

การเพิ่มประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำโดยใช้ระบบควบคุมไทรแอก

The improvement of induction motor efficiency using a TRIAC control system

จตุพร บุญนคร (Jatuporn Boonnakorn)^{1*}

มงคล ดาวสว่าง (Mongkol Daosawang)²

ปานหทัย บัวศรี (Panhatai Buasri)³

กฤษ เฉยไสย (Krit Choetsai)⁴

บทคัดย่อ

ปัจจุบันการประหยัดพลังงานเป็นมาตรการที่นำมาใช้เพื่อลดต้นทุนการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ ซึ่งโรงงานอุตสาหกรรมส่วนใหญ่จะใช้มอเตอร์เป็นต้นกำเนิดของกำลังงานกลให้กับเครื่องจักรภายในโรงงาน มอเตอร์เหนี่ยวนำนั้นเป็นที่นิยมนำมาใช้งานมากเนื่องจากการควบคุมที่ง่ายและการบำรุงรักษาที่ไม่ยุ่งยาก การใช้งานโดยปกติเมื่อจ่ายพลังงานให้กับมอเตอร์เหนี่ยวนำที่ระดับแรงดันไฟฟ้าใช้งานทั่วไปจะทำให้มีการสูญเสียภายในมอเตอร์สาเหตุส่วนใหญ่เนื่องจากระดับแรงดันที่จ่ายให้กับมอเตอร์เหนี่ยวนำมีระดับแรงดันเกินมาตรฐานที่ 380 โวลต์ เป็นผลให้ระดับกระแสไฟฟ้าที่จ่ายมีค่าสูงตามไปด้วยทำให้มอเตอร์เหนี่ยวนำทำงานหนักขึ้นจึงเกิดการสูญเสียพลังงานโดยเปล่าประโยชน์ต่อหน่วยงานและองค์กร จากการทดลองทำให้ทราบว่าในกรณีที่มอเตอร์เหนี่ยวนำมีเปอร์เซ็นต์การใช้พลังงานกลต่ำกว่าพิกัด (Rated) แล้วจะสามารถลดระดับแรงดันไฟฟ้าลงเพื่อประหยัดพลังงานได้อีกบทความนี้จะนำเสนอหลักการของอุปกรณ์ประหยัดพลังงาน Power save (PS) ในการลดการใช้พลังงานของมอเตอร์เหนี่ยวนำ เมื่อทดสอบการใช้งานแล้วทำให้ทราบว่ามอเตอร์เหนี่ยวนำต้องการระดับแรงดันไฟฟ้าประมาณ 340 โวลต์ เป็นระดับแรงดันที่มอเตอร์เหนี่ยวนำใช้พลังงานไฟฟ้าน้อยที่สุด ซึ่งสามารถควบคุมระดับแรงดันไฟฟ้าโดยการใช้ไทรแอกเป็นตัวควบคุมการจ่ายแรงดันให้กับมอเตอร์เหนี่ยวนำโดยที่ความถี่ที่จ่ายยังเท่าเดิมที่ 50 เฮิร์ต ทำให้มอเตอร์เหนี่ยวนำยังคงทำงานได้เต็มพิกัดหรือกำลังงานกลไม่เปลี่ยนแปลง ทำให้ประสิทธิภาพการทำงานเพิ่มขึ้นและสามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้มากกว่า 10 %

Abstract

Nowadays, energy saving is an effective method for cost reduction in industrial plants. Induction motors are commonly found in these plants and they work as torque generators for machines. The induction

¹นักศึกษานิพนธ์ปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

²นักวิจัยและพัฒนา บริษัท ควอลิตี้แอสเซมบลี (ไทยแลนด์) จำกัด 203/6-13 ถ.นรเศรษฐ ต.หมากแข้ง อ.เมือง จ.อุดรธานี 41000

³อาจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

⁴ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

motor has become popular because it is easily operated and maintained. When the motor works normally at normal line voltage, losses in the motor are mainly caused by excess line voltage. The excess line voltage makes the motors consume more current than usual and results in losses. The experimental results show that energy saving can be achieved when the motors work at a line voltage level lower than the rated value. This paper proposes an energy saving device called Power Save (PS) for induction motors. Induction motors should be operated at the nominal voltage level of 340 volts to consume minimum energy. The induction motor's voltage is controlled using TRIACs at 50 Hz. The experimental results show that the efficiency of the induction motors is improved and there is at least 10 % saving of energy.

คำสำคัญ: มอเตอร์เหนี่ยวนำ, ไทรแอก, พาวเวอร์เซฟ

Keywords: Induction motor, TRIAC, Power Save

บทนำ

ปัจจุบันมอเตอร์เหนี่ยวนำนิยมใช้ในงานอุตสาหกรรมเป็นจำนวนมาก เนื่องจากการใช้งานมอเตอร์เหนี่ยวนำนั้นง่ายและการบำรุงรักษาที่ไม่ยุ่งยากซับซ้อน ในแต่ละวันความต้องการการใช้พลังงานไฟฟ้ามีปริมาณที่สูงมากขึ้น โดยเฉพาะในตอนกลางวัน (ช่วงพีค โหลด) ซึ่งเป็นช่วงความต้องการใช้พลังงานสูงสุด ทำให้การไฟฟ้าต้องเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้าสูงขึ้นเพื่อให้เพียงพอต่อความต้องการของผู้ใช้ จึงทำให้เกิดปัญหาแรงดันไฟฟ้าเกินในระบบ และจากสาเหตุดังกล่าวเมื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้าที่สูงกว่า 380 โวลต์ให้กับมอเตอร์ จะทำให้มอเตอร์เหนี่ยวนำได้รับระดับแรงดันไฟฟ้าด้านขาเข้าที่สูงเกินความจำเป็นส่งผลให้เกิดการสูญเสียพลังงานภายในมอเตอร์เพิ่มมากขึ้น จากปัญหาที่เกิดขึ้นนี้จึงจำเป็นต้องทำการควบคุมแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับมอเตอร์เหนี่ยวนำให้เหมาะสมกับความต้องการใช้งานเพื่อลดการสูญเสียพลังงานเนื่องจากต้นทุนการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรมนั้นส่วนใหญ่มาจากค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน ดังนั้นเพื่อให้สามารถแข่งขันในทางการตลาดและเกิดผลกำไรได้ นั้น การประหยัดพลังงานและการใช้พลังงานให้มีประสิทธิภาพสูงสุดของการใช้งานจึงเป็นมาตรการหนึ่งในการเพิ่มผลผลิตของโรงงานอุตสาหกรรม

