S38 DC-AC Inverters: Inverter Control And Analysis I	S39 Electric Machines: Fractional Slot Machines I	S40 DC-DC Converters: Isolated Converters III	S41 DC-DC Converters: Bidirectional Converters I
8:50 am – 9:15 am	A Low-loss Motor Terminal Filter for Overvoltage Suppression	Development and Validation of Models for 95% Efficiency, 220 W Wireless Power Transfer Over a 30 cm Air-gap	Sliding Mode Current Control of Grid-connected Voltage Source Converter	Meeting MIL-STD-461 for 2kW Military Tactic Generator Drive System	Real-time Life Consumption Power Modules Prognosis Using Online Rainflow Algorithm in Metro Applications	Analysis of Proximity Losses in High-speed Surface Permanent Magnet Machines with Concentrated Windings	Design and Analysis of a Novel Two-stage Electronic Ballast for HID Lamp	A Fast, Accurate and Robust Algorithm to Detect Fundamental and Harmonic Sequences	Six-phase Supply Feasibility Using a PM Fractional-slot Dual Winding Machine	An Adaptive Blanking Time Control Scheme for Audible Noise Free Quasi-Resonant Flyback Converter	An Overall Study of a Dual Active Bridge for Bidirectional DC-DC Conversion
9:15 am – 9:40 am	Overvoltage Mitigation of Inverter-driven Motors with Long Cables of Different Lengths	A Novel Thermal Model for HEV/EV Battery Modeling Based on CFD Calculation	A Hybrid Current Control for a Controlled Rectifier	Behavioral Modeling Methods for Motor Drive System EMI Design Optimization	Lifetime Estimation with Thermal Models of Semiconductors	Core Loss Prediction Using Magnetic Circuit Model for Fractional-slot Concentrated-winding Interior Permanent Magnet Machines	An Energy-Recyclable Burn-in Technology for Electronic Ballast for HID Lamps	Switched Systems Model and Switching Rules of DC-AC Converter	Fractional-slot Concentrated-winding Axial-flux Permanent Magnet Machine with Core-wound Coils	A Novel Full-bridge Converter Achieving ZVS over Wide Load Range with a Passive Auxiliary Circuit	Bidirectional Isolated Dual Full-bridge DC-DC Converter with Active Clamp for EDLC
9:40 am – 10:00 am	AM Break										
Breakout Sessions • 10:00 am – 11:40 am											
	S42 Electric Drives: AC Machine Control	S43 Transportation Application: Infrastructure	S44 AC-DC Converters: Digital Control of PFC	S45 Enabling Technologies: EMI Analysis And Suppression II	S46 Enabling Technologies: Packaging And Integration	S47 Electric Machines: Machine Losses and Thermal Analysis	S48 Energy Efficiency and Industrial Applications: Fluorescent Ballast	S49 DC-AC Inverters: Inverter Control and Analysis II	S50 Electric Machines: Fractional Slot Machines II	S51 DC-DC Converters: Isolated Converters IV	S52 DC-DC Converters: Bidirectional Converters II
10:00 am – 10:25 am	A New Deep Field-weakening Strategy of IPM Machines Based on Single Current Regulator and Voltage Angle Control	Control Strategy of a Multi-port, Grid Connected, Direct-DC-PV Charging Station for Plug-in Electric Vehicles	A New Digital Control System for a Single-phase Half-bridge Rectifier with Fast Dynamic Response	An Improved Design for Transmision Line Busbar EMI Filter	Integrating Giant Magneto-resistive (GMR) Field Detectors for High Bandwidth Current Sensing in Power Electronic Modules	Thermal Analysis of a Segmented Stator Winding Design	A Single Eco-friendly Ultra-low-loss Magnetic Ballast Design for a Wide Range of T5 High-efficient Fluorescent Lamps	A New Optimal PWM Strategy Applied to Single Phase Inverters with Variable DC Voltage	Considerations on Selecting Fractional-slot Windings	Using Adaptive Off-time Synchronous Rectification to Improve Efficiency in Low Output Voltage Converters	A New Resonant Active Clamping Technique for Bidirectional Converters in HEV's
10:25 am – 10:50 am	Unified Direct-flux Vector Control for AC Motor Drives	Optimum Design of an EV/PHEV Charging Station with DC Bus and Storage System	Accurate Mode Boundary Detection in Digitally Controlled Boost Power Factor Correction Rectifiers	On Factors Affecting EMI-performance of Conducted-noise-mitigating Digital Controllers in DC-DC Converters — An Experimental Investigation	3D Hybrid Integration and Functional Interconnection of a Power Transistor and its Gate Driver	Influence of Different End Region Cooling Arrangements on End-Winding Heat Transfer Coefficients in Electrical Machines	A Dimming Module for Controlling Power Supply to a Fluorescent Lamp Ballasted by a Non-dimmable Electronic Ballast	Time Domain Models of the EMI Sources in the Variable Speed Drives	Investigation of Magnet Arrangements in Double Layer Interior Permanent Magnet Motors	A Comparison of the Series-parallel Compensation Type DC-DC Converters Using both a Fuel Cell and a Battery	Adaptive Dynamic Control of a Bidirectional DC-DC Converter

TUESDAY, SEPTEMBER 14, 2010 (Continued)

Breakout Sessions • 10:00 am – 11:40 am (Continued)											
	Room 201	Room 202	Room 203	Room 204	Room 205	Room 206	Room 207	Grand Ballroom C	Grand Ballroom D	Grand Ballroom A	Grand Ballroom B
	S42 Electric Drives: AC Machine Control	S43 Transportation Application: Infrastructure	S44 AC-DC Converters: Digital Control of PFC	S45 Enabling Technologies: EMI Analysis And Suppression II	S46 Enabling Technologies: Packaging And Integration	S47 Electric Machines: Machine Losses and Thermal Analysis	S48 Energy Efficiency and Industrial Applications: Fluorescent Ballast	S49 DC-AC Inverters: Inverter Control and Analysis II	S50 Electric Machines: Fractional Slot Machines II	S51 DC-DC Converters: Isolated Converters IV	S52 DC-DC Converters: Bidirection Converters II
10:50 am – 11:15 am	Direct Field-oriented Control of an Induction Machine Using an Adaptive Rotor Resistance Estimator	Dual Converter Active Filter and Balance Compensation on Electric Railway Systems Using the Open Delta Transformer Connection	A Simple Digital DCM Control Scheme for Boost PFC Operating in both CCM and DCM	Common Mode EMI Characteristics of Resonant Converters	Multilayer SMT High Power Density Packaging of Electronic Ballasts for HID Lamps	A Non-intrusive Winding Heating Method for Induction Motor Using Self-starter for Preventing Moisture Condensation	Digital CCFL Drive System Using Individual Current Modulation for LCD-TV	Three Phase VSI with Reduced Output Voltage Distortion Using FPGA Based Multisampled Space Vector Modulation	Post-assembly Magnetization of Rare-earth Fractional-slot Permanent-magnet Machines Using a Two-shot Method	Forward-flyback Converter with Snubber-feedback Network for Contactless Power Supply Applications	Preventing Transformer Saturation in Bidirectional Dual Active Bridge Buck-boost DC-DC Converters
11:15 am – 11:40 am	Regulation of Permanent Magnet AC Generators Using Angle Control of Stator-connected Voltage Source Converters	Power Quality Solutions for Light Rail Public Transportation Systems Fed by Medium Voltage Underground Cables	Unified Predictive Transition Current Mode Control for Digital-controlled Power Factor Corrector	Novel Techniques to Suppress the Common Mode EMI Noise Caused by Transformer Parasitic Capacitance in DC-DC Converters	Design of High Temperature SiC Three-phase AC-DC Converter for >100°C Ambient Temperature	Rotor End Losses in Multi-phase Fractional-slot Concentrated-winding Permanent Magnet Synchronous Machines	Analysis and Design Method for High Frequency Self-oscillating Electronic Ballasts	A Method for Five-phase Carrier-based PWM Modulation for Balanced and Unbalanced Reference Voltages	Three Phase Tooth-concentrated Multiple-layer Fractional Windings with Low Space Harmonic Content	Optimization Design of an Isolated DC-DC Converter Using Series Compensation on the Secondary Side	A Comparative Efficiency Study of Silicon-based Solid State Transformers
11:30 am – 7:00 pm	Expo Open.....Grand Salon										
11:40 am – 1:20 pm	Lunch.....Grand Salon										
1:30 pm – 3:00 pm	Poster Session I.....Grand Salon										
3:00 pm – 3:30 pm	PM Break Grand Salon										
3:30 pm – 5:00 pm	Poster Session II.....Grand Salon										
Rap Sessions • 8:00 pm – 9:00 pm											

	Room 201	Room 202
	Rap Session 1 Electrical Systems for Future Transportation	Rap Session 2 Update on Wind Energy Systems

WEDNESDAY, SEPTEMBER 15, 2010

7:00 am – 7:00 pm		Breakout Sessions • 8:00 am – 9:40 am										Prefunction South
Registration Open		Room 201	Room 202	Room 203	Room 204	Room 205	Room 206	Room 207	Grand Ballroom C	Grand Ballroom D	Grand Ballroom B	Grand Ballroom A
		S53 DC-AC Inverters: Neutral Point Clamped Inverters	S54 AC-DC Converters: Control of Three Phase PFC	S55 Sustainable Energy Applications: Ocean Wave Energy Systems	S56 Electric Machines: Wind Generators	S57 Enabling Technologies: Power Device Gate Drive Techniques	S58 DC-DC Converters: Magnetic Designs	S59 Electric Machines: Condition Monitoring and Fault Analysis I	S60 Sustainable Energy Applications: Wind Energy Systems I	S61 DC-AC Inverters: Special Topics I	S63 Sustainable Energy Applications: Microgrid I	
8:00 am – 8:25 am		Multi-carrier Interleaved PWM Strategies for a New Five-level NPC Inverter Using a 3-phase Coupled Inductor	Direct Power Control for Three-level Neutral Point Clamped PWM Rectifier Based on Virtual Flux	Analysis of Power Extraction from Irregular Waves by All Electric Power Take Off	Optimal Selection of Excitation Capacitor for 6/3-phase Dual Stator-winding Induction Generator with the Static Excitation Controller Applied in Wind Power	A New Inductorless Bipolar Gate Driver for Control FET of High Frequency Buck Converters	High Frequency Bus Converter with Integrated Matrix Transformers for CPU and Telecommunications Applications	A Comparative Study of Permanent Magnet-synchronous and Permanent Magnet-flux Switching Machines for Fault Tolerant Drive Systems	Design and Implementation of STATCOM Combined with Series Dynamic Breaking Resistor for Low Voltage Ride-through of Wind Farms	Performance Evaluation of a New Hybrid-modulation Scheme for High-frequency AC-link Inverter: Applications for PV, Wind, Fuel-cell, and DER/Storage Applications	Stability Studies of a Mixed Islanded Power Network with Varspeed Units Using Simplified Models of the Converters	
8:25 am – 8:50 am		Improvement of EMI Behavior of NPC Multilevel Inverter Without Balancing the Voltage Boundaries of DC Bank Capacitors	Full Discrete Sliding Mode Controller for Three-phase PWM Rectifier Based on Load Current Estimation	Grid Power Integration Technologies for Offshore Ocean Wave Energy	Design of New Concept Permanent Magnet Induction Wind Generator	An Integrated Segmented Gate Driver with Adjustable Driving Capability	High Power Density Interleaved DC-DC Converter Using a 3-phase Integrated Close-coupled Inductor Set Aimed for Electric Vehicles	Online Broken Rotor Bar Detection of Inverter-fed Induction Motors Operating Under Arbitrary Load Conditions	Low Voltage Ride-through of Wind Turbine Based on Interior Permanent Magnet Synchronous Generators Sensorless Vector Controlled	Performance Enhancement for Digital Implementations of Resonant Controllers	Composite Energy Storage System with Flexible Energy Management Capability for Micro-grid Applications	
8:50 am – 9:15 am		Improving the Performance of Protection Schemes in Three Level IGCT-based Neutral Point Clamped Converters	A Novel Control Method Using Two DC Link Current Sensors in Two Parallel Three-phase Boost Converters	Self-synchronous Doubly-fed Linear Generators for Ocean Wave Energy Applications	Design and Control of a High-efficiency Doubly-fed Brushless Machine for Wind Power Generator Application	Comparison of Continuous and Discontinuous Current Source Drivers for High Frequency Applications	Trans-linked Multi-phase Boost Converter for Electric Vehicle	Automated Monitoring of Airgap Eccentricity for Inverter-fed Induction Motors Under Standstill Conditions	Fault Ride-through Enhancements of Wind Turbine with Doubly-fed Induction Generator Using the Robust Variable Structure System Control	A Fast Space-vector Algorithm for Multilevel Converters without Coordinates Transformation	A New Half-bridge Based Inverter with the Reduced-capacity DC Capacitors for DC Micro-grid	
9:15 am – 9:40 am		A Five/Nine-level Twelve-switch Neutral Point Clamped Inverter for High Speed Electric Drives	Voltage Sensorless Bidirectional Three-phase Unity Power Factor AC-DC Converter	Low-power Autonomous Wave Energy Harvesting Device for Remote Sensing and Communications Applications	Condition Monitoring of Wind Turbines Based on Amplitude Demodulation	A Special High-frequency Soft-switched High-voltage Isolated DC-DC Power Supply for Six GCT Gate Drivers	Core-less Multiphase Converter with Transformer Coupling	Evaluation of the Detectability of Broken Rotor Bars for Double Squirrel Cage Rotor Induction Motors	Control of an Unbalanced Stand-alone DRFG-based Wind System Using Predictive Current Control Method	Application of a Hybrid Discharge Reactor with D-A Mixed Control in Phenol Degradation	Integration of a Battery Energy Storage Element in a CERTS Micro-grid	
8:00 am – 9:40 am		S62 Special Session: Industry Perspectives on Emerging Challenges and Opportunities in Renewable Energy and Electrified Transport										Grand Ballroom A
9:40 am – 10:00 am		AM Break										Grand Salon Prefunction Area

WEDNESDAY, SEPTEMBER 15, 2010 (Continued)

Breakout Sessions • 10:00 am – 11:40 am											
	Room 201	Room 202	Room 203	Room 204	Room 205	Room 206	Room 207	Grand Ballroom C	Grand Ballroom D	Grand Ballroom A	Grand Ballroom B
	S64 DC-AC Inverters: Motor Drive Inverters	S65 AC-DC Converters: PFC Modeling and Control	S66 Sustainable Energy Applications: Photovoltaics Converters I	S67 Electric Machines: Reluctance Machines	S68 Enabling Technologies: Package Impedance Issues	S69 DC-DC Converters: Integrated Power Converters	S70 Electric Machines: Condition Monitoring and Fault Analysis II	S71 Sustainable Energy Applications: Wind Energy Systems II	S72 DC-AC Inverters: Special Topics II	S73 Electric Drives: Control Techniques	S74 Sustainable Energy Applications: Microgrid II
10:00 am – 10:25 am	Bidirectional Rectifier-inverter Multilevel Topology without DC-link Passive Components	A Unified Practical Approach to Analyze the Stability of the Pre-regulator and Complete Two-stage PFC Power Supplies Under Average-current-mode Control	Multiple-input Boost Converter to Minimize Power Losses Due to Partial Shading in Photovoltaic Modules	Torque Density and Efficiency Improvements of a Switched Reluctance Motor for Hybrid Vehicles without Rare Earth Material	Automatic Layout Optimization of an EMC Filter	A Multi-modes Charge-pump Based High Efficiency Wide Input Range DC-DC Converter	Investigation of Influence of Bearing Load and Bearing Temperature on EDM Bearing Currents	Improvement of Power Quality for PMSG Wind Turbine Systems	An Improved Soft-switching Inverter with an Unidirectional Auxiliary Switch	An Adaptive Predictive Current Control Technique for Permanent Magnet Synchronous Motors	Distribution Voltage Control for DC Microgrid by Converters of Energy Storages Considering the Stored Energy
10:25 am – 10:50 am	A Square-wave Controller for a High Speed Induction Motor Drive Using a 3 Phase Floating Inverter Bridge	Small-signal Modeling of DCVM Cuk Converter Operating in both DC Input Voltage Source and PFC Applications	A High Efficiency Current Fed Multi-resonant Converter for High Step-up Power Conversion in Renewable Energy Harvesting	Position Estimation at Starting and Lower Speeds in Three-phase Switched Reluctance Machines Using Pulse Injection and Two Thresholds	Reduction of Stray Inductance in Power Electronic Modules Using Basic Switching Cells	A Monolithic Reconfigurable SC Power Converter with Adaptive Gain Control and On-chip Capacitor Sizing	Influence of Motor Operating Parameters on Discharge Bearing Current Activity	Fault Ride Through of DFIG Wind Turbines During Symmetrical Voltage Dip with Crowbar or Stator Current Feedback Solution	Control and Implementation of a High Voltage Series Resonant Power Supply for Industrial Electrostatic Precipitators	Comparative Study of Conventional PI-control, PI-based State Space Control and Model Based Predictive Control for Drive Systems with Elastic Coupling	Analysis and Design of Interfacing Inverter Output Virtual Impedance in a Low Voltage Microgrid
10:50 am – 11:15 am	Interaction Between the Filter and PWM Units in the Sine Filter Configuration Utilizing Three-phase AC Motor Drives Employing PWM Inverters	Energy-based Digital Control of a Ripple Correction Circuit of an Unity-power-factor AC-DC Converter	An Interleaving Double-switch Buck-boost Converter for PV Grid-connected Inverter	A New Excitation Scheme for Polyphase Segmented Switched Reluctance Motor	Power-CAD: A Novel Methodology for Design, Analysis and Optimization of Power Electronic Module Layouts	Switching Losses Analysis in MHz Integrated Synchronous Buck Converter to Support Optimal Power Stage Width Segmentation in CMOS Technology	New Concepts for Online Surge Testing for the Detection of Winding Insulation Deterioration	Converter Structure-based Power Loss and Static Thermal Modeling of the Press-pack IGBT-based Three-level ANPC and HB VSCs Applied to Multi-MW Wind Turbines	High-efficiency Inverter for Photovoltaic Applications	A Comparison of Control and Modulation Schemes for Medium-voltage Drives: Emerging Predictive Control Concepts Versus Field Oriented Control	A Medium-voltage DC (MVDC) System with Series Active Injection for Shipboard Power System Applications
11:15 am – 11:40 am	Loss Evaluation of a Two-stage Boost Converter Using the Neutral Point of a Motor	A Fourier Based PLL for Single Phase Grid Connected Systems	Improved MPPT Performance of a Grid Connected Photovoltaic Power Conditioning System under Partially Shaded Conditions	Design and Optimization of a Synchronous Reluctance Machine with Salient Poles and Flux Barriers	Separation Measurement of Parasitic Impedance on a Power Electronics Circuit Board Using TDR	Interleaved Switched-capacitor Converters with Adaptive Control	Forces and Vibrations Analysis in Industrial PM Motors Having Concentric Windings	Induction Generator Model for Unbalanced Distribution Power-flow Analysis	A Single-phase Photovoltaic Inverter Topology with a Series-connected Power Buffer	Control Method for IPMSM-based on PTC and PWM Hold Model in Overmodulation Range-study on Robustness and Comparison with Anti-windup Control	An Adaptive Controller for Inverter-interfaced DGs Connected to Grids with a Wide Range of Unknown Impedances
11:40 am – 1:30 pm	Lunch on Own										

Lunch on Own

11:40 am – 1:30 pm

WEDNESDAY, SEPTEMBER 15, 2010 (Continued)

Breakout Sessions • 1:30 pm – 3:10 pm										
Room 201	Room 202	Room 203	Room 204	Room 205	Room 206	Room 207	Grand Ballroom C	Grand Ballroom D	Grand Ballroom A	Grand Ballroom B
S75 DC-AC Inverters: Z-Source Topology I	S76 AC-DC Converters: PFC Converters	S77 Sustainable Energy Applications: Photovoltaics Converters II	S78 Electric Machines: Special Machines I	S79 Enabling Technologies: Thermal Management	S80 DC-DC Converters: Non-Isolated Converters	S81 Transportation Applications: Diagnostics and Fault Tolerance	S82 Sustainable Energy Applications: Wind Energy Systems III	S83 DC-DC Converters: Control Techniques I	S84 Electric Drives: Sensorless Drives I	S85 Sustainable Energy Applications: Microgrid III
Optimal Design of the Inductor in Z-source Inverter with Single Phase Shoot-through SVPWM Strategy	Bridgeless Single-stage Full-bridge Converter with One Cycle Control in the Output Voltage	Digital Controller Development for Grid-tied Photovoltaic Inverter with Model-based Technique	Different Arrangements for Dual-rotor Dual-output Radial-flux Motors	Seawater Based Cold Plate for Power Electronics Cooling	A Comprehensive Multi-mode Performance Analysis of Interleaved Boost Converters	Real-time Fault Diagnostics for a Permanent Magnet Synchronous Motor Drive for Aerospace Applications	Balance and Unbalance Voltage Dips Impacts on Full Scale Converter Wind Turbines	Self-tuning Mixed-signal Optimal Controller with Improved Load Transient Waveform Detection and Smooth Mode Transition for DC-DC Converters	Temperature Issues in Saliency-tracking Based Sensorless Methods for PM Synchronous Machines	DC Micro-grid Operational Analysis with Detailed Simulation Model for Distributed Generations
Power Loss Analysis of Current-fed Quasi-Z-Source Inverter	A Magnetically Coupled Passive Lossless Snubber with Low Voltage Stress for Continuous Current Mode (CCM) Boost Converter	A New Wide Input Range High Efficiency Photovoltaic Inverter	New Concept Motor that Uses Compound Magnet Motive Forces for EV Application	Dynamic Electro-thermal Modeling in PEBB Applications	Current Sharing in Multiphase ZVT Boost Converter	Fault Location in a Zonal DC Marine Power System Using Active Impedance Estimation	Analysis of IGBT Power Cycling Capabilities Used in Doubly Fed Induction Generator Wind Power System	Comparison between Ramp Pulse Modulation (RPM) and Constant Frequency Modulation for the Beat Frequency Oscillation in Voltage Regulators	HF Injection-based Sensorless Technique for Fault-tolerant IPMSM Drives	A Hybrid Control Architecture for Low Voltage Microgrid
Hybrid Pulse Width Modulation for Z-source Inverters	An AC-DC Power Conversion Based on Series-connected Universal Link Converter	Design and Implementation of a 5 kW Photovoltaic System with Li-ion Battery and Additional DC-converter	Improvement of a Non-contact Elevator Guiding System by Implementation of an Additional Torsion Controller	High Power Density Design of High-current DC-DC Converter with High Transient Power	Fixed Frequency Controlled Piezoelectric 10W DC-DC Converter	Robust Absolute Position Sensing for Maglev	Novel Rotor Side Control Scheme for Doubly Fed Induction Generator to Ride through Grid Faults	Investigation of the Steady-state and Dynamic Characteristics of a Buck Converter with Nonlinear Output Capacitor Current Programming	Model-based Design of a Sensorless Control Scheme for Permanent Magnet Motors Using Signal Injection	Voltage Quality Improvement of Microgrids Under Islanding Mode
A Z-source Sparse Matrix Converter Under Voltage Sag Condition	Three-phase Single-switch Boost PFC Converter with High Input Power Factor	Transformerless Split-inductor Neutral Point Clamped Three-level PV Grid-connected Inverter	Analysis of a Planetary Magnetic Gear with Strengthened Stator and Interior Permanent Magnet (IPM) Inner Rotor	Thermal Modeling and Management of the Integrated HID Ballast	Improving the Light-load Efficiency of VRMs Using Parallel Inductors	Characteristic Analysis of IPM Type BLDC Motor Considering the Demagnetization of PM by Stator Turn Fault	Flexible Control of DC-link Voltage for Doubly Fed Induction Generator During Grid Voltage Swell	Design Oriented Model for V2 Constant On-time Control	Sensorless Control for Induction Machines Using Square-wave Voltage Injection	Decentralized LQG Control with Online Set-point Adaptation for Parallel Power Converter Systems
1:30 pm – 1:55 pm	1:55 pm – 2:20 pm	2:20 pm – 2:45 pm	2:45 pm – 3:10 pm	Grand Salon Prefunction Area						
PM Break				Grand Salon Prefunction Area						

Breakout Sessions • 3:30 pm – 5:10 pm											
	Room 201	Room 202	Room 203	Room 204	Room 205	Room 206	Room 207	Grand Ballroom C	Grand Ballroom D	Grand Ballroom A	Grand Ballroom B
3:30 pm – 3:55 pm	S86 DC-AC Inverters: Z-Source Topology II	S87 AC-DC Converters: Single Phase PFC	S88 Sustainable Energy Applications: Photovoltaics Converters III	S89 Electric Machines: Special Machines II	S90 Enabling Technologies: Wide Bandgap Power Semiconductors	S91 DC-DC Converters: Resonant Converters	S92 Transportation Applications: Drivetrains	S93 Sustainable Energy Applications: Wind Energy Systems IV	S94 DC-DC Converters: Control Techniques II	S95 Electric Drives: Sensorless Drives II	S96 Sustainable Energy Applications: Microgrid IV
	Bidirectional AC-AC Z-source Inverter with Active Rectifier and Feedforward Control	Inductive Idling Boost Converter with Low Inductor Current-ripple and Improved Dynamic Response for Power Factor Correction	Power Decoupling Techniques for Micro-inverters in PV Systems	Modelling of Linear Motor End-effects for Saliency-based Sensorless Control	Comparison of 10-kV SiC Power Devices in Solid-state Transformer	Multiple Output Class E Isolated DC-DC Converter	Application of PM Type DMPM in Hybrid Electric Vehicle	Advanced Power Conditioning System for Grid Integration of Direct-driven PMSG Wind Turbines	Fast Control Technique-based on Peak Current Mode Control of the Output Capacitor Current	Impact of Saturation and Current Command Selection on the Performance of Sensorless Controlled Three-pole Active Magnetic Bearings	On the Choice of Voltage Regulators for Droop-controlled Voltage Source Converters in Microgrids to Ensure Stability
3:55 pm – 4:20 pm	Controller Design for Quasi-Z-source Inverter in Photovoltaic Systems	A Front-end Converter with High Reliability and High Efficiency	PV Fed Boost Type Switched Capacitor Power Supply for a Nano Satellite	A Multi-motor Drive-based on Five-phase Tubular PM Actuators	An Investigation of SiC-SiC DC Circuit Breakers for Higher Voltage Direct Current Distribution Systems	PWM Positive Buck-boost Converter with Reduced Switching Loss Employing Quasi-resonant Operation	Comparative Evaluation of Machines for Electric and Hybrid Vehicles Based on Dynamic Operation and Loss Minimization	Development of Grid-connected Wind Energy System Employing Interior PM Synchronous Generator and Multi-pulse Rectifier	A Low Ripple Series-parallel Resonant Converter Based on Robust H-infinity Control Approach	Optimal Design and Sensorless Position Control of a Piezoelectric Motor Integrated into a Mechatronic Cylinder Lock	Design of D-STATCOM for Voltage Regulation in Microgrids
4:20 pm – 4:45 pm	Modulation of Three-level Z-source Indirect Matrix Converter	High-efficiency Bidirectional AC-DC Converter for Energy Storage Systems	Ground Current Suppression for Grid Connected Transformerless PV Inverter with Unbalanced Output Filter Inductors	Design and Electromagnetic Analysis of a Prototype HTS Linear Induction Motor	A High-efficiency, High-frequency Boost Converter Using Enhancement Mode GaN DHFETs on Silicon	Analysis of Asymmetrical Duty Controlled LCC Converter with Voltage Triple Rectifier for High Voltage Power Supply	Comparison of Different Motor Design Drives for Hybrid Electric Vehicles	Comparison of SMES and SFCL for Transient Stability Enhancement of Wind Generator System	Active Stabilization of DC-DC Converters with Input LC Filters Via Current-mode Control and Input Voltage Feedback	Modeling and Compensation of Inverter Nonlinearity Effects in Carrier Signal Injection-based Sensorless Control Methods from Positive Sequence Carrier Current Distortion	Fast Architecture Generation and Evaluation Techniques for the Design of Large Power Systems
4:45 pm – 5:10 pm	A Matrix Converter Utility Interface for Grid Resources with a High-frequency Bus	A New Bridgeless Single-stage Three-level PFC AC-DC Converter	Multiple-input Modified-Inverse Watkins-Johnson Converter without Coupled Inductors	Fast Optimization of a Linear Actuator by Space Mapping Using Unique Finite Element Model	Performance of a Dual, 1200 V, 400 A, Silicon-carbide Power MOSFET Module	Analysis and Design of a Resonant LCC Converter for Low-profile Applications	Comparison of SiC and SiC Inverters for IPM Traction Drive	A Low Voltage Ride-through Technique for Grid-connected Converters of Distributed Energy Resources	An Active Current Reconstruction and Balancing Strategy with DC Link Current Sensing for a Coupled-inductor Converter	Spectral Overlap of Saliency Signal Components in Injection Based Sensorless Controlled Induction Machines	A Hybrid Synchronous/Fixed Reference Frame PLL for Phase Synchronization with Unbalanced Three-phase Grid Conditions

ECCE Banquet...

THURSDAY, SEPTEMBER 16, 2010

7:00 am – 3:00 pm		Registration Open										Breakout Sessions • 8:00 am – 9:40 am										Prefunction South	
		Room 201	Room 202	Room 203	Room 204	Room 205	Room 206	Room 207	Grand Ballroom C	Grand Ballroom D	Grand Ballroom A	Grand Ballroom B											
		S97 Electric Machines: Permanent Magnet Machines I	S98 DC-DC Converters: Special Topics I	S99 Sustainable Energy Applications: Flexible Renewable/Alternative Energy System I	S100 Electric Machines: Turbine Generators	S101 Transportation EV/PHEV Battery Chargers	S102 Sustainable Energy Applications: Smart Grid Interface	S103 Electric Machines: Design Optimization	S104 DC-AC Inverters: Multi-Level Inverters I	S105 DC-DC Converters: Soft Switching Techniques I	S106 Sustainable Energy Applications: Power Quality I	S107 Sustainable Energy Applications: Wind Turbine Control I											
8:00 am – 8:25 am		Influence of Slot Opening on Optimal Stator and Rotor Pole Combination and Electromagnetic Performance of Flux-switching PM Brushless AC Machines	An Accurate Loss Model for Current-source Gate Driver with Interleaving BUCK Converter	A Novel Five-level Single-phase Grid-connected Converter for Renewable Distributed Systems	Structural Mass Minimization of Large Direct-drive Wind Generators Using a Buoyant Rotor Structure	A High-performance Single-phase AC-DC Power Factor Corrected Boost Converter for Plug-in Hybrid Electric Vehicle Battery Chargers	Increasing Inter-area Available Transfer Capacity Using Controllable Network Transformers	An Electromagnetic-thermo-mechanical Integrated Design and Optimization Method for Permanent Surface Mount Magnet Machines Considering Load Profiles	An Investigation of Voltage Balancing Circuit for DC Capacitors in Diode-clamped Multilevel Inverters to Realize High Output Power Density Converters	Soft-switching Self-driven Buck Converter with Three-switch Cell Structure	AC Fault Ride-through Capability of VSC-HVDC Transmission Systems	Growing Neural Gas Based MPPT of Variable Pitch Wind Generators with Induction Machines											
8:25 am – 8:50 am		Impact of the Rotor Yoke Geometry on Rotor Losses in Permanent Magnet Machines	An Integrated SISO Boost Power Converter with Adaptive Freewheel Switching Technique	A High Frequency Link Multiport Converter Utility Interface for Renewable Energy Resources with Integrated Energy Storage	A Generic Synchronous Machine Model for Real Time Training Simulators	The Issue of Plug-in Hybrid Electric Vehicles' Grid Integration and Its Control Solution	Active Smart Wires: An Inverter-less Static Series Compensator	Maximum Torque Control for Optimal Design to Reduce Cogging Torque in a Permanent Magnet Synchronous Motor	Regenerative Asymmetrical Multi-level Converter for Multi-megawatt Variable Speed Drives	A New Concept of High Input Voltage to Low Load Voltage (1500 V- 48 V) DC-DC Conversion with Hybrid ZVS-ZCS and Asymmetrical Voltage Distribution	Three-level Converters with Selective Harmonic Elimination PWM for HVDC Application	Grid-connected Wind Farm Power Control Using VRB-based Energy Storage System											
8:50 am – 9:15 am		Surface Permanent Magnet Synchronous Machine Design for Self-sensing Position Estimation at Zero and Low Speeds	Novel Zero-current Switching Current-fed Half-bridge Isolated DC-DC Converter for Fuel Cell Based Applications	Control of a Modular Multilevel Cascade BTB System Using Bidirectional Isolated DC-DC Converters	Advanced Signal Processing Techniques for Fault Detection and Diagnosis of a Wind Turbine Induction Generator Drive Train: A Comparative Study	Control Scheme Optimization for a Low-cost, Digitally-controlled Charger for Plug-in Hybrid Electric Vehicles	Islanding Detection in Smart Grids	FEA-based Multi-objective Optimization of IPM Motor Design Including Rotor Losses	Voltage Balancing Control and Experiments of a Novel Modular Multilevel Converter	Novel DC-DC Architecture for High Efficiency SMPS with Multiple Outputs	Input Impedance Modeling of Multipulse Rectifiers by Double-Fourier Series Method	Control of Variable Pitch, Variable Speed Wind Turbine in Weak Grid Systems											
9:15 am – 9:40 am		Study of Iron Saturation in Brushless Doubly-fed Induction Machines	General Law of Non-isolated Interleaved High Step-up Topologies with Winding-cross-coupled Inductors Deduced from Isolation Counterparts	Seamless Transfer Strategy with Outer Current Loop for Three-phase Inverter in Distributed Generation	The Magneto Motive Force of a Novel Dual Stator-winding Induction Generator	A High Power, Current Sensorless, Bidirectional, 16 Phase Interleaved, DC-DC Converter for Hybrid Vehicle Application	Real-time Dynamic Thermal Rating Evaluation of Overhead Power Lines Based on Online Adaptation of Echo State Networks	Investigation of Torque and Iron Loss Characteristics of Optimized Spoke Type IPMSM Considering Motor Modeling and Motor Drive Circuit	A Modulation Technique for High Power AC-DC Multilevel Converters for Power System Integration	Zero-voltage-switching Interleaved Two-switch Forward Converter with Phase-shift Control	Scheduling Demand Response Events with Constraints on Total Number of Events per Year	A Battery Energy Storage Interface for Wind Power Systems with the Use of Grid Side Inverter											

THURSDAY, SEPTEMBER 16, 2010 (Continued)

Grand Salon Prefunction Area									
Breakout Sessions • 10:00 am – 11:40 am									
9:40 am – 10:00 am	Room 201	Room 202	Room 203	Room 204	Room 205	Room 206	Room 207	Grand Ballroom C	Grand Ballroom D
	S108 Electric Machines: Permanent Magnet Machines II	S109 DC-DC Converters: Special Topics II	S110 Sustainable Energy Applications: Flexible Renewable/Alternative Energy System II	S111 Electric Drives: N-Phase Drives	S112 Transportation Applications: Energy Storage	S113 Sustainable Energy Applications: VAR Compensators	S114 Electric Machines: High Speed Machines	S115 DC-AC Inverters: Multi-Level Inverters II	S116 DC-DC Soft Switching Techniques II
10:00 am – 10:25 am	Analysis and Measurement of 3D Torque and Forces for Permanent Magnet Motors with Slotless Windings	Sawtooth Burst Mode with Minimum On-time in Stand-by Operation of Power Supply	Predictive Control for Universal and Flexible Power Management	Two-phase Motor Drive Systems with Z-source Inverter and Hybrid PWM	System Identification-based Lead-acid Battery Online Monitoring System	Safe Current Injection Strategies for a STATCOM under Asymmetrical Grid Faults	Harmonic Loss Analysis and Air-gap Optimization of High Speed Induction Motors	Low Output Frequency Operation of the Modular Multi-level Converter	A ZVS Technique for Single-switch PWM Converters Implemented with Paralleled MOSFETS
10:25 am – 10:50 am	Sensorless Drive of Brushless DC Motors with Estimating Torque Constant for Home Appliance	A Linear Assisted DC-DC Converter for Envelope Tracking and Envelope Elimination and Restoration Applications	Instantaneous Active and Nonactive Power Control of Distributed Energy Resources with a Current Limiter	Six-phase Machine Drive System with Reversible Parallel AC-DC-AC Converters	Automatic Charge Equalization Circuit Based on Regulated Voltage Source for Lithium-ion Batteries	Design and Implementation of a 154 kV, +/- 50 MVAR Transmission STATCOM Based on 21-level Cascaded Multilevel Converter	Novel High-speed, Lorentz-type, Slotless Self-bearing Motor	A Hybrid Cascaded Multilevel Inverter Application for Renewable Energy Resources Including a Reconfiguration Technique	Zeroing Transformer's DC Current in Resonant Converters with No Series Capacitors
10:50 am – 11:15 am	Cogging Torque Minimization in PM Motors Using Robust Design Approach	High Efficiency Power Amplifier Based on Envelope Elimination and Restoration Technique	A Two-stage High Power Density Single-phase AC-DC Bidirectional PWM Converter for Renewable Energy Systems	A Separate Double-winding 12-phase Brushless DC Motor Drive Fed from Individual H-bridge Inverters	Power Electronics Enabled Energy Management for Energy Storage with Extended Cycle Life and Improved Fuel Economy in a PHEV	Negative-sequence Reactive-power Control by the Modular Multilevel Converter Based on Double-star Chopper-cells (MMCC-DSCC)	Rotor Design of a High-speed Permanent Magnet Synchronous Machine Rating 100,000 RPM at 10kW	Review of Novel Multilevel Current-source Inverters with H-bridge and Common-emitter Based Topologies	Design and Implementation of a ZCS Two-switch DC-DC Forward Converter with Variable Inductor
11:15 am – 11:40 am	A Novel E-core Flux-switching PM Brushless AC Machine	A New Family of Marx Generator Based on Resonant Converter	A Novel Phase-shift Bidirectional DC-DC Converter with an Extended High-efficiency Range for 20 kVA Solid State Transformer	Torque Maximization in High-torque Density Multiphase Drives Based on Induction Motors	A Modularized Charge Equalizer Using Battery Monitoring IC for Series Connected Li-ion Battery Strings in an Electric Vehicle	Four-branch Star Neutral Current Hybrid Power Filter and Var Compensator	Design of a 750,000 RPM Switched Reluctance Motor for Micro Machining	Symmetrical Hybrid Multilevel DC-AC Converter in Cascade	Rapid Simulation of Multi-resonant LLC Converters with Capacitive Output Filter Based on an Extended First Harmonic Approximation
11:45 am – 1:40 pm	Awards Luncheon								Grand Salon

Grand Salon

THURSDAY, SEPTEMBER 16, 2010 (Continued)

Breakout Sessions • 1:40 pm – 3:20 pm									
	Room 201	Room 202	Room 203	Room 204	Room 205	Room 206	Room 207	Grand Ballroom C	Grand Ballroom D
	S119 Electric Machines: IPM Machines	S120 DC-DC Converters: Modeling and Analysis	S121 Sustainable Energy Applications: Energy Harvesting I	S122 Electric Drives: Control and Testing	S123 Transportation Applications: Power Converters	S124 Sustainable Energy Applications: Battery Concepts AMD Modeling	S125 Energy Public Policy and Economics: Electrified Transport and Hydrogen Economy	S126 Electric Drives: Multi-Level Drives	S127 DC-AC Inverters: Advanced Inverter System I
1:40 pm – 2:05 pm	Design Tradeoffs between Constant Power Speed Range, Uncontrolled Generator Operation and Rated Current of IPM Motor Drives	Experimental Study of Chaotic Behaviour in Parallel Connected DC-DC Boost Converters with Unbalanced Inductors	Self-powered Wireless MEMS Sensor Modules for Measuring Electrical Quantities in Residential, Commercial, Distribution, and Transmission Power Systems	Closed Loop Control of Active Damped Small DC-link Capacitor Based Drive	The Electromagnetic Compatibility Design Considerations of the Input Filter of a 3-phase Inverter in a Railway Traction System	A Transient-based Approach to Estimation of the Electrical Parameters of a Lead-acid Battery Model	On-site Electrolysis Sodium Metal Production by Offshore Wind or Solar Energy for Hydrogen Storage and Hydrogen Fuel Cycle	On Interaction between Internal Converter Dynamics and Current Control of High-performance High-power AC Motor Drives with Modular Multilevel Converters	Advanced Energy Conversion System Using Sinusoidal Voltage Tracking Buck-boost Converter Cascaded Polarity Changing Inverter
2:05 pm – 2:30 pm	Multi Objective Design Improvement of IPM Motor-drive Using Physic-based Motor Model	Large-signal Linearization of Boost Converter	Human Powered Axial Flux Permanent Magnet Machines: Review and Comparison	DC-link Voltage Control for Switched Reluctance Drives with Reduced DC-link Capacitance	Design of Power Electronic Building Blocks (PEBB) for Multimotor Modular Traction Converters	Improvement of Electrical Modeling of NiMH Battery for Application of Microgrid System	Flexible Electric Vehicle (EV) Charging to Meet Renewable Portfolio Standard (RPS) Mandates and Minimize Green House Gas Emissions	Power Quality Enhancement in High Power Multi-level Drives	A New Approach for Real-time Multiple Open-circuit Fault Diagnosis in Voltage Source Inverters
2:30 pm – 2:55 pm	Unbalanced Operation of Current Regulated Sine-wave Interior Permanent Magnet Machines	Design of High Performance Point of Load Converters with Ultra-low Output Voltage Ripple	Wideband Energy Harvesting for Resonant Piezoelectric Devices	Three-phase Electric Drive with Modified Electronic Smoothing Inductor	Design and Implementation of Fully Digital-controlled 400 Hz Active Power Filter for Aircraft Applications	Analysis of an Electro-mechanical Battery for Rural Electrification in Sub-Saharan Africa	Financial Incentives to Encourage Demand Response Participation by Plug-in Hybrid Electric Vehicle Owners	Model Predictive Direct Current Control for Multi-level Inverters	Dynamic Voltage Balancing of Series Connected IGBTs Using Slope Regulating and Voltage Clamping
2:55 pm – 3:20 pm	Implementation and Control of a PMSM Self-bearing Motor Drive	State Space Decoupling Control Design Methodology for Switching Converters	Wireless Power Transfer Using Weakly Coupled Magnetostatic Resonators	Parameter Identification of an Induction Motor at Standstill Using Vector Constructing Method	Multiphase Multilevel Modular DC-DC Converter for High Current High Gain TEG Application	Series-connected Reconfigurable Multicell Battery: A Novel Design Towards Smart Batteries	Investigations into the Minimization of Electrical Costs for Traction-type Elevators	Introduction of a Large Scale High Efficiency 5-level IEGT Inverter for Oil and Gas Industry	High-frequency DC Link Grid-connected Power Conversion with Improved Active Clamp
3:20 pm – 3:40 pm	PM Break								S128 Sustainable Energy Applications: Power Quality III
									S129 Enabling Technologies: Magnetic Design and Optimization I

Grand Salon Prefunction Area

THURSDAY, SEPTEMBER 16, 2010 (Continued)											
Breakout Sessions • 3:40 pm – 4:55 pm											
	Room 201	Room 202	Room 203	Room 204	Room 205	Room 206	Room 207	Grand Ballroom C	Grand Ballroom D	Grand Ballroom A	Grand Ballroom B
3:40 pm – 4:05 pm	S130 Electric Drives: Improved PWM Methods	S131 DC-DC Converters: System Architectures	S132 Sustainable Energy Applications: Energy Harvesting II	S133 Electric Drives: Sensing Techniques	S134 Sustainable Energy Applications: Fuel Cell Power Systems	S135 Enabling Technologies: Power Electronics Modeling and Simulation Tools	S136 Energy Efficiency and Industrial Applications: Special Topics	S137 Enabling Technologies: Power Semiconductors III	S138 DC-AC Inverters: Advanced Inverter System II	S139 Energy Public Policy and Economics: Reducing Renewable Energy Cost with Power Electronics and Carbon Trading	S140 Enabling Technologies: Magnetic Design and Optimization II
	Pulse-width Modulation Technique for BLDCM Drives to Reduce Commutation Torque Ripple without Calculation of Commutation Time	Modeling and Simulation of a Distributed Power System for Avionic	An Input-powered Active AC-DC Converter with Zero Standby Power for Energy Harvesting Applications	Compensation of Analog Rotor Position Errors Due to Nonideal Sinusoidal Encoder Output Signals	Design and Experimental Validation of a Robust Control Method for a Hybrid Fuel Cell Power Generation System	Efficient CAD Tool for Power Electronics Compensator Design	A Review of Monitoring and Identification Methods for Electric Loads in Commercial and Residential Buildings	Analysis of Static Voltage Balance of Series Connected Self-power ETOs	Analysis and Suppression of a Common Mode Resonance in the Cascaded H-bridge Multilevel Inverter	An Alternative Mechanism for Carbon Emission Permit Price Volatility Mitigation	Selection of the Appropriate Winding Setup in Planar Inductors with Parallel Windings
4:05 pm – 4:30 pm	Vector Quantized Spread Spectrum Modulation Scheme for Three Level Inverters	The Analysis of DC-DC Converter Topologies Based on Stackable Voltage Elements	A New Single Stage AC-DC Converter for Low Voltage Electromagnetic Energy Harvesting	Using the Motor Drive as a Sensor to Extract Spatially Dependent Information During Servo Operation	Techniques for Efficiency Gains in Soft Switching Full-bridge Fuel Cell Power Conversion	Modeling and Evaluation of Diode Reverse Recovery in Discrete-transistion Simulators	Design of a Supercapacitor Based Storage System for Improved Elevator Applications	The Integrated Emitter Turn-off Thyristor (IETO) — An Innovative Thyristor Based High Power Semiconductor Device Using MOS Assisted Turn-off	Optimal Pulsewidth Modulation of Multilevel Inverters for Low Switching Frequency Control of Medium Voltage High Power Industrial AC Drives	Reduction of Green House Gas Emission by Clean Power Trading	A High Efficient Integrated Planar Transformer for Primary-parallel Isolated Boost Converters
4:30 pm – 4:55 pm	Single Current Sensor Operation with Fixed Sampling Points Based on TSPWM	Observer-based Fault Diagnosis of Power Electronics Systems	Design of a Low Cost Self-powered "Stick-on" Current and Temperature Wireless Sensor for Utility Assets	MOVED TO POSTER SESSION II A Method for Switchless Inductorless Energy Storage	Grid-interfaced Fuel Cell Energy System Based on a Boost-inverter with a Bidirectional Back-up Battery Storage	Digital Flickermeter Design and Implementation based on IEC Standard	Applying a Novel Power Management Unit (PMU) to Replace the Large DC Bus Electrolytic Capacitors in Fuel Cell Power Generation System	High Frequency Switching High-power Converter with SiC-PiN Diodes and Si-IGTs	Seven-level Cascaded ANPC-based Multilevel Converter	Transportation Applications Using Practical Hydrogen-on-demand Systems	Planar Integrated Magnetics Design in Wide Input Range DC-DC Converter for Fuel Cell Application

All activities related to ECCE 2010 will be held on the 2nd floor of the Hilton Atlanta.



