

การออกแบบวงจรขับเคลื่อนราคาประหยัด โดยใช้แหล่งจ่ายไฟเดียวสำหรับอินเวอร์เตอร์สาม เฟส*

กฤษ เจยไสย¹⁾, และ ประยงค์ เสาร์แก้ว²⁾

¹⁾อาจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

²⁾นักศึกษาปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

Email:krit@elec.kku.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการออกแบบวงจรขับเคลื่อนราคาประหยัดโดยใช้แหล่งจ่ายไฟเดียวสำหรับขับเคลื่อนมอเตอร์สามเฟส โดยวงจรขับเคลื่อนจะใช้ตัวเชื่อมโยทางแสงเป็นอุปกรณ์แยกโดดสัญญาณและใช้ทรานซิสเตอร์คู่คอมพลีเมนต์ต่อวงจรแบบคอลเลคเตอร์ร่วมเป็นตัวขับเคลื่อนของมอเตอร์สามเฟสในส่วนแหล่งจ่ายไฟจะใช้ไดโอดทำหน้าที่ป้องกันการลัดวงจรและใช้ตัวเก็บประจุเป็นแหล่งจ่ายไฟให้กับวงจรขับเคลื่อนของมอเตอร์สามเฟสในขณะที่มอเตอร์สลับกันทำงาน จากการออกแบบและทดลองกับวงจรจริงอินเวอร์เตอร์สามารถทำงานได้จริงทั้งในสภาวะที่มีโหลดเป็นตัวต้านทานและตัวเหนี่ยวนำ หลักการนี้เมื่อนำไปใช้ในอินเวอร์เตอร์สามเฟสสำหรับขับเคลื่อนมอเตอร์เหนี่ยวนำจะสามารถลดจำนวนแหล่งจ่ายไฟสำหรับวงจรขับเคลื่อนจาก 6 ชุด เหลือเพียง 1 ชุดและยังทำให้อินเวอร์เตอร์มีราคาถูก มีขนาดเล็กและง่ายในการประกอบวงจร

คำสำคัญ : วงจรขับเคลื่อน อินเวอร์เตอร์ มอเตอร์สามเฟส

* รับต้นฉบับเมื่อวันที่ 17 ตุลาคม 2548 และได้รับบทความฉบับแก้ไขเมื่อวันที่ 4 พฤษภาคม 2549

A design of low cost gate drive using a single power supply for a three- phased inverter*

Krit Choeisai¹⁾, Prayong Saokaew²⁾

¹⁾Lecture Department of Electrical Engineering Faculty of Engineering, Khon Kaen University

²⁾Master Student Department of Electrical Engineering Faculty of Engineering,
Khon Kaen University

Email:krit@elec.kku.ac.th

ABSTRACT

This paper presents a design of low cost gate drive using a single power supply for driving MOSFETs of a three-phased inverter. A gate drive circuit consists of an optocoupler which is used for isolating signal. A pair of complementary transistor is biased in common collector circuit and is used to drive the MOSFETs. In the circuit of the supply, a diode is used as short circuit protection and a capacitor is used to collect energy for supplying power to a gate drive circuit. The experimental result showed that the inverter could work with both resistive and inductive loads. Applying this principle in the three-phased inverter, six power supplies could be reduced to one power supply. Therefore, the inverter is cheaper, smaller and easier to assemble.

Keywords : Gate Drives, Inverter, Power MOSFET

*

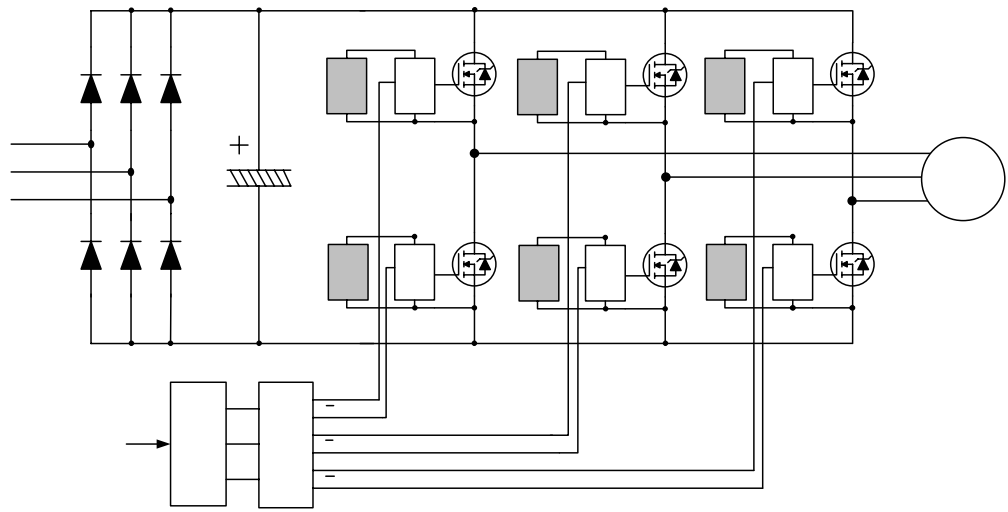
Original manuscript submitted: October 17, 2005 and Final manuscript received: May 4, 2006

