

แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าที่ผิดปกติกับการทำงานของ มอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส

Unconventional Voltage Utility with Three-phase Induction Motor Operation

บุญยภัทร ภูมิภาค และ สลิลทิพย์ สินธุสนธิชาติ

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้ากำลัง คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร

E-mail: kcthanaphiwat@yahoo.com โทรศัพท์: 0-2988-3666 ต่อ 3305

Manuscript received January 29, 2013

Revised May 25, 2013

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอานิยามของแรงดันไฟฟ้าที่ผิดปกติสองสถานะคือ สถานะแรงดันไฟฟ้าสูงกว่าปกติ สถานะแรงดันไฟฟ้าต่ำกว่าปกติ และสถานะแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุล โดยพิจารณาเฉพาะความไม่สมดุลของขนาดแรงดันไฟฟ้า และอธิบายให้เห็นถึงผลที่มีต่อการใช้งานมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส ซึ่งเป็นประโยชน์ในแง่ของการพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างความผิดปกติของแรงดันไฟฟ้ากับปริมาณพิกัดกำลังทางกลของมอเตอร์ที่ลดลง เพื่อให้มอเตอร์สามารถทำงานได้โดยไม่เกิดความเสียหาย

ABSTRACT

This paper proposes two unconventional voltage supplies, over voltage and under voltage, and unbalanced voltage conditions. In case of voltage unbalance, only amplitude of unbalance voltage is taken into account. In addition, the influence of unconventional voltage sources on three-phase induction motor performances is presented. This is advantage in terms of the relationship between the condition of unconventional voltage and the derating factor of motor horse power to prevent the motor damages.

Keyword: three-phase induction motor, unconventional voltage

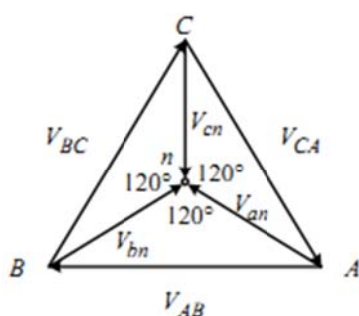
1. บทนำ

แรงดันไฟฟ้าที่ใช้เป็นแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าต่าง ๆ ที่การไฟฟ้านครหลวงหรือการไฟฟ้าภูมิภาคจ่ายออกมานั้น โดยหลักการตามทฤษฎีแล้วต้องมีรูปคลื่นเป็นสัญญาณไซน์ (Sinusoidal waveform) มีความถี่ไฟฟ้าเท่ากับ 50 Hz และในกรณีเป็นระบบไฟฟ้าสามเฟส ระดับแรงดันไฟฟ้าระหว่างสายไลน์หรือที่เรียกกันทั่วไปว่าแรงดันไลน์ต้องมีค่าเท่ากับ 380V (line) ในกรณีเป็นระบบไฟฟ้าหนึ่งเฟสค่าแรงดันเฟสต้องมีค่าเท่ากับ 220 V (phase) แต่ในสภาพการใช้งานจริงแล้ว ระดับแรงดันไฟฟ้า รวมถึงลักษณะรูปคลื่นไฟฟ้าที่ได้รับจากการไฟฟ้าฯ เพื่อนำมาใช้งานนั้น อาจไม่เป็นไปตามหลักทางทฤษฎี เนื่องจากการใช้งานในระบบไฟฟ้าเช่น ความไม่เท่ากันของค่าอิมพีแดนซ์ในสายส่ง, โหลดขนาดใหญ่ในระบบหนึ่งเฟส และ/หรือฟิวส์ที่ตัวเก็บประจุขาด เป็นต้น [1] – [2] ดังนั้นค่าระดับแรงดันไฟฟ้าที่ไม่ใช่ค่า 380 V (line) หรือ 220 V (phase) หรือ ลักษณะของรูปคลื่นที่ผิดเพี้ยนไปจากสัญญาณไซน์ หรือ ความถี่ไฟฟ้าไม่เท่ากับ 50 Hz เป็นต้น สิ่งต่าง ๆ เหล่านี้เป็นส่วนหนึ่งของการควบคุมคุณภาพกำลังไฟฟ้าที่การไฟฟ้าฯ ต้องคำนึงถึงเป็นอย่างมาก