จากบทความที่ได้กล่าวมาข้างต้นผู้วิจัยจึงนำเสนอการออกแบบอุปกรณ์ควบคุมการจ่ายแรงดันไฟฟ้าเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำโดยใช้ระบบควบคุมไทรแอกมาควบคุมการจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับมอเตอร์เหนี่ยวนำโดยที่ประสิทธิภาพการทำงานคงเดิมแต่ปริมาณการใช้พลังงานลดลง

หลักการประหยัดพลังงานที่นำเสนอ

จากการทดลองนำมอเตอร์เหนี่ยวนำมาทำการวัดการใช้พลังงานไฟฟ้าโดยใช้ ไทรแอกเฟสคอนโทรล (TRIAC phase control) ควบคุมการจ่ายแรงดันไฟฟ้าที่ต่างกันดังแสดงผลดังรูปที่ 1 ซึ่งจะเห็นได้ว่าการปรับค่าแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับมอเตอร์เหนี่ยวนำนั้นเมื่อแรงดันไฟฟ้าเพิ่มขึ้นจะทำให้ใช้พลังงานไฟฟ้ามากขึ้นตามไปด้วย แต่เมื่อลดแรงดันลงถึงจุดๆหนึ่งมอเตอร์เหนี่ยวนำจะใช้พลังงานไฟฟ้าต่ำสุด (Minimum power point) และเมื่อลดค่าแรงดันไฟฟ้าจากจุดต่ำสุดลงไปอีกจะทำให้พลังงานไฟฟ้าที่ใช้กลับเพิ่มขึ้น เนื่องจากมอเตอร์เหนี่ยวนำจะดึงกระแสมาชดเชยแรงดันที่ลดลงไปเพื่อรักษาระดับพลังงานทางไฟฟ้าจึงทำให้กระแสไฟฟ้ามักสูงขึ้นซึ่งจะส่งผลเสีย

ต่อมอเตอร์โดยตรงอายุการใช้งานก็จะสั้นลง จึงไม่ควรที่จะปรับลดค่าแรงดันไฟฟ้าให้ต่ำลงไปกว่าจุดต่ำสุด (มอเตอร์เหนี่ยวนำแต่ละตัวจะมีจุดพลังงานต่ำสุดที่ต่างกันแต่การทดลองนี้จะอยู่ที่ประมาณ 340 โวลต์) ดังนั้นถ้าสามารถควบคุมแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับมอเตอร์เหนี่ยวนำให้มีการใช้พลังงานไฟฟ้าต่ำสุด จะทำให้ลดการใช้พลังงานไฟฟ้าลงได้

จากการสังเกตระดับของแรงดันไฟฟ้าพบว่า บางสถานที่ที่มีแรงดันเกินมาตรฐาน (เกิน 380 โวลต์ ดังแสดงในรูปที่ 2) ทำให้มีแนวโน้มว่ามอเตอร์เหนี่ยวนำจะมีการใช้พลังงานไฟฟ้ามากกว่าปกติและทำให้เกิดการสูญเสีย (Loss) ภายในมอเตอร์เป็นผลให้ใช้พลังงานไฟฟ้ามากเกินความจำเป็นจากรูปที่ 1 มอเตอร์เหนี่ยวนำต้องการระดับแรงดันไฟฟ้าประมาณ 340 โวลต์เมื่อทำการควบคุมระดับแรงดันได้เท่าที่มอเตอร์เหนี่ยวนำต้องการแล้วเมื่อหาค่าเฉลี่ยการประหยัดพลังงานจะได้พื้นที่ใต้กราฟตามรูปที่ 2 จะสามารถประหยัดพลังงานได้อย่างน้อย 10 %

โครงสร้างของวงจร

เนื่องจากระดับแรงดันไฟฟ้าเกินมาตรฐาน ทำให้มอเตอร์เหนี่ยวนำใช้พลังงานไฟฟ้ามากกว่าปกติ จำเป็นต้องควบคุมการจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้เหมาะสมกับการใช้งาน จากหลักการประหยัดพลังงานที่นำเสนอนี้สามารถสร้างเครื่องลดการใช้พลังงานไฟฟ้าของมอเตอร์เหนี่ยวนำ ดังแสดงในรูปที่ 3 เป็นวงจรการใช้พาวเวอร์เซฟ (Power Save) หรือ PS เพื่อควบคุมการจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับมอเตอร์เหนี่ยวนำ ซึ่งมีโครงสร้างและระบบการต่อใช้งานกับมอเตอร์เหนี่ยวนำ ภายในโครงสร้าง ของ PS นี้ ประกอบด้วยสองส่วนหลัก ๆ คือ

1. บูสเตอร์(Booster) จะทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของไทรแอกโดยจะวัดค่ากระแสและแรงดันด้านขาเข้าเพื่อหาปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าที่เหมาะสมกับการใช้งาน

2. ไทรแอกเฟสคอนโทรล (TRIAC phase control) จะทำหน้าที่ควบคุมเฟสของแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับมอเตอร์เหนี่ยวนำเพื่อรักษาระดับแรงดันที่จ่ายให้เหมาะสมกับการใช้งาน

หลักการการทำงานของบูสเตอร์(Booster)

