

อ่านแผ่นป้ายมอเตอร์ ตามมาตรฐาน IEC vs NEMA Name plate motor vs Standard

ตอนที่ 1

มอเตอร์สำหรับงานอุตสาหกรรมที่มีใช้อยู่ในประเทศไทยส่วนใหญ่จะเป็นการนำเข้าจากต่างประเทศ ไม่ว่าจะเป็นจากกลุ่มประเทศยุโรป ญี่ปุ่น หรือ จากประเทศอเมริกา ซึ่งมีมาตรฐานที่แตกต่างกัน สำหรับประเทศไทยเราเองก็มีมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส ตามมอก. ที่ 867-2532 ซึ่งมีลักษณะคล้ายกับมาตรฐาน IEC (International Electrical Commission) ทำให้การใช้งานในประเทศไทยเราจะมีมาตรฐาน IEC มากกว่ามาตรฐาน NEMA แต่ในทางกลับกัน ในมหาวิทยการเรียนการสอนนิยมที่จะอ้างอิงตาม NEMA มากกว่า IEC เมื่อวิศวกรจบออกมาใหม่ๆ คงจะงงบ้างเล็กน้อย หากต้องการเปรียบเทียบเพื่อการพิจารณาเลือกซื้อ เมื่อสอบถามผู้แทนจำหน่ายมอเตอร์จากยุโรปก็จะได้แต่เพียงมาตรฐาน IEC หากสอบถามผู้ขายมอเตอร์จากอเมริกาก็จะได้แต่มาตรฐาน NEMA (National Electrical Manufacturers Association) ทำให้ผู้ใช้งาน หรือวิศวกรมือใหม่ยากที่จะหาผู้อธิบายได้ ในที่นี้จึงได้นำมาตรฐานที่เราคุ้นเคยกันดีมาอธิบายผ่านทางป้ายมอเตอร์ คือ IEC มาอธิบายเชิงเปรียบเทียบกับมาตรฐาน NEMA เพื่อจะได้พูดจาภาษาเดียวกัน เพื่อง่ายแก่การเข้าใจที่ตรงกันทั้งสองระบบ

มาตรฐานทั้ง IEC และ NEMA นั้นมีมากมายหมวดหมู่ ในที่นี้จะขอกล่าวถึงเฉพาะมาตรฐาน IEC-34 และ NEMA MG1 นอกเหนือจากนี้ยังมีมาตรฐานอื่นๆ ทั้งจาก NEMA และ IEC ที่จะนำมาใช้อ้างอิงเพื่อมาพิจารณาเปรียบเทียบเช่น

NEMA MG1	Motors and Generators
NEMA MG2	Safety standards for construction and guide for selection, Installation and use of electric motors
NEMA MG3	Sound level prediction for installed rotating electrical machines
NEMA MG10	Energy guide for selection and use of poly phase motors
NEMA MG13	Frame assignments for alternating-current integral horse power induction motors.

ส่วนมาตรฐาน IEC-34 ก็ยังจะมีส่วนที่เกี่ยวข้องยกตัวอย่างเช่น

IEC 34-1	Rotating electrical machines Part 1 Rating and performance
IEC 34-2	Rotating electrical machines Part 2 Methods for determining losses and efficiency from test
IEC 34-5	Rotating electrical machines Part 5 Degree of Protection (IP code) classification
IEC 34-6	Rotating electrical machines Part 6 Methods of Cooling (IC Code)
IEC 34-7	Rotating electrical machines Part 7 Classification of type of construction, mounting arrangements and terminal box position (IM Code)
IEC 34-8	Rotating electrical machines Part 8 Terminal marking and direction of rotation of rotating machines.
IEC 34-9	Rotating electrical machines Part 9 Noise Limits.
IEC 34-12	Rotating electrical machines Part 12 Starting performance
IEC 72	Dimension and output

แผ่นป้ายประจำมอเตอร์ หรือ name plate โดยปกติจะติดกับตัวมอเตอร์มาเสมอ เป็นสิ่งที่บอกลักษณะและข้อมูลเบื้องต้นของมอเตอร์ ผู้ที่จะนำมอเตอร์ไปใช้งานจะต้องทำความเข้าใจข้อมูลบนแผ่นป้ายเสียก่อน เพื่อจะได้ทราบ และหลีกเลี่ยงความเสียหายที่จะเกิดขึ้นจากการใช้งานไม่เหมาะสม และสามารถนำไปใช้ได้ถูกต้อง ในที่นี้ผู้เขียนได้อธิบายถึงข้อมูลเบื้องต้น ตลอดจนข้อกำหนด และเปรียบเทียบมาตรฐานที่ใช้อ้างอิงทั้งที่ใช้กันมากตามมาตรฐาน IEC และ มาตรฐาน NEMA จึงเหมาะสำหรับนำไปใช้อ้างอิงในการปฏิบัติงานจริง ไม่ว่าจะเป็นการเลือกซื้อมอเตอร์อย่างเหมาะสม หรือการติดตั้งและนำไปใช้งานได้ถูกต้องตามหลักวิชาการ

จากรูปที่ 1 จะเห็นว่าข้อมูลที่ปรากฏอยู่บนแผ่นป้ายมอเตอร์จะบอกถึงคุณลักษณะทั้งหมดของเครื่อง ซึ่งมีความหมายทั้งสิ้น นอกจากนี้แผ่นป้ายมอเตอร์ทุกแผ่นจะต้องบอกข้อมูล ยี่ห้อของผู้ผลิต หรือโรงงานผู้ผลิตเพื่อจะใช้ติดต่อสอบถามข้อมูลเพิ่มเติมในภายหลังได้ ต่อไปนี้จะได้อธิบายถึงความหมายของค่าที่ระบุบนแผ่นป้ายมอเตอร์ เช่น

