บทความวิจัย –วิชาการ

การประชุมวิชาการ งานวิจัย และพัฒนาเชิงประยุกต์ ครั้งที่ 6 การพัฒนาเทคโนโลยีเพื่อให้โลกมีสันติสุข

ECTI-CARD Proceedings 2014, Chiang Mai, Thailand

การศึกษาและเปรียบเทียบการใช้พลังงานไฟฟ้าในการสร้างแรงบิดของมอเตอร์ไฟฟ้า

The study and compare of the energy used to create torque of electric motor

สิทธิพงษ์ เพ็งประเดิม[1], สมพร เรืองสินชัยวานิช[2], ไอลดา ทองสันทัด[2] และณัฐพล สิทธิศรีจันทร์[3]

[1]สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ตาก

[2]ภาควิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร พิษณุโลก

[3]สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา พิษณุโลก

E-mail: aonengi@hotmail.com[1], sompornru@yahoo.co.uk[2], nataphon_ee@hotmail.com

บทคัดย่อ

การประหยัดพลังงานเป็นสิ่งที่ควรคำนึงถึงต่อภาคอุตสาหกรรมเป็นอย่างยิ่งโดยเฉพาะงานทางด้านการขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้า โดยงานวิจัยนี้มุ่งเน้นการศึกษาและเปรียบเทียบการใช้พลังงานไฟฟ้าในการสร้างแรงบิดของมอเตอร์ไฟฟ้า 2 ชนิด ได้แก่ มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง และมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับชนิดเหนี่ยวนำติดเบรก จากผลการทดลองพบว่าการใช้พลังงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับชนิดเหนี่ยวนำติดเบรกจะใช้ในปริมาณน้อยเมื่อเทียบกับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ในทางกลับกันมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงสามารถรักษาระดับของค่าแรงดึงได้ดีกว่ามอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับชนิดเหนี่ยวนำติดเบรก

Abstract

Energy saving is a considered issue for industrial sectors, particularly in the electric motor drive. The study and compare of the energy used to create torque of two types of electric motor as direct current motor and induction motor brakes is the aim of the research. The results showed that the induction motor brakes consume energy less than the direct current motor. On the other hand, direct current motor can maintain a level of tension better than induction motor brakes.

Keywords: energy, torque, direct current motor, induction motor, tension

1. บทนำ

ในปัจจุบันเป็นที่ทราบกันดีว่ามอเตอร์ไฟฟ้าเป็นอุปกรณ์ที่ถูกใช้งานอย่างแพร่หลายทั้งในภาคอุตสาหกรรม และภาคครัวเรือนทั่วไป มอเตอร์ไฟฟ้าทำหน้าที่เปลี่ยนแปลงพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานทางกลในรูปการหมุนเคลื่อนที่ โดยที่การหมุนของมอเตอร์สามารถทำให้เกิดแรงบิดขึ้นที่แกนหมุนของมอเตอร์ ซึ่งแรงบิดที่ได้นั้นสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในงานที่ต้องการใช้แรงดึงหรือแรงกด เช่น แรงที่ที่ต้องการแรงดึงหรือแรงกดที่คงที่และถูกต้อง โดยงานวิจัยนี้ได้มุ่งเน้นไปที่การศึกษาเปรียบเทียบการใช้พลังงานในการสร้างแรงบิดของมอเตอร์ไฟฟ้า 2 ชนิด ได้แก่ มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง และมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับชนิดเหนี่ยวนำติดเบรก นอกจากการเปรียบเทียบการใช้พลังงานแล้ว ผลของการรักษาแรงบิดของมอเตอร์ทั้งสองตัวก็เป็นสิ่งสำคัญที่จะใช้ในการเลือกมอเตอร์ไฟฟ้าให้ตรงตามวัตถุประสงค์พร้อมทั้งคำนึงถึงการประหยัดพลังงานอีกด้วย

