

การออกแบบวงจรอินเวอร์เตอร์สำหรับเครื่องใช้ไฟฟ้ากำลังต่ำ

A Design of Inverter Circuit for Low Power Electrical Appliances

ปฐวี สันทอง (Patawee Sonthong)^{1*} นัทธพล โภคาพันธ์ (Natthaphon Phokhaphan)**
ดร.กฤษ เฉยไสย (Dr.Krit Choeisai)*** ดร.ปานหทัย บัวศรี (Parnhatai Buasri)***

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการออกแบบวงจรอินเวอร์เตอร์สำหรับเครื่องใช้ไฟฟ้ากำลังต่ำชนิด 1 เฟส (Single phase full-bridge inverter) โดยใช้ มอสเฟต (MOS-FET) เป็นสวิตช์หลัก วงจรที่นำเสนอจะรวมเอาวงจรขับเคลื่อนของมอสเฟต (MOS-FET gate drive circuit) และวงจรสร้างความเหลื่อมล้ำทางสัญญาณ (Dead-time) เข้าด้วยกันและแทรกเข้าไปในวงจรของสวิตช์หลัก ทำให้ได้วงจรอินเวอร์เตอร์แบบใหม่ซึ่งมีการทำงานของวงจรขับเคลื่อนและวงจร Dead-time อยู่ด้วยกัน และเนื่องจากการออกแบบโดยการรวมกันของหลายวงจรย่อย ทำให้วงจรอินเวอร์เตอร์ที่นำเสนอมีอุปกรณ์น้อยชิ้นซึ่งเมื่อนำมาทำเป็นผลิตภัณฑ์จะทำให้ลดต้นทุนการผลิตได้มาก นอกจากนี้วงจรที่นำเสนอยังสามารถควบคุมการทำงานโดยการต่อตรงจากตัวควบคุมอินเวอร์เตอร์หรือไมโครคอนโทรลเลอร์ได้ จากผลการทดลองการทำงานของวงจรแสดงให้เห็นว่าวงจรที่นำเสนอสามารถขับโหลด AC, 220Vrms, 50Hz, 45W ได้โดยใช้สัญญาณ PWM ความถี่ 4kHz จากไมโครคอนโทรลเลอร์

ABSTRACT

This paper presents an inverter for low power electrical appliances in the type full-bridge MOSFETs driver circuit which can be operated in PWM mode. Gate drive and dead-time can be operate together in the proposed circuit. The input signals for the proposed driver do not need an external dead-time generator circuit because the dead-time generator is already integrated into the proposed full-bridge driver. The experimental results show that the proposed full-bridge driver circuit can operate at 4 kHz sinusoidal PWM at 220 Vrms ,50 Hz. The power output of the prototype inverter is 45 watt.

คำสำคัญ: Full-bridge MOSFETs Driver PWM ต้นทุนต่ำ กำลังวัตต์ต่ำ

Key Words: Full-bridge MOSFETs Driver, PWM, Low-cost, Low power

¹ Correspondent author: Patawee_Sonthong@hotmail.co.th

* นักศึกษา หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

** นักศึกษา หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

*** รองศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

บทนำ

ในปัจจุบันการใช้งานของอุปกรณ์ไฟฟ้าตามครัวเรือนและสำนักงานต่างๆ พบว่าอุปกรณ์ไฟฟ้ากำลังวัตต์ต่ำมีจำนวนมากกว่าอุปกรณ์ไฟฟ้ากำลังวัตต์สูง ส่งผลให้มีการผลิตอุปกรณ์ไฟฟ้ากำลังวัตต์ต่ำเป็นจำนวนมากในท้องตลาด ยกตัวอย่างเช่นพัดลมตั้งโต๊ะซึ่งมีใช้ในหลากหลายสถานที่เป็นจำนวนมากและมีราคาถูก แต่อุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีราคาถูกส่วนใหญ่จะมีประสิทธิภาพต่ำเนื่องจากไม่มีอินเวอร์เตอร์ควบคุมการทำงานของมอเตอร์ [1] ภาพที่ 1 แสดงโครงสร้างทั่วไปของอินเวอร์เตอร์ [2] ซึ่งสามารถควบคุมแรงดันและความถี่ได้ตามความต้องการของโหลด แต่เนื่องจากวงจรของอินเวอร์เตอร์โดยทั่วไปนั้นมีความซับซ้อนทำให้ต้องใช้อุปกรณ์เป็นจำนวนมากทำให้มีต้นทุนการผลิตสูง [1] จึงไม่เหมาะที่จะนำมาใช้กับอุปกรณ์ไฟฟ้ากำลังวัตต์ต่ำ ซึ่งส่วนใหญ่จะมีราคาถูก

จากเหตุผลข้างต้น คณะผู้ทำวิจัยเล็งเห็นประโยชน์ในการออกแบบอินเวอร์เตอร์ต้นทุนต่ำสำหรับอุปกรณ์ไฟฟ้ากำลังวัตต์ต่ำเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องใช้ไฟฟ้าและเป็นการช่วยชาติในการประหยัดพลังงาน ในบทความนี้ได้นำเสนอการออกแบบวงจรอินเวอร์เตอร์ซึ่งจะรวบรวมการทำงานวงจรย่อยๆ เข้าด้วยกันเพื่อลดความซับซ้อนการทำงานของวงจรเป็นผลให้สามารถลดอุปกรณ์ลงได้ซึ่งจะเป็นจุดเริ่มต้นในการผลิตอินเวอร์เตอร์ราคาประหยัดต่อไป วงจรอินเวอร์เตอร์ที่นำเสนอจะนำโครงสร้างหลักของวงจรอินเวอร์เตอร์ทั่วไป 2 ส่วนมารวมเป็นวงจรใหม่ดังนี้

1. วงจรขับเคลื่อนของมอสเฟต (MOS-FET gate drive circuit) อินเวอร์เตอร์ขนาดเล็กโดยทั่วไปจะใช้ มอสเฟตเป็น สวิตช์หลักในการ ปิด-เปิด จึงต้องมีวงจรขับเคลื่อนของมอสเฟตเพื่อคุมสวิตช์ [3] ซึ่งในวงจรที่นำเสนอได้มีการออกแบบเพื่อลดวงจรขับเคลื่อนจากเดิมมีความซับซ้อนและมีต้นทุนที่สูงและวงจรที่ออกแบบสามารถทำงานได้เหมือนกับ