บทนำ

ในปัจจุบันความเจริญเติบโตทางด้านเศรษฐกิจและความเจริญก้าวหน้าทางเทคโนโลยีมีมากขึ้น ทำให้ความต้องการเครื่องมือเครื่องใช้มีมากขึ้นตามไปด้วย ไม่ว่าจะเป็น พัดลม ปั๊มน้ำ เครื่องมือช่าง เครื่องใช้ไฟฟ้า ระบบ HVAC ฯ ซึ่งการทำงานของระบบเครื่องใช้ต่าง ๆ เหล่านี้ ส่วนมากจะใช้มอเตอร์เหนี่ยวนำในการทำงาน เนื่องด้วยเป็นมอเตอร์ที่มีราคาถูก แข็งแรง ทนทานและต้องการการบำรุงรักษาน้อย โดยในการที่จะควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ให้ได้ตามต้องการนั้นจะใช้ อินเวอร์เตอร์ (Inverter) เป็นตัวปรับควบคุมความเร็วของมอเตอร์ ซึ่งโดยเงื่อนไขทางการตลาดที่มีการแข่งขันกันสูงนั้น ทำให้อินเวอร์เตอร์ที่จะออกแบบนั้นต้องมีราคาถูก ขนาดเล็ก ง่ายต่อการประกอบวงจร ในบทความนี้ได้นำเสนอแนวคิดในการออกแบบวงจรขับเคลื่อนมอเตอร์สามเฟสโดยใช้แหล่งจ่ายไฟเดียวสำหรับขับเคลื่อนมอเตอร์สามเฟส โดยวงจรขับเคลื่อนจะใช้ตัวเชื่อมต่อทางแสงเป็นอุปกรณ์แยกโดดสัญญาณและใช้ทรานซิสเตอร์คู่คอมพลีเมนต์ต่อวงจรแบบคอลลเลกเตอร์ร่วมเป็นตัวขับเคลื่อนของมอเตอร์สามเฟสแบบเดิมที่ใช้ไอซีสำเร็จที่มีราคาสูง ส่วนแหล่งจ่ายไฟจะใช้ไดโอดทำหน้าที่ป้องกันการลัดวงจรและใช้ตัวเก็บประจุเป็นแหล่งจ่ายไฟให้กับวงจรขับเคลื่อนของมอเตอร์สามเฟสในขณะที่มอเตอร์สลับกันทำงาน แทนแหล่งจ่ายไฟแบบเดิม ซึ่งจะทำให้อินเวอร์เตอร์ที่ออกแบบนั้นมีขนาดเล็ก สร้างได้ง่าย และมีราคาถูก

โครงสร้างของอินเวอร์เตอร์

อินเวอร์เตอร์จะทำงานโดยใช้หลักการเปลี่ยนแรงดันไฟฟ้าอินพุตสามเฟสให้เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง จากนั้นจึงเปลี่ยนจากแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงให้กลับไปเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับสามเฟสที่มีขนาดแรงดันและความถี่ที่เหมาะสมเพื่อจ่ายให้กับมอเตอร์เหนี่ยวนำ ซึ่งการเปลี่ยนจากไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับสามเฟสนั้นจะใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลังเช่น มอสเฟต (MOSFET) หรือ ไอจีบีที (IGBT) ทั้งหมด 6 ตัว ทำการสวิตช์ เปิด-ปิด ตามสัญญาณควบคุม พัลส์วิดท์ (PWM) ที่ได้จากวงจรควบคุม (Microcontroller) ผ่านทางวงจร Dead time และวงจรขับเคลื่อน (Gate drives) ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 โครงสร้างของอินเวอร์เตอร์

การออกแบบวงจรขับเคลื่อน

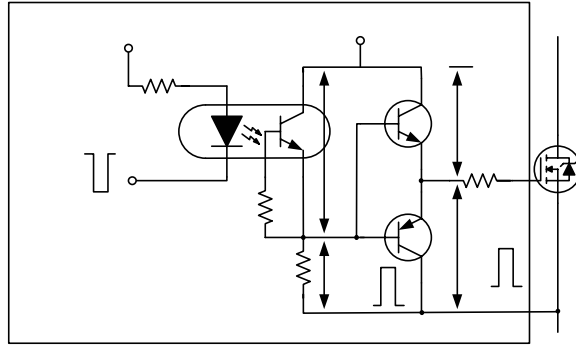
โดยทั่วไปวงจรขับเคลื่อนจะต้องการคุณสมบัติที่สำคัญสองประการ คือ การแยกโดด (Isolator) สัญญาณควบคุมที่มีกำลังต่ำออกจากมอเตอร์ที่มีกำลังสูงเพื่อป้องกันการรบกวนกันของสัญญาณ และ มอเตอร์ต้องสามารถนำกระแสหรือหยุดนำกระแสได้อย่างรวดเร็ว ซึ่งในปัจจุบันวงจรขับเคลื่อนที่สร้างขึ้นจะมีความซับซ้อนยุ่งยากในการประกอบวงจรเพราะมีอุปกรณ์ประกอบหลายตัวทั้งทรานซิสเตอร์และไดโอดเกต หรือถ้าใช้ไอซีสำเร็จรูปที่ทำหน้าที่ขับเคลื่อนโดยเฉพาะก็จะมีราคาที่สูง ดังนั้นเพื่อลดต้นทุนในการผลิตลง วงจรขับเคลื่อนราคาประหยัดสามารถออกแบบได้ดังนี้

