O-CP08

การลดพลังงานไฟฟ้าตามสภาวะโหลดของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 1 เฟส

Energy Saving of Single Phase Induction Motor by Loaded Control

สัญญา ผาสุข

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย 90000

E-mail: sunya.p@rmutsv.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้กล่าวถึงการลดการใช้พลังงานไฟฟ้าของมอเตอร์เหนี่ยวนำชนิด 1 เฟส ขณะไม่มีโหลด ของอุปกรณ์ไฟฟ้าประเภท เครื่องเจาะ เครื่องเจีย เครื่องเลื่อยไม้ หรือเครื่องดูดฝุ่น ซึ่งเป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีโหลดไม่ต่อเนื่อง ด้วยการลดระดับแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้แก่มอเตอร์ขณะไม่มีโหลด โดยที่ไม่ทำให้มอเตอร์สูญเสียความเร็ว เป็นผลให้พลังงานไฟฟ้าที่จ่ายแก่มอเตอร์ขณะอยู่ในสภาวะไม่มีโหลดลดลง การตรวจสอบสภาวะมีโหลดหรือไม่มีโหลดของมอเตอร์จะใช้วิธีการตรวจจับมุมเฟสของแรงดันไฟฟ้าและกระแสซึ่งควบคุมการทำงานด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ หากอยู่ในสภาวะมีโหลดก็จะจ่ายแรงดันระดับปกติแก่มอเตอร์เพื่อขับโหลดให้เต็มประสิทธิภาพ แต่หากอยู่ในสภาวะไม่มีโหลดก็จะลดระดับแรงดันไฟฟ้าลงเพื่อการประหยัดพลังงานไฟฟ้า ซึ่งจากการทดลองกับมอเตอร์เครื่องเจียขนาด 1 แรงม้า แรงดัน 220 โวลท์ กระแสปกติขณะสภาวะไม่มีโหลด 5.09 แอมป์ แต่เมื่อลดระดับแรงดันลงร้อยละ 30 สามารถลดกระแสลงเป็น 3.24 แอมป์ หรือสามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าของมอเตอร์ขณะไม่มีโหลดถึงร้อยละ 36 และเป็นผลให้การทำงานของมอเตอร์มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น

คำสำคัญ: ควบคุมมอเตอร์; สภาวะโหลด; ไมโครคอนโทรลเลอร์

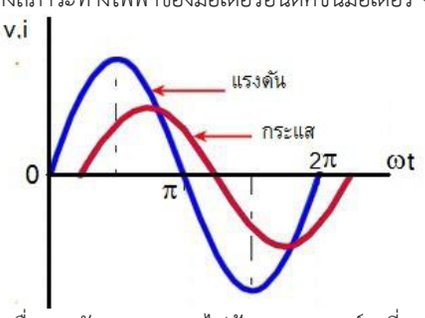
1. บทนำ

เป็นที่ยอมรับกันทั่วโลกว่ามอเตอร์เป็นอุปกรณ์ที่ใช้พลังงานไฟฟ้ามากที่สุด คือ เกือบ 70% ของการใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งหมด โดยเฉพาะในโรงงานอุตสาหกรรม มอเตอร์ส่วนใหญ่มักทำงานไม่เต็มกำลังและบ่อยครั้งที่มอเตอร์จะถูกใช้งานในสภาวะไม่มีโหลด หรือโหลดต่ำๆ [3] ซึ่งจะทำให้สูญเสียพลังงานไฟฟ้าไปจำนวนหนึ่ง เนื่องจากมอเตอร์วิ่งตัวเปล่า ไม่ได้งานเช่นมอเตอร์สำหรับการเจาะ การกลึงหรือการปั๊มขึ้นรูป การเลื่อยตัดไม้ ซึ่งจะมีการทำงาน 2 ช่วง คือ ช่วงตัดไม้กับช่วงรอไม้เข้าและไม้ออก จะได้เห็นว่าช่วงรอไม้มอเตอร์ยังคงใช้กำลังไฟฟ้าอยู่ มอเตอร์จะใช้พลังงานไฟฟ้าเพื่อผลิตค่า Reactive Power หรือกำลังไฟฟ้าที่ใช้ในการสร้างสนามแม่เหล็กในตัวมอเตอร์อย่างคงที่ ไม่ว่าจะอยู่ในสภาวะทำงานหนักหรือไม่ทำงานก็ตาม ขณะมอเตอร์ไม่มีโหลดนั้นก็ยังมีการใช้กระแสระดับนึงและเป็นการสูญเสียกำลังมอเตอร์โดยไร้ประโยชน์เพราะมอเตอร์ไม่สามารถปรับการใช้พลังงานไฟฟ้าให้สอดคล้องกับสภาวะการทำงานที่แท้จริงด้วยตัวมันเอง แต่ขณะไม่มีโหลดนั้นเราสามารถลดกระแสที่จะจ่ายให้กับมอเตอร์ลงได้อีก โดยการลดค่าระดับแรงดันลงมาให้อยู่ในระดับที่มอเตอร์ไม่สูญเสียความเร็วเดิม และหากมอเตอร์อยู่ในสภาวะมีโหลดก็จะเพิ่มค่าแรงดันไฟฟ้าให้อยู่ในระดับปกติเพื่อขับโหลดเต็มกำลังของมอเตอร์ต่อไป ดังนั้นจึงต้องมีอุปกรณ์คอยตรวจจับสภาวะการมีโหลดของมอเตอร์เพื่อควบคุมระดับแรงดันที่จะจ่ายให้แก่มอเตอร์ ซึ่งจะเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการประหยัดพลังงานไฟฟ้าขณะมอเตอร์ไม่มีโหลดได้