อินเวอร์เตอร์ทั่วไป

2. วงจรสร้างความเหลื่อมล้ำทางสัญญาณ (Dead-time) อินเวอร์เตอร์โดยทั่วไปจะต้องมีวงจรนี้ด้วยซึ่งเป็นวงจรที่ทำหน้าที่ไม่ให้เกิดการลัดวงจรภายในของภาคกำลังเนื่องจากการ ปิด-เปิด ของสวิตช์หลักไม่ได้เกิดขึ้นพร้อมกัน [3] การนำสัญญาณ PWM มาขับโดยตรงจะทำให้สวิตช์ตัวบนและตัวล่างเกิดการนำกระแสพร้อมกันส่งผลให้เกิดการลัดวงจรและเป็นสาเหตุให้สวิตช์หลักซึ่งเป็นอุปกรณ์กึ่งตัวนำเสียหายได้ ดังนั้นจึงต้องทำให้สัญญาณ PWM ที่จะมาควบคุมการ ปิด-เปิด สวิตช์หลักให้มีการหน่วงเวลาไว้ก่อนเพื่อให้สวิตช์ตัวบนและตัวล่างปิดไม่พร้อมกัน วงจรอินเวอร์เตอร์ที่นำเสนอไม่ต้องการวงจรสร้างความเหลื่อมล้ำทางสัญญาณเนื่องจากมีวงจรหน่วงเวลาสัญญาณของสวิตช์ตัวบนและตัวล่างอยู่แล้ว

3. วงจรที่นำเสนอมีการลดสัญญาณ MCU control signals ซึ่งจากเดิมอินเวอร์เตอร์ทั่วไปจะมีการออกแบบโดยใช้ MCU control signals กับสวิตช์หลัก หรือ MOS-FET ทั้ง 4 ตัว ดังภาพที่ 2 ซึ่งจะแตกต่างกับวงจรอินเวอร์เตอร์ที่นำเสนอคือจะใช้ MCU control signals ในการควบคุมสวิตช์เพียง 2 ตัวเท่านั้น ดังภาพที่ 3

จากโครงสร้างหลักที่นำเสนอข้างต้นจึงสามารถนำมาเป็นแนวทางในการออกแบบวงจรอินเวอร์เตอร์กำลังต่ำแบบใหม่ที่สามารถใช้งานกับอุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีกำลังวัตต์ต่ำและสามารถใช้ได้กับแรงดันไฟฟ้าและความถี่ที่เหมาะสมกับบ้านและสำนักงานทั่วไปคือที่แรงดัน 220Vrms และ 50Hz ตามลำดับ [4] อีกทั้งวงจรยังออกแบบให้มีจำนวนอุปกรณ์น้อยขึ้นจากเดิมตั้งหัวข้อทั้ง 3 หัวข้อข้างต้นดังนั้นจึงสามารถลดต้นทุนในการออกแบบลง ซึ่งจากภาพที่ 2 และภาพที่ 3 จะแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างของอินเวอร์เตอร์ทั้งสองวงจรอย่างชัดเจนเนื่องจากอินเวอร์เตอร์ที่นำเสนอนั้นออกแบบมาเพื่อใช้กับกำลังวัตต์ต่ำ และความถี่ต่ำ จึงทำให้สามารถลดจำนวนอุปกรณ์ลงจากเดิมและอุปกรณ์ที่ใช้ออกแบบจึงมีราคาที่ต่ำลงซึ่งทำให้

ต้นทุนที่ใช้ในการออกแบบต่ำลงด้วย

วัตถุประสงค์

1. เพื่อออกแบบวงจรอินเวอร์เตอร์ที่ไม่ใช้วงจร Dead-time อีกทั้งยังทำหน้าที่เป็นทั้งวงจรขับและวงจรหลักในวงจรเดียว
2. เพื่อออกแบบวงจรอินเวอร์เตอร์กำลังไฟฟ้าต่ำ ที่มีการทำงานเหมือนอินเวอร์เตอร์ทั่วไปได้
3. ออกแบบวงจรอินเวอร์เตอร์แบบใหม่ให้มีอุปกรณ์น้อยชิ้นเพื่อลดต้นทุนการผลิตของวงจร

วิธีการวิจัย

การออกแบบวงจรอินเวอร์เตอร์กำลังวัตต์ต่ำ

ในการออกแบบวงจรอินเวอร์เตอร์ที่นำเสนอจะมีหลักการออกแบบวงจรตามวงจรพื้นฐานของอินเวอร์เตอร์ 1 เฟสดังภาพที่ 4 การ ON-OFF ของสวิตช์หลักโดยจะมีการแบ่งส่วนของการทำงานออกเป็น 2 ส่วน (2 ขา) คือส่วนของฝั่ง ARM 1 ซึ่งจะประกอบไปด้วยสวิตช์ S1, S3 และ OUTPUT A และส่วนของฝั่ง ARM 2 จะประกอบไปด้วยสวิตช์ S2, S4 และ OUTPUTB อีกทั้งในส่วนของการ ON-OFF ของสวิตช์จะแบ่งออกเป็น 2 ลักษณะด้วยกันคือ การ ON-OFF สวิตช์ด้วยความถี่สูง (HF) และการ ON-OFF สวิตช์ด้วยความถี่ต่ำ (LF) โดยการทำงานของสวิตช์ S1 และ S2 จะ ON-OFF สวิตช์ด้วยความถี่ต่ำ (LF) ซึ่งจะ ON-OFF ที่ความถี่ 50Hz และสวิตช์ S3 และ S4 จะ ON-OFF สวิตช์ด้วยความถี่สูง (HF) ที่ 4KHz โดยการควบคุมสวิตช์ของวงจรที่นำเสนอจะเป็นดังภาพที่ 5 ซึ่งในการ ON-OFF ของสวิตช์ S1 และ S2 จะ ON-OFF สลับกันและสวิตช์ S3 และ S4 ก็เช่นกันโดยการทำงานจะเป็นดังนี้

จากภาพที่ 5 ในส่วนที่ 1 จะเป็นการออกแบบการทำงานของวงจรที่นำเสนอ ในส่วนของ ARM 1 คือ เมื่อสวิตช์ S3 ไม่นำกระแส (OFF) ส่งผลให้สวิตช์ S1 นำกระแส (ON) ดังนั้นแรงดันที่ออกที่ OUTPUT