1. การแยกโดดสัญญาณทำได้โดยเลือกใช้ตัวเชื่อมโยงทางแสง (Opto coupler) ที่สามารถทำงานได้ดีที่ความถี่สูงและมีการเปลี่ยนสถานะได้อย่างรวดเร็วแทนการใช้ไฟเบอร์ทางแสง (Fiber optic) และหม้อแปลงแยกขาด (Transformer) ที่มีราคาสูง
2. การทำให้มอเตอร์นำกระแสและหยุดนำกระแสอย่างรวดเร็วทำได้โดยการใช้ ทรานซิสเตอร์คู่คอมพลีเมนต์ (complement) ต่อร่วมกันแบบวงจรคอลเลคเตอร์ร่วม (common collector) ทำหน้าที่ใส่ประจุและดึงประจุออกจากเกตของ W มอเตอร์เพื่อกระตุ้นให้การสะสมประจุและการคายประจุของเกตในมอเตอร์ เป็นไปอย่างรวดเร็ว

จากหลักการดังกล่าววงจรขับเคลื่อนที่ออกแบบจะมีหลักการทำงานดังนี้

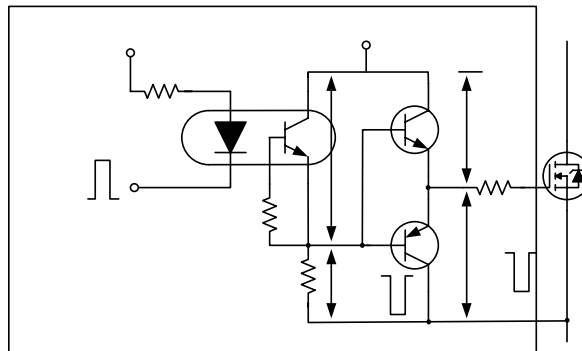
รูปที่ 2 แสดงการกระตุ้นการนำกระแสของมอเตอร์ เมื่อสัญญาณควบคุมเป็น 0 V ไดโอดเปล่งแสงในตัวเชื่อมโยงทางแสงจะได้รับไบอัสตรงทำให้ทรานซิสเตอร์ในตัวเชื่อมโยงทางแสงนำกระแสอย่างเต็มที่ แรงดันที่จุด A จะสูงขึ้นเกือบเท่าแหล่งจ่ายไฟ (+15V) ทำให้ทรานซิสเตอร์ Q1 ที่เป็นชนิด NPN ได้รับไบอัสตรงและนำกระแสอย่างเต็มที่ แรงดันที่จุด B จึงสูงขึ้นเกือบเท่าแหล่งจ่ายไฟ

เป็นการกระตุ้นให้เกิดการสะสมประจุที่เกตของมอสเฟตทำให้มอสเฟตนำกระแสอย่างทันทีทันใด ในขณะเดียวกันทรานซิสเตอร์ Q2 ที่เป็นชนิด PNP ก็จะได้รับไบอัสกลับจึงอยู่ในสภาวะไม่นำกระแส



รูปที่ 2 การกระตุ้นการนำกระแสของวงจรขับเคลื่อน

จากรูปที่ 3 เป็นการกระตุ้นการหยุดนำกระแสของมอสเฟต เมื่อสัญญาณควบคุมมีแรงดันเป็น 5 V ไดโอดเปล่งแสงในตัวเชื่อมโยงทางแสงจะไม่นำกระแสทำให้ทรานซิสเตอร์ในตัวเชื่อมโยงทางแสงไม่นำกระแสด้วย แรงดันที่จุด A จะมีค่า 0 V ทำให้ทรานซิสเตอร์ Q1 ที่เป็นชนิด NPN ได้รับไบอัสกลับจึงไม่นำกระแส ในขณะเดียวกันนั้น ทรานซิสเตอร์ Q2 ที่เป็นชนิด PNP ก็จะได้รับไบอัสตรงเนื่องจากแรงดันสะสมที่เกตของมอสเฟต Q2 จึงอยู่ในสภาวะนำกระแสอย่างเต็มที่ แรงดันที่จุด B จึงมีค่าเป็น 0 V เป็นการดึงประจุออกจากเกตของมอสเฟตทำให้มอสเฟตหยุดนำกระแสอย่างทันทีทันใด