ECCE Registration

Ballroom A.....	Breakout Sessions	September 14-16
Ballroom B.....	Breakout Sessions	September 14-16
Ballroom C.....	Breakout Sessions	September 13-16
Ballroom D.....	Breakout Sessions	September 13-16
Ballroom East.....	General Session	September 13
Ballroom West.....	ECCE Opening Reception	September 12
Breakout Rooms 201-204	Tutorials.....	September 12
Grand Salon	Expo	September 13-14
	Poster Sessions	September 14
	ECCE Banquet	September 15
	Awards Lunch	September 16

Registration Services

Saturday through Thursday
Prefunction South

On-site registration will be open during the following hours:

Saturday, September 11.....	3:00 pm – 5:00 pm
Sunday, September 12.....	7:00 am – 7:00 pm
Monday, September 13.....	7:00 am – 7:00 pm
Tuesday, September 14.....	7:00 am – 7:00 pm
Wednesday, September 15.....	7:00 am – 7:00 pm
Thursday, September 16.....	7:00 am – 3:00 pm

Full Conference Registration

Full Conference Registration admits one entrance into all technical sessions, plenary sessions, rap sessions, access to the exhibition and all social functions. Additional guest tickets for receptions can be purchased at the Registration Desk.

Full Conference Registration Rates

IEEE Member	\$675.00
Student IEEE Member	\$225.00
Society Member.....	\$625.00
Life Member.....	\$300.00
Non-Member	\$900.00
Student Non-Member	\$225.00

One-Day Registration

One-Day Registration admits one entrance into that day's technical sessions, the plenary session*, rap sessions*, industrial seminars*, and access to the exhibition.

One-day Registration Rates

Society Members.....	\$325.00
IEEE Members	\$375.00
Non-Member	\$425.00

**Access to specified sessions is permitted only if applicable for that day's activities.*

Certificate of Attendance

Certificates of Attendance will not be provided for ECCE 2010.

Tutorial Registration*

Tutorials will take place on Sunday, September 12, 2010. You may select one morning session and one afternoon session. The rates are outlined below. The registration rate is the same if you choose to attend either one or two tutorials. The registration fee includes materials for all 8 tutorials.

Society Member.....	\$275.00
IEEE Member	\$300.00
Non-Member	\$325.00

Expo Only

Expo Only Registration allows access to the Expo only on Tuesday, September 14 after 1:30 pm. Attendees may register for the complimentary Expo Hall Only pass while onsite. Please register at the Registration Desk.

Guest Tickets

Guests may purchase a registration for \$175. Guest Registration includes admission to the opening reception, awards luncheon and conference banquet. A limited number of awards luncheon and conference banquet tickets will be sold onsite. You can still include your guests' name on the registration form, even if he or she does not want to attend the social functions. You may also purchase individual event tickets per the rates below.

Opening Reception Ticket.....	\$60 per person
ECCE Banquet Ticket.....	\$75 per person
Awards Luncheon Ticket.....	\$60 per person
Lunch Ticket.....	\$30 per person

Receipts

All who register online will receive a receipt/confirmation via email. All registrants will also receive a receipt attached to their badge, which can be obtained upon check-in. If you need additional paperwork, please contact the customer service staff, located in the Registration Desk.

Badges

Badges should be worn at all official functions of the meeting. Badge checkers will be stationed throughout the meeting areas. Only those with technical registrations will be allowed into sessions. If you forget or lose your badge, you may obtain a second badge at the Registration Desk with proof of registration.



Message and Information Center

Saturday through Thursday
Prefunction South

If you need to reach a fellow attendee, messages and notices may be placed on the Message Board. Please plan to check these boards regularly in case other attendees are trying to reach you. Outside of registration hours it is recommended that messages be left at the attendee's hotel. Attendees will not be paged.

Accessibility for Registrants with Disabilities

The meeting staff will work with attendees to provide reasonable accommodations for those who require special needs. To request assistance on-site, please check in at the Registration Desk.

Business Center

The Hilton Atlanta is equipped with a 24 hour self service Business Center. Hotel guests must use their key card to access the Business Center. Here you'll be able to fax, print, copy, and access the internet. Also available onsite is a FedEx Office. The hours of operation are as follows: Monday through Friday, 8:00 am – 7:00 pm, Saturday, 9:00 am – 5:00 pm, Sunday, 11:00 am – 5:00 pm.

Cameras and Recording Devices

The use of cameras and/or recorders is strictly prohibited during the oral and poster sessions. Limited use is allowed for Exhibitors in their own booth area. Personal photography is allowed at social functions.

First Aid

The Hilton Atlanta a small gift shop equipped with basic first aid supplies. If you are in need of emergency services or hospital care, the nearest hospitals are as follows:

Emory University Hospital Midtown

550 Peachtree Street NE
Atlanta, GA 30308
Phone: (404) 686-4411
0.5 miles from hotel

Atlanta Medical Center

303 Parkway Drive NE
Atlanta, GA 30312
Phone: (404) 265-4000
0.6 miles from hotel

Hotels

ECCE 2010 has one participating hotel, the Hilton Atlanta.

Hilton Atlanta

255 Courtland Street NE
Atlanta, Georgia, 30303
Phone: (404) 659-2000
Fax: (404) 221-6368

Internet Access

Complimentary wireless internet access will be available for ECCE 2010 attendees in the designated hot spot area of the Grand Salon on Tuesday. An internet hotspot will be available in the registration area Monday through Thursday.

Local Transportation

The Atlanta International Airport is located approximately 12 miles from the hotel, or about a 15 minute drive. A taxi fare will run about \$30 USD, one way. There are a number of transportation options to and from the airport as well as in and around the city of Atlanta. Listed below are just a few options.

MARTA (Metropolitan Atlanta Rapid Transit Authority)

Please visit <http://www.itsmarta.com/> for transit maps and schedules.

AAA Taxi Service

Phone: (404) 252-3838

All Express Cab & Limo Company

Phone: (404) 758-8299

Check Cab Company

Phone: (404) 351-8255

Parking

Self park and valet parking services are available at the Hilton Atlanta. Self parking is \$21.00 per day, while valet parking is \$28.00 per day. Please check with the hotel directly for current parking rates.

Meals & Refreshments

Full conference registration includes all meals, refreshments, and social functions provided by ECCE 2010.

Morning Refreshments

Monday through Thursday
Salon Prefunction Area

Monday, September 13 10:00 am – 10:20 am
Tuesday, September 14 9:40 am – 10:00 am
Wednesday, September 15 9:40 am – 10:00 am
Thursday, September 16 9:40 am – 10:00 am

Lunch

Tuesday
Grand Salon

Tuesday, September 14 11:40 pm – 1:20 pm

Awards Lunch

Thursday
Grand Salon

Thursday, September 16 11:45 am – 1:40 pm

Afternoon Refreshments

Monday through Thursday
Salon Prefunction Area

Monday, September 13 3:00 pm – 3:20 pm
Tuesday, September 14* 3:00 pm – 3:30 pm
Wednesday, September 15 3:10 pm – 3:30 pm
Thursday, September 16 3:20 pm – 3:40 pm

*On Tuesday, the afternoon break will be located in the Grand Salon.

SPECIAL EVENTS

New to ECCE/PELS/IAS Reception

Sunday • 4:30 pm - 5:00 pm
Grand Ballroom West (C/D)

Are you new to ECCE and have not previously been involved with PELS or IAS? Then attend this reception to meet other new attendees and the organization's leaders to enhance your ECCE experience.

Opening Reception

Sunday • 5:00 pm – 7:00 pm
Grand Ballroom West (C & D)

Catch up with your industry partners and friends! Grab a drink and relax before the week ahead.

Spouse Breakfast

Monday • 9:00 am – 10:00 am
Murphy King Room on the 4th Floor

ECCE guest ticket holders are invited to attend the ECCE Guest Breakfast. The hotel conceirge will join you at 9:30 am to discuss things to do while you are in Atlanta and to answer any specific questions about the city.

2010 IEEE Energy Conversion Congress & Expo • 21

Expo Reception

Monday • 5:00 pm – 7:00 pm
Grand Salon

Enjoy a drink and light snacks while you mingle with industry partners and friends and explore the latest advances in products and services to meet the needs of current and future challenges facing the energy conversion industry.

ECCE Gala Dinner

Wednesday • 7:00 pm – 9:30 pm
Grand Salon

Join your colleagues for great food, drinks, entertainment and networking!

Meet & Greet the Fellows Reception

Sunday • 5:00 pm – 7:00 pm • *Grand Ballroom West (C & D)*

Join us for a Meet and Greet the Fellows Reception within the Sunday evening Opening Reception of ECCE 2010. A chance to chat, take photos and congratulate the 2010 IEEE Power Electronics Society Class of Fellows that have chosen to receive their award at ECCE.



Shmuel (Sam) Ben-Yaakov
Ben-Gurion University of the Negev
Department of Electrical and Computer Engineering

Honored for development of modeling and simulation methodologies for pulse width modulated and resonant converters.



Xiangning He
Zhejiang University
College of Electrical Engineering

Honored for leadership in establishing a power electronics research institute in China.



Johann Kolar
Swiss Federal Institute of Technology (ETH) Zurich
Power Electronic Systems Lab

Honored for contributions to three-phase pulsed width modulation converter systems.



Seth Sanders
University of California, Berkeley
Electrical Engineering & Computer Sciences Department

Honored for contributions to integrated passive component technology and digital control of power electronic systems.



Fei (Fred) Wang
Virginia Tech
Center for Power Electronics Systems

Honored for contributions to design and control of high-power high-density converters and drives



Robert White
Vu1- PSMA (Power Source Manufacturing Association)

Honored for contributions to digital power management in power systems for computing and telecommunications equipment

Oral Presenters

Speaker Ready Room

Saturday through Thursday
Prefunction South (next to Registration Services)

ALL Oral Presenters must check in at the Speaker Ready Room at least 4 hours prior to their scheduled presentation. Even if you have submitted your presentation in advance and have no changes, you must check and confirm that the presentation is correct.

The hours of operation of the Speaker Ready Room are as follows:

Saturday, September 11.....	3:00 pm – 5:00 pm
Sunday, September 12.....	7:00 am – 3:30 pm
Monday, September 13.....	7:00 am – 3:30 pm
Tuesday, September 14.....	7:00 am – 3:30 pm
Wednesday, September 15.....	7:00 am – 3:30 pm
Thursday, September 16.....	7:00 am – 3:00 pm

You may also edit your presentation at this time. When you are finished reviewing your presentation and verify it is ready, the AV personnel will queue your presentation onto the networked conference computers. The file will then be transferred to the computer network for presentation in the scheduled room.

Presenters' Orientation & Breakfast

A Presenters' orientation will held for all presenters and session chairs from 7:00 am – 8:00 am, Monday through Thursday, in the hotel's restaurant, Trader Vic's. A section of the restaurant will be reserved specifically for our presenters and session chairs. Oral presenters should meet with their respective session chairs to review the format and timing of their session and alert conference management of any changes. Oral presenters should attend the orientation each day that they are scheduled to provide an oral presentation (or chair a session); you may only attend breakfast on days on which you are scheduled to speak. Poster presenters should attend the breakfast the morning of Tuesday, September 14, 2010.

Poster Presenters

Poster Presentation Schedule

Tuesday
Grand Salon

Poster Session I	1:30 pm – 3:00 pm
Poster Session II	3:30 pm – 5:00 pm

Over 125 posters will be on display on Tuesday in the Grand Salon. The poster presenters should be available for questions at their display boards during their scheduled poster presentation time. If you are unsure in which session your poster should be presented, please review the complete Technical Session schedule starting on page 39.

Poster Session I Setup

Presenters will have access to the exhibit hall, Grand Salon, starting at 11:30 am. Presenters for Poster Session I must have their posters set-up no later than 1:30 pm. Poster presenters must then take their posters down promptly at 3:00 pm. Any posters that remain on the poster boards at 3:30 pm, and do not belong in Poster Session II will be removed and kept at the Registration Desk.

Poster Session II Setup

Presenters for Poster Session II will only have between 3:00 pm – 3:30 pm to set-up their posters. Posters for Poster Session II must then be removed no later than 5:30 pm.

Do not leave your presentation on the poster board. Posters remaining after 6:00 pm on Tuesday, September 14th will be removed and kept at the Registration Desk. Uncollected posters will be discarded.

Poster Boards & Push-pins

4'x6' poster boards will be provided, so please keep these dimensions in mind when printing your posters. Push pins will be provided for all poster presenters.

IAS Committee Meetings

Industrial Power Conversion Systems Department Meeting

Sunday, September 12, 2010
7:00 pm - 9:00 pm
Room 206

Industrial Drive Committee (*Joint meeting with PELS Technical Committee on Motor Drives*)

Monday, September 13, 2010
6:00 pm - 8:00 pm
Room 201

Power Electronics Devices & Components Committee

Monday, September 13, 2010
6:00 pm - 8:00 pm
Room 202

Electric Machines Committee

Tuesday, September 14, 2010
5:00 pm - 7:00 pm
Room 202

Industrial Power Converter Committee

Tuesday, September 14, 2010
5:00 pm - 7:00 pm
Room 203

Industrial Lighting and Displays Committee

Tuesday, September 14, 2010
3:30 pm - 5:00 pm
Room 206

ECCE Committee Meetings

ECCE Technical Program Committee

Monday, September 13, 2010
5:00 pm - 8:00 pm
Room 203

ECCE 2011 Organizing Committee Meeting

Tuesday, September 14, 2010
1:30 pm - 5:00 pm
Room 204

ECCE 2012 Organizing Committee Meeting

Tuesday, September 14, 2010
5:00 pm - 7:00 pm
Room 204

ECCE Steering Committee Meeting

Wednesday, September 15, 2010
1:30 pm - 3:30 pm
Room 204

PELS Committee Meetings

PELS Meetings Committee

Saturday, September 11, 2010
11:30 am - 4:30 pm
Room 206

IEEE Power Electronics Society Standards Committee (PELSC)

Saturday, September 11, 2010
4:00 pm - 6:00 pm
Room 202

PELS Operations & Products Meetings Committee

Sunday, September 12, 2010
7:30 am - 11:30 am
Room 206

PELS Administrative Committee Meeting

Sunday, September 12, 2010
11:30 am - 5:00 pm
Room 206

PELS Technical Committee on Motor Drives

(*Joint meeting with IAS Industrial Drives*)
Monday, September 13, 2010
6:00 pm - 8:00 pm
Room 201

PELS Sustainable Energy Technical Committee

Tuesday, September 14, 2010
12:00 pm - 1:00 pm
Room 201

PELS Modeling, Simulation and Control TC Meeting

Tuesday, September 14, 2010
12:00 pm - 1:00 pm
Lobby Level Training Room

**IEEE Power Electronics Society
DC Systems Committee (PELSDC)**

Tuesday, September 14, 2010
2:00 pm - 3:00 pm
Room 201

PELS Transactions Editorial Board Meeting

Tuesday, September 14, 2010
2:00 pm - 4:00 pm
Room 202

**Meeting of TC on Distributed Generation
and Renewable Energy Systems**

Tuesday, September 14, 2010
4:00 pm - 7:00 pm
Room 201

**Power Electronics Devices and Components Committee
(PEDCC)**

Tuesday, September 14, 2010
5:00 pm - 7:00 pm
Room 205

Monday, September 13, 2010

8:00 am – 10:10 am

Grand Ballroom East (A/B)

Speaker: **Paul Hamilton**, *Energy Efficiency Program, Strategy, Customers, Innovation & Technology, Schneider Electric*



Energy Efficiency was established as a core business initiative for Schneider Electric in early 2006. In September 2006, Paul Hamilton was selected to lead the Energy Efficiency Company Program. In this role he is responsible for promoting and developing the global business of Schneider Electric in the areas of energy efficiency and sustainability. Today,

Paul is actively engaged in the global communities of energy efficiency and sustainability. He has represented Schneider Electric in a variety of public events and organizations around the world on the topic. His main message revolves around the impact energy efficiency can have on people, business and the planet and the opportunities we have to manage and impact change. He is active in lobbying and standards, internal energy action programs, and education programs on energy efficiency. Since 1998, Paul has managed various aspects of the services and automation businesses for Schneider Electric. Prior to this he was involved in two successful venture startups for industrial control software and the safety control systems business. Paul started his career at GE in the electrical equipment business before moving into the automation business. Paul resides in the Boston area, graduated from the University of Pittsburgh with a BSEE and is a Certified Energy Manager.

Speaker: **Richard K. Williams**, *President and CEO, Chief Technical Officer, Advanced Analogic Technologies, Inc.*



An acknowledged device physics expert in power management and IC technology, Richard has invented many landmark products. Prior to AnalogicTech, Richard spent 18 years at Siliconix where he was senior director of device concept and design. He invented and developed several milestone devices, including an airbag controller IC for Mercedes-Benz, a Lilon

battery disconnect switch for Sony and Apple Computer, and the first production Trench Power MOSFET. Williams holds a BSEE from the University of Illinois at Urbana-Champaign and an MSEE from Santa Clara University.

Speaker: **Lennart Jonsson**, *Executive Vice President and Chief Technology Officer, Eaton Corporation*



Lennart Jonsson is Sr. Vice President and Chief Technology Officer at Eaton Corporation, Electrical Sector. Lennart Jonsson was born in Lidköping Sweden. He received an M.S. degree in Electrical Engineering from Chalmers University of Technology in 1974. After completing his studies Lennart started an international carrier by joining Nea- Lindberg AS, Copenhagen Denmark, as a project leader with responsibility for development of electrical equipment and power converters. In 1977, he joined Ulveco Power Systems, Stockholm Sweden as a Design Engineer and was later promoted to Product Development Manager. The product development activity included 48 V DC Power Systems, Power Supplies for Telecommunication applications, and UPS product lines. In 1987, Lennart joined Fiskars Power Systems OY/AB in Stockholm and Helsinki as Director of Product Development. In 1994, he moved from Sweden to the United States to take a position as Vice President of Engineering at Powerware Corporation, in San Diego, CA and Raleigh, NC. In 2004 he became Director of Engineering at Eaton Power Quality Corporation, responsible for development of all Power Quality products globally. This includes Uninterruptible Power Systems, Power Factor Correction, Power Distribution, TVSS, and other products and services to improve the Power Quality in critical applications. In 2007, Lennart was appointed Vice President and Chief Technology Officer for Eaton Electrical Sector.

Speaker: **Pedro Ray**, *2010 IEEE President and CEO, President, Ray Architects Engineers*



Pedro Ray successfully completed the Harvard Business School OPM program, class of 2001. He received his BSEE and MSEE degrees from Georgia Tech. He is a licensed professional engineer. He is President of Ray Engineers, a professional services corporation with over 90 employees. He is also owner and president of various corporations dedicated to the

development of commercial and residential real estate projects. He was Chief Examiner in charge of revision to the Puerto Rico Electricity Pricing Structure (2000), and was named Puerto Rico's Electrical Engineer of the Year 2000. He was awarded 2005 IEEE PES Chapter Outstanding Engineer Award. Mr. Ray is also a member of the Young Presidents Organization (YPO), a group of 10,000 young leaders from around the world. IEEE Activities – (S'83-M'83-SM'95) OFFICES: Board of Directors, 2009-10, 2006-07, 2003-04, 2000-01; ExCom, 2006-07, 2003-04; IEEE President, 2010; IEEE President-Elect, 2009; Treasurer, 2003-04; Regional Activities Board (RAB), Vice President, 2006-07.

Note: All tutorials are held on September 12, 2009. Pre-registration for each tutorial is required. Please visit the Registration Desk for space availability.

SUNDAY, SEPTEMBER 12
MORNING SESSIONS

8:30 am – 12:00 pm

T1-1 Medium Voltage Drives

Room 201

Instructor: Joachim Holtz, *University of Wuppertal*

Semiconductor devices and their suitability for medium voltage applications are discussed. Operation at low switching frequency is preferred to restrain the switching losses. AC drives require appropriate inverter circuit topologies that withstand high voltages on one hand and generate low-harmonic output voltages on the other. Multilevel inverter topologies are mostly preferred. Various options exist: diode clamped inverters, capacitor clamped inverters, inverters or half-bridges in series connection, topologies using additional h-bridges per phase that add or subtract the constant voltage of a storage capacitor to the respective phase voltage, and the modular multilevel topology, suitable for very high voltages and for any number of voltage levels. Designing an ac drive system for low switching frequency operation requires particular care. Control signal delays are then substantial and increase undesired cross-coupling effects in vector controlled schemes. The effects are not sufficiently compensated by established methods like feedforward compensation. Improvements are achieved by more accurate modelling of the machine and the inverter. A controller then results having complex-valued parameters. Closed loop control based on synchronous optimal pulsewidth modulation operates parameter independent. The method reduces the switching frequency and also decreases the inverter harmonics. High dynamic performance is obtained by forcing the stator flux vector on a precalculated optimal trajectory. Deadbeat behavior and complete decoupling is achieved. Optimal modulation algorithms do not include a means of accessing the load current fundamental, important for dynamic torque control. Fast dynamic control at very low switching frequency is achieved using a hybrid observer to generate a fundamental component feedback signal.

T1-2 Photovoltaic Microinverters: Topologies, Control Aspects, Reliability Issues, and Applicable Standards

Room 202

Instructors: Nasser Kutkut and Haibing Hu, *Florida Energy Systems Consortium, University of Central Florida*

The rapid growth of PV power installations over the past few years has fueled many new technological innovations. On the energy conversion front, micro inverters have made their debut into the market place. Micro-inverters are small grid-tie DC/AC inverters, with power levels in the range of 100-300W, that convert the output of a single PV panel into grid quality AC. A single micro-inverter inverter is typically connected to a single PV panel and incorporates a single MPPT process thereby maximizing the energy harvest from every PV panel and allowing each PV panel to operate at its maximum power production capacity. Micro-inverters allow for greater system flexibility by offering modular and

scalable solar power system architecture. This eliminates single point failures while allowing the use of panels from different vendors and with different power ratings in a single PV power system installation. Finally, micro inverters improve the safety of PV power systems by eliminating the unsafe high DC voltages of string based systems while minimizing installation and BOS costs. To realize a commercially viable micro inverter design, many challenges need to be addressed. These include cost (on a per watt basis), conversion efficiency, reliability (life expectancy), and compliance with relevant standards. This tutorial will offer a comprehensive review of micro-inverter technology and will cover topics such as topologies, control aspects, reliability issues and relevant standards.

T1-3 Understanding IGBT Modules Used in Energy Conversion

Room 203

Instructor: John F. Donlon, *Powerex, Inc.*

Information provided on IGBT module data sheets varies considerably between manufacturers and can leave the designer with many questions regarding device selection. Issues the designer must deal with include interpretation of device ratings, gate drive requirements, and providing device and system protection. The intent of this tutorial is to aid the designer in applying an IGBT in a new product. Questions and concerns a designer might have will be addressed by the various techniques and circuit examples that will be presented. IGBT chip technology and device packaging options will also be discussed. The attendee should leave the course with a better understanding of the IGBT, both specifically as a device and how it functions in an application. The goal will be to impart an understanding of the desirable features, characteristics, and limitations of the IGBT. This will include the application of IGBTs in power circuits, protecting the IGBT from internal and external disturbances, and an understanding of thermal design and handling considerations. The tutorial is intended for design engineers new to IGBTs as the main switch in power conversion equipment as well as a refresher for the experienced designer with questions about confusing or conflicting information on the data sheets from various manufacturers. It should also be of interest to those who use, apply, procure, or specify power electronic products based on the IGBT as the power switch.

T1-4 Advanced Thermal Management Materials for Energy Conversion

Room 204

Instructor: Carl Zweben, *Advanced Thermal Materials Consultant*

Al/SiC, first used in electronics by the author in the 1980s, has replaced copper in many IGBT modules, extending lifetimes from 10 to 30 years, and "eliminating solder fatigue failure". An increasing number of advanced thermal management materials address key packaging problems: heat dissipation, and thermal stresses and warping, which arise from coefficient of thermal expansion (CTE) differences. There are now many low-CTE, low-density materials with thermal conductivities as high as 1700 W/m-K (four times that of copper). Thermally conductive materials allow heat removal through printed circuit boards (PCBs), and can tailor PCB CTE, potentially eliminating the need for underfill. Various graphitic materials can greatly increase

thermal interface material (TIM) thermal conductivity. Low-CTE solders are under development. Advanced thermal materials are used in an increasing number of commercial and aerospace microelectronic and optoelectronic applications. For example, low-CTE composites having a thermal conductivity of 600 W/m-K have been used in IBM servers. This course, intended for all levels of engineers and scientists, covers the many advanced materials that are now commercially available and under development. Topics include material properties, manufacturing processes, applications, cost, lessons learned, and future directions, including carbon nanotubes. Traditional materials are included for reference.

SUNDAY, SEPTEMBER 12
AFTERNOON SESSIONS

1:00 pm – 5:00 pm

T2-1 Design and Control of Permanent Magnet Machines for Geared and Gearless Applications

Room 201

Instructors: Mehdi Abolhassani, *TECO-Westinghouse Motor Company* and Hamid Toliyat, *Texas A&M University*

Depletion of fossil energy resources and growing energy costs and demand motivate research on high efficiency motor drive technologies. Replacing direct current (DC) machines and alternating current (AC) induction machines with permanent magnet (PM) machines has gained interest in appliance, automotive, wind energy, medical, aerospace and military industries. PM motors and generators are gaining popularity for variety of reasons. Because the excitation of a PM machine is provided by permanent magnets, brushes and slip rings are eliminated, resulting in a simple and rugged structure. Permanent magnet excitation is current-free and lossless, enabling PM machines with high efficiency and power density. The advent of high coercivity, high energy product, and high temperature grade (180 °C) NdFeB PM material is the driving force behind the widespread use of PM motors in servo drives and traction drives where harsh operating conditions and space limitations put a premium on performance and reliability. The IPM (interior-mount PM) motor in particular is arguably simpler and more reliable than the induction motor, and the absence of any major heat source on the rotor definitely contributes to a lower possibility of rotor structure deformation and bearing failure. The IPM motor is capable of field-weakening operation to achieve a wide constant power speed range similar to that of the series-DC motor, a desirable feature for traction drive systems. PM motors in industry applications need special design rules and analysis tools that are far less well developed and limited in their availability compared to those for DC and AC induction motors. This tutorial addresses the state-of-the-art of application-oriented industrial issues in the areas of design, analysis, and control of PM machines. Specification requirements, design steps, and analysis approaches of combined motor and drive system in a wide variety of applications in hybrid electric vehicles, traction, wind turbines, home appliances, aerospace, and industry use have been developed, and practical and manufacturing issues are discussed. Practical implementation of digital sensed and sensorless variable speed PM motor drives are described. The tutorial provides an opportunity for engineers in industry and academia to learn application oriented design rules and control methods of PM machines and drive systems.

T2-2 Introduction to LED Lighting Systems and Their Power Electronic Drivers

Room 202

Instructor: Brad Lehman, *Department of Electrical and Computer Engineering, Northeastern University*

This tutorial is meant to introduce a power electronic engineer to the revolutionary advancements that have taken place over the past years in LED lighting and also introduce the engineer to the fundamental aspects to designing an LED lighting system. The tutorial will present an introduction to color mixing (for a non-expert) and simple optical performance characteristics necessary to designing an LED lamp. Examples of how to compute the CIE color coordinate, Color Rendering Index (CRI), Correlated Color Temperature (CCT) will be presented. The physical semiconductor advancements in light extraction of high brightness LEDs over the past 10 years will also be surveyed. Next, details on how to design an LED driver will be presented and topics will include: proper modeling of LEDs and their binning uncertainties, different power electronic topologies used to drive LEDs for various applications, and benefits and drawbacks of various LED driving strategies. A major emphasis will be placed on dimming of LEDs and their difficulty to work with standard residential phase modulated dimmer switches. An important aspect of all these topics is the understanding of the biological effects possibly associated with driving LEDs at lower flicker frequencies.

T2-3 Digital PWM for DC to AC Conversion

Room 203

Instructor: Pallab Midya and Bill Roekner, *ADX Research, Inc.*

As digital logic speed and density continues to grow digitally generated PWM is becoming the method of choice for for many AC to DC conversion applications. The main focus of this tutorial is audio but will also address motor drive applications. Some of the key challenges for digital PWM include compensation of the mathematical nonlinearity associated with digital PWM, handling the quantization noise associated with digital PWM. Due to power supply noise and power stage nonlinearity there is need for a closed loop feedback control around the power stage. Solutions to this feedback problem will be discussed in detail. For EMI mitigation spread spectrum digital PWM techniques will also be discussed. Simulation results for motor control applications and measured results for audio applications will be presented.

T2-4 Grid Converters for PV and Wind Turbine Systems

Room 204

Instructor: Remus Teodorescu, *Aalborg University*, Rik deDoncker, *RWTH Aachen University*, Marco Liserre, *Polytechnic of Bari*, *Electrotechnical and Electronic Engineering Department*, and Pedro Rodriguez, *Technical University of Catalonia*, *Department of Electrical Engineering*

Distributed power generation systems (DPGS) based on renewable energy sources (RES), like photovoltaics (PV) and wind turbines (WT),

have experienced rapid development in recent years. This tutorial will offer a comprehensive review of converter structures and control structures for both PV and WT systems. After a review of converter topologies and control structures in low and medium power DPGS, the attention is focused on grid converters, their synchronization and their control. Current and voltage control techniques are covered with attention paid to microgrid operation, ancillary services and future functions. The design of the grid filter is considered as well as its influence on the control. Finally, grid synchronization and monitoring in both single-phase and three-phase systems is reviewed as well as the advanced control methods able to cope with distorted grid or grid faults. There will be increased focus on the requirements stated in the grid codes for DGPS in terms of ride-through, grid support and power quality. This tutorial is intended for electrical and control engineers and researchers dealing with grid power converters and interested in go deeply into essential issues related to the integration of WT and PV energy into electricity networks.

IEEE ECCE 2010 will host 2 exciting rap sessions on Tuesday, September 14th from 8:00 pm – 9:00 pm.

RS 1 Electrical Systems for Future Transportation

Room 201

Rap Session Panel:

Kaushik (Raja) Rajashekara (Session Chair), *Rolls Royce*
 V. Anand Sankaran, *Ford*
 John Miller, *Maxwell*
 Tom Jahns, *University Wisconsin-Madison*
 Ali Emadi, *Illinois Institute of Technology*

Industry and academic leaders in transportation systems will discuss the looming technology that will likely be embedded in future public and private transportation vehicles. This includes auxiliary equipment and control systems as well as hybrid and electric drive-trains.

RS 2 Current Status and Future in Wind Energy Systems

Room 202

Rap Session Panel:

Mahesh Morjaria (Session Chair), *GE Energy*
 Johan Enslin, *Quanta Technology*
 Frede Blaabjerg, *Aalborg University*
 Bob Zavadil, *Enernex*

An update on the current state of wind energy systems for electrical energy production and a look ahead at what can be expected to be on the grid. Experts discuss the relevant current and upcoming issues for large-scale wind energy.

Special Industry Session (S62): Industry Perspectives on Emerging Challenges and Opportunities in Renewable Energy and Electrified Transport

Tuesday, September 14 • 8:00 am - 9:40 am • Grand Ballroom A

As part of the incorporation of IEEE Energy 2030 into ECCE, a Special Industrial Session will be held titled Industry Perspectives on Emerging Challenges and Opportunities in Renewable Energy and Electrified Transport. Special focus will be paid to recent policy and technology developments which could influence the direction taken by ECCE attendees and their organizations. Each presenter will provide their outlook on the dynamic landscapes of renewable energy and electrification, followed by a panel discussion. Our presenters are:

Dr. Satish Rajagopalan

Sr. Project Engineer/Scientist
Electric Power Research Institute (EPRI)

Dr. Satish Rajagopalan is a Senior Engineer in the Power Delivery & Utilization Sector at EPRI. His present research includes the development and testing of grid-tied converters for distributed resource integration, and impact analysis of electric vehicle charging on the electrical grid. He has also been responsible for power conversion and energy storage research, testing, and development.

Don Francis

Executive Director
Clean Cities-Atlanta

Don Francis is the Executive Director of Clean Cities-Atlanta, a public-private partnership started by the DOE to reduce oil imports through electrification, alternative fuels, and increased fuel economy. He is also leading the Metro Atlanta EV Readiness Task Force, preparing Atlanta for the 2011 launch of the Nissan Leaf. Previously, he served as the Business Unit Manager for Southern EV, an unregulated business unit set up by Southern Company to sell, install and service electric vehicle infrastructure in the southeast.

Dr. Pat Chapman

Chief Technology Officer
SolarBridge Technologies

Patrick Chapman is a co-founder and CTO of SolarBridge Technologies, focusing on integrated microinverters for the solar power industry. Prior to joining SolarBridge full-time, Dr. Chapman was a tenured faculty member at the University of Illinois at Urbana-Champaign.

Dr. Mahesh Morjaria

Manager, Renewables Controls,
GE Energy

Mahesh Morjaria leads a team responsible for controls systems for wind and solar plants at GE Energy, which includes grid and power management controls, SCADA, intermittency systems, wind plant optimization capability as well as turbine controls. Mahesh has led development of products and technologies for a diverse set of GE products including locomotives, gas turbines, appliances and power electronics for over 20 years at GE.