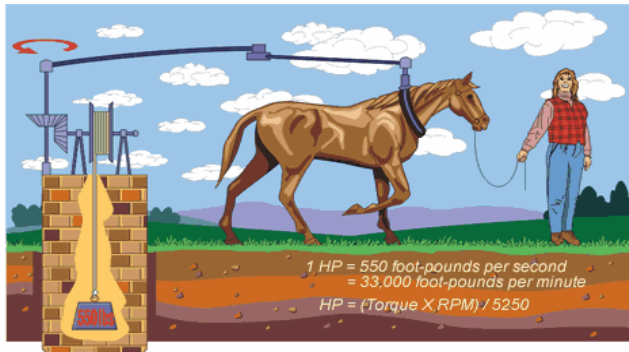


ชื่อยี่ห้อ และ สถานที่ผลิต	Series number	รุ่นของมอเตอร์ มาตรฐานอ้างอิง
SIEMENS D-91056 Erlangen	3-Mot. 1LA7166-2AA60 E0107471101_01_001 IEC/EN 60034	EFF2 (H) CE
น้ำหนัก	93kg	IM B3 160L IP55 Th.Cl.F
ข้อมูล 50 Hz	50 Hz 400/690 V Δ/Y 18,5 kW 32,5/18,8 A cosφ 0,91 2940/min 380-420/660-725 V Δ/Y	ข้อมูล 60 Hz
รหัส และวันที่ผลิต	60 Hz 460 VΔ 21,3 kW 32,0 A cosφ 0,92 3540/min 440-480 VΔ	33,5-31,0 A

รูปที่ 1 ข้อกำหนดบนแผ่นป้ายมอเตอร์ตามมาตรฐาน IEC standard

กำลังของมอเตอร์

กำลังของมอเตอร์ ในสมัยก่อนยุคปฏิวัติอุตสาหกรรมในประเทศอังกฤษ ได้เข้ามาเป็นต้นกำลังในการขับเคลื่อน โดยกำหนดให้ 1 แรงม้า เท่ากับ แรงในการยกน้ำหนัก 550 ปอนด์ เคลื่อนที่ได้ 1 ฟุต ภายในเวลา 1 วินาที ทำให้มาตรฐานของ NEMA ซึ่งคัดลอกมาจากประเทศอังกฤษ จะบอกกำลังขาออกของมอเตอร์มีหน่วยเป็นแรงม้า



รูปที่ 2 แสดงการเปรียบเทียบแผ่นป้ายมอเตอร์ตามมาตรฐาน IEC และ NEMA

ต่อมาเจมส์วัตต์ ได้คิดค้นเครื่องจักรไอน้ำขึ้นมาใช้แทนที่การใช้แรงจากม้าเพื่อให้ง่ายแก่การเข้าใจตรงกัน จึงได้กำหนดหน่วยของกำลังเครื่องจักรไอน้ำเป็นวัตต์ โดยกำหนดให้ 1 HP = 746 วัตต์ ต่อมา SI unit หรือ มาตรฐาน IEC, JEC รวมทั้ง มอก. บ้านเราก็ได้กำหนดให้กำลังทางไฟฟ้ารวมทั้งกำลังขาออกของมอเตอร์ ให้ใช้เป็นมาตรฐานเดียวกันคือ วัตต์ หรือ กิโลวัตต์ (ปัจจุบันนี้กำลังของเครื่องยนต์ ยังเปลี่ยนกำลังจากหน่วยแรงม้ามาเป็นหน่วยวัตต์แทน มีแต่เพียงประเทศอังกฤษ, สหรัฐ และประเทศในเครือจักรภพอังกฤษ เท่านั้นที่ยังคงอนุรักษ์นิยมใช้หน่วยเป็นแรงม้าเหมือนเดิม)

เมื่อต้องเลือกขนาดของมอเตอร์ สิ่งที่จะต้องรู้ก็คือ ความต้องการกำลังงานของโหลดซึ่งเป็นตัวกำหนดกำลัง หรือแรงบิด และกำลังงานจากแหล่งจ่ายไฟฟ้า ถ้าเครื่องจักรต้องการ 55 กิโลวัตต์ โหลดก็จะใช้ 55 กิโลวัตต์ ไม่ว่ามอเตอร์จะเป็น 50 กิโลวัตต์ หรือ 75 กิโลวัตต์ก็ตาม

ถ้านามอเตอร์ตัวเล็กกว่าความต้องการของเครื่องจักรไปติดตั้ง มอเตอร์ก็จะทำงานเกินกำลังจะไม่สามารถใช้งานได้ยาวนาน โดยอุปกรณ์ป้องกันการใช้งานเกินกำลังจะต้องสั่งหยุดก่อน ถ้ามีการตั้งค่าการป้องกันไว้อย่างถูกต้อง ดังนั้นจึงต้องเลือกมอเตอร์ตามขนาดที่โหลดต้องการ และต้องมีการเผื่อขนาดไว้ เพราะอาจจะมีการใช้งานเกินกำลังเล็กๆ น้อยๆ ได้บ่อยๆ โดยที่เราไม่ได้คิดไว้ได้

ถ้าขดลวดของมอเตอร์ยังถูกใช้งานเกินกำลัง ขดลวดก็อาจจะถูกทำลายโดยความร้อนสูงได้ ถ้าจะต้องเลือกขนาดมอเตอร์แล้ว มอเตอร์ตัวใหญ่ก็มักจะต้องถูกเลือกก่อนเสมอ อย่างไรก็ตามการเลือกมอเตอร์ที่ใหญ่เกินไปก็ไม่ใช่ความคิดที่ดีนักเพราะจะทำให้สิ้นเปลืองในเรื่องราคาซื้อ และมีตัวประกอบกำลังที่ต่ำในการใช้งาน อีกประการหนึ่งก็คือ ค่ากระแสสตาร์ทของมอเตอร์กรงกระรอกจะค่อนข้างสูง ซึ่งเป็นสัดส่วนโดยตรงกับขนาดของมอเตอร์