รูปที่ 3 การกระตุ้นการหยุดนำกระแสของวงจรขับเคลื่อน

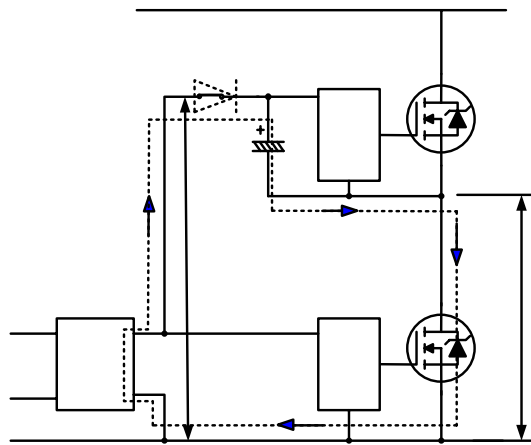
เทคนิคการใช้แหล่งจ่ายไฟเดียวสำหรับวงจรขับเคลื่อน

จากโครงสร้างและการทำงานของอินเวอร์เตอร์ในรูปที่ 1 มอสเฟตชุดบนและชุดล่างจะทำงานเปิด - ปิด ไม่พร้อมกัน ดังนั้นแหล่งจ่ายไฟสำหรับวงจรขับเคลื่อนของมอสเฟตแต่ละตัวจึงต้องแยกจากกันเพื่อป้องกันความเสียหายจากการลัดวงจรเมื่อมอสเฟตทำงาน

ดังนั้นในการออกแบบแหล่งจ่ายไฟให้กับวงจรขับเคลื่อนของมอสเฟตแต่ละตัว ถ้าเราป้องกันการลัดวงจรที่เกิดขึ้นในช่วงที่มอสเฟตสลับกันทำงานก็จะสามารถที่จะลดแหล่งจ่ายไฟให้เหลือน้อยลงได้ โดย

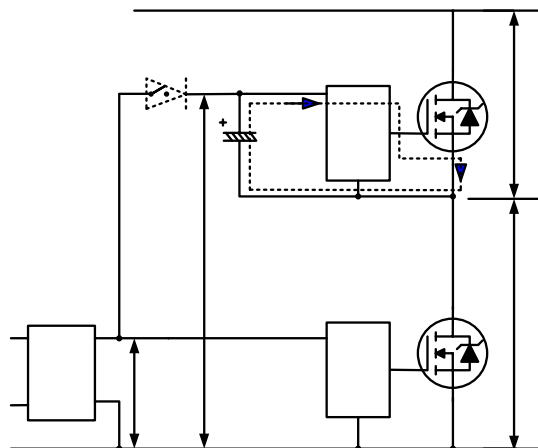
การใช้ไดโอด (Diode) ที่มีคุณสมบัติยอมให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านได้ทิศทางเดียวทำหน้าที่ป้องกันการลัดวงจร และ ตัวเก็บประจุ (Capacitor) ที่มีการเก็บประจุไว้ในตัวเองได้มาทำหน้าที่เสมือนแหล่งจ่ายไฟในช่วงที่มอสเฟตทำงาน ซึ่งจะมีหลักการทำงานของวงจรดังนี้

ในช่วงที่สัญญาณควบคุมส่งสัญญาณให้มอสเฟตชุดบนไม่นำกระแส (off) และให้มอสเฟตชุดล่างจะนำกระแส (on) แรงดันที่ขา เทรน-ซอส (D-S) ของมอสเฟต Q2 จะลดต่ำลงเป็น 0 V ทำให้ไดโอดได้รับไบอัสตรงจึงนำกระแส (on) และตัวเก็บประจุ C จะทำการเก็บประจุจากแหล่งจ่ายไฟผ่านทางไดโอดมาเก็บไว้ที่ตัวเก็บประจุจะมีแรงดันเกือบเท่ากับแหล่งจ่ายไฟ (15 V) ดังแสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 4 การทำงานของวงจรจ่ายไฟเดียว เมื่อมอสเฟตชุดล่างทำงาน

