



ข้อกำหนดเกี่ยวกับแรงดันเปลี่ยนแปลง สำหรับการเชื่อมต่อมอเตอร์ ในระบบไฟฟ้าแรงต่ำ

ปัญหาที่มาของการจัดทำข้อกำหนดฯ

- ➔ ตามระเบียบของ กฟน. อนุญาตให้เชื่อมต่อโหลดของผู้ใช้ไฟฟ้าที่มีพิกัดกระแสต่อเนื่องไม่เกิน **400 A** ในระบบไฟฟ้าแรงต่ำของ กฟน. ได้
- ➔ ในกรณีโหลดที่เป็นมอเตอร์แรงต่ำขนาดใหญ่ แม้จะมีพิกัดกระแสต่อเนื่องไม่เกิน **400 A** แต่กระแสขณะสตาร์ทมอเตอร์อาจมีค่าสูงเป็น **6-8 เท่า**
- ➔ ทำให้เกิดปัญหาตามมาเช่น **ไฟฟ้าดับ** หรือ **แรงดันตกชั่วขณะ** ส่งผลกระทบต่อผู้ใช้ไฟฟ้ารายข้างเคียงที่ได้รับไฟจากหม้อแปลงลูกเดียวกัน

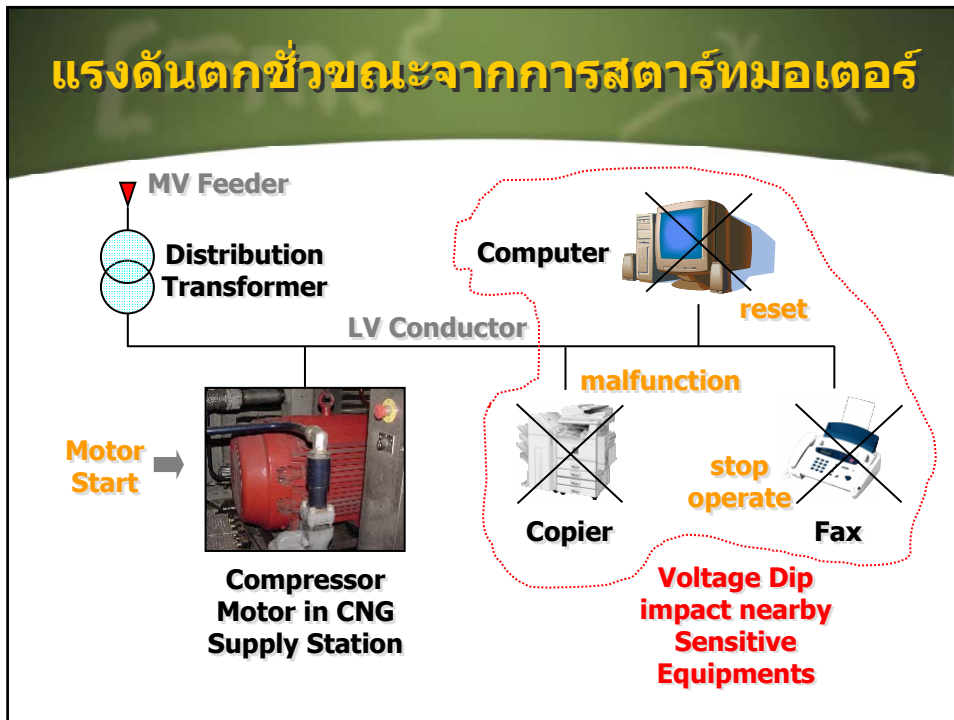
ผลกระทบจากการสตาร์ทมอเตอร์

- ➔ ทำให้ฟิวส์ด้านแรงต่ำของหม้อแปลงจำหน่ายขาด เนื่องจากกระแสเกินอันมีสาเหตุจากกระแสสตาร์ทมอเตอร์ ส่งผลให้เกิดไฟฟ้าดับตามมา
- ➔ ทำให้เกิดเหตุการณ์แรงดันตกชั่วขณะในขณะที่มอเตอร์สตาร์ท ส่งผลกระทบกับอุปกรณ์ไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้ารายอื่นที่ต่อรับไฟจากหม้อแปลงจำหน่ายลูกเดียวกัน