บทความนี้นำเสนอถึงผลของขนาดแรงดันไฟฟ้าที่มีต่อการใช้งานของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส โดยพิจารณาคุณลักษณะของแรงดันไฟฟ้าที่มีสภาวะความผิดปกติ 2 สภาวะคือ สภาวะแรงดันไฟฟ้าเกินหรือต่ำกว่าระดับแรงไฟฟ้าปกติ (over and under voltage) และสภาวะแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุล (unbalance voltage) โดยพิจารณาเฉพาะความผิดปกติของขนาดแรงดันไฟฟ้าเท่านั้น (ในส่วนของความผิดปกติของมุมต่างเฟส ความถี่ และลักษณะของรูปคลื่นที่ผิดปกติในบทความนี้จะยังไม่กล่าวถึง)

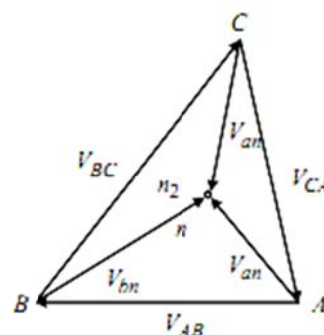
2. ความแตกต่างระหว่างแรงดันไฟฟ้าเกินหรือต่ำกว่าระดับแรงไฟฟ้าปกติ และแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุล

โดยทั่วไปผู้ใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าชนิดสามเฟส คาดหวังว่าจะได้แรงดันไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายที่มีแรงดันไฟฟ้าสามเฟสสมดุล ดังแสดงในรูปที่ 1 จากรูปจะเห็นว่าขนาดของแรงดันไฟฟ้าระหว่างเฟส (Phase to Phase) มีค่าเท่ากัน และมุมระหว่างเฟสห่างกัน 120 องศาทางไฟฟ้า ในขณะที่เดียวกันแรงดันไฟฟ้าระหว่างเฟสทั้งสามเมื่อเทียบกับจุดที่เป็นกลาง (Neutral Point, n) จะมีความสมดุล



รูปที่ 1 เฟสเซอร์ของแรงดันไฟฟ้าในสภาวะขนาดแรงดันไฟฟ้าระหว่างเฟสเท่ากันและมุมห่างกัน 120 องศาทางไฟฟ้า

ในกรณีที่เกิดความไม่สมดุลของแรงดันไฟฟ้า ค่าแรงดันไฟฟ้าระหว่างเฟสทั้งสามอาจจะไม่เท่ากันเฉพาะขนาด หรือมุมต่างเฟสห่างกันไม่เท่ากับ 120 องศาทางไฟฟ้า หรือมีค่าไม่เท่ากันทั้งขนาดและมุมต่างเฟส ซึ่งมีผลทำให้ค่าแรงดันไฟฟ้าของเฟสกับจุดกลาง (Phase to Neutral) เกิดความไม่สมดุลกันดังรูปที่ 2 จากรูปจะเห็นว่าจุดที่เป็นกลางย้ายจากตำแหน่งเดิมคือ n ไปอยู่ที่ตำแหน่งใหม่คือ n_2



รูปที่ 2 เฟสเซอร์ของแรงดันไฟฟ้าในสภาวะไม่สมดุล

จากนิยามความไม่สมดุลของแรงดันไฟฟ้า (Definition of Voltage Unbalance) ซึ่งมีวิธีการคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ความไม่สมดุลของแรงดันไฟฟ้าหลากหลายวิธี [3-7] แต่วิธีการคำนวณอย่างง่าย โดยใช้เฉพาะขนาดของแรงดันไฟฟ้ามาพิจารณาที่นิยมนำมาใช้ อ้างอิงได้ถูกกำหนดโดย NEMA และ IEEE โดยมีรายละเอียดดังนี้

1. อัตราส่วนความไม่สมดุลของแรงดันไลน์ (Line Voltage Unbalance Ratio; LVUR) ตามมาตรฐานของ NEMA [3] มีนิยามดังนี้

$$\%LVUR = \frac{\text{Maximum line voltage deviation from average line}}{\text{Average line voltage magnitude}} \times 100 \quad (1)$$

$$= \frac{V_{Lmax,dev}}{V_{Lavg}} \quad (2)$$

เมื่อ

$$V_{Lmax,dev} = \text{Max} [|V_{ab} - V_{Lavg}|, |V_{bc} - V_{Lavg}|, |V_{ca} - V_{Lavg}|] \quad (3)$$

โดยค่าแรงดันไลน์เฉลี่ย (V_{Lavg}) หาได้จาก

$$V_{Lavg} = \frac{V_{ab} + V_{bc} + V_{ca}}{3} \quad (4)$$

เมื่อ V_{ab} , V_{bc} และ V_{ca} คือค่าแรงดันไฟฟ้าระหว่างเฟส a กับ b , b กับ c และ c กับ a ตามลำดับ