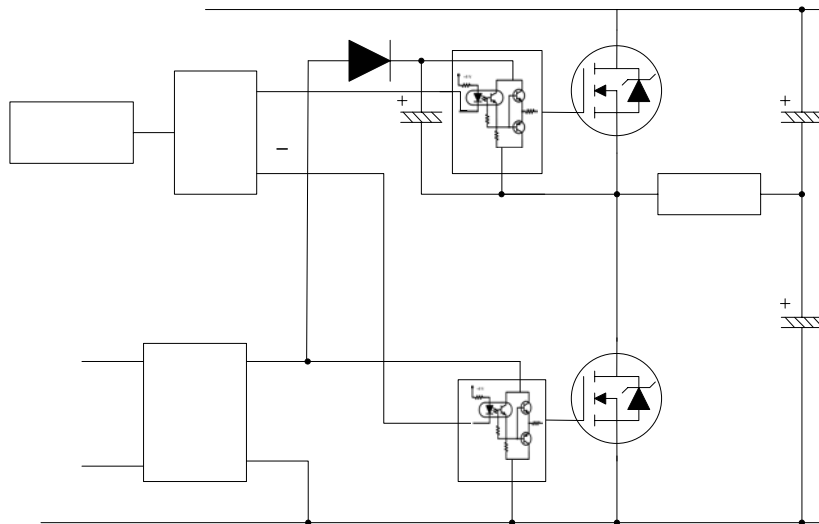
ในช่วงที่สัญญาณควบคุมส่งสัญญาณให้มอสเฟตชุดล่างไม่นำกระแส (off) มอสเฟตชุดบนจะนำกระแส (on) แรงดันที่ขา เทรน-ซอส ของมอสเฟต Q1 จะมีค่าเป็น 0 V และแรงดันที่ขา เทรน-ซอส ของมอสเฟต Q2 จะมีค่าสูงเป็น 300 V ทำให้ไดโอดได้รับไบอัสกลับจึงหยุดนำกระแส ในช่วงเวลานี้ วงจรขับเคลื่อนจะได้แหล่งจ่ายไฟ 15 V มาจากการคายประจุของตัวเก็บประจุ C ที่ได้ทำการเก็บประจุไว้ในช่วงเวลาก่อนหน้านั้นแล้ว ดังแสดงในรูปที่ 5



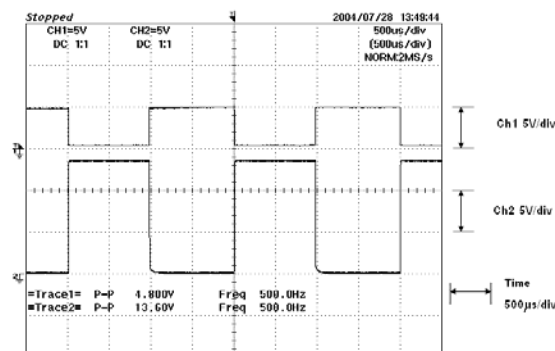
รูปที่ 5 การทำงานของวงจรจ่ายไฟเดียว เมื่อมอสเฟตชุดบนทำงาน

ผลการทดลองการทำงานของวงจร

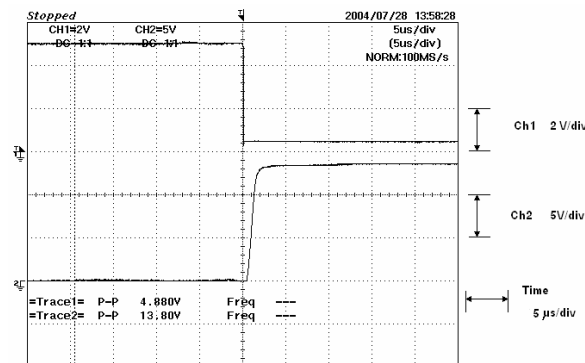
จากหลักการที่ได้อธิบายไว้แล้วสามารถนำมาสร้างวงจรจริงเพื่อทดลองการทำงานของแหล่งจ่ายไฟเดียวสำหรับวงจรขับเคลื่อนของมอเตอร์สามเฟสในวงจรฮาร์ดแวร์ที่แสดงในรูปที่ 6 โดยใช้แหล่งจ่ายไฟเดียว 15 Vdc มอเตอร์ IRF740 (400V,10A) ไดโอด 1N4007 (1000V,1 A) ตัวเก็บประจุ 470 μF ทดสอบการทำงานในสภาวะที่มีโหลดเป็นตัวต้านทาน 1.25 k Ω และโหลดตัวเหนี่ยวนำ 68 mH ที่แรงดัน DClink 300 V โดยจ่ายสัญญาณควบคุมเป็นสัญญาณสี่เหลี่ยม 500 Hz และตั้งเวลาวงจร Dead time 4 μs วัดสัญญาณแรงดันและกระแสที่โหลดของวงจรได้ผลดังนี้