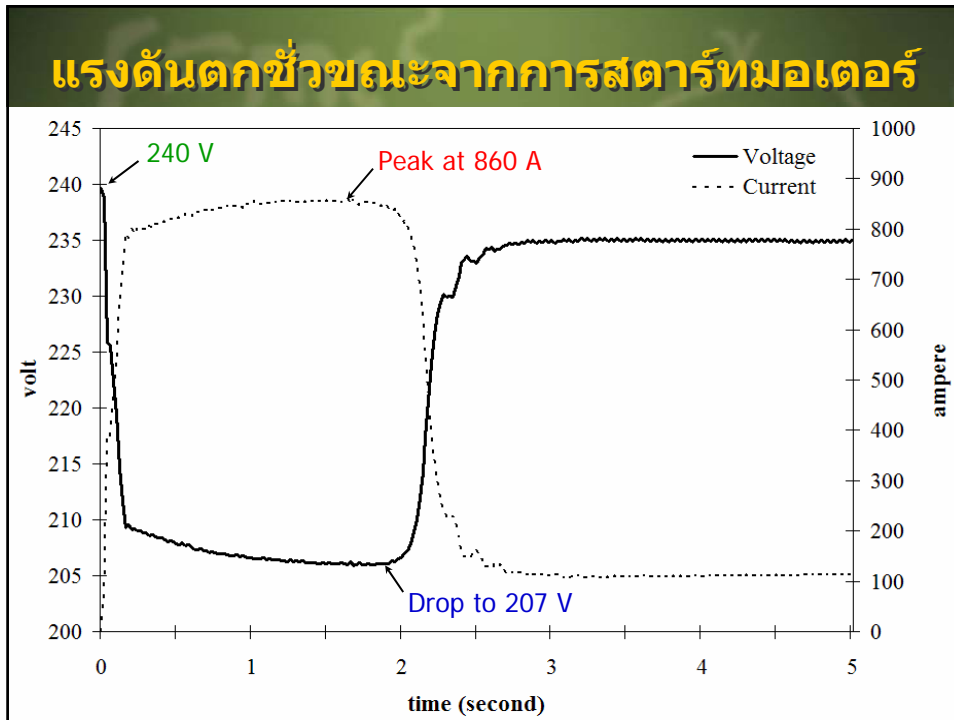
วัตถุประสงค์ของข้อกำหนดฯ

- ➔ กำหนดหลักเกณฑ์ ชัดจำกัด และวิธีการประเมินในการอนุญาตให้เชื่อมต่อมอเตอร์ในระบบไฟฟ้าแรงต่ำของการไฟฟ้านครหลวง
- ➔ เพื่อควบคุมและป้องกันปัญหาแรงดันเปลี่ยนแปลง อันเกิดจากการสตาร์ทมอเตอร์แรงต่ำขนาดใหญ่ให้อยู่ในระดับที่เหมาะสมและไม่ส่งผลกระทบต่อผู้ใช้ไฟฟ้ารายอื่นๆ