2. การลดระดับแรงดันแก่มอเตอร์

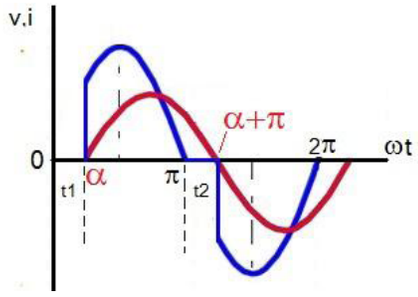
2.1 ภาวะการทำงานของมอเตอร์ เนื่องจากประสิทธิภาพ และการสูญเสียที่เกิดขึ้นจากมอเตอร์จะมีค่าสูงหรือต่ำ ขึ้นอยู่กับภาระของมอเตอร์ [2] นั้นคือ เมื่อมอเตอร์มีภาระโหลดน้อย ประสิทธิภาพจะต่ำและเกิดการสูญเสียในแกนเหล็กสูงกว่าขดลวดมาก ซึ่งหากต้องการให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดจะต้องทำให้การสูญเสียในขดลวดเท่ากับการสูญเสียในแกนเหล็ก ดังนั้นการลดค่าแรงดันไฟฟ้าลงจึงเป็นการลดการสูญเสียในแกนเหล็กลง เพื่อให้ใกล้เคียงกับการสูญเสียในขดลวด แต่อย่างไรก็ตามเมื่อมอเตอร์ทำงานที่ภาระใดภาระหนึ่งการลดระดับแรงดันลงจะทำให้ฟลักซ์แม่เหล็กลดลงด้วย เพื่อทำให้เกิดแรงบิดเท่าเดิม แกนโรเตอร์ของมอเตอร์จะดึงกระแสเพิ่มขึ้น จึงทำให้กระแสไหลเข้ามอเตอร์สูงขึ้นเช่นกัน ซึ่งจะทำให้เพิ่มการสูญเสียในขดลวดตามมาด้วย ดังนั้นโดยปกติการลดระดับแรงดันไฟฟ้าลง จะต้องลดระดับแรงดันลงมาโดยที่ความเร็วไม่เปลี่ยนแปลงไปมาก

2.2หลักการลดแรงดันไฟฟ้าการออกแบบระบบที่มีมอเตอร์เป็นส่วนประกอบนั้น ผู้ผลิตมักใส่มอเตอร์ที่มีขนาดใหญ่กว่าที่จำเป็นต้องใช้งานจริงเสมอ เพื่อหลีกเลี่ยงความเสียหายจากการทำงานเกินกำลัง ดังนั้นหากมีการควบคุมให้มอเตอร์ใช้พลังงานไฟฟ้าเท่าที่จำเป็นในการทำงานจริงได้ ก็จะช่วยลดการใช้พลังงานไฟฟ้าลงได้ [2] เมื่อพิจารณาถึงสภาวะทางไฟฟ้าของมอเตอร์อินดัคชั่นมอเตอร์ จะพบคุณสมบัติของแรงดันและกระแส ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ลักษณะลูกคลื่นแรงดันและกระแสไฟฟ้าของมอเตอร์เหนี่ยวนำกระแสสลับทั่วไป