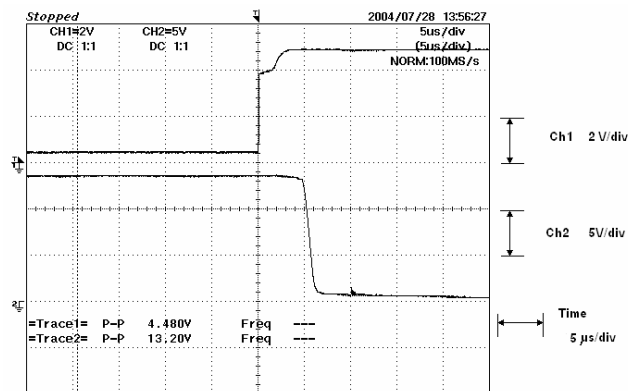
รูปที่ 6 วงจรทดลองจริง



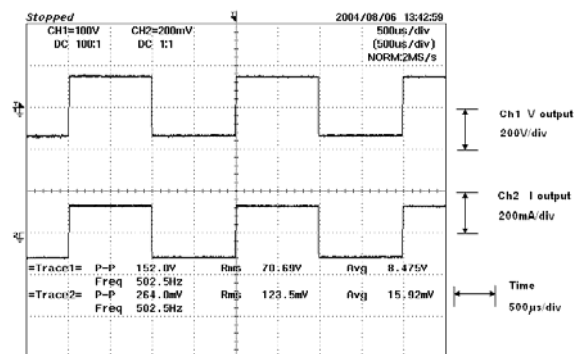
รูปที่ 7 สัญญาณแรงดันอินพุต (ch1) และเอาต์พุต (ch2) ของวงจรขับเคลื่อน



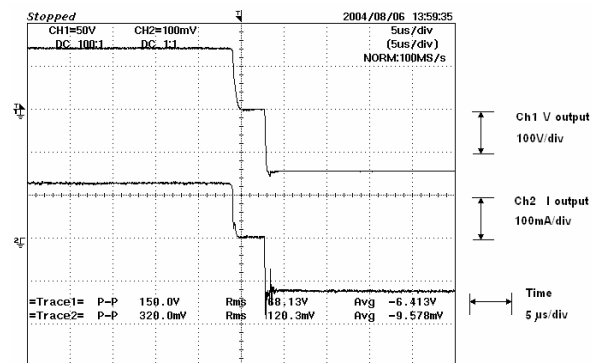
รูปที่ 8 การเปลี่ยนแปลงที่ขอบขาของสัญญาณแรงดันอินพุต (ch1) และเอาต์พุต(ch2) ของวงจร ขั้วเกต



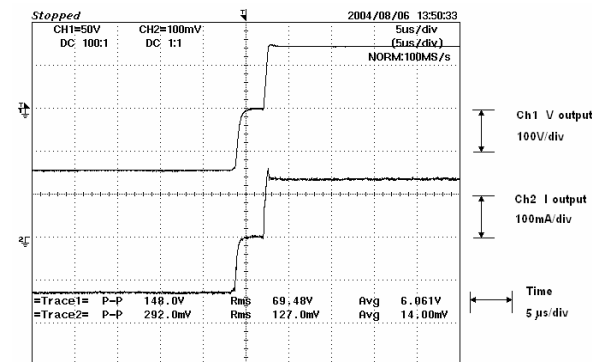
รูปที่ 9 การเปลี่ยนแปลงที่ขอบขาขึ้นของสัญญาณแรงดันอินพุต (ch1) และเอาต์พุต(ch2) ของวงจร ขั้วเกต



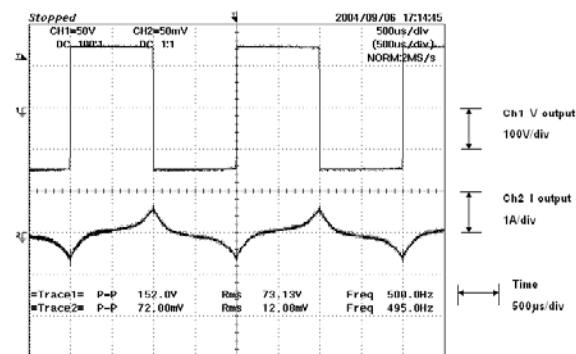
รูปที่ 10 สัญญาณแรงดัน (ch1) และกระแสเอาต์พุต (ch2) ของมอสเฟต เมื่อต่อโหลดตัวต้านทาน $1.25\text{ k}\Omega$



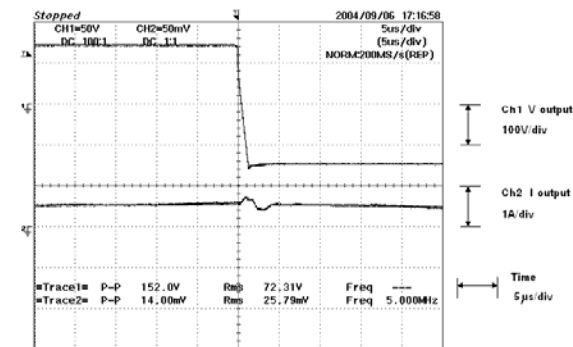
รูปที่ 11 สัญญาณแรงดัน (ch1) และกระแส (ch2) เอาท์พุทของมอสเฟท ที่เปลี่ยนแปลงทางขอบขาลง เมื่อต่อโหลดตัวต้านทาน 1.25 k Ω



