

การทดสอบแบบจำลองมอเตอร์เหนี่ยวนำประสิทธิภาพสูงสุดระดับซูเปอร์พรีเมียม มาตรฐาน (IE4)

Experiment Simulation Model of Super-Premium Efficiency Motor Standard (IE4)

ธนัช รักษศรี

Thanas Raksasri

HPC GROUP ที่อยู่ 5/4 ถนน ราชพฤกษ์ แขวง วัดท่าพระ เขต ดลิ่งชัน จังหวัด กรุงเทพมหานคร รหัส 10170

*E-mail: rslogix500@gmail.com

บทคัดย่อ

ในงานวิจัยฉบับนี้ เป็นการทดสอบแบบจำลองของมอเตอร์เหนี่ยวนำประสิทธิภาพสูงสุดระดับซูเปอร์พรีเมียม ตามมาตรฐาน IE4 โดยในปัจจุบันมอเตอร์เหนี่ยวนำได้มีการปรับปรุงประสิทธิภาพจากมาตรฐาน IE1 IE2 IE3 และ IE4 ตามลำดับ ซึ่งในงานวิจัยชิ้นนี้จะทำการเปรียบเทียบแรงบิดในการขับเคลื่อนโหลดของมอเตอร์เหนี่ยวนำทั่วไป (IE1) กับมอเตอร์เหนี่ยวนำประสิทธิภาพสูงสุดระดับซูเปอร์พรีเมียม ตามมาตรฐาน IE4 แต่การทดสอบโดยทำการใช้มอเตอร์จริงนั้นมีต้นทุนสูง และไม่สามารถทำการวิจัยต้นแบบในทุกขนาดพิกัดของมอเตอร์ได้ จึงควรหาวิธีการวิจัยเชิงประสิทธิภาพที่มีต้นทุนโดยรวมต่ำ แต่ความน่าเชื่อถือสูง

ดังนั้นจึงเป็นเหตุผลสำคัญในการสร้างแบบจำลอง การทดสอบด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เนื่องจากการอ้างอิงผลการวิจัยเป็นที่เป็นที่ยอมรับ และสามารถประเมินความถูกต้องได้ใกล้การทดสอบจ่ายไฟฟ้าจริง อีกทั้งจะเป็นประโยชน์ในการสร้างต้นแบบเทคโนโลยีเครื่องจักรประสิทธิภาพสูงต่อไป

คำสำคัญ: มอเตอร์เหนี่ยวนำประสิทธิภาพสูงสุดระดับพรีเมียม (IE4), แบบจำลองมอเตอร์เหนี่ยวนำ, แรงบิดมอเตอร์เหนี่ยวนำ

ABSTRACT

In this research. This is a model testing of super premium induction motor compliance with IE4 standard, Induction motors have been improved from standard IE1, IE2, IE3 and IE4 respectively. In this research that will compare the result of load torque of general induction motor (IE1) with the high efficiency super premium induction motor compliance with IE4 standard. However, testing with real motor has high cost and not be able to research with all rated motor. It is advisable to find effective research approach that has low cost but high reliability.

Therefore, this is the important reason to create model testing with computer program. Due to the reference of researches are acceptable and able to evaluate the accuracy close to the testing with real electricity. It will also be useful for prototyping of high efficiency machine technology.

Keywords: the highest premium efficiency induction motor, induction motor model

1. บทนำ

งานวิจัยฉบับนี้จัดทำขึ้นเพื่อเป็นการศึกษาวิจัยการทดสอบแบบจำลองมอเตอร์ประสิทธิภาพสูง อ้างอิงมาตรฐาน IEC 60034-30 อันเป็นมาตรฐานใหม่ของ IEC โดยกำหนดขึ้นใน เดือน พฤศจิกายน 2551 อันมีกฎเกณฑ์ในการกำหนดประสิทธิภาพของมอเตอร์เหนี่ยวนำ ในส่วนต่าง ๆ อาทิเช่น ส่วนรับไฟฟ้า 3 เฟส กรงกระรอก และ สเตเตอร์