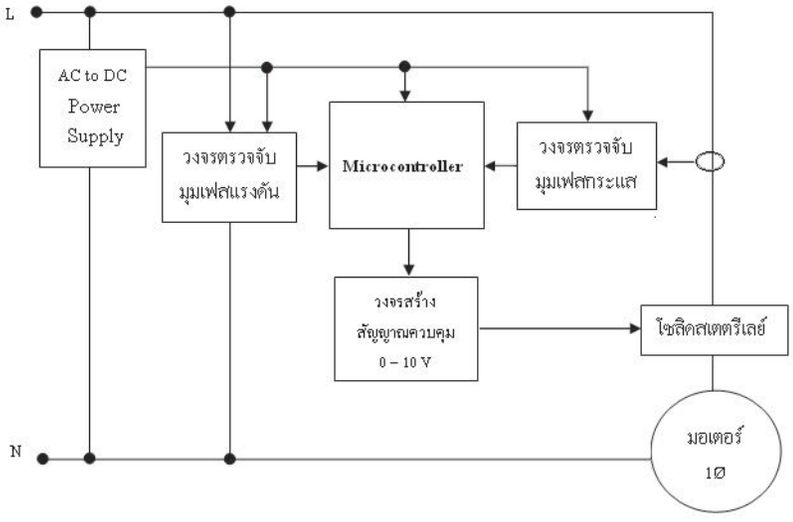
ดังนั้นอุปกรณ์ควบคุมมอเตอร์จะคอยตรวจสอบว่าเมื่อใดมอเตอร์ใช้ระดับไฟฟ้ามากกว่าที่จำเป็น ระบบก็จะลดระดับแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่เกิน โดยยังคงทำให้มอเตอร์ทำงานได้ตามปกติต่อไปแต่ใช้พลังงานไฟฟ้าน้อยลง ด้วยการกำหนดมุมจุดชนวนของไทริสเตอร์หรือโซลิตสเตต จะทำให้ความกว้างของส่วนที่ถูกตัดออกตามเวลา t1 และ t2 หายไป มีผลทำให้แรงดันไฟฟ้าลดลง ดังในรูปที่ 2 ซึ่งเป็นการลดระดับแรงดันไฟฟ้าด้วยการควบคุมมุมจุดชนวนของไทริสเตอร์



รูปที่ 2 รูปคลื่น, กระแส และ กำลังไฟฟ้า ของมอเตอร์เหนี่ยวนำที่ใช้

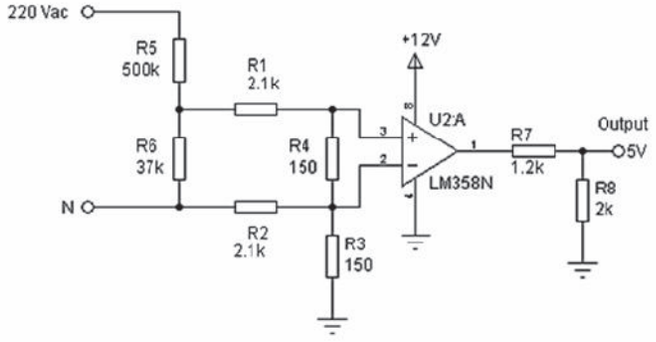
3. การออกแบบ

การสร้างระบบควบคุมกำลังไฟฟ้าตามภาระโหลดสำหรับมอเตอร์เฟสเดียวเป็นดังบล็อกไดอะแกรมในรูปที่ 3