ขนาดของกำลังมอเตอร์ที่ระบุไว้บนแผ่นป้ายมอเตอร์ เป็นตัวแสดงถึงขีดความสามารถในการที่พิกัดของมอเตอร์ (power rated) จากรูปที่ 2 มอเตอร์ตามมาตรฐาน IEC ที่ระบุอุณหภูมิเพิ่มขึ้นต่ำกว่าพิกัดจนจะสามารถขับโหลดเกินได้อีกประมาณ 5-10% จากที่ระบุบนแผ่นป้ายมอเตอร์ หรือในบางครั้งมอเตอร์ NEMA จะมีค่า Service Factor (SF.) หมายถึง สามารถขับโหลดเกินกว่าพิกัดได้เท่าไรนั่นเอง

- ยี่ห้อ และสถานที่ผลิตเช่น **SIEMENS** Erlangen Germany
- น้ำหนักมอเตอร์ เป็น กิโลกรัม ตาม IEC หรือ ปอนด์ ตาม NEMA
- รุ่นของมอเตอร์ เพื่อใช้อ้างอิงในการสอบถามข้อมูลเพิ่มเติมของมอเตอร์รุ่นนี้
- วันที่ผลิต เป็นการระบุปีที่ผลิตของมอเตอร์ เพื่อจะได้ทราบถึงระยะเวลาการใช้งาน รวมไปถึงระยะเวลาการรับประกันด้วย
- มาตรฐานที่ใช้อ้างอิง เช่น มาตรฐาน IEC/NEMA เป็นต้น

SIEMENS		EFF2	CE
3-Mot. 1LA6 253-4AA60 250M No UC 000B/123432101 IM B3 Th.Cl.F			
V	Hz	A	kW
400	50	97	55
690 Y		56	
460	60	97	63
		cos φ	1/min
		0,87	1480
			1780
Rotor SQU.CAGE EN 60 034 nmax=3700 1/min Gew./Wt0,44 t			
380...420 V...102...95 A; 660...725 VY; 5B...55 A 50 Hz			
440...480 V...100...94 A; 60 Hz			

SIEMENS		ENERGY EXPRESS™		PREMIUM EFFICIENCY	
ORD. NO.	1LA04444AE41A	TYPE	RG25AD	FRAME	444U
H.P.	75.00	AMPS	99.5	VOLTS	460
R.P.M.	1785	HERTZ	60	3 PH	
DUTY	CONT	40 °C. AMB	SAFETY CODE		
CLASS	F	NEMA	B	ATA	G
MODEL	90BC03JPP3	MODEL	90BC03JPP3		
MEETS GM7EH SPEC					
AUTOMOTIVE DUTY QUALITY INDUCTION MOTOR					
Siemens Energy & Automation, Inc. Little Rock, AR, U.S.A.					



จากรูปที่ 2 บนแผ่นป้ายมอเตอร์ อเมริกาขนาด 75 แรงม้า หรือ $75 * 0.746 = 56 \text{ kW}$ ส่วนบนแผ่นป้ายมอเตอร์แบบ IEC ระบุทั้งสองระบบไฟฟ้า แต่มีข้ออ้างสังเกตอยู่อย่างหนึ่งคือ มอเตอร์ตัวเดียวกันแต่กำลังมอเตอร์มีขนาดไม่เท่ากันเมื่อนำไปใช้กับระบบไฟฟ้า NEMA ที่ แรงดันไฟฟ้าสูงขึ้น และ ความถี่สูงขึ้นจากเดิม 50 Hz เป็น 60 Hz ซึ่งพอจะอธิบายได้ดังนี้

กำลังขาออกของมอเตอร์ (kW) จะแปรผันโดยตรงกับ แรงบิด (Torque) และความเร็วรอบ (Speed) และ ความเร็วรอบก็แปรผันโดยตรงกับความถี่ไฟฟ้า ($P \sim f T$) ตามสมการ ดังนี้

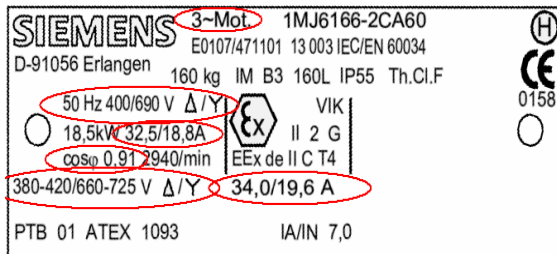
$$\begin{aligned} \text{Power output (kW)} &= \omega T = \frac{2\pi n}{60} * T = \frac{nT}{9.55} \\ \text{Speed, n (rpm)} &= (1 - \text{Slip}) \frac{120f}{P} \approx \frac{120f}{P} \\ \text{ดังนั้น Power output (kW)} &= \frac{120f}{P} * \frac{T}{9.55} \end{aligned}$$