จากรูปที่ 4 แสดงลำดับขั้นตอนการทำงานของบูสเตอร์ เมื่อสตาร์ทมอเตอร์เหนี่ยวนำในครั้งแรกบูสเตอร์จะสั่งให้ ไทรแอกเฟสคอนโทรล On ก่อน จากนั้นเมื่อมอเตอร์ผ่านการสตาร์ทแล้วก็จะตรวจวัดค่ากระแสและแรงดันด้านขาเข้าโดยมีการตรวจเช็คค่ากระแสที่วัดได้มีค่ามากกว่าหรือน้อยกว่าค่ากระแสพิก i(Rated) หรือไม่ ถ้าค่ากระแสที่อ่านได้มีค่ามากกว่าค่ากระแสพิกบูสเตอร์ก็จะสั่งให้แรงดันขาออก(V*)มีค่าเท่ากับแรงดันขาเข้า (V*=Vmax) ซึ่งก็เหมือนกับการต่อใช้งานแบบปกติทำให้กระแสไฟฟ้าไหลได้เต็มที่แต่ถ้าค่ากระแสมีค่าน้อยกว่าค่ากระแสพิกแล้ว บูสเตอร์ก็จะเข้าสู่กระบวนการควบคุมการจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับมอเตอร์เหนี่ยวนำเมื่อค่ากระแส $i/i_{(rated)}$ แล้ว $A = 1$ และ $\bar{A} = 0$ จากนั้นจะส่งไปยังส่วนการปรับจูนการจ่ายพลังงานต่ำสุด (Power minimum tracking) เพื่อทำหน้าที่ควบคุมการจ่ายแรงดันไฟฟ้าที่เหมาะสมจะมีรายละเอียดการทำงานโดยแสดงดังรูปที่ 5 หลักการทำงานของ Power minimum tracking จะมีการทำงานอยู่สองส่วนได้แก่

1. Power calculation
2. Minimum power selection

1. หลักการทำงานของ Power calculation

จากรูปที่ 5 Power calculation จะทำหน้าที่คำนวณการใช้พลังงานของมอเตอร์เหนี่ยวนำจากการทดลองทำให้ทราบว่าเมื่อระดับแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับมอเตอร์เหนี่ยวนำมีค่าลดลงเป็นผลให้ค่ากระแสที่จ่ายลดน้อยลงตามไปด้วยทำให้มอเตอร์เหนี่ยวนำใช้พลังงานไฟฟ้าน้อยลงดังนั้นจึงนำหลักการประหยัดพลังงานนี้มาประยุกต์ใช้โดยแสดงดังรูปที่ 6 จะเป็นวิธีการหาค่าพลังงานต่ำสุดโดยการปรับ

จนค่าพลังงานที่จ่ายให้กับมอเตอร์เหนี่ยวนำในสถานะเริ่มต้นจะเริ่มการทำงานที่ซิกขาจากก่อนโดยจะกำหนดให้ค่าแรงดันอ้างอิง V_k มีค่าเท่ากับ 375 โวลต์ และจะคำนวณค่าพลังงานที่จุดนี้ไว้ใน P_k จากนั้นโปรแกรมจะปรับเพิ่มค่าแรงดัน (Tracking) จากจุดอ้างอิง V_k ขึ้นอีก 5 โวลต์ (เป็น 380 โวลต์) แล้วจะคำนวณเก็บค่าพลังงานที่จุดนี้ไว้ใน P_{k+1} จากนั้นโปรแกรมก็จะปรับลดค่าแรงดันจากจุดอ้างอิง V_k ลงไปอีก 5 โวลต์ (เป็น 370 โวลต์) แล้วจะคำนวณเก็บค่าพลังงานที่จุดนี้ไว้ใน P_{k-1} จากนั้นนำค่าพลังงานที่ได้ทั้งสามจุดมาเปรียบเทียบกัน (P_{k-1} , P_k และ P_{k+1}) เพื่อหาค่าพลังงานที่น้อยที่สุดของทั้งสามจุดนี้ จากรูปกราฟการทดลองจะเห็นว่าค่าพลังงานที่จุด P_{k-1} มีค่าน้อยที่สุด ดังนั้นโปรแกรมก็จะกำหนดให้ค่า P_k ใหม่มีค่าเท่ากับค่า P_{k-1} และค่าแรงดัน อ้างอิง V_k ใหม่จะมีค่าเท่ากับ 370 โวลต์

จากนั้นจะเริ่มการปรับจูนในรอบการทำงานใหม่อีกครั้งโดยจะเริ่มการทำงานที่ค่าแรงดันอ้างอิง V_k ใหม่ที่ 370 โวลต์ และคำนวณเก็บค่าพลังงานที่จุดนี้ไว้ใน P_k ต่อจากนั้นโปรแกรมก็จะปรับเพิ่มค่าแรงดันจากจุดแรงดันอ้างอิง V_k เพิ่มอีก 5 โวลต์ (เป็น 375 โวลต์) และคำนวณเก็บค่าพลังงานที่จุดนี้ไว้ใน P_{k+1} จากนั้นโปรแกรมก็จะปรับลดค่าแรงดันจากจุดอ้างอิง V_k ลดลงอีก 5 โวลต์ (เป็น 365 โวลต์) และคำนวณเก็บค่าพลังงานที่จุดนี้ไว้ใน P_{k-1} จากนั้นนำค่าพลังงานที่ได้ทั้งสามจุดมาเปรียบเทียบกัน (P_{k-1} , P_k และ P_{k+1}) เพื่อหาค่าพลังงานที่น้อยที่สุดของทั้งสามจุดนี้ จากรูปกราฟการทดลองจะเห็นว่าค่าพลังงานที่จุด P_{k-1} มีค่าน้อยที่สุด จากนั้นโปรแกรมจะกำหนดให้ค่า P_k ใหม่มีค่าเท่ากับค่า P_{k-1} และค่าแรงดันอ้างอิง V_k ใหม่จะมีค่าเท่ากับ 365 โวลต์

จากนั้นจะเริ่มการปรับจูนในรอบการทำงานใหม่อีกครั้งโดยจะเริ่มที่ค่าแรงดันอ้างอิง V_k ใหม่ที่มีค่าแรงดันเท่ากับ 365 โวลต์ แล้วคำนวณเก็บค่าพลังงานที่จุดนี้ไว้ใน P_k และโปรแกรมจะปรับจูนค่าแรงดันจากจุดอ้างอิง V_k โดยจะปรับเพิ่มและลดค่าแรงดันครั้งละ 5 โวลต์ จากจุดอ้างอิงและคำนวณเก็บค่าพลังงานที่ได้ทั้งสามจุดมาเปรียบเทียบกัน

