

## การออกแบบแหล่งจ่ายไฟเดี่ยวสำหรับวงจรขับเคลื่อนและวงจรควบคุม ของอินเวอร์เตอร์สามเฟส

### Design of a Single Power Supply for a Gate Drive Circuit and a Control Circuit for a Three Phase Inverter

จารุวัฒน์ มณีรัตนพร (Jaruwat Manerutanaporn)<sup>1\*</sup>

มงคล ดาวสว่าง (Mongkol Daosawang)<sup>2</sup>

ปานหทัย บัวศรี (Panhathai Buasri)<sup>3</sup>

กฤษ เฉยไสย (Krit Choeisai)<sup>4</sup>

#### บทคัดย่อ

บทความนี้ได้นำเสนอการออกแบบแหล่งจ่ายไฟเดี่ยวสำหรับวงจรขับเคลื่อนและวงจรควบคุมของอินเวอร์เตอร์สามเฟสเพื่อใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งสามารถทำได้โดยการใช้ไดโอดที่มีคุณสมบัติยอมให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านได้ทิศทางเดียวทำหน้าที่ป้องกันการลัดวงจรของกระแสและใช้คาปาซิเตอร์เป็นแหล่งจ่ายให้กับวงจรขับเคลื่อนของมอเตอร์ต่อไป ในส่วนของวงจรขับเคลื่อนจะใช้ตัวเชื่อมโยงทางแสงเป็นอุปกรณ์แยกโคดสัญญาณซึ่งสามารถทำให้มอเตอร์กระแสและหยุดกระแสได้อย่างทันทีทันใด จากหลักการดังกล่าวสามารถนำมาใช้กับอินเวอร์เตอร์สามเฟสจะสามารถลดจำนวนแหล่งจ่ายไฟสำหรับวงจรควบคุมและวงจรขับเคลื่อนจาก 5 ชุดเหลือเป็น 1 ชุด จากการทดลองจะเห็นว่าอินเวอร์เตอร์ใช้แหล่งจ่ายไฟเดี่ยวสามารถขับมอเตอร์เหนี่ยวนำซึ่งอินเวอร์เตอร์ทำงานได้ปกติเหมือนกันกับที่ใช้แหล่งจ่ายไฟ 5 ชุด ใช้ได้ทั้งในสภาวะมีโหลดและไม่มีโหลด ทำให้อินเวอร์เตอร์มีขนาดเล็กลงและลดต้นทุนการผลิตได้

#### Abstract

This paper proposes the design of a single power supply for a gate drive circuit and a control circuit for a three phase inverter for an industrial plant. The proposed design uses diodes to allow the current flow to protect from short circuit current in the circuit and capacitors to supply stable power to the gate drive circuit. Furthermore opto-isolators are used in the design to isolate the control circuit and the high power side that contains MOSFETs switching at a high frequency. A single power supply is used to drive the gates.

<sup>1,2</sup>นักวิจัยและพัฒนา บริษัท ควอลิตี้ แอสเซมบลี (ไทยแลนด์) จำกัด 203/6-13 ถนนนคร ต.หมากแข้ง อ.เมือง จ.อุดรธานี 41000

<sup>3</sup>อาจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

<sup>4</sup>ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

\*Corresponding author, e-mail: Jaruwat\_ee7@hotmail.com

The experimental results show that the proposed method is fully functional when connected to a three-phase induction motor. The smaller physical size of the inverter results in system cost reduction compared with an inverter used in the conventional method.

**คำสำคัญ:** แหล่งจ่ายแรงดัน, วงจรขับเคลื่อน, อินเวอร์เตอร์, มอสเฟสกำลัง

**Keywords:** Voltage power supply, Gate drive circuit, Inverter, Power MOSFET

## บทนำ

ในปัจจุบันอินเวอร์เตอร์เพื่อควบคุมมอเตอร์เห็นยวนำเป็นที่นิยมใช้งานมากในงานอุตสาหกรรมทั้งขนาดใหญ่และขนาดเล็ก (S.Lee , 1996) มอเตอร์เห็นยวนำเป็นมอเตอร์ที่มีราคาถูกและสร้างได้ง่ายดังจะเห็นได้จากโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ จะมีมอเตอร์เห็นยวนำเป็นส่วนประกอบการใช้งานไม่ว่าจะเป็นระบบขับเคลื่อนในสายการผลิต พัดลม ปั๊มน้ำ เครื่องเย็น ระบบเครื่องทำความเย็นขนาดใหญ่ (HVAC) ฯลฯ และนิยมใช้อินเวอร์เตอร์ควบคุมเกือบทั้งหมด (HC Lovatt et al.,1989) เนื่องจากอินเวอร์เตอร์สามารถที่จะปรับแรงดันไฟฟ้าและความถี่ที่เหมาะสมจ่ายให้กับมอเตอร์ได้เพื่อช่วยในการปรับความเร็ว-แรงบิดและประหยัดพลังงาน ซึ่งอินเวอร์เตอร์ส่วนใหญ่จะใช้แหล่งจ่ายไฟแยกเป็น 2 ส่วนคือแหล่งจ่ายไฟส่วนของแรงดันต่ำประกอบด้วยแหล่งจ่ายไฟของตัวประมวลผล (MCU) วงจรควบคุม (Control Circuit) ต่อไปเป็นส่วนของแรงดันสูง ประกอบด้วยแหล่งจ่ายไฟของวงจรขับเคลื่อนจะมีแหล่งจ่ายไฟแยกกัน 4 ชุดเพื่อป้องกันการลัดวงจรของอินเวอร์เตอร์ระหว่างมอสเฟสที่อยู่ด้านบนกับด้านล่างซึ่งมี(B.K.Bose,1987) โครงสร้างอินเวอร์เตอร์ดังรูปที่ 1 ซึ่งมีแหล่งจ่ายไฟรวมทั้งหมด 5 ชุดด้วยกันทำให้อินเวอร์เตอร์มีขนาดใหญ่ มีต้นทุนสูงและใช้พื้นที่ประกอบวงจรมาก ในบทความนี้ได้นำเสนอแนวคิดการออกแบบอินเวอร์เตอร์โดยใช้แหล่งจ่ายไฟเดียวสำหรับอินเวอร์เตอร์สามเฟสขนาด 3 กิโลวัตต์ซึ่งเป็นขนาดที่โรงงานอุตสาหกรรมนิยมใช้มากที่สุดจากการทำแบบสอบถามจาก 90 ชุดดังจะได้