เมื่อ Torque (T) = แรงบิด มีหน่วยเป็น นิวตันเมตร ตาม SI unit
 Speed (n) = ความเร็วรอบมอเตอร์ มีหน่วยเป็น รอบต่อนาที หรือ rpm
 Frequency (f) = ความถี่แรงดันไฟฟ้า (Hz)
 Pole (P) = จำนวนขั้วแม่เหล็กของมอเตอร์

$$\omega = \text{ความเร็วเชิงมุม} = 2\pi \frac{n}{60}$$

ดังนั้นเมื่อนำมอเตอร์ตัวเดียวกันนี้ไปใช้ที่ความถี่ไฟฟ้า 60 Hz จะทำให้มอเตอร์หมุนเร็วขึ้นกว่าเดิม 20% แต่แรงบิดที่กักของมอเตอร์อาจจะมีค่าลดลงบ้างเล็กน้อยเนื่องจากเฟกเตอร์อื่นๆ ทำให้กำลังขาออกมอเตอร์มากกว่าไม่ถึง 20% เมื่อเปรียบเทียบกับการนำมอเตอร์ตัวเดียวกันนี้ไปใช้ที่ความถี่ไฟฟ้า 50 Hz ดังนั้นแผ่นป้ายมอเตอร์ที่ผลิตแล้วจำหน่ายไปทั่วโลกจึงต้องพิมพ์ ค่ากำลังเอาไว้ 2 ค่าดังรูป หรือในบางครั้ง บางผู้ผลิตอาจจะมีแค่เพียงค่าเดียวที่ระบบไฟฟ้าเดียวกันถ้าไม่ได้ผลิตไปเพื่อจำหน่ายทั้งสองระบบ

✚ ชนิดมอเตอร์ และระบบไฟฟ้า



ชนิดของมอเตอร์ โดยปกติผู้ผลิตจะระบุบนแผ่นป้ายมอเตอร์ว่ามอเตอร์เป็นชนิดใด ดังเช่นตัวอย่าง 3~Mot. หมายความว่า เป็นมอเตอร์ 3 เฟส ไฟฟ้ากระแสสลับแน่นอน ถ้าหากบางแผ่นป้ายไม่มีการระบุก็ให้สังเกตส่วนประกอบอื่นๆ หรือให้ดูรายละเอียดในคู่มือหรือแคตตาล็อก ถ้าเป็นมอเตอร์ 3 เฟสให้สังเกตดูที่โรเตอร์ว่ามี slip ring หรือไม่ ถ้าไม่มีส่วนใหญ่มักจะเป็นมอเตอร์แบบเหนี่ยวนำโรเตอร์แบบกรงกระรอกนั่นเอง

ความถี่ไฟฟ้า ที่ใช้ในโลกละมีทั้งระบบ 50 Hz และระบบ 60 Hz ในประเทศไทยจะใช้ 50 Hz ดังนั้นถ้าเราเอามอเตอร์อเมริกา 60 Hz มาใช้ในบ้านเรา ความเร็วรอบจะลดลงต่ำกว่าที่ระบุบนแผ่นป้ายมอเตอร์ ตามสูตรที่ได้กล่าวมาแล้ว

✚ ความเร็วรอบมอเตอร์

ความเร็ว (speed) ของมอเตอร์ชนิด กระแสสลับจะขึ้นอยู่กับความถี่หลักและจำนวนขั้ว (poles) ของขดลวดสเตเตอร์ ตามสูตรที่ได้กล่าวไปแล้ว นั่นคือ

$$\text{Speed, n (rpm)} = (1 - \text{Slip}) \frac{120f}{P} \approx \frac{120f}{P}$$

ดังนั้นจากแผ่นป้ายมอเตอร์ ที่ความถี่ 50 Hz ความเร็วรอบคือ 2,940 รอบต่อนาที หากด้วยจำนวนขั้วซึ่งเป็นความเร็วแบบซิงโครนัส โดยที่มอเตอร์เหนี่ยวนำแบบกรงกระรอก แต่ในขณะที่ไม่มีภาระ (load) ความเร็วจะเหมือนกันกับความเร็วซิงโครนัส ที่กำลังออกพิกัดซึ่งจะมีค่าต่ำกว่านี้เล็กน้อย



การหาสลลิปของมอเตอร์สามารถคำนวณได้จากสูตรต่อไปนี้

$$\text{สลลิป (Slip, S)} = \frac{n_1 - n_2}{n_1} * 100\%$$

S = สลลิป (slip), 100%

n_1 = ความเร็วรอบ synchronous, รอบต่อนาที

n_2 = ความเร็วรอบ asynchronous, รอบต่อนาที สลลิปจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับการใช้กำลังมอเตอร์

มอเตอร์ที่ออกแบบมาให้ทำงานสำหรับแรงดันชนิด 50 Hz สามารถนำมาใช้กับแหล่งจ่ายแรงดันชนิด 60 Hz ได้ โดยไม่ต้องทำการดัดแปลงในกรณีนี้ข้อมูลพื้นฐานของมอเตอร์จะเปลี่ยนไป โดยเฉพาะค่าแรงบิด (torque) โดยที่ค่าแรงบิดต่ำสุดและแรงบิดเริ่มต้นจะลดลงเมื่อใช้กับแหล่งจ่าย 60 Hz ที่แรงดันที่เท่ากัน ซึ่งกรณีเช่นนี้อาจมีผลกระทบเมื่อเริ่มการ สตาร์ทได้ในบางกรณี

เราอาจพนักมอเตอร์สำหรับงานที่ต้องใช้แหล่งจ่าย 60 Hz หรือแรงดันที่เกี่ยวข้องได้ ซึ่งในกรณีนี้มอเตอร์สามารถทนต่อพิกัดขาออกที่ 50 Hz ได้ถึง 115%

✚ ตัวประกอบกำลัง (Power factor, Cos ϕ)

