

การออกแบบวงจรอินเวอร์เตอร์โดยใช้ IGBT แบบแยกส่วนเพื่อทดแทน IPM ในการขับมอเตอร์ The design of an inverter circuit using discrete IGBT to replace IPM for driving motor

กฤษ เอย์ไสย^{1*} ณัฐพงษ์ แก่นมาลี¹ และ ไพรยา เอย์ไสย²

¹สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น kritchaisai@kku.ac.th k.nattapong.2559@gmail.com

²สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น Pairaya@yahoo.com

บทคัดย่อ

บทความนี้แสดงการออกแบบวงจรอินเวอร์เตอร์โดยใช้ IGBT แบบแยกส่วนเพื่อทดแทน IPM (Intelligent Power Module) ในการขับมอเตอร์ โดยวงจรที่ออกแบบมีพิกัดกำลังไม่เกิน 5000W เพื่อนำไปใช้กับปั้มน้ำแบบมอเตอร์เหนี่ยวนำ 220V AC 50Hz ในระบบโซล่าเซลล์เพื่อการเกษตร และระบบโซล่าเซลล์ของประปาหมู่บ้าน เนื่องจากผลิตภัณฑ์ที่ใช้วงจร IPM นั้นมีความซับซ้อนในการจัดซื้อ และการซ่อมแซม รวมทั้งมีต้นทุนที่สูง จึงทำให้ทีมงานวิจัยต้องการที่จะเปลี่ยนจาก วงจร IPM เป็น IGBT แบบแยกส่วน ซึ่งจะสามารถแก้ปัญหาการผลิตและการจัดการบริการหลังการขายได้ดีขึ้น ภายในตัว IPM นั้นมีวงจรที่สำคัญคือ 1. วงจรขับเคลื่อน 2. วงจรป้องกันการลัดวงจร และ 3. เซ็นเซอร์อุณหภูมิ ซึ่งทีมงานวิจัยได้ทำการออกแบบวงจรทดแทนใหม่และสามารถใช้งานกับผลิตภัณฑ์เดิมได้เป็นอย่างดี

คำสำคัญ: IGBT, IPM, วงจรขับเคลื่อน, วงจรป้องกันการลัดวงจร, เซ็นเซอร์อุณหภูมิ

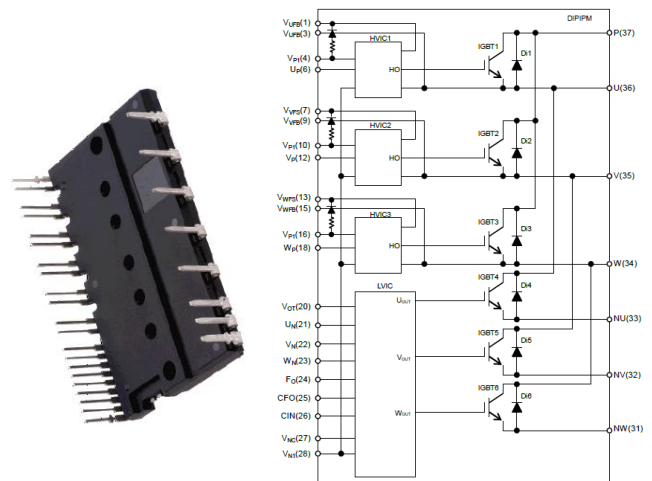
Abstract

This paper presents the design of an inverter circuit using discrete IGBTs to replace Intelligent Power Modules (IPMs) for driving motors. The designed circuit has a power rating of up to 5000W for use with water pump induction motors. This application is specifically for 220V AC 50Hz systems within agricultural solar cell systems and village water supply solar cell systems. The decision to transition from IPM-based circuits to discrete IGBTs stems from the difficulties in procuring and repairing IPM products, as well as their high cost. The research team aims to resolve these issues by using discrete IGBTs, which will improve manufacturing and after-sales service management. IPMs typically integrate three key circuits are 1. Gate drive circuit 2. Short-circuit protection circuit and 3. Temperature sensor. The research team has successfully designed a new replacement circuit that functions effectively with existing products.