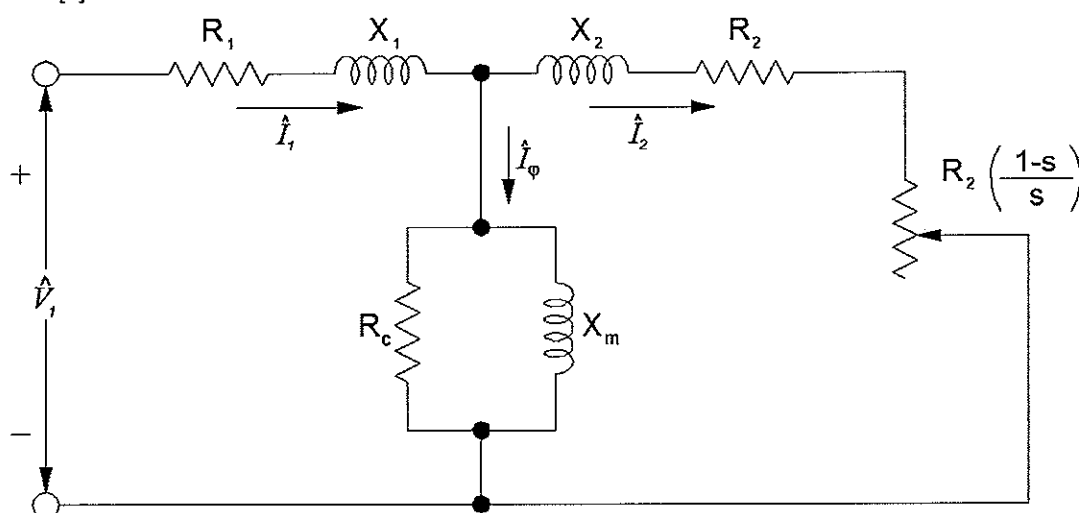
ในปัจจุบัน ระดับมาตรฐานประสิทธิภาพมอเตอร์ สามารถแบ่งได้ 4 ระดับดังนี้ มอเตอร์มาตรฐานทั่วไป (IE1 Standard Efficiency Motor) , มอเตอร์ประสิทธิภาพสูง (IE2 High Efficiency Motor), มอเตอร์ประสิทธิภาพระดับพรีเมียม (IE3 Premium Efficiency Motor) และ มอเตอร์ประสิทธิภาพระดับซูเปอร์พรีเมียม (IE4 Super Premium Efficiency Motor) ซึ่งในปัจจุบันในอุตสาหกรรมภายในประเทศ เริ่มมีการนำมาใช้งานมากขึ้นอันเกิดจากการนำเข้าเครื่องจักรอุตสาหกรรมจากต่างประเทศ

บทความนี้นำเสนอแบบจำลองเพื่อใช้ทำนาย คุณสมบัติต่าง ๆ ของมอเตอร์ ในมาตรฐาน IE1 และ IE4 โดยทำการทดสอบแรงบิดด้วยการปรับค่าเปอร์เซ็นต์สลิปของมอเตอร์ตั้งแต่ 0-100% เพื่อวิเคราะห์แรงบิดและการใช้พลังงานไฟฟ้า โดยทดสอบที่ภาระโหลดเต็มพิกัด เพื่อหาค่าแรงบิดสูงสุด เปรียบเทียบผลที่ได้จากแบบจำลองกับข้อมูลการทดสอบของโรงงานผู้ผลิตมอเตอร์