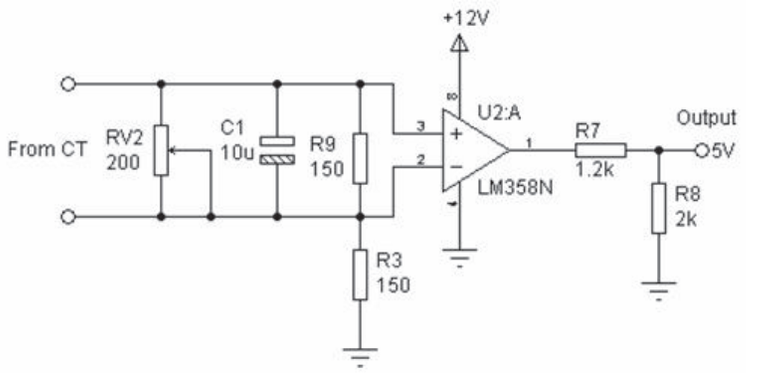
รูปที่ 3 บล็อกไดอะแกรมการทำงานของระบบ

3.1 วงจรตรวจจับมุมเฟสแรงดัน วงจรตรวจจับมุมเฟสแรงดันจะใช้วงจรแบ่งระดับแรงดันด้วยตัวต้านทานจากระดับแรงดัน 220 โวลท์ให้เหลือแรงดันสัญญาณรูปคลื่นไซน์ประมาณ 5 โวลท์ ป้อนเข้าสู่ออปแอมป์ LM358 ดังในรูปที่ 4 ซึ่งเป็นวงจรเปรียบเทียบสัญญาณ ทำให้ได้เอาท์พุตเป็นสัญญาณรูปคลื่นสี่เหลี่ยม ซึ่งขอบขาขึ้นของสัญญาณจะเป็นจุดเริ่มต้นของแรงดัน ก่อนนำไปเปรียบเทียบมุมกับกระแสต่อไป



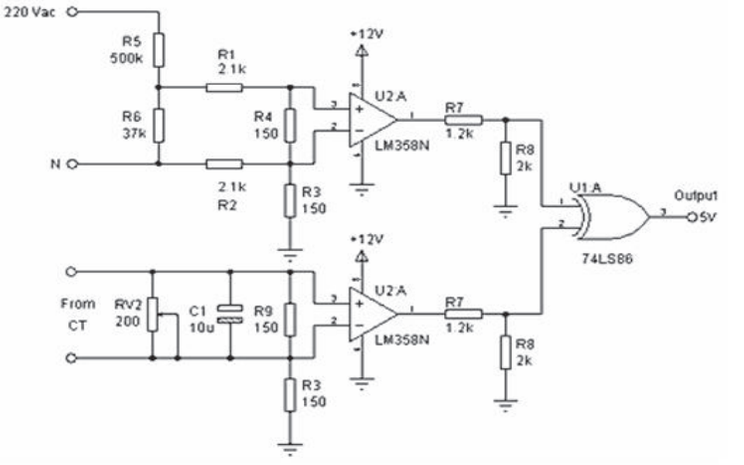
รูปที่ 4 วงจรตรวจจับมุมเฟสของแรงดัน

3.2 วงจรตรวจจับมุมเฟสกระแส วงจรตรวจจับมุมเฟสของกระแส จะใช้หม้อแปลงกระแส (CT) ตรวจจับกระแสที่จ่ายให้แก่โหลดแล้วป้อนสัญญาณที่ได้จากหม้อแปลงกระแสสู่วงรในรูปที่ 5 เพื่อเปลี่ยนให้เป็นแรงดันและได้เอาท์พุตเป็นรูปคลื่นสี่เหลี่ยมเพื่อนำไปเปรียบเทียบมุมกับเอาท์พุตแรงดันไฟฟ้าจากรูปที่ 4



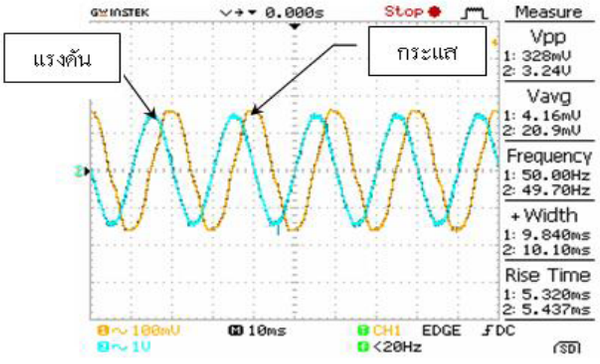
รูปที่ 5 วงจรตรวจจับมุมกระแส

3.3 วงจรตรวจจับมุมต่างเฟส การตรวจจับมุมต่างเฟสเป็นการนำสัญญาณเอาท์พุตวงจรตรวจจับมุมเฟสแรงดันและกระแสมาหามุมต่างเฟสเพื่อนำไปสู่การคำนวณหาค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า ซึ่งจะเป็นตัวบอกสถานะของมอเตอร์ว่าอยู่ในสภาวะมีโหลด หรือไม่มีโหลด การตรวจจับมุมต่างเฟสของแรงดันและกระแส ด้วยการนำสัญญาณเอาท์พุตจากวงจรตรวจจับมุมเฟสแรงดันและเอาท์พุตวงจรตรวจจับมุมเฟสกระแสป้อนเข้าสู่วงจร XOR GATE ทั้งนี้วงจรรวมของการตรวจจับมุมต่างเฟสดังแสดงในรูปที่ 6