เพื่อหาค่าพลังงานที่น้อยที่สุดเมื่อได้แล้วจะนำไปเก็บไว้ใน P_k ใหม่

จากการทดลองในรูปกราฟจะเห็นว่าเมื่อผ่านรอบการทำงานไปเรื่อยๆ ค่าแรงดันอ้างอิง V_k จะค่อยๆ ถูกปรับจูนอย่างนี้ไปจนถึงจุดต่ำสุดจะมีค่าประมาณ 340 โวลต์ และค่าพลังงานที่ใช้ P_k ก็จะมีค่าต่ำสุด เมื่อได้จุดพลังงานต่ำสุดแล้วโปรแกรมก็จะทำการปรับจูนอยู่ตลอดเวลาโดยจะปรับจูนทั้งทางซิกซายและทางซิกขาโดยจะนำค่าพลังงานที่มีค่าน้อยสุดเป็นจุดอ้างอิงใหม่เสมอ เพื่อให้การจ่ายพลังงานให้กับมอเตอร์เหนี่ยวนำมีค่าน้อยที่สุดและประสิทธิภาพสูงสุด

2. หลักการทำงานของ Minimum power selection

กระบวนการทำงานในส่วนนี้จะทำหน้าที่เลือกค่าพลังงานต่ำสุดจากรูปที่ 5 ในส่วนการทำงานของ Power selection จะมีส่วนการทำงานอยู่สองจุด (A และ B) หลักการทำงานของจุด A จะทำหน้าที่ตรวจสอบค่าพลังงานที่คำนวณได้ระหว่าง P_k และ P_{k+1} ถ้าค่า P_{k+1} มีค่ามากกว่า P_k แล้วโปรแกรมจะกำหนดให้ค่าแรงดัน V_k ใหม่มีค่าเท่ากับแรงดัน V_{k+1} (380 โวลต์) ถ้าไม่ใช่ค่าแรงดัน V_k จะไม่เปลี่ยนแปลง จากนั้นจะเป็นการทำงานในส่วนของจุด B ซึ่งหลักการทำงานของจุด B จะทำหน้าที่ตรวจสอบค่าพลังงานที่คำนวณได้ระหว่าง P_k และ P_{k-1} ถ้าค่า P_{k-1} มีค่ามากกว่า P_k แล้วโปรแกรมจะกำหนดให้ค่าแรงดัน V_k ใหม่มีค่าเท่ากับค่าแรงดัน V_{k-1} (370 โวลต์) เมื่อผ่านการเปรียบเทียบข้อมูลการใช้พลังงานแล้วจะทำให้ได้ค่าแรงดัน V_k ใหม่มีการเปลี่ยนแปลง ซึ่งค่าที่ได้นี้จะป้อนจุดอ้างอิงใหม่ในการปรับจูนการใช้พลังงานจากรูปที่ 6 ทำให้ทราบว่าสถานะเริ่มต้นค่าแรงดัน V_k จะอยู่ในซิกขา จากเงื่อนไขของโปรแกรมจะทำให้ได้ค่า V_k ใหม่มีค่าเท่ากับ V_{k-1} หรือ 370 โวลต์ ทำให้ค่าแรงดัน V_k ที่ได้จะถูกส่งไปยัง V^* (ค่า V_k จะมีค่าเท่ากับ V^* เพราะ $A = 1$ และ $\bar{A} = 0$)

เมื่อผ่านกระบวนการทำงานในส่วนของการ Power calculation และส่วนของ Minimum power selection แล้วโปรแกรมก็จะวนรอบการทำงานใหม่อีกครั้ง โดยจะเริ่มต้นที่จุด V_k ที่เป็นค่าใหม่เป็นจุดอ้างอิง จากนั้นจะทำการปรับจูนแบบนี้เช่นเดิม จะทำให้ค่าแรงดันอ้างอิง V_k ค่อยๆ ลดค่าลงไปเรื่อยๆ ใน 1 รอบการทำงานแรงดันจะลดลงครั้งละ ΔV หรือ 5 โวลต์ ก็จะทำให้ค่าพลังงานที่จุด P_k ค่อยๆ ลดลงตามไปด้วย กระบวนการการทำงานนี้จะทำการปรับจูนไปจนถึงจุดพลังงานต่ำสุด โดยจะปรับจูนทั้งทางด้านซ้ายและทางด้านขวาที่จุดอ้างอิง โดยจะเพิ่มและลดแรงดันกับจุดอ้างอิงครั้งละ 5 โวลต์ ดังนั้นไม่ว่าเงื่อนไขของจุดอ้างอิง V_k จะอยู่ทางซีกซ้ายหรือทางซีกขวาของจุด Power ต่ำสุดในกราฟรูปที่ 6 การปรับจูนหาค่าพลังงานต่ำสุดก็จะเกิดขึ้นอยู่ตลอดเวลา ทำให้ได้ค่าพลังงานที่เหมาะสมที่สุดเพื่อจ่ายให้กับมอเตอร์เหนี่ยวนำเป็นวิธีการหนึ่งที่สามารถลดการใช้พลังงานลงได้ กระบวนการควบคุมการจ่ายพลังงานนี้จะหยุดลงพร้อมกับการหยุดใช้งานมอเตอร์เหนี่ยวนำ และกระบวนการควบคุมการจ่ายพลังงานจะเริ่มใหม่เมื่อมีการเริ่มใช้งานมอเตอร์เหนี่ยวนำใหม่อีกครั้ง ซึ่งจุดเริ่มต้นของการปรับจูนจะเริ่มใหม่ที่จุดอ้างอิง V_k ที่ค่าแรงดันเท่ากับ 375 โวลต์เสมอ ขั้นตอนการทำงานนี้ก็จะไปทำตามกระบวนการที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้นอย่างนี้เช่นเดิม จากกราฟการทดลองในรูปที่ 6 จะเห็นว่าใน 1 รอบการทำงานจะสามารถปรับจูนค่าแรงดันได้ครั้งละ 5 โวลต์ (ΔV) และใช้เวลาในการปรับจูน 3 วินาที ดังนั้นค่าแรงดันอ้างอิงในตอนเริ่มต้นจะเริ่มที่ 375 โวลต์ ไปยังค่าแรงดันที่เหมาะสมต่ำสุดที่ปรับจูนได้ 340 โวลต์ จึงมีระดับแรงดันที่แตกต่างกันอยู่ 35 โวลต์ ทำให้ใช้เวลาในการปรับจูนประมาณ 21 วินาที จะเห็นว่าการปรับจูนจะเป็นไปแบบช้าๆ เพื่อลดปัญหาสัญญาณรบกวนในระบบ ในทางตรงกันข้ามการปรับจูนที่ใช้เวลามากไม่เหมาะสมกับโหลดที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว ดังนั้นระบบควบคุมที่นำเสนอจึงเหมาะสมกับโหลดที่ค่อนข้างคงที่