2. อัตราส่วนความไม่สมดุลของแรงดันเฟส (Phase Voltage Unbalance Ratio; PVUR) ตามมาตรฐานของ IEEE [4] มีนิยามดังนี้

$$\%PVUR = \frac{\text{Maximum phase voltage deviation from average phase}}{\text{Average phase voltage magnitude}} \times 100 \quad (5)$$

$$= \frac{V_{Pmax,dev}}{V_{Pavg}} \quad (6)$$

เมื่อ

$$V_{Pmax,dev} = \text{Max}[|V_a - V_{Pavg}|, |V_b - V_{Pavg}|, |V_c - V_{Pavg}|] \quad (7)$$

โดยค่าแรงดันเฟสเฉลี่ย (V_{Pavg}) หาได้จาก

$$V_{Pavg} = \frac{V_a + V_b + V_c}{3} \quad (8)$$

เมื่อ V_a , V_b และ V_c คือค่าแรงดันไฟฟ้าเฟส a , b และ c ตามลำดับ

จะสังเกตเห็นว่าในการหาอัตราส่วนความไม่สมดุลของแรงดันไฟฟ้านั้น การคำนวณแบบ LVUR ใช้ขนาดของแรงดันไลน์ ส่วน PVUR ใช้ขนาดของแรงดันเฟส ดังนั้นวิธีการคำนวณตามมาตรฐาน NEMA และ IEEE นี้สามารถนำมาใช้อธิบายเพื่อแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างระหว่างแรงดันไฟฟ้าเกินหรือต่ำกว่าระดับแรงดันไฟฟ้าปกติ และแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุล ได้อย่างชัดเจน

สำหรับประเทศไทย ค่าแรงดันไฟฟ้าแต่ละเฟสในสภาวะปกติคือ 220 V ดังนั้นถ้าแรงดันไฟฟ้าแต่ละเฟสมีค่าแตกต่างไปจากค่าแรงดันไฟฟ้าปกติ 220 V ย่อมมีผลต่อการทำงานของมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสอย่างแน่นอน ก่อนที่จะศึกษาถึงผลของแรงดันไฟฟ้าที่ผิดปกติต่อการทำงานของมอเตอร์จำเป็นต้องจำแนกความแตกต่างระหว่างแรงดันไฟฟ้าเกินหรือต่ำกว่าระดับแรงดันไฟฟ้าปกติ และแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุลให้ชัดเจนก่อน

สภาวะแรงดันไฟฟ้าสูงกว่าระดับแรงดันไฟฟ้าปกติ (over voltage) คือสภาวะที่แรงดันไฟฟ้าทั้งสามเฟสมีค่าสูงกว่าค่าแรงดันไฟฟ้าปกติ โดยที่แรงดันไฟฟ้าทุกเฟสยังคงมีค่าเท่ากัน สภาวะแรงดันไฟฟ้าต่ำกว่าระดับแรงดันไฟฟ้าปกติ คือสภาวะที่แรงดันไฟฟ้าทั้งสามเฟสมีค่าน้อยกว่าค่าแรงดันไฟฟ้าปกติ (under voltage) โดยที่แรงดันไฟฟ้าทุกเฟสยังคงมีค่าเท่ากัน สำหรับสภาวะแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุล (unbalance voltage) คือสภาวะที่แรงดันไฟฟ้าบางเฟส หรือทั้งสามเฟสมีค่าไม่เท่ากับค่าแรงดันไฟฟ้าปกติ ถ้าพิจารณาเฉพาะขนาดของแรงดันไฟฟ้าสามารถแบ่งเป็น 6 ลักษณะ [8] คือ แรงดันไฟฟ้าไม่สมดุลแบบต่ำกว่าปกติ (under voltage unbalance) แบบ 1 เฟส 2 เฟส และ 3 เฟส กับแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุลแบบสูงกว่า (over voltage unbalance) แบบ 1 เฟส 2 เฟส และ 3 เฟส

เพื่อให้ง่ายต่อการทำความเข้าใจจึงกำหนดความผิดปกติของแรงดันไฟฟ้า 5 กรณีศึกษาดังต่อไปนี้

กรณีที่ 1 แรงดันไฟฟ้าสูงกว่าระดับแรงดันไฟฟ้าปกติ (over voltage) กำหนดให้ $V_{an} = 240$ V, $V_{bn} = 240$ V และ $V_{cn} = 240$ V