กล่าวต่อไป ซึ่งแหล่งจ่ายไฟเดียวที่นำเสนอโดยใช้เทคนิคการแปลงแรงดัน 380 Vac เป็น 220 Vac จ่ายให้กับหม้อแปลงเพื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงให้กับวงจรควบคุมและวงจรขับเคลื่อน แหล่งจ่ายของวงจรขับเคลื่อนจะใช้ไดโอดเพื่อป้องกันการลัดวงจรและใช้ตัวเก็บประจุเป็นแหล่งจ่ายไฟให้กับวงจรขับเคลื่อนของมอสเฟสในขณะที่มอสเฟสสลับกันทำงาน ในส่วนของวงจรขับเคลื่อนจะใช้ตัวเชื่อมโยงทางแสง (Opto-coupler) เป็นวงจรรวม (Integrated Circuit) ที่ทำหน้าที่ขับเคลื่อนโดยเฉพาะเพื่อขับเคลื่อนของมอสเฟสแทนวงจรขับเคลื่อนแบบเดิมที่ใช้ทั้งทรานซิสเตอร์และลอจิกเกตเพื่อจ่ายต่อการประกอบวงจร ซึ่งทำให้อินเวอร์เตอร์ที่ออกแบบนั้นมีขนาดเล็กและมีราคาต่ำลง

แต่ทว่าการสร้างต้นแบบของอินเวอร์เตอร์นั้นมีพื้นฐานมาจากปัจจัยหลายอย่างเช่นคุณสมบัติที่เหมาะสมในการใช้งานและต้นทุนการผลิต โดยเฉพาะอย่างยิ่งต้นทุนการผลิตนั้นส่วนใหญ่จะขึ้นอยู่กับอุปกรณ์ที่เลือกใช้ หากใช้อุปกรณ์เฉพาะทางเช่น โมดูล (Module) ซึ่งมีคุณสมบัติสูงจะมีราคาแพง ดังนั้นต้องออกแบบวงจรต่างๆ โดยใช้อุปกรณ์ที่มีใช้ทั่วไปและหาซื้อง่ายในท้องตลาด เลือกใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์น้อยชิ้นและเหมาะสมกับขีดจำกัดการใช้งาน เพื่อลดต้นทุนการผลิต ซ่อมแซมง่าย มีอายุการใช้งานนานซึ่งคุณสมบัติที่ได้กล่าวมานั้นจำเป็นจะต้องนำข้อมูลที่มาจากผู้ใช้งานจริงในโรงงานอุตสาหกรรมเพื่อให้อินเวอร์เตอร์มีคุณสมบัติตรงกับความต้องการในภาคอุตสาหกรรม จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะพัฒนาอินเวอร์เตอร์ให้มีราคาต่ำและเหมาะสมกับการใช้งาน

## ขนาดของอินเวอร์เตอร์ที่โรงงาน อุตสาหกรรม ต้องการ

คุณสมบัติของอินเวอร์เตอร์ที่โรงงานอุตสาหกรรมต้องการสามารถหาข้อมูลได้ด้วยการทำแบบสอบถามหรือการสอบถามโดยตรงกับผู้ใช้งาน ในบทความนี้จึงได้เลือกวิธีทำแบบสอบถาม ซึ่งแบบสอบถามที่ทำนั้นมีวัตถุประสงค์เพื่อสำรวจการใช้อินเวอร์เตอร์ในภาคอุตสาหกรรมว่ามีมากน้อยเพียงใด ขนาดที่ใช้มากที่สุดปัจจัยเลือกอินเวอร์เตอร์รุ่นที่นิยมใช้ใช้ฟังก์ชันอะไรมากที่สุด คุณสมบัติที่ต้องการให้อินเวอร์เตอร์มี และแผนการลงทุนในอนาคตแบบสอบถามที่จัดทำขึ้นส่งไปทั้งหมด 90 บริษัท จากข้อมูลในแบบสอบถามจะเห็นว่าขนาดอินเวอร์เตอร์ที่นิยมใช้มากที่สุดคือขนาดน้อยกว่า 3 HP ทั้ง 1 เฟส และ 3 เฟสดังรูปกราฟที่ 1 และ 2 ซึ่งจะได้อธิบายรายละเอียดต่อไป