มอเตอร์ไม่ได้ใช้กำลังงานเฉพาะกำลังจริง (Active power) แต่ยังมีกำลังเสมือน (Reactive power) ซึ่งต้องใช้สำหรับการสร้างสนามแม่เหล็กแต่ไม่ได้ใช้ทำให้เกิดกำลังจริง และกำลังเสมือนจะปรากฏดังรูปที่... โดย P และ Q รวมกันกับกำลังปรากฏ (Apparent power) S, อัตราส่วนระหว่างกำลังจริง (หน่วยเป็น kW) และกำลังปรากฏ (หน่วยเป็น kVA) ถูกเรียกว่าตัวประกอบกำลัง (power-factor) มุมระหว่าง P และ S จะใช้สัญลักษณ์เป็น ϕ ตัวประกอบกำลังก็จะเท่ากับ COS ϕ ถ้ามีมอเตอร์จำนวนมากถูกติดตั้งในโรงงานจะใช้กำลังเสมือนมาก และจะทำให้มีค่าตัวประกอบกำลังต่ำ บางครั้งการไฟฟ้าจะบังคับและควบคุมค่าตัวประกอบกำลังให้สูงขึ้น แก้ไขได้โดยการติดตั้งคาปาซิเตอร์ ซึ่งจะทำหน้าที่จ่ายกำลังเสมือน ให้กับระบบและทำให้ค่าตัวประกอบกำลังสูงขึ้น

✚ กระแสไฟฟ้า ที่ระบบบนแผ่นป้ายมอเตอร์ เช่น 32.5/18.8 A หมายความว่า เมื่อมอเตอร์ขับโหลดที่พิกัดเต็มกำลัง (Full load operation) เมื่อต่อมอเตอร์เข้ากับแรงดันไฟฟ้าพิกัด 400 V Delta จะมีกระแสไฟฟ้าพิกัดไหล 32.5 A ในท่านองเดียวกัน เมื่อต่อมอเตอร์เข้ากับแรงดันไฟฟ้าพิกัด 690 V Star จะมีกระแสไฟฟ้าพิกัด 18.8 A ค่ากระแสที่ระบบบนแผ่นป้ายนี้เป็นค่ากระแสพิกัดเมื่อขับโหลดเต็มที่ ค่ากระแสนี้ยังใช้เป็นค่าอ้างอิงในการกำหนดขนาดของสายไฟฟ้า และอุปกรณ์ป้องกันกระแสเกิน (Over load protection)

✚ แรงดันการทำงาน (Operating Voltage)

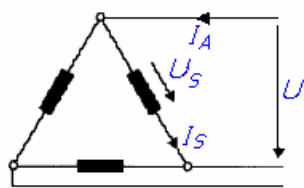
ระบบไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟสแรงดันต่ำ ประกอบด้วยตัวนำ 3 เฟส L1, L2 และ L3 และสายนิวตรอล (neutral conductor, N) สายนิวตรอลต่อกับจุด สตาร์ของเครื่องกำเนิดหรือจุดสตาร์ของหม้อแปลงทางขดทุกขดทุกขด ถ้าระบบไฟฟ้ากระแสสลับ 1 เฟสจะประกอบด้วย 2 สายคือ 1 สายตัวนำกับ 1 สายนิวตรอล

แรงดันระหว่าง 2 เฟสตัวนำ (L1, L2 หรือ L3) คือแรงดันไลน์ (เฟสต่อเฟส) (แรงดันของระบบ) ส่วนแรงดันระหว่าง 1 เฟสกับนิวตรอลคือ แรงดันเฟส ในกรณีการต่อแบบเดลต้าแรงดันไลน์คือแรงดันเฟส

มอเตอร์ 3 เฟสจะต่อกับตัวนำ 3 เฟส L1, L2 และ L3 แรงดันพิกัดของมอเตอร์ในการต่อเพื่อทำงานคือแรงดันเฟสต่อเฟสของแหล่งจ่ายระบบ (แรงดันทำงาน) มอเตอร์สามเฟสความเร็วเดียว (ไม่มีการเปลี่ยนขั้วหรือความเร็ว) โดยปกติจะสามารถต่อแรงดันไฟฟ้าได้สองระบบเสมอ โดยต่อขดลวดสามเฟสเป็นแบบสตาร์ (Y) หรือ เดลตา (Δ) ดังนั้นถ้าแผ่นป้ายพิกัดของมอเตอร์สามเฟสแสดงแรงดันไฟฟ้า 220 VD(เดลต้า) และ 380 VV (สตาร์) นั่นก็ค่อมอเตอร์นั้นสามารถใช้ได้ทั้ง 220 โวลต์ ขดลวดจะถูกต่อแบบเดลต้า แต่ถ้าแหล่งจ่ายไฟเป็น 380 โวลต์ จะใช้การต่อเป็นแบบสตาร์

จากข้อมูลบนแผ่นป้ายมอเตอร์ 50 Hz 400/690 V Δ /Y กระแสไฟฟ้า 32.5/18.8 A และยังมีข้อมูลเพิ่มเติมบอกอีกว่า 380-420/660-725 V Δ /Y กระแสไฟฟ้า 34.0/19.6 A หมายความว่า มอเตอร์ออกแบบมาสำหรับแรงดันไฟฟ้า 400 V เมื่อต่อแบบเดลต้า โดยสามารถรองรับค่าการเปลี่ยนแปลงไฟฟ้าได้ $\pm 10\%$ หรือ 380-420 V นั้นเอง

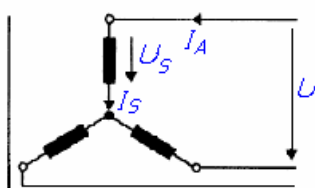
นอกจากนี้มอเตอร์ตัวนี้ยังสามารถนำไปใช้ได้กับระบบไฟ 690 V $\pm 10\%$ เมื่อต่อแบบ Y หรือต่อแบบสตาร์ ทำให้สามารถนำมอเตอร์ตัวนี้ไปเริ่มหมุนมอเตอร์แบบ Star/Delta ได้ มอเตอร์แบบนี้จึงเป็นที่นิยมเพราะสามารถเก็บสต็อกง่าย และเหมือนกับระบบไฟฟ้าของประเทศยุโรปและญี่ปุ่นทำให้ราคาถูกเพราะผลิตเป็นจำนวนมาก



$$U_{S\Delta} = U$$

$$I_{S\Delta} = \frac{U_{S\Delta}}{Z} = \frac{U}{Z}$$

$$I_{A\Delta} = I_{S\Delta} \sqrt{3} = \frac{U}{Z} \sqrt{3}$$



$$U_{SY} = \frac{U}{\sqrt{3}}$$

$$I_{SY} = \frac{U_{SY}}{Z} = \frac{U}{Z} \cdot \frac{1}{\sqrt{3}}$$

$$I_{AY} = I_{SY} = \frac{U}{Z} \cdot \frac{1}{\sqrt{3}}$$

U = แรงดันไลน์
(Line to Line voltage)