หลักการการทำงานของไทรแอกเฟสคอนโทรล (TRIAC phase control)

จากรูปที่ 3 การทำงานของไทรแอกเฟสคอนโทรล จะทำหน้าที่ควบคุมระดับแรงดันที่จ่ายให้กับมอเตอร์เหนี่ยวนำ (P.CSEN, 1997) โดยจะควบคุมเฟสของแรงดันไฟฟ้าเพื่อให้ระดับแรงดันที่จ่ายเหมาะสมกับการใช้งาน ซึ่งกระบวนการทำงานของไทรแอกเฟสคอนโทรลนี้จะขึ้นอยู่กับสัญญาณขาออกที่มาจากไมโครคอนโทรลเลอร์ (V^*) มาควบคุมขาเกตของไทรแอกทั้งสามเฟสเพื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับมอเตอร์เหนี่ยวนำต่อไป

เมื่อติดตั้ง PS เข้ากับระบบการทำงานของมอเตอร์เหนี่ยวนำทำให้สามารถควบคุมการจ่ายระดับแรงดันไฟฟ้าได้จะสามารถแก้ปัญหาแรงดันไฟฟ้าเกินที่จ่ายให้มอเตอร์เหนี่ยวนำได้จะทำให้ค่ากระแสที่จ่ายให้กับมอเตอร์เหนี่ยวนำมีค่าน้อยกว่าสถานะที่แรงดันเกิน 380 โวลต์ จากการทดลองทำให้ทราบว่า มอเตอร์เหนี่ยวนำต้องการระดับแรงดันไฟฟ้าประมาณ 340 โวลต์ซึ่งสถานะการทำงานของมอเตอร์เหนี่ยวนำในจุดนี้ค่ากระแสที่จ่ายให้กับมอเตอร์เหนี่ยวนำจะมีค่าน้อยลงกว่าสถานะแรงดันปกติลงไปอีกก็จะทำให้สามารถลดปริมาณการใช้พลังงานลงไปได้อีกพร้อมทั้งยังสามารถยืดอายุการใช้งานของมอเตอร์เหนี่ยวนำได้เนื่องจากกระแสที่จ่ายมีค่าน้อยทำให้ค่าความร้อนสะสมในขดลวดทองแดงมีอุณหภูมิเฉลี่ยไม่สูงมากนักทำให้หลนวมหุ้มขดลวดทองแดงมีค่าการเสื่อมสภาพน้อยลงอายุการใช้งานก็จะยาวนานขึ้น

ผลการทดลอง

จากการทดลองบางสถานที่มีการใช้งานของมอเตอร์เหนี่ยวนำโดยที่มอเตอร์เหนี่ยวนำมีขนาดใหญ่เกินความต้องการใช้งาน เช่น มอเตอร์ขนาด 5 แรงม้าแต่ความต้องการของโหลดในกระบวนการผลิตต้องการพลังงานกลเพียง 3 แรงม้าทำให้ส่วนที่เกินมา 2 แรงม้าไม่ได้ใช้งานทำให้สิ้นเปลืองพลังงาน

โดยเปล่าประโยชน์ ดังนั้นเราสามารถควบคุมการจ่ายพลังงานโดยใช้ไทรแอกควบคุมแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้เหมาะสมกับโหลดจากรูปที่ 7 แสดงประสิทธิภาพการใช้พลังงานของมอเตอร์เหนี่ยวนำขณะที่มีเปอร์เซ็นต์โหลดค่าต่างๆ ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบกันระหว่างพลังงานทางไฟฟ้า(Electrical power) กับ พลังงานทางกล (Mechanical power) จะเห็นถึงการประหยัดพลังงานของมอเตอร์เหนี่ยวนำในสถานะโหลดที่แตกต่างกัน จากผลการทดลองนี้สามารถนำหลักการนี้ไปประยุกต์ใช้งานจะทำให้ประสิทธิภาพการประหยัดพลังงานมีค่าสูงสุดทำให้ประหยัดพลังงานได้สูงสุดถึง 30% จากการปรับระดับแรงดันไฟฟ้านี้จะไม่ส่งผลกระทบต่อความเร็วรอบของมอเตอร์

สำหรับสถานที่ที่มีระดับแรงดันไฟฟ้าเกินมาตรฐานที่ 380 โวลต์ ทำให้มอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส ใช้พลังงานไฟฟ้าเป็นปริมาณมาก จำเป็นต้องควบคุมระดับแรงดันที่จ่ายให้กับมอเตอร์เหนี่ยวนำ จึงได้ทำการปรับลดระดับแรงดันไฟฟ้าลงเพื่อหาระดับแรงดันไฟฟ้าที่ทำให้มอเตอร์เหนี่ยวนำใช้พลังงานไฟฟ้าต่ำสุดและยังให้กำลังทางกลคงที่ จากการทดลองทำให้ทราบว่ามอเตอร์ต้องการระดับแรงดันไฟฟ้าประมาณ 340 โวลต์ ซึ่งเป็นระดับแรงดันที่มอเตอร์เหนี่ยวนำใช้พลังงานไฟฟ้าน้อยที่สุดและจากการควบคุมระดับแรงดันไฟฟ้า โดยการใช้ไทรแอกเป็นตัวควบคุมการจ่ายเฉพาะแรงดันให้กับมอเตอร์เหนี่ยวนำโดยที่ความถี่ที่จ่ายมีค่าเท่าเดิมที่ 50 เฮิร์ตซ์ทำให้มอเตอร์เหนี่ยวนำยังคงทำงานได้เต็มพิกัดหรือพลังงานทางกลไม่เปลี่ยนแปลง ทำให้ประสิทธิภาพการทำงานยังคงเท่าเดิมซึ่งเป็นวิธีการหนึ่งที่สามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้