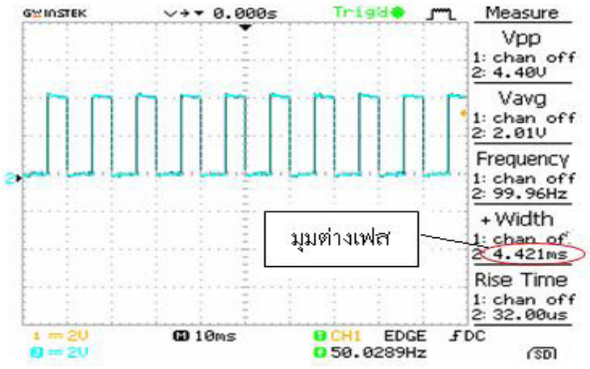


รูปที่ 6 วงจรตรวจจับมุมต่างเฟส

หากใช้ออสซิลโลสโคปวัดสัญญาณลูกคลื่นของแรงดันและกระแสก่อนเข้าวงจรตรวจจับมุมต่างเฟส จะได้สัญญาณลูกคลื่นของแรงดันและกระแส ซึ่งมุมเฟสของกระแสจะล้าหลังแรงดัน ดังแสดงในรูปที่ 7 และหากวัดสัญญาณเอาท์พุตของวงจรตรวจจับมุมต่างเฟส ก็จะได้สัญญาณลูกคลื่นสี่เหลี่ยมดังแสดงในรูปที่ 8 โดยความกว้างของสัญญาณพัลส์ด้านบวกจะเป็นระยะเวลาของมุมเฟสแรงดันและกระแสทำมุมต่างกันตามระยะเวลาที่ตรวจจับได้



รูปที่ 7 รูปคลื่นอินพุตของวงจรตรวจจับมุมเฟสแรงดันและกระแส



รูปที่ 8 รูปคลื่นสัญญาณเอาท์พุตจาก XOR GATE

จากรูปที่ 8 ความกว้างค่าบวกของสัญญาณโดยเริ่มจากขอบขาขึ้นไปยังขอบขาลงของสัญญาณคือระยะเวลามุมต่างเฟสของแรงดันและกระแส ซึ่งสามารถเปลี่ยนระยะเวลาให้อยู่ในรูปแบบทางมุมไฟฟ้าได้ดังสมการที่ (1)