จากรูปที่ 1 จะเห็นว่าในภาคอุตสาหกรรมจะนิยมใช้อินเวอร์เตอร์ 1 เฟส ขนาดที่ต่ำกว่า 3 แรงม้า เพราะว่ามีมอเตอร์ 1 เฟส ที่มีขนาดมากกว่า 3 แรงม้า จะมีขนาดใหญ่มาก และมีราคาแพงกว่า มอเตอร์ 3 เฟสมาก ส่วนของการใช้งานโดยมากแล้วอินเวอร์เตอร์ที่ใช้ในภาคอุตสาหกรรมนั้นเป็นการใช้งานกับสายพานลำเลียง เครื่องล้างชิ้นงานหรืออุปกรณ์ที่มีขนาดเล็กในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ ในส่วนของปั๊ม พัดลม เคนและรอก จะมีใช้งานน้อยแต่ก็มีบ้าง

จากรูปที่ 2 จะเห็นว่าอินเวอร์เตอร์ที่นิยมใช้มากที่สุดโรงงานอุตสาหกรรม คืออินเวอร์เตอร์ที่มีขนาดน้อยกว่า 3 HP และส่วนที่ใช้งานเยอะที่สุดจะเป็นสายพานลำเลียง การควบคุมการเคลื่อนที่ ส่วนงานอื่นๆ ก็จะมีใช้งานบ้าง ส่วนขนาดที่ใช้มากที่สุดรองลงมาจะเป็นขนาด 3 HP - 10 HP ขนาด 3 HP ส่วนใหญ่ใช้กับการควบคุมการเคลื่อนที่และใช้งานอื่นๆ ส่วนอินเวอร์เตอร์ที่มีขนาดมากกว่า 20 HP จะเป็นการใช้เฉพาะงานเท่านั้นส่วนมากจะเป็นพวกอุตสาหกรรมหนักจำพวกอุตสาหกรรมเหล็ก ทำเรือ น้ำตาล ฯลฯ

ในส่วนของการใช้งานผู้ใช้งานอินเวอร์เตอร์ส่วนมากแล้วเป็นการปรับความเร็วเกือบทั้งหมดและต้องการให้อินเวอร์เตอร์มีราคาต่ำลงหาซื้อได้ง่าย เนื่องจากอินเวอร์เตอร์ที่มีอยู่ในปัจจุบันส่วนมากนำเข้ามาจากต่างประเทศทำให้เสียค่าการนำเข้าเป็นจำนวนมาก จึงมีความจำเป็นที่จะต้องพัฒนาและสร้างต้นแบบอินเวอร์เตอร์ราคาต่ำเป็นต้นแบบผลิตภัณฑ์ของคนไทย เพราะว่ามีผลิตภัณฑ์ที่เป็นของคนไทยมีน้อยตามข้อมูลในแบบสอบถาม เช่นยี่ห้อ NSI-Inverter และ T-Inverter

## หลักการออกแบบอินเวอร์เตอร์

จากรูปที่ 3 จะเห็นได้ว่าแรงดันไฟฟ้าด้านเข้าสามเฟส ( S.Lee , 1996) ถูกแปลงเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงโดยวงจรบริดจ์สามเฟส จากนั้นจึงเปลี่ยนจากแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงให้เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับสามเฟสที่มีขนาดแรงดันและความถี่ที่เหมาะสมเพื่อจ่ายให้กับมอเตอร์เหนี่ยวนำ การแปลงจากไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับสามเฟสนั้นจะใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลังเช่น มอสเฟต (MOSFET) หรือ ไอจีบีที (IGBT) ทั้งหมด 6 ตัว ทำการสวิตช์ เปิด-ปิดวงจรตามสัญญาณควบคุมที่ดับบลิวเอ็ม (PWM) ที่ได้จากวงจรควบคุมจากไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) ผ่านทางวงจร Dead time และวงจรขับเคลื่อนของมอสเฟต

โดยทั่วไป (กฤษและประยงค์, 2533) วงจรขับเคลื่อนจะต้องการคุณสมบัติที่สำคัญสองประการคือการแยกโดด สัญญาณควบคุมที่มีกำลังต่ำออกจากมอสเฟตที่มีกำลังสูงเพื่อป้องกันการรบกวนของสัญญาณ ประการที่สองมอสเฟตต้องสามารถนำกระแสหรือหยุดนำกระแสได้อย่างรวดเร็วเพื่อลดความสูญเสียจากการสวิตช์ (Switching Loss) ซึ่งในอดีตวงจรขับเคลื่อนที่สร้างขึ้นจะมีความซับซ้อนยุ่งยากในการประกอบ เพราะมีอุปกรณ์หลายตัวทั้งทรานซิสเตอร์และลอจิกเกต