จากผลการทดลองดังรูปที่ 8 จะเห็นว่าค่ากระแสที่จ่ายให้กับมอเตอร์เหนี่ยวนำในสถานะก่อนการติดตั้ง PS (Power Saving) นั้นมีค่าที่สูงเมื่อเทียบกับสถานะมอเตอร์เหนี่ยวนำที่ได้ติดตั้ง PS แล้ว จะเห็นผลโดยรวมว่าสามารถลดค่ากระแสไฟฟ้าที่จ่ายได้เป็นผลให้ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าของมอเตอร์เหนี่ยวนำโดยเฉลี่ยมีค่าลดลงตามค่ากระแสโดยแสดงดังรูปที่ 9 ซึ่งเป็นผลของการเปรียบเทียบการใช้งาน

พลังงานไฟฟ้าของมอเตอร์เหนี่ยวนำระหว่างก่อนติดตั้ง PS และหลังติดตั้ง PS เป็นผลให้สามารถประหยัดพลังงานได้อย่างชัดเจน

จากผลการทดลองจะเห็นว่าปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าจะแตกต่างกันมากในสถานะการทำงานของมอเตอร์ที่จุดต่างๆ ซึ่งผลการทดลองนี้แสดงไว้ในรูปที่ 7 ซึ่งเป็นการปรับค่าความต้านทานภายในวงจรควบคุมแบบอัตโนมัติให้ทำการปรับปริมาณการจ่ายพลังงานของมอเตอร์เหนี่ยวนำ ตามความเหมาะสมของสถานะการใช้งาน การปรับจูนการจ่ายพลังงานที่อยู่ในช่วง 30-50 % ของพิกัดโหลดนี้จะมีประสิทธิภาพการประหยัดพลังงานได้ดี

สรุป

จากการทดลองจ่ายระดับแรงดันไฟฟ้าที่สูงเกินมาตรฐานจะส่งผลให้มอเตอร์เหนี่ยวนำใช้พลังงานมากขึ้น ทำให้เกิดการสูญเสียพลังงานไปโดยเปล่าประโยชน์ ดังนั้นจึงต้องทำการควบคุมระดับแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับมอเตอร์เหนี่ยวนำให้อยู่ในระดับแรงดันมาตรฐาน(380 โวลต์) แต่อย่างไรก็ตามที่ระดับแรงดันไฟฟ้ามาตรฐานนี้มอเตอร์เหนี่ยวนำที่ต่อใช้งานปกติยังคงมีกำลังงานสูญเสียไปในส่วนของแกนเหล็กและสูญเสียในลวดทองแดง ดังนั้นจึงได้ทำการปรับระดับแรงดันลงอีกเพราะในกรณีเปอร์เซ็นต์ การใช้กำลังงานกลของมอเตอร์เหนี่ยวนำต่ำกว่าพิกัด(Rated) จะยังสามารถลดแรงดันลงเพื่อประหยัดพลังงานได้อีก ซึ่งบทความนี้นำเสนอหลักการของอุปกรณ์ประหยัดพลังงาน Power save (PS) ซึ่งมีหลักการดังแสดงในรูปที่ 4 ภายในโครงสร้างของ PS จะมีส่วนประกอบการทำงานหลักๆ อยู่สองส่วนได้แก่ บูสเตอร์ (Booster) และ ไทรแอกเฟสคอนโทรล (TRIAC phase control) ในส่วนแรกบูสเตอร์จะทำหน้าที่ควบคุมการจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับไทรแอกเฟสคอนโทรล โดยบูสเตอร์จะตรวจวัดค่ากระแสและแรงดันขาเข้าเพื่อคำนวณหาค่าพลังงานต่ำสุดโดยแสดงดังรูปที่ 6 จะใช้หลักการปรับจูนการจ่ายพลังงานต่ำสุด(Power minimum

tracking) โดยจะค่อยๆ ปรับค่าแรงดันลดลงไป
ยังจุดต่ำสุดจากการทดลองสามารถลดระดับแรงดัน
ไฟฟ้าลงไปได้ที่ระดับประมาณ 340 โวลต์
จะสามารถทำให้ลดการสูญเสียในแกนเหล็กลงได้
เนื่องจากค่ากระแสที่จ่ายลดลงดังนั้นการใช้พลังงานจึง
มีค่าต่ำสุด แต่มอเตอร์เหนี่ยวนำยังให้กำลังงานทางกล
คงที่ จึงสรุปว่าสามารถทำการลดระดับแรงดันไฟฟ้า
จากระดับแรงดันมาตรฐานเดิมได้อีกโดยการใช้ PS
เป็นอุปกรณ์สำหรับควบคุมระดับแรงดันไฟฟ้าที่จ่าย
ให้กับมอเตอร์เหนี่ยวนำ พลังงานที่ใช้ก็จะลดลง
แต่ความเร็วรอบ ของมอเตอร์เหนี่ยวนำยังคงเท่าเดิม

จากการใช้ PS ควบคุมระดับแรงดันไฟฟ้า
ที่จ่ายให้กับมอเตอร์เหนี่ยวนำนี้สามารถลดการใช้
พลังงานไฟฟ้าได้ มากกว่า 10 %