2. แรงบิด

ในการเคลื่อนไหวเชิงเส้น แรงลัพธ์ที่เกิดขึ้นบนวัตถุจะเกิดขึ้นเมื่อวัตถุนั้นมีการเปลี่ยนแปลงความเร็ว ในกรณีที่ไม่มีแรงลัพธ์บนวัตถุนั่นคือวัตถุนั้นมีความเร็วคงที่ แรงลัพธ์จะมีค่ามากขึ้นนั้นขึ้นอยู่กับการเปลี่ยนแปลงความเร็วอย่างรวดเร็ว

มีแนวคิดที่คล้ายกันสำหรับการหมุนคือ เมื่อวัตถุถูกหมุนความเร็วเชิงมุมคงที่แรงบิดที่มีอยู่ในนั้นก็จะคงที่ แรงบิดจะมีค่ามากขึ้นอยู่กับการเปลี่ยนแปลงความเร็วเชิงมุมของวัตถุอย่างรวดเร็ว

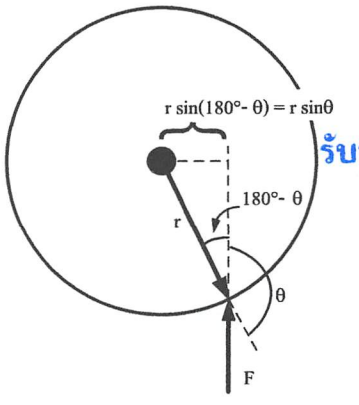
แรงบิดบนวัตถุที่ถูกกำหนดให้เป็นผลลัพธ์ของแรงที่ใช้กับวัตถุและระยะทางระหว่างการกระทำของแรงและแกนของวัตถุของการหมุน ถ้า r เป็นเวกเตอร์ชี้จากแกนของการหมุนไปยังจุดของการใช้แรงและถ้า F เป็นแรงที่กระทำกับแกนหมุน แรงบิดสามารถอธิบายเป็น

$$\text{แรงบิด} = (\text{แรงที่กระทำกับแกนหมุน})\,(\text{ระยะทางตั้งฉากกับแรง}) \quad (1)$$

$$T = (F)\,(r \sin\theta) \quad (2)$$

$$T = rF \sin\theta \quad (3)$$

โดยที่ θ เป็นมุมระหว่างเวกเตอร์ r และเวกเตอร์ F ทิศทางของแรงบิดจะมีทิศตามเข็มนาฬิกาถ้ามันหมุนตามเข็มนาฬิกาและทิศทางของแรงบิดจะมีทิศทวนเข็มนาฬิกาถ้ามันเกิดการหมุนทวนเข็ม หน่วยของแรงบิดคือนิวตันเมตร (Nm) ในหน่วย SI [1]



รูปที่ 1. ที่มาของสมการแรงบิดบนวัตถุ [1]

รับรองสำเนาถูกต้อง

3. มอเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง

มอเตอร์สำใช้ในการทดลองประกอบไปด้วยมอเตอร์สองชนิด สามารถแสดงรายละเอียดของมอเตอร์ได้ดังนี้

3.1 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง เป็นต้นกำลังขับเคลื่อนที่สำคัญอย่างหนึ่งในโรงงานอุตสาหกรรมเพราะมีคุณสมบัติที่ดีเด่นในด้าน การปรับทิศทางการหมุน ปรับแรงบิดของมอเตอร์ได้อย่างต่อเนื่องและค่อนข้างง่าย ทำให้มีการใช้งานมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงในระบบควบคุมที่มีความสำคัญ แต่มีข้อเสียคือมีราคาค่อนข้างแพง เมื่อเทียบกับมอเตอร์กระแสสลับ และต้องมีการบำรุงรักษาที่ดีตลอดเวลา

หลักการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง คือเมื่อมีแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงต่อเข้ากับมอเตอร์ กระแสไฟฟ้าส่วนหนึ่งจะต่อกับแปรงถ่านผ่านคอมมิวเตเตอร์เข้าไปในขดลวดอาร์มาเจอร์สร้างสนามแม่เหล็กขึ้น และกระแสไฟฟ้าอีกส่วนหนึ่งจะไหลเข้าไปในขดลวดสนามแม่เหล็ก (Field coil) สร้างขั้วเหนือ-ใต้ขึ้น ทำให้เกิดสนามแม่เหล็ก 2 สนาม ในขณะเดียวกัน ตามคุณสมบัติของเส้นแรง แม่เหล็ก จะหักล้างกันในทิศทางตรงข้าม และทิศทางเดียวจะเสริมแรงกัน ทำให้เกิดแรงบิดในตัวอาร์มาเจอร์ ซึ่งวางอยู่บนแกนเพลาและแกนเพลานี้ สวมอยู่กับตลับลูกปืนของมอเตอร์ ทำให้อาร์มาเจอร์นี้หมุนได้ ขณะที่ตัวอาร์มาเจอร์ที่ซึ่งทำหน้าที่หมุนได้นี้เรียกว่า โรเตอร์ ซึ่งหมายความว่าตัวหมุน การที่อำนาจเส้นแรงแม่เหล็กทั้งสองมีปฏิกิริยาต่อกัน ทำให้ขดลวดอาร์มาเจอร์ หรือโรเตอร์หมุนไปนั้นเป็นไปตามกฎซ้ายของเฟลมมิ่ง [1]

รูปที่ 2. มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

3.2 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับชนิดเหนี่ยวนำติดเบรก

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ คือ มอเตอร์ที่ป้อนไฟฟ้ากระแสสลับเข้าไปเพื่อให้ได้พลังงานกลออกมา โครงสร้างของมอเตอร์คล้ายมอเตอร์กระแสตรง แต่จำนวนเฟสมีทั้ง 1 เฟสและ 3 เฟส โดย 3เฟสจะมีจำนวนขดลวดจะเพิ่มเป็น 3 ชุด มอเตอร์กระแสสลับนิยมใช้งานทุกประเภทตั้งแต่อุปกรณ์ขนาดเล็กไปจนถึงในอุสาหกรรมทุกประเภท เนื่องจากมีราคาถูกกว่าเครื่องจักรกลไฟฟ้ากระแสตรง สามารถต่อกับไฟฟ้ากระแสสลับได้โดยง่าย และมีการบำรุงรักษาน้อย ทำให้มีผู้นิยมใช้งานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับชนิดเหนี่ยวนำเป็นจำนวนมาก

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับชนิดเหนี่ยวนำหนึ่งเฟสส่วนมากเป็นมอเตอร์ขนาดเล็ก ขนาดไม่เกิน 10 แรงม้า เหมาะกับการใช้งานทั่วไปเช่น ปั๊มน้ำ พัดลมระบายอากาศ ที่ไม่ต้องการกำลังและแรงบิดมากนัก โดยปกติแล้วมอเตอร์ชนิดนี้ไม่สามารถสร้างสนามแม่เหล็กหมุนได้ด้วยตัวเอง จึงไม่สามารถสร้างแรงบิดเริ่มหมุนให้เกิดขึ้นได้ แต่จะหมุนได้ก็ต่อเมื่อโรเตอร์ถูกทำให้หมุนด้วยวิธีใดวิธีหนึ่ง ซึ่งหมายถึงต้องทำให้เริ่มหมุนด้วยมือหรืออุปกรณ์อื่นๆ ก่อน และเมื่อมอเตอร์ถูกช่วยทำให้หมุนไปทิศทางใดทิศทางหนึ่งแล้ว จะทำให้เกิดแรงบิดและอัตราเร่งขึ้นในโรเตอร์นั้นจนกระทั่งได้ความเร็วเต็มพิกัดของมอเตอร์ [2]