A ในฝั่งของ ARM 1 จะมีค่าเท่ากับ V_{dc} ซึ่งจะแสดงในช่วงของ T1 ส่วนต่อไปเมื่อสวิตช์ S3 ON-OFF ด้วยความถี่สูง จะส่งผลให้สวิตช์ S1 ไม่นำกระแส (OFF) เนื่องจากการ ON-OFF ของสวิตช์ S3 นั้น ON-OFF ที่ความถี่สูง จึงส่งผลให้สวิตช์ S1 ไม่นำกระแส (OFF) ซึ่งการทำงานจะอยู่ในช่วง T2 โดยในช่วงนี้จะแบ่งออกเป็น 2 กรณี คือ กรณีที่ 1 เมื่อสวิตช์ S3 นำกระแส (ON) และสวิตช์ S1 ไม่นำกระแส (OFF) ในกรณีนี้จะส่งผลให้แรงดันออกที่ OUTPUT A เป็น 0 V และ กรณีที่ 2 คือ เมื่อสวิตช์ S3 ไม่นำกระแส (OFF) และ สวิตช์ S1 ไม่นำกระแส (OFF) ซึ่งในกรณีนี้จะส่งผลให้ค่าแรงดันออกที่ OUTPUT A เป็น V_{dc} ดังนั้นในช่วง T2 สัญญาณแรงดันที่ OUTPUT A จะ ON-OFF สลับกันด้วยความถี่สูงและมีแรงดันขณะ ON ที่ V_{dc} และขณะ OFF ที่ 0V

ต่อมาจากภาพที่ 5 ในส่วนที่ 2 จะเป็นการออกแบบการทำงานของวงจรที่นำเสนอในส่วน ARM2 ซึ่งในส่วนนี้จะใกล้เคียงกับส่วนที่ 1 แต่จะแตกต่างเพียงการทำงานที่สลับการทำงานเท่านั้นคือในช่วง T1 สวิตช์ S4 ON-OFF ด้วยความถี่สูงและสวิตช์ S2 ไม่นำกระแส (OFF) เนื่องจากการ ON-OFF ของสวิตช์ S4 นั้น ON-OFF ที่ความถี่สูง จึงส่งผลให้สวิตช์ S2 ไม่นำกระแส (OFF) โดยในช่วงนี้จะแบ่งออกเป็น 2 กรณี คือ กรณีที่ 1 เมื่อสวิตช์ S4 นำกระแส (ON) และ สวิตช์ S2 ไม่นำกระแส (OFF) ในกรณีนี้จะส่งผลให้แรงดันออกที่ OUTPUT B เป็น 0 V และ กรณีที่ 2 คือ เมื่อสวิตช์ S4 ไม่นำกระแส (OFF) และ สวิตช์ S2 ไม่นำกระแส (OFF) ซึ่งในกรณีนี้จะส่งผลให้ค่าแรงดันที่ output B มีค่าเท่ากับ V_{dc} ดังนั้นในช่วง T1 สัญญาณแรงดันที่ OUTPUT B จะ ON-OFF สลับกันด้วยความถี่สูงและมีแรงดันขณะ ON ที่ V_{dc} และขณะ OFF ที่ 0V ต่อมาในส่วนในช่วง T2 สวิตช์ S4 ไม่นำกระแส (OFF) และสวิตช์ S3 นำกระแส (ON) แรงดันที่ออก จะมีค่าเท่ากับ V_{dc} ซึ่งผลของ OUTPUT B ก็จะคล้ายกันกับในส่วนของ ARM1 เพียงแต่ทำงานสลับกันเท่านั้น

เมื่อนำสัญญาณที่ได้จากจุด A และ จุด B มาลบกัันจะเปรียบเสมือนกับการวัดสัญญาณแรงดันคร่อมโหลดซึ่งจะแสดงดังภาพที่ 5 โดยแนวทางนี้จะ เป็นแนวทางในการออกแบบวงจรอินเวอร์เตอร์เพื่อ ให้สามารถสร้างกระแสและแรงดันให้สามารถควบคุม อุปกรณ์ไฟฟ้าต่าง ๆ ได้ต่อไป

หลักการการทำงานของอินเวอร์เตอร์ที่นำเสนอ

สำหรับหลักการการทำงานของวงจรอินเวอร์เตอร์ กำลังวัดได้จากที่ได้นำเสนอการออกแบบวงจรใน หัวข้อที่ผ่านมาและทราบถึงหลักการการทำงานของสวิทช์ ต่าง ๆ ซึ่งในหัวข้อนี้จะเป็นการอธิบายถึงการทำงานของ วงจรจริงซึ่งจะแบ่งการทำงานออกเป็น 2 ส่วน ดังนี้

จากภาพที่ 6 ส่วนที่ 1 จะเป็นการทำงานของ วงจรที่นำเสนอในส่วนขงฝั่ง ARM1 ซึ่งแรงดันที่จ่าย ให้กับวงจรจะมาจาก DC-link และเพิ่มแรงดันอีก 12 V โดยผ่าน D₀ และ C₃ แล้วจึงกรองสัญญาณโดย C₄ เพื่อไม่ให้แรงดันตกลงเมื่อจ่ายให้กับโหลด โดยจะแบ่ง การทำงานออกเป็น 2 ช่วงคือช่วง T₁ และ T₂ ดังเช่น หัวข้อของการออกแบบ คือส่วนแรกช่วง T₁ เมื่อ S₃ ไม่นำกระแส (OFF) จะส่งผลให้เกิดแรงดันอัดประจุที่ C₁ ซึ่งมีค่าเท่ากับ V_{g1} ส่งผลให้ S₁ นำกระแส (ON) ดังนั้นกระแสจึงไหลผ่าน S₁ และ D₁ เข้าสู่โหลดและ ไม่ไหลผ่าน D₂ กับ D₄ เนื่องจาก S₃ ไม่นำกระแส (OFF) ดังนั้น ทำให้แรงดัน OUTPUT A มีค่าเท่ากับ 315V ต่อมาคือสัญญาณในส่วนขงช่วง T₂ โดยในช่วง T₂ นี้ S₃ จะ ON-OFF ด้วยความถี่สูง จึงส่งผลให้ S₁ ไม่นำกระแส (OFF) เมื่อเกิดการอัดประจุที่ C₁ ซึ่งใน ช่วง T₂ นี้จะแบ่งการทำงานออกเป็น 2 กรณี คือ กรณี แรก จากภาพที่ 7 เมื่อ S₃ นำกระแส (ON) จะทำ ให้ C₁ คายแรงดันอัดประจุ ทำให้แรงดันที่ OUTPUT A มีค่าเท่ากับ 0V ดังนั้นกระแสจึงไหลผ่าน D₂ และ S₃ สู่กราวด์ ต่อมาในกรณีที่สอง จากภาพที่ 8 S₃ ไม่นำกระแส (OFF) จะส่งผลให้เกิดการอัดประจุใน C₁ ทำให้แรงดันตกคร่อม C₁ เพิ่มขึ้นมีค่าเท่ากับ V_{g1} ดังนั้นแรงดันที่ OUTPUT A จึงมีค่าเท่ากับ 315V และ