2. นิยามมอเตอร์เหนี่ยวนำ

2.1 วงจรเทียบเคียงภายในมอเตอร์เหนี่ยวนำ

นิยามของฟลักซ์และเส้นแรงแม่เหล็กภายในมอเตอร์เหนี่ยวนำ โดยทำการแปลงให้อยู่ในรูปวงจรไฟฟ้าเพื่อนำไปสู่การคำนวณจากส่วนเริ่มต้นคือพลังงานไฟฟ้าและพลังงานปลายทางของเครื่องกล โดยทำการจัดให้อยู่ในรูปวงจรเทียบเคียงไฟฟ้า[1] ด้วยแบบการหาพารามิเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำขึ้นมา



รูปที่ 1 วงจรเทียบเคียงภายในมอเตอร์เหนี่ยวนำ

$$\hat{V}_1 = \hat{E}_2 + \hat{I}_1(R_1 + jX_1) \quad (1)$$

เมื่อ $\hat{V}_1$ คือ Stator line-to-neutral terminal voltage

$\hat{E}_2$ คือ Counter emf (line-to-neutral) generated by the resultant air-gap flux

$\hat{I}_1$ คือ Stator current

R_1 คือ Stator effective resistance

X_1 คือ Stator leakage reactance

$$Z_2 = \frac{\hat{E}_2}{\hat{I}_2} = \frac{R_2}{s} + jX_2 \quad (2)$$

เมื่อ $\hat{E}_2$ คือ Counter emf (line-to-neutral) generated
by the resultant air-gap flux

Z_2 คือ Equivalent rotor impedance

R_2 คือ Referred rotor resistance

X_2 คือ Referred rotor leakage reactance

$\hat{I}_2$ คือ Load component of stator current

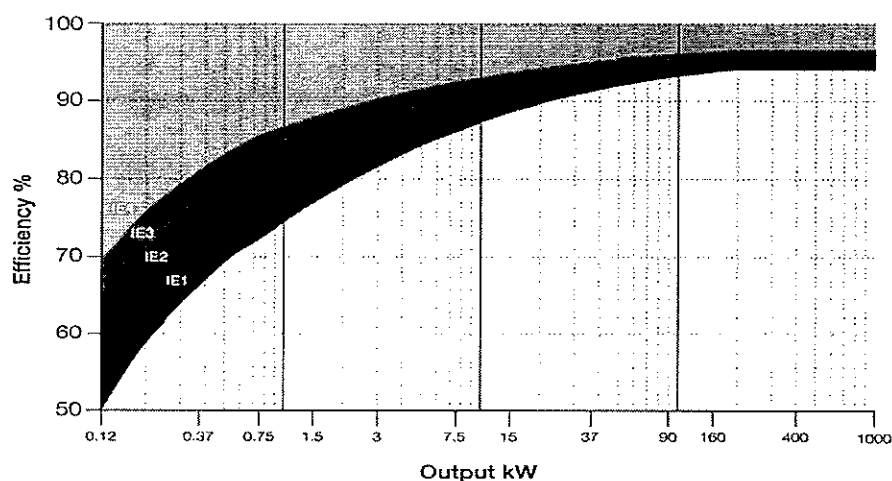
s คือ Slip of induction motor

2.2 การวิเคราะห์แรงบิดและพลังงานของมอเตอร์เหนี่ยวนำ

มอเตอร์เหนี่ยวนำจะให้ผลแรงบิดขับเคลื่อนทางกล โดยใช้ค่าเริ่มต้นในกระบวนการทำแบบจำลองของงานวิจัยชิ้นนี้ โดยการนำพารามิเตอร์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำที่ได้มาจัดทำแบบจำลองเพื่อประเมินสมรรถนะของมอเตอร์ โดยในงานวิจัยส่วนนี้ผู้วิจัยใช้โปรแกรม MATLAB version.16 ในการประมวลผลแบบจำลองและประมาณค่าแรงบิดสูงสุด เพื่อการเปรียบเทียบสมรรถนะระหว่างมอเตอร์ตามมาตรฐาน IE1 กับ IE4