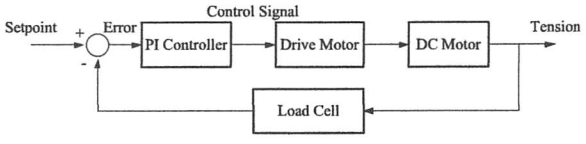
มอเตอร์มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับชนิดเหนี่ยวนำติดเบรก ก็จะทำงานเหมือนมอเตอร์กระแสสลับชนิดเหนี่ยวนำทั่วไป แต่จะมีการติดตั้งเบรกแบบแม่เหล็กไฟฟ้าที่ถูกต่อตรงเข้ากับแกนโรเตอร์ เบรกจะทำงานก็ต่อเมื่อไม่มีไฟฟ้า หรือเมื่อแหล่งจ่ายไฟฟ้าถูกดับ มอเตอร์จะหยุดหมุนทันทีและตรึงภาระไว้

รูปที่ 3. มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับชนิดเหนี่ยวนำติดเบรก

4. การออกแบบการทดลอง

4.1 การควบคุมการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

หลักการควบคุมการทำงานของมอเตอร์กระแสตรง จะใช้ระบบควบคุมแบบวงปิด โดยการส่งสัญญาณควบคุมผ่านชุดขับเคลื่อนมอเตอร์ สำหรับสัญญาณควบคุมจะเกิดจากการตรวจสอบค่าความผิดพลาดระหว่างแรงดึงที่ออกจากมอเตอร์และค่าเป้าหมายที่กำหนดไว้ โดยมีตัวควบคุมเป็นแบบพีไอ



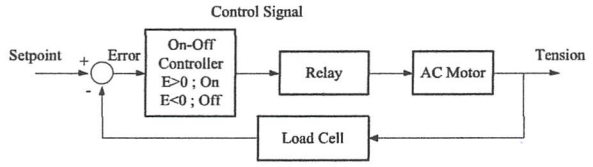
รูปที่ 4. ไดอะแกรมการควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

4.2 การควบคุมการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับชนิดเหนี่ยวนำติดเบรค

เนื่องจากมอเตอร์ที่ใช้ในการทดลองเป็นมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับชนิดเหนี่ยวนำแบบมีเบรกลักษณะการทำงานของมันคือเมื่อจ่ายกระแสไฟฟ้าให้มอเตอร์จะทำงานและเมื่อหยุดจ่ายกระแสไฟฟ้ามอเตอร์จะหยุดทำงานพร้อมกับเบรกโดยการล็อคโรเตอร์ไว้ในตำแหน่งนั้นทันที หลักการควบคุมการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับชนิดเหนี่ยวนำ

รับรองสำเนาถูกต้อง

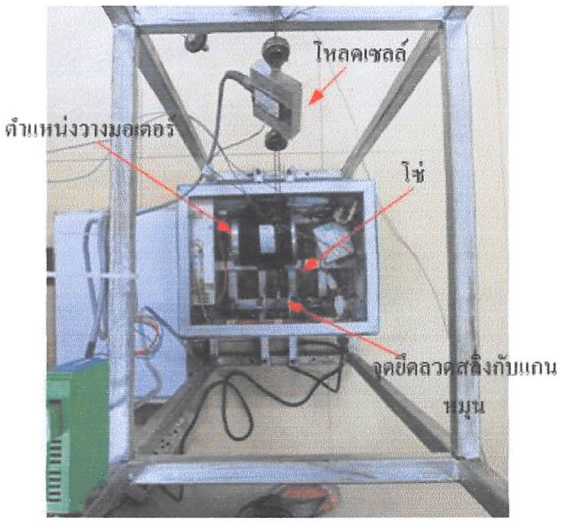
ติดเบรก จะใช้ระบบควบคุมแบบวงปิด โดยการส่งสัญญาณควบคุมไปยังรีเลย์ ซึ่งมอเตอร์จะทำงานในลักษณะเปิด-ปิด สำหรับสัญญาณควบคุมจะเกิดจากการตรวจสอบค่าความผิดพลาดระหว่างแรงดึงที่ออกจากมอเตอร์และค่าเป้าหมายที่กำหนดไว้ โดยมีตัวควบคุมเป็นแบบเปิด-ปิด