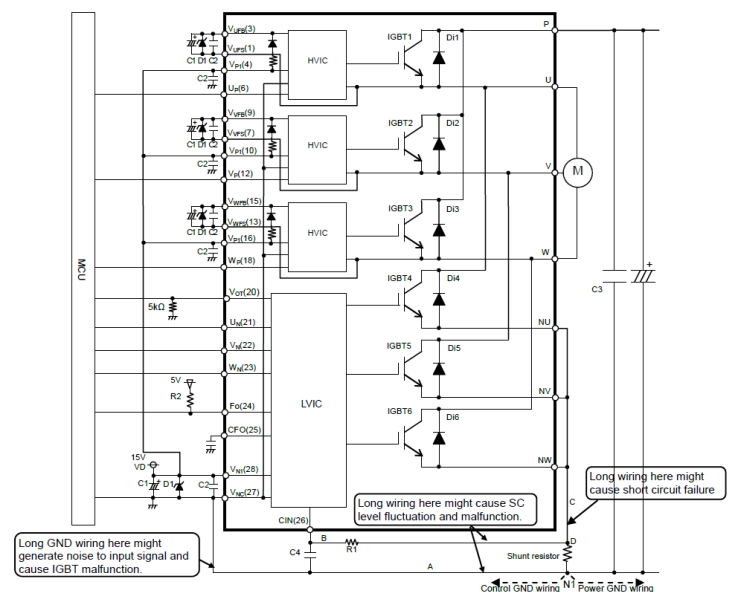
Keywords: IGBT, IPM, gate drive circuit, Short-circuit protection, Temperature sensor

1. บทนำ

การออกแบบและผลิตอินเวอร์เตอร์ที่ใช้ IPM นั้นจะทำให้อุปกรณ์ที่ใช้ภายนอกมีจำนวนไม่มากนักเนื่องจากภายในตัว IPM มีโครงสร้างวงจรที่สำคัญไว้แล้วซึ่งเมื่อนำมาผลิตในสายการผลิตจะทำให้ง่ายในการประกอบโครงสร้างของ IPM จะแสดงในรูปที่ 1 ส่วนรูปที่ 2 จะแสดงการต่อใช้งาน IPM ร่วมกับ MCU จากรูปที่ 2 จะเห็นได้ว่าจำนวนอุปกรณ์ที่ใช้ในวงจร



รูปที่ 1 IPM และโครงสร้างวงจรภายใน



รูปที่ 2 วงจรการต่อใช้งานของ IPM

นั้นไม่มากทำให้การออกแบบไม่ซับซ้อนจึงเป็นที่นิยมนำ IPM ไปใช้ในอินเวอร์เตอร์อย่างกว้างขวาง แต่ในมุมมองของอุตสาหกรรมขนาดเล็ก หรือ SME นั้น ราคาของ IPM ยังสูงอยู่เมื่อเทียบกับราคารวมของผลิตภัณฑ์ เป็นผลให้การซ่อมและบริการหลังการขายมีต้นทุนที่สูงตามไปด้วย ในมุมมองที่ต่างกัน ถ้าสามารถสร้างโครงสร้างภายในของ IPM ขึ้นมาเองโดยใช้อุปกรณ์เพิ่มขึ้นภายนอกจะทำให้สามารถลดต้นทุนของวงจรลงได้เนื่องจากปัจจุบันอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์มีราคาที่ต่ำกว่าเมื่อเทียบกับการใช้

IPM นอกจากนี้อาจสามารถทำได้โดยการเปลี่ยนเฉพาะในส่วนที่เสียหายทำให้ค่าซ่อมบำรุงไม่สูงมากเมื่อเทียบกับการเปลี่ยน IPM การออกแบบวงจรเพื่อทดแทน IPM จะมีวงจรหลักอยู่ 3 ส่วนคือ 1. วงจรขับเคลื่อน IGBT 2. วงจรป้องกันการลัดวงจรของโหลด และ 3. เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิของฮีทซิงค์

2. การออกแบบวงจรไฟฟ้า

ต่อไปนี้จะแสดงการออกแบบวงจรเพื่อทดแทน IPM โดยใช้ IGBT แบบแยกส่วน และวงจรประกอบอื่นๆ