การแยกโดดสัญญาณทำได้โดยเลือกใช้ตัวเชื่อมต่อทางแสงที่สามารถทำงานได้ดีที่ความถี่สูงและมีการเปลี่ยนสถานะได้อย่างรวดเร็วแทนการใช้หม้อแปลงแยกขด (Isolation Transformer) ที่หาซื้อ

ได้ยาก มีขนาดใหญ่กินพื้นที่มาก การทำให้มอเตอร์นำกระแสและหยุดนำกระแสอย่างรวดเร็วทำได้โดยการใส่ประจุและดึงประจุออกจากขาเกตของมอเตอร์เพื่อกระตุ้นให้การสะสมประจุและการคายประจุของเกตในมอเตอร์เป็นไปอย่างรวดเร็วจากหลักการดังกล่าววงจรจับเบดที่ออกแบบจะมีหลักการทำงานดังนี้

หลักการวงจรจับเบดที่นำเสนอเป็นหลักการเดียวกับ Bootstrap เพียงแต่ไม่มีข้อจำกัดการใช้งานมากเหมือนกับ IC สำเร็จรูปคือ เป็นวงจรที่แยกโหนดสัญญาณไฟต่ำออกจากไฟสูงเมื่อวงจรเสียหายทางด้านไฟสูงวงจรทางด้านแรงดันต่ำก็จะไม่เสียหายและง่ายต่อการซ่อมแซม ส่วน IC สำเร็จรูปเช่น IR2110 จะไม่แยกโหนดสัญญาณด้านแรงดันต่ำกับแรงดันสูงเมื่อวงจรเสียหายก็จะเสียหายทั้งหมดคือทั้งมีข้อจำกัดเรื่องแรงดันด้วยคือ IR2110 ทนแรงแรงดันได้ 500 V (ใช้กับระบบสามเฟสไม่ได้) และ IR2113 นั้นทนแรงแรงดันได้เพียง 600 V เท่านั้นทำให้ต้องควบคุมระดับแรงดันเพื่อไม่ให้แรงดันเกินทำให้ออกแบบวงจรยากขึ้น แต่วงจรที่นำเสนอใช้นี้ใช้ TLP 250 ซึ่งทนแรงดันได้สูงกว่า 600 V

จากรูปที่ 4 แสดงการกระตุ้นการนำกระแสของมอเตอร์เมื่อสัญญาณควบคุมเป็น 0 V ผ่านตัวต้านทาน R1 เป็นผลให้ไดโอดเปล่งแสงในตัวเชื่อมโยงทางแสงได้รับไบอัสตรงในขณะเดียวกันทำให้โฟโตรีโอดในตัวเชื่อมโยงทางแสงนำกระแสทำให้แรงดันที่จุด B จึงสูงขึ้นเกือบเท่าแหล่งจ่ายไฟเป็นการกระตุ้นให้เกิดการสะสมประจุที่เกตของมอเตอร์ทำให้มอเตอร์  $Q_1$  นำกระแสอย่างทันทีทันใด

จากรูปที่ 5 เป็นการกระตุ้นการหยุดนำกระแสของมอเตอร์เมื่อสัญญาณควบคุมมีแรงดันเป็น 5V ทำให้ไดโอดเปล่งแสงในตัวเชื่อมโยงทางแสงไม่นำกระแสเป็นผลให้ไดโอดเปล่งแสงในตัวเชื่อมโยงทางแสงไม่นำกระแสด้วย ทำให้แรงดันที่จุด B จึงมีค่าเป็น 0 V เป็นการดึงประจุออกจากเกตของมอเตอร์  $Q_2$  ทำให้มอเตอร์หยุดนำกระแสทันทีทันใด

## หลักการออกแบบแหล่งจ่ายไฟเดียว

จากโครงสร้างและการทำงานของอินเวอร์เตอร์ในรูปที่ 6 และ 7 จะเห็นว่าอินพุทแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับอินเวอร์เตอร์เป็นสามเฟสทั้งหมดซึ่งจำเป็นต้องใช้หม้อแปลงสามเฟสซึ่งหม้อแปลงสามเฟสเพื่อจ่ายไฟให้กับชุดควบคุมซึ่งหาซื้อได้ยากและในกรณีต้องใช้แหล่งจ่ายแรงดัน 220 V ร่วมด้วยทำให้การติดตั้งอินเวอร์เตอร์ทำได้ยากขึ้นเพราะต้องเพิ่มจำนวนสายที่จะติดตั้งเข้าไปอีก ดังนั้นในบทความนี้ได้นำเสนอหลักการการออกแบบโดยนำคาปาซิเตอร์ (CS) 2 ตัวมาต่อระหว่างมอเตอร์เพื่อลดระดับแรงดันที่ป้อนให้กับหม้อแปลงที่เป็นเฟสเดียวเพื่อเป็นแหล่งจ่ายให้กับอินเวอร์เตอร์ดังจะได้อธิบายต่อไป