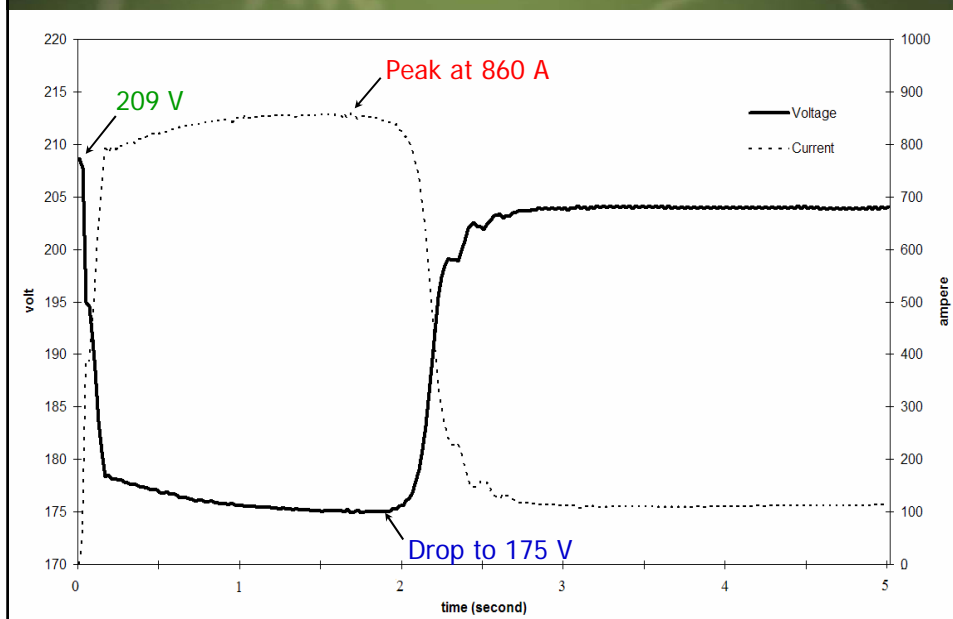
แรงดันตกชั่วขณะจากการสตาร์ทมอเตอร์



แรงดันตกชั่วขณะจากการสตาร์ทมอเตอร์



แรงดันตกชั่วขณะจากการสตาร์ทมอเตอร์



ขีดจำกัดแรงดันเปลี่ยนแปลง

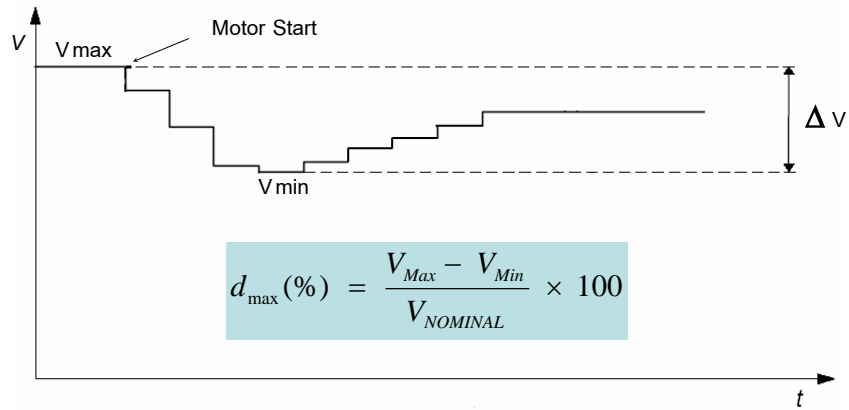
มาตรฐานสากล **IEC** กำหนดขีดจำกัดของแรงดันเปลี่ยนแปลงอันเกิดจากการทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงต่ำไว้ในมาตรฐานต่อไปนี้

IEC 61000-3-3 : สำหรับอุปกรณ์แรงต่ำที่มีพิกัดกระแสไม่เกิน 16 A

IEC 61000-3-5 : สำหรับอุปกรณ์แรงต่ำที่มีพิกัดกระแสเกินกว่า 16 A

IEC 61000-3-11 : สำหรับอุปกรณ์แรงต่ำที่มีพิกัดกระแสไม่เกิน 75 A

ขีดจำกัดแรงดันเปลี่ยนแปลง



dmax = แรงดันเปลี่ยนแปลงสัมพัทธ์สูงสุด

ขีดจำกัดแรงดันเปลี่ยนแปลง

dmax ที่เกิดจากการทำงานของมอเตอร์แต่ละประเภท
ต้องมีค่าไม่เกินขีดจำกัดดังนี้

มอเตอร์ประเภท ก) มีขีดจำกัดไม่เกิน **4 %** สำหรับ

- มอเตอร์ที่ไม่ทราบเงื่อนไขในการทำงาน
- มอเตอร์ที่ไม่เข้าข่ายมอเตอร์ประเภท **ข)** และ **ค)**

ขีดจำกัดแรงดันเปลี่ยนแปลง

d_{max} ที่เกิดจากการทำงานของมอเตอร์แต่ละประเภท ต้องมีค่าไม่เกินขีดจำกัดดังนี้

มอเตอร์ประเภท ข) มีขีดจำกัดไม่เกิน **6 %** สำหรับ

- มอเตอร์ที่สวิตช์เปิดปิดโดยผู้ใช้งาน
- มอเตอร์ที่สวิตช์เปิดปิดโดยอัตโนมัติมากกว่า 2 ครั้งต่อวัน และมีการหน่วงเวลาในการสตาร์ทขึ้นมาใหม่หลังเกิดเหตุการณ์ไฟฟ้าดับเป็นเวลาไม่น้อยกว่าหลายสิบวินาที หรือใช้วิธีการสตาร์ทขึ้นมาใหม่โดยผู้ใช้งานหลังเกิดเหตุการณ์ไฟฟ้าดับ

ขีดจำกัดแรงดันเปลี่ยนแปลง

d_{max} ที่เกิดจากการทำงานของมอเตอร์แต่ละประเภท ต้องมีค่าไม่เกินขีดจำกัดดังนี้

มอเตอร์ประเภท ค) มีขีดจำกัดไม่เกิน **7 %** สำหรับ

- มอเตอร์ที่ผู้ใช้งานควบคุมอยู่ตลอดในขณะใช้งาน
- มอเตอร์ที่สวิตช์เปิดปิดโดยอัตโนมัติหรือโดยผู้ใช้งานไม่เกิน 2 ครั้งต่อวัน และมีการหน่วงเวลาในการสตาร์ทขึ้นมาใหม่หลังเกิดเหตุการณ์ไฟฟ้าดับเป็นเวลาไม่น้อยกว่าหลายสิบวินาที หรือใช้วิธีการสตาร์ทขึ้นมาใหม่โดยผู้ใช้งานหลังเกิดเหตุการณ์ไฟฟ้าดับ