MONDAY, SEPTEMBER 13
10:20 am – 12:00 pm
S1 Electric Machines: Induction Machines

Room 201

 Chairs: Andrea Cavagnino and Aldo Boglietti, *Politecnico di Torino, Italy*
10:20 am • A Frequency Demodulation Approach to Induction Motor Speed Detection

 Zhi Gao, Larry Turner, Roy Colby and Benoit Leprettre, *Schneider Electric, United States; Schneider Electric, France*
10:45 am • Optimal Split Ratio for High Speed Induction Machines

 David Gerada, Abdeslam Mebarki, Neil Brown and Chris Gerada, *Cummins Generator Technologies, United Kingdom; University of Nottingham, United Kingdom*
11:10 am • Effect of Winding Asymmetries and Winding Connection on Small Synchronous Machines

 David Dorrell and Mircea Popescu, *University of Technology Sydney, Australia; Motor Design Ltd., United Kingdom*
11:35 am • New Method for Current and Voltage Measuring Offset Correction in an Induction Motor Sensorless Drive

 Zeljko Pantic, Srdjan Lukic and Siddharth Ballal, *North Carolina State University, United States*
S2 DC-AC Inverters: Grid Connected Inverters I

Room 202

 Chairs: Fang Peng, *Michigan State University, United States* and Alexis Kwasinski, *University of Texas, United States*
10:20 am • Modularized Bidirectional Grid-tied Inverter with Asynchronous Sigma-delta Modulation

 Yaow-Ming Chen and Chia-Hsi Chang, *National Taiwan University, Department of Electrical Engineering, Taiwan*
10:45 am • Predictive Digital Controlled Three Phase Bidirectional Inverter with Wide Inductance Variation

 Tsai-Fu Wu, Chih-Hao Chang, Hsu-Chin Wu, Jian-Rong Ciou and Ting-Shih Lin, *EPARC, National Chung Cheng University, Taiwan*
11:10 am • Design and Implementation of a 5 kW Single Phase Bidirectional Inverter with Wide Inductance Variation

 Tsai-Fu Wu, Kun-Han Sun, Chia-Ling Kuo, Meng-Shiun Yang and Ruei-Chi Chang, *EPARC, National Chung Cheng University, Taiwan*
11:35 am • A Novel Control Method for Dual Mode Time-sharing Grid-connected Inverter

 Weimin Wu, Houlai Geng, Pan Geng, Yinzong Ye and Min Chen, *Shanghai Maritime University, China; Shanghai Institute of Technology, China; College of Electrical Engineering, Zhejiang University, China*
S3 Energy Efficiency and Industrial Applications: Power System Fault Isolation

Room 203

 Chairs: Ronald Harley, *Georgia Tech, United States* and Lucian Asiminoaei, *Danfoss, Denmark*
10:20 am • Inverter-based versus Synchronous-based Distributed Generation; Fault Current Limitation and Protection Issues

 Ahmed Massoud, Shehab Ahmed, Steve Finney and Barry Williams, *University, Qatar, Qatar; Texas A&M at Qatar, Qatar; Strathclyde University, United Kingdom; Strathclyde University, United Kingdom*
10:45 am • Protection of Meshed Microgrids with Communication Overlay

 Anish Prasai, Yi Du, Andrew Paquette, Edward Buck, Deepak Divan and Ronald Harley, *Georgia Institute of Technology, United States; Eaton Corporation, United States*
11:10 am • Power Sequencing Approach to Fault Isolation in DC Systems: Influence of System Parameters

 Pietro Cairoli, Igor Kondratiev, Ugo Ghisla and Roger Dougal, *University of South Carolina, United States*
11:35 am • Research on Current Control Strategy for Grid-connected Inverter Using LCL Filter Based on Passivity Based Control

 Zongxiang Chen and Lusheng Ge, *Anhui University of Technology, China*
S4 Enabling Technologies: Power Semiconductors I

Room 204

 Chairs: Jerry Hudgins, *University of Nebraska-Lincoln, United States*
10:20 am • Electromechanical Characterization of "Flying" Planar Gate Punch Through IGBT Bare Die

 Yassine Belmehdi, Stephane Azzopardi, Jean-Yves Deletage, Florence Capy and Eric Woirgard, *Laboratory IMS - University of Bordeaux, France*
10:45 am • Robustness Evaluation of High Voltage Press Pack IGBT Modules in Enhanced Short Circuit Test

 Filippo Chimento, Willy Hermansson and Tomas Jonsson, *ABB Corporate Research, Sweden; ABB, Sweden*
11:10 am • Comparisons of 6.5kV 25A Si IGBT and 10-kV SiC MOSFET in Solid-state Transformer Application

 Gangyao Wang, Xing Huang, Jun Wang, Tiefu Zhao, Subhashish Bhattacharya and Alex Huang, *North Carolina State University, United States*
11:35 am • Modeling of the Impact of Diode Junction Capacitance on High Voltage High Frequency Rectifiers Based on 10kV SiC JBS Diodes

 Yu Du, Gangyao Wang, Jun Wang, Subhashish Bhattacharya and Alex Huang, *North Carolina State University, United States*
S5 Energy Public Policy and Economics: Intersection of Technology and Policy

Room 205

 Chairs: Valerie Thomas, *Georgia Institute of Technology, United States* and Grahame Holmes, *RMIT University, Australia*
10:20 am • Power Electronics for Sustainable Energy Future — Quantifying the Value of Power Electronics

 Jelena Popovic-Gerber and Jan Abraham Ferreira, *Delft University of Technology, Netherlands*
10:45 am • Supporting Schemes for Renewable Energies the Italian Way

 Giancarlo Scorsoni, *GSE, Italy*
11:10 am • Lowest Cost Path to Meeting Electricity Demand at the State Level: Implications of Carbon Cap-and-trade

 Todd Levin, Valerie Thomas and Audrey Lee, *Georgia Institute of Technology, United States; US Department of Energy, United States*
11:35 am • Grid Stability Battery Systems for Renewable Energy Success

 Charles Vartanian, *A123 Systems, United States*

S6 Sustainable Energy Applications: Active Power Filters

Room 206

Chairs: Hirofumi Akagi, *Tokyo Institute of Technology* and Dehong (Mark) Xu, *Zhejiang University, China***10:20 am • Reactive Power Compensation and Harmonics Elimination at Medium-voltage Using Hexagram Converter**Jun Wen, Liang Zhou and Keyue Smedley, *University of California-Irvine, United States***10:45 am • Study of Closed-loop Control Scheme for Source Current Detection Type Active Power Filter**Hao Yi, Fang Zhuo, Xian'wei Wang, Jin'jun Liu and Yan'hui Qiu,, *Xi'an Jiaotong University, China***11:10 am • DC-side Shunt Active Power Filter for Line Commutated Rectifiers to Mitigate the Output Voltage Harmonics**K.H. Ahmed, M.S. Hamad, S.J. Finney and B.W. Williams, *Strathclyde University, United Kingdom***11:35 am • Scaling the Dynamic Capacitor (D-CAP) to Medium Voltages**Anish Prasai and Deepak Divan, *Georgia Institute of Technology, United States***S7 Energy Efficiency and Industrial Applications: LED Lighting I**

Room 207

Chair: Jo Olsen, *Sylvania, United States***10:20 am • Resonant Assisted Buck Converter for Offline Driving of High Brightness LED Replacement Lamps**Xiaohui Qu, Siu-chung Wong and Chi K. Tse *Southeast University, Nanjing, China; The Hong Kong Polytechnic University, Hong Kong***10:45 am • LED Lighting Flicker and Potential Health Hazards: IEEE Standard. PAR1789 Update**Arnold Wilkins, Jennifer Veitch and Brad Lehman *University of Essex, United Kingdom; National Research Council Canada, Canada; Northeastern University, United States***11:10 am • Estimation of Internal Junction Temperature and Thermal Resistance of Light-emitting Diodes Using External Luminous Flux Measurements**X.H. Tao, S.N. Li and S.Y.R. Hui, *City University of Hong Kong, Hong Kong***11:35 am • A General Photo-electro-thermo-temporal Theory for Light-emitting Diode Systems**X.H. Tao and S.Y.R. Hui, *City University of Hong Kong, Hong Kong***S8 Electric Drives: Direct Torque Control**

Grand Ballroom C

Chairs: Yen-Shin Lai, *National Taipei Institute of Technology, Taiwan* and Joachim Böcker, *University of Paderborn, Germany***10:20 am • A Novel Control Scheme for Wide Speed Range Operation of Direct Torque Controlled Synchronous Reluctance Motor**Yukinori Inoue, Shigeo Morimoto and Masayuki Sanada, *Osaka Prefecture University, Japan***10:45 am • Model Predictive Direct Torque Control of Permanent Magnet Synchronous Motors**Tobias Geyer, Giovanni Beccuti, Georgios Papafotiou and Manfred Morari, *The University of Auckland, New Zealand; ABB Corporate Research, Switzerland; ETH Zurich, Switzerland***11:10 am • Computationally Efficient Model Predictive Direct Torque Control**Tobias Geyer, *The University of Auckland, New Zealand***11:35 am • Implementation of Deadbeat Direct Torque and Flux Control for AC Induction Machine Control**Timothy R. Obermann, Zachary D. Hurst and Robert, D. Lorenz, *ABB, Inc., United States; University of Wisconsin - Madison, United States***S9 DC-DC Converters: Digital Control I**

Grand Ballroom D

Chairs: Dragan Maksimovic, *University of Colorado, United States* and Jose Cobos, *Technical University of Madrid, Spain***10:20 am • An Adaptive Digital PID Controller Scheme for Power Converters**VaraPrasad Arikatla and Jaber Abu Qahouq, *The University of Alabama, United States***10:45 am • Digital Controller for Rapid Cycling Synchrotron Magnet Power Supply with Very High Tracking Precision**Jin Ye, Xu Yang, Haizhong Ye, Xiaoming Kong and Bo Liu, *Xi'an Jiaotong University, China***11:10 am • Digital Power Controller with Sensorless DCM Operation**Jaber Abu Qahouq, *The University of Alabama, United States***11:35 am • Asymmetrical Leading-triangle Modulation Technique for Improved Digital Valley Current Controlled Switching DC-DC Converters**Guohua Zhou, Jianping Xu, Fei Zhang, Ming Qin and Yanyan Jin, *Southwest Jiaotong University, China***S10 DC-DC Converters: Synchronous Rectifier Converters**

Grand Ballroom East

Chair: Yanfei Liu, *Queen's University, Canada***10:20 am • Design Considerations of a Self-biased Current Driven SR in DCM Flyback DC-DC Converter**Shuai Shao, Xinke Wu, Min Chen and F. Z. Peng *Zhejiang University, China; Michigan State University, United States***10:45 am • A New Driving Method for Synchronous Rectifiers of LLC Resonant Converter with Zero-crossing Noise Filter**Dong Wang, Liang Jia, Jizhen Fu, Yan-Fei Liu and Paresh Sen, *Queen's University, Canada***11:10 am • Digital Implementation of Driving Scheme for Synchronous Rectification in LLC Resonant Converter**Weiyi Feng, Daocheng Huang, Paolo Mattavelli, Fu Dianbo and Fred C. Lee, *Virginia Tech, United States***11:35 am • Synchronous Rectification Technique for High-voltage Single-ended Power Converters**Neville McNeill, Rafal Wrobel and Philip Mellor, *University of Bristol, United Kingdom*

MONDAY, SEPTEMBER 13
1:20 pm – 3:00 pm
S11 Electric Machines: Machine Design I

Room 201

 Chairs: David Dorrell, *University of Technology Sydney, Australia* and Richard Wallace, *Whirlpool, United States*
1:20 pm • Development of a Totally Enclosed Fan Cooled Traction Motor

 Shinichi Noda, Sueyoshi Mizuno, Taihei Koyama and Shugetomo Shiraishi, *Toshiba Corporation, Japan*
1:45 pm • Winding Design for Pole-phase Modulation of Induction Machines

 Dongsun Sun, Baoming Ge and Daqiang Bi, *Beijing Jiaotong University, China; Tsinghua University, China*
2:10 pm • A Novel Method for Multi-objective Design and Optimization of Three Phase Induction Machines

 Yao Duan, Ronald Harley and Thomas Habetler *Georgia Institute of Technology, United States*
2:35 pm • Optimal Design of an In-wheel BLDC Motor for a Kick Scooter

 Miroslav Markovic, Vincent Muller, Andre Hodder and Yves Perriard, *Switzerland*
S12 DC-AC Inverters: Grid Connected Inverters II

Room 202

 Chairs: Fang Peng, *Michigan State University, United States* and Alexis Kwasinski, *University of Texas, United States*
1:20 pm • An Operating Scheme for DFIG-based Wind Generation System at Low Speeds

 Osama S. Ebrahim Bayoumy, Mohamed A. Badr and Praveen K. Jain, *Ain Shams University, Egypt; Queen's University, Canada*
1:45 pm • A Three-phase Programmable Voltage Sag Generator for Low Voltage Ride-through Capability Test of Wind Turbines

 Rong Zeng, Heng Nian and Peng Zhou, *Zhejiang University, China*
2:10 pm • Exploring Inherent Damping Characteristic of LCL-filters for Three-phase Grid-connected Voltage Source Inverters

 Yi Tang, Poh Chiang Loh, Peng Wang, Fook Hoong Choo and Feng Gao, *Nanyang Technological University, Singapore; Shandong University, China*
2:35 pm • A Current Source Converter Based Active Power Filter for Mitigation of Harmonics at the Interface of Distribution and Transmission Systems

 Alper Terciyanli, Tulay Avci, Ilker Yilmaz, Cezmi Ermis and Nadir Kose, *TUBITAK-UZAY Power Electronics Group, Turkey*
S13 Sustainable Energy Applications: Photovoltaics I

Room 203

 Chair: Sudip Mazumder, *University of Illinois-Chicago, United States*
1:20 pm • Coordinated Real and Reactive Power Management Implementation Based on Dual-stage PLL Method for PV System with ESS

 Liming Liu, Yan Zhou and Hui Li, *Florida State University, United States*
1:45 pm • Control of Hybrid Battery/Ultracapacitor Energy Storage for Stand-alone Photovoltaic System

 Xiong Liu, Peng Wang, Poh Chiang Loh, Feng Gao and Fook Hoong Choo, *Division of Power Engineering, School of EEE, NTU, Singapore; School of Electrical Engineering, Shandong University, China*
2:10 pm • Model Construction of Single Crystalline Photovoltaic Panels for Real-time Simulation

 Jeehoon Jung and Shehab Ahmed, *Texas AM University at Qatar, Qatar*
2:35 pm • Compact Integrated Solar Energy Generation Systems

 Poh Chiang Loh, Lei Zhang, Shun He and Feng Gao *Nanyang Technological University, Singapore; Shandong University, China*
S14 Enabling Technologies: Power Semiconductors II

Room 204

 Chairs: Angus Bryant, *University of Warwick, United Kingdom* and Alan Mantooth, *University of Arkansas, United States*
1:20 pm • Characterization of a High Gain BJT Used in Power Conversion on AC Mains

 Chawki Benboujema, Sebastien Jacques, Nathalie Batut, Ambroise Schellmanns, Jean-Baptiste Quoirin and Laurent Ventura, *Laboratoire de Microelectronique de Puissance, France*
1:45 pm • An Investigation into the Effects of the Gate Drive Resistance on the Losses of the MOSFET-snubber-diode Configuration

 River Li, Joyce Wang and Henry Chung, *City University of Hong Kong, Hong Kong*
2:10 pm • Modeling the Inter-electrode Capacitances of Si CoolMOSTM Transistors for Circuit Simulation in High Efficiency Power Systems

 Nanyang Yang, Jose Ortiz, Tam Duong, Allen Hefner and Kathleen Meehan, *Virginia Tech, United States; National Institute of Standards Technology, United States*
2:35 pm • FITMOS Modeling and Dynamic On-state Characteristic Evaluation

 Wei Li and David Perreault, *Massachusetts Institute of Technology, United States*
S15 Energy Public Policy and Economics: Renewable Energy Generation

Room 205

 Chairs: Liu Jinjun, *Xi'an Jiaotong University, China* and Vassilios Agelidis, *The University of New South Wales, Australia*
1:20 pm • Quantifying State-policy Incentives for the Renewable Energy Investor

 Sreenivas Sukumar, Mallikarjun Shankar, Mohammed Olama, Stanton Hadley, Vladimir Protopopescu, Sergey Malinchik and Barry Ives, *Oak Ridge National Laboratory, United States; Lockheed Martin Corporation, United States*
1:45 pm • LCOE Reduction for Megawatts PV System Using Efficient 500 kW Transformerless Inverter

 Jeng-Yue Chen, Chia-Han Hung, Jack Gilmore, Jeff Roesch and Wei Zhu, *National Formosa University, Taiwan; Advanced Energy Industries, Inc., Taiwan; Advanced Energy Industries, Inc., United States; Shanghai Guangdian Electric Group, China*

2:10 pm • Control of Receiver Temperature and Shaft Speed in Dish-stirling Solar Power Plants to Meet Grid Integration Requirements

Dustin F. Howard, Jiaqi Liang and Ronald G. Harley, Georgia Institute of Technology, United States

2:35 pm • Estimates of the Cost of New Electricity Generation in the South

Seth Borin, Todd Levin and Valerie Thomas, Georgia Institute of Technology, United States

S16 Sustainable Energy Applications: Sensing and Measurement

Room 206

Chairs: Francisco Canales, ABB, Switzerland and Ronald Harley, Georgia Tech, United States

1:20 pm • A Novel Frequency-adaptive PLL for Single-phase Grid-connected Converters

Xiong Fang, Ming Li, Jinjun Liu and Yue Wang, Xi'an Jiaotong University, China

1:45 pm • Grid Synchronization PLL Based on Cascaded Delayed Signal Cancellation

Yi Fei Wang and Yun Wei Li, University of Alberta, Canada

2:10 pm • Real-time Measurement of Power Quantities Under Sinusoidal and Nonsinusoidal Conditions for Single-phase Systems

Hedayatollah Dalvand and Vassilios G. Agelidis, The University of New South Wales, Australia

2:35 pm • A New Fast Peak Detector for Single or Three-phase Unsymmetrical Voltage Sags

Sanghoey Lee, Hanju Cha and Vu Trung-Kien, Department of Electrical Engineering, Chungnam National University, Republic of Korea

S17 Energy Efficiency and Industrial Applications: LED Lighting II

Room 207

Chairs: Jo Olsen, Sylvania, United States and Tsorng-Juu (Peter) Liang, National Cheng Kung University, Taiwan

1:20 pm • A Driving Technology for LED Retrofit Lamp for Fluorescent Lighting Fixtures with Electronic Ballasts

Nan Chen and Henry Chung, City University of Hong Kong, Hong Kong

1:45 pm • Power-transfer of Isolated Converter with Integrated Power Sharing for LED Lighting System Dependent on Transformer Coupling

Werner Thomas and Johannes Pforr, University of Applied Sciences Ingolstadt, Germany

2:10 pm • High Efficiency DC-DC Converter with Twin-bus for Dimmable LED Lighting

Wensong Yu, Jih-Sheng Lai, Gianpaolo Lisi, Ali Djabbari and Evan Reutzel, Virginia Tech, United States; National Semiconductor Corporation, United States

2:35 pm • One-stage High-brightness LED Driver with Power Factor Correction Using Standard Peak-current Mode Integrated Controllers

Diego G. Lamar, Javier Sebastian, Manuel Arias and Marta Hernando, Universidad de Oviedo, Spain

S18 Electric Drives: Drive Control

Grand Ballroom C

Chairs: Alfio Consoli, University of Catania, Italy and Seung Ki Sul, Seoul National University, Republic of Korea

1:20 pm • Efficiency Improvement Evaluation of Non-sinusoidal Back-EMF PMSM Machines Using Field Oriented Current Harmonic Injection Strategy

Parag Kshirsagar and Ramu Krishnan, United Technologies Research Center, United States; Virginia Tech, United States

1:45 pm • Output DC Voltage and Power Control of a Flux Strengthening IPM Generator and a High Speed Motor

Yuta Iwai, Akihiro Ogawa and Akira Chiba, Tokyo University of Science, Japan; Tokyo Institute of Technology, Japan

2:10 pm • A Time-varying Sliding Surface for Robust Position Control of Six Phase Induction Machine (6PIM)

Franck Betin, Amine Yazidi and Gerard Andre Capolino, University of Picardie, France

2:35 pm • A Novel Technique for Sensorless Control of High Power Induction Motors Using Multilevel Converters

Kamel Saleh, Mark Sumner, Greg Asher and Qiang Gao, University of Nottingham, United Kingdom

S19 DC-DC Converters: Digital Control II

Grand Ballroom D

Chairs: Regan Zane, University of Colorado, United States and Harish Krishnamurthy, Intel, United States

1:20 pm • A Novel Parameter-independent Digital Optimal Control Algorithm for DC-DC Buck Converters Based on Parabolic Curve Fitting

Liang Jia, Dong Wang, Jizhen Fu, Yan-Fei Liu and Paresh Sen, Queen's University, Canada

1:45 pm • Digital Enhanced V2-type Constant On-time Control Using Inductor Current Ramp Estimation for a Buck Converter with Small ESR Capacitors

Kuang-Yao Cheng, Feng Yu, Paolo Mattavelli and Fred C. Lee, Virginia Tech, United States

2:10 pm • A Novel Digital Capacitor Charge Balance Control Algorithm with a Practical Extreme Voltage Detector

Liang Jia, Dong Wang, Eric Meyer, Yan-Fei Liu and Paresh Sen, Queen's University, Canada; Advanced Micro Devices, Canada

2:35 pm • A New Digital Control DC-DC Converter with Neural Network Predictor

Fujio Kurokawa, Hidenori Maruta, Ueno Kimitoshi, Tomoyuki Mizoguchi, Akihiro Nakamura and Hiroyuki Osuga, Nagasaki University, Japan; Mitsubishi Electronic Corporation, Japan

S20 DC-DC Converters: Isolated Converters I

Grand Ballroom East

Chairs: Oscar García Suárez, UPM, Spain and Liangbin Yao, Maxim Integrated Products, United States

1:20 pm • Efficiency Characterization and Optimization in Flyback DC-DC Converters

Sang Hee Kang, Hien Nguyen, Dragan Maksimovic and Isaac Cohen, University of Colorado at Boulder, United States; Texas Instruments, United States

1:45 pm • Analysis of a High Step-up Ratio Flyback Converter with Active Clamp and Voltage Multiplier

Giorgio Spiazzi, Paolo Mattavelli and Alessandro Costabeber, University of Padova, Italy; CPES-Virginia Tech, United States; University of Padovar, Italy

2:10 pm • An Isolated High Step-up Forward/Flyback Active Clamp Converter with Output Voltage Lift

Pai-Hsiang Kuo, Tsorng-Juu Liang, Kuo-Ching Tseng, Jiann-Fuh Chen and Shih-Ming Chen, National Cheng-Kung University, Taiwan; National Kaohsiung First University of Science a, Taiwan

2:35 pm • Self-oscillating Flyback Converter with Lossless Snubber for Contactless Power Supply Applications

Lin Ray-Lee and Haung Zhi-yu, National Cheng Kung University, Taiwan

MONDAY, SEPTEMBER 13

3:20 pm – 5:00 pm

S21 Electric Machines: Machine Design II

Room 201

Chairs: Keld Folsach Rasmussen, Grundfos, Denmark and Dave Dorrell, University of Technology Sydney, Australia

3:20 pm • Novel Design of Flux-intensifying Interior Permanent Magnet Synchronous Machine Suitable for Power Conversion and Self-sensing Control at Very Low Speed

Natee Limsuwan, Yuichi Shibukawa, David Reigosa, Robert Lorenz and Michael Leetmaa, University of Wisconsin - Madison, United States; Nissan Motor Co., Ltd., Japan; University of Oviedo, Spain

3:45 pm • Slot Design for Iron Loss AC Rotating Electrical Machine Reduction

Sana Jelassi, Raphael Romary and Jean Francois Brudny, Universite d'Artois Bethune, France

4:10 pm • Comparison of Different Winding Schemes of an Asynchronous Machine Driven by a Multi-functional Converter System

Thomas Hackner and Johannes Pforr, University of Applied Sciences Ingostadt, Germany

4:35 pm • Modeling and Design Optimization of PM AC Machines Using Computationally Efficient-finite Element Analysis

Gennadi Sizov, Dan Ionel and Nabeel Demerdash, Marquette University, United States; A. O. Smith Corporate Technology Center, United States

S22 DC-AC Inverters: Grid Connected Inverters III

Room 202

Chairs: Edison Da Silva, Federal University of Campina Grande, Brazil and Stefan Schröder, GE Global Research, Germany

3:20 pm • Grid-connected Inverter with Inner Output Impedance and Governor-free Characteristics

Masaaki Ohshima, Shuuichi Ushiki and Jinbin Zhao, Origin Electric Co., Ltd., Japan

3:45 pm • Real Time Selective Harmonic Minimization for Multilevel Inverters Connected to Solar Panels Using Artificial Neural Network Angle Generation

Faete Filho, Leon Tolbert, Yue Cao and Burak Ozpineci, The University of Tennessee, United States; Oak Ridge National Laboratory, United States

4:10 pm • An Easy, Simple, and Flexible Control Scheme for a Three-phase Grid-tie Inverter System

Sung-Yeul Park, Jih-Sheng Lai and Woo-Cheol Lee, University of Connecticut, United States; Virginia Tech, United States; Hankyong National University, Republic of Korea

4:35 pm • Single-stage DC-AC Converter for Photovoltaic System

Hugo Ribeiro, Andre Pinto and Beatriz Borges, IST - IPT Instituto de Telecomunicacoes, Portugal; IST - Instituto de Telecomunicacoes, Portugal

S23 Sustainable Energy Applications: Photovoltaics II

Room 203

Chair: Naaser Kutkut, University of Central Florida, United States

3:20 pm • Maximum Power Limiting with Average Current Mode Control for Photovoltaic System

Lin Ray-Lee and Yen Li-Wei, National Cheng Kung University, Taiwan

3:45 pm • Switching Loss Analysis of a Three-phase Solar Power Conditioner Using a Single-phase PWM Control Method

Hideaki Fujita, Tokyo Institute of Technology, Japan

4:10 pm • A New Cost-effective Analog Maximum Power Point Tracker for Photovoltaic Systems

Zhigang Liang, Rong Guo and Alex Huang, North Carolina State University, United States

4:35 pm • Performance of Photovoltaic Maximum Power Point Tracking Algorithms in the Presence of Noise

Alexander Latham, Charles Sullivan and Kofi Odame, Thayer School of Engineering at Dartmouth, United States

S24 Enabling Technologies: Contactless Power Transfer

Room 204

Chairs: Ron Hui, City University of Hong Kong, Hong Kong and Charlie Sullivan, Dartmouth College, United States

3:20 pm • LCL Pick-up Circulating Current Controller for Inductive Power Transfer Systems

Chang-Yu Huang, John T. Boys, Grant A. Covic and Saining Ren, The University of Auckland, New Zealand

3:45 pm • High Performance Inductive Power Transfer System with Narrow Rail Width for Online Electric Vehicles

Jin Huh, Sungwoo Lee, Changbyung Park, Gyu-Hyeong Cho and Chun-Taek Rim, Department of EE, KAIST, Republic of Korea; Department of Nuclear and Quantum Engineering, KAIST, Republic of Korea

4:10 pm • 2-D Alignment Analysis of Capacitively Coupled Contactless Power Transfer Systems

Liu Chao, Aiguo Hu Patrick, C. Nair Nirmal-Kumar and A. Covic Grant, The University of Auckland, New Zealand

4:35 pm • Analysis on a Single-layer Winding Array Structure for Contactless Battery Charging Systems with Localized Charging Feature

Wenxing Zhong, Xun Liu and S.Y.R. Hui, City University of Hong Kong, Hong Kong; Convenientpower HK Ltd., Hong Kong

S25 Energy Public Policy and Economics: Renewable Energy Integration

Room 205

Chairs: Charlie Vartanian, *IEEE Member* and Braham Ferreira, *Delft University of Technology, Netherlands***3:20 pm • A Methodology for Quantifying Variability of Renewable Energy Sources by Reserve Requirement Calculation**Doug Halamay, Ted Brekken, Asher Simmons and Shaun McArthur, *Oregon State University, United States***3:45 pm • A Methodology to Consider Electrical Infrastructure and Real-time Power-flow Impact Costs Together in Planning Large-scale Renewable Energy Farms**Sreenivas Sukumar, Mohammed Olama, Jim Nutaro, Mallikarjun Shankar, Sergey Malinchik and Barry Ives, *Oak Ridge National Laboratory, United States; Oak Ridge National Laboratory, United States; Lockheed Martin Corporation, United States***4:10 pm • Utilizing a STATCOM to Prevent the Flicker Propagation in a Wind Power System**Roohollah Fadaeinedjad, Gerry Moschopoulos and Aliakbar Gharaveisi, *Kerman Graduate University of Technology, Iran; University of Western Ontario, Canada; Shahid Bahonar University of Kerman, Iran***4:35 pm • Overlaying a Parallel Market to Increase Renewable Penetration**Frank Kreikebaum and Deepak Divan, *Georgia Institute of Technology, United States***S26 Sustainable Energy Applications: Distributed Resources**

Room 206

Chairs: Bimal Bose, *University of Tennessee, United States* and Dehong (Mark) Xu, *Zhejiang University, China***3:20 pm • On Power-sharing of Solar-based Hybrid Motor-drive Systems**Brian Hadley, Behrooz Mirafzal and Dan Ionel, *Florida International University, United States; A.O. Smith Corporate Technology, United States***3:45 pm • A New Droop Control Method for the Autonomous Operation of Distributed Energy Resource Interface Converters**Chia-Tse Lee, Chia-Chi Chu and Po-Tai Cheng, *National Tsing Hua University, Taiwan, Taiwan***4:10 pm • Evaluation of the Voltage Support Strategies for Low Voltage Grid Connected PV Generators**Erhan Demirok, Dezso Sera, Remus Teodorescu, Pedro Rodriguez and Uffe Borup, *Student Member, Denmark; Member, Denmark; Senior Member, Denmark; Member, Spain***4:35 pm • Grid Side Cascade Inverter System as an Interface for Wind Energy Storage**Shantha D Gamini Jayasingha, Don Mahinda Vilathgamuwa and Udaya K. Madawala, *Nanyang Technological University, Singapore; The University of Auckland, New Zealand***S27 Energy Efficiency and Industrial Applications: LED Lighting III**

Room 207

Chair: Jo Olsen, *Sylvania, United States***3:20 pm • A Comparative Study on the Circuit Topologies for High-efficient Passive Light-emitting Diode (LED) Drivers**Wu Chen, Sinan Li and S.Y.R. Hui, *City University of Hong Kong, Hong Kong***3:45 pm • LED Spectral and Power Characteristics Under Hybrid PWM/AM Dimming Strategy**Szymon Beczkowski and Stig Munk-Nielsen, *Aalborg University, Denmark***4:10 pm • Emergency Lamp Using High-brightness LEDs**Rafael Adaime Pinto, Marcelo Rafael Cosetin, Murilo Cervi, Alexandre Campos, Alysson Raniere Seidel and Ricardo Nederson do Prado, *Federal University of Santa Maria, Brazil***4:35 pm • Third Harmonic Filtered 13.56 MHz Push-pull Class-E Power Amplifier**Thomas Gerrits, Jorge L. Duarte and Marcel A.M. Hendrix, *Eindhoven University of Technology, Netherlands***S28 Electric Drives: Performance Improvement**

Grand Ballroom C

Chairs: Vassilios G. Angelidis, *The University of New South Wales, Australia* and Bin Lu, *Eaton Corporation, United States***3:20 pm • DC Bus Voltage Clamp Method to Prevent Over-voltage Failures in Adjustable Speed Drives**Lixiang Wei, Zhijun Liu and Gary L Skibinski, *Rockwell Automation - Allen Bradley, United States***3:45 pm • Active Motor Terminal Overvoltage Mitigation Method for Parallel Two-level Voltage Source Inverters**Juhamatti Korhonen, Toni Itkonen, Juha-Pekka Strom, Juho Tyster and Pertti Silventoinen, *Lappeenranta University of Technology, Finland***4:10 pm • Appropriate Tuning and Robust Design of a Generalized Predictive Speed Controller for Drive Systems with Resonant Loads**Nils Hoffmann, Soenke Thomsen and Friedrich W. Fuchs, *Christian-Albrechts-University of Kiel, Germany***4:35 pm • A General Approach of Damping Torsional Resonance Modes in Multi-megawatt Applications**Joseph Song-Manguelle, Christof Sihler and Simon Schramm, *GE Global Research, United States; GE Global Research, Germany***S29 DC-DC Converters: Digital Control III**

Grand Ballroom D

Chairs: Harish Krishnamurthy, *Intel, United States* and Liangbin Yao, *Maxim Integrated Products, United States***3:20 pm • Digital Load Share Controller Design of Paralleled Phase-shifted Full-bridge Converters Referencing the Highest Current**Hyun-Wook Seong, Je-Hyung Cho, Gun-Woo Moon and Myung-Joong Youn, *KAIST, Republic of Korea***3:45 pm • Average Inductor Current Sensor for Digitally-controlled Switched-mode Power Supplies**Miguel Rodriguez, Javier Sebastian and Dragan Maksimovic, *University of Oviedo, Spain; University of Colorado, United States*

4:10 pm • Multi-resolution Feedback to Minimize Communication Data and Improve Output Accuracy in Isolated Digital Power Supplies

Zhiyuan Hu, Tet Yeap and Yan-Fei Liu, Queen's University, Canada; University of Ottawa, Canada

4:35 pm • Implementation of Digitally Controlled Phase Shift Full Bridge Converter for Server Power Supply

Je-Hyung Cho, Hyun-Wook Seong, Shin-Myung Jung, Jin-Sik Park, Gun-Woo Moon and Myung-Joong Youn, KAIST, Republic of Korea

S30 DC-DC Converters: Isolated Converters II

Grand Ballroom East

Chairs: Jose Cobos, Technical University of Madrid, Spain and Dan Chen, Taiwan University, Taiwan

3:20 pm • High Step-up Boost Converter Integrated with Voltage-doubler

Ki-Bum Park, Gun-Woo Moon and Myung-Joong Youn, KAIST, Republic of Korea

3:45 pm • An Investigation of the Natural Balancing Mechanisms of Modular Input-series-output-series DC-DC Converters

Wim van der Merwe and Toit Mouton, Stellenbosch University, South Africa

4:10 pm • Zero-voltage Switching Flyback-boost Converter with Voltage-doubler Rectifier for High Step-up Applications

Hyun-Wook Seong, Hyoung-Suk Kim, Ki-Bum Park, Gun-Woo Moon and Myung-Joong Youn, KAIST, Republic of Korea

4:35 pm • Improvement of Light Load Efficiency of Dual Active Bridge DC-DC Converter by Using Dual Leakage Transformer and Variable Frequency

Giuseppe Guidi, Atsuo Kawamura, Martin Pavlovsky, Tomofumi Imakubo and Yuji Sasaki, Yokohama National University, Japan; IHI Corporation, Japan

TUESDAY, SEPTEMBER 14

8:00 am – 9:40 am

S31 Electric Drives: Modeling and Control of Overvoltage Transients

Room 201

Chair: Alfio Consoli, University of Catania, Italy

8:00 am • Integrated Differential-mode and Common-mode Filter to Mitigate the Effects of Long Motor Leads on AC Drives

Rangarajan Tallam, Gary Skibinski, Todd Shudarek and Richard Lukaszewski, Rockwell Automation, United States; Cramer Coil and Transformer Company, United States

8:25 am • High-frequency Cable and Motor Modeling of Long-cable-fed Induction Motor Drive Systems

Liwei Wang, Carl N.M. Ho, Francisco Canales and Juri Jatskevich, University of British Columbia, Canada; ABB Switzerland Ltd., Switzerland

8:50 am • A Low-loss Motor Terminal Filter for Overvoltage Suppression

Ken Yuen and Henry Chung, City University of Hong Kong, Hong Kong

9:15 am • Overvoltage Mitigation of Inverter-driven Motors with Long Cables of Different Lengths

Hirofumi Akagi and Itaru Matsumura, Tokyo Institute of Technology, Japan; Railway Technical Research Institute, Japan

S32 Transportation Applications: PHEV

Room 202

Chair: V. Anand Sankaran, Ford, United States

8:00 am • Effects of V2G Reactive Power Compensation on the Component Selection in an EV or PHEV Bidirectional Charger

Mithat Kisacikoglu, Burak Ozturk and Leon Tolbert, The University of Tennessee, United States; Oak Ridge National Laboratory, United States

8:25 am • Design Considerations for High-voltage DC Bus Architecture and Wire Mechanization for Electric/Hybrid Electric Vehicle Applications

Mohammad Anwar, Sean Gleason and Tim Grewe, General Motors, United States

8:50 am • Development and Validation of Models for 95% Efficiency, 220 W Wireless Power Transfer Over a 30 cm Air - gap

Seung-Hwan Lee and Robert D. Lorenz, University of Wisconsin - Madison, United States

9:15 am • A Novel Thermal Model for HEV/EV Battery Modeling Based on CFD Calculation

Xiao Hu, Shaohua Lin, Scott Stanton and Wenyu Lian, Ansys Inc., United States; General Motors, United States

S33 AC-DC Converters: Analog Control of PFC

Room 203

Chair: Jian Sun, Rensselaer Polytechnic Institute, United States

8:00 am • An Improved Control Strategy Based on Multiplier for CRM Flyback PFC to Reduce Line Current Peak Distortion

Yuan Yuan Wang, Ya Zhang, Qiong Mo, Min Chen and Zhaoming Qian, Zhejiang University, China

8:25 am • A Novel SFVM Control Scheme for Two-phase Interleaved CCM/DCM Boundary Mode Boost Converter in Power Factor Correction Applications

Chung Ping Ku, Dan Chen and Chih Yuan Liu, E.E. Department, National Taiwan University, Taiwan

8:50 am • Sliding Mode Current Control of Grid-connected Voltage Source Converter

Jiabing Hu, Ziqiang Zhu, Heng Nian, Lei Shang and Yikang He, Department of EEE, Sheffield University, United Kingdom; College of Electrical Engineering, Zhejiang Univ, China

9:15 am • A Hybrid Current Control for a Controlled Rectifier

Alberto Soto-Lock, Edison da Silva, Malik Elbuluk and Darlan Fernandes, Federal University of Campina Grande, Brazil; University of Akron, United States

S34 Enabling Technologies: EMI Analysis and Suppression I

Room 204

Chairs: Eckart Hoene, Fraunhofer, Germany and Jean-Luc Schanen, G2E Lab, France

8:00 am • Adaptive DV/DT and DI/DT Control for Isolated Gate Power Devices

Matthias Rose, Joerg Krupar and Heiko Hauswald, University of Applied Sciences Dresden, Germany; DMOS GmbH, Germany

8:25 am • Characterization of a Modified LISN for Effective Separated Measurements of Common Mode and Differential Mode EMI Noise
Juergen Stahl, Alexander Bucher, Thomas Duerbaum and Daniel Kuebrich, Friedrich-Alexander-University Erlangen, Germany

8:50 am • Meeting MIL-STD-461 for 2kW Military Tactic Generator Drive System

Yilmaz Sozer and David Torrey, The University of Akron, United States; Advanced Energy Conversion, United States

9:15 am • Behavioral Modeling Methods for Motor Drive System EMI Design Optimization

Lei Xing, Frank Feng and Jian Sun, Department of ECSE, Rensselaer Polytechnic Institute, United States; United Technology - Hamilton Sundstrand, United States

S35 Enabling Technologies: Reliability and Lifetime Estimation

Room 205

Chair: Richard Lukaszewski, Rockwell Automation - Allen Bradley, United States

8:00 am • Condition Monitoring Solder Fatigue in a Power Module Using the Rise of Case-above-ambient Temperature

Dawei Xiang, Li Ran, Peter Tavner, Shaoyong Yang and Angus Bryant, Durham University, United Kingdom; Warwick University, United Kingdom

8:25 am • The Lifetime/Volume Ratio as an Index to Assess the Reliability of Power Converters

Hugo Calleja, Humberto Jimenez and Abraham Claudio, Cenidet, Mexico; Instituto de Investigaciones Electricas, Mexico

8:50 am • Real-time Life Consumption Power Modules Prognosis Using Online Rainflow Algorithm in Metro Applications

Mahera Musallam, C. Mark Johnson, Chunyan Yin, Chris Bailey and Michel Mermet-Guyennet, University of Nottingham, United Kingdom; University of Greenwich, United Kingdom; ALSTOM Transport, France

9:15 am • Lifetime Estimation with Thermal Models of Semiconductors

Peter van Duijsen, Pavol Bauer and Jan Leuchter, Simulation Research, Netherlands; TU Delft, Netherlands; University of Defence, Czech Republic

S36 Electric Machines: Machine Losses and Material Issues

Room 206

Chairs: Mircea Popescu, Motor Design Ltd., United Kingdom and Emmanuel Agamloh, Advanced Energy Corporation, United Kingdom

8:00 am • New Lines of Investigation on the Effects of Processing Conditions on Soft Magnetic Composite Materials Behaviour for Electromagnetic Applications

Luca Ferraris, Marco Actis Grande, Robert Bidulsky, Andrea Cavagnino and Paolo Ferraris, Politecnico di Torino, Italy

8:25 am • Analytical Prediction of Rotor Eddy Current Loss Due to Stator Slotting in PM Machines

Dominic Wills and Maarten Kamper, University of Stellenbosch, South Africa

8:50 am • Analysis of Proximity Losses in High-speed Surface Permanent Magnet Machines with Concentrated Windings

Patel Reddy, Thomas Jahns and Bohn Theodore, University of Wisconsin-Madison, United States; Argonne National Laboratory, United States

9:15 am • Core Loss Prediction Using Magnetic Circuit Model for Fractional-slot Concentrated-winding Interior Permanent Magnet Machines

Jagadeesh Tangudu, Thomas Jahns and Ayman EL-Refai, University of Wisconsin - Madison, United States; GE Global Research Center, United States

S37 Energy Efficiency and Industrial Applications: HID Lighting

Room 207

Chair: Jo Olsen, Sylvania, United States and William Petersen, E&W Power, United States

8:00 am • Medium Power Ceramic HID lamps; Problems and Opportunities Resulting from Low Lamp Power Factor

Ray Gibson, Philips Lighting, United States

8:25 am • A Timing Controllable and Polarity Tracked Igniter for High Intensity Discharge Lamp Electronic Ballast

Chongguang Ma, Biwen Xu, Zirui Jia, Min Chen and Zhaoming Qian, College of Electrical Engineering, Zhejiang Unive, China

8:50 am • Design and Analysis of a Novel Two-stage Electronic Ballast for HID Lamp

Wei-Chiang Kuo, Tsorng-Juu Liang, Hsueh-Ko Liao, Ming-Yang Cheng, Kai-Hui Chen and Chun-An Cheng, National Cheng Kung University, Taiwan; I-Shou University, Taiwan

9:15 am • An Energy-recyclable Burn-in Technology for Electronic Ballast for HID Lamps

Nan Chen and Henry Chung, City University of Hong Kong, Hong Kong

S38 DC-AC Inverters: Inverter Control and Analysis I

Grand Ballroom C

Chair: Bingsen Wang, Michigan State University, United States and Lixiang Wei, Rockwell Automation, United States

8:00 am • Comparison between Two Control Strategies for Input-series-output-series Inverters System

Tianzhi Fang and Xinbo Ruan, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, China

8:25 am • Approaches to Enhance Discrete Control Algorithms Serving for Motor Drive System

Sideng Hu, Zhengming Zhao, Liqiang Yuan, Ting Lu and Xuesong Wang, Department of Electrical Engineering, Tsinghua, China

8:50 am • A Fast, Accurate and Robust Algorithm to Detect Fundamental and Harmonic Sequences

Francisco D. Freijedo, Ana Vidal, Alejandro G. Yepes, Pablo Fernandez-Comesana, Jano Malvar, Oscar Lopez and Jesus Doval-Gandoy, University of Vigo, Electronic Technology Department, Spain

9:15 am • Switched Systems Model and Switching Rules of DC-AC Converter

Wenxun Xiao and Bo Zhang, South China University of Technology, China

S39 Electric Machines: Fractional Slot Machines I

Grand Ballroom D

Chairs: Z.Q. Zhu, University of Sheffield, United Kingdom and Dan Ionel, Vestas, United States

8:00 am • Design, Analysis, and Fabrication of a High-performance Fractional Slot Concentrated Winding Surface PM Machine

Patel Reddy, Thomas Jahns, Theodore Bohn and Pat McCleer, University of Wisconsin-Madison, United States; Argonne National Laboratory, United States; McCleer Power, United States

8:25 am • Unsaturated and Saturated Saliency Trends in Fractional-slot Concentrated-winding Interior Permanent Magnet Machines
Jagadeesh Tanguudu, Thomas Jahns and Ayman EL-Refaie, University of Wisconsin - Madison, United States; GE Global Research Center, United States

8:50 am • Six-phase Supply Feasibility Using a PM Fractional-slot Dual Winding Machine
Massimo Barcaro, Nicola Bianchi and Freddy Magnussen, University of Padova, Italy; ABB Corporate Research, Sweden