มอเตอร์ชุดบนและชุดล่างจะทำงานเปิด-ปิดไม่พร้อมกัน ดังนั้นแหล่งจ่ายไฟสำหรับวงจรจับเบดของมอเตอร์แต่ละตัวจึงต้องแยกจากกันเพื่อป้องกันความเสียหายจากการลัดวงจรเมื่อมอเตอร์ทำงาน ดังนั้นในการออกแบบแหล่งจ่ายไฟให้กับวงจรจับเบดของมอเตอร์แต่ละตัว ถ้าเราป้องกันการลัดวงจรที่เกิดขึ้นในช่วงที่มอเตอร์สลับกันทำงานก็จะสามารถที่จะลดแหล่งจ่ายไฟให้เหลือน้อยลงได้ โดยการใช้ไดโอดที่มีคุณสมบัติยอมให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านได้ทิศทางเดียวทำหน้าที่ป้องกันการลัดวงจรและตัวเก็บประจุ  $C_2$  ที่มีการเก็บประจุไว้ในตัวเองได้มาทำหน้าที่เสมือนแหล่งจ่ายไฟในช่วงที่มอเตอร์ทำงานจากรูปที่ 6 และรูปที่ 7 ซึ่งจะมีหลักการทำงานของวงจรดังนี้

ในช่วงที่สัญญาณควบคุมส่งสัญญาณให้มอเตอร์ชุดบนไม่นำกระแสและให้มอเตอร์ชุดล่างจะนำกระแสแรงดันที่ขาเดรน-ซอส (D-S) ของมอเตอร์  $Q_2$  จะลดต่ำลงเป็น 0 V ทำให้ไดโอดได้รับไบอัสตรงจึงนำกระแสและตัวเก็บประจุ  $C_2$  จะทำการเก็บประจุจากแหล่งจ่ายไฟผ่าน ทางไดโอดมาเก็บไว้ที่ตัวเก็บประจุจนมีแรงดันเกือบเท่ากับแหล่งจ่ายไฟ (15 V) ดังแสดงในรูปที่ 6

ในช่วงที่สัญญาณควบคุมส่งสัญญาณให้มอเตอร์ชุดล่างไม่นำกระแสมอเตอร์ชุดบนจะนำกระแสในช่วงเวลานี้วงจรจับเบดจะได้แหล่งจ่ายไฟ 15

V มาจากการคายประจุของตัวเก็บประจุ  $C_2$  ที่ได้ทำการเก็บประจุไว้ในช่วงเวลาก่อนหน้านั้นแล้ว ดังแสดงในรูปที่ 7 ทำให้แรงดันที่ขา เทรน-ซอส ของมอสเฟต  $Q_1$  จะมีค่าเป็น 0 V และแรงดันที่ขา เทรน-ซอสของมอสเฟต  $Q_2$  จะมีค่าสูงเป็น 530 V เป็นผลให้ไดโอด D7 ได้รับไป้อกลับจึงหยุดนำกระแส

แหล่งจ่ายไฟวงจรขับเคลื่อนของอินเวอร์เตอร์จะทำงานดังที่ได้กล่าวมาแล้วสลับกันไปเรื่อยๆตามสัญญาณควบคุม PWM ซึ่งวงจรขับเคลื่อนรูปที่ 6 และ 7 มีค่าพารามิเตอร์ดังนี้ ค่าความต้านทาน  $R_1 = 1 \text{ k}\Omega$  ความต้านทานก่อนเข้าขาเกต  $R_3 = 47\Omega$  ตัวเก็บประจุ  $C_2 = 1000 \text{ uF}$  ส่วนสัญญาณควบคุม PWM = 4 kHz และ Opto-Coupler ใช้เบอร์ TLP 250 ซึ่งวงจรขับเคลื่อนที่ใช้สามารถทำงานถูกต้องตามที่ออกแบบมีอุปกรณ์น้อยชิ้นทำงานได้ดี ประกอบวงจรง่าย

## ผลการทดลอง

วงจรขับเคลื่อนในอินเวอร์เตอร์ที่ออกแบบจากการทดลองนั้นสามารถขับมอเตอร์เหนี่ยวนำได้จริงดังรูปที่ 8 ในส่วนแรงดันที่ใช้ในการทดลอง 530 Vdc ความถี่สวิตช์ซึ่งของ PWM เท่ากับ 4 kHz และโหลดเป็นมอเตอร์เหนี่ยวนำขนาด 2 แรงม้าจะได้กระแสของมอเตอร์ในรูปที่ 9 และรูปที่ 10 จะเห็นได้ว่ามอเตอร์มีโหลดและไม่โหลดก็สามารถทำงานได้ปกติเหมือนกับอินเวอร์เตอร์แบบเดิมดังรูปที่ 1

ดังรูปที่ 9 แรงดันเอาต์พุต  $V_u-v$  ของอินเวอร์เตอร์สามเฟสมีค่า 530 Vdc และกระแส  $I_u$  อินเวอร์เตอร์สามเฟสมีค่า 2.5 A (กระแสโหลดเต็มพิกัดเท่ากับ 3.5 A ทดลองที่ 70 % ของกระแสเต็มพิกัดโหลด) จะเห็นว่าอินเวอร์เตอร์ที่ออกแบบสามารถทำงานได้ทั้งขณะที่มีโหลดและไม่โหลด