2.1 วงจรขับเคลื่อน IGBT

ในรูปที่ 3 แสดงวงจรอินเวอร์เตอร์โดยใช้ IGBT แบบแยกส่วน โดยใช้ IGBT ทั้งหมด 6 ตัว [1][2] ซึ่งขาออกจะต่อไปที่โหลดมอเตอร์เหนี่ยวนำ [5] AC 220V 50Hz พิกัดของโหลดไม่เกิน 5000W การให้ IGBT ทำงานจะต้องเชื่อมต่อสัญญาณขับเคลื่อนมาที่ตัว IGBT แต่ละตัว นอกจากนี้ยังมี R shunt เพื่อจับกระแสของอินเวอร์เตอร์และตรวจจับการลัดวงจรของโหลด

รูปที่ 4 แสดงวงจรขับเคลื่อน IGBT ของอินเวอร์เตอร์โดยใช้ IC gate drive [3][4] สัญญาณขาออกจากวงจรนี้จะนำไปเชื่อมต่อกับ IGBT ในรูปที่ 3 เพื่อให้ IGBT ทำงาน วงจรขับเคลื่อนจะรับสัญญาณ PWM [6] จาก MCU ซึ่งมี dead time รวมอยู่ด้วย IC แต่ละตัวจะขับเคลื่อนด้านบนและด้านล่างรวมกันเพื่อสร้างสัญญาณ 1 เฟส ทำให้ต้องใช้ IC 3 ตัว และสัญญาณขาเข้าทั้งหมด 6 เส้นจาก MCU นอกจากนี้จะมีการควบคุมให้ IGBT ทั้งหมดอยู่ในสถานะ OFF อย่างรวดเร็วเมื่อมีการลัดวงจร จึงจำเป็นต้องมีสัญญาณ PWM_SD เพื่อให้ IC ขับเคลื่อนหยุดการทำงานทันที โดยสัญญาณนี้จะควบคุม IC ขับเคลื่อนทุกตัวเป็นผลให้ IGBT ทั้งหมด OFF อย่างรวดเร็ว

2.2 วงจรป้องกันการลัดวงจร

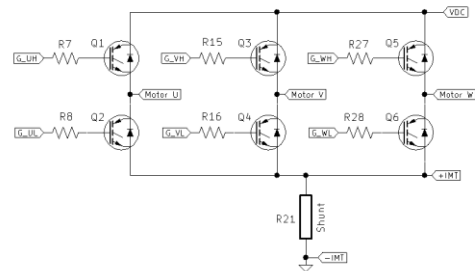
รูปที่ 5 แสดงวงจรป้องกันการลัดวงจรโดยการให้ IGBT หยุดทำงาน วงจรนี้จะนำกระแสของอินเวอร์เตอร์มาเปรียบเทียบกับค่ากระแสที่ตั้งไว้ หากกระแสไหลเกินกำหนดจะสร้างสัญญาณ PWM_SD ออกมาเพื่อให้วงจรขับเคลื่อนหยุดการทำงานทันที วงจรเปรียบเทียบกับค่ากระแสจะใช้ comparator IC และมี TR เพื่อขยายสัญญาณที่ขาออก

2.3 เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ

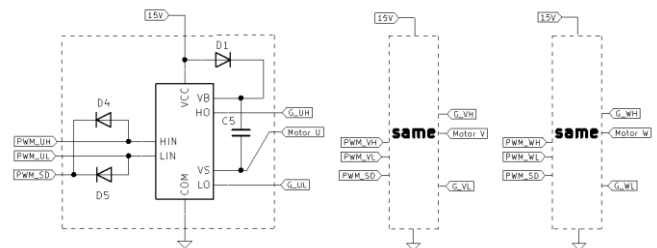
รูปที่ 6 แสดงเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิชนิด NTC (Negative Temperature Coefficient) และการต่อใช้งาน เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิชนิด NTC จะเปลี่ยนความต้านทานตามอุณหภูมิที่เปลี่ยนไป เมื่อต่อวงจรตามรูปจะทำให้แรงดันขาออก Temp จะมีค่าเปลี่ยนไปซึ่งสามารถนำไปเชื่อมต่อกับ MCU เพื่อประมวลผลให้เป็นอุณหภูมิได้ เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิชนิด NTC นี้จะนำไปติดตั้งไว้กับฮีทซิงค์ของ IGBT เพื่อวัดอุณหภูมิของ IGBT และฮีทซิงค์