กรณีที่ 2 แรงดันไฟฟ้าต่ำกว่าระดับแรงดันไฟฟ้าปกติ เช่น ถ้าแรงดันไฟฟ้า $V_{an} = 198$ V, $V_{bn} = 198$ V และ $V_{cn} = 198$ V

กรณีที่ 3 แรงดันไฟฟ้าไม่สมดุล 1 เฟสแบบค่าแรงดันไฟฟ้าต่ำกว่าปกติ (single-phase under unbalance voltage) เช่น ถ้าค่าแรงดันไฟฟ้า $V_{an} = 220$ V, $V_{bn} = 220$ V และ $V_{cn} = 213$ V

กรณีที่ 4 แรงดันไฟฟ้าไม่สมดุล 2 เฟสแบบค่าแรงดันไฟฟ้าสูงกว่าปกติ (two-phase over unbalance voltage) เช่น ถ้าขนาดของแรงดันไฟฟ้า $V_{an} = 220$ V, $V_{bn} = 223$ V และ $V_{cn} = 239$ V

กรณีที่ 5 แรงดันไฟฟ้าไม่สมดุล 3 เฟส (three-phase unbalance voltage) เช่น ถ้ากำหนดให้ $V_{an} = 207$ V, $V_{bn} = 218$ V และ $V_{cn} = 229$ V

เมื่อนำค่าแรงดันไฟฟ้าทั้ง 5 กรณีมาคำนวณตามมาตรฐาน IEEE ดังสมการที่ 5-8 ได้ค่า %PVUR เป็นดังนี้

สำหรับกรณีที่ 1 แรงดันไฟฟ้า $V_{an} = 240$ V , $V_{bn} = 240$ V และ $V_{cn} = 240$ V เมื่อนำมาคำนวณหาค่าเฉลี่ย (V_{avg}) ได้ค่าเฉลี่ย

$$V_{avg} = \frac{V_{an} + V_{bn} + V_{cn}}{3} = 240 \text{ V}$$

$$V_{\max, dev} = \text{Max} [|V_{an} - V_{avg}|, |V_{bn} - V_{avg}|, |V_{cn} - V_{avg}|] = 0 \text{ V}$$

ได้ค่า

$$\%PVUR = \frac{0}{240} \times 100\% = 0 \%$$

สำหรับกรณีที่ 2 แรงดันไฟฟ้า $V_{an} = 198$ V , $V_{bn} = 198$ V และ $V_{cn} = 198$ V หาค่าเฉลี่ย $V_{avg} = \frac{V_{an} + V_{bn} + V_{cn}}{3} = 198$ V และ

$$V_{\max, dev} = \text{Max} [|V_{an} - V_{avg}|, |V_{bn} - V_{avg}|, |V_{cn} - V_{avg}|] = 0 \text{ V}$$

ดังนั้น

$$\%PVUR = \frac{0}{198} \times 100\% = 0 \%$$

จากกรณีที่ 1 ซึ่งค่าแรงดันไฟฟ้าทั้งสามเฟสมีค่าสูงกว่าปกติ และกรณีที่ 2 ที่ค่าแรงดันไฟฟ้าทั้งสามเฟสมีค่าต่ำกว่าปกติ แต่เนื่องจากแรงดันไฟฟ้าทั้งสามเฟสมีค่าเท่ากัน เมื่อคำนวณด้วยนิยามความไม่สมดุลของแรงดันไฟฟ้าตามมาตรฐาน IEEE มีค่าเท่ากับ 0% ดังนั้นทั้งกรณีที่ 1 และกรณีที่ 2 จึงถือได้ว่าแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าสามเฟสเป็นแรงดันไฟฟ้าสมดุล

สำหรับกรณีที่ 3 ค่าแรงดันไฟฟ้า $V_{an} = 220$ V , $V_{bn} = 220$ V และ $V_{cn} = 213$ V จากขนาดแรงดันไฟฟ้าทั้งสามเฟสสามารถหาค่าเฉลี่ยได้ดังนี้คือ

$$V_{avg} = \frac{V_{an} + V_{bn} + V_{cn}}{3} = 217.67 \text{ V}$$

และ

$$V_{\max, dev} = \text{Max} [|V_{an} - V_{avg}|, |V_{bn} - V_{avg}|, |V_{cn} - V_{avg}|] = 4.67 \text{ V}$$