ขีดจำกัดแรงดันเปลี่ยนแปลง

หมายเหตุ หากเป็นมอเตอร์ที่มีการสตาร์ทมากกว่า 4 ครั้งต่อชั่วโมง ให้พิจารณาลักษณะ ขีดจำกัด และวิธีการประเมินตาม "ข้อกำหนดกฎเกณฑ์แรงดันกระเพื่อมเกี่ยวกับไฟฟ้าประเภทธุรกิจและอุตสาหกรรม"

นิยามคำศัพท์ที่เกี่ยวข้อง

- ➔ **โหลดมอเตอร์รวม** - คือกลุ่มของมอเตอร์ในระบบของผู้ใช้ไฟฟ้าย่อยเดียวกันและมีการสตาร์ทใช้งานพร้อมกัน จะพิจารณาเป็นอุปกรณ์เพียงตัวเดียวซึ่งมีขนาดพิกัดเท่ากับผลรวมของขนาดพิกัดของมอเตอร์แต่ละตัว
- ➔ **จุดต่อร่วม** - ตำแหน่งในระบบของการไฟฟ้าที่อยู่ใกล้กับผู้ใช้ไฟฟ้าที่สุดซึ่งผู้ใช้ไฟฟ้าย่อยอื่นอาจต่อร่วมได้

ขั้นตอนและวิธีการประเมิน

- ➔ แบ่งการประเมินออกเป็น 3 ขั้นตอน เพื่อลดความยุ่งยากและจำนวนข้อมูลที่ต้องใช้ในการประเมินสำหรับแต่ละขั้นตอน
- ➔ เริ่มประเมินจากขั้นตอนที่ 1 หากไม่ผ่านการประเมินในขั้นตอนใด หรือไม่เข้าข่ายที่จะประเมินในขั้นตอนนั้นได้ ก็ให้ไปประเมินในขั้นตอนถัดไป
- ➔ จะอนุญาตให้เชื่อมต่อมอเตอร์ในระบบไฟฟ้าแรงต่ำของ กฟน. ได้หากมอเตอร์เหล่านี้เป็นไปตามขีดจำกัดและเงื่อนไขตามวิธีการประเมินในขั้นตอนใดขั้นตอนหนึ่ง

ขั้นตอนและวิธีการประเมิน

หมายเหตุ วิธีการประเมินทั้ง 3 ขั้นตอนสามารถใช้กับระบบไฟฟ้าแรงต่ำทั่วไปที่อยู่นอกเขตวงจรถาข่าย แต่สำหรับระบบไฟฟ้าแรงต่ำที่อยู่ในเขตวงจรถาข่ายไม่สามารถประเมินตามวิธีการในขั้นตอนที่ 1 และ 2 ได้ ต้องไปประเมินตามวิธีการในขั้นตอนที่ 3 โดยตรง

Parameter ของหม้อแปลงจำหน่าย

Size (kVA)	Range of Impedance (%)	Max. Impedance (ohm)
15 - 45	1.2 - 4.4	0.507631
75	1.5 - 4.4	0.101526
112.5	1.6 - 4.4	0.067684
150	2.1 - 4.4	0.050763
225	3.2 - 4.4	0.033842
300	3.9 - 7.0	0.040380
500 - 1500	not less than 6.5	n/a

Parameter ของสายไฟฟ้าแรงต่ำ

Size (mm ²)	Ampacity (A)	Resistance (ohm/m)	Reactance (ohm/m)
35	160	0.001040	0.000284
70	245	0.000532	0.000264
120	350	0.000300	0.000258
185	460	0.000197	0.000244

การประเมินในขั้นตอนที่ 1

- ➔ ประยุกต์ใช้กับมอเตอร์ที่รับไฟจากหม้อแปลงขนาด 112.5 kVA ขึ้นไป
- ➔ อ้างอิงจากค่าอิมพีแดนซ์สูงสุดที่เป็นไปได้ของหม้อแปลงจำหน่ายและสายไฟฟ้าแรงต่ำ
- ➔ อ้างอิงจากค่าขีดจำกัดแรงดันเปลี่ยนแปลงที่น้อยที่สุด (4%)
- ➔ อ้างอิงจากขนาดกระแสสตาร์ทสูงสุดที่เป็นไปได้ของมอเตอร์คือ 8 เท่าของค่ากระแสพิกัด

