

กรณีศึกษา - CASE STUDY

แรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะจากการสตาร์ทมอเตอร์แรงต่ำขนาดใหญ่

VOLTAGE DIP CAUSED BY STARTING LARGE-SIZED LOW VOLTAGE MOTOR

ABSTRACT

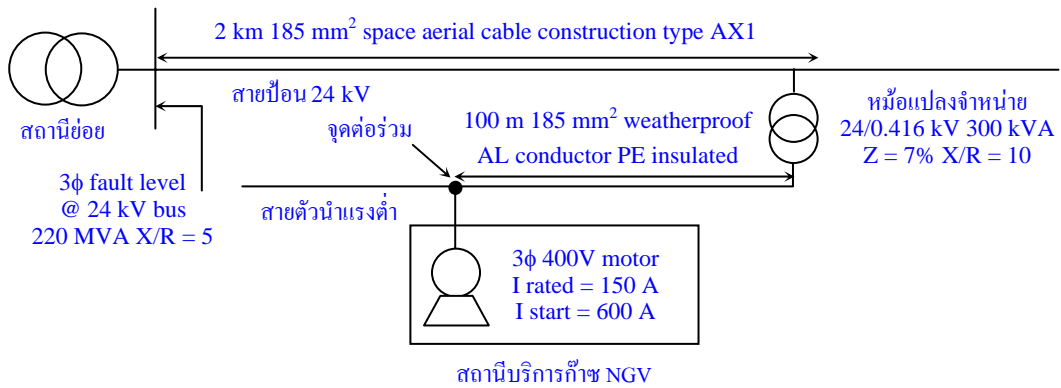
A NATURAL GAS FOR VEHICLE (NGV) SUPPLY STATION INSTALLED A LARGE LOW VOLTAGE MOTOR TO PUMP AND COMPRESS NATURAL GAS TO ITS STORAGE TANK. WHEN THE MOTOR STARTED, IT DREW STARTING CURRENT WITH REMARKABLE HIGHER MAGNITUDE COMPARING TO NORMAL LOAD CURRENT. THIS CURRENT FLEW THROUGH SYSTEM IMPEDANCE (E.G. DISTRIBUTION TRANSFORMER AND LOW VOLTAGE CONDUCTOR IMPEDANCE) WHICH INITIATED A VOLTAGE DIP EVENT AFFECTING NEARBY SENSITIVE EQUIPMENT (E.G. RESETTING COMPUTERS) IN THE SAME DISTRIBUTION TRANSFORMER. AFTER CONDUCTING THE STUDY, THE SOLUTION WAS TO CONTROL TWO FACTORS THAT AFFECTING THE MAGNITUDE OF VOLTAGE DIP; MOTOR STARTING CURRENT AND SYSTEM IMPEDANCE. THESE COULD BE DONE BY INSTALLING MOTOR SOFTSTARTER TO REDUCE MOTOR STARTING CURRENT OR USING LOW IMPEDANCE DISTRIBUTION TRANSFORMER TO REDUCE SYSTEM IMPEDANCE. AFTER ACTIONS WERE TAKEN, THE MAGNITUDE OF VOLTAGE DIP WOULD BE CONTROLABLE IN AN ACCEPTABLE LEVEL COMPLYING WITH THE INTERNATIONAL STANDARD.

บทคัดย่อ

สถานีบริการก๊าซ NGV มีการติดตั้งใช้งานมอเตอร์ไฟฟ้าแรงต่ำขนาดใหญ่เพื่อทำหน้าที่สูบน้ำอัดก๊าซธรรมชาติไปเก็บในถังบรรจุก๊าซ ในขณะที่มอเตอร์เหล่านี้สตาร์ทจะดึงกระแสสตาร์ทที่เป็นปริมาณสูงกว่ากระแสโหลดปกติหลายเท่าตัว กระแสเหล่านี้เมื่อไหลผ่านอิมพีแดนซ์ระบบเช่น อิมพีแดนซ์ของหม้อแปลงและสายตัวนำแรงต่ำ ทำให้เกิดเหตุการณ์แรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะส่งผลกระทบต่ออุปกรณ์ไฟฟ้าที่ต้องรับไฟจากหม้อแปลงจำหน่ายลูกเดียวกันเช่น ทำให้คอมพิวเตอร์หยุดทำงาน แนวทางการแก้ปัญหาจึงต้องควบคุมปัจจัยที่ส่งผลต่อขนาดของแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะอันได้แก่ ปริมาณกระแสสตาร์ทของมอเตอร์ และขนาดของอิมพีแดนซ์ระบบ เช่น ลดปริมาณกระแสสตาร์ทโดยติดตั้งอุปกรณ์ Softstarter ให้กับมอเตอร์ หรือลดขนาดอิมพีแดนซ์ระบบโดยเปลี่ยนไปให้หม้อแปลงจำหน่ายที่มีอิมพีแดนซ์ต่ำ เพื่อควบคุมขนาดของเหตุการณ์แรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะที่เกิดจากการสตาร์ทมอเตอร์ให้อยู่ในระดับที่ยอมรับได้ตามมาตรฐานสากล