ดังรูปที่ 10 กระแส  $I_u, I_v, I_w$  อินเวอร์เตอร์สามเฟสมีค่า 2.5 A (กระแสโหลดเต็มพิกัดเท่ากับ 3.5 A ทดลองที่ 70 % ของกระแสเต็มพิกัดโหลด) จะเห็นว่าอินเวอร์เตอร์มีเฟสที่ถูกต้องทั้งสามเฟส

## สรุป

บทความนี้เป็นการนำเสนอการออกแบบแหล่งจ่ายไฟเดียวสำหรับวงจรขับเคลื่อนและวงจรควบคุมของอินเวอร์เตอร์สามเฟสเพื่อใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งทำได้โดยป้องกันการลัดวงจรที่เกิดขึ้นในช่วงที่มอสเฟตสลับกันทำงานก็จะสามารถที่จะลดแหล่งจ่ายไฟให้เหลือน้อยลงโดยการใช้ไดโอดและใช้คาปาซิเตอร์เป็นแหล่งจ่ายให้กับอินเวอร์เตอร์ขณะที่อินเวอร์เตอร์ให้กับหม้อแปลง 220 Vac แปลงเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเพื่อจ่ายให้วงจรควบคุมและขับเคลื่อนของมอสเฟตต่อไป ส่วนของวงจรขับเคลื่อนจะใช้ตัวเชื่อมโยงทางแสงเป็นอุปกรณ์แยกโคดสัญญาณซึ่งสามารถทำให้มอสเฟตนำกระแสและหยุดนำกระแสได้อย่างทันทีทันใด จากการออกแบบและทดลองอินเวอร์เตอร์จะเห็นว่าอินเวอร์เตอร์ใช้แหล่งจ่ายไฟเดียวสามารถทำงานได้ปกติเหมือนกันกับที่ใช้แหล่งจ่ายไฟ 5 ชุดและใช้ได้ทั้งในสถานะมีโหลดและไม่โหลดและแรงดันไลน์อินพุตตกได้ถึง 228 โวลต์จากแรงดันไลน์ 380 โวลต์หรือเกินได้ 532 โวลต์จึงไม่มีปัญหาเรื่องของแรงดันตกหรือเกิน

## กิตติกรรมประกาศ

บทความนี้ได้รับการสนับสนุนเครื่องมือจากภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยขอนแก่น ขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่นและบริษัทอลดีดีแอสเซมบลี (ไทยแลนด์) จำกัด ที่ให้ทุนในการทำวิจัยในครั้งนี้

## เอกสารอ้างอิง

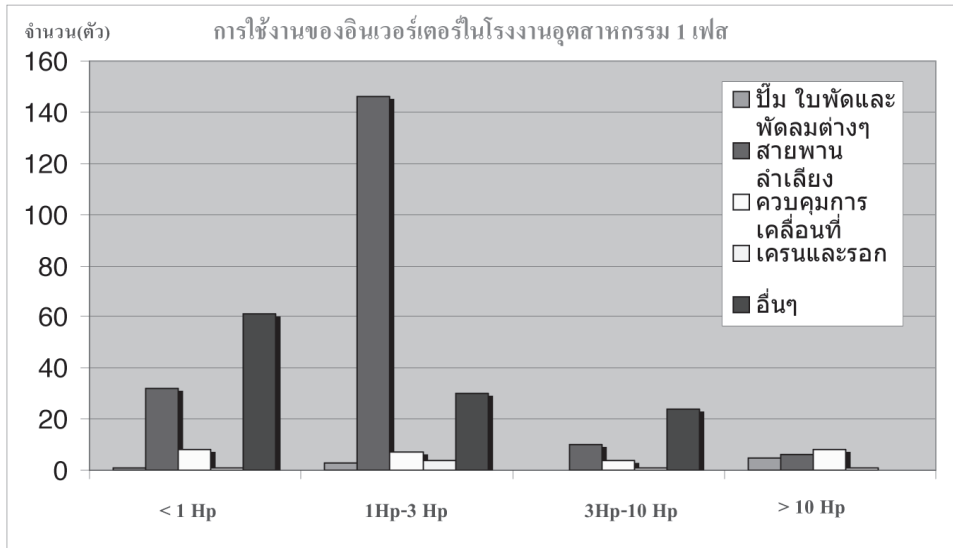
ผศ.ดร.กฤษ ฉายไสย และ ประยงค์ เสาร์แก้ว. 2533. “การออกแบบวงจรขับเคลื่อนราคาประหยัดโดยใช้แหล่งจ่ายไฟเดียวสำหรับอินเวอร์เตอร์สามเฟส.” วิศวกรรมสาร มหาวิทยาลัยขอนแก่น. 33, 259- 270.

รศ.ดร.โกทม อารียา.2544.อิเล็กทรอนิกส์กำลัง 2,  
กรุงเทพฯ. ซีอีดี ยูเคชั่น , pp 15-105.