3. ผลการทดลองและสัญญาณทางไฟฟ้า

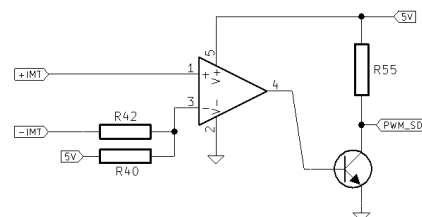
รูปที่ 7 แสดงสัญญาณ PWM และ dead time จาก MCU สัญญาณจาก MCU มีระดับ 0-3.3V PWM ความถี่ 4kHz และ dead time 4us สัญญาณนี้จะไปเชื่อมต่อกับวงจรขับเคลื่อน IGBT ในรูปที่ 4 โดยมีสัญญาณ PWM มีทั้งหมดจำนวน 6 เส้น



รูปที่ 3 วงจรอินเวอร์เตอร์โดยใช้ IGBT แบบแยกส่วน



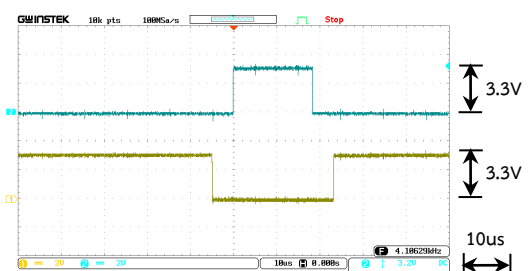
รูปที่ 4 วงจรขับเคลื่อน IGBT ของอินเวอร์เตอร์โดยใช้ IC gate drive



รูปที่ 5 วงจรป้องกันการลัดวงจรโดยการให้ IGBT หยุดทำงาน



รูปที่ 6 เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ NTC และการต่อใช้งาน



รูปที่ 7 สัญญาณ PWM และ dead time จาก MCU

รูปที่ 8 แสดงสัญญาณ PWM ที่ขา gate ของ IGBT จากรูปแสดงให้เห็น dead time ที่เหลื่อมกันโดยมีแรงดันสูงสุดที่ 15V ซึ่งทำให้ IGBT อยู่ในสถานะ ON อย่างเต็มที่ สัญญาณขาขึ้นและขาลงจะมีลักษณะโค้งมนเนื่องจาก IGBT ขาเกตมีค่าความจุแฝงอยู่

รูปที่ 9 แสดงแรงดันและกระแสของอินเวอร์เตอร์ขณะที่ขับมอเตอร์เหนี่ยวนำแบบ 1 เฟส กำลังที่ใช้ขับมอเตอร์ 1500W จากรูปที่ 9 แสดงแรงดันของ 2 เฟส และกระแส 2 เฟส ซึ่งทั้งแรงดันและกระแสมีค่าไม่เท่ากันเนื่องจากมอเตอร์แบบ 1 เฟส ต้องการแรงดันที่ขั้ว Common, Run, Start ไม่เท่ากัน

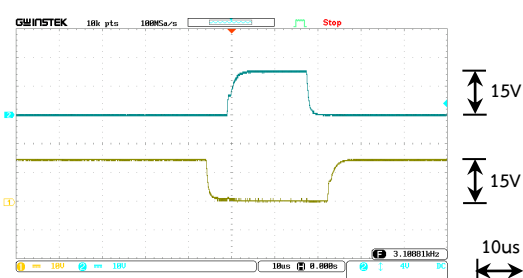
รูปที่ 10 แสดงแรงดันและกระแสของอินเวอร์เตอร์เมื่อมีการลัดวงจรขาออก จากรูปจะเห็นได้ว่าเมื่อมีการลัดวงจรอินเวอร์เตอร์จะตัดแรงดันขาออกทันที ทำให้กระแสหยุดไหลทันที โดยไม่มีความเสียหายที่ตัวอินเวอร์เตอร์จากการลัดวงจร และเมื่อทำการรีเซ็ตอินเวอร์เตอร์ใหม่ก็สามารถทำงานได้ตามปกติอีกครั้ง