เมื่อพิจารณาทั้ง 2 ช่วงเวลาสัญญาณ OUTPUT A ที่ ได้จะเป็นดังภาพที่ 16

ต่อมาในส่วนที่ 2 ซึ่งจะเป็นการทำงานของ วงจรที่นำเสนอในส่วนขงฝั่ง ARM2 ซึ่งจะแบ่งการ ทำงานออกเป็น 2 ช่วงคือช่วง T₁ และ T₂ เช่นกัน แต่ในการทำงานของวงจรในส่วนนี้จะทำงานคล้ายกัน กับส่วน ARM 1 เพียงแต่ทำงานสลับกันเท่านั้น ซึ่ง ในส่วนขงช่วงเวลา T₁ สวิทช์ S₄ จะ ON-OFF ที่ ความถี่สูงจึงส่งผลให้ S₂ ไม่นำกระแส (OFF) เมื่อ เกิดการอัดประจุที่ C₂ โดยจะแบ่งการทำงานในช่วงนี้ ออกเป็น 2 กรณีเช่นกัน โดยกรณีที่หนึ่งจากภาพที่ 9 เมื่อ S₄ นำกระแส(ON) จะทำให้ OUTPUT B มีค่า เท่ากับ 0V ในทางกลับกันจากภาพที่ 10 กรณีที่สองเมื่อ S₄ ไม่นำกระแส (OFF) จะทำให้สัญญาณที่ OUTPUT B มีค่าเท่ากับ 315V ซึ่งทำให้ OUTPUT B ที่ได้ในช่วง นี้จะ ON-OFF สลับกัน ต่อมาเมื่อถึงช่วงเวลา T₂ จาก ภาพที่ 11 สวิทช์ S₄ ไม่นำกระแส (OFF) และ S₂ นำ กระแส (ON) ช่วงเวลานี้จะทำให้แรงดันที่ OUTPUT B มีค่าเท่ากับ 315V ดังนั้นเมื่อพิจารณาทั้ง 2 ช่วงเวลา สัญญาณที่ OUTPUT B จะเป็นดังภาพที่ 16

การไม่ใช้ Deadtime ในวงจรที่นำเสนอ

โดยทั่วไปแล้วสำหรับวงจรอินเวอร์เตอร์ วงจร สร้างความเหลื่อมล้ำทางสัญญาณ (Dead-time) เป็นวงจรที่ทำหน้าที่ไม่ให้เกิดการลัดวงจรภายใน ขงภาคกำลังเนื่องจากการ ปิด-เปิด ของสวิทช์หลัก ไม่ได้เกิดขึ้นพร้อมกัน [3] การนำสัญญาณ PWM มาขับโดยตรงจะทำให้สวิทช์ตัวบนและตัวล่างเกิด การนำกระแสพร้อมกันส่งผลให้เกิดการลัดวงจรและ เป็นสาเหตุให้สวิทช์หลักซึ่งเป็นอุปกรณ์กึ่งตัวนำเสีย หายได้ ดังนั้นจึงต้องทำให้สัญญาณ PWM ที่จะมา ควบคุมการ ปิด-เปิด สวิทช์หลักให้มีการหน่วงเวลา ไว้ก่อนเพื่อให้สวิทช์ตัวบนและตัวล่างปิดไม่พร้อมกัน ซึ่งอินเวอร์เตอร์ที่นำเสนอนี้สามารถดัดวงจรนี้ออก ไปและวงจรอินเวอร์เตอร์ที่นำเสนอสามารถทำงานได้ เหมือนกับอินเวอร์เตอร์ทั่วไปและสามารถลดต้นทุน ในส่วนขงอุปกรณ์ในการออกแบบวงจรลงได้อย่าง

มาก ซึ่งการทำงานของอินเวอร์เตอร์ที่นำเสนอที่ไม่ใช้ Dead-time จะเป็นดังนี้

จากภาพที่ 18 เป็นการนำเสนอการทำงานของอินเวอร์เตอร์ที่นำเสนอโดยไม่ใช้ Dead-time เพียงแค่หนึ่ง ARM คือในส่วนของ ARM1 เท่านั้น เนื่องจากในส่วนของการทำงานของ ARM2 มีการทำงานที่เหมือนกันซึ่งการทำงานจะเป็นดังนี้

จากภาพที่ 19 ป้อนสัญญาณควบคุม MCU1 ให้แก่วงจรเพื่อควบคุมการ ON-OFF ของสวิตช์ S3 โดยการทำงานคือเมื่อ MCU1 ON จะส่งผลให้สวิตช์ S3 ไม่นำกระแส (OFF) และ เมื่อ MCU1 OFF จะส่งผลให้ สวิตช์ S3 นำกระแส (ON) โดยสวิตช์ S3 จะเป็นตัวควบคุมการทำงานของอินเวอร์เตอร์ต่อไป

โดยการทำงานของอินเวอร์เตอร์ที่นำเสนอจะแบ่งออกเป็น 2 กรณีคือกรณีที่ 1 เมื่อสวิตช์ S3 ไม่นำกระแส (OFF) จะส่งผลให้แรงดันขนาด 315V อัดประจุเข้าที่ตัวเก็บประจุ C1 และจะส่งผลให้สวิตช์ S1 นำกระแส (ON) แต่จะนำกระแสหลังจากที่แรงดันอัดประจุที่ C1 เต็มที่เสียก่อนซึ่งช่วงเวลาก่อนที่สวิตช์ S1 จะนำกระแส (ON) นี้เองเรียกว่าค่า Time Constant ซึ่งมีค่าคือ

$$\text{Time Constant} = R1C1$$

โดยค่า Time Constant นี้จะเป็นสิ่งที่ทำให้สวิตช์ S1 และ S3 ไม่นำกระแสพร้อมกันจึงทำให้วงจรอินเวอร์เตอร์ที่นำเสนอไม่ใช้ Dead-time ในวงจรซึ่งหลังจากที่แรงดันอัดประจุที่ตัวเก็บประจุ C1 เต็มที่แล้วจะส่งผลให้สวิตช์ S1 นำกระแส (ON)

ต่อมาในกรณีที่ 2 เมื่อสวิตช์ S3 นำกระแส (ON) ตัวเก็บประจุ C1 จะคายประจุลงสู่กราวด์จึงส่งผลให้สวิตช์ S1 ไม่นำกระแส (OFF) ซึ่งหากพิจารณาจะพบว่าการนำกระแสของสวิตช์ S1 และ S3 จะไม่นำกระแสพร้อมกันจึงทำให้อินเวอร์เตอร์ที่นำเสนอไม่ต้องใช้ Dead-time และวงจรสามารถทำงานได้ปกติ