$$\theta = \frac{2\pi T}{20ms} \quad \text{rad} \qquad (1)$$

เมื่อ

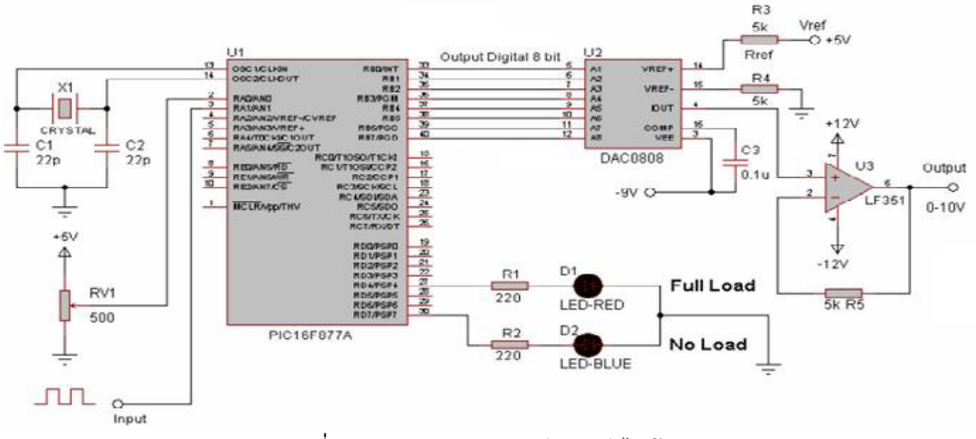
θ คือ มุมองศาเรเดียน

T คือ ระยะเวลามุมต่างเฟสหน่วยมิลลิวินาที

และสามารถหาตัวประกอบกำลังได้จากสมการที่ 2

$$\text{PF} = \cos\theta \qquad (2)$$

3.3 วงจรระบบควบคุม การตรวจสอบสภาวะการทำงานของมอเตอร์ว่าอยู่ในสภาวะมีโหลดหรือไม่มีโหลดจะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ PIC16F877A เป็นตัวประมวลผลโดยจะรับสัญญาณอินพุตจากวงจรตรวจจับมุมต่างเฟส ซึ่งใช้ขอบสัญญาณขาขึ้นเป็นจุดเริ่มของมุมต่างเฟส และใช้ขอบขาลงของสัญญาณเป็นจุดสิ้นสุดของมุมต่างเฟสโดยใช้การอินเตอร์รัปต์ของไทเมอร์ซึ่งเป็นรีจิสเตอร์ภายในของไมโครคอนโทรลเลอร์ทำหน้าหน้านับเวลาให้ได้มาเป็นค่า T เพื่อนำมาใช้เป็นเวลาคำนวณหาค่าเรเดียนซึ่งเป็นมุมต่างเฟสดังสมการที่ (1) แล้วนำไปคำนวณหาค่าตัวประกอบกำลังดังสมการที่ (2) เพื่อนำไปหาสภาวะการทำงานของมอเตอร์ว่าอยู่ในสภาวะมีโหลด หรือไม่มีโหลด หากค่าตัวประกอบกำลังมีค่าต่ำกว่าที่กำหนดแสดงว่ามอเตอร์ไม่มีโหลดก็จะควบคุมให้ โซลิตสเตต ลดแรงดันไฟฟ้าลง ประมาณ 30 % เพื่อประหยัดพลังงานไฟฟ้า และหากตัวประกอบกำลังมีค่าสูงขึ้นแสดงว่ามีโหลดเข้ามาหรืออยู่ในสภาวะมีโหลด ไมโครคอนโทรลเลอร์ก็จะควบคุมให้โซลิตสเตต ปรับแรงดันให้สูงขึ้นตามปกติเพื่อขับโหลดให้เต็มกำลัง ซึ่งในส่วนของการควบคุมแรงดันที่จ่ายแก่มอเตอร์จะใช้พอร์ต B ของไมโครคอนโทรลเลอร์กำหนดค่าแรงดันผ่านตัวแปลงดิจิตอลเป็นอนาล็อก DAC0808 เพื่อนำระดับแรงดันเอาท์พุต 0 – 10 โวลท์ ไปควบคุมโซลิตสเตต ซึ่งทำหน้าที่ควบคุมปริมาณแรงดันไฟฟ้าขนาด 220 โวลท์ให้แก่มอเตอร์ ดังในรูปที่ 9



รูปที่ 9: วงจรการควบคุมระดับแรงดันไฟฟ้า

จากรูปที่ 9 ใช้การปรับลดระดับแรงดันของโซลิตสเตตเพื่อลดกระแส หรือกำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้มอเตอร์ขณะไม่มีโหลดนั้น จะปรับลดระดับแรงดันลงมาเท่าใดจึงจะไม่ทำให้มอเตอร์สูญเสียความเร็วเดิม ทำได้โดยการปรับตั้งด้วยความต้านทานปรับค่า VR1 โดยการปรับค่าให้ทดสอบมอเตอร์อยู่ในสภาวะมีโหลดสังเกตหลอด LED D1 สว่าง และทำการนำโหลดออกหรือให้มอเตอร์อยู่ในสภาวะไม่มีโหลด หลอด LED D2 จะสว่าง แล้วทำการปรับค่า VR1 จะทำให้โซลิตสเตตลดระดับแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายแก่มอเตอร์ลงจนถึงจุดก่อนที่มอเตอร์จะสูญเสียความเร็วเดิม ก็จะเป็นจุดหรือระดับแรงดันไฟฟ้าที่ลดลง เพื่อจ่ายให้มอเตอร์ขณะไม่มีโหลดนั่นเอง

4. การทดสอบ

การทดสอบการลดระดับแรงดันไฟฟ้าขณะมอเตอร์ไม่มีโหลดนี้ ได้ใช้มอเตอร์เครื่องเจีย ซึ่งเป็นมอเตอร์ขนาด 1 HP พิกัดแรงดัน 220 โวลท์ กระแสขณะไม่มีโหลดมีขนาด 5 แอมป์ เป็นการทดสอบในขณะที่ไม่มีโหลดเพื่อหาค่าแรงดันต่ำสุดที่มอเตอร์สามารถทำงานได้โดยไม่สูญเสียความเร็ว โดยไม่มีผลต่อการสตาร์ทและการทำงานของมอเตอร์ขณะไม่มีโหลด ซึ่งได้ ผลการทดลองดังตารางที่ 1 จะเห็นได้ว่าเมื่อลดระดับแรงดันที่จ่ายแก่มอเตอร์ลง จะทำให้กระแสและกำลังไฟฟ้าทั้ง P (W), Q (Var) ลดลงด้วย ส่วนค่าตัวประกอบกำลังหรือเพาเวอร์แฟคเตอร์ และความเร็วรอบมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก จากการทดสอบลดแรงดันไฟฟ้าได้เลือกระดับการลดแรงดันไฟฟ้าลง 30 % คือที่ระดับแรงดัน 155 V มอเตอร์ยังคงสามารถทำงานได้ปกติ ค่ากระแสลดลง 3.24 แอมป์ และค่ากำลังไฟฟ้าลดลงดังข้อมูลในตารางที่ 1 ดังนั้นสำหรับมอเตอร์ที่ใช้ทดสอบนี้ จึงใช้ระดับแรงดันไฟฟ้า 155 โวลท์เป็นระดับแรงดันที่จะจ่ายให้แก่มอเตอร์ขณะไม่มีโหลด ทั้งนี้ในการทดลองหากลดแรงดันไฟฟ้าลงอีกต่อไป กระแสจะก็จะลดตามแต่จะมีให้ความเร็วรอบลดลงไปด้วย