9:15 am • Fractional-slot Concentrated-winding Axial-flux Permanent Magnet Machine with Core-wound Coils
Giulio De Donato, Fabio Giulio Capponi and Federico Caricchi, University of Rome "La Sapienza", Italy

S40 DC-DC Converters Isolated Converters III

Grand Ballroom A

Chairs: Jaber Abu-Qahouq, *University of Alabama, United States* and Luca Corradini, *University of Colorado, United States*

8:00 am • Active Clamped Three-phase Isolated Boost Converter with Series Output Connection for High Step-up Applications
Se-Kyo Chung, Jeong-Gyu Lim and Yujin Song, Gyeongsang National University, Republic of Korea; Korea Institute of Energy Research, Republic of Korea

8:25 am • A Simple and Effective Control Strategy for Improved Operation of a Current-fed Push-pull Converter
Lucas Hartmann, Mauricio Correa and Antonio Lima, Universidade Federal de Campina Grande, Brazil

8:50 am • An Adaptive Blanking Time Control Scheme for Audible Noise Free Quasi Resonant Flyback Converter
Zeng Hulong, Zhang Junming, Huang Xiucheng, Yuan Wei, Wu Xinke and Chen Min, Zhejiang University, China

9:15 am • A Novel Full-bridge Converter Achieving ZVS over Wide Load Range with a Passive Auxiliary Circuit
Wu Chen, Xinbo Ruan and Junji Ge, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, China

S41 DC-DC Converters: Bidirectional Converters I

Grand Ballroom B

Chair: Tsorng-Juu (Peter) Liang, *National Cheng Kung University, Taiwan*

8:00 am • Three-phase Bidirectional DC-DC Converter with Enhanced Current Sharing
Zhan Wang and Hui Li, Florida State University, United States

8:25 am • Bidirectional High-voltage DC-DC Converter for Advanced Railway Locomotives
Nikolay Lopatkin, Gennadiy Zinoviev and Leonid Zotov, Altai State Academy of Education, Russia; Novosibirsk State Technical University, Russia

8:50 am • An Overall Study of a Dual Active Bridge for Bidirectional DC-DC Conversion
Alberto Rodriguez, Javier Sebastian, Diego G. Lamar, Marta M. Hernando and Aitor Vazquez, Universidad de Oviedo, Spain

9:15 am • Bidirectional Isolated Dual Full-bridge DC-DC Converter with Active Clamp for EDLC
Yushi Miura, Masato Kaga, Yasuhisa Horita and Toshifumi Ise, Osaka University, Japan

TUESDAY, SEPTEMBER 14

10:00 am – 11:40 am

S42 Electric Drives: AC Machine Control

Room 201

Chairs: Mario Pacas, *University of Siegen, Germany* and Rakib Islam, *Nexteer Automotive, United States*

10:00 am • A New Deep Field-weakening Strategy of IPM Machines Based on Single Current Regulator and Voltage Angle Control
Lei Zhu, Shan Xue, Xuhui Wen, Yaohua Li and Liang Kong, Institute of Electrical Engineering, CAS, China

10:25 am • Unified Direct-flux Vector Control for AC Motor Drives
Gianmario Pellegrino, Radu Bojoi and Paolo Guglielmi, Politecnico di Torino, Italy

10:50 am • Direct Field-oriented Control of an Induction Machine Using an Adaptive Rotor Resistance Estimator
David Reed and Heath Hofmann, MIT Lincoln Laboratory, United States; University of Michigan, United States

11:15 am • Regulation of Permanent Magnet AC Generators Using Angle Control of Stator-connected Voltage Source Converters
Neal Clements, Giri Venkataramanan and Thomas Jahns, University of Wisconsin - Madison, United States

S43 Transportation Application: Infrastructure

Room 202

Chairs: Zareh Soghomonian, *BMT Syntek Technologies, United States* and Srdjan Lukic, *North Carolina State University, United States*

10:00 am • Control Strategy of a Multi-port, Grid Connected, Direct-DC PV Charging Station for Plug-in Electric Vehicles
Gustavo Gamboa, Christopher Hamilton, John Elmes, Michael Pepper and John Shen, University of Central Florida, United States

10:25 am • Optimum Design of an EV/PHEV Charging Station with DC Bus and Storage System
Sanzhong Bai, Srdjan Lukic and Du Yu, North Carolina State University, United States

10:50 am • Dual Converter Active Filter and Balance Compensation on Electric Railway Systems Using the Open Delta Transformer Connection
Alexander Bueno, Jose Aller, Jose Restrepo and Thomas Habetler, Universidad Simon Bolivar, Venezuela; Universidad Simon Bolivar/Georgia Tech., Venezuela; Georgia Tech., United States

11:15 am • Power Quality Solutions for Light Rail Public Transportation Systems Fed by Medium Voltage Underground Cables
Alper Terciyanli, Adnan Acik, Alper Cetin, Muammer Ermis and Isik Cadirci, TUBITAK UZAY Power Electronics Group, Turkey; METU Electrical and Electronics Engineering Department, Turkey

S44 AC-DC Converters: Digital Control of PFC

Room 203

Chairs: Rolando Burgos, *ABB, United States* and Robert Grino, *Universitat Politecnica de Catalunya, Spain*

10:00 am • A New Digital Control System for a Single-phase Half-bridge Rectifier with Fast Dynamic Response
Luis Nodari, Marcello Mezaroba, Leandro Michels and Cassiano Rech, Santa Catarina State University, Brazil; Federal University of Santa Maria, Brazil

10:25 am • Accurate Mode Boundary Detection in Digitally Controlled Boost Power Factor Correction Rectifiers

Sungwoo Moon, Luca Corradini and Dragan Maksimovic, University of Colorado at Boulder, United States

10:50 am • A Simple Digital DCM Control Scheme for Boost PFC Operating in both CCM and DCM

Shu Fan Lim and Ashwin M Khambadkone, National University of Singapore, Singapore

11:15 am • Unified Predictive Transition Current Mode Control for Digital-controlled Power Factor Corrector

Chia-An Yeh, Kung-Min Ho and Yen-Shin Lai, National Taipei University of Technology, Taipei, Taiwan

S45 Enabling Technologies: EMI Analysis and Suppression II

Room 204

Chair: Jean-Luc Schanen, G2E Lab, France

10:00 am • An Improved Design for Transmission Line Busbar EMI Filter

Fang Luo, A. Carson Baisden, Dushan Boroyevich, Luisa Coppola, Yong Kang, Paolo Mattavelli, Khai Ngo, Nicolas Gazel and Fred Wang, CPES-Virginia Tech, Huazhong University of SCI and Tech, United States; CPES-Virginia Tech, United States; ABB Group, Switzerland; Huazhong University of SCI and Tech, China; SAFRAN group, France; ECE,UTK at Knoxville, United States

10:25 am • On Factors Affecting EMI-performance of Conducted-noise-mitigating Digital Controllers in DC-DC Converters — An Experimental Investigation

Gamal Dousoky, Masahito Shoyama and Tamotsu Ninomiya, Kyushu University, Japan; Nagasaki University, Japan

10:50 am • Common Mode EMI Characteristics of Resonant Converters

Pengju Kong, Daocheng Huang, Dianbo Fu and Fred C. Lee, Virginia Tech, United States

11:15 am • Novel Techniques to Suppress the Common Mode EMI Noise Caused by Transformer Parasitic Capacitances in DC-DC Converters

Dianbo Fu, Pengju Kong, Fred C. Lee and Shuo Wang, Virginia Tech, United States

S46 Enabling Technologies: Packaging and Integration

Room 205

Chairs: Adam Skorek, University of Quebec, Canada and Braham Ferreira, Delft University of Technology, Netherlands

10:00 am • Integrating Giant Magneto-resistive (GMR) Field Detectors for High Bandwidth Current Sensing in Power Electronic Modules

Patrick Schneider, Masafumi Horio and Robert Lorenz, University of Wisconsin - Madison, United States; Fuji Electric Holdings Co. Ltd., Japan

10:25 am • 3D Hybrid Integration and Functional Interconnection of a Power Transistor and its Gate Driver

Timothe Simonot, Jean-Christophe Crebier, Nicolas Rouger and Gaude Victor, Grenoble Electrical Engineering Lab (G2Elab), France; Grejeannoble Electrical Engineering Lab (G2Elab), France

10:50 am • Multilayer SMT High Power Density Packaging of Electronic Ballasts for HID Lamps

Ivan Josifovic, Jelena Popovic-Gerber, Braham Ferreira and Dolf van Casteren, Delft University of Technology, Netherlands; Philips Lighting, Netherlands

11:15 am • Design of High Temperature SiC Three-phase AC-DC Converter for >100°C Ambient Temperature

Ruxi Wang, Puqi Ning, Dushan Boroyevich and Fred Wang, CPES-Virginia Tech, United States; The University of Tennessee and Oak Ridge National Laboratory, United States

S47 Electric Machines: Machine Losses and Thermal Analysis

Room 206

Chairs: Emmanuel Agamloh, Advanced Energy Corporation, United States and Mircea Popescu, Motor Design Ltd., United Kingdom

10:00 am • Thermal Analysis of a Segmented Stator Winding Design

Rafal Wrobel, Phil Mellor and Derrick Holliday, University of Bristol, United Kingdom

10:25 am • Influence of Different End Region Cooling Arrangements on End-winding Heat Transfer Coefficients in Electric Machines

Mircea Popescu, David Staton, Aldo Boglietti, Andrea Cavagnino and Douglas Hawkins, Motor Design Ltd., United Kingdom; Politecnico di Torino, Italy

10:50 am • A Non-intrusive Winding Heating Method for Induction Motor Using Soft-starter for Preventing Moisture Condensation

Pinjia Zhang, Yi Du, Thomas Habetler and Bin Lu, GE Global Research, United States; Georgia Institute of Technology, United States; Eaton Corporation, United States

11:15 am • Rotor End Losses in Multi-phase Fractional-slot Concentrated-winding Permanent Magnet Synchronous Machines

Ayman EL-Refaie, Manoj Shah, James Alexander, Steven Galioto and Kum-Kang Huh, GE Global Research Center, United States

S48 Energy Efficiency and Industrial Applications: Fluorescent Ballast

Room 207

Chairs: Ron Hui, City University of Hong Kong, Hong Kong and Christian Branas, University of Cantabria, Spain

10:00 am • A Single Eco-friendly Ultra-low-loss Magnetic Ballast Design for a Wide Range of T5 High-efficient Fluorescent Lamps

Wai Man Ng, Deyan Lin and S.Y.R. Hui, City University of Hong Kong, Hong Kong

10:25 am • A Dimming Module for Controlling Power Supply to a Fluorescent Lamp Ballasted by a Non-dimmable Electronic Ballast

Nan Chen and Henry Chung, City University of Hong Kong, Hong Kong

10:50 am • Digital CCFL Drive System Using Individual Current Modulation for LCD-TV

Je-Hyung Cho, Sang-Hyun Park, Hyun-Wook Seong, Hyoung-Suk Kim, Jin-Sik Park, Eun-Seok Choi and Myung-Joong Youn, KAIST, Republic of Korea

11:15 am • Analysis and Design Method for High Frequency Self-oscillating Electronic Ballasts

Efren Flores, Mario Ponce, Luis Vela, Mario Juarez and Ismael Araujo, CENIDET, Mexico; ESIME, Mexico

S49 DC-AC Inverters: Inverter Control and Analysis II

Grand Ballroom C

Chairs: Hideaki Fujita, *Tokyo Institute of Technology, Japan* and Lixiang Wei, *Rockwell Automation, United States*

10:00 am • A New Optimal PWM Strategy Applied to Single Phase Inverters with Variable DC Voltage

Mariethoz Sebastien, Almer Stefan and Morari Manfred, *ETH Zurich, Automatic Control Lab, Switzerland*

10:25 am • Time Domain Models of the EMI Sources in the Variable Speed Drives

Jean-Luc Kotny and Nadir Idir, *University of Lille 1, France; University of Lille 1 - L2EP Lab, France*

10:50 am • Three Phase VSI with Reduced Output Voltage Distortion Using FPGA Based Multisampled Space Vector Modulation

Alexander Julian and Giovanna Oriti, *Naval Postgraduate School, United States*

11:15 am • A Method for Five-phase Carrier-based PWM Modulation for Balanced and Unbalanced Reference Voltages

Joseph Ojo and Sosthenes Karugaba, *Tennessee Tech University, United States*

S50 Electric Machines: Fractional Slot Machines II

Grand Ballroom D

Chairs: Z. Qiang Zhu, *University of Sheffield, United Kingdom* and Dan Ionel, *Vestas, United States*

10:00 am • Considerations on Selecting Fractional-slot Windings

Emanuele Fornasiero, Luigi Alberti, Nicola Bianchi and Silverio Bolognani, *University of Padova, Italy*

10:25 am • Investigation of Magnet Arrangements in Double Layer Interior Permanent Magnet Motors

Katsumi Yamazaki and Kazuya Kitayuguchi, *Chiba Institute of Technology, Japan*

10:50 am • Post-assembly Magnetization of Rare-earth Fractional-slot Permanent-magnet Machines Using a Two-shot Method

Min-Fu Hsieh, Yao-Min Lien and David Dorrell, *National Cheng Kung University, Taiwan; University of Technology Sydney, Australia*

11:15 am • Three Phase Tooth-concentrated Multiple-layer Fractional Windings with Low Space Harmonic Content

Mihail V. Cistelean, Fernando FJTE Ferreira and Mihail Popescu, *Research Institute for Electrical Machines Bucharest, Romania; ISEC Coimbra, Portugal*

S51 DC-DC Converters: Isolated Converters IV

Grand Ballroom A

Chairs: Alan Elbanhawy, *Elbanhawy Consulting, United States* and Hui Li, *Florida State University, United States*

10:00 am • Using Adaptive Off-time Synchronous Rectification to Improve Efficiency in Low Output Voltage Converters

Miguel Rodriguez, Diego Gonzalez, Manuel Arias, Javier Sebastian and Roberto Prieto, *University of Oviedo, Spain; UPM - Madrid, Spain*

10:25 am • A Comparison of the Series-parallel Compensation Type DC-DC Converters Using both a Fuel Cell and a Battery

Koji Orikawa and Jun-ichi Itoh, *Nagaoka University of Technology, Japan*

10:50 am • Forward-flyback Converter with Snubber-feedback Network for Contactless Power Supply Applications

Ray-Lee Lin and Yu-Hau Huang, *National Cheng Kung University, Taiwan*

11:15 am • Optimization Design of an Isolated DC-DC Converter Using Series Compensation on the Secondary Side

Satoshi Miyawaki, Jun-ichi Itoh and Kazuki Iwaya, *Nagaoka University of Technology, Japan; TDK-Lambda, Japan*

S52 DC-DC Converters: Bidirection Converters II

Grand Ballroom B

Chair: Leon Tolbert, *The University of Tennessee, United States*

10:00 am • A New Resonant Active Clamping Technique for Bidirectional Converters in HEVs

Mario Cacciato, Alfio Consoli, Vittorio Crisafulli, Nunzio Abbate and Giovanni Vitale, *DIEES - University of Catania, Italy; STMicroelectronics - Catania, Italy*

10:25 am • Adaptive Dynamic Control of a Bidirectional DC-DC Converter

Dinesh Segaran, Brendan Peter McGrath and Donald Grahame Holmes, *RMIT University, Australia*

10:50 am • Preventing Transformer Saturation in Bidirectional Dual Active Bridge Buck-boost DC-DC Converters

Sangtaek Han, Imayavaramban Munuswamy and Deepak Divan, *Georgia Institute of Technology, United States*

11:15 am • A Comparative Efficiency Study of Silicon-based Solid State Transformers

Hengsi Qin and Jonathan Kimball, *Missouri University of Science and Technology, United States*

TUESDAY, SEPTEMBER 14
1:30 pm – 3:00 pm
Poster Session I

Grand Salon

Chair: Z. Qiang Zhu, *University of Sheffield, United Kingdom*

P101 • A Medium Voltage Power Supply with Enhanced Ignition Characteristics for Plasma Torch in Waste Disposal System

Yongsug Suh and Kyungsub Jung, *Department of Elec. Engineering, Chonbuk National University, Republic of Korea*

P102 • An Integrated Three-port Inverter for Stand-alone PV Applications

Zhijun Qian, Osama Abdel-Rahman, Haibing Hu and Issa Batarseh, *University of Central Florida, United States; Advanced Power Electronics Corporation, United States*

P103 • Derivation of Boost-buck Converter Based High-efficiency Robust PV Inverter

Zheng Zhao, Ming Xu, Qiaoliang Chen, Jih-Sheng Lai and Younghoon Cho, *Future Energy Electronics Center, Virginia Tech, United States; FSP-Powerland Technology Inc., China*

P104 • Advanced Lithium Ion Battery Modeling and Power Stage Integration Technique

Anand Ramamurthy, Subhashish Bhattacharya and Shailesh Notani, *North Carolina State University, United States*

P105 • A Hybrid Diverter Design for Distribution Level On-load Tap Changers

Daniel Rogers and Tim Green, *Imperial College London, United Kingdom*

P106 • Scheduling Demand Response Events with Constraints on Total Number of Events per Year – NOW PRESENTED IN S106

Rajesh Tyagi, Jason Black and Jon Petersen, General Electric, United States

P107 • A Double Fourier Analysis Development of THD for PWM Inverters: A Theoretical Method for Motor Loss Minimization

Xi Lu, Craig Rogers and Fang Zheng Peng, Michigan State University, United States

P108 • Dynamic Capacitor for HV Applications

Frans Dijkhuizen and Markus Goedde, ABB Corporate Research, Sweden; RWTH Aachen, Germany

P109 • A Novel Single Phase Synchronization Method for D-FACTS Controller Based on Symmetrical Components Synthesis

Ming Li, Yue Wang, Xiong Fang, Ke Wang, Wanjun Lei, Zhaoan Wang and Jinjun Liu, Xi'an Jiaotong University, China

P110 • Design of Single-phase Shunt Active Filter for Three-phase Four-wire Distribution Systems

Chung-Chuan Hou and Yung-Fu Huang, Chung Hua University, Taiwan; Industrial Technology Research Institute, Taiwan

P111 • Application of Electrical Variable Transmission in Wind Power Generation System

Xikai Sun, Ming Cheng, Wei Hua and Longya Xu, Southeast University, China; The Ohio State University, United States

P112 • The Design of an LCL-filter for the Three-parallel Operation of a Power Converter in a Wind Turbine

Yoon Dong-Keun, Jeong Hea-Gwang and Lee Kyo-Beum, Ajou University, Republic of Korea

P113 • Analysis and Specification of DC Side Voltage in Parallel Active Power Filter with SVM Control Regarding Compensation Characteristics

Guopeng Zhao and Jinjun Liu, Xi'an Jiaotong University, China

P114 • Design Considerations of High Voltage and High Frequency 3 Phase Transformer for Solid State Transformer Application

Chun-kit Leung, Seunghun Baek, Sumit Dutta and Subhashish Bhattacharya, North Carolina State University, United States

P115 • Simulation of Auxiliary Electrical System Working Conditions During Power Plant Transition to House Load Operation

Janusz Buchta, Maciej Pawlik and Rafal Szubert, Technical University of Lodz, Poland

P116 • Model for Optimal Balancing Single-phase Traction Load Based on Steinmetz's Method

Wan Qingzhu, Chen Jianye, Wu Mingli and Zhu Guiping, School of Electrical Engineering, Beijing Jiaotong University, China; State Key Lab of Power System, Department of Ele, China

P117 • Integrated Dynamic Voltage Restorers with Reduced Semiconductor Count

Lei Zhang, Poh Chiang Loh and Feng Gao, Nanyang Technological University, Singapore; Shandong University, China

P118 • A Model-based Controller in Rotating Reference Frame for Hybrid HVDC

Raymundo Torres-Olguin, Marta Molinas and Tore Undeland, Norwegian University of Science and Technology, Norway

P119 • Efficiency Improvement in Soft-switching Three-level Converters for High Power UPS

Corentin Rizet, Philippe Delarue, Philippe Le Moigne, Alain Lacarnoy and Jean-Paul Ferrieux, G2Elab/APC by Schneider electric, France; L2EP, France; APC by Schneider electric, France; G2Elab, France

P120 • Design Consideration of Self-oscillating Full-bridge Electronic Ballast for Metal Halide Lamp at 2.65MHz Operating Frequency

Lin Ray-Lee, Chen Yong-Fa and Chen Yan-Yu, National Cheng Kung University, Taiwan

P121 • Online Electric Vehicle Using Inductive Power Transfer System

Sungwoo Lee, Jin Huh, Changbyung Park, Nam-Sup Choi, Gyu-Hyeoung Cho and Chun-Taek Rim, Department of EE, KAIST, Republic of Korea; Department of Elect. and Semicon. Chonnam National University, Republic of Korea; Department of Nuclear and Quantum Engineering, KAIST, Republic of Korea

P122 • Optimal Resonant Tank Design Considerations for Primary Track Compensation in Inductive Power Transfer Systems

Zeljko Pantic, Subhashish Bhattacharya and Srdjan Lukic, North Carolina State University, United States

P123 • PEM Fuel Cell System Model Predictive Control and Real Time Operation on a Power Emulator

Angelo Accetta, Maurizio Cirrincione, Giuseppe Marsala, Marcello Pucci and Gianpaolo Vitale, DIEET - University of Palermo, Italy; University of Belfort Montbeliard, France; ISSIA - CNR, Italy

P124 • Comprehensive Research on Compound-structure Permanent-magnet Synchronous Machine System Used for HEVs

Yong Liu, Chengde Tong, Ranran Liu, Jing Zhao, Jingang Bai and Ping Zheng, Harbin Institute of Technology, China

P125 • Particle Swarm Optimization for Efficient Selection of Hybrid Electric Vehicle Design Parameters

Chirag Desai and Sheldon Williamson, Concordia University, Canada

P126 • Flatness Based Control of a Hybrid Power Source with Fuel cell / Supercapacitor / Battery

Majid Zandi, Alireza Payman, Jean-Philippe Martin, Serge Pierfederici and Bernard Davat, Nancy university-INPL, France

P127 • State of Charge Modeling of Arbitrary Cell Connection

Jiucui Zhang and Song Ci, University of Nebraska Lincoln, United States

P128 • High Voltage Matrix Converter Topology for Multi-system Locomotives

Pavel Drabek, Martin Pittermann and Marek Cedl, University of West Bohemia in Pilsen, Czech Republic

P129 • Closed Loop AC Voltage Generation Using Harmonic Cancellation Technique

Isabel Quesada, Carlos Lucena, Carlos Martinez, Antonio Lazaro and Andres Barrado, Carlos III University of Madrid, Spain

P130 • Design of Low-voltage High-current Rectifier with High-efficiency Output Side for Electrolytic Disinfection of Ballast Water

In-Dong Kim, Won-Woo Cho, Jin-Young Kim, Eui-Cheol Nho, Gang-Woo Goh, Sang-Bum Bae and Bu-Nyung Kang, Pukyong National University, Republic of Korea; Kwangsan Co., LTD, Republic of Korea

P131 • Integrated Modelling of a Synchronous Generator and a Twelve Phase Transformer

Alexander Julian and Giovanna Oriti, Naval Postgraduate School, United States

P132 • Study of Heat Dissipation for HXD2 Locomotive's Auxiliary Converter

Xianjin Huang, Liwei Zhang, Hu Sun, Xiaojie You and Trillion Zheng, Beijing Jiaotong University, China

P133 • Radial Flux and Axial Flux PM Machines Analysis for More Electric Engine Aircraft Applications

Radu Bojoi, Andrea Cavagnino, Alessio Miotto, Alberto Tenconi and Silvio Vaschetto, Politecnico di Torino, Italy

P134 • The Estimation of the Induction Motor Parameters by the GeTLS EXIN Neuron

Maurizio Cirrincione, Giansalvo Cirrincione, Marcello Pucci and Alain Jaafari, University of Belfort, France, France; University of Amiens, France, France; ISSIA-CNR, Italy

P135 • Study of Various Slanted Air-gap Structures of Interior Permanent Magnet Synchronous Motor with Brushless Field Excitation

Seong Taek Lee and Leon Tolbert, Hyundai Ideal Electric Company, United States; The University of Tennessee, United States

P136 • A Novel Middle-point Current-injection Type Bearingless Motor for Vibration Suppression

Yuto Iiyama, Kazuki Soutome, Akira Chiba and Akira Chiba, Tokyo University of Science, Japan; Tokyo Institute of Technology, Japan

P137 • Torque Ripples and Estimation Performance of High-frequency Signal Injection based Sensorless PMSM Drive Strategies

Yi Wang, Zhu Jianguo, Guo Youguang, Li Yongjian and Xu Wei, University of Technology, Sydney, Australia; University of Technology Sydney, Australia; Hebei University of Technology, China

P138 • Comparison and Evaluation of Different Compound-structure Permanent-magnet Synchronous Machine Used for HEVs

Ping Zheng, Jing Zhao, Ranran Liu, Chengde Tong and Qian Wu, Harbin Institute of Technology, China

P139 • Permanent Magnet Flux Switching Integrated-starter-generator with Different Rotor Configurations for Cogging Torque and Torque Ripple Mitigations

Weizhong Fei, Patrick Luk, Bing Xia, Jianxin Shen and Yu Wang, Cranfield University, United Kingdom; Zhejiang University, China

P140 • Design and Performance Analysis of an Outer-rotor Flux-switching Permanent Magnet Machine for Traction Applications

Yu Wang, Meng-Jia Jin, Jianxin Shen, Weizhong Fei and Patrick Luk, Zhejiang university, China; Zhejiang University, China; Zhejiang University, United Kingdom; Cranfield University, United Kingdom

P141 • Experimental comparison between Wound Rotor and Permanent Magnet Synchronous Machine for Integrated Starter Generator Applications

Guy Friedrich, Universite de Compiègne (UTC), France

P142 • Analytical Prediction of Open-circuit Eddy-current Loss in Series Double Excitation Synchronous Machines

Adel Bellara, Habiba Bali, Yacine Aamara, Georges Barakat and Pascal Reghem, GREAH (University of Le Havre), France

P143 • Vibration Reduction of IPM type BLDC Motor Using Negative Third Harmonic Elimination Method of Air-gap Flux Density

Jin-Wook Reu, Jin Hur, Byeong-Woo Kim and Gyu-Hong Kang, University of Ulsan, Republic of Korea; Korea Marine Equipment Research Institute, Republic of Korea

P144 • Influence of Stator Slot Shape on Temperature in Surface Mounted Permanent Magnet Machines

Andy Knight, Yang Zhan, Dave Staton and Douglas Hawkins, University of Alberta, Canada; Motor Design Ltd, United Kingdom

P145 • Inter-turn Short Circuit Fault Detection of Wound Rotor Induction Machines Using Bispectral Analysis

Amine Yazidi, Humberto Henao, Gerard-Andre Capolino, Franck Betin and Laurent Capocchi, University of Picardie Jules Verne, France; University of Corsica, France

P146 • Direct Measuring Position Encoder for Axial Transversal Flux Machine

Philip Brockerhoff and Martin Schulz, Universitaet der Bundeswehr Muenchen, Germany

P147 • Sensorless Control of BLDC Motors at Low Speed Based on Differential BEMF Measurement

Carlo Concari and Fabrizio Troni, University of Parma, Italy

P148 • A New Type Single Phase Switching Voltage Regulator

Ilknur Colak and Sukru Ertike, CERN, Turkey; Istanbul Technical University, Turkey

P149 • Coupled-inductor AC-to-AC Converters Having Improved Input Power Factor, Simple Control, and Variable Output Frequency

Edison da Silva, Euzeli Santos Jr., Antonio Lacerda, Frederico Azevedo and Cursino Jacobina, Federal University of Campina Grande, Brazil

P150 • A New Bidirectional Isolated Converter for Grid Connection

Myoungho Kim, Anno Yoo and Seung-Ki Sul, Seoul National University, Republic of Korea

P151 • A Control Method for a Single-to-three-phase Power Converter with an Active Buffer and a Charge Circuit

Yoshiya Ohnuma and Jun-ichi Itoh, Nagaoka University of Technology, Japan

P152 • AC Chopper Topology with Multiple Steps Switching Capability

Julio C. Rosas-Caro, Fernando Mancilla-David, Juan M. Ramirez-Arredondo, Aaron Gonzalez-Rodriguez, Eduardo Nacu Salas-Cabrera and Pablo A. Rojas-Molina, Madero City Technological Institute, Mexico; Department of Electrical Engineering University, United States; Guadalajara Campus of CINVESTAV, Mexico

P153 • Two-switch AC-link Voltage Regulator

Julio C. Rosas-Caro, Fernando Mancilla-David, Juan M. Ramirez-Arredondo, Juan M. Gonzalez-Lopez, Ruben Salas-Cabrera and Samuel Mar-Baron, Madero City Technological Institute, Mexico; Department of Electrical Engineering, University, Mexico; Guadalajara Campus of CINVESTAV, Mexico; Manzanillo Technological University, Mexico

P154 • Novel Capacitor-isolated Power Converter

Jingpeng Zhu, Ming Xu, Julu Sun and Chuanyun Wang, FSP-Powerland technology Inc., China; FSP-Powerland Technology Inc., China

P155 • Voltage Transfer Ratio Improvement of an Indirect Matrix Converter by Single Pulse Modulation

Teck Chiang Goh and Itoh Jun-ichi, Nagaoka University of Technology, Japan

P156 • Current Fluctuation Analysis of a Quantum AC-AC Resonant Converter for Contactless Power Transfer

Hao L. Li, Patrick A. Hu and Grant A. Covic, ECE Department – The University of Auckland, New Zealand

P157 • A Practical Multiphase IPT System for AGV and Roadway Applications

Michael Kissin, Hao Hao and Grant Covic, The University of Auckland, New Zealand

P158 • Vector Control of Induction Motor based on Output Voltage Compensation of Matrix Converter

She Hongwu, Lin Hua, Wang Xingwei and Yue Limin, Huazhong University of Science and Technology, China

P159 • A New Combined Adaptive Flux Observer with HF Signal Injection for Sensorless Direct Torque and Flux Control of Matrix Converter Fed IPMSM over a Wide Speed Range

Dan Xiao, Gilbert Foo and Muhammed Fazlur Rahman, The University of New South Wales, Australia

P160 • A Novel Modulation Strategy to Minimize the Number of Commutation Processes in the Matrix Converter

Keyhan Kobrai and Reza Iravani, University of Toronto, Canada

P161 • Space Vector PWM Technique for a Novel Three-to-five Phase Matrix Converter

SK Moin Ahmed, Atif Iqbal, Haitham Abu-Rub and Mohammad Rizwan Khan, Texas A&M University at Qatar, Qatar; Texas A&M University at Qatar, Qatar; Texas A&M University at Qatar, Qatar; Aligarh Muslim University, India

P162 • Output Voltage Harmonics Suppression of Matrix Converters Using Instantaneous Effective Values

Takaharu Takeshita, Nagoya Institute of Technology, Japan

P163 • Modulation Schemes for Five-phase to Three-phase AC-AC Matrix Converters

Joseph Ojo, Mihret Melaku, Abreham Meharegzi and Karugaba Sosthenes, Tennessee Tech University, United States

P164 • Single-switch Charge Equalizer Using Multi-stacked SEPIC Converter for Series-connected Energy Storage Cells

Masatoshi Uno, Akio Kukita and Koji Tanaka, Japan Aerospace Exploration Agency, Japan

TUESDAY, SEPTEMBER 14

3:30 pm – 5:00 pm

Poster Session II

Grand Salon

Chair: Ayman El-Refaie, GE Global Research Center, United States

P301 • State Monitoring and Fault Diagnosis of the PWM Converter using the Magnetic Near Field of the Inductor Components

Yu Chen, Songsong Nie, Xuejun Pei and Yong Kang, Huazhong University of Science and Technology, China

P302 • A DSP-based Diagnostic System for DC-DC Converters using the Shape of Voltage across the Magnetic Components

Songsong Nie, Yu Chen, Xuejun Pei and Yong Kang, Huazhong University of Science and Technology, China

P303 • Multiple-output DC-DC Converters with the Shared Leg Structure: Basic Topologies, ZVS Analysis and Experimental Results

Yu Chen, Songsong Nie, Xuejun Pei and Yong Kang, Huazhong University of Science and Technology, China

P304 • The Multiple-output DC-DC Converter with the Shared Leg Chain

Yu Chen, Songsong Nie, Xuejun Pei and Yong Kang, Huazhong University of Science and Technology, China

P305 • A Novel Clamping Diode Current Reset Scheme for ZVS PWM Full-bridge Converter

Wu Chen, Xinbo Ruan, Qianhong Chen and Junji Ge, Nanjing university of aero. and astro., China

P306 • A Double-input Flyback DC-DC Converter with Single Primary Winding

Qin Wang, Jie Zhang, Xinbo Ruan and Ke Jin, Nanjing University of Aeronautics and Astronauts, China; Huazhong University of Science and Technology, China

P307 • An Inductorless Asymmetrical ZVS Full Bridge Converter for Step-up Applications with Wide Input Voltage Range

Pyosoo Kim, Sewan Choi and Jeonggeun Kim, Seoul National University of Technology, Republic of Korea; Power Plaza Co., Republic of Korea

P308 • Dynamic Response Improvement in a Three-level Buck Type Converter

Lisheng Shi, Mehdi Ferdowsi and Mariesa Crow, Missouri University of Science and Technology, United States

P309 • An Improved Two-switch Buck-boost Converter with Reduced Reverse-recovery Losses

Chen Yang, Huafeng Xiao and Shaojun Xie, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, China

P310 • Unified Three-terminal Switch Model for Current Mode Controls

Yingyi Yan and Fred C. Lee, Virginia Tech, United States

P311 • Low-frequency Modeling of Three-phase, Four-core, Strip-wound Transformers in High-power DC-DC Converters

Robert Lenke, Bernard Szymanski and Rik De Doncker, E.ON Energy Research Center / RWTH Aachen, Germany; Warsaw University of Technology, Poland

P312 • Derivation of a Nonlinear Output Capacitor Current Programming Technique Applicable for a Buck Converter Operating in CCM and DCM

Victor Cheung, Henry Chung and Alan Lo, City University of Hong Kong, Hong Kong; Chu Hai College of Higher Education, Hong Kong

P313 • Evaluating the Confidence of Frequency Response Function of a Switched-mode Converter Using Distributional Models

Tomi Roinila, Tomi Helin, Matti Vilkkio, Mikko Hankaniemi and Hannu Koivisto, Tampere University of Technology, Finland; Celerium Technologies Ltd, Finland

P314 • Adaptive Frequency Modulation Method for Synchronous Buck Converters at Light Loads

In-Ho Cho, Il-Oun Lee and Gun-Woo Moon, KAIST, Republic of Korea

P315 • An Efficient Communication Protocol for Single- and Multi-module Isolated Digital Power Supplies Using a Single Pulse-transformer

Zhiyuan Hu, Yan-Fei Liu and Tet Yeap, Queen's University, Canada; University of Ottawa, Canada

P316 • A Resonant, Frequency-tracking, Step-down Piezoelectric Transformer Based Converter

Marco Pinto, Beatriz Borges, Hugo Ribeiro and Marcelino Santos, Instituto de Telecomunicacoes, IST, Portugal; INESC, IST, Portugal

P317 • Achieving Constant Frequency Operation in DC-DC Resonant Converters through Magnetic Control

J. Marcos Alonso, Marina Perdigao, David Gacio, Lidia Campa and Eduardo Saraiva, University of Oviedo, Spain; Instituto de Telecomunicacoes, Portugal

P318 • Discrete Time Domain Small Signal Modeling of Full Bridge Phase Shifted Series Resonant Converter

A. A. Aboushady, K. H. Ahmed, S. J. Finney and B. W. Williams, Strathclyde University, United Kingdom

P319 • Performance Analysis of Isolated ZVT Interleaved Converter with Winding-cross-coupled Inductors and Switched-capacitors

Rui Xie, Wuhua Li, Yi Zhao, Jing Zhao, Xiangning He and Fengwen Cao, Zhejiang University, China; Suzhou Vocational University, China

P320 • Constant On-time Digital Peak Voltage Control for Buck Converter

Yanyan Jin, Jianping Xu and Guohua Zhou, Southwest Jiaotong University, China

P321 • A New Digital Capacitor Charge Balance Control Algorithm for Boost DC-DC Converter

Fang Wei, Qiu Yajie, Liu Xiaodong and Liu Yanfei, Anhui University of Technology, China; Queen's University, Canada

P322 • A New Digital Control Algorithm to Improve the Dynamic Response of Dual-transistors Forward Converter

Fang Wei, Qiu Yajie, Liu Xiaodong and Liu Yanfei, Anhui University of Technology, China; Queen's University, Canada

P323 • On the AC Stability of High Power Factor Three-phase Rectifiers

Rolando Burgos, Dushan Boroyevich, Fred Wang, Kamiar Karimi and Gerald Francis, ABB Corporate Research, United States; CPES-Virginia Tech, United States; University of Tennessee, United States; The Boeing Company, United States

P324 • Power Factor Correction Using Projected Cross Point Control (PCPC)

Mostafa Khazraei, Hossein Sepahvand and Mehdi Ferdowsi, Missouri University of Science and Technology, United States

P325 • A Novel Neutral Point Potential Balance Control Strategy Based on Vector Controlled VIENNA Rectifier

Li-gao He and Xin-bing Chen, NanJing University of Astronautics and Aeronautics, China

P326 • Three-phase Three-level Boost Rectifier Based on Three-switching Cells for UPS Applications Using FPGA

Raphael da Camara, Paulo Praca, Cicero Cruz, Rene Bascope and Luiz Henrique Barreto, Universidade Federal do Ceara, Brazil

P327 • Three-phase Rectifier with an Active Current Injection and a Single High-frequency Inductor

Rima Abi Rached, Hadi Kanaan and Kamal Al-Haddad, Saint-Joseph University, Lebanon; Ecole de Technologie Supérieure, Canada

P328 • Input Resonance Investigation and LC Filter Design for PWM Current Source Rectifiers

Hua Zhou, Yunwei Li, Navid Zargari, Zhongyuan Cheng and Jinwei He, University of Alberta, Canada; Rockwell Automation, Canada

P329 • Large Power Three-level Voltage Source Inverter with IGBTs and the Experiment

Chengsheng Wang, Chongjian Li, Yaohua Li, Chunyi Zhu and Zhiming Lan, Automation Research and Design Institute of Meta, China; Institute of Electrical Engineering, Chinese Aca, China

P330 • Analysis and Design Optimization of Brushless DC Motor's Driving Circuit Considering the CDV/DT Induced Effect

Shen Xu, Weifeng Sun and Daying Sun, Southeast University, China

P331 • An Improved Control Strategy for Input-series and Output-parallel Inverter System at Extreme Conditions

Wu Chen and Xinbo Ruan, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, China

P332 • Current Sharing of IGBT Modules in Parallel with Thermal Imbalance

Xuesong Wang, Zhengming Zhao and Liqiang Yuan, Tsinghua University, China

P333 • A Current Decoupling Parallel Control Strategy of Single Phase Inverter with Voltage and Current Dual Closed-loop Feedback

Shungang Xu and Jianping Xu, Electrical Engineering, Southwest Jiaotong Univ, China

P334 • Characteristics of Two Induction Motor Independent Drives Fed by a Four-leg Inverter

Nobutaka Kezuka, Kazuo Oka and Kouki Matsuse, Meiji University, Japan

P335 • New Control Strategy Applied to a CSI Inverter with Amplified Sinusoidal Output Voltage: Analysis, Simulation and Experimental Results

Lucas Sampaio, Natalia Morais, Luiz Carlos Gomes Freitas, Joao Batista Vieira Jr. and Valdeir Jose Farias, Universidade Federal de Uberlandia - UFU, Brazil

P336 • Novel Proposal of Multilevel Inverter Using Buck EIE Converter

Natalia M. A. Costa, Luiz C. G. Freitas, Joao B. Vieira Jr., Ernane Antonio Alves Coelho and Valdeir J. Farias, Universidade Federal de Uberlandia - UFU, Brazil

P337 • Model Predictive Control of a Cascaded H-bridge StatCom

Christopher Townsend, Terrence Summers and Robert Betz, The University of Newcastle, Australia

P338 • Implementation of a Three-phase Multilevel Boosting Inverter Using Switched-capacitor Converter Cells

Arthur Barnes and Juan Carlos Balda, University of Arkansas, United States

P339 • High-power Modular Multilevel Converters with SiC JFETs

Dimosthenis Pefitsis, Georg Tolstoy, Antonios Antonopoulos, Jacek Rabkowski, Mietek Bakowski, Lennart Ångquist, Hans-Peter Nee and Jang-Kwon Lim, KTH-Royal Institute of Technology, Sweden; Acreo, Sweden

P340 • A Simplified Space Vector Based Current Controller for Any General N-level Converter

Jun Li, Xiaohu Zhou, Zhigang Liang, Subhashish Bhattacharya and Alex Huang, North Carolina State University, United States

P341 • A Novel Active Clamping Soft Switching SVM Controlled Three-phase Inverter

Rui Li, Zhiyuan Ma and Dehong Xu, Zhejiang University, China

P342 • An Automatic Half-bridge Resonant Inverter with Three-phase Three-switch Buck-type Rectifier

Yachiangkam Samart, Chakkuchan Panithan, Saichol Chudjuarjeen, Anawach Sangswang and Chayant Koompai, King Mongkut's University of Technology Thonburi, Thailand

P343 • Design of Low-profile Nanocrystalline Transformer in High Current Phase-shifted DC-DC Converter

Yi Wang, Sjoerd W.H. de Haan and J.A. Ferreira, Delft University of Technology, Netherlands

P344 • Applying Response Surface Methodology to Planar Transformer Winding Design

Samuel Cove, Martin Ordonez and John Quaicoe, Memorial University of Newfoundland, Canada