จากสมการที่ 5 ค่าร้อยละของแรงดันเฟสที่ไม่สมดุลมีค่าเท่ากับ

$$\%PVUR = \frac{4.67}{217.67} \times 100\% = 2.14 \approx 2 \%$$

จากตัวอย่างจะสังเกตเห็นได้อย่างชัดเจนว่าขนาดแรงดันไฟฟ้ากรณีที่ 3 นี้ จะเห็นว่าเป็นสภาวะแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุล 1 เฟสแบบแรงดันไฟฟ้าต่ำกว่าปกติ

สำหรับกรณีที่ 4 แรงดันไฟฟ้า $V_{an} = 220$ V , $V_{bn} = 223$ V และ $V_{cn} = 239$ V หาค่าแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยได้ค่า

$$V_{avg} = \frac{V_{an} + V_{bn} + V_{cn}}{3} = 227.33 \text{ V}$$

ดังนั้น

$$V_{\max, dev} = \text{Max} [|V_{an} - V_{avg}|, |V_{bn} - V_{avg}|, |V_{cn} - V_{avg}|] = 11.67 \text{ V}$$

ค่าร้อยละของแรงดันเฟสที่ไม่สมดุลมีค่าเท่ากับ

$$\%PVUR = \frac{11.67}{227.33} \times 100\% = 5.13 \approx 5 \%$$

สำหรับกรณีที่ 5 แรงดันไฟฟ้า $V_{an} = 207$ V , $V_{bn} = 218$ V และ $V_{cn} = 229$ V ค่าแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยมีค่าดังนี้คือ

$$V_{avg} = \frac{V_{an} + V_{bn} + V_{cn}}{3} = 218 \text{ V}$$

โดยที่

$$V_{\max, dev} = \text{Max} [|V_{an} - V_{avg}|, |V_{bn} - V_{avg}|, |V_{cn} - V_{avg}|] = 11 \text{ V}$$

ดังนั้นค่าความไม่สมดุลของแรงดันเฟสมีค่าเท่ากับ

$$\%PVUR = \frac{11}{218} \times 100\% = 5.04 \approx 5\%$$

จากกรณีศึกษาทั้ง 5 กรณี จะเห็นว่า กรณีที่ 1 เป็นการเกิดแรงดันไฟฟ้าสมดุลแบบเกิน และต่ำกว่าปกติ ตามลำดับ ส่วนกรณีที่ 3-5 เป็นตัวอย่างของการเกิดแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุลในรูปแบบที่แตกต่างกัน

3. ผลกระทบของแรงดันไฟฟ้าต่อสมรรถนะมอเตอร์เหนี่ยวนำ

3.1 ผลกระทบของแรงดันไฟฟ้าต่ำกว่าระดับแรงไฟฟ้าปกติ

การที่แรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้กับมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสมีระดับแรงดันไฟฟ้าต่ำกว่าระดับแรงไฟฟ้าปกตินั้น ทำให้มอเตอร์เหนี่ยวนำสามารถขับภาระทางกลได้ต่ำกว่าปกติ และหากยังใช้งานมอเตอร์ที่พิกัดกำลังจะทำให้มอเตอร์ได้รับความเสียหายได้ เนื่องจากเมื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้าต่ำกว่าระดับแรงไฟฟ้าปกติให้กับมอเตอร์ ค่าความหนาแน่นเส้นแม่เหล็กภายในมอเตอร์จะมีค่าลดลง มีผลทำให้แรงบิดมีค่าลดลงไปด้วย หากมอเตอร์ขับภาระทางกลเท่าเดิม ความเร็วของมอเตอร์จะลดลง ดังนั้นสลลิ่งจึงมีค่าเพิ่มขึ้น มีผลทำให้กระแสไฟฟ้าที่ป้อนให้มอเตอร์มีค่าเพิ่มขึ้นจากกรณีระดับแรงดันไฟฟ้าปกติ เพื่อนำไปใช้สร้างแรงบิดให้มีค่าเพิ่มขึ้น [9-10] เนื่องจากภาระทางกลเท่าเดิม แต่กระแสไหลเข้ามอเตอร์มีค่ามากขึ้น จึงส่งผลทำให้ค่าความสูญเสียที่ขดลวดทั้งทางด้านสเตเตอร์และโรเตอร์เพิ่มขึ้น (Copper losses; I^2R) ผลดังกล่าวทำให้อุณหภูมิของขดลวดสูงขึ้น ดังนั้นความเป็นฉนวนของขดลวดจึงลดลง เมื่อฉนวนของขดลวดเสื่อมลงย่อมเป็นผลให้อายุการใช้งานสั้นลงในที่สุด [11] ดังนั้นมอเตอร์ควรจะถูกใช้ขับภาระทางกลที่มีค่าลดลงจากพิกัดที่แผ่นป้าย เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดกระแสไฟฟ้าที่ไหลเข้าขดลวดสเตเตอร์ของมอเตอร์มีค่าเกินพิกัด อย่างไรก็ตามถ้ามอเตอร์มีภาระทางกลน้อย โดยที่กระแสไฟฟ้ายังคงมีค่าน้อยกว่ากระแสพิกัดของมอเตอร์ ก็จะไม่เกิดปรากฏการณ์ดังกล่าว ดังนั้นก็จะไม่ทำให้เกิดความร้อนหรืออุณหภูมิที่ขดลวดมอเตอร์มีค่าสูงกว่าพิกัดฉนวนมอเตอร์