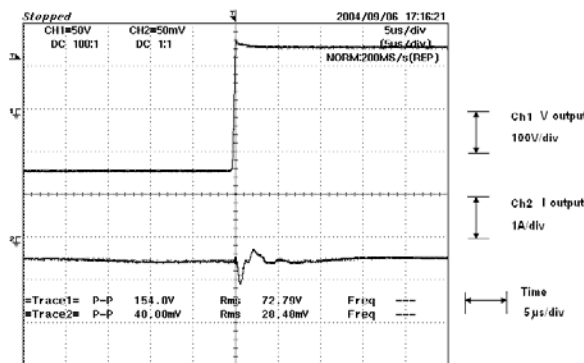
รูปที่ 12 สัญญาณแรงดัน (ch1) และกระแส (ch2) เอาท์พุทของมอสเฟท ที่เปลี่ยนแปลงทางขอบขาขึ้น เมื่อต่อโหลดตัวต้านทาน 1.25 k Ω



รูปที่ 13 สัญญาณแรงดัน (ch1) และกระแสเอาท์พุท (ch2) ของมอสเฟท เมื่อต่อโหลดตัวเหนี่ยวนำ



รูปที่ 14 สัญญาณแรงดัน (ch1) และกระแส (ch2) เอาท์พุทของมอสเฟต ที่เปลี่ยนแปลงทางขอบขาลง เมื่อต่อโหลดตัวเหนี่ยวนำ



รูปที่ 15 สัญญาณแรงดัน (ch1) และกระแส (ch2) เอาท์พุทของมอสเฟต ที่เปลี่ยนแปลงทางขอบขาขึ้น เมื่อต่อโหลดตัวเหนี่ยวนำ

จากผลการทดลอง

รูปที่ 7 แสดงแรงดันอินพุท (ch1) และแรงดันเอาท์พุท (ch2) ของวงจรขับเกต สัญญาณที่ได้จะมีรูปคลื่นที่เหมือนกันแต่จะมีเฟสตรงข้ามกัน โดยแรงดันที่อินพุทสัญญาณควบคุมเป็นสัญญาณพัลส์ 5 V และให้แรงดันที่เอาท์พุทเป็นสัญญาณพัลส์ 15 V ซึ่งเพียงพอสำหรับทำให้มอสเฟตนำกระแสได้

รูปที่ 8 แสดงการเปลี่ยนแปลงที่ขอบขาลงของแรงดันอินพุท (ch1) และแรงดันเอาท์พุท (ch2) ของวงจรขับเกต จะเห็นว่าวงจรขับเกตจะมีการหน่วงเวลาประมาณ $1 \mu s$ เนื่องจากการทำงานของตัวเชื่อมต่อโยงทางแสง

รูปที่ 9 แสดงการเปลี่ยนแปลงที่ขอบขาขึ้นของแรงดันอินพุท (ch1) และแรงดันเอาท์พุท (ch2) ของวงจรขับเกต จะเห็นว่าวงจรขับเกตจะมีการหน่วงเวลาประมาณ $5 \mu s$ เนื่องจากการทำงานของตัวเชื่อมต่อโยงทางแสง

รูปที่ 10 แสดงแรงดันเอาท์พุท (ch1) ที่ติดคร่อมโหลดมีค่า $304 V_{p-p}$ และกระแส (ch2) ที่ไหลผ่านโหลดมีค่า $123.5 mA$ จะเห็นว่าแรงดันและกระแสจะมีรูปคลื่นที่เหมือนกันเนื่องจากเป็นโหลดตัวต้านทาน

รูปที่ 11 แสดงการเปลี่ยนแปลงที่ขอบขาลงของแรงดัน (ch1) และกระแส (ch2) ที่โหลดตัวต้านทาน จะเห็นว่าแรงดันและกระแสที่โหลดจะเปลี่ยนแปลงไปตามสัญญาณควบคุมและมีเวลาในการเปลี่ยนสถานะ $4 \mu s$ ตามค่าเวลาของ dead time ที่ตั้งไว้

รูปที่ 12 แสดงการเปลี่ยนแปลงที่ขอบขาขึ้นของแรงดัน (ch1) และกระแส (ch2) ที่โหลดตัวต้านทาน จะเห็นว่าแรงดันและกระแสที่โหลดจะเปลี่ยนแปลงไปตามสัญญาณควบคุมและมีเวลาในการเปลี่ยนสถานะ $4 \mu s$ ตามค่าเวลาของ dead time ที่ตั้งไว้