การประเมินในขั้นตอนที่ 1

$$d_{\max} (\%) = \frac{I_{\text{Start}} \times Z_{\text{System}}}{V_{\text{NOMINAL}}} \times 100$$

Annotations for the equation:

- $d_{\max} (\%)$: most strict $d_{\max} (4\%)$
- I_{Start} : max. possible $I_{\text{start}} (8 * I_{\text{rated}})$
- Z_{System} : max. Z_{system} from actual dist. Tr. & LV cond. data
- V_{NOMINAL} : 230 V

คำนวณพิกัดกระแสสูงสุดของมอเตอร์ได้

$$I_{\text{rated}} = 8 \text{ A}$$

การประเมินในขั้นตอนที่ 1

➔ ขั้นตอนที่ 1 : เงื่อนไขและขีดจำกัด

"โหลดมอเตอร์รวมที่รับไฟจากหม้อแปลง
จำหน่ายซึ่งมีพิกัดขนาดตั้งแต่ 112.5 kVA ขึ้น
ไป และมีพิกัดกระแสไม่เกิน 8 แอมแปร์ต่อเฟส
สามารถเชื่อมต่อในระบบไฟฟ้าแรงต่ำได้"

การประเมินในขั้นตอนที่ 2

- ➔ พิจารณาจากสถานการณ์จริงมากขึ้น และต้องการข้อมูลมากขึ้นสำหรับการประเมิน
- ➔ ต้องใช้ข้อมูลต่อไปนี้ในการประเมิน
 - ประเภทของมอเตอร์ ก) ข) หรือ ค)
 - ขนาดกระแสสแตร์ทสูงสุดของมอเตอร์
 - ขนาดหม้อแปลงจำหน่ายที่จ่ายไฟให้มอเตอร์

การประเมินในขั้นตอนที่ 2

➔ ขั้นตอนที่ 2 : เงื่อนไขและขีดจำกัด

"โหลดมอเตอร์รวมที่รับไฟจากหม้อแปลงจำหน่าย ซึ่งมีพิกัดขนาดตามตารางที่ 1 และมีขนาดกระแสสตาร์ทสูงสุดไม่เกินขีดจำกัดในตาราง สามารถเชื่อมต่อในระบบไฟฟ้าแรงต่ำได้"

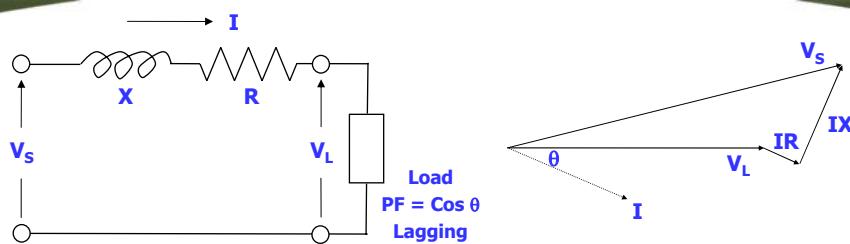
การประเมินในขั้นตอนที่ 2

ขนาดหม้อแปลงจำหน่าย (kVA)	ขนาดกระแสสตาร์ทสูงสุดสำหรับมอเตอร์แต่ละประเภท (A)		
	ประเภท ก)	ประเภท ข)	ประเภท ค)
112.5	62	94	109
150	83	125	146
225	125	187	219
300	167	250	291
≥ 500	184	276	322

การประเมินในขั้นตอนที่ 3

- ➔ ประเมินโดยตรงจากค่าแรงดันเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นขณะสตาร์ทมอเตอร์
- ➔ ต้องใช้ข้อมูลต่อไปนี้ในการประเมิน
 - V_{Nom}** - แรงดันจ่ายไฟปกติในระบบไฟฟ้าแรงต่ำ
 - V_{Start}** - แรงดันที่จุดต่อร่วมขณะสตาร์ทมอเตอร์
 - I_{Start}** - กระแสสตาร์ทสูงสุดของมอเตอร์
 - PF_{Start}** - ตัวประกอบกำลังขณะสตาร์ทมอเตอร์
 - R** - Resistance รวมของระบบที่จุดต่อร่วม
 - X** - Reactance รวมของระบบที่จุดต่อร่วม

การประเมินในขั้นตอนที่ 3



$$\begin{aligned}
 \bar{V}_s &= V_L \angle 0^\circ + I \angle -\theta (R + jX) \\
 &= V_L + I(\cos \theta - j \sin \theta)(R + jX) \\
 &= V_L + I(R \cos \theta + X \sin \theta - jR \sin \theta + jX \cos \theta) \\
 &= [V_L + I(R \cos \theta + X \sin \theta)] + j [I(X \cos \theta - R \sin \theta)]
 \end{aligned}$$