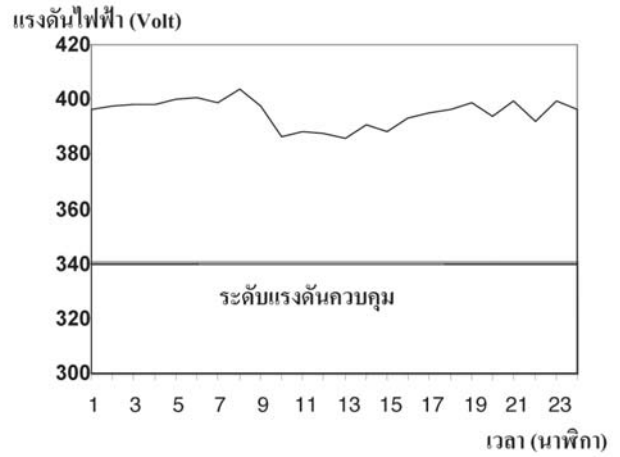
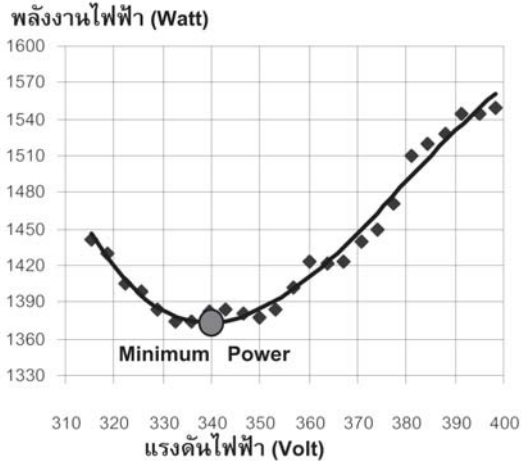
กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ ภาควิชาวิศวกรรม
ไฟฟ้ามหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่ให้การสนับสนุน
งานวิจัยนี้และขอขอบคุณ บริษัทแอดวานซ์อินโฟร์
เซอร์วิสที่ได้ให้การสนับสนุนอุปกรณ์เครื่องมือวัด
ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในการทดลอง และ
ผู้เกี่ยวข้องทุกท่านที่ทำให้การวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงได้ดี

เอกสารอ้างอิง

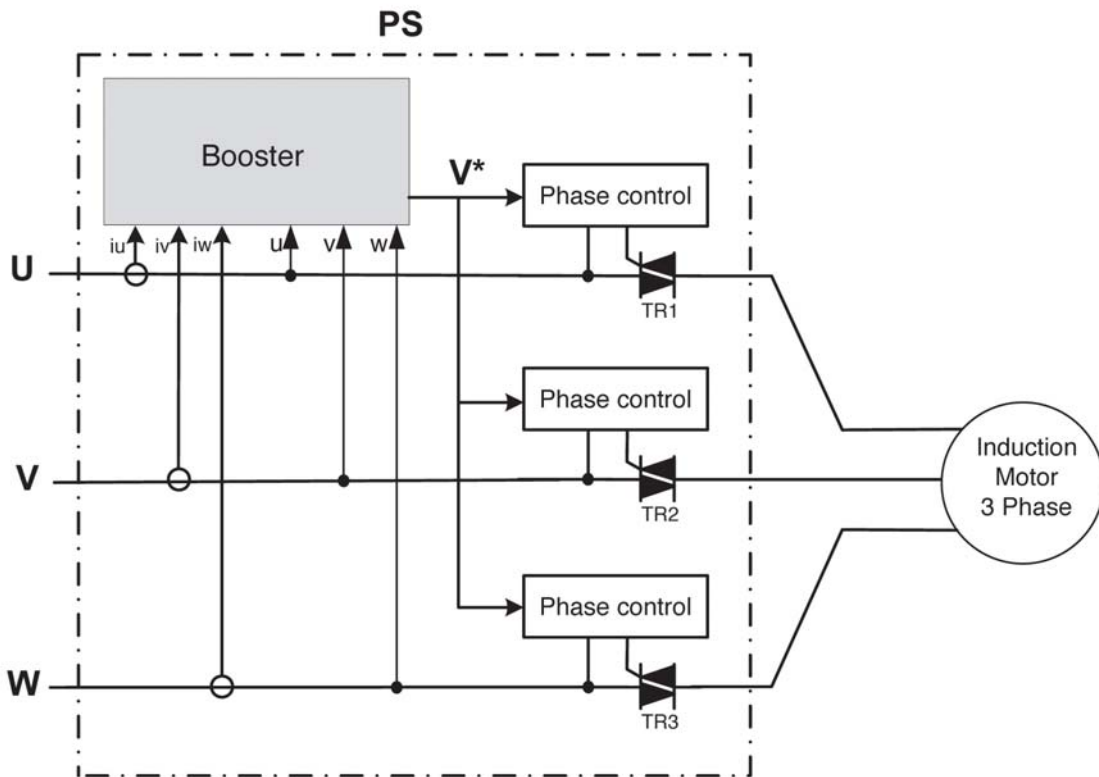
Ewald F. Fuchs, Fellow, IEEE, and William
j. Hanna, **Measure Efficiency
Improvements of Induction Motor with
Thyristor/TRIAC Controller**, Vol.17,
NO. 4, December 2002

P.C.SEN **Principles of Electrical Machines
Power Electronics** John Wiley & Sons
1997.pp. 529.