P345 • A Simple Method for Measuring Voltage Dependent Capacitance Using TDR System

Zen-nosuke Ariga, Keiji Wada and Toshihisa Shimizu, Tokyo Metropolitan University, Japan

P346 • IGBT Modules Optimized for Three Level Inverters

Eric Motto and John Donlon, Powerex Inc., United States

P347 • Single Die Multiple 600V Power Diodes with Vertical Voltage Terminations and Isolation

Kremena Vladimirova, Jean-Christophe Crebier, Yvan Avenas, Christian Schaeffer and Timothe Simonot, Grenoble Electrical Engineering Laboratory, France

P348 • Design and Characterization of an Integrated CMOS Gate Driver for Vertical Power MOSFETs

Timothe Simonot, Nicolas Rouger and Jean-Christophe Crebier, Grenoble Electrical Engineering Lab (G2Elab), France

P349 • An Investigation into the Utilisation of Power MOSFETs at Cryogenic Temperatures to Achieve Ultra-low Power Losses

Kennith Leong, Benedict Donnellan, Angus Bryant and Philip Mawby, University of Warwick, United Kingdom

P350 • Power SiC DMOSFET Model Accounting for JFET Region Nonuniform Current Distribution

Ruiyun Fu, Alexander Grekov, Jerry Hudgins, Alan Mantooth and Enrico Santi, University of South Carolina, United States; University of Nebraska, United States; University of Arkansas, United States

P351 • Hardware Laboratories for Power Electronics and Motor Drives Distance Learning Courses

Giovanna Oriti, Alexander Julian, Daniel Zulaica and Roberto Cristi, Naval Postgraduate School, United States

P352 • Improving Light Load Efficiency of High Frequency DC-DC Converters with Planar Nonlinear Inductors

Laili Wang, Yunqing Pei, Xu Yang and Zhaoan Wang, Xi'an Jiaotong University, China

P353 • Design Issues of Interleaved Critical Conduction Mode Boost PFC Converter with Coupled Inductor

Fei Yang, Xinbo Ruan, Yang Yang and Zhihong Ye, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, China; Huazhong University of Science and Technology, China; Lite-ON TECHNOLOGY CORP., Taiwan

P354 • Design of a Contactless Energy Transfer System for Desktop Peripherals

Pascal Meyer, Paolo Germano, Miroslav Markovic and Yves Perriard, PhD Student, Switzerland; Assistant, Switzerland; Professor, Switzerland

P355 • Magnetic Properties Measurement of Soft Magnetic Composite Materials Over Wide Range of Excitation Frequency

Yongjian Li, Jianguo Zhu, Qingxin Yang, Zhiwei Lin, Yi Wang and Wei Xu, Hebei University of Technology, China; University of Technology, Sydney, Australia

P356 • Comprehensive Optimization Method for Thermal Properties and Parasitics in Power Modules

Ole Muehlfeld and Friedrich W. Fuchs, Christian-Albrechts-University of Kiel, Germany

P357 • EMC Behavior of the Internal Supply of Industrial Power Converters

Sebastian Schulz and Andreas Lindemann, Otto-von-Guericke University, Magdeburg, Germany

P358 • Automatic Layout Design for Power Module

Puqi Ning, Fred Wang and Khai Ngo, CPES-Virginia Tech, United States

P359 • Method to Detect Line-to-ground Faults in High-resistance-ground Networks

Carlos Rodriguez and Russel Kerkman, Rockwell Automation, United States

P360 • Reliability Assessment on Power MOSFETs Working in Energy Absorption Mode

Antonio Testa, Salvatore De Caro, Salvatore Patane', Saverio Panarello, Sebastiano Russo, Davide Patti and Santo Poma, DCIIM - University of Messina, Italy; DFMIE - University of Messina, Italy; ST Microelectronics, Italy

P361 • Application of Gate-controlled Series Capacitors (GCSC) for Reducing Stresses Due to Sub-synchronous Resonance in Turbine-generator Shaft

B.S. Umre, J.B. Helonde, J.P. Modak and Sonali Renkey (Rangari), VNIT, Nagpur, India; GNCOE, Nagpur, India; PCOE, Nagpur, India; RKNEC, Nagpur, India

P362 • Design and Implementation of a High Resolution DPWM Based on a Low-Cost FPGA

Ge Lusheng, Chen Zongxiang, Chen Zhijie and Liu Yanfei, Anhui University of Technology, China

WEDNESDAY, SEPTEMBER 15

8:00 am – 9:40 am

S53 DC-AC Inverters: Neutral Point Clamped Inverters

Room 201

Chairs: Jin Wang, Ohio State University, United States and Lixiang Wei, Rockwell Automation, United States

8:00 am • Multi-carrier Interleaved PWM Strategies for a New Five-level NPC Inverter Using a Three-phase Coupled Inductor
Behzad Vafakhah, Jeffrey Ewanchuk and John Salmon, University of Alberta, Canada

8:25 am • Improvement of EMI Behavior of NPC Multilevel Inverter Without Balancing the Voltage Bondaries of DC Bank Capacitors
Ignace Rasoanarivo, Jean-Philippe Martin and Serge Pierfederici, Nancy Universite - INPL, France

8:50 am • Improving the Performance of Protection Schemes in Three Level IGCT-based Neutral Point Clamped Converters
Anderson Rocha, Gleisson Franca, Manoel Santos, Helder de Paula and Braz Cardoso, CEFET-MG, Brazil; Universidade Federal de Minas Gerais, Brazil; Gerdau-Acominas, Brazil

9:15 am • A Five/Nine-level Twelve-switch Neutral Point Clamped Inverter for High Speed Electric Drives
Jeff Ewanchuk, Behzad Vafakhah and John Salmon, University of Alberta, Canada

S54 AC-DC Converters: Control of Three Phase PFC

Room 202

Chair: Mohamed Orabi, South Valley University, Egypt

8:00 am • Direct Power Control for Three-level Neutral Point Clamped PWM Rectifier Based on Virtual Flux
Yingchao Zhang, Zhengming Zhao, Ting Lu and Liping Jin, Tsinghua University, China; Chongqing Communication Institute, China

8:25 am • Full Discrete Sliding Mode Controller for Three-phase PWM Rectifier Based on Load Current Estimation
Jin Ye, Xu Yang, Haizhong Ye and Xiang Hao, Xi'an Jiaotong University, China

8:50 am • A Novel Control Method Using Two DC Link Current Sensors in Two Parallel Three-phase Boost Converters
Chang-Soon Lim, Kui-Jun Lee, Rae-Young Kim and Dong-Seok Hyun, Electrical Engineering, Hanyang University, Republic of Korea

9:15 am • Voltage Sensorless Bidirectional Three-phase Unity Power Factor AC-DC Converter
Ajit Ghodke and Kishore Chatterjee, IIT Bombay, India

S55 Sustainable Energy Applications: Ocean Wave Energy Systems

Room 203

Chairs: Annette Von Jouanne and Ted Brakken, Oregon State University, United States

8:00 am • Analysis of Power Extraction from Irregular Waves by All Electric Power Take Off
Elisabetta Tedeschi, Marta Molinas, Matteo Carraro and Paolo Mattavelli, Norwegian University of Science and Technology, Norway; University of Padova, Italy; Virginia Tech, United States

8:25 am • Grid Power Integration Technologies for Offshore Ocean

Wave Energy

Katsumi Nishida, Tarek Ahmed and Mutsuo Nakaoka, Ube National College of Technology, Japan; Assuit University, Egypt; Kyungnam University, Japan

8:50 am • Self-synchronous Control of Doubly-fed Linear Generators for Ocean Wave Energy Applications

Jennifer Vining, Thomas Lipo and Giri Venkataramanan, University of Wisconsin - Madison, United States

9:15 am • Low-power Autonomous Wave Energy Harvesting Device for Remote Sensing and Communications Applications

Deanne Symonds, R. Cengiz Ertekin and Edward Davis, Trex Enterprises Corporation, United States; University of Hawaii, United States

S56 Electric Machines: Wind Generators

Room 204

Chairs: David Dorrell, University of Technology - Sydney, Australia and Bin Lu, Eaton Corporation, United States

8:00 am • Optimal Selection of Excitation Capacitor for 6/3-phase Dual Stator-winding Induction Generator with the Static Excitation Controller Applied in Wind Power

Feifei Bu, Wenxin Huang, Yuwen Hu and Kai Shi, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, China

8:25 am • Design of New Concept Permanent Magnet Induction Wind Generator

Johannes Potgieter and Maarten Kamper, Stellenbosch University, South Africa

8:50 am • Design and Control of a High-efficiency Doubly-fed Brushless Machine for Wind Power Generator Application

Longya Xu, Bo Guan, Huijuan Liu, Le Gao and Kaichien Tsai, The Ohio State University, United States

9:15 am • Condition Monitoring of Wind Turbines Based on Amplitude Demodulation

Yassine Amirat, Vincent Choqueuse and Mohamed Benbouzid, University of Brest, EA 4325 LBMS, France

S57 Enabling Technologies: Power Device Gate Drive Techniques

Room 205

Chair: Angus Bryant, University of Warwick, United Kingdom

8:00 am • A New Inductorless Bipolar Gate Driver for Control FET of High Frequency Buck Converters

Jizhen Fu, Zhiliang Zhang, Liang Jia, Yan-Fei Liu and Paresh Sen, Queen's University, Canada; Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, China

8:25 am • An Integrated Segmented Gate Driver with Adjustable Driving Capability

Armin Akhavan Fomani, Andrew Shorten and Wai Tung Ng, University of Toronto, Canada; University of Toronto, Canada

8:50 am • Comparison of Continuous and Discontinuous Current Source Drivers for High Frequency Applications

Zhiliang Zhang, Jizhen Fu, Yan-Fei Liu and P.C. Sen, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, China; Queen's University at Kingston, Canada

9:15 am • A Special High-frequency Soft-switched High-voltage Isolated DC-DC Power Supply for Six GCT Gate Drivers

Jahangir Afsharian, Bin Wu and Navid Zargari, Master of Applied Science Ryerson University, Canada; Professor (Fellow of IEEE) Ryerson University, Canada; Research and Designer (Rockwell Automation), Canada

S58 DC-DC Converters: Magnetic Designs

Room 206

Chair: Dushan Boroyevich, Virginia Tech, United States

8:00 am • High Frequency Bus Converter with Integrated Matrix Transformers for CPU and Telecommunications Applications

David Reusch and Fred Lee, CPES-Virginia Tech, United States

8:25 am • High Power Density Interleaved DC-DC Converter Using a Three-phase Integrated Close-coupled Inductor Set Aimed for Electric Vehicles

Mitsuaki Hirakawa, Masao Nagano, Yasuto Watanabe, Keigo Andoh, Satoshi Hashino, Somei Nakatomi and Toshihisa Shimizu, Honda RD Co., Ltd., Japan; Tokyo Metropolitan University, Japan

8:50 am • Trans-linked Multi-phase Boost Converter for Electric Vehicle

Masayuki Nakahama, Masayoshi Yamamoto and Yuki Satake, Shimane University, Japan; Sanshin Electronics, Co., Japan

9:15 am • Core-less Multiphase Converter with Transformer Coupling

M. Carmen Gonzalez, Narciso Ferreros, Pedro Alou, Oscar Garcia, Jesus Angel Oliver, Jose Antonio Cobos and Horacio Visairo, Universidad Politecnica de Madrid, Spain; Systems Research Center Mexico, Intel Corp, Mexico

S59 Electric Machines: Condition Monitoring and Fault Analysis I

Room 207

Chairs: Marcello Pucci, ISSIA-CNR, Italy and Lee Sang Bin, Korea University, Republic of Korea

8:00 am • A Comparative Study of Permanent Magnet-synchronous and Permanent Magnet-flux Switching Machines for Fault Tolerant Drive Systems

Tsarafidy Raminosoa and Chris Gerada, The University of Nottingham, United Kingdom

8:25 am • Online Broken Rotor Bar Detection of Inverter-fed Induction Motors Operating Under Arbitrary Load Conditions

Sung-Kuk Kim and Jul-Ki Seok, EE, Yeungnam University, Republic of Korea

8:50 am • Automated Monitoring of Airgap Eccentricity for Inverter-fed Induction Motors Under Standstill Conditions

Doosoo Hyun, Jongman Hong, Sang Bin Lee, Kwonhee Kim, Ernesto Wiedenbrug, Mike Teska, Subhasis Nandi and Ilamparithi Thirumarai Chelvan, Korea University, Republic of Korea; Baker Instrument Company - an SKF Group Company, United States; University of Victoria, Canada

9:15 am • Evaluation of the Detectability of Broken Rotor Bars for Double Squirrel Cage Rotor Induction Motors

Jongbin Park, Byunghwan Kim, Jinkyu Yang, Sang Bin Lee, Ernesto Wiedenbrug, Mike Teska and Seungoh Han, Korea University, Republic of Korea; Baker Instrument Company - an SKF Group Company, United States; Hoseo University, Republic of Korea

S60 Sustainable Energy Applications: Wind Energy Systems I*Grand Ballroom C**Chairs: Robert Chin, ABB, Sweden and Pat Wheeler, University of Nottingham, United Kingdom***8:00 am • Design and Implementation of STATCOM Combined with Series Dynamic Breaking Resistor for Low Voltage Ride-through of Wind Farms***Linyuan Zhou, Jinjun Liu and Fangcheng Liu, Xi'an Jiaotong University, China***8:25 am • Low Voltage Ride-through of Wind Turbine Based on Interior Permanent Magnet Synchronous Generators Sensorless Vector Controlled***Mario Rizo, Ana Rodriguez, Emilio Bueno, Santiago Cobrecas, Francisco Rodriguez and Carlos Giron, University of Alcala, Spain***8:50 am • Fault Ride-through Enhancements of Wind Turbine with Doubly-fed Induction Generator Using the Robust Variable Structure System Control***Chia-Chi Chu, Yuan-Zeng Lin, Jian-Hung Liu and Se-Kang Ho, National Tsing Hua University, Taiwan; Industrial Technology Research Institute, Taiwan***9:15 am • Control of an Unbalanced Stand-alone DFIG-based Wind System Using Predictive Current Control Method***Phan Van-Tung and Lee Hong-Hee, University of Ulsan, Republic of Korea***S61 DC-AC Inverters: Special Topics I***Grand Ballroom D**Chair: Abraham Gebregergis, Nexteer, United States***8:00 am • Performance Evaluation of a New Hybrid-modulation Scheme for High-frequency-AC-link Inverter: Applications for PV, Wind, Fuel Cell, and DER/Storage Applications***Sudip K. Mazumder and Akshay K. Rathore, University of Illinois, Chicago, United States***8:25 am • Performance Enhancement for Digital Implementations of Resonant Controllers***Alejandro G. Yepes, Francisco D. Freijedo, Pablo Fernandez-Comesana, Jano Malvar, Oscar Lopez and Jesus Doval-Gandoy, University of Vigo, Spain***8:50 am • A Fast Space-vector Algorithm for Multilevel Converters without Coordinates Transformation***Luis Gustavo Castro, Mauricio Correa, Cursino Jacobina and Dushan Boroyevich, Universidade Federal de Campina Grande, Brazil; Virginia Tech, United States***9:15 am • Application of a Hybrid Discharge Reactor with D-A Mixed Control in Phenol Degradation***Rui Xie, Chao Chen, Wuhua Li, Jing Zhao and Xiangning He, Zhejiang University, China***S62 Special Industry Session: Industry Perspectives on Emerging Challenges and Opportunities in Renewable Energy and Electrified Transport***Grand Ballroom A**Chair: Deepak Divan, Georgia Institute of Technology, United States***8:00 am • Power Electronics in Renewable Energy and Electric Transportation from a Utility Perspective***Satish Rajagopalan, Electric Power Research Institute (EPRI), United States***8:25 am • Ready, Set, Charge! How Communities Prepare for Plug-in Electric Vehicles***Don Francis, Clean Cities-Atlanta, United States***8:50 am • Integrated Power Electronics in the Photovoltaics Industry***Pat Chapman, SolarBridge Technologies, United States***9:15 am • Impact of Wind Generation on the Grid — New Developments and Implications on Wind's Growth Rate***Mahesh Morjaria, GE Energy, United States***S63 Sustainable Energy Applications: Microgrid I***Grand Ballroom B**Chairs: Sudip Mazumder, University of Illinois-Chicago, United States and Ferdinanda Ponci, Aachen University, Germany***8:00 am • Stability Studies of a Mixed Islanded Power Network with Varspeed Units Using Simplified Models of the Converters***Yves Pannatier, Basile Kawkabani, Gokhan Sari and Jean-Jacques Simond, EPFL-STI-IEL-LME, Switzerland***8:25 am • Composite Energy Storage System with Flexible Energy Management Capability for Micro-grid Applications***Tanmoy Bhattacharya, Haihua Zhou, Ashwin M. Khambadkone, Duong Tran and Siew Tuck Sing, Terence, National University of Singapore, Singapore***8:50 am • A New Half-bridge Based Inverter with the Reduced-capacity DC Capacitors for DC Micro-grid***Toshihiko Tanaka, Tsukasa Sekiya, Yusuke Baba, Masayuki Okamoto and Eiji Hiraki, Yamaguchi University, Japan***9:15 am • Integration of Battery Energy Storage Element in a CERTS Micro-grid***Micah Erickson and Robert Lasseter, University of Wisconsin - Madison, United States*

WEDNESDAY, SEPTEMBER 15

10:00 am – 11:40 am

S64 DC-AC Inverters: Motor Drive Inverters*Room 201**Chair: Gui-Jia Su, Oak Ridge National Laboratories, United States***10:00 am • Bidirectional Rectifier-inverter Multilevel Topology without DC-link Passive Components***Georgios Konstantinou and Vassilios G. Agelidis, The University of New South Wales, Australia***10:25 am • A Square-wave Controller for a High Speed Induction Motor Drive Using a Three-phase Floating Inverter Bridge***Jeff Ewanchuk and John Salmon, University of Alberta, Canada***10:50 am • Interaction Between the Filter and PWM Units in the Sine Filter Configuration Utilizing Three-phase AC Motor Drives Employing PWM Inverters***Onur Cetin and Ahmet Hava, Middle East Technical University, Turkey***11:15 am • Loss Evaluation of a Two-stage Boost Converter Using the Neutral Point of a Motor***Jun-ichi Itoh and Daisuke Ikarashi, Nagaoka University of Technology, Japan*

S65 AC-DC Converters: PFC Modeling and Control

Room 202

Chair: Yongsug Suh, Chonbuk National University, Republic of Korea

10:00 am • A Unified Practical Approach to Analyze the Stability of the Pre-regulator and Complete Two-stage PFC Power Supplies Under Average-current-mode Control

Mohamed Orabi and Abdelali Elaroudi, APEARC, South Valley University, Egypt; Rovire I Vergili University, Spain

10:25 am • Small-signal Modeling of DCVM Cuk Converter Operating in both DC Input Voltage Source and PFC Applications

Yaser Karimi, Vahidreza Nasirian, Mahdi Ahmadian, Jalil Yaghoobi, Mohammad Reza Zolghadri and Mehdi Ferdowsi, Sharif University of Technology, Iran; Missouri University of Science and Technology, United States

10:50 am • Energy-based Digital Control of a Ripple Correction Circuit of an Unity-power-factor AC-DC Converter

Toshiji Kato, Kaoru Inoue and Koji Higashiyama, Doshisha University, Japan

11:15 am • A Fourier Based PLL for Single Phase Grid Connected Systems

Claudio Santos, Sidelmo Silva and Braz Cardoso, PPGEL, CEFET-MG, Brazil; Universidade Federal de Minas Gerais, Brazil

S66 Sustainable Energy Applications: Photovoltaics Converters I

Room 203

Chairs: Robert Balog, Texas A&M University, United States and Lixiang Wei, Rockwell Automation, United States

10:00 am • Multiple-input Boost Converter to Minimize Power Losses Due to Partial Shading in Photovoltaic Modules

Sairaj Dhople, Jonathan Ehlmann, Ali Davoudi and Patrick Chapman, University of Illinois, United States

10:25 am • A High Efficiency Current Fed Multi-resonant Converter for High Step-up Power Conversion in Renewable Energy Harvesting

Bo Yuan, Xu Yang and Donghao Li, Xi'an Jiaotong University, China

10:50 am • An Interleaving Double-switch Buck-boost Converter for PV Grid-connected Inverter

Huafeng Xiao, Ruhai Huang, Shaojun Xie and Wenming Chen, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, China

11:15 am • Improved MPPT Performance of a Grid Connected Photovoltaic Power Conditioning System under Partially Shaded Conditions

Young-Ho Park, Myung-Ho Woo, Se-Bong Jeon and Seung-Pyo Ryu, Hyundai Heavy Industries, Republic of Korea

S67 Electric Machines: Reluctance Machines

Room 204

Chairs: Gianmario Pellegrino, Politecnico di Torino, Italy and Akira Chiba, Tokyo University of Science, Japan

10:00 am • Torque Density and Efficiency Improvements of a Switched Reluctance Motor for Hybrid Vehicles without Rare Earth Material

Yuichi Takano, Motoki Takeno, Takashi Imakawa, Akira Chiba and Nobukazu Hoshi, Tokyo University of Science, Japan

10:25 am • Position Estimation at Starting and Lower Speeds in Three-phase Switched Reluctance Machines Using Pulse Injection and Two Thresholds

Gregory Pasquesoone and Iqbal Husain, University of Akron, United States

10:50 am • A New Excitation Scheme for Polyphase Segmented Switched Reluctance Motor

Vandana Rallabandi, Saikrishna K. and B.G. Fernandes, IIT Bombay, India

11:15 am • Design and Optimization of a Synchronous Reluctance Machine with Salient Poles and Flux Barriers

Remy Constancias, Ignace Rasoanarivo, Nouredine Takorabet and Francois-Michel Sargos, GREEN - INPL, France

S68 Enabling Technologies: Package Impedance Issues

Room 205

Chair: Braham Ferreira, Delft University of Technology, Netherlands and Douglas Hopkins, University of Buffalo, United States

10:00 am • Automatic Layout Optimization of an EMC Filter

Thomas de Oliveira, Jean-Michel Guichon and Jean-Luc Schanen, G2ELab, France

10:25 am • Reduction of Stray Inductance in Power Electronic Modules Using Basic Switching Cells

Shengnan Li, Leon Tolbert, Fred Wang and Fangzheng Peng, The University of Tennessee, Knoxville, United States; Michigan State University, United States

10:50 am • Power-CAD: A Novel Methodology for Design, Analysis and Optimization of Power Electronic Module Layouts

Naveed Hingora, Xiangyu Liu, Brice McPherson, Yongfeng Feng and Alan Mantooth, University of Arkansas, United States; Arkansas Power Electronics International, Inc., United States

11:15 am • Separation Measurement of Parasitic Impedance on a Power Electronics Circuit Board Using TDR

Satoshi Hashino and Toshihisa Shimizu, Tokyo Metropolitan University, Japan

S69 DC-DC Converters: Integrated Power Converters

Room 206

Chairs: Matthew Wilkowski, Enpirion, United States and Cian O'Mathuna, Tyndall, Ireland

10:00 am • A Multi-modes Charge-pump Based High Efficiency Wide Input Range DC-DC Converter

Rong Guo, Zhigang Liang and Alex Huang, North Carolina State University, United States

10:25 am • A Monolithic Reconfigurable SC Power Converter with Adaptive Gain Control and On-chip Capacitor Sizing

Ling Su and Dongsheng Ma, University of Arizona, United States

10:50 am • Switching Losses Analysis in MHz Integrated Synchronous Buck Converter to Support Optimal Power Stage Width Segmentation in CMOS Technology

Xiaopeng Wang, Jinseok Park, Edward Robert Brunt Van and Alex. Q. Huang, North Carolina State University, United States; On Semiconductor Corp., United States

11:15 am • Interleaved Switched-capacitor Converters with Adaptive Control

Slew Chong Tan, Kiratipongvoot Sitthisak, Svetlana Bronshtein, Adrian Ioinovici and Yuk Ming Lai, Hong Kong Polytechnic University, Hong Kong; Sami Shamon College of Engineering, Israel; Holon Institute of Technology, Israel

S70 Electric Machines: Condition Monitoring and Fault Analysis II

Room 207

Chairs: Lee Sang Bin, Korea University, Republic of Korea and Marcello Pucci, ISSIA-CNR, Italy

10:00 am • Investigation of Influence of Bearing Load and Bearing Temperature on EDM Bearing Currents

Oliver Magdun, Andreas Binder and Yves Gemeinder, Darmstadt University of Technology, Germany

10:25 am • Influence of Motor Operating Parameters on Discharge Bearing Current Activity

Annette Muetze, Jussi Tamminen and Jero Ahola, Graz University of Technology, Austria; Lappeenranta University of Technology, Finland

10:50 am • New Concepts for Online Surge Testing for the Detection of Winding Insulation Deterioration

Stefan Grubic, Thomas Habetler and Jose Restrepo, Georgia Institute of Technology, United States; Universidad Simon Bolivar, Venezuela

11:15 am • Forces and Vibrations Analysis in Industrial PM Motors Having Concentric Windings

Alain Cassat, Christophe Espanet, Ralph Coleman, Emmanuel Leleu, Luc Burdet, Dimitri Torregrossa, Jeremy M'Boua and Abdellatif Miraoui, EPFL-STI-IMT-LAI, Switzerland; University of Franche-Comte, France; ETEL SA, Switzerland; CONVERTEAM SAS, France; UTBM, France

S71 Sustainable Energy Applications: Wind Energy Systems II

Grand Ballroom C

Chairs: Pat Wheeler, University of Nottingham, United Kingdom and Robert Chin, ABB, Sweden

10:00 am • Improvement of Power Quality for PMSG Wind Turbine Systems

Thanh Hai Nguyen, Dong Choon Lee, Saung Hoi Song and Eel-Hwan Kim, Yeungnam University, Republic of Korea; Kwangwoon University, Republic of Korea; Jeju National University, Republic of Korea

10:25 am • Fault Ride Through of DFIG Wind Turbines During Symmetrical Voltage Dip with Crowbar or Stator Current Feedback Solution

Christian Wessels and Friedrich W. Fuchs, University of Kiel, Germany

10:50 am • Converter Structure-based Power Loss and Static Thermal Modeling of the Press-pack IGBT-based Three-level ANPC and HB VSCs Applied to Multi-MW Wind Turbines

Osman S. Senturk, Lars Helle, Stig Munk-Nielsen, Pedro Rodriguez and Remus Teodorescu, Aalborg University, Denmark; Vestas Wind Systems, Denmark; Universitat Politecnica De Catalunya, Spain

11:15 am • Induction Generator Model for Unbalanced Distribution Power-flow Analysis

Karar Mahmoud, Mamdouh Abdel-Akher and Orabi Mohamed, Faculty of Engineering, South Valley University, Egypt

S72 DC-AC Inverters: Special Topics II

Grand Ballroom D

Chairs: Antonio Ginart, Impact Technologies, United States and Madhav Manjrekar, Siemens, United States

10:00 am • An Improved Soft-switching Inverter with an Unidirectional Auxiliary Switch

Se-Jin Sohn, Kui-Jun Lee, Rae-Young Kim and Dong-Seok Hyun, Hanyang University, Republic of Korea

10:25 am • Control and Implementation of a High Voltage Series Resonant Power Supply for Industrial Electrostatic Precipitators

Carastro Fabio, Clare Jon, Goodman Andrew, Wheeler Patrick and Leach John, University of Nottingham, United Kingdom; Castlet Ltd, United Kingdom

10:50 am • High-efficiency Inverter for Photovoltaic Applications

David Perreault, Brandon Pierquet, Aleksey Trubitsyn, Alexander Hayman, Garet Gamache and Charles Sullivan, Massachusetts Institute of Technology, United States; Dartmouth College, United States

11:15 am • A Single-phase Photovoltaic Inverter Topology with a Series-connected Power Buffer

Brandon Pierquet and David Perreault, Massachusetts Institute of Technology, United States

S73 Electric Drives: Control Techniques

Grand Ballroom A

Chairs: Fabio Giulii Capponi, Sapienza University of Rome, Italy and Marcello Pucci, ISSIA-CNR, Italy

10:00 am • An Adaptive Predictive Current Control Technique for Permanent Magnet Synchronous Motors

Yilmaz Sozer, David Torrey and Erkan Mese, The University of Akron, United States; Advanced Energy Conversion, United States; Yildiz Technical University, Turkey

10:25 am • Comparative Study of Conventional PI-control, PI-based State Space Control and Model Based Predictive Control for Drive Systems with Elastic Coupling

Soenke Thomsen, Nils Hoffmann and Friedrich W. Fuchs, Christian-Albrechts-University of Kiel, Germany

10:50 am • A Comparison of Control and Modulation Schemes for Medium-voltage Drives: Emerging Predictive Control Concepts Versus Field Oriented Control

Tobias Geyer, The University of Auckland, New Zealand

11:15 am • Control Method for IPMSM-based on PTC and PWM Hold Model in Overmodulation Range-study on Robustness and Comparison with Anti-windup Control

Takayuki Miyajima, Hiroshi Fujimoto and Masami Fujitsuna, Yokohama National University, Japan; The University of Tokyo, Japan; Denso Corporation, Japan

S74 Sustainable Energy Applications: Microgrid II

Grand Ballroom B

Chair: Yu (Peter) Liu, Eaton Corporation, United States

10:00 am • Distribution Voltage Control for DC Microgrid by Converters of Energy Storages Considering the Stored Energy

Hiroaki Kakigano, Atsuo Nishino, Yushi Miura and Toshifumi Ise, Osaka University, Japan

10:25 am • Analysis and Design of Interfacing Inverter Output Virtual Impedance in a Low Voltage Microgrid

Jinwei He and Yunwei Li, University of Alberta, Canada

10:50 am • A Medium-voltage DC (MVDC) System with Series Active Injection for Shipboard Power System Applications

Hesam Mirzaee, Sumit Dutta and Subhashish Bhattacharya, Department of ECE, North Carolina State University, United States

11:15 am • An Adaptive Controller for Inverter-interfaced DGs Connected to Grids with a Wide Range of Unknown Impedances

Xiaolin Mao and Raja Ayyanar, Arizona State University, United States

WEDNESDAY, SEPTEMBER 15

1:30 pm – 3:10 pm

S75 DC-AC Inverters: Z-Source Topology I

Room 201

Chair: Fang Peng, Michigan State University, United States

1:30 pm • Optimal Design of the Inductor in Z-source Inverter with Single Phase Shoot-through SVPWM Strategy

Jiudong Ding, Shaojun Xie and Yu Tang, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, China

1:55 pm • Power Loss Analysis of Current-fed Quasi-Z-source Inverter

Qin Lei, Fangzheng Peng, Liangzong He and Shuitao Yang, Student, United States; Professor, United States; Student, China

2:20 pm • Hybrid Pulse Width Modulation for Z-source Inverters

Euzeli Cipriano dos Santos Jr, Eugenio P.X. Pimentel Filho, Alexandre Cunha Oliveira and Edison R. Cabral Silva, Federal University of Campina Grande, Brazil

2:45 pm • A Z-source Sparse Matrix Converter Under Voltage Sag Condition

Park Kiwoo and Lee Kyo-Beum, Ajou University, Republic of Korea

S76 AC-DC Converters: PFC Converters

Room 202

Chair: Mohammed Agamy, GE, United States

1:30 pm • Bridgeless Single-stage Full-bridge Converter with One Cycle Control in the Output Voltage

Hugo Ribeiro, Fernando Silva, Sonia Pinto and Beatriz Borges, Instituto de Telecomunicacoes, Portugal; Instituto Superior Tecnico, Portugal; Instituto Superior Tecnico, IT, Portugal

1:55 pm • A Magnetically Coupled Passive Lossless Snubber with Low Voltage Stress for Continuous Current Mode (CCM) Boost Converter

Kyu-Min Cho, Ki-Bum Park, Young-Do Kim and Gun-Woo Moon, KAIST, Republic of Korea

2:20 pm • An AC-DC Power Conversion Based on Series-connected Universal Link Converter

Anno Yoo, Myoung-ho Kim and Seung-Ki Sul, Seoul National University, Republic of Korea

2:45 pm • Three-phase Single-switch Boost PFC Converter with High Input Power Factor

Kai Yao, Xinbo Ruan, Chi Zou and Zhihong Ye, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, China; Huazhong University of Science and Technology, China; Lite-on Technology Corp., China

S77 Sustainable Energy Applications: Photovoltaics Converters II

Room 203

Chair: Grahame Holmes, RMIT University, Australia

1:30 pm • Digital Controller Development for Grid-tied Photovoltaic Inverter with Model-based Technique

Zhigang Liang, Larry Alesi, Xiaohu Zhou, Jun Li and Alex Huang, North Carolina State University, United States; MegaWatt Solar, Inc., United States

1:55 pm • A New Wide Input Range High Efficiency Photovoltaic Inverter

Zhigang Liang, Rong Guo, Gangyao Wang and Alex Huang, North Carolina State University, United States

2:20 pm • Design and Implementation of a 5 kW Photovoltaic System with Li-ion Battery and Additional DC-DC Converter

Michael Bragard, Nils Soltan, Armin Schmiegel and Rik De Doncker, RWTH Aachen University, Germany; Voltwerk Electronics GmbH, Germany

2:45 pm • Transformerless Split-inductor Neutral Point Clamped Three-level PV Grid-connected Inverter

Huafeng Xiao, Shaojun Xie and Chen Yang, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, China

S78 Electric Machines: Special Machines I

Room 204

Chairs: Benedikt Schmuelling, RWTH Aachen University, Germany and Elena Lomonova, Eindhoven University of Technology, Netherlands

1:30 pm • Different Arrangements for Dual-rotor Dual-output Radial-flux Motors

Yu-Han Yeh, Min-Fu Hsieh and David Dorrell, National Cheng Kung University, Taiwan; University of Technology Sydney, Australia

1:55 pm • New Concept Motor that Uses Compound Magnet Motive Forces for EV Application

Tomoaki Shigeta, Kan Akatsu and Takashi Kato, Shibaura Institute of Technology, Japan; Nissan Motor Co., Ltd., Japan

2:20 pm • Improvement of a Non-contact Elevator Guiding System by Implementation of an Additional Torsion Controller

Benedikt Schmuelling, Peter Laumen and Kay Hameyer, Institute of El. Machines, RWTH Aachen University, Germany

2:45 pm • Analysis of a Concentric Planetary Magnetic Gear with Strengthened Stator and Interior Permanent Magnet (IPM) Inner Rotor

Nicolas Frank and Hamid Toliyat, Texas A&M University, United States

S79 Enabling Technologies: Thermal Management

Room 205

Chairs: Zhenxian Liang, Oak Ridge National Laboratory, United States and Adam Skorek, University of Quebec, Canada

1:30 pm • Seawater Based Cold Plate for Power Electronics Cooling

Juan Marcelo Gutierrez Alcaraz, S.W.H. de Haan and J.A. Ferreira, Delft University of Technology, Netherlands

1:55 pm • Dynamic Electro-thermal Modeling in PEBB Applications
 Huan huan Wang, Ashwin M. Khambadkone and Xiaoxiao Yu, NUS, Singapore

2:20 pm • High Power Density Design of High-current DC-DC Converter with High Transient Power

Yi Wang, Sjoerd W.H. de Haan and J.A. Ferreira, Delft University of Technology, Netherlands

2:45 pm • Thermal Modeling and Management of the Integrated HID Ballast

Yan Jiang, Shuo Wang and Fred Lee, General Electric, United States; Virginia Tech, United States

S80 DC-DC Converters: Non-Isolated Converters

Room 206

Chairs: Annabelle Pratt, Intel, United States and Yali Xiong, Volterra, United States

1:30 pm • A Comprehensive Multi-mode Performance Analysis of Interleaved Boost Converters

Biswajit Ray, Hiroyuki Kosai, Seana McNeal, Brett Jordan and James Scofield, Bloomsburg University of Pennsylvania, United States; UES, Inc., United States; Air Force Research Laboratory, United States

1:55 pm • Current Sharing in Multiphase ZVT Boost Converter

Esther de Jodar, Jose Villarejo, Jacinto Jimenez and Miguel Moreno, Universidad Politecnica de Cartagena, Spain; Universidad de Murcia, Spain

2:20 pm • Fixed Frequency Controlled Piezoelectric 10W DC-DC Converter

Yuan-Ping Liu, Dejan Vasic, Francois Costa and Wen-Jong Wu, SATIE, Cachan, France; NTU, Taiwan

2:45 pm • Improving the Light-load Efficiency of VRMs using Parallel Inductors

Christina Collins and Maeve Duffy, National University of Ireland, Galway, Ireland

S81 Transportation Applications: Diagnostics and Fault Tolerance

Room 207

Chairs: Chingchi Chen, Ford, United States and Suresh Gopalakrishnan, General Motor, United States

1:30 pm • Real-time Fault Diagnostics for a Permanent Magnet Synchronous Motor Drive for Aerospace Applications

Milijana Odavic, Mark Sumner, Pat Wheeler and Jing Li, The University of Nottingham, United Kingdom

1:55 pm • Fault Location in a Zonal DC Marine Power System Using Active Impedance Estimation

Mark Sumner, Edward Christopher, David Thomas, Xiaohui Wang and de Wildt Frans, University of Nottingham, United Kingdom; Ministry of Defence, United Kingdom

2:20 pm • Robust Absolute Position Sensing for Maglev

Raymond Sepe, Steven Bastien, Anton Steyerl and Bogdan Borowy, Electro Standards Laboratories, United States; General Atomics, United States

2:45 pm • Characteristic Analysis of IPM Type BLDC Motor Considering the Demagnetization of PM by Stator Turn Fault

Hyung-Kyu Kim, Jin Hur, Gyu-Hong Kang and Byeong-Woo Kim, School of Electrical Engineering University of Ulsan, Republic of Korea; Korea Marine Equipment Research Institute, Republic of Korea

S82 Sustainable Energy Applications: Wind Energy Systems III

Grand Ballroom C

Chair: Ahmed Zobaa, University of Exeter, United Kingdom

1:30 pm • Balance and Unbalance Voltage Dips Impacts on Full Scale Converter Wind Turbines

Ivan Gabe and Humberto Pinheiro, Universidade Federal de Santa Maria, Brazil

1:55 pm • Analysis of IGBT Power Cycling Capabilities Used in Doubly Fed Induction Generator Wind Power System

Lixiang Wei, Haihui Lu, Zhenhuan Yuan, Russ J. Kerkman and Richard A. Lukaszewski, Rockwell Automation - Allen Bradley, United States; Rockwell Automation and Advantce Technology, China

2:20 pm • Novel Rotor Side Control Scheme for Doubly Fed Induction Generator to Ride through Grid Faults

Zhendong Zhang, Longya Xu, Yuan Zhang and Bo Guan, The Ohio State University, United States

2:45 pm • Flexible Control of DC-link Voltage for Doubly-fed Induction Generator During Grid Voltage Swell

Changjin Liu, Xiaobo Huang, Min Chen and Dehong Xu, Zhejiang University, China

S83 DC-DC Converters: Control Techniques I

Grand Ballroom D

Chair: Dong Tan, NGAS, United States

1:30 pm • Self-tuning Mixed-signal Optimal Controller with Improved Load Transient Waveform Detection and Smooth Mode Transition for DC-DC Converters

Aleksandar Radic, Aleksandar Prodic and Robert de Nieu, University of Toronto, Canada; NXP Semiconductors, Netherlands

1:55 pm • Comparison between Ramp Pulse Modulation (RPM) and Constant Frequency Modulation for the Beat Frequency Oscillation in Voltage Regulators

Kisun Lee and Han Zou, ON Semiconductor, United States

2:20 pm • Investigation of the Steady-state and Dynamic Characteristics of a Buck Converter with Nonlinear Output Capacitor Current Programming

Victor Cheung, Henry Chung and Alan Lo, City University of Hong Kong, Hong Kong; Chu Hai College of Higher Education, Hong Kong

2:45 pm • Design Oriented Model for V2 Constant On-time Control

Feng Yu and Fred C. Lee, CPES-Virginia Tech, United States

S84 Electric Drives: Sensorless Drives I

Grand Ballroom A

Chair: Francesco Cupertino, Politecnico di Bari, Italy

1:30 pm • Temperature Issues in Saliency-tracking Based Sensorless Methods for PM Synchronous Machines

David Reigosa, Fernando Briz, Michael Degner, Juan Manuel Guerrero and Pablo Garcia, University of Oviedo, Spain; Ford Motor Company, United States

1:55 pm • HF Injection-based Sensorless Technique for Fault-tolerant IPMSM Drives

Alfio Consoli, Alberto Gaeta, Giuseppe Scarcella, Giacomo Scelba and Antonio Testa, DIEES - University of Catania, Italy; DCIIM - University of Messina, Italy

2:20 pm • Model-based Design of a Sensorless Control Scheme for Permanent Magnet Motors Using Signal Injection

Francesco Cupertino, Gianmario Pellegrino, Paolo Giangrande and Luigi Salvatore, Politecnico di Bari, Italy; Politecnico di Torino, Italy

2:45 pm • Sensorless Control for Induction Machines Using Square-wave Voltage Injection

Young-Doo Yoon and Seung-Ki Sul, Seoul National University, Republic of Korea

S85 Sustainable Energy Applications: Microgrid III

Grand Ballroom B

Chair: Prasad N. Enjeti, Texas A&M University, United States

1:30 pm • DC Micro-grid Operational Analysis with Detailed Simulation Model for Distributed Generations

Ji-Heon Lee, Byung-Moon Han and Num-Sub Choi, Myongji University, Republic of Korea; Chonnam University, Republic of Korea

1:55 pm • A Hybrid Control Architecture for Low Voltage Microgrid

Xiaoxiao Yu, Ashwin M Khambadkone, Huan Huan Wang and Tuck Sing Siew, ECE, National University of Singapore, Singapore