การประเมินในขั้นตอนที่ 3

$$\begin{aligned}V_s^2 &= [V_L + I(R \cos \theta + X \sin \theta)]^2 + [I(X \cos \theta - R \sin \theta)]^2 \\&= V_L^2 + [2I(R \cos \theta + X \sin \theta)] V_L + I^2(R \cos \theta + X \sin \theta)^2 \\&\quad + I^2(X \cos \theta - R \sin \theta)^2 \\&= V_L^2 + [2I(R \cos \theta + X \sin \theta)] V_L \\&\quad + I^2(R^2 \cos^2 \theta + X^2 \sin^2 \theta + X^2 \cos^2 \theta + R^2 \sin^2 \theta) \\&= V_L^2 + [2I(R \cos \theta + X \sin \theta)] V_L + I^2(R^2 + X^2) \\V_L^2 + [2I(R \cos \theta + X \sin \theta)] V_L + [I^2(R^2 + X^2) - V_s^2] &= 0\end{aligned}$$

การประเมินในขั้นตอนที่ 3

$$V_L = \frac{-2I(R \cos \theta + X \sin \theta) + \sqrt{4I^2(R \cos \theta + X \sin \theta)^2 - 4I^2(R^2 + X^2) + 4V_s^2}}{2}$$

$$V_L = \sqrt{I^2(R \cos \theta + X \sin \theta)^2 + V_s^2 - I^2(R^2 + X^2)} - I(R \cos \theta + X \sin \theta)$$

For lagging load

$$V_L = \sqrt{A^2 + B} - A$$

$$A = I(R \cos \theta + X \sin \theta)$$

$$B = V_s^2 - I^2(R^2 + X^2)$$

การประเมินในขั้นตอนที่ 3

ตั้งนั้นแรงดันเปลี่ยนแปลงคำนวณได้จาก

$$d_{\max}(\%) = \frac{V_{L-\text{existing}} - V_{L-\text{total}}}{V_{L-\text{existing}}} \times 100$$

เนื่องจากไม่ทราบข้อมูล Existing Load แต่สามารถคำนวณโดยประมาณได้จากกรณี No-load โดย

$$d_{\max}(\%) = \frac{1.1 (V_{\text{Source}} - V_{L-\text{new}})}{V_{\text{Source}}} \times 100$$

การประเมินในขั้นตอนที่ 3

➡ **คำนวณหาค่าแรงดันเปลี่ยนแปลงสัมพัทธ์สูงสุดได้จากสมการต่อไปนี้**

$$d_{\max}(\%) = \frac{1.1 (V_{\text{Nom}} - V_{\text{Start}})}{V_{\text{Nom}}} \times 100$$

$$V_{\text{Start}} = \sqrt{A^2 + B} - A$$

$$A = I_{\text{Start}} [R(\text{PF}_{\text{Start}}) + X \sin\{\arccos(\text{PF}_{\text{Start}})\}]$$

$$B = V_{\text{Nom}}^2 - I_{\text{Start}}^2 (R^2 + X^2)$$

การประเมินในขั้นตอนที่ 3

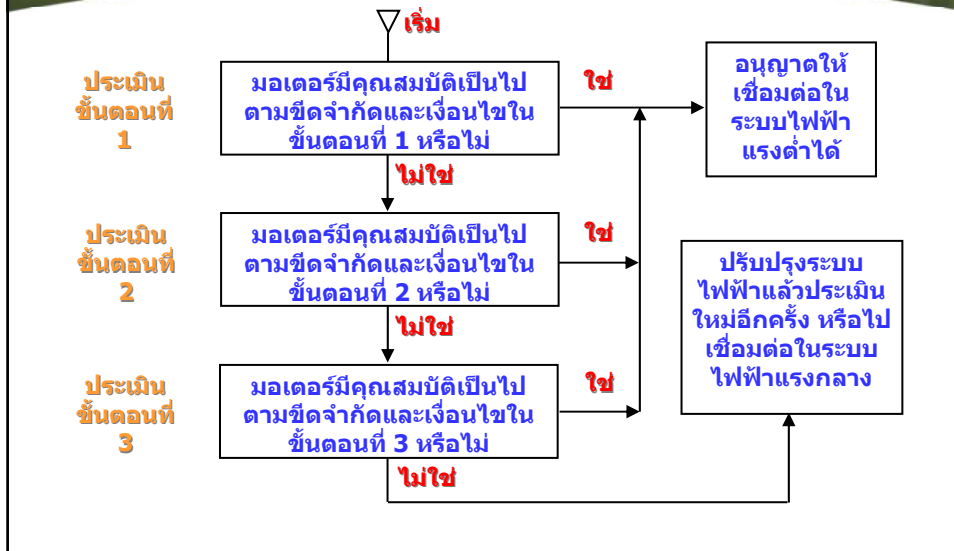
➔ **ขั้นตอนที่ 3 : เงื่อนไขและขีดจำกัด**