จากการทำงานข้างต้นที่ได้อธิบายพบว่าการทำงานของวงจรที่นำเสนอสามารถทำงานตามที่

ได้ออกแบบไว้และข้อดีของการทำงานของวงจรนี้จะเห็นได้ว่าการควบคุมการทำงานของสวิตช์ S3 และ S4 จะสามารถควบคุมการทำงานของ สวิตช์ ทั้ง 4 ตัวได้โดยควบคุมสวิตช์อีก 2 ตัวผ่าน RC ซึ่งจะแตกต่างจากอินเวอร์เตอร์ทั่วไปที่ต้องควบคุมการทำงานของทั้ง 4 สวิตช์ ซึ่งจะทำให้สิ้นเปลืองอุปกรณ์ อีกทั้งยังพบว่าการทำงานของ MOSFETs ในแต่ละ ARM จะไม่นำกระแส (ON) พร้อมกันเนื่องจาก การนำกระแสของ MOSFETs ในแต่ละ ARM พร้อมกันนั้นจะเกิดการลัดวงจรได้จึงทำให้วงจรที่นำเสนอไม่ใช้ Dead-time ซึ่งเป็นการสิ้นเปลืองอุปกรณ์ในวงจรอีกด้วยซึ่งจะแสดงดังภาพที่ 15 จะเห็นได้ว่าการ ON-OFF ของ MOSFETs ใน 1ARM จะไม่ ON-OFF พร้อมกัน อีกทั้ง Diode เช่น ใน ARM1 Diode D1, D2, D4 จะเป็นส่วนสำคัญในการเรียงกระแสให้ไปในทิศทางตามต้องการเมื่อเกิดการ ON-OFF ของ สวิตช์ S1 และ S3 เนื่องจากวงจรที่นำเสนอไม่ใช้ Dead-time ในวงจร

ผลการวิจัย

ในส่วนของการทดลองของวงจรอินเวอร์เตอร์ที่นำเสนอจะใช้กับแหล่งจ่ายที่มีขนาดแรงดันในการทดลองอยู่ที่ 220Vrms ที่ความถี่ 50Hz ซึ่งจะเหมือนกับไฟฟ้าที่ใช้ในบ้านและสำนักงานทั่วไปและสำหรับในส่วน of สัญญาณ PWM ที่ใช้ควบคุมการทำงานของวงจรจะสร้างมาจาก Microcontroller ชนิด AVR ATmega8 โดยจะป้อนผ่านจุด MCU1 และ MCU2 ซึ่งสัญญาณควบคุมที่ใช้จะเป็น ดังภาพที่ 12 โดยในการวัดสัญญาณจะใช้ Oscilloscope รุ่น YOGOKAWA DL 1520 และโหมดในการทดลองจะทดลองกับโหมดซึ่งเป็นพัดลมตั้งโต๊ะขนาด 45W

ซึ่งจากภาพที่ 12 จะแสดงในส่วน of สัญญาณ PWM ที่ใช้ควบคุมการทำงานของวงจร โดยจะสร้างสัญญาณควบคุมการทำงานของอินเวอร์เตอร์ทั้ง 2 ARM ซึ่งในส่วน of ARM1 จะป้อน

สัญญาณ PWM คือ MCU1 และ ในส่วนของ ARM2 จะป้อนสัญญาณ PWM คือ MCU2 โดยสัญญาณจะมีขนาดประมาณ 5V และ จะทำงานสลับกัน ซึ่งภายในช่วง X จะ ON-OFF ด้วยความถี่ที่สูงและ ในส่วนของช่วง Y จะมีความถี่เท่ากับ 50Hz ซึ่งการสร้างสัญญาณเช่นนี้ก็เพื่อให้เกิดสัญญาณออกที่ OUTPUT เป็นบวกและลบ โดยสัญญาณที่ได้จะนำมาผ่าน S5 และ S6 ตามลำดับ เพื่อขยายสัญญาณ และ ควบคุมวงจรต่อไป ดังภาพที่ 13 ซึ่งจะแสดงในส่วนของ Vq3

จากภาพที่ 13 หลังจากที่ย้ายสัญญาณ S5 และ S6 ตามลำดับแล้ว สัญญาณที่ได้จะเป็นตัวควบคุมการทำงานของ S3 และ S4 ตามลำดับ โดยจากภาพที่ 14 และ ภาพที่ 15 จะแสดงการทำงานของ OUTPUT A และ แรงดัน Vg1 และสัญญาณ VGS ที่ high and low side ตามลำดับ ซึ่งจะแบ่งการทำงานออกเป็น 2 ช่วงคือช่วง T1 และ T2 สำหรับในส่วนแรกช่วง T1 เมื่อ S3 ไม่นำกระแส (OFF) จะส่งผลให้เกิดแรงดันอัดประจุใน C1 ซึ่งมีค่าเท่ากับ Vg1 จึงส่งผลให้ S1 นำกระแส (ON) ดังนั้นจึงทำให้แรงดัน OUTPUT A มีค่าเท่ากับ 315V ต่อมาคือสัญญาณในส่วนในช่วง T2 ซึ่งสวิตช์ S3 จะ ON-OFF ด้วยความถี่ที่สูงและ S1 ไม่นำกระแส (OFF) ในช่วง T2 นี้ S3 จะ ON-OFF ด้วยความถี่สูงซึ่งในช่วงนี้สัญญาณที่ OUTPUT A ก็จะมี ON-OFF สลับกันด้วยความถี่ที่สูงเช่นกัน ซึ่ง ณ ที่นี้จะอธิบายการทำงานเพียงแค่ว่าเพียงอย่างเดียวคือในส่วนช่วงของฝั่ง ARM1 สำหรับในส่วนช่วงของฝั่ง ARM2 นั้นจะคล้ายกันเพียงแต่ทำงานสลับกันเท่านั้น ซึ่งจากภาพที่ 16 แสดงสัญญาณแรงดัน OUTPUT A และ OUTPUT B ที่ได้ ซึ่งเมื่อนำสัญญาณที่ได้ไปป้อนผ่านโหลดพัลลัมสัญญาณของแรงดันและกระแสที่ได้จะเป็นดังภาพที่ 17 ซึ่งขนาดแรงดันไฟฟ้าที่ได้มีค่าเท่ากับ 220 Vrms และกระแสที่ได้มีค่าเท่ากับ 300 mA