ตารางที่ 1 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพ แรงบิด ตัวประกอบกำลังและความเร็วรอบของอินดักชันมอเตอร์ตามมาตรฐาน IE1 กับ IE4

class	h%(100)	h%(75)	h%(50)	Torque	Power factor Cos(Φ)	Speed r/min
IE1	94.1	94.3	93.5	190	0.83	1480
IE4	96.2	96.3	95.8	240	0.87	1487



รูปที่ 2 ประสิทธิภาพมอเตอร์เหนี่ยวนำ IEC 60034-2-1 [4]

3. การหาค่าพารามิเตอร์มอเตอร์เพื่อการจัดทำแบบจำลอง

ตารางที่ 2 ค่า Resistance และ Reactance ของ Induction motor ขนาด 50 HP (37 kW) ตามมาตรฐาน IE1 และ IE4

Class	R_s	X_s	X_m	R_r	X_r
IE1	0.0174	0.0874	2.988	0.01404	0.14162
IE4	0.0141	0.08854	2.55	0.0092	0.09689

ข้อมูลของมอเตอร์เหนี่ยวนำที่ใช้ในงานวิจัยชิ้นนี้ได้จากบริษัท ABB [5] โดยเป็นข้อมูลคุณสมบัติการทดสอบการใช้งานที่พิกัดภาระต่างๆ อาทิเช่น การใช้แรงบิดขับภาระงาน ที่ 50% 75% และ 100% ตามลำดับ

โดยบทความนี้ใช้โปรแกรม ETAP version 12.6 ในการประมาณสมรรถนะมอเตอร์ โดยทั่วไปแล้วโปรแกรม ETAP จะใช้ในการหาค่าของ Power system load flow และ Short circuit ซึ่งในที่นี้มี ฟังก์ชันในการหาคุณสมบัติมอเตอร์และวงจรเทียบเคียง โดยผู้วิจัยใช้ข้อมูลการทดสอบมอเตอร์จากบริษัท ABB เป็นข้อมูลในการทำแบบจำลอง[4]

4. เปรียบเทียบผลและวิเคราะห์ผล

จากการวิเคราะห์ผลด้วยแบบจำลอง โดยการปรับค่าความเร็ว slip จาก 0-100 % โดยใช้สมการที่ (3) เป็นส่วนของโปรแกรมการทดสอบแรงบิด และการใช้พลังงาน เพื่อคำนวณหาที่จุดที่แรงบิดสูงสุดและพลังงานสูงสุดเปรียบเทียบระหว่างมอเตอร์พื้นฐาน (IE1) กับ มอเตอร์ซูเปอร์พรีเมียม (IE4) โดยทำการกำหนดให้แรงดันและความถี่คงที่

$$T_{mech} = \left(\frac{poles}{2\omega_e} \right) q |\hat{I}_2|^2 (R_2 / s) \quad (3)$$