2:20 pm • Voltage Quality Improvement of Microgrids Under Islanding Mode

Gustavo Azevedo, Pedro Rodriguez, Joan Rocabert, Marcelo Cavalcanti and Francisco Neves, Federal University of Pernambuco, Brazil; Technical University of Catalonia, Spain

2:45 pm • Decentralized LQG Control with Online Set-point Adaptation for Parallel Power Converter Systems

Junqi Liu, Dragan Obradovic and Antonello Monti, E.ON Energy Research Center, RWTH Aachen, Germany; Corporate Technology, Siemens AG, Germany

WEDNESDAY, SEPTEMBER 15
3:30 pm – 5:10 pm
S86 DC-AC Inverters: Z-Source Topology II

Room 201

Chairs: Ahmet Hava, Middle East Technical University, Turkey and Jin Wang, Ohio State University, United States

3:30 pm • Bidirectional AC-AC Z-source Inverter with Active Rectifier and Feedforward Control

Moritz von Zimmermann, Sebastian Labusch and Bernhard Piepenbreier, University of Erlangen-Nuremberg, Germany

3:55 pm • Controller Design for Quasi-Z-source Inverter in Photovoltaic Systems

Yuan Li, Fang Zheng Peng, Jorge G. Cintron-Rivera and Shuai Jiang, Sichuan University, China; Michigan State University, United States

4:20 pm • Modulation of Three-level Z-source Indirect Matrix Converter

Xiong Liu, Poh Chiang Loh, Fang Zheng Peng, Peng Wang and Feng Gao, Nanyang Technological University, Singapore; Michigan State University, United States; Shandong University, China

4:45 pm • A Matrix Converter Utility Interface for Grid Resources with a High-frequency Bus

Joseph Carr, Juan Balda and Alan Mantooth, University of Arkansas, United States

S87 AC-DC Converters: Single Phase PFC

Room 202

Chairs: Toshihisa Shimizu, Tokyo Metropolitan University, Japan and Sam Ben-Yaakov, Ben-Gurion University, Israel

3:30 pm • Inductive Idling Boost Converter with Low Inductor Current-ripple and Improved Dynamic Response for Power Factor Correction

Fei Zhang, Jianping Xu, Haikun Yu and Guohua Zhou, Southwest Jiaotong University, China

3:55 pm • A Front-end Converter with High Reliability and High Efficiency

Kazuaki Mino, Hiroyuki Matsumoto, Yuji Nemoto, Satoru Fujita and Daisuke Kawasaki, Fuji Electric Holdings Co., Ltd., Japan

4:20 pm • High-efficiency Bidirectional AC-DC Converter for Energy Storage Systems

Hao Qian, Jih-Sheng Lai, Jianhui Zhang and Wensong Yu, Future Energy Electronics Center, Virginia Tech, United States; National Semiconductor Corporation, United States

4:45 pm • A New Bridgeless Single-stage Three-level PFC AC-DC Converter

Woo-Young Choi, Chonbuk National University, Republic of Korea

S88 Sustainable Energy Applications: Photovoltaics Converters III

Room 203

Chair: Hussam Alatrash, Petra Solar, United States

3:30 pm • Power Decoupling Techniques for Micro-inverters in PV Systems

Haibing Hu, Harb Souhib, Nasser Kutkut, Issa Batarseh and John Shen, University of Central Florida, United States

3:55 pm • PV Fed Boost Type Switched Capacitor Power Supply for a Nano Satellite

Pradeep Peter and Vivek Agarwal, Indian Space Research Organisation, India; Indian Institute of Technology Bombay, India

4:20 pm • Ground Current Suppression for Grid Connected Transformerless PV Inverter with Unbalanced Output Filter Inductors

Na Su, Dehong Xu and Junbing Tao, Institute of Power Electronics, Zhejiang University, China

4:45 pm • Multiple-input Modified Inverse Watkins-Johnson Converter without Coupled Inductors

Seung Choung and Alexis Kwasinski, UT at Austin, Department of ECE, United States

S89 Electric Machines: Special Machines II

Room 204

Chairs: Benedikt Schmuelling, RWTH Aachen University, Germany and Elena Lomonova, Eindhoven University of Technology, Netherlands

3:30 pm • Modelling of Linear Motor End-effects for Saliency-based Sensorless Control

Paolo Giangrande, Francesco Cupertino and Gianmario Pellegrino, Politecnico di Bari, Italy; Politecnico di Torino, Italy

3:55 pm • A Multi-motor Drive-based on Five-phase Tubular PM Actuators

Luca Zarri, Giovanni Serra, Angelo Tani, Domenico Casadei, Fiorenzo Filippetti and Michele Mengoni, University of Bologna, Italy

4:20 pm • Design and Electromagnetic Analysis of a Prototype HTS Linear Induction Motor

Jia Zhao, Wei Zhang, Jin Fang, Zhongping Yang and Trillion Q Zheng, Beijing Jiaotong University, China

4:45 pm • Fast Optimization of a Linear Actuator by Space Mapping Using Unique Finite Element Model

Stephane Vivier, Didier Lemoine and Guy Friedrich, University of Technology of Compiègne, France

S90 Enabling Technologies: Wide Bandgap Power Semiconductors

Room 205

Chair: Enrico Santi, The University of South Carolina, College of Engineering and Computing, United States

3:30 pm • Comparison of 10-kV SiC Power Devices in Solid-state Transformer

Jun Wang, Gangyao Wang, Subhashish Bhattacharya and Alex Huang, North Carolina State University, United States

3:55 pm • An Investigation of SiC-SIT DC Circuit Breakers for Higher Voltage Direct Current Distribution Systems

Yukihiko Sato, Syunsuke Tobayashi, Yasunori Tanaka, Akiyoshi Fukui and Mikio Yamasaki, Chiba University, Japan; AIST, Japan; NTT Facilities, Inc., Japan

4:20 pm • A High-efficiency, High-frequency Boost Converter Using Enhancement Mode GaN DHFETs on Silicon

Jordi Everts, Jo Das, Jeroen Van den Keybus, Jan Genoe, Marianne Germain and Johan Driesen, KULeuven, Belgium; Imec, Belgium; Triphase, Belgium; Imec/KHLim, Belgium; Imec/EpiGaN, Belgium

4:45 pm • Performance of a Dual, 1200 V, 400 A, Silicon-carbide Power MOSFET Module

Damian Urciuoli, Ronald Green, Aivars Lelis and Dimeji Ibitayo, U.S. Army Research Laboratory, United States

S91 DC-DC Converters: Resonant Converters

Room 206

Chair: Yanfei Liu, Queen's University, Canada

3:30 pm • Multiple Output Class E Isolated DC-DC Converter

Zoran Pavlovic, Jesus Angel Oliver, Pedro Alou and Jose Antonio Cobos, Universidad Politecnica de Madrid, Spain

3:55 pm • PWM Positive Buck-boost Converter with Reduced Switching Loss Employing Quasi-resonant Operation

Han-Shin Youn, Ki-Bum Park, Hyun-Wook Seong, Gun-Woo Moon and Myung-Joong Youn, KAIST, Republic of Korea

4:20 pm • Analysis of Asymmetrical Duty Controlled LCC Converter with Voltage Triple Rectifier for High Voltage Power Supply

Keun-Wook Lee, Ki-Bum Park, Young-Do Kim and Gun-Woo Moon, KAIST, Republic of Korea

4:45 pm • Analysis and Design of a Resonant LCC Converter for Low-profile Applications

Alexander Pawellek, Markus Schmid, Alexander Bucher and Thomas Duerbaum, University of Erlangen-Nuremberg, Germany

S92 Transportation Applications: Drivetrains

Room 207

Chairs: Hossein Dadkhah, Chrysler LLC, United States and Yu (Peter) Liu, Eaton Corporation, United States

3:30 pm • Application of PM Type DMPM in Hybrid Electric Vehicle

Xuhui Wen, Feng Zhao, Xinhua Guo, Tao Fan, Longya Xu and Qiongxuan Ge, Institute of Electrical Engineering of CAS, China; Department of Electrical and Computer Engineering, OSU, United States

3:55 pm • Comparative Evaluation of Machines for Electric and Hybrid Vehicles Based on Dynamic Operation and Loss Minimization

Ali Bazzi and Philip Krein, University of Illinois at Urbana-Champaign, United States

4:20 pm • Comparison of Different Motor Design Drives for Hybrid Electric Vehicles

David Dorrell, Mircea Popescu, Andrew Knight, Lyndon Evans and David Staton, University of Technology Sydney, Australia; Motor Design Ltd, United Kingdom; University of Alberta, Canada

4:45 pm • Comparison of Si and SiC Inverters for IPM Traction Drive

Madhu Sudhan Chinthavali, Pedro J. Otaduy and Burak Ozpineci, Oak Ridge National Laboratory, United States

S93 Sustainable Energy Applications: Wind Energy Systems IV

Grand Ballroom C

Chairs: Po-Tai Cheng, National Tsinghua University, Taiwan and Joseph Ojo, Tennessee Tech University, United States

3:30 pm • Advanced Power Conditioning System for Grid Integration of Direct-driven PMSG Wind Turbines

Marcelo G. Molina, Euzeli C. dos Santos Jr. and Mario Pacas, Universidad Nacional de San Juan, Argentina; Universidade Federal de Campina Grande, Brazil; Universitaet Siegen, Germany

3:55 pm • Development of Grid-connected Wind Energy System Employing Interior PM Synchronous Generator and Multi-pulse Rectifier

Katsumi Nishida, Tarek Ahmed and Mutsuo Nakaoka, Ube National College of Technology, Japan; Assuit University, Egypt; Kyungnam University, Japan

4:20 pm • Comparison of SMES and SFCL for Transient Stability Enhancement of Wind Generator System

Mohd. Hasan Ali and Roger A. Dougal, University of South Carolina, United States

4:45 pm • A Low Voltage Ride-through Technique for Grid-connected Converters of Distributed Energy Resources

Che-Wei Hsu, Chia-Tse Lee and Po-Tai Cheng, National Tsing Hua University, Taiwan

S94 DC-DC Converters: Control Techniques II

Grand Ballroom D

Chair: Gerry Moschopoulos, University of Western Ontario, Canada

3:30 pm • Fast Control Technique-based on Peak Current Mode Control of the Output Capacitor Current

Miriam del Viejo, Pedro Alou, Jesus A. Oliver, Oscar Garcia and Jose A. Cobos, Universidad Politecnica de Madrid, Spain

3:55 pm • A Low Ripple Series-parallel Resonant Converter Based on Robust H-infinity Control Approach

Majid Pahlevaninezhad, Navid Shafiei, Suzan Eren, Alireza Bakhshai and Praveen Jain, Queen's University, Canada; Esfahan University of Technology, Iran

4:20 pm • Active Stabilization of DC-DC Converters with Input LC Filters Via Current-mode Control and Input Voltage Feedback

Ryan Weichel, Guanghui Wang, Jeffrey Mayer and Heath Hofmann, Applied Research Laboratory, Penn State University, United States; Aura Systems, United States; The University of Michigan, United States

4:45 pm • An Active Current Reconstruction and Balancing Strategy with DC Link Current Sensing for a Multi-phase Coupled-inductor Converter

Young-Hoon Cho, Ahmed Koran, Hidekazu Miwa, Ben York and Jih-Sheng Lai, Virginia Tech, United States

S95 Electric Drives: Sensorless Drives II

Grand Ballroom A

Chair: Yu (Peter) Liu, Eaton Corporation, United States

3:30 pm • Impact of Saturation and Current Command Selection on the Performance of Sensorless Controlled Three-pole Active Magnetic Bearings

Pablo Garcia, Juan M. Guerrero, Islam El-Sayed, Fernando Briz and David Reigosa, University of Oviedo, Spain

3:55 pm • Optimal Design and Sensorless Position Control of a Piezoelectric Motor Integrated into a Mechatronic Cylinder Lock

Markus Flueckiger, William Zogg and Yves Perriard, EPFL-STI-IMT-LAI, Switzerland; Kaba AG, Switzerland

4:20 pm • Modeling and Compensation of Inverter Nonlinearity Effects in Carrier Signal Injection-based Sensorless Control Methods from Positive Sequence Carrier Current Distortion

L.M. Gong and Z.Q. Zhu, University of Sheffield, United Kingdom

4:45 pm • Spectral Overlap of Saliency Signal Components in Injection Based Sensorless Controlled Induction Machines

Thomas Wolbank and Mohamed Metwally, Vienna University of Technology, Austria; Menoufia University, Egypt

S96 Sustainable Energy Applications: Microgrid IV

Grand Ballroom B

Chairs: Sandeep Bala, ABB, United States and Ahmed Zobaa, University of Exeter, United Kingdom

3:30 pm • On the Choice of Voltage Regulators for Droop-controlled Voltage Source Converters in Microgrids to Ensure Stability

Sandeep Bala and Giri Venkataramanan, ABB Corporate Research, United States; University of Wisconsin-Madison, United States

3:55 pm • Design of D-STATCOM for Voltage Regulation in Microgrids

Tzung-Lin Lee, Shang-Hung Hu and Yu-Hung Chan, National Sun Yat-sen University, Taiwan

4:20 pm • Fast Architecture Generation and Evaluation Techniques for the Design of Large Power Systems

Leonardo Laguna, Roberto Prieto, Jesus Angel Oliver, Jose Antonio Cobos and Horacio Visairo-Cruz, Universidad Politecnica de Madrid, Spain; Intel Corporation, Mexico

4:45 pm • A Hybrid Synchronous/Fixed Reference Frame PLL for Phase Synchronization with Unbalanced Three-phase Grid Conditions

A.W. Krieger and J. Salmon, University of Alberta, Canada

THURSDAY, SEPTEMBER 16
8:00 am – 9:40 am
S97 Electric Machines: Permanent Magnet Machines I

Room 201

Chairs: Dan Ionel, Vestas, United States and Hamid Toliyat, Texas A&M University, United States

8:00 am • Influence of Slot Opening on Optimal Stator and Rotor Pole Combination and Electromagnetic Performance of Flux-switching PM Brushless AC Machines

J.T. Chen, Z.Q. Zhu, S. Iwasaki and R. Deodhar, University of Sheffield, United Kingdom; IMRA UK Research Centre, United Kingdom

8:25 am • Impact of the Rotor Yoke Geometry on Rotor Losses in Permanent Magnet Machines

Luigi Alberti, Emanuele Fornasiero and Nicola Bianchi, University of Padova, Italy

8:50 am • Surface Permanent Magnet Synchronous Machine Design for Self-sensing Position Estimation at Zero and Low Speeds

Shih-Chin Yang, Takahiro Suzuki, Robert Lorenz and Thomas Jahns, University of Wisconsin-Madison, United States; Hitachi Research Laboratory, Hitachi, Japan, Japan

9:15 am • Study of Iron Saturation in Brushless Doubly-fed Induction Machines

Ehsan Abdi, Paul Malliband and Richard McMahon, Cambridge University, United Kingdom

S98 DC-DC Converters: Special Topics I

Room 202

Chair: Matthew Wilkowsky, Enpirion, United States

8:00 am • An Accurate Loss Model for Current-source Gate Driver with Interleaving BUCK Converter

Zongxiang Chen, Lusheng Ge, Qi Hui and Yanfei Liu, Anhui University of Technology, China

8:25 am • An Integrated SiDO Boost Power Converter with Adaptive Freewheel Switching Technique

Yi Zhang, Rajdeep Bondade, Dongsheng Ma and Siamak Abedinpour, The University of Arizona, United States; Integrated Device Technology, United States

8:50 am • Novel Zero-current Switching Current-fed Half-bridge Isolated DC-DC Converter for Fuel Cell Based Applications

Akshay K. Rathore and Sudip K. Mazumder, University of Illinois, Chicago, United States

9:15 am • General Law of Non-isolated Interleaved High Step-up Topologies with Winding-cross-coupled Inductors Deduced from Isolation Counterparts

Rui Xie, Wuhua Li, Yi Zhao, Jing Zhao, Xiangning He and Fengwen Cao, Zhejiang University, China; Suzhou Vocational University, China

S99 Sustainable Energy Applications: Flexible Renewable/Alternative Energy System I

Room 203

Chair: Yu (Peter) Liu, Eaton Corporation, United States

8:00 am • A Novel Five-level Single-phase Grid-connected Converter for Renewable Distributed Systems

Giampaolo Buticchi, Giovanni Franceschini and Emilio Lorenzani, University of Parma, Italy

8:25 am • A High Frequency Link Multiport Converter Utility Interface for Renewable Energy Resources with Integrated Energy Storage

Joseph Carr, Juan Balda and Alan Mantooth, University of Arkansas, United States

8:50 am • Control of a Modular Multilevel Cascade BTB System Using Bidirectional Isolated DC-DC Converters

Hirofumi Akagi and Ryohei Kitada, Tokyo Institute of Technology, Japan

9:15 am • Seamless Transfer Strategy with Outer Current Loop for Three-phase Inverter in Distributed Generation

Zeng Liu and Jinjun Liu, Xi'an Jiaotong University, China

S100 Electric Machines: Turbine Generators

Room 204

Chairs: Andy Knight, University of Alberta, Canada and Ernesto Ruppert Filho, FEEC/UNICAMP, Brazil

8:00 am • Structural Mass Minimization of Large Direct-drive Wind Generators Using a Buoyant Rotor Structure

Deok-Je Bang, Henk Polinder, Jan Abraham Ferreira and Seung-soo Hong, Delft University of Technology, Netherlands; GEM Co. LTD, Republic of Korea

8:25 am • A Generic Synchronous Machine Model for Real Time Training Simulators

Jorge Garcia-Garcia, Ivan Galindo-Garcia and Saul Rodriguez-Lozano, Electric Research Institute of Mexico, Mexico

8:50 am • Advanced Signal Processing Techniques for Fault Detection and Diagnosis of a Wind Turbine Induction Generator Drive Train: A Comparative Study

Elie AL-Ahmar, Vincent Choqueuse, Mohamed Benbouzid, Yassine Amirat, Joseph El-Assad, Rabih Karam and Farah Sarkis, University of Brest, France; Holy Spirit University of Kaslik, Lebanon

9:15 am • The Magneto Motive Force of a Novel Dual Stator-winding Induction Generator

Wenxin Huang, Yuwen Hu, Feifei Bu and Kai Shi, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, China

S101 Transportation Applications: EV/PHEV Battery Chargers

Room 205

Chair: Sewan Choi, Seoul National University of Technology, Korea

8:00 am • A High-performance Single-phase AC-DC Power Factor Corrected Boost Converter for Plug-in Hybrid Electric Vehicle Battery Chargers

Fariborz Musavi, Wilson Eberle and William G. Dunford, Delta-Q Technologies Corp., Canada; University of British Columbia, Canada

8:25 am • The Issue of Plug-in Hybrid Electric Vehicles' Grid Integration and Its Control Solution

Xiaohu Zhou, Jun Li, Zhigang Liang, Alex Huang and Subhashish Bhattacharya, FREEDM Systems Center, North Carolina State University, United States

8:50 am • Control Scheme Optimization for a Low-cost, Digitally-controlled Charger for Plug-in Hybrid Electric Vehicles

Lixin Tang and Gui-Jia Su, Oak Ridge National Lab., United States

9:15 am • A High Power, Current Sensorless, Bidirectional, 16 Phase Interleaved, DC-DC Converter for Hybrid Vehicle Application

Liqin Ni, Dean Patterson and Jerry Hudgins, University of Nebraska-Lincoln, United States

S102 Sustainable Energy Applications: Smart Grid Interface

Room 206

Chairs: Prasad N. Enjeti, Texas A&M University, United States and Po-Tai Cheng, National Tsinghua University, Taiwan

8:00 am • Increasing Inter-area Available Transfer Capacity Using Controllable Network Transformers

Debrup Das, Deepak Divan and Ronald Harley, Georgia Institute of Technology, United States

8:25 am • Active Smart Wires: An Inverter-less Static Series Compensator

Frank Kreikebaum, Munuswamy Imayavaramban and Deepak Divan, Georgia Institute of Technology, United States

8:50 am • Islanding Detection in Smart Grids

Adrian Timbus, Alexandre Oudalov and Carl N.M. Ho, ABB Switzerland Ltd. Corporate Research, Switzerland

9:15 am • Real-time Dynamic Thermal Rating Evaluation of Overhead Power Lines Based on Online Adaptation of Echo State Networks

Yi Yang, Ronald Harley, Deepak Divan and Thomas Habetler, Georgia Institute of Technology, United States

S103 Electric Machines: Design Optimization

Room 207

Chairs: Yoshiaki Kano, Nagoya Toyota National College of Technology, Japan and Yves Perriard, EPFL-LAI, Switzerland

8:00 am • An Electromagnetic-thermo-mechanical Integrated Design and Optimization Method for Surface Mount Permanent Magnet Machines Considering Load Profiles

Andrew Semidey, Yao Duan, James Mayor and Ronald Harley, Georgia Institute of Technology, United States

8:25 am • Maximum Torque Control for Optimal Design to Reduce Cogging Torque in Spoke Type Interior Permanent Magnet Synchronous Motor

Yul-kyu Son, Kyu-yun Hwang and Byung-il Kwon, Hanyang University, Republic of Korea

8:50 am • FEA-based Multi-objective Optimization of IPM Motor Design Including Rotor Losses

Gianmario Pellegrino and Francesco Cupertino, Politecnico di Torino, Italy; Politecnico di Bari, Italy

9:15 am • Investigation of Torque and Iron Loss Characteristics of Optimized Spoke Type IPMSM Considering Motor Modeling and Motor Drive Circuit

Kyu-yun Hwang and Byung-il Kwon, Hanyang University, Republic of Korea

S104 DC-AC Inverters: Multi-Level Inverters I

Grand Ballroom C

Chair: Leon Tolbert, University of Tennessee, United States

8:00 am • An Investigation of Voltage Balancing Circuit for DC Capacitors in Diode-clamped Multilevel Inverters to Realize High Output Power Density Converters

Takumi Ito, Masamu Kamaga, Yukihiko Sato and Hiromichi Ohashi, Chiba University, Japan; National Institute of AIST, Japan

8:25 am • Regenerative Asymmetrical Multi-level Converter for Multi-megawatt Variable Speed Drives

Joseph Song-Manguelle, Tobias Thurnherr, Stephan Schroeder, Alfred Rufer and Jean-Maurice Nyobe-Yome, GE Global Research, United States; ABB, Switzerland; GE Global Research, Germany; Swiss Federal Institute of Technology, Switzerland; University of Douala, ENSET, Cameroon

8:50 am • Voltage Balancing Control and Experiments of a Novel Modular Multilevel Converter

Kui Wang, Yongdong Li and Zedong Zheng, Tsinghua University, China

9:15 am • A Modulation Technique for High Power AC-DC Multilevel Converters for Power System Integration

Stefano Bifaretti, Pericle Zanchetta, Alan Watson, Luca Tarisciotti, Jon Clare and Armando Bellini, University of Rome Tor Vergata, Italy; University of Nottingham, United Kingdom

S105 DC-DC Converters: Soft Switching Techniques I

Grand Ballroom D

Chair: David Perreault, Massachusetts Institute of Technology, United States

8:00 am • Soft-switching Self-driven Buck Converter with Three-switch Cell Structure

Qiang Li, Fred C. Lee, Douglas Sterk and Ke Jin, CPES, United States

8:25 am • A New Concept of High Input Voltage to Low Load Voltage (1500 V- 48 V) DC-DC Conversion with Hybrid ZVS-ZCS and Asymmetrical Voltage Distribution

Huai Wang, Henry Chung and Adrian Ioinovici, City University of Hong Kong, Hong Kong; Holon Institute of Technology, Israel

8:50 am • Novel DC-DC Architecture for High Efficiency SMPS with Multiple Outputs

Zhanghe Nan, Ming Xu, Sun Julu, Han Wenchang and Yao Yuan, FSP-Powerland Technology Inc., China

9:15 am • Zero-voltage-switching Interleaved Two-switch Forward Converter with Phase-shift Control

Hyoung-Suk Kim, Hyun-Wook Seong, Ki-Bum Park, Han-Shin Yoon, Gun-Woo Moon and Myung-Joong Yoon, KAIST, Republic of Korea

S106 Sustainable Energy Applications: Power Quality I

Grand Ballroom A

Chairs: Kevin Lee, Eaton Corporation, United States and Ahmed Zobaa, University of Exeter, United Kingdom

8:00 am • Malfunction Mechanism of Semiconductor Circuit Breaker in HVDC Power Supply System

Seiya Abe, Kentaro Fukushima, Shun-Yang Mariko Ogawa, Kosuke Nomura, Masahito Shoyama, Tamotsu Ninomiya, Akira Matsumoto, Akiyoshi Fukui and Mikio Yamasaki, ICSEAD, Japan; Kyushu University, Japan; Nagasaki University, Japan; NTT Facilities, Japan

8:00 am • AC Fault Ride-through Capability of VSC-HVDC Transmission Systems

Grain Philip Adam, Stephen Jon Finney, Barry Wyne Williams and Hani Ahmed Khaled, University of Strathclyde, United Kingdom

8:25 am • Three-level Converters with Selective Harmonic Elimination PWM for HVDC Application

Mehtu Beza and Staffan Norrga, Chalmers University of Technology, Sweden; ABB AB, Corporate Research, Sweden

8:50 am • Input Impedance Modeling of Multipulse Rectifiers by Double-Fourier Series Method

Zhonghui Bing and Jian Sun, Rensselaer Polytechnic Institute, United States

9:15 am • Scheduling Demand Response Events with Constraints on Total Number of Events per Year

Rajesh Tyagi, Jason Black and Jon Peterson, General Electric, United States

S107 Sustainable Energy Applications: Wind Turbine Control I

Grand Ballroom B

Chair: Francisco Canales, ABB, Switzerland

8:00 am • Growing Neural Gas Based MPPT of Variable Pitch Wind Generators with Induction Machines

Maurizio Cirrione, Marcello Pucci and Gianpaolo Vitale, University of Belfort Montbeliard, France; ISSIA-CNR, Italy

8:25 am • Grid-connected Wind Farm Power Control Using VRB-based Energy Storage System

Wenliang Wang, Baoming Ge, Daqiang Bi and Dongsun Sun, Beijing Jiaotong University, China; Tsinghua University, China

8:50 am • Control of Variable Pitch, Variable Speed Wind Turbine in Weak Grid Systems

Xibo Yuan, Jianyun Chai and Yongdong Li, Tsinghua University, China

9:15 am • A Battery Energy Storage Interface for Wind Power Systems with the Use of Grid Side Inverter

Shantha D. Gamini Jayasingha, Don Mahinda Vilathgamuwa and Udaya K. Madawala, Nanyang Technological University, Singapore; The University of Auckland, New Zealand

THURSDAY, SEPTEMBER 16
10:00 am – 11:40 am
S108 Electric Machines: Permanent Magnet Machines II

Room 201

Chairs: Dan Ionel, Vestas, United States and Hamid Toliyat, Texas A&M University, United States

10:00 am • Analysis and Measurement of 3D Torque and Forces for Permanent Magnet Motors with Slotless Windings

Andreas Looser, Thomas Ivar Baumgartner, Christof Zwysig and Johann Walter Kolar, Power Electronic Systems Laboratory, ETH Zurich, Switzerland; Celeroton AG, Zurich, Switzerland

10:25 am • Sensorless Drive of Brushless DC Motors with Estimating Torque Constant for Home Appliance

Je-Wook Park, Seon-Hwan Hwang, Jang-Mok Kim and Jin-Woo Ahn, Pusan National University, Republic of Korea; Kyungshung University, Republic of Korea

10:50 am • Cogging Torque Minimization in PM Motors Using Robust Design Approach

Mohammad Islam, Rakib Islam, Tomy Sebastian, Ashok Chandy and Suat Ozsoylu, Nexteer Automotive, United States

11:15 am • A Novel E-core Flux-switching PM Brushless AC Machine

J.T. Chen, Z.Q. Zhu, S. Iwasaki and R. Deodhar, University of Sheffield, United Kingdom; IMRA UK Research Centre, United Kingdom

S109 DC-DC Converters: Special Topics II

Room 202

Chairs: Johann Kolar, ETH, Switzerland and Ming Xu, FPL-Powerland, United States

10:00 am • Sawtooth Burst Mode with Minimum On-time in Stand-by Operation of Power Supply

Bong-Chul Kim, Ki-Bum Park and Gun-Woo Moon, KAIST, Republic of Korea

10:25 am • A Linear Assisted DC-DC Converter for Envelope Tracking and Envelope Elimination and Restoration Applications

Pablo F. Miaja, Miguel Rodriguez, Javier Sebastian and Alberto Rodriguez, Universidad de Oviedo, Spain

10:50 am • High Efficiency Power Amplifier Based on Envelope Elimination and Restoration Technique

Miroslav Vasic, Oscar Garcia, Jesus Angel Oliver, Pedro Alou and Daniel Diaz, Universidad Politécnica de Madrid, Spain

11:15 am • A New Family of Marx Generator Based on Resonant Converter

Sasan Zabihi, Firuz Zare, Gerard Ledwich, Arindam Ghosh and Hidenori Akiyama, QUT, Australia; Kumamoto University, Japan

S110 Sustainable Energy Applications: Flexible Renewable/Alternative Energy System II

Room 203

Chairs: Burak Ozpineci, Oak Ridge National Labs, United States and Stefan Schröder, GE Global Research, Germany

10:00 am • Predictive Control for Universal and Flexible Power Management

Stefano Bifaretti, Pericle Zanchetta, Alan Watson, Luca Tarisciotti and Jon C. Clare, University of Roma Tor Vergata, Italy; University of Nottingham, United Kingdom

10:25 am • Instantaneous Active and Nonactive Power Control of Distributed Energy Resources with a Current Limiter

Yan Xu, Huijuan Li, Tom Rzy, Fangxing Li and John Kueck, Oak Ridge National Laboratory, United States; The University of Tennessee, United States

10:50 am • A Two-stage High Power Density Single-phase AC-DC Bidirectional PWM Converter for Renewable Energy Systems

Dong Dong, Dushan Boroyevich, Ruxi Wang and Igor Cvetkovic, Virginia Tech, United States

11:15 am • A Novel Phase-shift Bidirectional DC-DC Converter with an Extended High-efficiency Range for 20 kVA Solid State Transformer

Haifeng Fan and Hui Li, Florida State University, United States

S111 Electric Drives: N-Phase Drives

Room 204

Chairs: Thomas Jahns, University of Wisconsin-Madison, United States and Michael Harke, Danfoss Power Electronics, United States

10:00 am • Two-phase Motor Drive Systems with Z-source Inverter and Hybrid PWM

Euzeli Cipriano dos Santos Jr., Mario Pacas and Marcelo G. Molina, Federal University of Campina Grande, Brazil; University of Siegen, Germany; National University of San Juan, Argentina

10:25 am • Six-phase Machine Drive System with Reversible Parallel AC-DC-AC Converters

Euzeli Cipriano dos Santos Jr., Cursino Jacobina, Nady Rocha and Edison Roberto C. Silva, Federal University of Campina Grande, Brazil

10:50 am • A Separate Double-winding 12-phase Brushless DC Motor Drive Fed from Individual H-bridge Inverters

Byung-Geuk Cho, Young-Doo Yoon, Seung-Ki Sul, Young Kyung Kong and Jae Goo Bin, Seoul National University, Republic of Korea; Agency for Defense Development, Republic of Korea

11:15 am • Torque Maximization in High-torque Density Multiphase Drives Based on Induction Motors

Luca Zarri, Giovanni Serra, Angelo Tani, Domenico Casadei and Michele Mengoni, University of Bologna, Italy

S112 Transportation Applications: Energy Storage

Room 205

Chair: Suresh Gopalakrishnan, General Motor, United States

10:00 am • System Identification-based Lead-acid Battery Online Monitoring System

Larry Juang, Philip Kollmeyer, Thomas Jahns and Robert Lorenz, University of Wisconsin-Madison, United States

10:25 am • Automatic Charge Equalization Circuit Based on Regulated Voltage Source for Lithium-ion Batteries

Moon-young Kim, Chol-Ho Kim, Shin-Young Cho and Gun-Woo Moon, KAIST, Republic of Korea

10:50 am • Power Electronics Enabled Energy Management for Energy Storage with Extended Cycle Life and Improved Fuel Economy in a PHEV

Lei Wang, Xiaohu Liu, Hui Li, Won-Sang Im and Jang-Mok Kim, Florida State University, United States; Pusan National University, Republic of Korea

11:15 am • A Modularized Charge Equalizer Using Battery Monitoring IC for Series Connected Li-ion Battery Strings in an Electric Vehicle

Chol-Ho Kim, Moon-young Kim, Daeyoun Cho and Gun-Woo Moon, KAIST, Republic of Korea

S113 Sustainable Energy Applications: VAR Compensators

Room 206

Chairs: Subhashish Bhattacharya, North Carolina State University, United States and Ambra Sannino, ABB, Sweden

10:00 am • Safe Current Injection Strategies for a STATCOM under Asymmetrical Grid Faults

Pedro Rodriguez, Gustavo Medeiros, Alvaro Luna, Marcelo Cavalcanti and Remus Teodorescu, Technical University of Catalonia, Spain; Federal University of Pernambuco, Brazil; Aalborg University, Denmark

10:25 am • Design and Implementation of a 154 kV, +/- 50 MVAR Transmission STATCOM Based on 21-level Cascaded Multilevel Converter

Burhan Gultekin, Cem Ozgur Gercek, Tevhid Atalik, Mustafa Deniz and Nazan Bicer, Tubitak-Uzay, Middle East Technical University, Turkey; Tubitak-Uzay, Turkey

10:50 am • Negative-sequence Reactive-power Control by the Modular Multilevel Cascade Converter Based on Double-star Chopper-cells (MMCC-DSCC)

Makoto Hagiwara, Ryo Maeda and Hirofumi Akagi, Tokyo Institute of Technology, Japan

11:15 am • Four-branch Star Neutral Current Hybrid Power Filter and Var Compensator

Pedro Rodriguez, Ignacio Candela, Alvaro Luna, Remus Teodorescu and Frede Blaabjerg, Technical University of Catalonia, Spain; Aalborg University, Denmark

S114 Electric Machines: High Speed Machines

Room 207

Chairs: Andy Knight, University of Alberta, Canada and Akira Chiba, Tokyo University of Science, Japan

10:00 am • Harmonic Loss Analysis and Air-gap Optimization of High Speed Induction Motors

Katsumi Yamazaki, Akihiro Suzuki, Motomichi Ohto, Teruyuki Takakura and Satoshi Nakagawa, Chiba Institute of Technology, Japan; Yaskawa Electric Corporation, Japan

10:25 am • Novel High-speed, Lorentz-type, Slotless Self-bearing Motor

Thomas Ivar Baumgartner, Andreas Looser, Christof Zwyssig and Johann Walter Kolar, Power Electronic Systems Laboratory, ETH Zurich, Switzerland; Celeroton AG, Zurich, Switzerland

10:50 am • Rotor Design of a High-speed Permanent Magnet Synchronous Machine Rating 100,000 RPM at 10 kW

Bjoern Riemer, Marc Lessmann and Kay Hameyer, RWTH Aachen University, Germany

11:15 am • Design of a 750,000 RPM Switched Reluctance Motor for Micro Machining

Jacob Kunz, Siwei Cheng, Yao Duan, James Mayor and Ronald Harley, School of ME, Georgia Institute of Technology, United States; School of ECE, Georgia Institute of Technology, United States

S115 DC-AC Inverters: Multi-Level Inverters II

Grand Ballroom C

Chairs: Gui-jia Su, Oak Ridge National Laboratories, United States and Peter Koellensperger, Siemens, Germany

10:00 am • Low Output Frequency Operation of the Modular Multi-level Converter

Arthur J. Korn, Manfred Winkelkemper and Peter Steimer, ABB, Switzerland

10:25 am • A Hybrid Cascaded Multilevel Inverter Application for Renewable Energy Resources Including a Reconfiguration Technique

Surin Khomfoi, Nattapat Praisuwanna and Leon Tolbert, King Mongkut's Institute of Technology Ladkraban, Thailand; The University of Tennessee, United States

10:50 am • Review of Novel Multilevel Current-source Inverters with H-bridge and Common-emitter Based Topologies

Toshihiko Noguchi and Suroso Suroso, Shizuoka University, Japan; Nagaoka University of Technology, Japan

11:15 am • Symmetrical Hybrid Multilevel DC-AC Converter in Cascade

Domingo Ruiz Caballero, Samir Ahmad Mussa, Marcelo Lobo Heldwein, Hector Vergara S and Rene Sanhueza R, Pontificia Universidad Catolica de Valparaiso, Chile; UFSC-INEP, Brazil

S116 DC-DC Converters: Soft Switching Techniques II

Grand Ballroom D

Chairs: David Perreault, Massachusetts Institute of Technology, United States and Michael Andersen, Technical University of Denmark, Denmark

10:00 am • A ZVS Technique for Single-switch PWM Converters Implemented with Paralleled MOSFETS

Navid Golbon and Gerry Moschopoulos, ECE Dept, The University of Western Ontario, Canada

10:25 am • Zeroing Transformer's DC Current in Resonant Converters with No Series Capacitors

Alexander Gertsman and Sam Ben-Yaakov, Ben-Gurion University of the Negev, Israel

10:50 am • Design and Implementation of a ZCS Two-switch DC-DC Forward Converter with Variable Inductor

Po-Tso Chen, Tsorng-Juu Liang, Lung-Sheng Yang, Ming-Yang Cheng and Shi-Ming Chen, National Cheng-Kung University, Taiwan

11:15 am • Rapid Simulation of Multi-resonant LLC Converters with Capacitive Output Filter Based on an Extended First Harmonic Approximation

Alexander Bucher, Thomas Duerbaum and Juergen Stahl, Friedrich-Alexander-University Erlangen, Germany

S117 Sustainable Energy Applications: Power Quality II

Grand Ballroom A

Chairs: Jinjun Liu, Xi'an Jiaotong University, China and Toshihiko Tanaka, Yamaguchi University, Japan

10:00 am • A Simple Sag Generator Using SSRs

Osman S. Senturk and Ahmet Hava, Aalborg University, Turkey; Middle East Technical University, Turkey

10:25 am • Comparison between Conventional, GA and PSO with Respect to Optimal Capacitor Placement in Agricultural Distribution System

K.V.S.Ramachandra Murthy, M. Ramalinga Raju, Govinda Rao Gade and R. Srinivasa Rao, G.V.P. College of Engineering, Visakhapatnam, India; JNTUK, Kakinada., India

10:50 am • Direct Power Control for Unified Power Flow Controller Series Converter

Jan Verveckken, Fernando Silva, Dionisio Barros and Johan Driesen, ELECTA/ESAT, Katholieke Universiteit Leuven, Belgium; CIEEE, DEEC, Instituto Superior Tecnico, UTL, Portugal; CCCEE University of Madeira, Funchal, Portugal

11:15 am • Harmonic Identification in a Power System Using an Echo State Network for Adaptive Power Filter Applications

Jing Dai, Ganesh Venayagamoorthy, Ronald Harley and Keith Corzine, Georgia Institute of Technology, United States; Missouri University of Science and Technology, United States

S118 Sustainable Energy Applications: Wind Turbine Control II

Grand Ballroom B

Chair: Peter Steimer, ABB, Switzerland and Tomonobu Senjyu, University of the Ryukyus, Japan

10:00 am • Review and Critical Analysis of the Research Papers Published Till Date on Maximum Power Point Tracking in Wind Energy Conversion System

Syed Muhammad Raza Kazmi, Hiroki Goto, Hai-Jiao Guo and Osamu Icninokura, Tohoku University, Japan; Tohoku Gakuin University, Japan

10:25 am • Network Damping Capability of DFIG-based Wind Farm

Bing Gong, Dewei Xu and Bin Wu, Ryerson University, Canada

10:50 am • Mechanical Sensorless Maximum Power Tracking Control for Direct-drive PMSG Wind Turbines

Xu Yang, Xiang Gong and Wei Qiao, University of Nebraska-Lincoln, United States

11:15 am • Determination of Steady State Control Laws of Doubly-fed Induction Generator Using Natural and Power Variables

Joseph Ojo, Adeola Balogun, Frank Okafor and Sosthenes Karugaba, Tennessee Tech University, United States; University of Lagos, Nigeria

THURSDAY, SEPTEMBER 16

1:40 pm – 3:20 pm

S119 Electric Machines: IPM Machines

Room 201

Chairs: Nicola Bianchi, *University of Padova, Italy* and
Philippe Wendling, *Magsoft***1:40 pm • Design Tradeoffs Between Constant Power Speed Range, Uncontrolled Generator Operation and Rated Current of IPM Motor Drives***Gianmario Pellegrino, Paolo Guglielmi and Alfredo Vagati, Politecnico di Torino, Italy***2:05 pm • Multi Objective Design Improvement of IPM Motor-drive Using Physic-based Motor Model***Ali Sarikhani, Wilder Saint-Hilaire and Osama A. Mohammed, Florida International University, United States***2:30 pm • Unbalanced Operation of Current Regulated Sine-wave Interior Permanent Magnet Machines***Ian P. Brown, Dan M. Ionel and David G. Dorrell, AO Smith Corp., Corporate Technology Center, United States; University of Technology Sydney, Australia***2:55 pm • Implementation and Control of a PMSM Self-bearing Motor Drive***Sheng-Ming Yang and Chia-Pin Chen, National Taipei University of Technology, Taiwan***S120 DC-DC Converters: Modeling and Analysis**

Room 202

Chairs: Regan Zane, *University of Colorado, United States* and
Nicola Femia, *Università di Salerno, Italy***1:40 pm • Experimental Study of Chaotic Behaviour in Parallel Connected DC-DC Boost Converters with Unbalanced Inductors***Ammar Natsheh, J. Gordon Kettleborough and Ghada Aldahim, Amman University, Jordan; Loughborough University, United Kingdom; Damascus University, Syria***2:05 pm • Large-signal Linearization of Boost Converter***Kapil Jha and Santanu Mishra, Indian Institute of Technology Kanpur, India***2:30 pm • Design of High Performance Point of Load Converters with Ultra-low Output Voltage Ripple***Mohamed Orabi, Shimaa Fathi, Ahmed Abou-Alfotouh and Fatma Al-Zahara Said, APEARC, South Valley University, Egypt; Enpirion Inc., United States***2:55 pm • State Space Decoupling Control Design Methodology for Switching Converters***Evandro de C. Gomes, Luiz Antonio R. Souza, Sebastian Catunda, Robert Lorenz and Joao Victor Caracas, IFMA, Brazil; UFMA, Brazil; University of Wisconsin - Madison, United States***S121 Sustainable Energy Applications: Energy Harvesting I**