รูปที่ 10 เครื่องเจีย ขับด้วยมอเตอร์ 1 เฟส 220 โวลท์ ขนาด 1 HP

ตารางที่ 1 สภาวะการลดแรงดันมอเตอร์

%Volt	Volt (V)	%I	I (A)	PF	P (W)	Q (Var)	N (rpm)
100.0	220	100.0	5.09	0.29	320	1120	1500
98.6	217	96.7	4.92	0.29	310	1050	1499
88.6	195	80.7	4.11	0.28	240	770	1498
86.4	190	77.8	3.96	0.28	210	710	1498
84.1	185	75.8	3.86	0.28	200	690	1498
81.8	180	73.9	3.76	0.28	190	650	1498
79.5	175	71.3	3.63	0.28	180	610	1498
77.3	170	69.4	3.53	0.28	170	580	1497
75.0	165	67.4	3.43	0.28	160	540	1497
72.7	160	65.6	3.34	0.28	150	520	1497
70.5	155	63.7	3.24	0.28	140	480	1497
68.2	150	61.9	3.15	0.28	130	460	1496
65.9	145	60.1	3.06	0.28	120	420	1496
63.6	140	58.2	2.96	0.28	110	400	1496

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบการใช้พลังงานไฟฟ้าของมอเตอร์ระหว่างไม่ต่ออุปกรณควบคุมกับต่ออุปกรณ์ควบคุมในสภาวะที่ไม่มีโหลด

การทดสอบ	%Volt	Volt (V)	% I	I (A)	PF	P (W)	Q (Var)	N (rpm)
ไม่ต่ออุปกรณ์ควบคุม	100.0	220	100.0	5.09	0.29	320	1120	1500
ต่ออุปกรณ์ควบคุม	70.5	155	63.7	3.24	0.28	140	480	1497

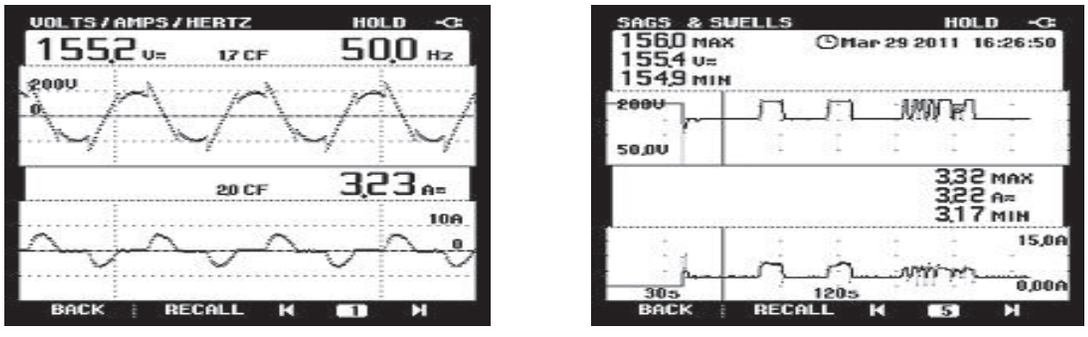
ซึ่งสามารถคำนวณหาค่าการลดกำลังไฟฟ้าได้จากสมการ

$$\%P_{rd} = \frac{P_{\text{before}} - P_{\text{after}}}{P_{\text{before}}} \text{x}100 \quad (3)$$