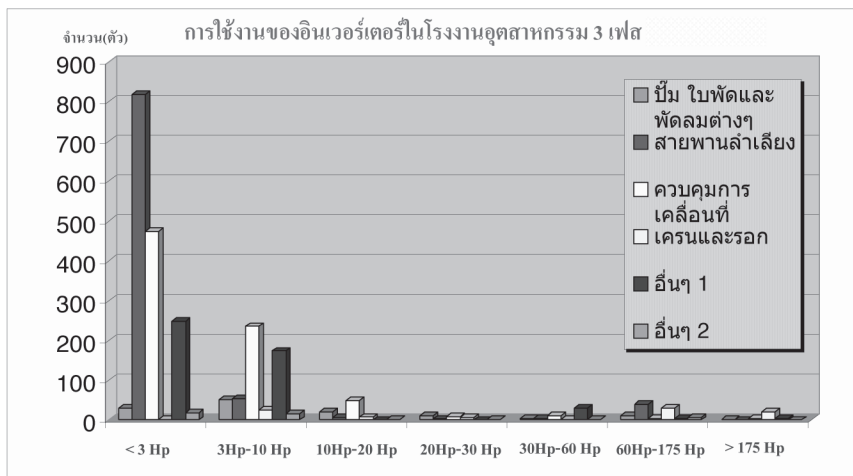
S.Lee . 1996. **Design and Development of a Low  
Cost Inverter Drive for Induction Motors.**  
IEEE, pp771 - 777 .

HC Lovatt , ML McClelland, and MJ Turner . 1989  
**Design of a 3-Phase, MOSFET Inverter  
and Associated Gate-Drive Circuit.** Proc.  
European Power Electronics Conf., Aachen,  
Germany. pp. 165-169

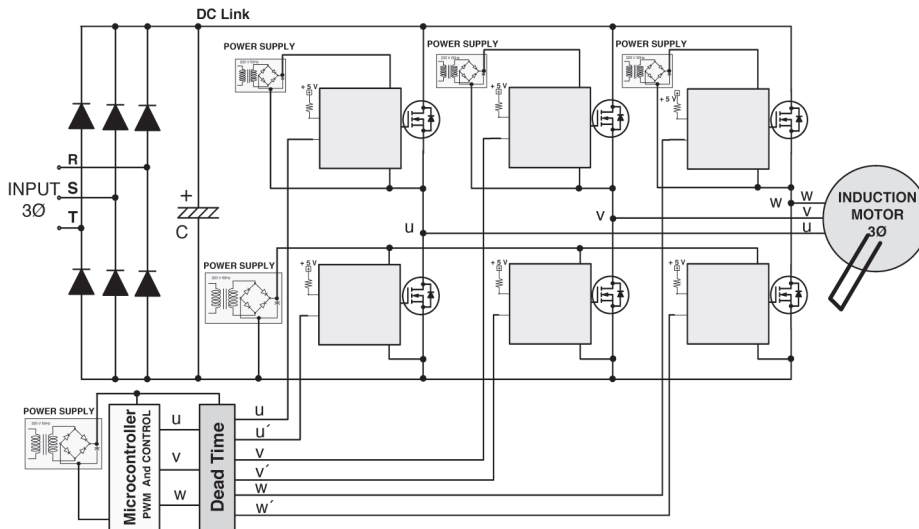
B.K.Bose.1987.**Power Electronics and AC drives.**  
New Jersey. Prentice-Hall., pp.121-206



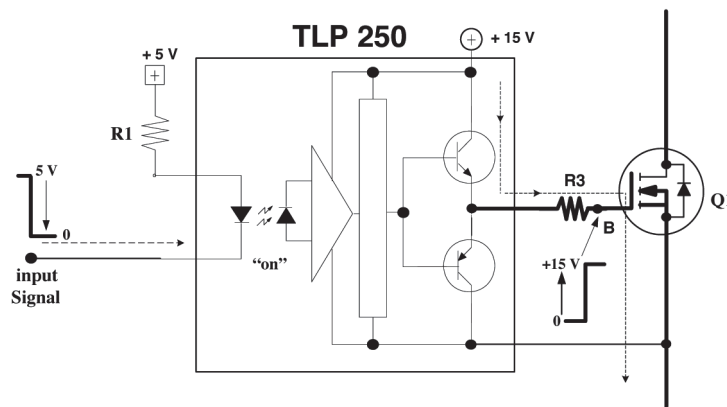
รูปที่ 1. การใช้งานอินเวอร์เตอร์ 1 เฟส ในโรงงานอุตสาหกรรม