รูปที่ 11 แสดงหน้าจอแสดงอุณหภูมิและข้อมูลที่สำคัญ เมื่อนำแรงดันจากรูปที่ 6 ไปประมวลผลโดย MCU ก็สามารถคำนวณให้เป็นอุณหภูมิแบบเซลเซียสได้

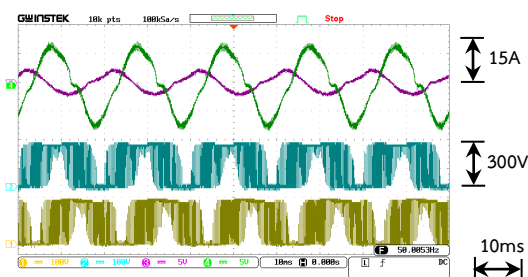
4. การประกอบผลิตภัณฑ์

รูปที่ 12 แสดงแผงวงจรที่ใช้ IPM (ก่อนปรับปรุง) ส่วน รูปที่ 13 แสดงแผงวงจรที่ใช้ IGBT แบบแยกส่วน (หลังปรับปรุง) เมื่อทำการเปรียบเทียบทั้งสองรูปจะเห็นว่า แผงวงจรที่ใช้ IPM จะมีอุปกรณ์ขนาดเล็กจำนวนมากน้อยกว่าแผงวงจรที่ใช้ IGBT แบบแยกส่วน เนื่องจาก IPM มีวงจรที่จำเป็นอื่นๆไว้ในตัวแล้ว ส่วนการใช้ IGBT แบบแยกส่วนนั้นจะต้องมีอุปกรณ์เพิ่มขึ้นเช่นวงจร ขับเกตและอื่นๆ ทั้งนี้ทั้งนั้น ทั้งสองวงจรในรูปที่ 12 และรูปที่ 13 สามารถทำงานได้เช่นเดียวกัน

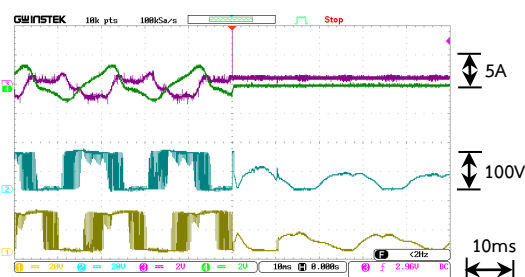
รูปที่ 14 แสดงการประกอบแผงวงจรลงกล่องและผลิตภัณฑ์ที่สำเร็จ แผงวงจรที่มี IGBT จะมีขนาดใหญ่ซึ่งจะนำไปติดตั้งลงกล่องเหล็ก โดยมีพัดลมขนาด 3 นิ้ว 12V เพื่อระบายความร้อนจากฮีตซิงค์ ส่วนฝาปิดเครื่องทำจากเหล็กโดยมีหน้าจอ LCD แสดงผลพร้อมทั้งปุ่มสวิตช์กดเพื่อสั่งการทำงาน และตั้งค่าของเครื่อง ส่วนรูปที่ 15 แสดงการทดสอบกับโหลด เพื่อทดสอบการทำงานและตรวจทานตัวเครื่องก่อนนำส่งสินค้า



รูปที่ 8 สัญญาณ PWM ที่ขา gate ของ IGBT



รูปที่ 9 แรงดันและกระแสของอินเวอร์เตอร์ (Load motor 1500W)



รูปที่ 10 แรงดันและกระแสเมื่อมีการลัดวงจรขาออก



รูปที่ 11 หน้าจอแสดงอุณหภูมิและข้อมูลที่สำคัญ



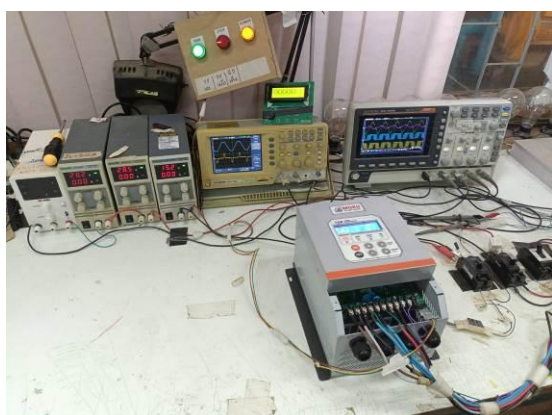
รูปที่ 12 แผงวงจรที่ใช้ IPM (ก่อนปรับปรุง)