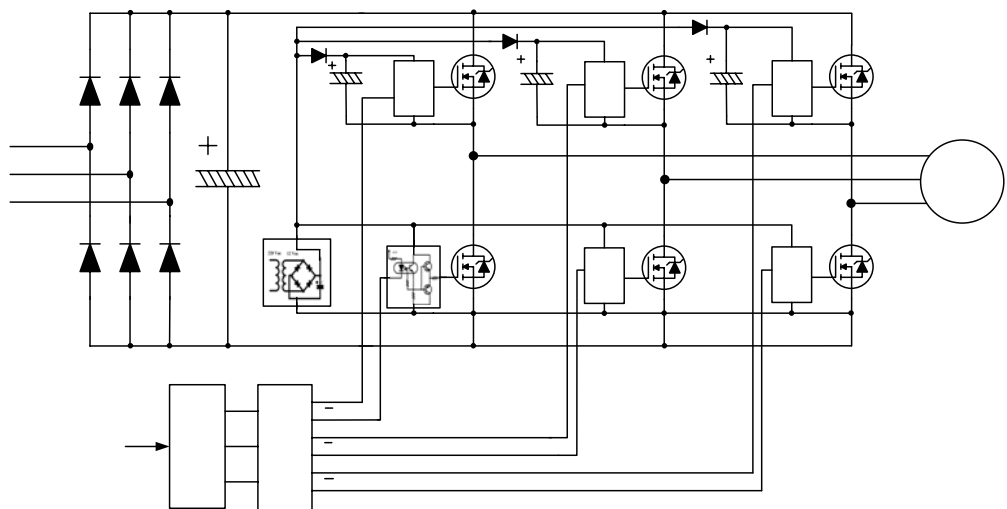
รูปที่ 13 แสดงแรงดันเอาต์พุต (ch1) ที่ตกคร่อมโหลดมีค่า $304 V_{p-p}$ และกระแส (ch2) ที่ไหลผ่านโหลดมีค่า $0.24 A$ จะเห็นรูปคลื่นของกระแสจะเป็นเส้นโค้งเนื่องจากการอิมิตัวของโหลดตัวเหนี่ยวนำ

รูปที่ 14 แสดงการเปลี่ยนแปลงที่ขอบขาลงของแรงดัน (ch1) ที่เปลี่ยนไปตามสัญญาณควบคุมและกระแส (ch2) ที่มีค่าคงที่เนื่องจากโหลดเป็นตัวเหนี่ยวนำซึ่งจะรักษาระดับของกระแสไม่ให้เปลี่ยนแปลงแบบทันทีทันใด และกระแสจะมีความเพี้ยนเกิดขึ้นในช่วงเวลาของ dead time

รูปที่ 15 แสดงการเปลี่ยนแปลงที่ขอบขาขึ้นของแรงดัน (ch1) ที่เปลี่ยนไปตามสัญญาณควบคุมและกระแส (ch2) ที่มีค่าคงที่เนื่องจากโหลดเป็นตัวเหนี่ยวนำซึ่งจะรักษาระดับของกระแสไม่ให้เปลี่ยนแปลงแบบทันทีทันใด และกระแสจะมีความเพี้ยนเกิดขึ้นในช่วงเวลาของ dead time เช่นกัน

สรุป

จากการออกแบบและทดลองกับวงจรจริงจะเห็นว่าวงจรขับเคลื่อนมอเตอร์สามเฟสสามารถทำให้มอเตอร์สามเฟสและโหลดเหนี่ยวนำได้อย่างทันทีทันใดและการใช้ไดโอดและตัวเก็บประจุมาเป็นแหล่งจ่ายไฟให้กับวงจรขับเคลื่อนของมอเตอร์สามเฟสชุดบนนั้น สามารถป้องกันการลัดวงจรและจ่ายกระแสให้กับวงจรขับเคลื่อนของมอเตอร์สามเฟสได้จริงทั้งในสภาวะมีโหลดเป็นตัวต้านทานหรือตัวเหนี่ยวนำจึงสามารถนำไปใช้งานได้กับมอเตอร์ที่มีคุณสมบัติเป็นตัวเหนี่ยวนำได้เช่นเดียวกัน เมื่อนำไปใช้งานจริงกับอินเวอร์เตอร์สามเฟสจะสามารถลดจำนวนของแหล่งจ่ายไฟสำหรับวงจรขับเคลื่อนทั่วไป 6 ชุด ให้เหลือเพียง 1 ชุดได้ดังแสดงในรูปที่ 16 ซึ่งเป็นการลดจำนวนอุปกรณ์ลงได้มากทำให้อินเวอร์เตอร์มีราคาถูกลง ขนาดเล็กลง และง่ายในการประกอบวงจร



รูปที่ 16 วงจรอินเวอร์เตอร์สามเฟสที่ใช้เทคนิคแหล่งจ่ายไฟเดียว

กิตติกรรมประกาศ

บทความนี้ได้รับการสนับสนุนเครื่องมือจากภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยขอนแก่นและขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตขอนแก่นที่ให้ทุนอุดหนุนในการทำการวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- รศ.ดร.โคทม อารียา . 2544. “อิเล็กทรอนิกส์กำลัง 2”, กรุงเทพฯ. ซีเอ็ดดูเคชั่น.
- B.K.Bose. 1987. “**Power Electronics and AC drives**”. New Jersey. Prentice-Hall.
- D.Diamantidis, R.Krishman ,and 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.