U_S = แรงดันเฟส
(Phase voltage)

I_A = กระแสเริ่มหมุนของแหล่งจ่าย
(Lock-rotor current in supply)

I_S = กระแสเริ่มหมุนต่อเฟส
(Lock-rotor current / phase)

รูปที่ 3 แสดงการวงจรการต่อมอเตอร์ Δ/Y และความสัมพันธ์ระหว่างแรงดัน กระแส

ระบบไฟฟ้าที่จะนำมอเตอร์ต่อเข้าจะต้องมีค่าแรงดันระหว่างสายเท่ากับที่กำหนดบนแผ่นป้าย ถ้าหากระบบไฟฟ้ามีค่าแรงดันต่ำกว่าที่กำหนด และยังไม่ไปจุดที่ขนาดกำลังพิกัด ก็อาจจะทำให้มอเตอร์ไหม้ได้ อันเนื่องมาจากสาเหตุกระแสไฟฟ้าไหลเข้าสู่มอเตอร์สูงเกินนั่นเอง ยกตัวอย่างเช่น จากแผ่นป้ายที่แรงดันไฟฟ้า 400 V จะมีกระแสไหล 32.5 A แต่เมื่อแรงดันไฟฟ้าเปลี่ยนไปที่ 380 V กระแสไฟฟ้าจะไหลสูงขึ้นเป็น 34 A ทำให้เกิดความร้อนมากเนื่องจากกระแส เป็นต้น

ดังนั้นการต่อแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วเทอร์มินอลในกล่องต่อสายมอเตอร์จะต้องเป็นไปตามพิกัดแรงดันมาตรฐานของระบบไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส วิธีการสตาร์ท และชนิดของขดลวด ตัวอย่าง เช่นการต่อขดลวดของมอเตอร์แรงดันต่ำ 3 เฟส Δ / Y (สำหรับความเร็วเดียว) ตามขายงานของการไฟฟ้าประเทศไทย หรือตามอุตสาหกรรมในยุโรป จะใช้ระบบความถี่ 50 Hz โดยมีระดับแรงดันไฟฟ้า มีดังต่อไปนี้

ชนิดของขดลวด	แรงดันทำงาน (V) ที่ความถี่ 50 Hz	ชนิดกรงกระบอก	
		สำหรับสตาร์ทแบบ D.O.L หรือชนิดสลีปริง	สำหรับสตาร์ทแบบ Y/Δ
220Δ / 380Y	220 / 380	220Δ / 380Y	220Δ / -
230Δ / 400Y*	230 / 400*	230Δ / 400Y*	230Δ* / -
380Y / 380Δ	380	380Y / 380Δ	- / 380Δ
400Y / 400Δ	400	400Y / 400Δ	- / 400Δ
500Y / 500Δ	500	500Y / 500Δ	- / 500Δ
380Δ / 380Y	380 / 660	380Δ / 660Y	- / -
400Δ / 690Y	400 / 690	400Δ / 690Y	- / -
660Y / 660Δ	660	660Y / 660Δ	- / 660Δ
690Y / 690Δ	690	690Y / 690Δ	- / 690Δ

	ขดลวดแบบ Δ / Y		สตาร์ทแบบ สตาร์ท-เดลต้า ที่แรงดันทำงาน
	สตาร์ทแบบ D.O.L ระดับแรงดันที่ต่อแบบเดลต้า	ที่แรงดันทำงาน ระดับแรงดันที่ต่อแบบสตาร์ท	
วงจรการต่อขดลวดมอเตอร์			ปลายสายของขดลวดแต่ละเฟสจะนำไปต่อแบบสตาร์ท-เดลต้า
ขั้วต่อที่เทอร์มินอลบอร์ด			

*) อ้างอิงมาจาก IEC 38 : ระบบแรงดันมี 220/380 V และ 240/415 V หลังจากนั้นในที่สุดสรุปใช้ระบบมาตรฐานคือ 230/400 V ผ่านการใช้งานมานานกว่า 20 ปี จากการตีพิมพ์ของมาตรฐาน IEC เริ่มต้นโดยการไฟฟ้าที่ใช้ในเมืองจาก 220/380 V เป็นแรงดันที่มีตลาดเคลื่อนเป็น 230/400 V ± 6/10% และเมืองที่เดิมใช้ไฟ 240/415 V แรงดันถูกจ่ายเป็น 230/400 V ± 10/6% สุดท้ายแรงดันเปลี่ยนเป็น 230/400 V ± 10% เช่นเดียวกับแรงดัน 380/660 V ถูกเปลี่ยนเป็นระดับแรงดันไฟฟ้า 400/690 V ± 10% มาจนกระทั่งปัจจุบัน

ตาม DIN VDE 0530 มอเตอร์จะต้องสามารถทำงานที่พิกัด เมื่อรับความถี่พิกัด, แหล่งจ่ายแรงดันเปลี่ยนแปลงระหว่าง 95% - 105% ของค่าพิกัดซึ่งเป็นผลมาจากแรงดันตกในสายส่ง อนุญาตจะต้องทนต่ออุณหภูมิได้สูงถึง 10K

ทิศทางหมุนของมอเตอร์ 3 เฟส (Direction of rotation of three-phase motors)