รูปที่ 5. ไดอะแกรมการควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับชนิดเหนี่ยวนำติดเบรก

4.3 การติดตั้งอุปกรณ์และการทดลอง

สำหรับการติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆ สำหรับการทดลองแสดงดังรูปที่ 6 มอเตอร์ทั้งสองชนิดจะถูกยึดไว้กับฐานด้านล่าง โดยที่โรเตอร์ของมอเตอร์จะเชื่อมกับเพลาที่เป็นแกนหมุนด้วยโซ่ จากนั้นจึงยึดปลายของลวดสลิงด้านหนึ่งกับเพลาส่วนอีกด้านหนึ่งของลวดสลิงจะถูกยึดกับปลายด้านหนึ่งของโหลดเซลล์ จากนั้นทำการยึดโหลดเซลล์อีกด้านหนึ่งกับคานด้านบนของโครงเหล็ก

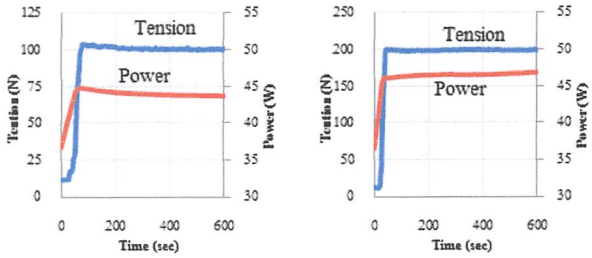


รูปที่ 6. การติดตั้งอุปกรณ์

เนื่องจากสัดส่วนการทดแรงต่างๆจากแกนโรเตอร์ไปจนถึงแกนหมุนของมอเตอร์ทั้งสองชนิดมีค่าเท่ากัน การทดลองจึงเป็นในลักษณะของการวัดแรงดึงเพื่อเปรียบเทียบกัน โดยผลของแรงดึงที่ได้จะอยู่ในหน่วยของนิวตัน และขณะทำการทดลองก็จะทำการวัดค่ากำลังไฟฟ้าของมอเตอร์ทั้งสอง สำหรับเป้าหมายของการทดลองนั้นจะเป็นการควบคุมให้มอเตอร์ทั้งสองสามารถสร้างแรงดึงในค่าที่กำหนด โดยกำหนดค่าเป้าหมายของแรงดึงไว้ที่ 100, 200, 300, 400 และ 500 นิวตัน ตามลำดับ

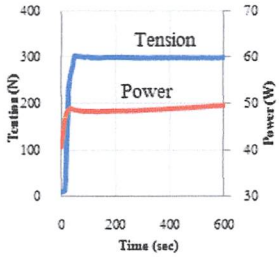
5. ผลการทดลอง

จากการทดลองผู้ทดลองจะกำหนดค่าเป้าหมายของแรงดึงไว้ที่ 100,200, 300, 400 และ 500 นิวตัน ตามลำดับ โดยจะใช้เวลาในการทำการทดลองครั้งละ 10 นาที ซึ่งผลของแรงดึงและค่ากลังที่จ่ายให้กับมอเตอร์ทั้งสองชนิดสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 7 และ 8