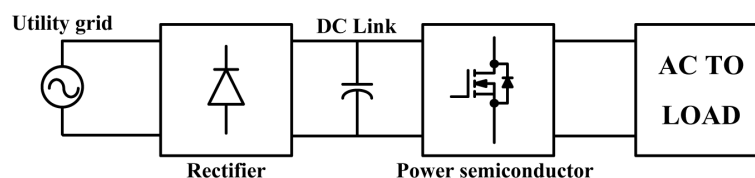
สรุปผลการวิจัย

จากที่ได้เสนอมาข้างต้นซึ่งได้ทำการออกแบบและทดลองกับวงจรจริงพบว่าการทำงานของวงจรอินเวอร์เตอร์กำลังต่ำสามารถทำงานได้เหมือนกับที่ได้ทำการออกแบบไว้และสามารถทำงานได้เหมือนกับวงจรอินเวอร์เตอร์ทั่วไปและมีข้อดีของการทำงานของวงจรคือการควบคุมการทำงานของสวิตช์เพียงตัวเดียวใน 1 ARM จะสามารถควบคุมการทำงานของสวิตช์ทั้งสองตัวใน 1 ARM ได้เนื่องจากสวิตช์อีกตัวจะใช้ RC ในการควบคุมซึ่งจะแตกต่างจากอินเวอร์เตอร์ทั่วไปที่ต้องควบคุมการทำงานของทั้งสองสวิตช์ซึ่งจะทำให้สิ้นเปลืองอุปกรณ์และวงจรที่ใช้จะต้องมี Deadtime ด้วยดังนั้นจากที่ได้ออกแบบวงจรให้สามารถควบคุมการทำงานเพียง 1 สวิตช์ใน 1 ARM จึงทำให้วงจรที่นำเสนอไม่ต้องใช้ Deadtime ซึ่งจะสามารถลดจำนวนอุปกรณ์ในการออกแบบวงจรลงได้และในส่วนองแรงดันที่ใช้ในการทดลองคือ 220 Vrms ซึ่งเป็นไฟที่ใช้ตามบ้านและสำนักงานทั่วไปและเมื่อนำมาทดสอบกับโหลดชนิดพัลลัมขนาด 45 W พบว่าวงจรที่ออกแบบสามารถทำงานได้ทั้งที่มีโหลดและไม่มีโหลดตามปกติและเมื่อวัดแรงดันและกระแสที่โหลดก็จะได้สัญญาณดังภาพที่ 17 ซึ่งสัญญาณกระแสที่ได้เป็นสัญญาณ sinewave ซึ่งมีค่ากระแสที่ประมาณ 300 mA และเมื่อนำไปต่อกับอุปกรณ์ไฟฟ้าอื่น ๆ ก็สามารถทำงานได้เหมือนกับอินเวอร์เตอร์ทั่วไปและสามารถเป็นแนวทางในการนำไปควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าชนิดอื่น ๆ ได้ต่อไป

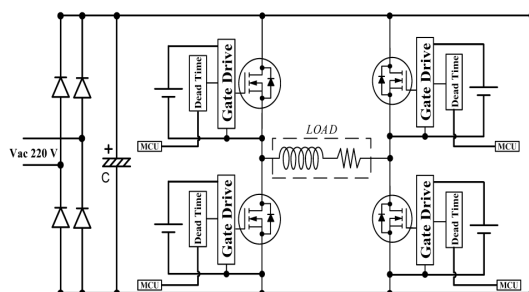
เอกสารอ้างอิง

1. Jaruwat M. The study and designing of the prototype inverter for industrial plant. [MSc].Khon Kaen: Khon Kaen University; 2008.Thai.

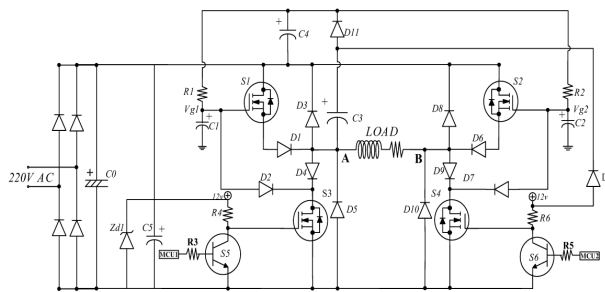
2. Lovatt HC, et al. Design of a 3-Phase, MOSFET Inverter and Associated Gate-Drive Circuit. Proc. European Power Electronics Conf., Aachen, Germany. (1989) 165-169.
3. Choeisai K. Electrical Machines Drive. KhonKaen University. Department of Electrical Engineering, 2007.
4. Jaruwat M. Design of Gate-Driving Circuit of Three-Phase Inverter for Induction Motor Drive Without External Power Supply. Electrical Engineering Conference (EECON'30), 1(1), (2007) 468-471.
5. Van der Merwe GJ, Van der Merwe L. 150W inverter-an optimal design for use in solar home system. Industrial Electronics International Symposium Proceedings (ISIE'98), 1(1), (1988) 57-62
6. Wekhande SS, Chaudhari BN, Dhopte SV, Sharma RK. A Low Cost Inverter Drive For 2-Phase Induction Motor. Power Electronics and Drive Systems International Conference (PEDS'99), 1(1), (1999) 428-431.



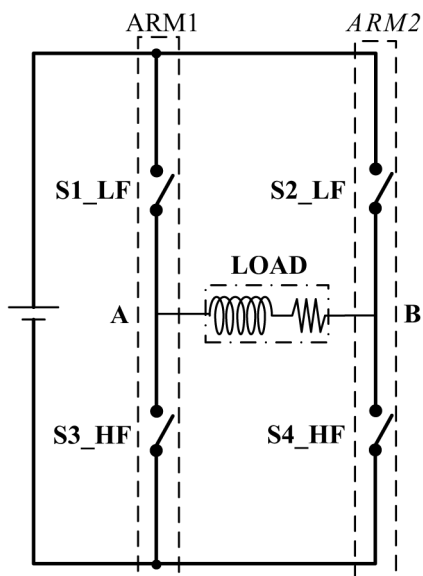
ภาพที่ 1 วงจรพื้นฐานของอินเวอร์เตอร์ [3]