ขั้วต่อของมอเตอร์ 3 เฟสมีตัวเลขเป็นอักษรบอกตามลำดับ U1, V1, W1 ถ้าเฟสของไฟต่อเข้าลำดับแบบนี้มอเตอร์จะหมุนตามเข็มนาฬิกา **มองจากปลายเพลาด้านต่อใช้งานกฎนี้ใช้กับทุกมอเตอร์** ทิศทางการหมุนสามารถกลับทางได้โดยการสลับระหว่างการต่อของ 2 เฟส ลำดับเฟสของความถี่ที่ต้องการทิศทางหมุนจะต้องตรวจสอบก่อนการเริ่มเดินเครื่อง

✚ มาตรฐานการป้องกัน (IP) สำหรับมอเตอร์ไฟฟ้า

SIEMENS 3-Mot. 1LG6 186-4AA60-Z (EFF1) CE	
D-91056 Erlangen UC 0202 /012415501	
180 kg IM B3 180L IP55 Th.CIF AMB 40 °C	
50 Hz 400/690 VΔ/Y	60 HZ 460 VΔ
22 kW 40,5/24 A	22 KW 36,5 A
cosφ 0,84 1470/min	PF 0,83 1775RPM
380-420/660-725 VΔ/Y	NEMA NOM.EFF 92,4% 30,0HP
42,5-40,5/24,5-23,5 A	DESIGN A CODE K CC 032 A
IEC/EN 60034	MG1-12 SF1,15 CONT

ปัจจัยที่สำคัญในการเลือกใช้มอเตอร์อย่างหนึ่งคือ ความเหมาะสมกับสภาวะแวดล้อมที่จะนำไปใช้งาน ระดับการป้องกันก็ต้องเลือกให้เหมาะสม ทั้งการป้องกันอันตรายจากน้ำ หรือวัตถุจากภายนอกทั้งฝุ่นและป้องกันการสัมผัสจากส่วนที่เคลื่อนที่

ตามมาตรฐาน IEC ระดับการป้องกันสำหรับเครื่องจักรกลไฟฟ้ามีการออกแบบโดยมีรหัสแสดงที่อุปกรณ์ประกอบด้วยตัวอักษรสองตัวและตัวเลขสองตัวแต่ในบางกรณีอาจจะมิตัวอักษรเพิ่มเข้ามา

- IP IP (International Protection) เป็นตัวอักษรแสดงว่ามีระดับการป้องกันการสัมผัสจากคนหรือส่วนเคลื่อนที่และป้องกันการเข้าถึงของวัตถุและน้ำจากภายนอก
- 0 ถึง 6 ตัวเลขหลักแรกบอกระดับการป้องกันจากการสัมผัสของคนหรือส่วนเคลื่อนที่และป้องกันการเข้าถึงของวัตถุภายนอก
- 0 ถึง 8 ตัวเลขหลักที่สองบอกระดับการป้องกันการเข้าถึงของน้ำ (ไม่รวมการป้องกันน้ำมัน)
- W,S และ M ตัวอักษรเพิ่มเติมบอกว่ามีระดับการป้องกันชนิดพิเศษ
- มอเตอร์ IEC ที่ซื้อขายจะมีระดับการป้องกันดังนี้ :

ตารางที่ 1 ความหมายของตัวเลขบอกระดับการป้องกันมอเตอร์ (IP) ตามมาตรฐาน IEC 34-5

มอเตอร์	ระดับการป้องกัน	ตัวเลขหลักแรก		ตัวเลขหลักที่สองป้องกันน้ำ
		ป้องกันการสัมผัสที่อันตรายต่อร่างกาย	ป้องกันวัตถุของแข็งภายนอก	
การระบายความร้อนแบบเปิด (Open cooling)	IP 23	ป้องกันการสัมผัสของนิ้วมือต่อส่วนหยุดนิ่ง หรือเคลื่อนไหวในตัวโครง	ป้องกันวัตถุของแข็งหรือสิ่งแปลกปลอม ที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางใหญ่กว่า 12 mm.	ป้องกันน้ำตก หรือสเปรย์ฝอยที่ตกลงมาในมุมน้อยกว่า 60° จากแนวตั้ง
การระบายความร้อนด้วยพัดลมแบบปิดมิดชิด (TEFC)	IP 44	ป้องกันการเข้าถึงของเครื่องมือหรือวัตถุที่คล้ายกันจากการสัมผัสถึงส่วนที่หยุดนิ่งหรือเคลื่อนไหวภายในตัวถัง โดยเครื่องมือ, เส้นสายต่างๆหรือวัตถุที่มีความหนา มากกว่า 1 mm	ป้องกันวัตถุแปลกปลอมขนาดเล็ก (เส้นผ่าศูนย์กลางใหญ่กว่า 1 mm) แต่ไม่รวมจุดเปิดของการระบายอากาศ (จุดเข้าและปล่อยออกของพัดลมข้างนอก) และรูทิ้งน้ำ (drain hole) ของตัวถังเครื่องจักรซึ่งอาจจะมีการป้องกันระดับ 2	ป้องกันน้ำสาด หรือกระเด็นที่มาจากทุกทิศทาง
	IP 54	ป้องกันการสัมผัสที่ทำให้เป็นอันตรายต่อคนได้สมบูรณ์ ทั้งส่วนที่หยุดนิ่งหรือเคลื่อนไหวภายในโครงตัวถัง	ป้องกันอันตรายจากฝุ่น และการสะสมตัวของฝุ่น สำหรับฝุ่นไม่สามารถป้องกันได้ทั้งหมด แต่ฝุ่นจะไม่สามารถเข้าไปในจำนวนที่มีผลต่อการใช้งานเครื่องจักร	ป้องกันน้ำสาด หรือกระเด็นที่มาจากทุกทิศทาง
	IP 55			ป้องกันน้ำฉีดจากปลายกระบอกที่ไม่แรงมากนัก.
	IP 56			ป้องกันน้ำฉีดจากปลายกระบอกที่มีความแรงมาก.
IP 65	ป้องกันการสัมผัสที่ทำให้เป็นอันตรายต่อคนได้สมบูรณ์	ป้องกันการเข้าถึงจากฝุ่นได้อย่างสมบูรณ์	ป้องกันน้ำฉีดจากปลายกระบอกที่ไม่แรงมากนัก.	
IP 67			สามารถแช่ในน้ำแต่ขึ้นอยู่กับ กับเวลาและความดัน.	
IP 68			สามารถแช่ในน้ำได้นานถาวร ภายใต้เงื่อนไขรายละเอียด จากโรงงาน.	