3.2 ผลกระทบของแรงดันไฟฟ้าสูงกว่าระดับแรงไฟฟ้าปกติ

กรณีมอเตอร์ทำงานที่แรงดันไฟฟ้าสูงกว่าระดับแรงไฟฟ้าปกติ เมื่อมอเตอร์มีการใช้งานที่แรงดันไฟฟ้าสูงกว่าระดับแรงไฟฟ้าปกติ จะส่งผลต่อสนามแม่เหล็กไฟฟ้าของแกนเหล็ก ทำให้แกนเหล็กเกิดการอิ่มตัว เป็นผลให้ค่าความซึมซาบแม่เหล็กของแกนเหล็กลดลง ดังนั้นจำนวนเส้นแรงแม่เหล็กที่ใช้สำหรับสร้างแรงบิดจึงมีค่าลดลงตามไปด้วย ในขณะที่แรงดันไฟฟ้าสูงกว่าปกติกลับเป็นผลทำให้กระแสไฟฟ้ากระตุ้นมีค่าสูงขึ้น กระแสไฟฟ้ากระตุ้นนี้จะถูกนำมาใช้สร้างพลังงานซึ่งมักจะอยู่ในรูปของความสูญเสียที่แกนเหล็กทำให้ความร้อนในมอเตอร์เพิ่มขึ้น ถ้าต้องการให้มอเตอร์ขับภาระทางกลได้เท่าเดิม ผลจากการที่สนามแม่เหล็กลดลง จะทำให้กระแสไฟฟ้าในขดลวดของสเตเตอร์มีค่าเพิ่มมากขึ้น ผลดังกล่าวจะทำให้อุณหภูมิของขดลวดและแกนเหล็กสูงขึ้น

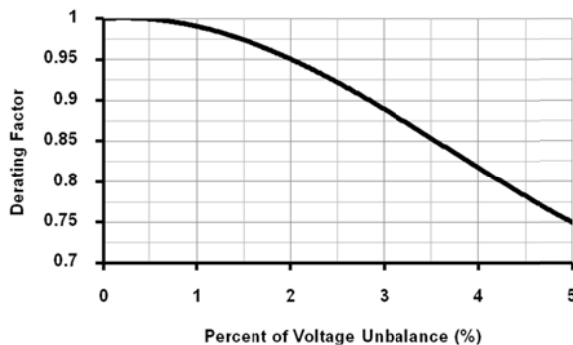
การใช้งานมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสในสภาวะที่แรงดันไฟฟ้าสูงกว่าระดับแรงไฟฟ้าปกตินั้น มอเตอร์จะเกิดความเสียหายมากกว่ากรณีมอเตอร์ทำงานที่ขนาดแรงดันไฟฟ้าต่ำกว่าระดับแรงดันไฟฟ้าปกติ

3.3 ผลกระทบของแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุล [12-15]

กรณีเมื่อเกิดแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้มอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำสามเฟสมีความไม่สมดุลนั้น นอกจากจะส่งผลทำให้ค่ากระแสไฟฟ้าของมอเตอร์ในขดลวดสเตเตอร์และโรเตอร์แต่ละเฟสมีค่าแตกต่างกันแล้ว ยังส่งผลทำให้เปอร์เซ็นต์ความไม่สมดุลของกระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้นอาจมีค่าสูงถึง 2 เท่า เมื่อเทียบกับเปอร์เซ็นต์ความไม่สมดุลของแรงดันไฟฟ้า เนื่องมาจากผลของการสูญเสียกำลังไฟฟ้าจาก I^2R ในขดลวด ซึ่งทำให้เกิดความร้อนของฉนวนขึ้น และส่งผลทำให้มีผลต่ออายุการใช้งานของมอเตอร์โดยตรง ยิ่งไปกว่านั้นการเกิดแรงดันไม่สมดุลจะทำให้แรงบิดของมอเตอร์ลดลง รวมทั้งความเร็วขณะมีโหลดเต็มพิกัดของมอเตอร์ก็จะมีค่าลดลงด้วย