P_{after} กำลังไฟฟ้ากรณีใช้อุปกรณ์ควบคุมภาระโหลด

P_{before} กำลังไฟฟ้ากรณีไม่ต่ออุปกรณ์ควบคุมขณะไม่มีโหลด

จากตารางที่ 2 จะเห็นว่ากรณีไม่ได้ควบคุมแรงดันไฟฟ้าขณะมอเตอร์ไม่มีโหลดจะใช้แรงดันไฟฟ้าขนาด 220 โวลท์ และใช้กระแส 5.09 แอมป์ แต่หากใช้อุปกรณ์ควบคุมแรงดันไฟฟ้าขณะไม่มีโหลดจะลดระดับแรงดันไฟฟ้าลง 30 % ที่ระดับแรงดัน 155 โวลท์ ทำให้กระแสลดลงจาก 5 แอมป์ เป็น 3.24 แอมป์ และกำลังไฟฟ้าก็ลดลงดังข้อมูลในตาราง โดยความเร็วไม่ได้ลดมากนักจนเสียความเร็ว ซึ่งทำให้เกิดการประหยัดกำลังไฟฟ้าที่จะจ่ายให้แก่มอเตอร์ได้ถึงประมาณ 56.2 %



(ก) (ข)

รูปที่ 11 (ก) สัญญาณรูปคลื่นแรงดันที่ตกคร่อมมอเตอร์ขณะลดแรงดัน และ (ข) ขนาดของแรงดันและกระแสช่วงจังหวะขณะไม่มีโหลดและมีโหลด

4. สรุป

การลดแรงดันไฟฟ้าของมอเตอร์ขณะไม่มีโหลดด้วยวิธีการปรับมุมเฟสให้แรงดันลดลงประมาณ 30 % จะทำให้สามารถลดกระแสลงได้ 36 % เป็นผลให้สามารถประหยัดกำลังไฟฟ้าได้มากยิ่งขึ้นถึงกว่า 50 % โดยระดับแรงดันไฟฟ้าที่ลดมาอยู่ในระดับที่ไม่ทำให้มอเตอร์เสียความเร็วต้น ซึ่งสามารถปรับตั้งระดับแรงดันไฟฟ้าได้ตามความเหมาะสมของมอเตอร์แต่ละตัว ทำให้สะดวกในการนำไปใช้งาน และหากเมื่อมีโหลดเข้ามาไมโครคอนโทรลเลอร์ก็ตรวจสอบการมีโหลดได้จากค่าตัวประกอบกำลังที่แปรเปลี่ยนตามสภาวะโหลดและจะเพิ่มระดับแรงดันให้อยู่ในระดับใช้งานปกติเพื่อใช้สำหรับการขับโหลด โดยสัญญาณของแรงดันและกระแสที่ตกคร่อมมอเตอร์ดังแสดงในรูปที่ 11 ซึ่งไม่ทำให้เกิดการหยุดของมอเตอร์ กรณีใช้งานทั่วไปหากมีการปล่อยให้มอเตอร์อยู่ในสภาวะไม่มีโหลดเป็นระยะเวลานานขึ้น ระบบการลดแรงดันไฟฟ้าขณะไม่มีโหลดจะช่วยให้สามารถประหยัดกำลังไฟฟ้าได้มากขึ้น อีกทั้งระบบนี้ยังทำให้ขณะเริ่มเดินมอเตอร์ไม่ก่อให้เกิดการกระชากของกระแสทำให้การเริ่มเดินมอเตอร์เป็นไปอย่างนิ่มนวลได้อีกด้วย

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ มทร. ศรีวิชัยและสาขาวิศวกรรมไฟฟ้าที่ให้การอนุเคราะห์เครื่องมือและสถานที่ทดลอง

7. เอกสารอ้างอิง

[1] ชัยยงค์ แก้วมงคล นภัทร วัจนเทพินทร์ "อิเล็กทรอนิกส์กำลัง 1 (วงจรคอนเวอร์เตอร์)" สกายบุ๊ค กรุงเทพฯ พ.ศ. 2540.

[2] ไทยแลนด์อินดัสตรี้ดอทคอม "ประสิทธิภาพที่ได้จากการคำนวณภาระของมอเตอร์" http://www.thailandindustry.com 2552 แหล่งที่มา http://www.thailandindustry.com/guru/view.php?id=10024&section=9&rcount=Y สืบค้น เมื่อ 29 มค 2557.

[3] การไฟฟ้าแห่งประเทศไทย "อุปกรณ์ควบคุมภาระใช้งานมอเตอร์" http://www2.dede.go.th แหล่งที่มา http://www2.dede.go.th/bhrd/old/dataenergy/DocEnergy/energy%20saving%20technogy4.htm สืบค้น เมื่อ 19 กค 2556.