Room 203

Chair: Sudip Mazumder, *University of Illinois, United States***1:40 pm • Self-powered Wireless MEMS Sensor Modules for Measuring Electrical Quantities in Residential, Commercial, Distribution, and Transmission Power Systems***Igor Paprotny, Eli Leland, Chris Sherman, Richard White and Paul Wright, University of California, Berkeley, United States***2:05 pm • Human Powered Axial Flux Permanent Magnet Machines: Review and Comparison***Samuel Ani, Deok-Je Bang, Henk Polinder, Ji-Young Lee, SeungRyul Moon and Dae-Hyun Koo, Delft University of Technology, Netherlands; Korea Electrotechnology Research Institute, Republic of Korea***2:30 pm • Wideband Energy Harvesting for Resonant Piezoelectric Devices***Cheng Luo and Heath Hofmann, Ferro Solutions, United States; The University of Michigan, United States***2:55 pm • Wireless Power Transfer Using Weakly Coupled Magnetostatic Resonators***Jose Oscar Mur-Miranda, Giulia Fanti, Yifei Feng, Keerthik Omanakuttan, Roydan Ongie, Albert Setjoadi and Natalie Sharpe, F.W. Olin College of Engineering, United States***S122 Electric Drives: Control and Testing**

Room 204

Chairs: Radu Bojoi, *Politecnico di Torino, Italy* and Mahesh Swamy, *Yaskawa Electric America, United States***1:40 pm • Closed Loop Control of Active Damped Small DC-link Capacitor Based Drive***RamKrishan Maheshwari and Stig Munk-Nielsen, Aalborg University, Denmark***2:05 pm • DC-link Voltage Control for Switched Reluctance Drives with Reduced DC-link Capacitance***Christoph Neuhaus and Rik De Doncker, ISEA, RWTH Aachen University, Germany***2:30 pm • Three-phase Electric Drive with Modified Electronic Smoothing Inductor***Yash Veer Singh, Peter Omand Rasmussen and Torben Ole Andersen, IET, Aalborg University, Denmark***2:55 pm • Parameter Identification of an Induction Motor at Standstill Using Vector Constructing Method***Yanhui He, Yupeng Feng, Yue Wang, Zhao'an Wang and Wanjun Lei, Xi'an Jiaotong University, China***S123 Transportation Applications: Power Converters**

Room 205

Chair: Lixin Tang, *Oak Ridge National Laboratory, United States***1:40 pm • The Electromagnetic Compatibility Design Considerations of the Input Filter of a Three-phase Inverter in a Railway Traction System***Mohamed Youssef, Jaber Abu-Qahouq and Mohamed Orabi, Bombardier Transportation, Canada; University of Alabama, United States; APEARC, South Valley University, Egypt***2:05 pm • Design of Power Electronic Building Blocks (PEBB) for MultiMW Modular Traction Converters***Unai Viscarret, Ion Etxeberria-Otadui, Jose Maria Azurmendi, Jon San-Sebastian and Txomin Nieva, IKERLAN-IK4 Technological Research Centre, Spain; TRANELEC S.L., Spain***2:30 pm • Design and Implementation of Fully Digital-controlled 400 Hz Active Power Filter for Aircraft Applications***Haibing Hu, Wei Shi and Yan Xing, Nanjing University of Aeronautics and Astronauts, China***2:55 pm • Multiphase Multilevel Modular DC-DC Converter for High Current High Gain TEG Application***Dong Cao and Fang Z. Peng, Michigan State University, United States*

S124 Sustainable Energy Applications: Battery Concepts AMD Modeling

Room 206

Chair: Zareh Soghomonian, *BMT Syntek Technologies, United States*

1:40 pm • A Transient-based Approach to Estimation of the Electrical Parameters of a Lead-acid Battery Model

Lalit Mandal and Robert Cox, University of North Carolina Charlotte, United States

2:05 pm • Improvement of Electrical Modeling of NiMH Battery for Application of Microgrid System

Novie Ayub Windarko, Gyo-Bum Chung and Jaeho Choi, Chungbuk National University, Republic of Korea; Hongik University, Republic of Korea

2:30 pm • Analysis of an Electro-mechanical Battery for Rural Electrification in Sub-Saharan Africa

Richard Okou, Mohamed Azeem Khan, Paul Barendse, Ben Adoniya Sebitosi and Pragasen Pillay, University of Cape Town, South Africa; Stellenbosch University, South Africa; Concordia University, Canada

2:55 pm • Series-connected Reconfigurable Multicell Battery: A Novel Design Towards Smart Batteries

Taesic Kim, Wei Qiao and Liyan Qu, University of Nebraska-Lincoln, United States

S125 Energy Public Policy and Economics: Electrified Transport and Hydrogen Economy

Room 207

Chair: Philip Krein, *University of Illinois at Urbana-Champaign, United States*

1:40 pm • On-site Electrolysis Sodium Metal Production by Offshore Wind or Solar Energy for Hydrogen Storage and Hydrogen Fuel Cycle

Masataka Murahara and Kazuichi Seki, Tokyo Institute of Technology, Japan; Tokai University, Japan

2:05 pm • Flexible Electric Vehicle (EV) Charging to Meet Renewable Portfolio Standard (RPS) Mandates and Minimize Green House Gas Emissions

Jorge Hernandez, Frank Kreikebaum and Deepak Divan, Georgia Institute of Technology, United States

2:30 pm • Financial Incentives to Encourage Demand Response Participation by Plug-in Hybrid Electric Vehicle Owners

Megan Mallette and Giri Venkataramanan, University of Wisconsin - Madison, United States

2:55 pm • Investigations into the Minimization of Electrical Costs for Traction-type Elevators

Leonard White, Srdjan Lukic and Subhashish Bhattach, Department of Electrical and Computer Engineering, North Carolina State University, United States

S126 Electric Drives: Multi-Level Drives

Grand Ballroom C

Chairs: Ranga Tallam, *Rockwell Automation, United States* and Giacomo Scelba, *DIEES - University of Catania, Italy*

1:40 pm • On Interaction between Internal Converter Dynamics and Current Control of High-performance High-power AC Motor Drives with Modular Multilevel Converters

Antonios Antonopoulos, Kalle Ilves, Lennart Angquist and Hans-Peter Nee, KTH Royal Institute of Technology, Sweden

2:05 pm • Power Quality Enhancement in High Power Multi-level Drives

Mehdi Abolhassani and Thomas Keister, Teco Westinghouse Motor Company, United States

2:30 pm • Model Predictive Direct Current Control for Multi-level Inverters

Tobias Geyer, The University of Auckland, New Zealand

2:55 pm • Introduction of a Large Scale High Efficiency Five-level IEGT Inverter for Oil and Gas Industry

Mostafa Al Mamun, Masahiko Tsukakoshi, Kazunori Hashimura, Hiromi Hosoda and Steven C. Peak, Toshiba Mitsubishi-Electric Industrial Sys. Co., Japan; TM GE Automation Systems LLC, United States

S127 DC-AC Inverters: Advanced Inverter System I

Grand Ballroom D

Chair: Hideaki Fujita, *Tokyo Institute of Technology, Japan*

1:40 pm • Advanced Energy Conversion System Using Sinusoidal Voltage Tracking Buck-boost Converter Cascaded Polarity Changing Inverter

Nabil A. Ahmed, College of Technological Studies, Kuwait

2:05 pm • A New Approach for Real-time Multiple Open-circuit Fault Diagnosis in Voltage Source Inverters

Jorge O. Estima and A.J. Marques Cardoso, University of Coimbra/IT, Portugal

2:30 pm • Dynamic Voltage Balancing of Series Connected IGBTs Using Slope Regulating and Voltage Clamping

Chunpeng Zhang, Yingdong Wei, Qirong Jiang and Luyuan Tong, Tsinghua University, China

2:55 pm • High-frequency DC Link Grid-connected Power Conversion with Improved Active Clamp

Xiaogao Xie, Hongyun Gui, Junming Zhang and Shirong Liu, Hangzhou Dianzi University, China; Huaxin Consulting Co, Ltd., China; Zhejiang University, China

S128 Sustainable Energy Applications: Power Quality III

Grand Ballroom A

Chairs: Subhashish Bhattacharya, *North Carolina State University, United States* and Mahinda Vilathgamuwa, *Nanyang Technological University, Singapore*

1:40 pm • Research on Active Harmonic Resistor to Damping Resonance in Distribution System

Wanjuan Lei, Yue Wang, Ninghuan Su and Ming Li, Xi'an Jiaotong University, China

2:05 pm • Novel Current Limitation Technique without Current Feedback for Digital-controlled Battery Charger in UPS Applications

Bo-Yuan Chen, Chin-Chang Hsu and Yen-Shin Lai, National Taipei University of Technology, Taiwan

2:30 pm • Elimination of Transfer Time Effects in Line-interactive and Passive Standby UPSs by Means of a Small-size Inverter

Manuel Arias, Marta Hernando, Diego Lamar and Arturo Fernandez, Universidad de Oviedo, Spain; Agencia Espacial Europea, Netherlands

2:55 pm • A Hybrid Multilevel Inverter with Both Staircase and PWM Switching Schemes

Hossein Sepahvand, Mostafa Khazraei, Mehdi Ferdowsi and Keith Corzine, Missouri University of Science and Technology, United States

S129 Enabling Technologies: Magnetic Design and Optimization I*Grand Ballroom B*

Chair: Charlie Sullivan, Dartmouth College, United States

1:40 pm • Single-phase vs. Three-phase High Density Power Transformers*Jing Xue, Fred Wang, Dushan Boroyevich and Zhiyu Shen, University of Tennessee, Knoxville, United States; Oak Ridge National Laboratory and University of Tennessee, Knoxville, United States; Virginia Tech, United States***2:05 pm • Inductor Design Methods with Low-permeability RF Core Materials***Yehui Han and David Perreault, University of Wisconsin - Madison, United States; Massachusetts Institute of Technology, United States***2:30 pm • New Core Loss Measurement Method for High Frequency Magnetic Materials***Mingkai Mu, Qiang Li, David Gilham, Fred Lee and Khai Ngo, Virginia Tech, United States***2:55 pm • Optimal Design of a Pot Core Rotating Transformer***J.P.C. Smeets, D.C.J. Krop, J.W. Jansen, M.A.M. Hendrix and E. Lomonova, Eindhoven University of Technology, Netherlands*

THURSDAY, SEPTEMBER 16

3:40 pm – 4:55 pm

S130 Electric Drives: Improved PWM Methods*Room 201*

Chairs: Fernando Briz, University of Oviedo, Spain and Roberto Petrella, University of Udine, Italy

3:40 pm • Pulse-width Modulation Technique for BLDCM Drives to Reduce Commutation Torque Ripple without Calculation of Commutation Time*Yong-Kai Lin and Yen-Shin Lai, National Taipei University of Technology, Taiwan, Taiwan***4:05 pm • Vector Quantized Spread Spectrum Modulation Scheme for Three-level Inverters***Biji Jacob and Baiju M.R., College of Engineering, Trivandrum, India***4:30 pm • Single Current Sensor Operation with Fixed Sampling points Based on TSPWM***Xiaomeng Cheng, Haifeng Lu and Wenlong Qu, State Key Lab of Power System, Tsinghua University, China***S131 DC-DC Converters: System Architectures***Room 202*

Chairs: Dong Tan, NGAS, United States and Yali Xiong, Volterra, United States

3:40 pm • Modeling and Simulation of a Distributed Power System for Avionic*Sanna Vesti, Pedro Alou, Jesus A. Oliver, Oscar Garcia and Roberto Prieto, Technical university of Madrid, Spain***4:05 pm • The Analysis of DC-DC Converter Topologies Based on Stackable Voltage Elements***Ke Zou, Mark.J Scott and Jin Wang, The Ohio State University, United States***4:30 pm • Observer-based Fault Diagnosis of Power Electronics Systems***Kieran Levin, Eric Hope and Alejandro Dominguez-Garcia, University of Illinois at Urbana-Champaign, United States***S132 Sustainable Energy Applications: Energy Harvesting II***Room 203*

Chair: Seth Sanders, University of California-Berkley, United States

3:40 pm • An Input-powered Active AC-DC Converter with Zero Standby Power for Energy Harvesting Applications*Yuan Rao and David Arnold, University of Florida, United States***4:05 pm • A New Single Stage AC-DC Converter for Low Voltage Electromagnetic Energy Harvesting***Rohan Dayal and Leila Parsa, ECSE Department, Rensselaer Polytechnic Institute, United States***4:30 pm • Design of a Low Cost Self-powered "Stick-on" Current and Temperature Wireless Sensor for Utility Assets***Rohit Moghe, Yi Yang, Frank Lambert and Deepak Divan, Georgia Institute of Technology, United States; NEETRAC, United States***S133 Electric Drives: Sensing Techniques***Room 204*

Chairs: Semyon Royak, TBD and Parag Kshirsagar, United Technologies Research Center, United States

3:40 pm • Compensation of Analog Rotor Position Errors due to Nonideal Sinusoidal Encoder Output Signals*Seon-Hwan Hwang, Jong-Ho Lee, Jang-Mok Kim and Cheol Choi, Pusan National University, Republic of Korea; HIGEN Motors, Republic of Korea***4:05 pm • Using the Motor Drive as a Sensor to Extract Spatially Dependent Information During Servo Operation***Christopher Wolf and Robert Lorenz, University of Wisconsin-Madison, United States***4:30 pm • A Method for Speed-sensorless Identification of Two-mass systems***Henning Zoubek and Mario Pacas, University of Siegen, Germany***S134 Sustainable Energy Applications: Fuel Cell Power Systems***Room 205*

Chair: Henry Chung, City University of Hong Kong, Hong Kong

3:40 pm • Design and Experimental Validation of a Robust Control Method for a Hybrid Fuel Cell Power Generation System*David Hernandez-Torres, Olivier Senname and Delphine Riu, Grenoble Electrical Engineering Laboratory, France; Grenoble Departament of Control Systems, France***4:05 pm • Techniques for Efficiency Gains in Soft Switching Full-bridge Fuel Cell Power Conversion***Martin Ordonez and John Quaicoe, Memorial University of Newfoundland, Canada***4:30 pm • Grid-interfaced Fuel Cell Energy System Based on a Boost-inverter with a Bidirectional Back-up Battery Storage***Minsoo Jang and Vassilios G. Agelidis, The University of New South Wales, Australia*

S135 Enabling Technologies: Power Electronics Modeling and Simulation Tools

Room 206

Chair: Zareh Soghomonian, BMT Syntek Technologies, United States

3:40 pm • Efficient CAD Tool for Power Electronics Compensator Design

Carlos Martinez, Virgilio Valdivia, Antonio Lazaro, Javier Lourido, Isabel Quesada, Carlos Lucena, Pablo Zumel and Andres Barrado, Carlos III University of Madrid, Spain

4:05 pm • Modeling and Evaluation of Diode Reverse Recovery in Discrete-transition Simulators

Natan Kriheli and Sam Ben-Yaakov, Ben-Gurion University of the Negev, Israel

4:30 pm • Digital Flickermeter Design and Implementaton Based on IEC Standard

Daniel Fregosi, Leonard White, Subhashish Bhattacharya, Eric Green and Jason Watterson, Department of ECE, North Carolina State University, United States

S136 Energy Efficiency and Industrial Applications: Special Topics

Room 207

Chair: Po-Tai Cheng, National Tsinghua University, Taiwan

3:40 pm • A Review of Monitoring and Identification Methods for Electric Loads in Commercial and Residential Buildings

Yi Du, Liang Du, Bin Lu, Ronald Harley and Thomas Habetler, Georgia Institute of Technology, United States; Eaton Corporation, United States

4:05 pm • Design of a Supercapacitor Based Storage System for Improved Elevator Applications

Sergio Luri, Ion Etxeberria-Otadui, Alejandro Rujas, Endika Bilbao and Antonio Gonzalez, IKERLAN-IK4 Technological Research Centre, Spain; ORONA EIC, Elevator Innovation Centre, Spain

4:30 pm • Applying a Novel Power Management Unit (PMU) to Replace the Large DC Bus Electrolytic Capacitors in Fuel Cell Power Generation System

Xiao Li, Chengrui Du, Wenping Zhang, Guoqiao Shen and Dehong Xu, Zhejiang University, China

S137 Enabling Technologies: Power Semiconductors III

Grand Ballroom C

Chairs: Angus Bryant, University of Warwick, United Kingdom and Madhu Sudhan Chinthavali, Oak Ridge National Laboratory, United States

3:40 pm • Analysis of Static Voltage Balance of Series Connected Self-power ETOs

Qian Chen, Alex Huang and Subhashish Bhattacharya, North Carolina State University, United States

4:05 pm • The Integrated Emitter Turn-off Thyristor (IETO) — An Innovative Thyristor Based High Power Semiconductor Device Using MOS Assisted Turn-off

Michael Bragard, Marcus Conrad and Rik De Doncker, RWTH Aachen University, Germany

4:30 pm • High Frequency Switching High-power Converter with SiC-PiN Diodes and Si-IGTs

Kazuto Takao, Yasunori Tanaka, Kyungmin Sung, Keiji Wada and Takeo Kanai, Toshiba Corporation, Japan; Advanced Industrial Science and Technology, Japan; Ibaraki National College of Technology, Japan; Tokyo Metropolitan University, Japan; TMEIC, Japan

S138 DC-AC Inverters: Advanced Inverter System II

Grand Ballroom D

Chairs: David Torrey, Advanced Energy Conversion, United States and Jin Wang, Ohio State University, United States

3:40 pm • Analysis and Suppression of a Common Mode Resonance in the Cascaded H-bridge Multilevel Inverter

Rixin Lai, Maja Harfman Todorovic and Juan Sabate, GE Global Research, United States

4:05 pm • Optimal Pulsewidth Modulation of Multilevel Inverters for Low Switching Frequency Control of Medium Voltage High Power Industrial AC Drives

Akshay Rathore, Joachim Holtz and Till Boller, University of Illinois at Chicago, United States; University of Wuppertal, Germany

4:30 pm • Seven-level Cascaded ANPC-based Multilevel Converter

Sridhar Reddy Pulikanti, Georgios Konstantinou and Vassilios G. Agelidis, The University of Sydney, Australia; The University of New South Wales, Australia

S139 Energy Public Policy and Economics: Reducing Renewable Energy Cost with Power Electronics and Carbon Trading

Grand Ballroom A

Chair: Jonathan Goldman, HydroPhi Technologies, Inc., United States

3:40 pm • An Alternative Mechanism for Carbon Emission Permit Price Volatility Mitigation

Li Xu, Shijie Deng and Valerie Thomas, Georgia Institute of Technology, United States

4:05 pm • Reduction of Green House Gas Emission by Clean Power Trading

Jinxu Ding and Arun Somani, Iowa State University, United States

4:30 pm • Transportation Applications Using Practical Hydrogen-on-demand Systems

Jonathan Goldman, Suresh Sharma and Steve Suggs, HydroPhi Technologies, Inc., United States

S140 Enabling Technologies: Magnetic Design and Optimization II

Grand Ballroom B

Chair: Charlie Sullivan, Dartmouth College, United States

3:40 pm • Selection of the Appropriate Winding Setup in Planar Inductors with Parallel Windings

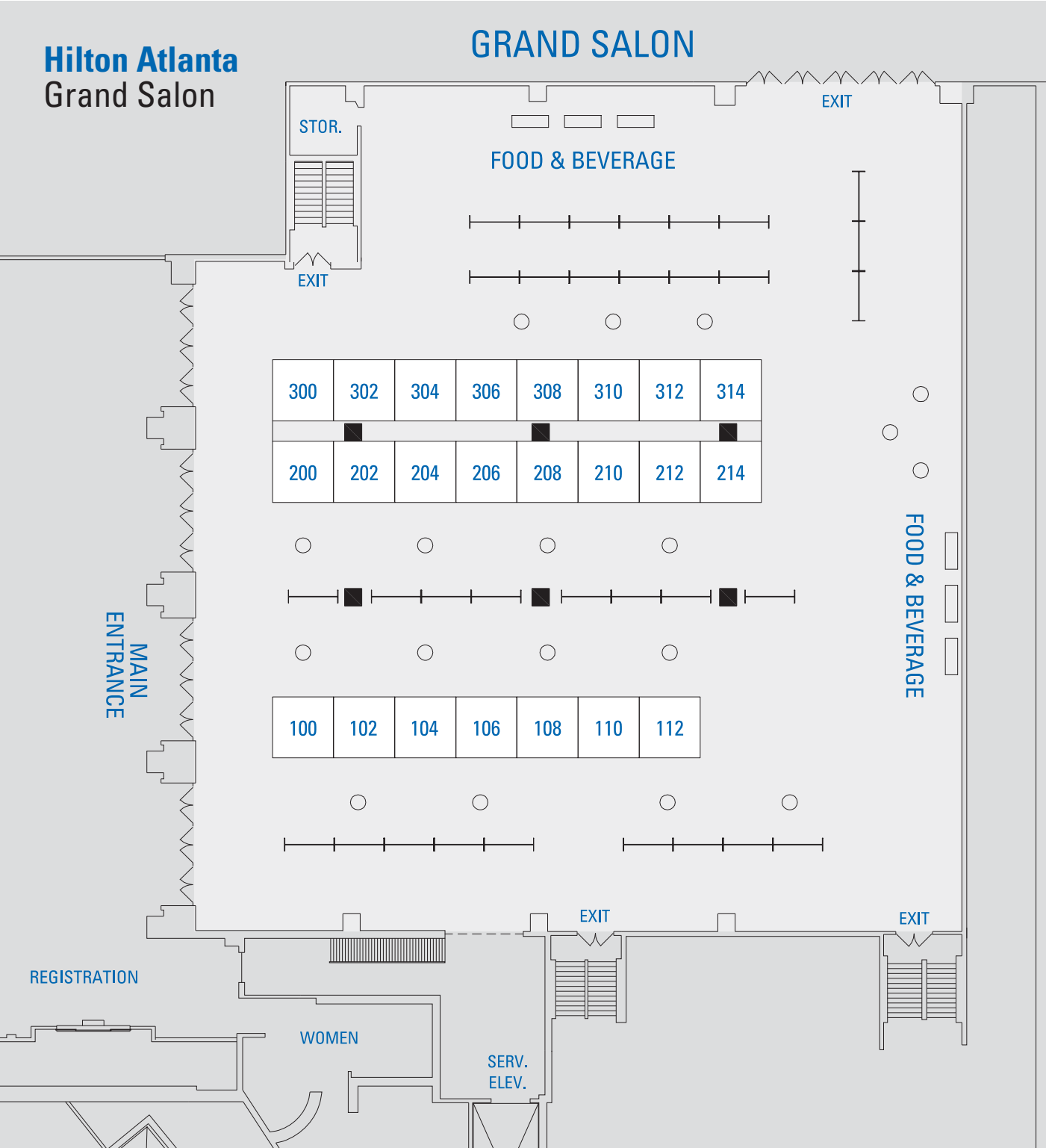
Roberto Prieto, Rafael Asensi and Jose Cobos, CEI-UPM, Spain

4:05 pm • A High Efficient Integrated Planar Transformer for Primary-parallel Isolated Boost Converters

Gokhan Sen, Ziwei Ouyang, Ole C. Thomsen, Michael A.E. Andersen and Lars Moller, Technical University of Denmark, Denmark; H2 Logic A/S, Denmark

4:30 pm • Planar Integrated Magnetics Design in Wide Input Range DC-DC Converter for Fuel Cell Application

Ziwei Ouyang, Zhe Zhang, Ole Thomsen, Michael Andersen, Ole Poulsen and Thomas Bjorklund, Technical University of Denmark, Denmark; Flux Company, Denmark



Expo

Grand Salon

The Expo will showcase the latest advances in products and services to meet the needs of current and future challenges facing the energy conversion industry.

Expo Hours:
Monday, September 13 5:00 pm – 7:00 pm
Tuesday, September 14 11:30 am – 7:00 pm

Alphabetical Listing by Company Name:

Company	Booth(s)
5S Components Inc.....	110
Alizem Inc.....	208
Ansys, Inc.....	304
Cramer Coil & Transformer.....	101
Ferroxcube USA, Inc.	200
GE Global Research.....	202
How2Power.com.....	204
IEEE Atlanta Section.....	106
IEEE Industry Applications Society.....	310
IEEE Power Electronics Society (PELS Membership Booth).....	312
JSOL Corporation.....	308
JSR Micro, Inc./JM Energy.....	314
Magnetics	108
Magsoft Corporation	104
NORWE Inc.	206
NSF Center for GRId-connected Advanced Power Electronic Systems (GRAPES)	102
Opal-RT Technologies Inc.	300-302
Plexim, Inc.....	210
Proto Laminations, Inc.	214
TDK-Lambda Americas	112
The IET	212
United Technology Research Center.....	306

Numerical Listing by Booth Number:

Company	Booth(s)
Cramer Coil & Transformer.....	101
NSF Center for GRId-connected Advanced Power Electronic Systems (GRAPES)	102
Magsoft Corporation	104
IEEE Atlanta Section.....	106
Magnetics	108
5S Components Inc.....	110
TDK-Lambda Americas	112
Ferroxcube USA, Inc.	200
GE Global Research.....	202
How2Power.com.....	204
NORWE Inc.	206
Alizem Inc.....	208
Plexim, Inc.....	210
The IET	212
Proto Laminations, Inc.	214
Opal-RT Technologies Inc.	300-302
Ansys, Inc.....	304
United Technology Research Center.....	306
JSOL Corporation.....	308
IEEE Industry Applications Society.....	310
IEEE Power Electronics Society (PELS Membership Booth).....	312
JSR Micro, Inc./JM Energy.....	314

EXHIBITOR DIRECTORY

5S Components, Inc.

Booth 110

630 Fifth Avenue
East McKeesport, PA 15035
USA
Phone: +1 412 967 5858
Fax: +1 412 967 5868
E-mail: info@5Scomponents.com
Web URL: www.5Scomponents.com



5S Components is an authorized distributor for ABB's high power semiconductors, current sensors and voltage sensors and ICAR capacitors. Based near Pittsburgh, PA, 5S provides sales, distribution and technical support to customers in North America.

Alizem, Inc.

Booth 208

1173 Boulevard Charest Ouest
Suite 300-5
Quebec City, Quebec G1N2C9
Canada
Phone: +1 418-614-4643
E-mail: info@alizem.com
Web URL: www.alizem.com



Alizem provides FPGA-based Motor Control IP solutions that enable its customers to increase their products differentiation and reliability while reducing their costs and TTM. Alizem COTS solutions replace conventional motor control IC and can be integrated easily on FPGA without the need of extensive FPGA or motor control expertise.

Ansys, Inc.

Booth 304

225 W. Station Square Drive
Pittsburgh, PA 15219
USA

Phone: +1 412-261-3200

Fax: +1 412-471-9427

Web URL: www.ansys.com



ANSYS, Inc. develops and globally markets engineering simulation software used by designers and engineers across a broad spectrum of industries. The company develops open and flexible simulation solutions that enable users to simulate design performance directly on the desktop, providing a common platform for fast, efficient and cost-effective product development.

Cramer Coil & Transformer

Booth 101

401 N. Progress Drive
Saukville, WI 53080
USA

Phone: +1 262-268-2150

Fax: +1 262-268-4100

E-mail: techsales@cramerco.com

Web URL: www.cramerco.com



Cramer Coil & Transformer specializes in the design and manufacture of custom high frequency magnetic components for switch mode power supply and filter applications.

Ferroxcube USA, Inc.

Booth 200

1200 Golden Key Circle
El Paso, TX 79925
USA

Phone: +1 915-599-2616

Fax: +1 915-599-2555

E-mail: ken.blasor@ferroxcube.com

Web URL: www.ferroxcube.com



Leading in soft ferrite technology. Building on our Philips magnetic components heritage, FERROXCUBE can offer customers the highest level of support in the development of their new innovative designs. Our competencies cover soft ferrite products, materials, and accessories. All are developed to meet today's demanding high-frequency, low-loss and environmental requirements

GE Global Research

Booth 202

One Research Circle
k1-5a12b

Niskayuna, NY 12309

USA

Phone: +1 518-387-6710

Web URL: <http://ge.geglobalresearch.com/>



imagination at work

GE Global Research is the hub of technology development for all of GE's businesses. Our scientists and engineers redefine what's possible, drive growth for our businesses and find answers to some of the world's toughest problems. We innovate 24 hours a day, with sites in Niskayuna, NY; Bangalore, India; Shanghai, China; and Munich, Germany. Connect with our technologists at www.edisonsdesk.com and twitter.com/edisonsdesk.

How2Power.com

Booth 204

P.O. Box 755

Smithtown, NY 11787

U.S.A.

Phone: +1 631-269-4540

E-mail: david@how2power.com

Web URL: www.how2power.com



A free website, How2Power.com helps engineers address power supply design challenges in their applications by locating pre-screened articles from a range of reputable sources. The associated How2Power Today newsletter presents innovative design techniques for power conversion, power component news, and reports on career opportunities for power electronics engineers.

IEEE Atlanta Section

Booth 106

7220 Richardson Road
Smyrna, GA 30080
USA

Phone: +1 404-407-7417

Fax: +1 404-407-9417

E-mail: jgostin@ieee.org

Web URL: ieee-atlanta.org



The IEEE Atlanta Section consists of over 4,300 active members, including over 900 student members. The Section has 17 Chapters, including Industrial Applications and Power Electronics, and 3 Affinity Groups. IEEE's core purpose is to foster technological innovation and excellence for the benefit of humanity.

IEEE Industry Applications Society

Booth 310

445 Hoes Lane
Piscataway, New Jersey 8854
USA
Phone: +1 732-465-6627
E-mail: ias-administrator@ieee.org
Web URL: www.ieee.org/ias



The Industry Applications Society supports the advancement of the theory and practice of electrical and electronic engineering in the development, design, manufacture and application of electrical systems, apparatus, devices and controls to the processes and equipment of industry and commerce; the promotion of safe, reliable and economical installations; industry leadership in energy conservation and environmental health and safety issues; the creation of voluntary engineering standards and recommended practices; and the professional development of its membership.

IEEE Power Electronics Society (PELS Membership Booth)

Booth 312

445 Hoes Lane
Piscataway, NJ 8855
USA
Phone: +1 732-465-6480
Fax: +1 732-562-3881
E-mail: pels@ieee.org
Web URL: www.pels.org



The Power Electronics Society is one of the technical societies of the Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). The IEEE Power Electronics Society (PELS) helps in the development and effective application of power electronics technology. Join IEEE or renew your 2010 IEEE membership and receive a free Power Electronics Society (PELS) membership. Drop your business card in the box provided at the booth.

JSOL Corporation

Booth 308

Harumi Center Bldg. 2-5-24
Harumi, Chuo-ku, Tokyo 104-0053
Japan
Phone: +81(3)5859-6020
Fax: +81(3)5859-6035
E-mail: event@sci.jsol.co.jp
Web URL: www.jmag-international.com



JMAG is a comprehensive software suite for electromechanical design and development. Complex phenomena can be obtained quickly providing valuable insights to the internal workings of machines. JMAG was developed in 1983 as a tool to support product development and design for electric/electronic equipment and power electronics including motors, transformers, actuators, circuit components, antennas, and much more. Since 1983, JMAG has been utilized by many companies and academic institutions.

JSR Micro, Inc./JM Energy

Booth 314

1280 N. Mathilda Ave.
Sunnyvale, CA 94089
USA
Phone: +1 408-543-8800
Web URL: www.jsrmicro.com



JM Energy, a subsidiary of JSR Corporation has developed ULTIMO, a Lithium Ion Capacitor. Compared to conventional EDLC supercapacitors, ULTIMO's energy density is four times higher. ULTIMO offers the energy of a battery with the power and reliability of a capacitor in a smaller and lighter form factor.

Magnetics

Booth 108

110 Delta Drive
Pittsburgh, PA 15238
USA
Phone: +1 800-245-3984
Fax: +1 412-696-1333
E-mail: magnetics@spang.com
Web URL: www.mag-inc.com



Magnetics® is a leading world supplier of precision soft magnetic components and materials to the electronics industry. We specialize in research, design, and production of a broad range of high-quality powder cores, ferrite cores, and strip wound cores for applications such as chokes, inductors, filters, transformers, and power supply components for use in alternative energy, telecommunications, aerospace, automotive, military, computer, medical, and other electronics systems.

Magsoft Corporation

Booth 104

1 Fairchild Square
Clifton Park, NY 12065
USA
Phone: +1 518-884-0505
Fax: +1 518-884-8688
E-mail: Philippe@magsoft-flux.com
Web URL: www.magsoft-flux.com



Magsoft Corporation offers CAE simulation software solutions for virtual prototyping. Assess design ideas for devices like motors, actuators, and transformers. Obtain the experimental results you need without physically testing in the lab. Flux (FEM), Portunus (system simulation), Speed (Motor Design), MotorCAD (Thermal analysis for rotating machines), Inca (bus bars)

NORWE, Inc.

Booth 206

P.O. Box 2511
North Canton, Ohio 44720-0511
USA
Phone: +1 330-497-8113
Fax: +1 330-305-0592
E-mail: usa@norwe.com
Web URL: www.norwe.com



NORWE is a Manufacturer of Standard and Custom designed thermoplastic Bobbins for Ferrite Cores & Metric Transformer Laminations, Components for SMD and Planar Technology, Potting Boxes for Toroidal Cores, Safety-Class Bobbins and Accessories. Products comply with the RoHS (Lead-Free). The company is certified according to DIN EN ISO 9001:2008, to DIN EN ISO 14001:2005 and to UL 746D.

NSF Center for GRId-connected Advanced Power Electronic Systems (GRAPES)

Booth 102

UA ENRC NCREPT Facility
2055 S Innovation Way
Fayetteville, AR 72701
USA

**GRAPES**

Phone: +1 479-575-2163
Fax: +1 479-575-6967
E-mail: mgcolli@uark.edu
Web URL: <http://grapes.uark.edu>

A National Science Foundation Industry/University Cooperative Research Center since 2009. Headquartered at the University of Arkansas- Fayetteville, GRAPES conducts research on design, development, evaluation, control and standardization of grid-connected power electronic equipment on both the supply and load side of power systems.

Opal-RT Technologies Inc.

Booth 300-302

1751 Richardson, Suite 2525
Montreal, QC H3K 1G6
Canada
Phone: +1 514-935-2323
Fax: +1 514-935-4994
E-mail: marketing@opal-rt.com
Web URL: www.opal-rt.com



Opal-RT Technologies (www.Opal-RT.com) is the leading supplier of Real-Time Simulators and Hardware-in-the-Loop testing equipment for electrical, electromechanical and power electronic systems. Electrical engineers at organizations like ABB, Hydro-Quebec, GE, Hitachi, Mitsubishi Electric and countless universities & research facilities use Opal-RT Real-Time Simulators to design, test, and conduct transient studies of large scale power grids incorporating wind farms and other Distributed Generation devices.

Plexim, Inc.

Booth 210

420 Broadway
Cambridge, MA 2138
United States
Phone: +1 617-209-2121
Fax: +1 617-209-1111
E-mail: info@plexim.com
Web URL: www.plexim.com



Plexim's simulation software PLECS has become the tool of choice for high-speed simulations of power electronic systems in the MATLAB/Simulink environment. Now, PLECS is becoming even more versatile: In addition to the traditional PLECS Block-set, PLECS Standalone is available as a completely independent product — and even faster thanks to its own, dedicated solvers!

Proto Laminations, Inc.

Booth 214

13666 East Bora Drive
Santa Fe Springs, California 92325
USA
Phone: +1 562-926-4777
Fax: +1 562-404-1650
E-mail: ssprague@protolam.com
Web URL: www.protolam.com



Proto Laminations, Inc., is a manufacturer of specialty electrical laminations for rotating machinery. We support the development, prototype evaluation and limited production requirements of motor and generator manufacturers and academic researchers worldwide.

TDK-Lambda Americas

Booth 112

405 Essex Road
Neptune, NJ 7753
USA
Phone: +1 732-922-9300
Fax: +1 732-922-1441
E-mail: john.breickner@us.tdk-lambda.com
Web URL: www.us.tdk-lambda.com/hp



Genesys™ AC/DC power supplies high power density, low ripple, complete user-friendly interfaces. Outputs to 600V and 1,000A. Extensive features, excellent performance and flexibility in development laboratories and test systems. A complete family, identical features, including optional IEEE and LXI Certified LAN interfaces 1U Half Rack 750W, 1U 750/1500W, 2U 3.3/5kW and 3U 10/15kW Output. Five year warranty.

The IET

Booth 212

Michael Faraday House, 6 Hills Way
Stevenage, Hertfordshire SG1 2AY
UK

Phone: +44 (0)1438 767207

E-mail: jlawrie@theiet.org

Web URL: www.theiet.org



The IET is one of the world's leading professional societies for the engineering and technology community, with more than 150,000 members in 127 countries and offices across three continents. The IET provides a global knowledge network to disseminate ideas and promote the positive role of science, engineering and technology globally.

United Technology Research Center

Booth 306

411 Silver Lane
East Hartford, CT 6108
USA

Phone: +1 860-610-7000

Web URL: www.utrc.utc.com



**United Technologies
Research Center**

United Technologies Research Center (UTRC) delivers the world's most advanced technologies, innovative thinking and disciplined research to the businesses of United Technologies — industry leaders in aerospace propulsion, building infrastructure and services, heating and air conditioning, fire and security systems and power generation. Founded in 1929, United Technologies Research Center (UTRC) is located in East Hartford, Connecticut (U.S.) and also operates research and development centers in Shanghai, China, and Cork, Ireland.



IEEE ENERGY CONVERSION CONGRESS & EXPOSITION



CALL FOR PAPERS

PHOENIX, ARIZONA
SEPTEMBER 17-22, 2011

Mark your calendars! The third Annual IEEE Energy Conversion Congress and Exposition will be held in the 'solar capital' — Phoenix, Arizona, on September 17-22, 2011. ECCE is a major global event for Energy Conversion professionals, combining: newly formed, industry driven, application oriented technical sessions and energy policy and economics sessions, along with the core component focused contents of the former IEEE Power Electronics Specialists Conference (PESC) and the technical sessions of the Industrial Power Conversion Systems Department previously presented at the IEEE Industry Applications Society Annual Meeting.

ECCE 2011 will bring together practicing engineers, researchers and other professionals for interactive discussions on latest advances in various areas related to Energy Conversion. Technical papers are solicited on any subject pertaining to the scope of the conference that includes but is not limited to the following major topics:

Energy Conversion Systems

- ▶ Renewable and alternative energy systems, including solar, wind, wave, and energy harvesting
- ▶ Electric transportation systems
- ▶ Modeling, analysis and simulation of energy conversion systems in specific applications.
- ▶ Grid interface of renewable and distributed energy resources and storage
- ▶ Enabling energy conversion technology for smart grid concepts and microgrids
- ▶ Electric power systems
- ▶ Applications of Electrical Energy Conversion systems
- ▶ Control, energy management and optimization
- ▶ Power quality and EMI
- ▶ Thermal management and efficiency
- ▶ Energy policy & economic aspects of the energy conversion business

Components and Subsystems for Energy Conversion

- ▶ Electric machines and actuators
- ▶ Electric drives
- ▶ Power converters
- ▶ Power electronic devices and packaging
- ▶ Passive components and fault management products
- ▶ Reliability, diagnostics and prognostics

Prospective authors are requested to submit a digest no longer than six (6) pages, single column, 1.5 line spaced, summarizing the proposed paper. The digests will be reviewed using a double-blind peer review process in order to ensure that the final program has highest possible technical quality. Therefore, the digest should include key equations, figures, tables and references as appropriate, but no author names or affiliations. The digests must clearly state the objective of the work, its significance in advancing engineering and/or science, the methods and specific results in sufficient detail to enable a thorough and fair review process. For more information, visit <http://www.ecce2011.org> or contact the ECCE 2011 Technical Program Co-Chairs via email at Tech_Prog_Chairs@ecce2011.org.