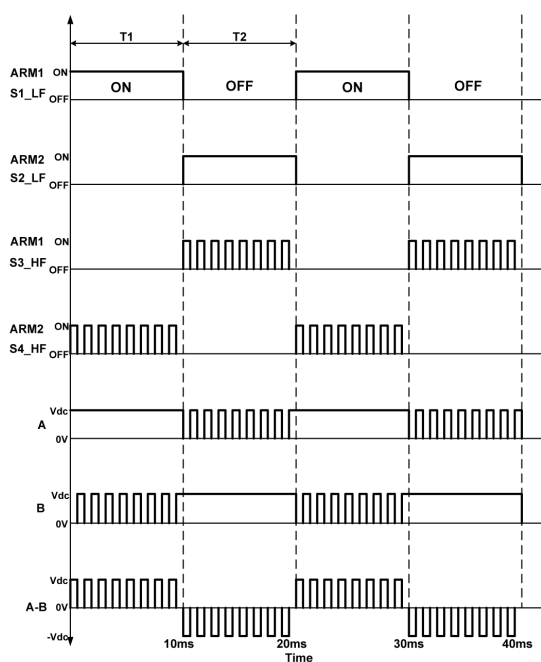
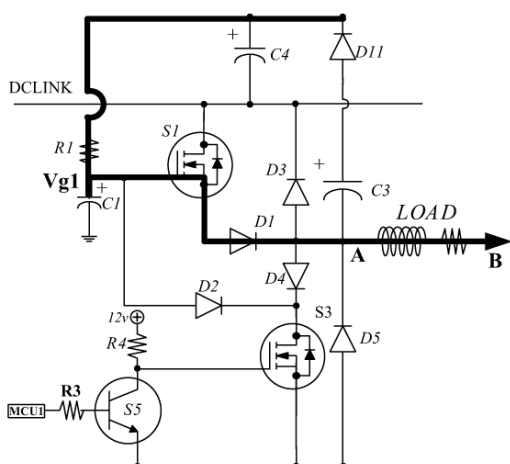
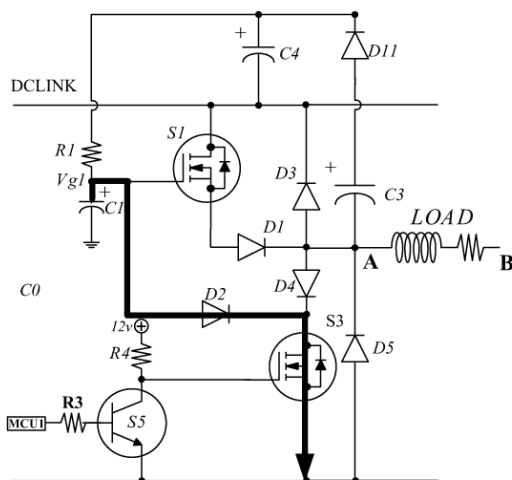
ภาพที่ 2 วงจรอินเวอร์เตอร์ทั่วไป [4-5]

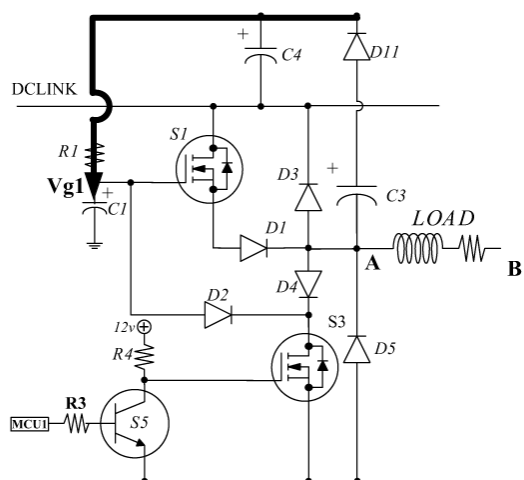


ภาพที่ 3 วงจรอินเวอร์เตอร์ที่นำเสนอ

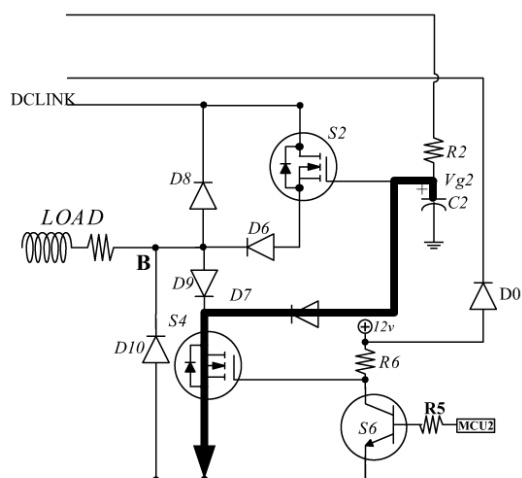


ภาพที่ 4 การทำงานของสวิตต์หลัก [6]

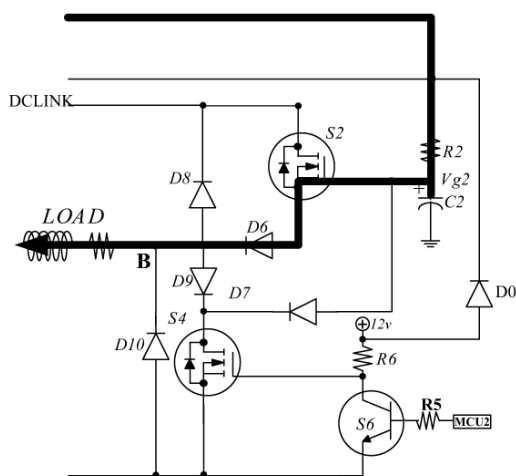
ภาพที่ 5 การทำงานของสัญญาณของอินเวอร์เตอร์
ที่นำเสนอภาพที่ 6 การทำงานในส่วน Arm 1
(S1 "ON" S3 "OFF")ภาพที่ 7 การทำงานในส่วน Arm 1
(S1 "OFF" S3 "ON")



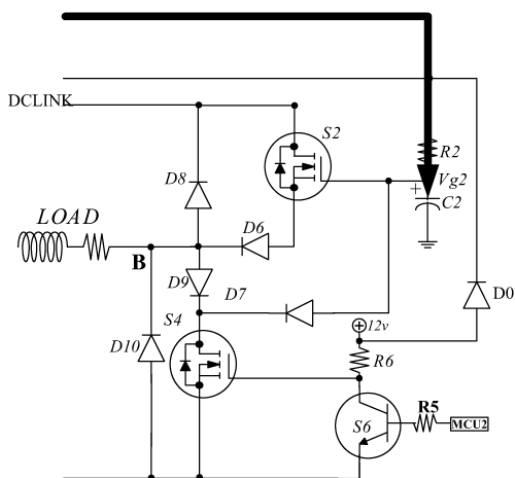
ภาพที่ 8 การทำงานในส่วน Arm 1
(S1 "OFF" S3 "OFF")