รูปที่ 2. การใช้งานอินเวอร์เตอร์ 3 เฟส ในโรงงานอุตสาหกรรม

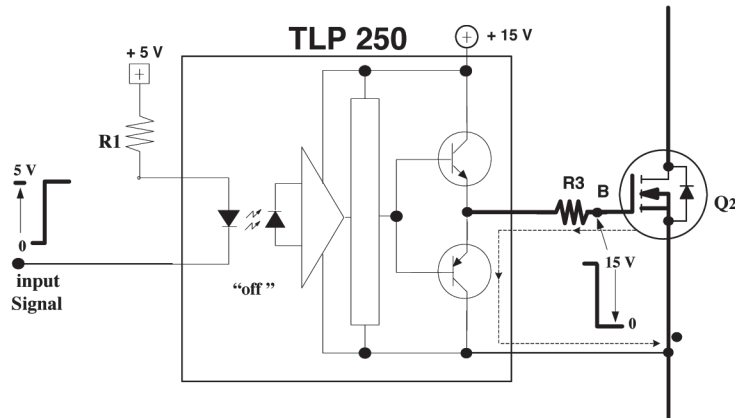


รูปที่ 3. โครงสร้างของอินเวอร์เตอร์สามเฟส

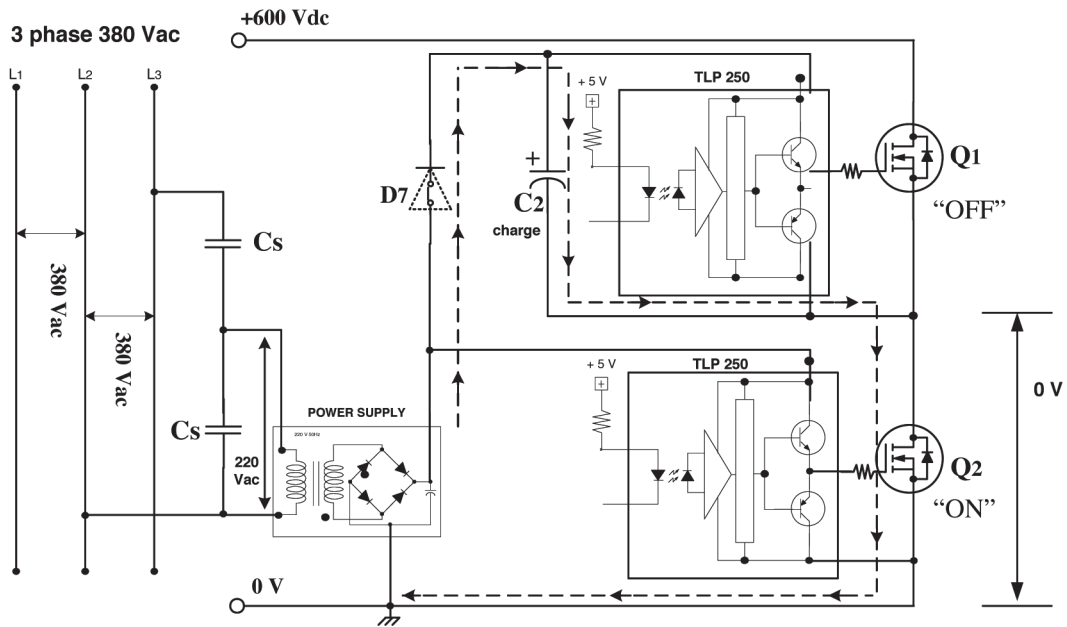


รูปที่ 4. การกระตุ้นนำกระแสของวงจรขับเคลื่อน



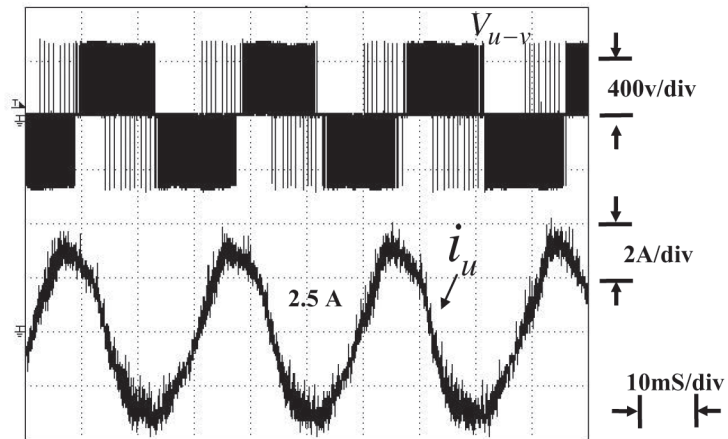


รูปที่ 5. การกระตุ้นหยุดนำกระแสของวงจรขับเคลื่อน

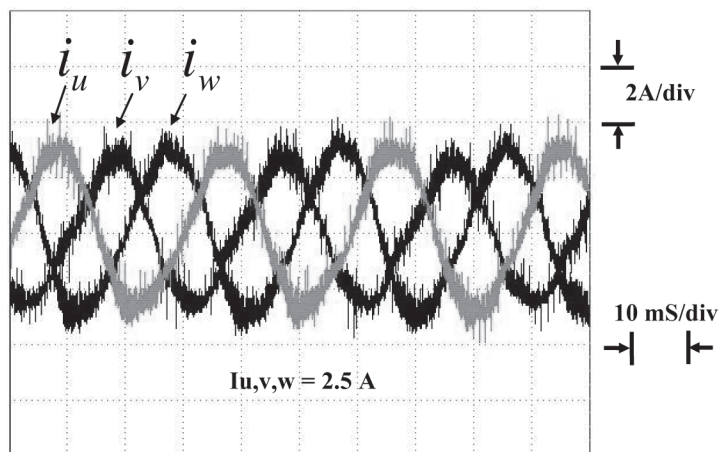


รูปที่ 6. การทำงานของวงจรเมื่อบอสเฟสชุดล่างทำงาน





รูปที่ 9. แรงดัน  $V_{uv}$  และกระแส  $i_u$  ของอินเวอร์เตอร์ 2.5A



รูปที่ 10. กระแส  $i_{uvw}$  ของอินเวอร์เตอร์ 2.5 A