Dr. Ayman EL-Refaie, GE Global Research Center, USA
Prof. Iqbal Husain, University of Akron, OH, USA
Prof. Yan-Fei Liu, Queen's University, Canada
Prof. Zi-Qiang Zhu, University of Sheffield, UK

Important Dates

January 15, 2011

Digest of proposed papers due (to be submitted via ECCE website)

May 1, 2011

Notification to authors of acceptance/rejection of papers

July 1, 2011

Final papers with IEEE copyright forms due

www.ecce2011.org



PHOENIX — ARIZONA —

— **Tutorials** —

— **Technical Sessions** —

— **Rap Sessions** —

— **Exhibits** —

FOR MORE INFORMATION CONTACT

IEEE Energy Conversion Congress and Expo Office
2025 M Street, NW, Suite 800
Washington DC, 20036
Tel: +1.202.973.8744
Fax: +1.202.331.0111
ecce@courtesyassoc.com

www.ECCE2011.org

2011

17

18

19

20

21

22

SEPTEMBER



SCHEDULE-at-a-GLANCE

SCHEDULE AT A GLANCE														
Room Time	Prefunction South	Grand Salon Prefunction Area	Grand Salon	Room 201	Room 202	Room 203	Room 204	Room 205	Room 206	Room 207	Grand Ballroom A	Grand Ballroom B	Grand Ballroom C	Grand Ballroom D
SATURDAY, SEPTEMBER 11, 2010														
3:00 pm – 5:00 pm	Reg. Open													
SUNDAY, SEPTEMBER 12, 2010														
7:00 am – 7:00 pm	Reg. Open													
8:30 am – 12:00 pm				T1-1	T1-2	T1-3	T1-4							
12:00 pm – 1:00 pm	Lunch on own													
1:00 pm – 5:00 pm				T2-1	T2-2	T2-3	T2-4							
4:30 pm – 5:00 pm													New to ECCE/PELS/IAS Reception	
5:00 pm – 7:00 pm													Opening Reception	
MONDAY, SEPTEMBER 13, 2010														
7:00 am – 7:00 pm	Reg. Open													
8:00 am – 10:00 am											Plenary Ses.			
10:00 am – 10:20 am		AM Break												
10:20 am – 12:00 pm				S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S10		S8	S9
12:00 pm – 1:20 pm	Lunch on own													
1:20 pm – 3:00 pm				S11	S12	S13	S14	S15	S16	S17	S20		S18	S19
3:00 pm – 3:20 pm		PM Break												
3:20 pm – 5:00 pm				S21	S22	S23	S24	S25	S26	S27	S30		S28	S29
5:00 pm – 7:00 pm			Reception											
TUESDAY, SEPTEMBER 14, 2010														
7:00 am – 7:00 pm	Reg. Open													
8:00 am – 9:40 am				S31	S32	S33	S34	S35	S36	S37	S40	S41	S38	S39
9:40 am – 10:00 am		AM Break												
10:00 am – 11:40 am				S42	S43	S44	S45	S46	S47	S48	S51	S52	S49	S50
11:30 am – 7:00 pm			Expo Open											
11:40 am – 1:20 pm			Lunch											
1:30 pm – 3:00 pm			Poster Ses. I											
3:00 pm – 3:30 pm			PM Break											
3:30 pm – 5:00 pm			Poster Ses. II											
8:00 pm – 9:00 pm				R1	R2									
WEDNESDAY, SEPTEMBER 15, 2010														
7:00 am – 7:00 pm	Reg. Open													
8:00 am – 9:40 am				S53	S54	S55	S56	S57	S58	S59	S62	S63	S60	S61
9:40 am – 10:00 am		AM Break												
10:00 am – 11:40 am				S64	S65	S66	S67	S68	S69	S70	S73	S74	S71	S72
11:40 am – 1:30 pm	Lunch on own													
1:30 pm – 3:10 pm				S75	S76	S77	S78	S79	S80	S81	S84	S85	S82	S83
3:10 pm – 3:30 pm		PM Break												
3:30 pm – 5:10 pm				S86	S87	S88	S89	S90	S91	S92	S95	S96	S93	S94
7:00 pm – 9:30 pm			Banquet											
THURSDAY, SEPTEMBER 16, 2010														
7:00 am – 3:00 pm	Reg. Open													
8:00 am – 9:40 am				S97	S98	S99	S100	S101	S102	S103	S106	S107	S104	S105
9:40 am – 10:00 am		AM Break												
10:00 am – 11:40 am				S107	S108	S110	S111	S112	S113	S114	S117	S118	S115	S116
11:45 am – 1:40 pm			Awards Lunch											
1:40 pm – 3:20 pm				S119	S120	S121	S122	S123	S124	S125	S128	S129	S126	S127
3:20 pm – 3:40 pm		PM Break												
3:40 pm – 4:55 pm				S130	S131	S132	S133	S134	S135	S136	S139	S140	S137	S138
5:00 pm	Meeting Adjourns													

A Hybrid Cascaded Multilevel Inverter Application for Renewable Energy Resources Including a Reconfiguration Technique

Surin Khomfoi^{1,2}
Member, IEEE

Nattapat Praisuwanna²
Student Member, IEEE

Leon M. Tolbert³
Senior Member, IEEE

¹Center of Excellence for Innovative Energy Systems, ²Department of Electrical Engineering,
Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Chalongsak Rd. Ladkrabang,
Bangkok, 10520, THAILAND

³Electrical Engineering and Computer Science
311 Ferris Hall, The University of Tennessee, Knoxville, TN 37996-2100
kkhsurin@kmitl.ac.th, x2610420@kmitl.ac.th, tolbert@utk.edu

Abstract- A hybrid cascaded multilevel inverter application for renewable energy resources including a reconfiguration technique is developed. The objective of this research is to propose an alternative topology of hybrid cascaded multilevel inverter applied to a low voltage dc microgrid in telecommunication buildings. The modified PWM technique is also developed to reduce switching losses. Also, the proposed topology can reduce the number of required power switches compared to a traditional cascaded multilevel inverter. A possible reconfiguration technique after faulty condition is also discussed. PSIM (PowerSim) and Simulink/MATLAB are used to simulate the circuit operation and control signal. A 3-kW prototype is developed. The switching losses of the proposed multilevel inverter are also investigated. By using the modified PWM technique and reconfiguration method, the proposed hybrid inverter can improve system efficiency and reliability. The proposed inverter efficiency is 97% under tested condition. The results show that proposed hybrid inverter topology is a promising method for a low voltage dc microgrid interfacing with renewable energy resources.

I. INTRODUCTION

Renewable energy resources (RES) have had increasing penetration levels for grid connected distributed generation (DG) in recent years. Photovoltaic, micro-turbine, wind turbine and fuel cell put forward many promising applications with high efficiency and low emissions. Together with power electronics technologies, these have provided an important improvement for RES and DG applications; especially, a microgrid concept is introduced in [1] to provide more system capacity and control flexibility when several RESs with different electric behaviors are integrated in the same grid. The microgrid also offers extra degrees of freedom to optimize RESs connected to the utility grid; additionally, power quality requirements, system reliability and control flexibility would be achieved by using the microgrid concept as discussed in [2].

Data center or telecommunication buildings in Thailand normally consist of large nonlinear electronic loads; for instance, switching router units, personal computers (PC), monitors, lighting, and adjustable speed drives (ASD) for air conditioning system. The electrical system used in telecommunication equipment is a low voltage dc system with a dc voltage equal to -48 V. A single phase 220 V, 50 Hz electrical system is used for PCs, monitors, and lighting; whereas, three phase 220/380 V, 50 Hz is utilized for the air conditioning system. It is promising that a dc microgrid consisting of a photovoltaic panel as a RES, battery as an energy storage (ES), and a diesel generator set as a standby source is implemented so that net-zero energy for telecommunication building could be accomplished. The dc microgrid with superb quality distribution system for residential application have been proposed in [3], and the low voltage distribution system for commercial power systems with sensitive electronic loads have been investigated in [4]. For dc distribution in telecommunication buildings, a high power converter (about 100 kW) with high quality output voltage waveform, high efficiency, and single phase and three phase electrical system available is required.

Therefore, multilevel inverters are suitable for this application because a multilevel inverter can provide the high voltampere ratings; more specially, in renewable energy applications, a cascaded H-bridge multilevel inverter can be applied to interface a group of batteries, photovoltaic or fuel cells. As explained in [5], a cascaded multilevel inverter may have more potential than other multilevel topologies since input separated dc sources (SDCS) could be naturally interfaced to the multilevel inverter to provide higher output voltages with high quality waveforms. However, a cascaded multilevel inverter contains many power switches, and the number of power switches will depend upon the number of required output voltage levels. Consequently, higher switching losses will be traded off with output voltage

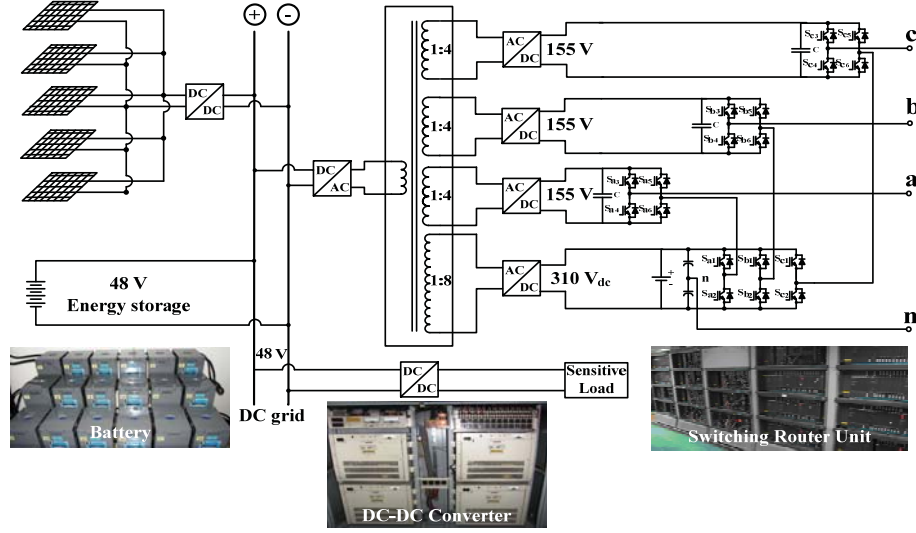


Fig. 1. Low voltage dc microgrid for telecommunication building.

quality. Multilevel inverter topologies for stand-alone PV systems have been discussed in [6]. The prototype in [6] shows that 96% efficiency at 3 kVA for a single phase inverter was achieved. It would be better if we could reduce the number of power switches in a multilevel inverter with the same functionality in order to reduce switching losses and improve inverter efficiency.

Thereupon, a hybrid multilevel inverter (HMI) is developed for a dc microgrid in telecommunication building as shown in Fig. 1. One can see that the proposed HMI can supply both single phase and three phase electrical system. As previously mentioned, three phase 220/380 V is supplied for an air conditioning unit and single phase 220 V is supplied for a lighting and PC load. The HMI consists of two types of inverter: a conventional three phase six switches inverter and a single phase four switches H-bridge inverter. HMI has been proposed with several applications as clearly explained in [7-10]; however, so far, the application for a telecommunication building with 48 V dc microgrid is limited. For this reason, a hybrid cascaded multilevel inverter application for dc microgrid in telecommunication building including a reconfiguration technique is developed to improve the system efficiency and reliability.

II. PROPOSED PWM SCHEME

The *main inverter* refers to the six-switch three phase inverter, and the *auxiliary inverter* refers to the four-switch H-bridge inverter. Since low switching losses during PWM operation is required, the main inverter will operate in square wave mode, and the auxiliary inverter will operate in PWM mode as depicted in Fig. 2. In practice, if a single chip is used to generate the PWM signals, it normally has only one carrier signal with six PWM channels; nevertheless, the HMI requires 12 PWM channels for both the main and auxiliary inverter. Thereafter, the reference signal of sinusoidal PWM

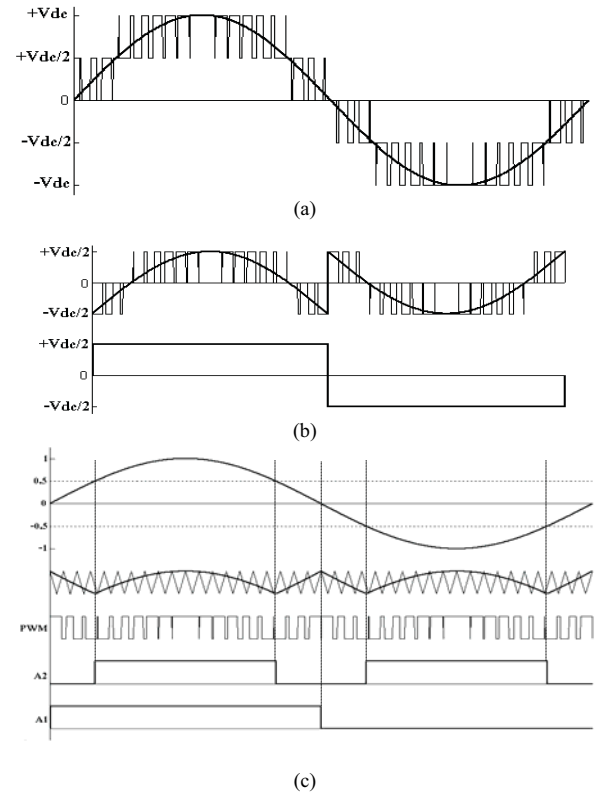


Fig. 2. Proposed PWM paradigm: (a) output phase voltage, (b) auxiliary and main inverter output voltages and (c) modulation signals of both main and auxiliary inverter.

(SPWM) used for the auxiliary inverter is modified by using equation (1)-(4). The multiplexing signals from (3) and (4) are used to synthesize a PWM signal by using the logic diagram as shown in Table I and Fig. 3. In this particular

application, PIC18F4431 single chip is used to generate the PWM signals incorporated with a CPLD XC9536XL to fabricate the PWM signals for the proposed HMI.

$$f(t) = m_a \cdot \sin(\omega t) \quad (1)$$

$$\frac{T_p}{T_c} = \begin{cases} 2\left(f(t) - \frac{1}{2}\right); \frac{1}{2} \leq |f(t)| \leq 1 \\ 2\left(\frac{1}{2} - f(t)\right); 0 \leq |f(t)| \leq \frac{1}{2} \end{cases} \quad (2)$$

$$A_1 = \begin{cases} 1; f(t) \geq 0 \\ 0; f(t) < 0 \end{cases} \quad (3)$$

$$A_2 = \begin{cases} 1; |f(t)| \geq \frac{1}{2} \\ 0; |f(t)| < \frac{1}{2} \end{cases} \quad (4)$$

where $f(t)$ is a reference signal,

m_a is modulation index (0.0/1.0-1.0/1.0),

A_1 is a multiplexing signal #1,

A_2 is a multiplexing signals #2,

$\frac{T_p}{T_c}$ is pulse width of PWM (0.0–1.0).

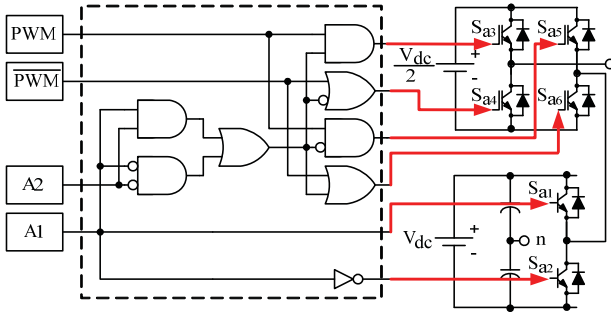


Fig. 3. Logic diagram for converter control signal.

TABLE I.
FABRICATED PWM SIGNAL FOR PROPOSED HYBRID
MULTILEVEL INVERTER

S_n	Hybrid PWM mixing operator
S_{a1}	$A1$
S_{a2}	$\overline{A1}$
S_{a3}	$PWM \bullet ((A2 \bullet A1) + (\overline{A2} \bullet \overline{A1}))$
S_{a4}	$\overline{PWM} + ((A2 \bullet A1) + (\overline{A2} \bullet \overline{A1}))$
S_{a5}	$PWM \bullet ((A2 \bullet A1) + (\overline{A2} \bullet \overline{A1}))$
S_{a6}	$\overline{PWM} + ((A2 \bullet A1) + (\overline{A2} \bullet \overline{A1}))$

III. HYBRID CONVERTER SIMULATION

PSIM (Powersim) [11] and MATLAB/Simulink are utilized to create the simulation model. MATLAB/Simulink is used to simulate the control signals and PSIM acts as a hardware prototype. This simulation model could offer the simplicity of a changing control scheme and simple to transfer the control model from simulation to implementation in a single chip. Fundamental output voltages can be controlled by changing a modulation index (m_a) of the reference signal; also, the fundamental output frequency can be adjusted by changing the frequency of the reference signal.

The simulation results of the proposed hybrid multilevel

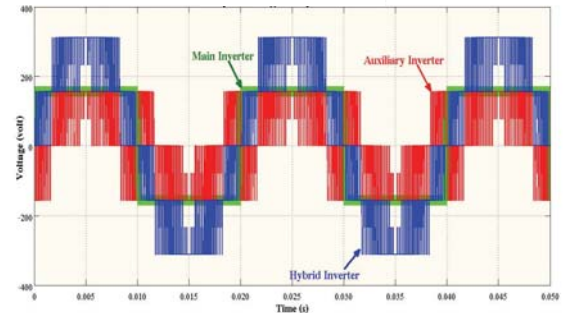


Fig. 4. Output voltage of main and auxiliary inverter operated at $m_a = 0.9/1.0$.

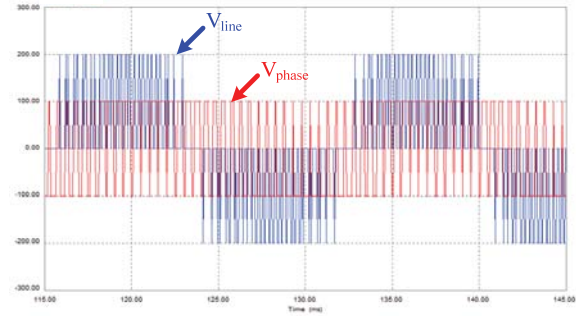


Fig. 5. Line to line and line to neutral output voltage of the hybrid inverter operated at $m_a = 0.48/1.0$.

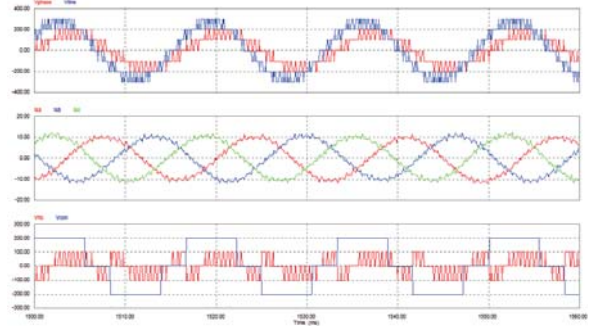


Fig. 6. Line to line and line to neutral output voltage and output current of the hybrid inverter operated at $m_a = 0.9/1.0$.

inverter are illustrated in Figs. 4-6. As can be seen, the simulation model can operate at different modulation indices. The simulation results for switching losses have been performed in [12] to compare between the conventional cascaded multilevel inverter and the proposed hybrid multilevel inverter. The simulation study in [12] shows that switching losses of the proposed HMI are less than the conventional cascaded multilevel inverter by about 26 % for a 3 kW load. This result illustrates that the system efficiency could improve by using the proposed HMI.

IV. RECONFIGURATION TECHNIQUE

The neutral shift (NS) technique proposed in [13] can also be applied in HMI during a fault condition. The essence of NS technique is the adjustment angle of neutral point of three phase wye-connection system as shown in Fig. 7. Obviously, the line to neutral voltages (V_{an}, V_{bn}, V_{cn}) are not out of phase with each other by 120° as usual; however, the line to line voltages (V_{ab}, V_{bc}, V_{ca}) are balanced even though the auxiliary power cell on phase b is malfunctioning. The angles of reference signals to shift the neutral point under a fault condition at an auxiliary inverter in each phase can be calculated as follows:

A. Faulty auxiliary cell at phase a :

$$\theta_a = 60^\circ + \cos^{-1}\left(\frac{V_{an} \cdot \sin(30^\circ)}{V_{bn}}\right); \quad (5)$$

$$\theta_c = \theta_a; \quad (6)$$

$$\theta_b = 360^\circ - \theta_a - \theta_c. \quad (7)$$

B. Faulty auxiliary cell at phase b :

$$\theta_b = 60^\circ + \cos^{-1}\left(\frac{V_{bn} \cdot \sin(30^\circ)}{V_{cn}}\right); \quad (8)$$

$$\theta_a = \theta_b; \quad (9)$$

$$\theta_c = 360^\circ - \theta_a - \theta_b. \quad (10)$$

C. Faulty auxiliary cell at phase c :

$$\theta_c = 60^\circ + \cos^{-1}\left(\frac{V_{cn} \cdot \sin(30^\circ)}{V_{an}}\right); \quad (11)$$

$$\theta_b = \theta_c; \quad (12)$$

$$\theta_a = 360^\circ - \theta_b - \theta_c. \quad (13)$$

A calculated example of faulty auxiliary inverter at phase b is elucidated as follows:

$$\theta_b = 60^\circ + \cos^{-1}\left(\frac{120 \cdot \sin(30^\circ)}{150}\right);$$

$$\theta_b = 136.66^\circ;$$

$$\begin{aligned} \theta_a &= \theta_b = 136.33^\circ; \\ \theta_c &= 360^\circ - 136.66^\circ - 136.66^\circ; \\ \theta_c &= 87.34^\circ. \end{aligned} \quad (14)$$

One can see that the computational process is simple so that this reconfiguration method would be implemented in a single chip. It should be noted that this proposed reconfiguration can be only performed under a fault in the auxiliary inverter. If the fault occurs at the main inverter, all auxiliary inverters are bypassed; then, the conventional six switches fault tolerance technique could be used as discussed in [14]. Of course, the high quality output voltage waveform and full rated power operation can not be possible; however, the amount of reduction of the rated power and waveform quality that can be tolerated depends upon the HIM applications; nevertheless, in most cases a reduction of the rated power is more preferable than a complete shutdown. In this particular application, the HMI is used to supply the air conditioning system; therefore, the reduced power operation and waveform quality would be acceptable.

V. EXPERIMENTAL SETUP AND RESULTS

The 3-kW prototype was developed by using IGBT (FAIRCHILD G20N60B30 40 A 600 V) in both the main inverter and in the auxiliary inverter. The multiple winding transformer with bidirectional ac-dc converter were used as SDCS for supplying dc voltages to the HMI. A 1-hp induction motor and R-L elements were used as a load to emulate an air conditioning compressor. A Yokogawa oscilloscope incorporated with a PC was used to perform a measurement unit. The experimental setup is shown in Fig. 8.

Experimental results illustrated in Fig. 9(a) shows the output line to neutral voltage and line output current of the proposed HMI operating at unity modulation index. As can be seen, the HMI can operate in PWM mode with an output current. The output voltages of main and auxiliary inverter

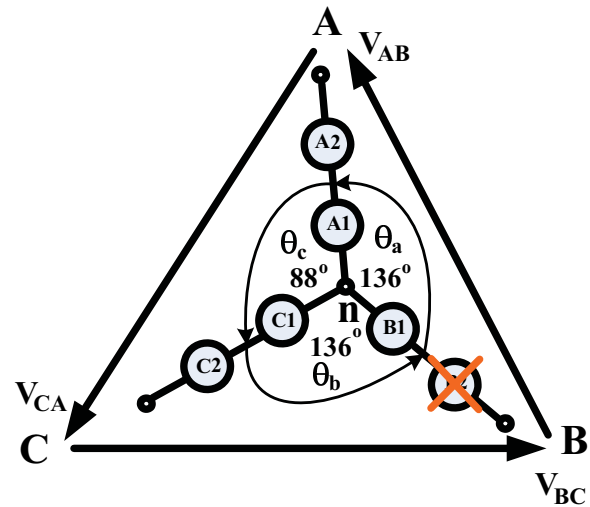
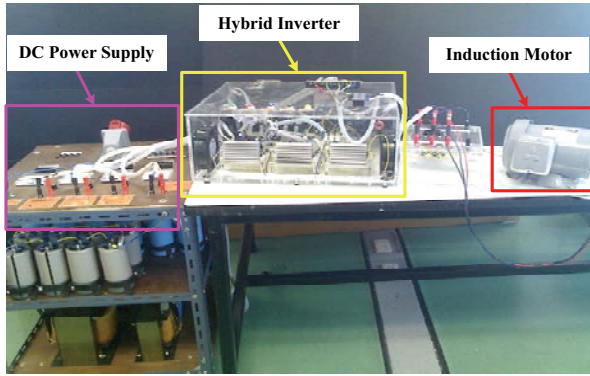
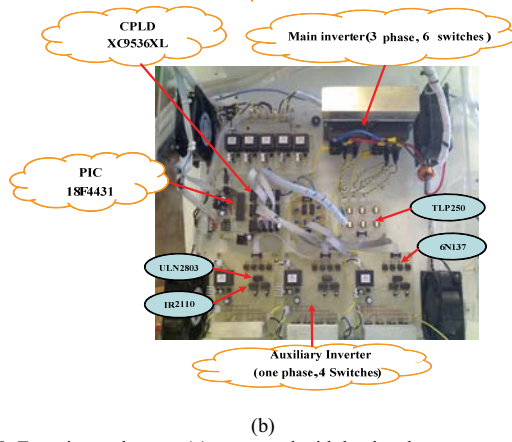


Fig. 7. The “neutral shift method [7]” for a reconfiguration technique.



(a)



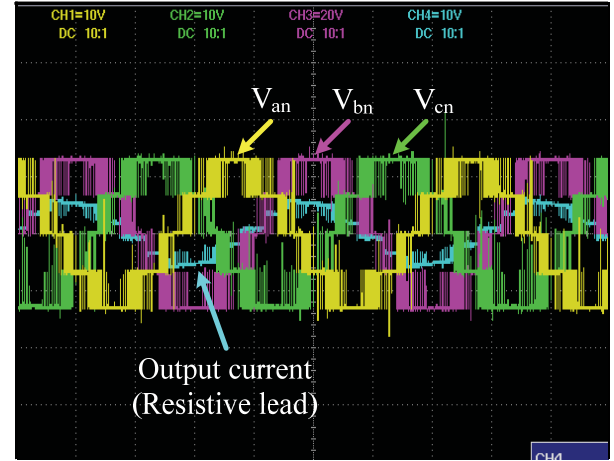
(b)

Fig. 8. Experimental setup: (a) connected with load and measurement unit, and (b) proposed hybrid multilevel inverter.

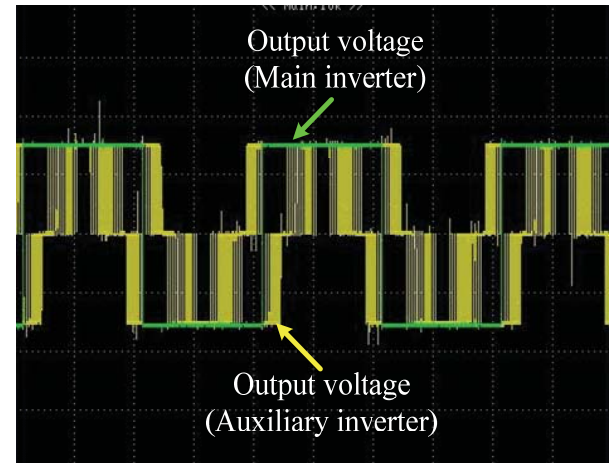
are depicted in Fig. 9(b). Clearly, the main inverter operates in square wave mode, but the auxiliary inverter operates in PWM mode. The output waveform quality in PWM mode is shown in Fig 9(c). The output voltages of the HMI with different m_a operation are shown in Fig. 10. One can see that the fundamental output voltage can be controlled by adjusting m_a ; this implies that the HMI can also be applied in drive applications requiring V/f control mode.

The proposed HMI efficiency is evaluated as illustrated in Fig. 11 and Fig. 12. The voltage, current, and power waveform on the dc side are shown in Fig. 11, whereas the voltage, current, and power waveforms on the ac side are depicted in Fig. 12. The power consumption operating at unity modulation index on dc and ac side is summarized in Table II. The results show that the proposed HMI efficiency is about 97.33% in this particular load condition. As can be seen, the proposed HMI can be applied with renewable energy resources; more specially, when multiple separate dc sources is available. For instance, a battery or fuel cell can interface with main inverter and ultra capacitor or photovoltaic cell can also connect to auxiliary inverter.

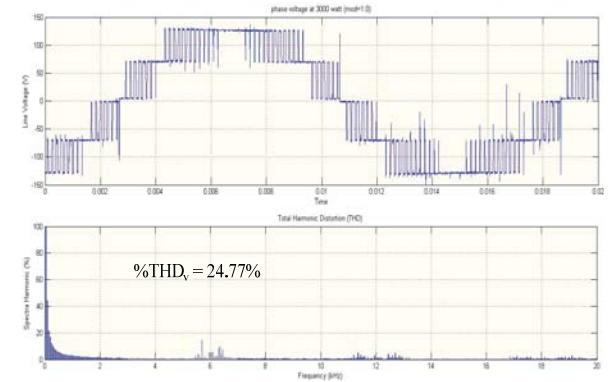
Fig. 13 shows the experimental results of the proposed HMI operating under faulty condition of auxiliary inverter at phase b . As can be seen, the waveform quality of output line



(a)



(b)

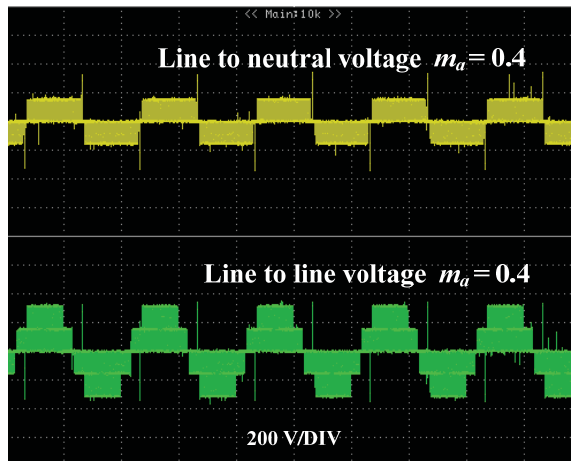


(c)

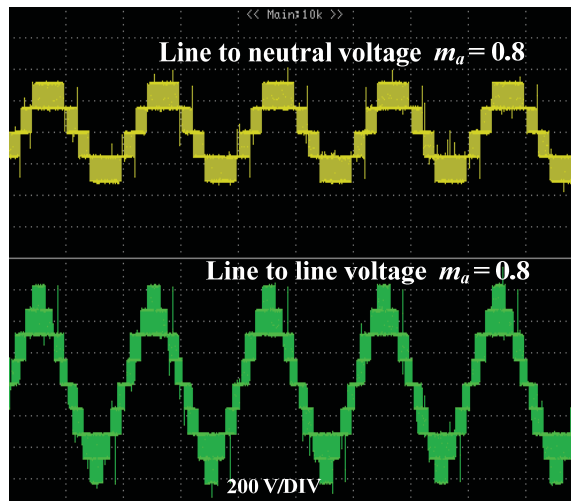
Fig. 9. Experimental results operating at $m_a=1.0/1.0$: (a) output line to neutral voltages and line current (b) output voltages of main and auxiliary inverter, (c) waveform quality of output voltage.

to neutral voltages and line to line voltages is distorted and unbalanced as depicted in Fig. 13(a) and (b). The deteriorated waveform quality and unbalanced line to line voltages due to auxiliary inverter at phase b failure are solved by using the reconfiguration technique as previously explained in section IV.

By utilizing the proposed HMI, a high quality output voltage waveform with high inverter efficiency and reliability can be achieved. In most cases, the HMI in renewable energy applications may not require a wide range of modulation indices; however, a wide range modulation index is needed for drive applications. Also, this HMI does require a half of dc input voltage of the main inverter supplying to the auxiliary inverter in order to achieve balanced output voltages.



(a)

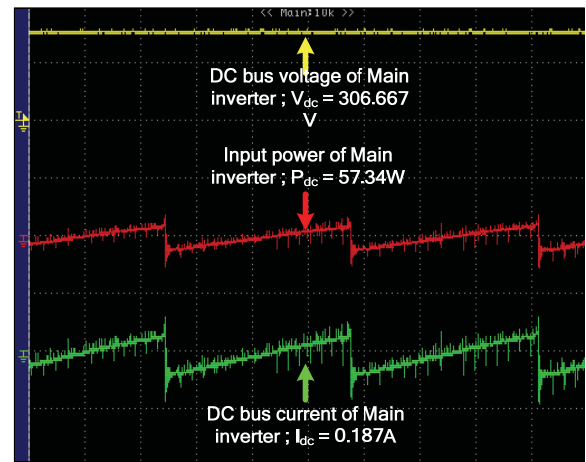


(b)

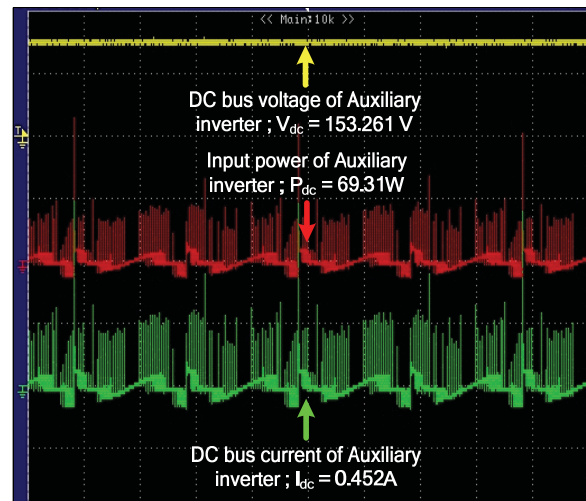
Fig. 10. Line to neutral and line to line voltage: (a) operating at $m_a = 0.4$, (b) operating at $m_a = 0.8$.

TABLE II.
EFFICIENCY EVALUATION OF PROPOSED HYBRID MULTILEVEL INVERTER

Description	dc side		ac side	
	Main inverter	Auxiliary inverter	Main inverter	Auxiliary inverter
Voltage (V)	306.7	153.3	153.3	113.8
Current (A)	0.187	0.452	0.322	0.322
Power (W)	265.2		258.1	
Total losses (W)	7.1			
% losses	2.67 %			

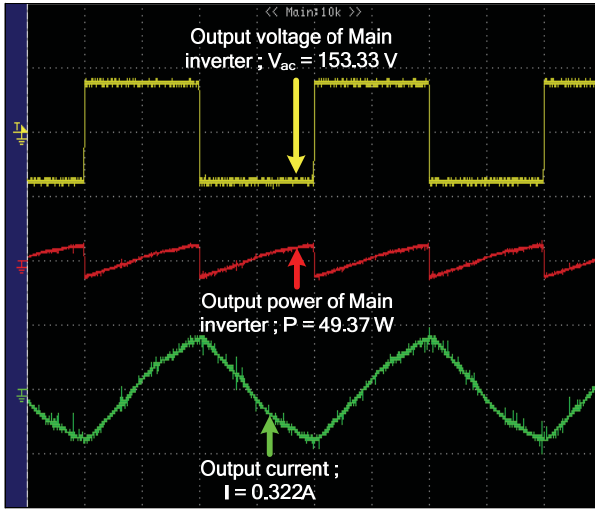


(a)

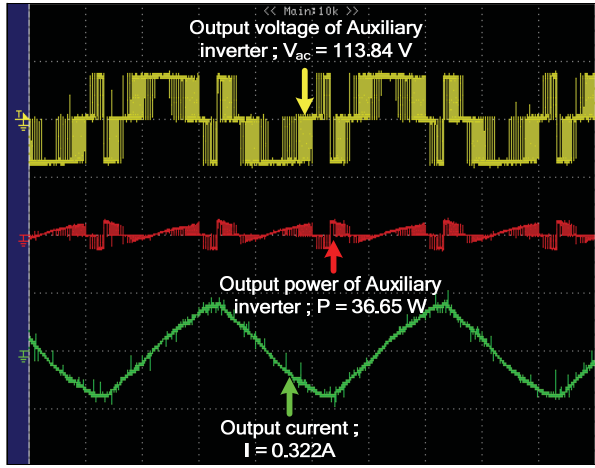


(b)

Fig. 11. Voltage, current and power waveform. operating at $m_a = 1.0/1.0$ on dc side: (a) main inverter, (b) auxiliary inverter.



(a)

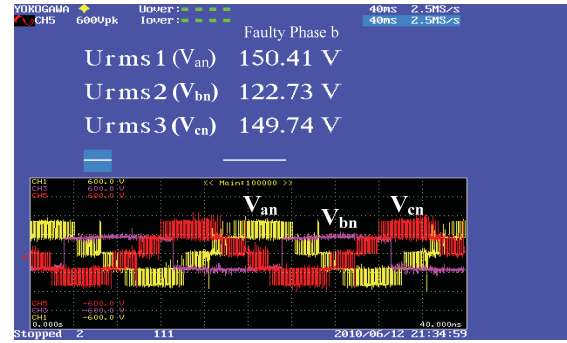


(b)

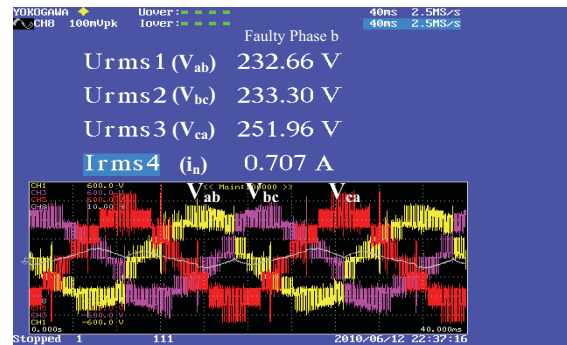
Fig. 12. Voltage, current and power waveform operating at $m_a = 1.0/1.0$ on ac side : (a) main inverter, (b) auxiliary inverter.

VI. CONCLUSION

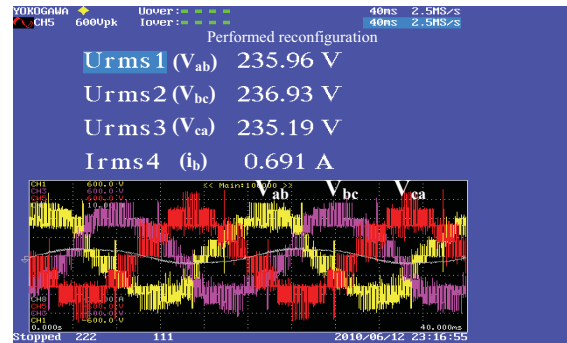
The hybrid cascaded multilevel inverter application for renewable energy resources including a reconfiguration technique has been proposed. The modified PWM technique has also been developed to reduce switching losses. Also, the proposed topology can reduce the number of required power switches compared to a traditional cascaded multilevel inverter. Simulation and experimental results have been validated including efficiency evaluation. The switching losses of the HMI are less than the conventional multilevel inverter; consequently, the system efficiency would be improved by utilizing the HMI. In addition, 97.33% inverter efficiency has been achieved based on this particular load condition. A possible reconfiguration technique after a fault condition has also been developed to improve the system reliability. The results show that proposed hybrid inverter



(a)



(b)



(c)

Fig. 13. Voltage and current waveforms showing: (a) Line to neutral voltages during fault at phase b condition, (b) Line to line voltages and neutral current during fault at phase b condition, (c) Line to line voltages and a line current after reconfiguration.

topology is a promising method for a low voltage dc microgrid interfacing with renewable energy resources in a telecommunication building.

ACKNOWLEDGEMENT

This work is supported by King's Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang Research Fund and Thailand Research Fund under MRG5280027 contact number.

REFERENCES

- [1] R. Lasseter, "Microgrid," *Proc. IEEE Power Engineering Society Winter Meeting 2002*, pp. 305-308.
- [2] F. Z. Peng, Y. W. Li, L. M. Tolbert, "Control and Protection of Power Electronics Interfaced Distributed Generation Systems in a Customer-Driven Microgrid," *IEEE Power and Energy Society General Meeting*, Alberta, Canada, July 26-30, 2009.
- [3] Hiroaki Kakigano, Yushi Miura, Toshifumi Ise, Ryohei Uchida, "DC Micro-grid for Super High Quality Distribution -System Configuration and Control of Distributed Generations and Energy Storage Devices," *37th Annual IEEE Power Electronics Specialists Conference*, Korea, 2006, pp. 3148-3154.
- [4] D. Salomonson, and A. Sannino, "Low-Voltage DC Distribution System for Commercial Power System with Sensitive Electronic Loads," *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 22, no. 3, July 2007 pp 1620-1627
- [5] S. Khomfoi, L. M. Tolbert, "Multilevel Power Converters," *Power Electronics Handbook*, 2nd Edition Elsevier, 2007, ISBN 978-0-12-088479-7, Chapter 17, pp. 451-482.
- [6] S. Daher, J. Schmid, F. L. M. Antunes, "Multilevel Inverter Topologies for Stand-Alone PV Systems," *IEEE Trans. on Industry Electronics*, vol. 55, no. 7, pp. 2703-2711, July 2008.
- [7] M. D. Manjrekar, P. Steimer, T. A. Lipo, "Hybrid Multilevel Power Conversion System: A Competitive Solution for High Power Applications," *IEEE Trans. on Industry Applications*, vol. 36, no. 3, pp. 834-841, May/June 2000.
- [8] Z. Du, B. Ozpineci, L. M. Tolbert, J. N. Chiasson, "A Novel Inductorless DC-AC Cascaded H-bridge Multilevel Boost Inverter for Electric/Hybrid Electric Vehicle Applications," *IEEE Industry Applications Society Annual Meeting*, September 23-27, 2007, New Orleans, Louisiana, pp. 603-608.
- [9] H. Liu, L. M. Tolbert, B. Ozpineci, Z. Du, "Comparison of Fundamental Frequency and PWM Methods Applied on a Hybrid Cascaded Multilevel Inverter," *IEEE Industrial Electronics Society Annual Conference*, Orlando, Florida, Nov. 10-13, 2008, pp. 3233-3237.
- [10] S. Khomfoi, A. Chatrchai, "A 5-Level Cascaded Hybrid Multilevel Inverter for Interfacing with Renewable Energy Resources," *Proceedings of The 2009 Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications, and Information Technology*, Chonburi, May 6-9, 2009, pp. 284-287.
- [11] Powersim Inc, *PSIM User's Guide Version 6*, Powersim Inc, 2003, <http://www.powersimtech.com>.
- [12] N. Praisuwan, S. Khomfoi, "A Hybrid Cascaded Multilevel Inverter," *Proceedings of The 2010 Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications, and Information Technology*, Changmai, May 19-21, 2010, pp. 1041-1044
- [13] D. Eaton, J. Rama, P. W. Hammond, "Neutral Shift," *IEEE Industry Applications Magazine*, Nov./Dec. 2003, pp. 40-49.
- [14] B. A. Welchko, T. A. Lipo, T. M. Jahns, S. E. Schulz, "Fault Tolerant Three-Phase AC Motor Drive Topologies: A Comparison of Features, Cost, Limitations," *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 19, no. 4, Jul. 2004, pp. 1108-1116.