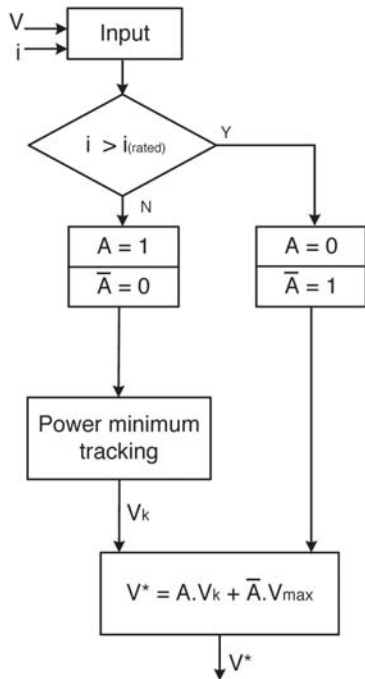


รูปที่ 1. พลังงานไฟฟ้า (Watt) เทียบกับแรงดันไฟฟ้า

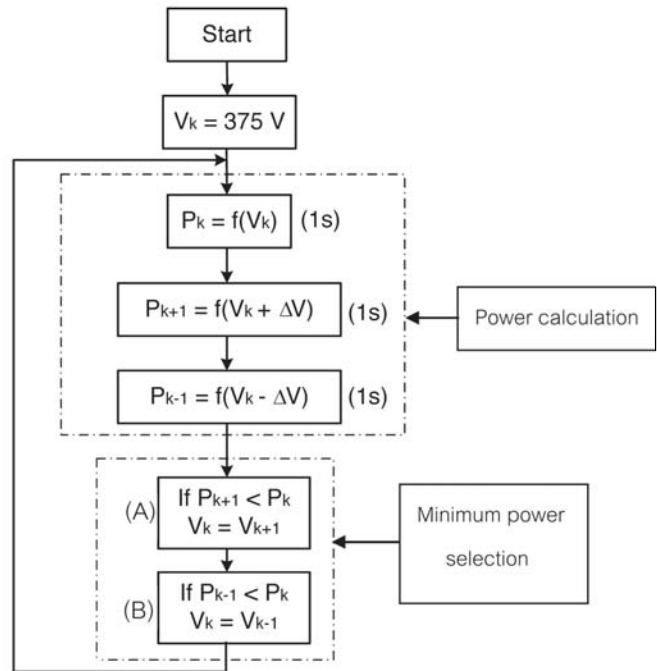
รูปที่ 2. ระดับแรงดันไฟฟ้า (Volt) ในแต่ละช่วง



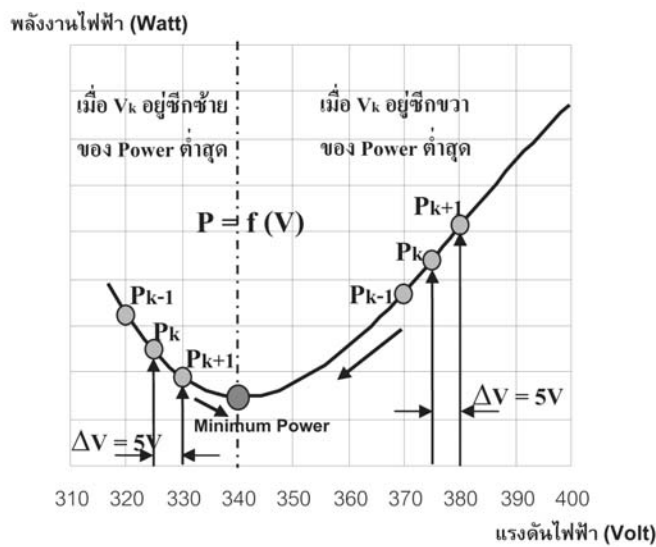
รูปที่ 3. การต่อ Power save (PS) เข้ากับมอเตอร์เหนี่ยวนำ



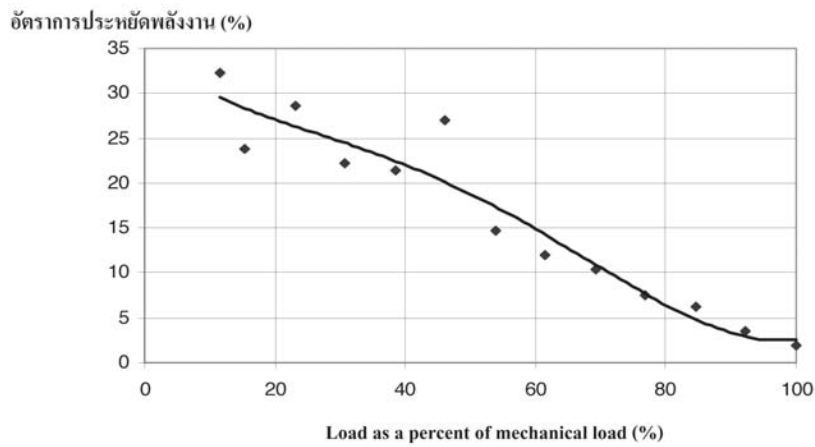
รูปที่ 4. แสดงลำดับขั้นตอนการทำงานของมอเตอร์ (Bosster)tracking



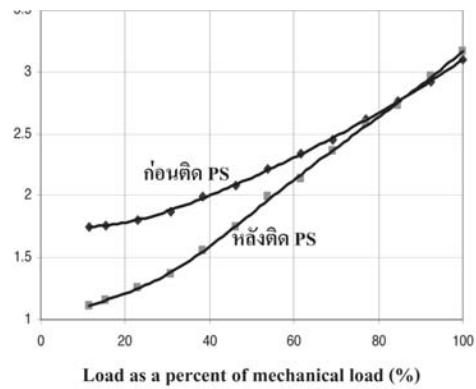
รูปที่ 5. ลำดับขั้นตอนการทำงานของ minimum Power



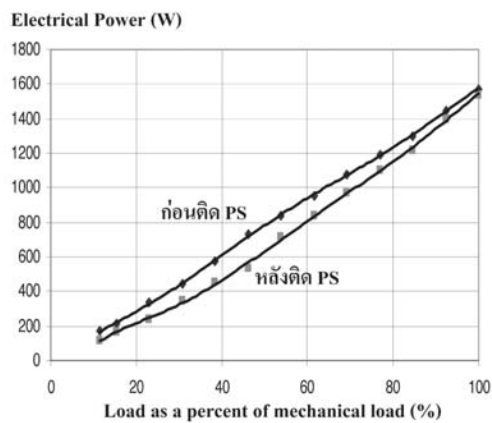
รูปที่ 6. แสดงกราฟการปรับจูน (Tracking) หาค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ต่ำสุด (minimum Power)



รูปที่ 7. แสดงประสิทธิภาพการประหยัดพลังงานในสภาวะโหลดต่างๆ (%)



รูปที่ 8. แสดงค่ากระแสไฟฟ้าของมอเตอร์เหนี่ยวนำ 3 เฟส โดยเทียบกันระหว่างก่อนติด PS และหลังติด PS



รูปที่ 9. การเปรียบเทียบอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าก่อนติด PS และหลังติด PS ที่จ่ายมอเตอร์