ดังนั้นถ้านำมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสไปใช้ในระบบแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าที่แรงดันไฟฟ้าไม่สมดุล จำเป็นที่จะต้องพิจารณาถึงความสามารถและประสิทธิภาพของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำควบคู่ไปด้วย ตามมาตรฐาน NEMA และ ANSI ได้กำหนดค่าแฟกเตอร์การลดกำลังของมอเตอร์เหนี่ยวนำที่เรียกว่า “Derating of the

Induction Motor” เพื่อใช้ในการลดขนาดฟลักซ์ของมอเตอร์เหนี่ยวนำลง เมื่อถูกนำไปใช้งานในระบบไฟฟ้าที่มีแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุล ดังรูปที่ 1 [16] – [17]



รูปที่ 1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเปอร์เซ็นต์แรงดันไฟฟ้าไม่สมดุลกับแฟกเตอร์การลดกำลังของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ

[3] แนะนำว่าค่าความไม่สมดุลของแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟสควรมีค่าไม่เกิน 5% ไม่ว่าจะใช้งานมอเตอร์นานแค่ไหนก็ตาม ขนาดของความไม่สมดุลของแรงดันไฟฟ้ามีผลทำให้มอเตอร์ร้อนเร็วขึ้น และถ้าความไม่สมดุลเกิน 5% อุณหภูมิจะเริ่มเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็วซึ่งทำให้การป้องกันความเสียหายที่จะเกิดขึ้นกับส่วนประกอบต่าง ๆ ของมอเตอร์ทำได้ยาก การป้องกันที่ง่ายที่สุดคือ การลดกำลังฟลักซ์เอาท์พุทมอเตอร์เพื่อให้มอเตอร์สามารถทนความร้อนที่เพิ่มขึ้นเมื่อต้องเผชิญกับแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุล ดังรายละเอียดในรูปที่ 1 จากรูปเป็นความสัมพันธ์ระหว่างกำลังฟลักซ์เอาท์พุทมอเตอร์ที่ลดลงกับเปอร์เซ็นต์ความไม่สมดุลของแรงดันไฟฟ้า ซึ่งเป็นประโยชน์ในการคำนวณหาค่าฟลักซ์กำลังเอาท์พุทมอเตอร์ที่เหมาะสมกับการใช้งานภายใต้สภาวะความไม่สมดุลของแรงดันไฟฟ้าที่ค่าต่าง ๆ ซึ่งมีความจำเป็นเป็นอย่างมากเนื่องจากต้องพยายามรักษาการเพิ่มของอุณหภูมิให้ไม่เกินความสามารถที่มอเตอร์ทนได้ และเป็นไปตามขอบเขตการใช้งานของเครื่องจักร เช่น ถ้าความไม่สมดุลของแรงดันไฟฟ้ามีค่าเท่ากับ 5% มอเตอร์ไม่ควรใช้งานเกิน 77% ของฟลักซ์กำลังเอาท์พุท เป็นต้น

4. สรุป

จากนิยามของมอเตอร์ที่นำเสนอซึ่งแบ่งออกเป็น 2 สภาวะคือ สภาวะที่แรงดันไฟฟ้าเกิน หรือต่ำกว่าปกติ โดยแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าทั้งสามเฟสมีระดับแรงดันไฟฟ้าเท่ากัน กับสภาวะที่แรงดันไฟฟ้าไม่สมดุล โดยแรงดันไฟฟ้าบางเฟส หรือทั้งสามเฟสมีค่าไม่เท่ากับค่าระดับแรงดันไฟฟ้าปกติ แต่แรงดันไฟฟ้าทั้งสามเฟสต้องมีความแตกต่างกัน เมื่อพิจารณาผลของความผิดปกติของแรงดันไฟฟ้าที่มีต่อสมรรถนะของมอเตอร์พบว่า ในสภาวะที่ค่าแรงดันไฟฟ้าสูงกว่าค่าปกติมีผลทำให้เกิดความสูญเสียในมอเตอร์มากกว่าสภาวะที่ค่าแรงดันไฟฟ้าต่ำกว่าค่าปกติ และในกรณีที่มอเตอร์ได้รับแรงดันไฟฟ้าไม่สมดุล ต้องลดฟลักซ์กำลังของมอเตอร์ลงเพื่อป้องกันความเสียหายของมอเตอร์ โดยถ้าเปอร์เซ็นต์ความไม่สมดุลของแรงดันไฟฟ้าเพิ่มมากขึ้น ก็ต้องลดฟลักซ์กำลังของมอเตอร์ให้ลดลงมากเท่านั้น