ระดับการป้องกันชนิดพิเศษ

ตัวอักษร W สำหรับการป้องกันเครื่องจักรกลจากสภาวะอากาศดากลมตากฝน (Weather): ตัวเลขที่เพิ่มเข้ามานี้ W จะแทรกหว่างอักษร IP กับตัวเลขบอกระดับ เช่น IP W 23

เครื่องจักรกลที่มีระดับการป้องกันนี้ใช้สำหรับ "ทำงานภายใต้สภาวะอากาศดากลมตากฝนป้องกันตัวอุปกรณ์หรือการวัดต่างๆ"

ตัวอักษร S และ M มีสำหรับป้องกันน้ำ: สำหรับงานชนิดพิเศษ (เช่นเครื่องจักรกลที่ระบายความร้อนแบบเปิดในเรือ) ตัวอักษรที่เพิ่มเข้ามาจะแทรกหลังตัวเลขที่บอกระดับการป้องกัน ซึ่งป้องกันอันตรายจากการเข้าถึงของน้ำเมื่อเครื่องจักรอยู่กับที่ (ตัวอักษร S) หรือเครื่องจักรทำงาน (ตัวอักษร M) มีการรับรองเป็นหลักฐานหรือผ่านการทดสอบแล้ว

ในกรณีที่มีระดับการป้องกันสองค่าในอุปกรณ์เดียวแสดงว่าสามารถทำงานได้ทั้งสองแบบ ตัวอย่าง IP 55 S/IP 23 M

ถ้ามีเลขบอกระดับการป้องกันสองค่าในอุปกรณ์เดียวแต่ไม่มีอักษรเพิ่มเข้ามาแสดงว่าทำงานได้ทั้งสองแบบเช่น ทำงานได้ทั้งอยู่กับและกำลังทำงาน

ตามข้อตกลงนานาชาติ ตัวอักษร R ที่เพิ่มเข้ามาบอกว่าเครื่องจักรกลมีการระบายความร้อนด้วยลมแบบมีท่อ (pipe - ventilated) ตามรายละเอียดมาตรฐานตัวเก่าจาก IEC 34 part 5

เครื่องจักรกลที่มีการระบายความร้อนด้วยลมแบบมีท่อถ้าเป็นมาตรฐานเก่าจะบอกเป็น IP R 44 แต่ถ้าเป็นมาตรฐานใหม่จะมีอักษรขึ้นต้นบอกเป็น IC และตามหลังด้วยตัวเลขบอกวิธีการระบายความร้อน เช่น IP 44/IC 37 หรือ IP 44/IC 31.

ส่วนมาตรฐาน NEMA ตาม MG1-1.25 จะอธิบายเป็นตัวอักษรสามตัว แสดงการเปรียบเทียบมาตรฐานการป้องกันระหว่าง NEMA และ IEC ได้ดังตารางต่อไปนี้

มอเตอร์แบบเปิด (Open motor)

มาตรฐาน NEMA MG1-1.25	มาตรฐาน IEC 60034-5
Drip-proof motor	IP 12
Splash-proof motor	IP 13
Semi-guarded motor	ไม่สามารถเปรียบเทียบได้
Guarded motor	IP 22
Drip-proof guarded motor	IP 22
Open externally-ventilated motor	ไม่สามารถเปรียบเทียบได้
Open pipe-ventilated motor	IP 23 หรือ IP 44
Weather-protected, Type I	IP W 23
Weather-protected, Type II	IP W 24

มอเตอร์แบบปิด (Totally enclosed motor)

มาตรฐาน NEMA MG1-1.25	มาตรฐาน IEC 60034-5
T otally E nclosed N on- V entilated motor (TENV)	IP 44 หรือสูงกว่า โดยปราศจากพัดลมระบายความร้อน
T otally E nclosed F an- C ooled motor (TEFC)	IP 44 หรือสูงกว่า โดยมีพัดลมระบายความร้อน
Explosion-proof motor	E Exd IIA, B หรือ C แบบชนิดป้องกันการระเบิด มี IP 44 หรือ สูงกว่า
Dust-ignition proof motor	IP 44 หรือสูงกว่า กล้องต่อสายมี IP 54 หรือสูงกว่า แบบไม่เกิดประกายไฟ (Eexn, Non sparking)
Water proof motor	IP 46 หรือสูงกว่า

สำหรับรายละเอียดเพิ่มเติม ตอนต่อไปจะกล่าวถึง มาตรฐานโครงสร้างการติดตั้งมอเตอร์ (Type of construction) ซึ่งหลายท่านอาจจะไม่คุ้นเคย อาจนำไปใช้งาน หรือติดตั้งผิดประเภท เช่น IMB3, IMV1 เป็นต้น , ประสิทธิภาพ (Efficiency) มาตรฐานการระบายความร้อนสำหรับมอเตอร์ไฟฟ้า (Methods of cooling) รวมถึงผลกระทบต่อกำลังของมอเตอร์ จากอุณหภูมิแวดล้อม และระดับความสูงจากระดับน้ำทะเล