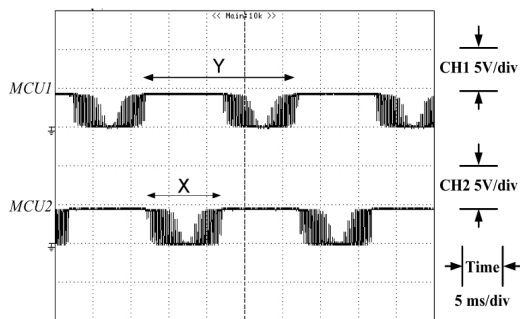
ภาพที่ 9 การทำงานในส่วน Arm 2
(S2 "OFF" S4 "ON")



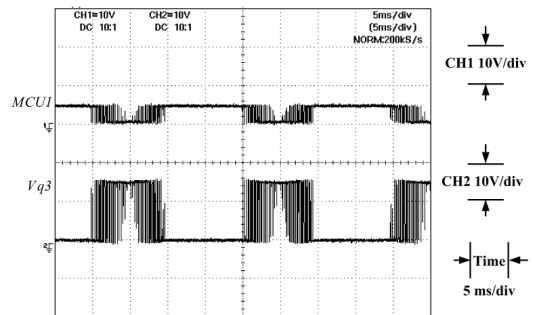
ภาพที่ 10 การทำงานในส่วน Arm 2
(S2 "ON" S4 "OFF")



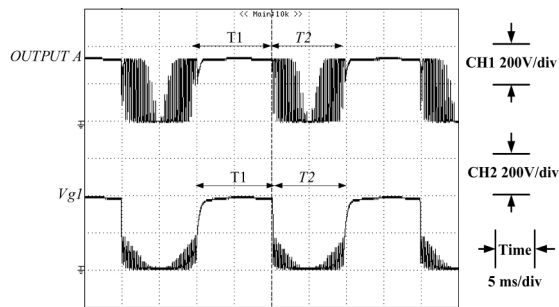
ภาพที่ 11 การทำงานในส่วน Arm 2
(S2 "OFF" S4 "OFF")



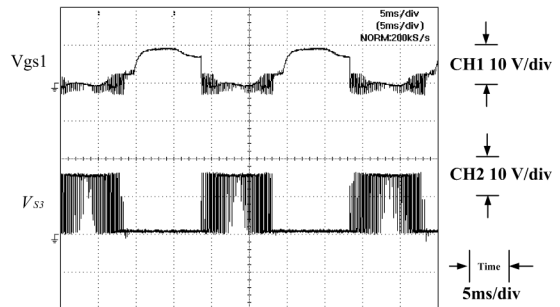
ภาพที่ 12 สัญญาณควบคุม



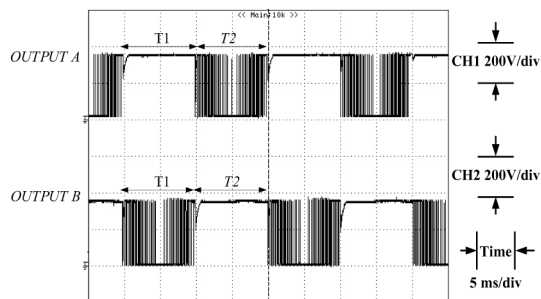
ภาพที่ 13 สัญญาณควบคุมและสัญญาณที่ Vg3



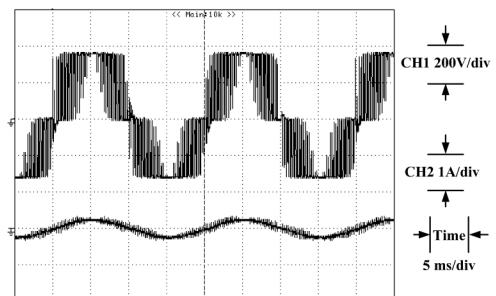
ภาพที่ 14 สัญญาณที่ Output A และแรงดัน Vg1



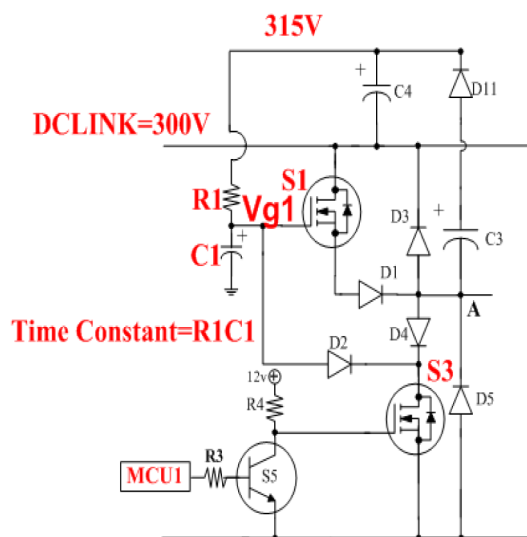
ภาพที่ 15 สัญญาณ VGS ที่ high and low side



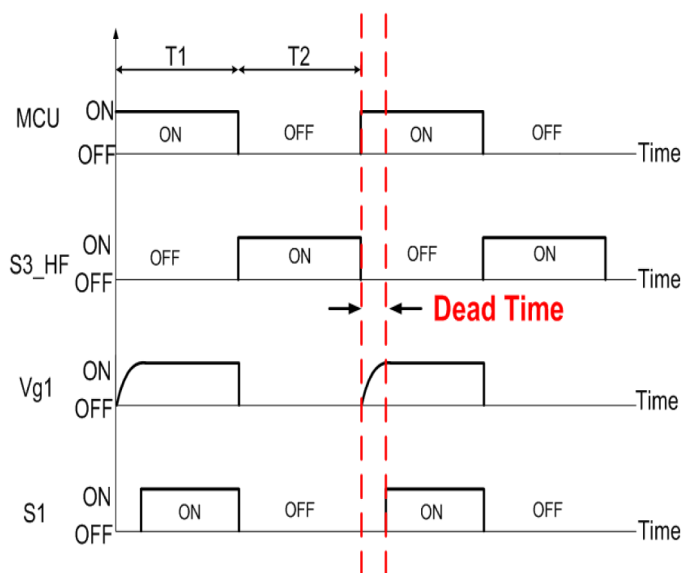
ภาพที่ 16 Output A และ B



ภาพที่ 17 แรงดันและกระแสที่โหลด



ภาพที่ 18 วงจรที่นำเสนอสื่อในส่วนของ ARM1



ภาพที่ 19 การไม่ใช้ Deadtime ของอินเวอร์เตอร์ที่นำเสนอ