"โหลดมอเตอร์รวมสามารถเชื่อมต่อในระบบไฟฟ้าแรงต่ำได้ หากแรงดันเปลี่ยนแปลงสัมพัทธ์สูงสุดที่เกิดขึ้น ณ จุดต่อร่วมขณะสตาร์ทมอเตอร์มีค่าไม่เกินขีดจำกัดสำหรับมอเตอร์แต่ละประเภท"

แนวทางดำเนินการหากไม่ผ่านการประเมิน

- ➔ **ปรับลดขนาดกระแสสตาร์ทของมอเตอร์ โดยติดตั้งอุปกรณ์ช่วยลดกระแสขณะสตาร์ท หรือ ปรับคุณสมบัติทางกลของโหลดมอเตอร์ในขณะสตาร์ทเพื่อช่วยลดขนาดกระแสสตาร์ท**
- ➔ **หากปรับลดกระแสสตาร์ทแล้ว การสตาร์ทมอเตอร์ยังคงไม่เป็นไปตามเงื่อนไขในการประเมินขั้นตอนใดขั้นตอนหนึ่ง กรณีนี้ผู้ใช้ไฟฟ้าต้องไปเชื่อมต่อและซื้อไฟฟ้าจากระบบไฟฟ้าแรงกลาง 12 kV หรือ 24 kV แทน**

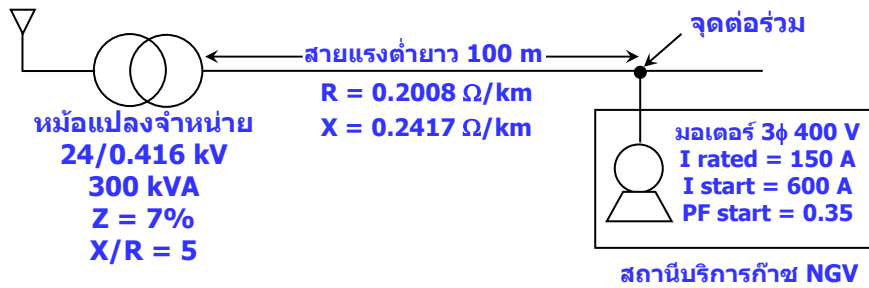
สรุปขั้นตอนวิธีการประเมิน



ตัวอย่างการประเมิน

- ➔ สถานีบริการก๊าซ NGV แห่งหนึ่งต้องการขอใช้ไฟในระบบไฟฟ้าแรงต่ำโดยสถานีฯมีการติดตั้งมอเตอร์ขนาดใหญ่สำหรับใช้สูบอัดก๊าซไปเก็บในถังสำรอง
- ➔ มอเตอร์ดังกล่าวมีการใช้งานเฉลี่ยชั่วโมงละครั้ง และมีขนาดกระแสสาร์ทเป็น 4 เท่าของกระแสฟักัด
- ➔ ในกรณีเกิดเหตุการณ์ไฟฟ้าดับมอเตอร์ต้องอาศัยการสาร์ทขึ้นมาใหม่โดยผู้ใช้งาน

ตัวอย่างการประเมิน



ตัวอย่างการประเมิน

การประเมินในขั้นตอนที่ 1

เนื่องจากกระแสพิกัดของมอเตอร์นี้มีค่า 150 A ซึ่งสูงเกินกว่าขีดจำกัดกระแส พิกัด 8 A ตามเงื่อนไขในขั้นตอนที่ 1 ดังนั้นมอเตอร์นี้จึงไม่ผ่านการประเมินตามขั้นตอนที่ 1 และต้องไปประเมินในขั้นตอนถัดไป

ตัวอย่างการประเมิน

การประเมินในขั้นตอนที่ 2

จากลักษณะการทำงานของมอเตอร์สามารถพิจารณาได้ว่าเป็นมอเตอร์ประเภท ข) และมอเตอร์นี้รับไฟจากหม้อแปลงจำหน่ายขนาด 300 kVA ขีดจำกัดกระแสตัวสูงสุดของมอเตอร์สำหรับกรณีนี้มีค่า 250 A แต่เนื่องจากกระแสตัวของมอเตอร์มีค่า 600 A ดังนั้นมอเตอร์นี้จึงไม่ผ่านการประเมินตามขั้นตอนที่ 2 และต้องไปประเมินในขั้นตอนสุดท้าย