เมื่อ T_{mech} คือ Electromechanical torque

$Poles$ คือ Poles of induction motor

ω_e คือ Electrical frequency

q คือ Number of stator phases

$\hat{I}_2$ คือ Load component of stator current

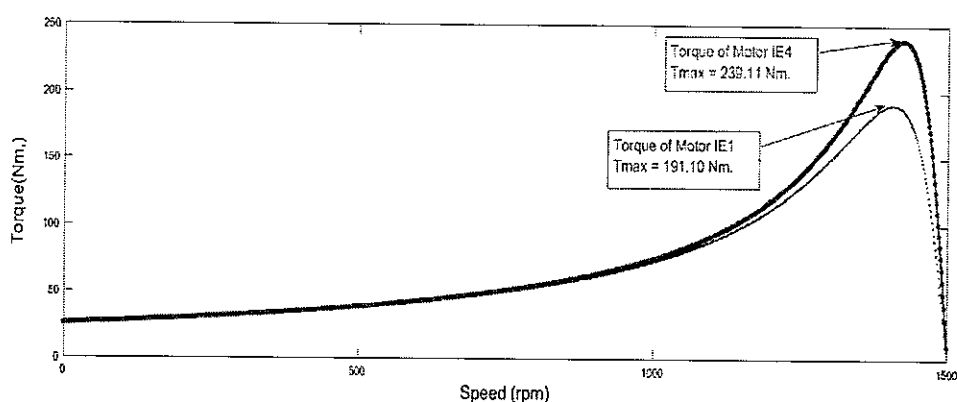
R_2 คือ Referred rotor resistance

s คือ Slip of induction motor

โดยทำการจำลองผลด้วยโปรแกรม M-file บนโปรแกรม MATLAB ด้วย Algorithm ดังนี้

```
function [s1,Tmech4,rpm] = Torque2(v1eq,zeq,x2,r2,nph)
omega= 4*pi*50/4;
s      = 0:0.001:1;
s1     = s*100;
rpm    = 1500*(1-s);
I2     = abs(v1eq./(zeq+ j*x2 +(r2./s)));
Tmech4 = nph*I2.^2*r2./(s*omega);
end
```

จากนั้นทำการ Run โปรแกรม MATLAB แล้วให้ผลดังนี้



รูปที่ 3 เปรียบเทียบแรงบิดของมอเตอร์เหนี่ยวนำตามมาตรฐาน IE1 กับ IE4

5. สรุปผลการทดลอง

จากกราฟการทดลอง จะเห็นได้ว่ามอเตอร์ประสิทธิภาพสูงระดับ ซูเปอร์พรีเมียม (IE4) ให้ผลแรงบิดที่สูงกว่ามอเตอร์ตามมาตรฐานปกติ (IE1) ที่แรงดันไฟฟ้าและความถี่เท่ากันโดยแสดงผลดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบแรงบิดมอเตอร์เปรียบเทียบ

ประเภทมอเตอร์	มอเตอร์ (IE1)	มอเตอร์ (IE4)
แรงบิด(Nm.)	191.1	239.11

จากผลการทดลองของแบบจำลองที่ได้ Run โปรแกรมไปนั้นมอเตอร์ตามมาตรฐาน IE4 ให้แรงบิดที่สูงกว่ามอเตอร์ตามมาตรฐาน IE1 ค่อนข้างมากจึงเห็นได้ว่าการพัฒนาคุณภาพของมอเตอร์ประสิทธิภาพสูงระดับซูเปอร์พรีเมียมที่ดีกว่ามอเตอร์มาตรฐานปกติ

ดังนั้นงานวิจัยชิ้นนี้จึงสรุปได้ว่า มอเตอร์มาตรฐาน IE4 มีความเหมาะสมที่จะนำเข้ามาใช้ในภาคอุตสาหกรรมในประเทศไทย โดยที่การใช้พลังงานที่เท่ากัน มอเตอร์ตามมาตรฐาน IE4 จะให้แรงบิดที่สูงกว่าค่อนข้างมาก แต่ใช้พลังงานในการสร้างแรงบิดต่ำกว่า

6. เอกสารอ้างอิง

[1] Stephen D. Umans. (2014). *Fitzgerald & Kingsley's Electric Machinery*, 7th edition, ISBN: 978-007-132646-9, McGRAW-HILL INTERNATIONAL EDITION.

[2] Anibal T. de Almeida, Fernando J. T. E. Ferreira and Joao A. C. Fong. (2009). Standards for Super-Premium Efficiency Class for Electric Motors, paper presented in *the Industrial & Commercial Power Systems Technical Conference - Conference Record 2009 IEEE*.

[3] Ashwin D, Ashok S, Manglesh Dixit and Vinila Chavan. Design optimization of 15 kW, 2-pole induction motor to achieve IE4 efficiency level with copper diecasting, paper presented in *IEEE International Conference on Technological Advancements in Power & Energy 2015*.

[4] IEC 60034-30-1 standard on efficiency classes for low voltage AC motors, ABB. *Technical note 2014*.

[5] Low voltage motors, ABB. *Motor guide February 2014*