รูปที่ 13 แผงวงจรที่ใช้ IGBT แบบแยกส่วน (หลังปรับปรุง)



รูปที่ 14 การประกอบแผงวงจรลงกล่องและผลิตภัณฑ์ที่สำเร็จ



รูปที่ 15 การทดสอบกับโหลด

5. สรุป

การออกแบบวงจรอินเวอร์เตอร์โดยใช้ IGBT แบบแยกส่วนเพื่อทดแทนการใช้ IPM ที่ได้นำเสนอไปนั้น จะมีการออกแบบวงจรหลัก 3 ส่วนคือ 1.วงจรขับเคลื่อน 2.วงจรป้องกันการลัดวงจร และ 3.เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ ซึ่งเป็นวงจรที่มีอยู่ใน IPM เมื่อนำวงจรทั้งหมดมาประกอบเป็นอินเวอร์เตอร์ตัวใหม่ ก็สามารถนำไปใช้กับปั๊มน้ำที่เป็นมอเตอร์เหนี่ยวนำ 220V AC 50Hz ในระบบโซล่าเซลล์เพื่อการเกษตร หรือระบบโซล่าเซลล์ของประปาหมู่บ้านได้ จากการพัฒนานี้ ทำให้ลดความซับซ้อนในการจัดหาวัตถุดิบในการผลิต ลดต้นทุนลงได้ 800-900 บาทต่อเครื่อง และสามารถแก้ปัญหาในการจัดการหลังการขายของผลิตภัณฑ์ได้เป็นอย่างดี โดยวงจรที่พัฒนาขึ้นมาใหม่นี้สามารถใช้งานได้เหมือนกับผลิตภัณฑ์เดิมทุกประการ

เอกสารอ้างอิง

- [1] K. Choeisai, N. Keanmalee, and . P. Choeisai, "The design of a gate drive circuit for inverter DC12V to AC220V", TEEJ, vol. 4, no. 3, pp. 19–22, Nov. 2024.

- [2] กฤษ เฉยไสย ญัฐพงษ์แก่นมาลี และ ไพรยา เฉยไสย , “ การออกแบบผลิตภัณฑ์ต้นแบบเครื่องแปลงไฟกระแสตรงเป็นไฟกระแสสลับ”, การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้าครั้งที่ 46, 15-17 พฤศจิกายน 2566
- [3] K. Choeisai and P. Saokaew, “A design of low cost gate drive using a single power supply for a threephased inverter”, *Eng Appl Sci Res*, vol. 33, no. 3, pp. 259–270, Feb. 2013.
- [4] J. Manerutanaporn, M. Daosawang, P. Buasri, and K. Choeisai, “Design of a single power supply for a gate drive circuit and a control circuit for a three phase inverter (Thai)”, *Asia Pac J Sci Technol*, vol. 14, no. 6, pp. 539–549, Apr. 2017.
- [5] J. Boonnakorn, M. Daosawang, P. Buasri, and K. Choeisai, “The improvement of induction motor efficiency using a TRIAC control system (Thai)”, *Asia Pac J Sci Technol*, vol. 14, no. 2, pp. 123–132, Apr. 2017.
- [6] K. Choeisai, V. Prasertcharoensuk, and A. Jantakun, “The Response of DC-Link Capacitance in a PWM Converter Inverter”, *Eng Appl Sci Res*, vol. 32, no. 3, pp. 331–340, Nov. 2015.



รศ. ดร. กฤษ เฉยไสย รองศาสตราจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยขอนแก่น งานวิจัยที่สนใจ อิเล็กทรอนิกส์กำลัง



นายญัฐพงษ์ แก่นมาลี วิศวกร/นักวิจัย งานวิจัยที่สนใจ อิเล็กทรอนิกส์กำลัง, ไมโครคอนโทรลเลอร์



รศ. ดร. ไพรยา เฉยไสย รองศาสตราจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น งานวิจัยที่สนใจ นวัตกรรมพลังงานและสิ่งแวดล้อม