ตัวอย่างการประเมิน

การประเมินในขั้นตอนที่ 3

หาค่า Resistance และ Reactance ที่จุดต่อรวมดังนี้

Resistance ของหม้อแปลง

$$= 0.07 * (0.416^2 / 0.3) * \cos(\arctan(5))$$

$$= 0.007919 \Omega$$

Reactance ของหม้อแปลง

$$= 0.07 * (0.416^2 / 0.3) * \sin(\arctan(5))$$

$$= 0.039596 \Omega$$

ตัวอย่างการประเมิน

Resistance ของสายแรงต่ำ

$$= 0.1 * 0.2008 = 0.02008 \Omega$$

Reactance ของสายแรงต่ำ

$$= 0.1 * 0.2417 = 0.02417 \Omega$$

Resistance รวมที่จุดต่อรวม

$$= 0.007919 + 0.02008 = 0.027999 \Omega$$

Reactance รวมที่จุดต่อรวม

$$= 0.039596 + 0.02417 = 0.063766 \Omega$$

ตัวอย่างการประเมิน

คำนวณหาค่า d_{max} จากสมการ

$$A = 600 [0.027999(0.35) + 0.063766 \sin\{\arccos(0.35)\}] = 41.719$$

$$B = 230^2 - 600^2(0.027999^2 + 0.063766^2) = 51154$$

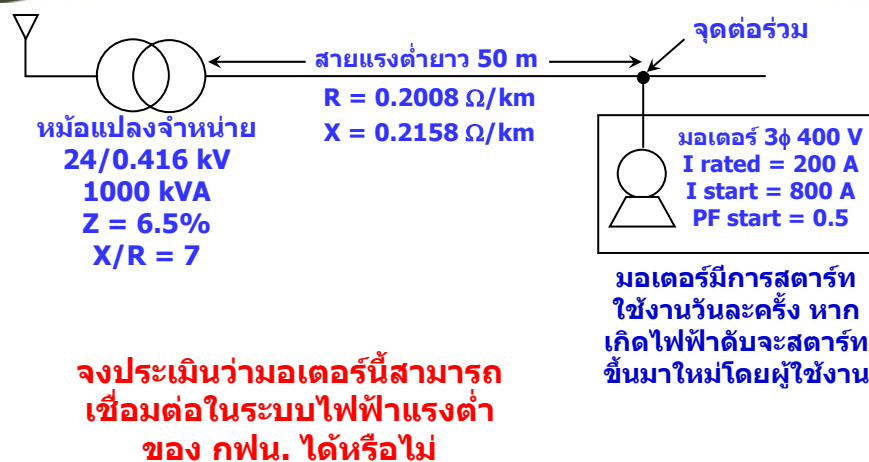
$$V_{Start} = \sqrt{41.719^2 + 51154} - 41.719 = 188.27$$

$$d_{max}(\%) = \frac{1.1(230 - 188.27)}{230} \times 100 = 19.96$$

ตัวอย่างการประเมิน

- ➔ ตามที่ได้พิจารณาข้างต้น มอเตอร์นี้จัดเป็นประเภท ข) จึงมีขีดจำกัดแรงดันเปลี่ยนแปลงสัมพัทธ์สูงสุดที่จุดต่อรวมไม่เกิน 6%
- ➔ ดังนั้นมอเตอร์นี้จึงไม่ผ่านการประเมินตามขั้นตอนที่ 3 และไม่สามารถเชื่อมต่อในระบบไฟฟ้าแรงต่ำได้ แต่ต้องไปเชื่อมต่อในระบบไฟฟ้าแรงกลาง 12 kV หรือ 24 kV แทน

แบบทดสอบการประเมิน



เฉลยแบบทดสอบ

การประเมินในขั้นตอนที่ 1

ไม่ผ่านเพราะ $I_R = 200 \text{ A} > \text{ขีดจำกัด } 8 \text{ A}$

การประเมินในขั้นตอนที่ 2

ไม่ผ่านเพราะ $I_{\text{start}} = 800 \text{ A} > \text{ขีดจำกัด } 322 \text{ A}$

การประเมินในขั้นตอนที่ 3

ไม่ผ่านเพราะ $d_{\text{max}} = 9.5 \% > \text{ขีดจำกัด } 7 \%$

ดังนั้นมอเตอร์นี้ไม่สามารถเชื่อมต่อในระบบไฟฟ้าแรงต่ำได้ แต่ต้องไปเชื่อมต่อในระบบไฟฟ้าแรงกลางแทน

Thank you for your
attention

Question & Answer