เอกสารอ้างอิง

- [1] Annette von Jouanne and Basudeb (Ben) Banerjee “Assessment of Voltage Unbalance” *IEEE Trans. Power Delivery*, vol. 16, no. 4, pp. 782–790, Oct. 2001.
- [2] M.K. Pal “Voltage stability considering load characteristics” *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 1, no. 3, pp. 3064–3073, 1992.
- [3] National Electrical Manufacturers Association “Motors and Generators” NEMA MG1-2003. Part 20, sec. III
- [4] “IEEE Standard Test Procedure for Polyphase Induction Motors and Generators” IEEE 112-2004.
- [5] Y. J. Wang, “Analysis of effects of three-phase voltage unbalance on induction motors with emphasis on the angle of the complex voltage unbalance factor,” *IEEE Trans. Energy Convers.*, vol. 16, no. 3, pp. 270–275, Sep. 2001.
- [6] Makbul Anwari and Ayong Hiendro “New Unbalance Factor for Estimating Performance of a Three-Phase Induction Motor With Under- and Overvoltage Unbalance” *IEEE Trans. Energy Convers.*, vol. 25, no. 3, pp. 619–625, Sep. 2010.
- [7] P. Pillay, M. Manyage “Definitions of Voltage Unbalance” *IEEE Power Engineering Review*, pp. 50–51, May 2001.
- [8] Ching-Yin Lee, Bin-Kwie Chen, Wei-Jen Lee, and Yen-Feng Hsu “Effects of various unbalanced voltages on the operation performance of an induction motor under the same voltage unbalance factor condition” *Electric Power Systems Research*, ELSEVIER, vol. 47, pp. 153–163, 1998.
- [9] P. Pillay P. Hofmann, and M. Manyage “Derating of Induction Motors Operating with a Combination of Unbalanced Voltages and Over or Undervoltages” *IEEE Trans. Energy Convers.*, vol. 17, no. 4, pp. 485–491, Dec. 2002.

- [10] J. Faiz, H.Ebrahimpour, and P. Pillay "Influence of unbalanced voltage on the steady-state performance of a three-phase squirrel cage induction motor" *IEEE Trans. Energy Convers.*, vol. 19, no. 4, pp. 657–662, Dec. 2004.
- [11] Piotr Gnacinski "Winding Temperature and Loss of Life of an Induction Machines Under Voltage Unbalance Combined with Over-or Under Voltage" *IEEE Trans. Energy Convers.*, vol. 23, no. 2, pp. 363–371, Sep. 2008.
- [12] C. Y. Lee, "Effects of unbalanced voltages on the operation performance of a three-phase induction motor," *IEEE Trans. Energy Convers.*, vol. 14, no. 2, pp. 202–208, Jun. 1999.
- [13] J.Faiz and H.Ebrahimpour, "Precise derating of three-phase induction motors with unbalanced voltages," *IEEE Trans. Ind. Appl.*, vol. 6, no. 5, pp. 485–491, Oct. 2005.
- [14] K.V. Vamsi Krishna, Lecon System, "Effects of unbalance voltage on induction motor current and its operation performance" White paper, pp. 1-8, 2010.
- [15] P. Giridhar Kini, R. C. Bansal, R.S. Aithal, "A Novel Approach Toward Interpretation and Application of Voltage Unbalance Factor", *IEEE Trans. Indus. Elec.*, vol. 54, no. 4, pp. 2315–2322, Aug. 2007.
- [16] Pragasen Pillay, Peter Hofmann, and Marubini Manyage, "Derating of Induction Motors Operating With a Combination of Unbalanced Voltages and Over or Undervoltages" *IEEE Trans. Energy Convers.*, vol. 17, no. 4, pp. 485–491, Dec. 2002.
- [17] P. Gnacinski, "Derating of an induction machine under voltage unbalance combined with over or undervoltage," *Energy Convers. Manage.*, vol. 50, pp. 1101–1107, 2009.