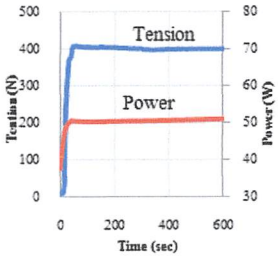


a) Set point 100 N

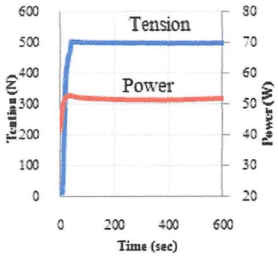
b) Set point 200 N



c) Set point 300 N



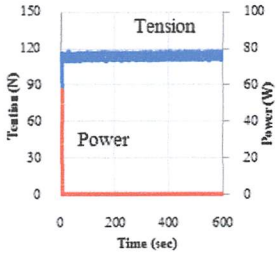
d) Set point 400 N



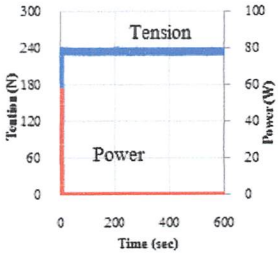
e) Set point 500 N

รูปที่ 7. ผลของแรงดึงและพลังงานที่ใช้ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

จากการทดลองควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงที่ค่าเป้าหมายของแรงดึงต่างๆ พบว่า ในทุกค่าแรงดึง ค่ากำลังไฟฟ้าที่ใช้ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นพร้อมกับค่าแรงดึงที่ได้ จนถึงค่าค่าเป้าหมายที่กำหนด มอเตอร์จะพยายามรักษาระดับของค่ากำลังไฟฟ้าเพื่อให้มอเตอร์สามารถรักษาระดับของแรงดึงให้คงที่

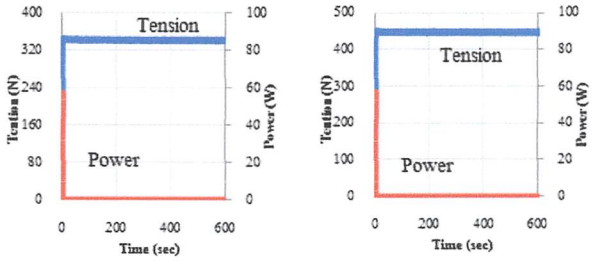


a) Set point 100 N

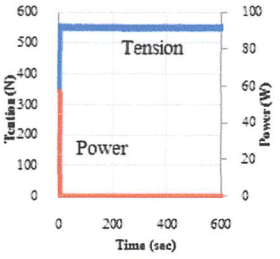


b) Set point 200 N

รับรองสำเนาถูกต้อง



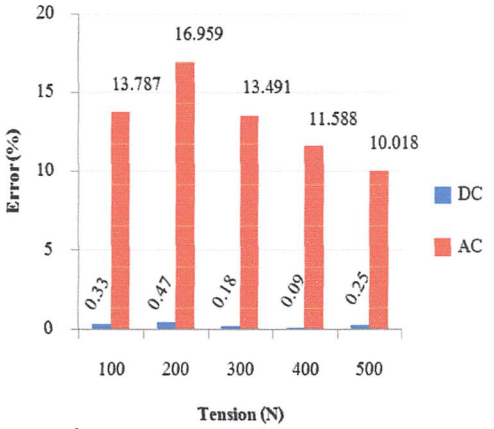
c) Set point 300 N d) Set point 400 N



e) Set point 500 N

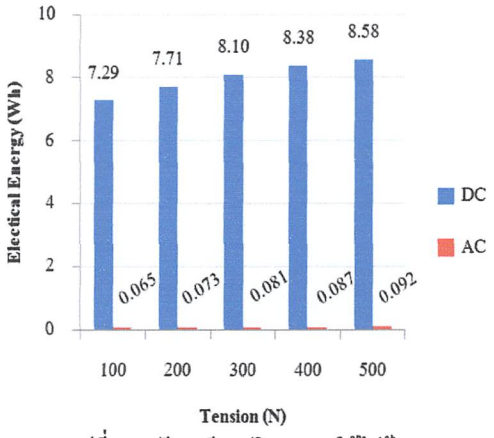
รูปที่ 8. ผลของแรงดึงและพลังงานที่ใช้ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับชนิดเหนี่ยวนำติดเบรก

จากการทดลองควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับชนิดเหนี่ยวนำติดเบรกที่ค่าเป้าหมายของแรงดึงต่างๆ พบว่า ในทุกค่าแรงดึง ค่ากำลังไฟฟ้าที่ใช้ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสกระแสสลับชนิดเหนี่ยวนำติดเบรก จะใช้กำลังไฟฟ้าในลักษณะคงที่ จนค่าแรงดึงถึงค่าเป้าหมาย เมื่อแรงดึงถึงค่าเป้าหมายระบบควบคุมจะทำการหยุดจ่ายไฟฟ้าให้กับมอเตอร์ ทำให้เบรกทำงานมอเตอร์จึงสามารถรักษาแรงดึงได้ถึงแม้ว่าไม่ได้จ่ายไฟฟ้าให้กับมอเตอร์



รูปที่ 9. เปรียบเทียบค่าความผิดพลาดของแรงดึง

จากการทดลองวัดแรงดึงจากการควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับชนิดเหนี่ยวนำและมอเตอร์กระแสตรง พบว่ามอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงสามารถให้ค่าแรงดึงที่มีค่าความถูกต้องมากกว่าแรงดึงจากมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับชนิดเหนี่ยวนำ ในทุกๆ ค่าแรงดึง



รูปที่ 10. เปรียบเทียบปริมาณการใช้ไฟฟ้า

การใช้พลังงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับชนิดเหนี่ยวนำจะใช้ในปริมาณน้อยเมื่อเทียบกับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง เนื่องจากการลักษณะของการควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับชนิดเหนี่ยวนำเป็นแบบ เปิด-ปิด จึงทำให้การไม่มีการใช้พลังงานหลังจากที่ค่าแรงดึงถึงค่าเป้าหมาย ซึ่งเมื่อเทียบกับการควบคุมแรงดึงของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงจะเป็นลักษณะของการควบคุมการจ่ายไฟฟ้าให้มอเตอร์โดยการรักษาระดับแรงดันเพื่อให้ค่าแรงดึงมีค่าคงที่ตลอดการควบคุม จึงส่งผลให้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงต้องใช้ปริมาณพลังงานสูงกว่ามอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับชนิดเหนี่ยวนำ ในสภาวะที่มีการควบคุมในระยะเวลาที่เท่ากัน

5. สรุป

จากผลการทดลองของมอเตอร์ทั้งสองตัว คือมอเตอร์ทั้งสองตัวสามารถสร้างแรงบิดได้ตามที่ต้องการเว้นแต่มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับชนิดเหนี่ยวนำติดเบรกที่จะมีค่าผิดพลาดจากการควบคุมอยู่บ้าง แต่ถ้าหากสามารถปรับปรุงระบบควบคุมให้ดีขึ้น เชื่อว่ามอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับชนิดเหนี่ยวนำติดเบรก สามารถทำงานได้ในประสิทธิภาพที่ทัดเทียมกับมอเตอร์กระแสตรงในการรักษาระดับแรงดึง ส่วนสำคัญของการที่มอเตอร์ทั้งสองชนิดมีการใช้ค่าพลังงานที่ต่างกันคือ เบรกที่ติดให้กับมอเตอร์ ซึ่งประโยชน์ของมันก็ได้แสดงให้เห็นแล้วว่า มันสามารถรักษาระดับแรงดึงให้คงที่และยังไม่ต้องจ่ายค่าพลังงานให้กับมอเตอร์อีกต่อไป

เอกสารอ้างอิง

[1] Chapman. Stephen J., “Electric machinery fundamentals (4th ed.). New Yort, McGraw-Hill.

[2] มงคล ทองสงคราม, “เครื่องกลไฟฟ้ากระแสสลับ”, กรุงเทพฯ: รามาการพิมพ์.

[3] Srisertpo, J. and Khajorntraidet, C, “Estimation of DC Motor Variable Torque Using Adaptive Compensation”, *IEEE Conf. Control and Decision*, pp. 712-717, 2009.

รับรองสำเนาถูกต้อง