1. ข้อมูลเบื้องต้น

สถานีบริการก๊าซ NGV แห่งหนึ่งต่อเชื่อมกับระบบของการไฟฟ้านครหลวงในระบบไฟฟ้าแรงต่ำ 400 V โดยรับไฟจากหม้อแปลงจำหน่ายขนาด 300 kVA ของการไฟฟ้านครหลวงผ่านสายตัวนำอลูมิเนียมแรงต่ำขนาด 185 mm² ร่วมกับผู้ใช้ไฟฟ้ารายอื่นๆ จุดต่อร่วมของสถานีบริการอยู่ห่างจากหม้อแปลง 100 m มอเตอร์ที่ติดตั้งในสถานีบริการมีพิกัดกระแส 150 A และสตาร์ทมอเตอร์ผ่าน Softstarter โดยมีขนาดกระแสสตาร์ทสูงสุด 600 A รายละเอียดอื่นๆของระบบจ่ายไฟฟ้าพิจารณาได้จากรายละเอียดในรูปที่ 1



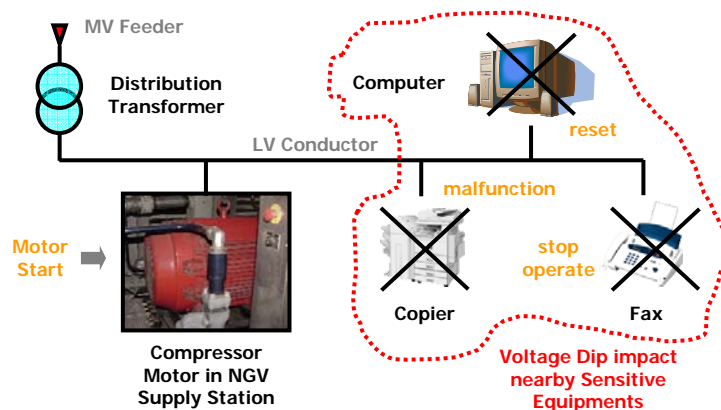
185 mm² space aerial cable construction type AX1 มีค่า Parameter ดังนี้
 $R = 0.200 \text{ ohm/km}$; $X = 0.295 \text{ ohm/km}$
 185 mm² weatherproof AL conductor PE insulated มีค่า Parameter ดังนี้
 $R = 0.197 \text{ ohm/km}$; $X = 0.244 \text{ ohm/km}$

รูปที่ 1 ระบบจ่ายไฟให้กับสถานีบริการก๊าซ NGV

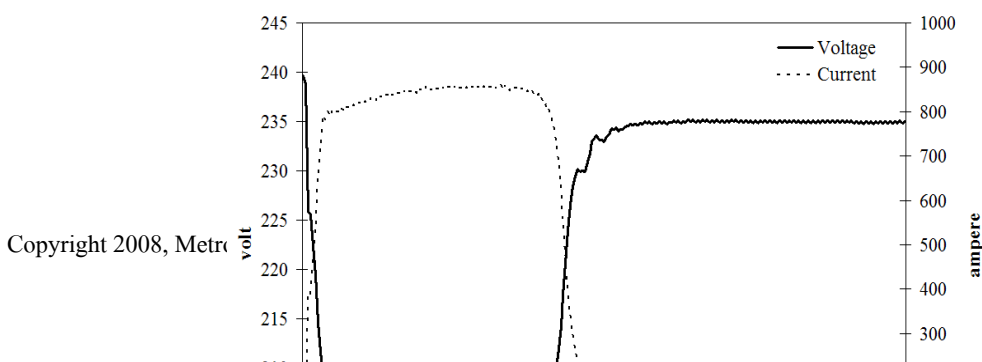
ความถี่ในการสตาร์ทมอเตอร์ขึ้นอยู่กับปริมาณพาหนะที่เข้ามาเติมก๊าซ NGV แต่โดยเฉลี่ยแล้วมอเตอร์ต้องสตาร์ทประมาณชั่วโมงละครั้ง ในกรณีที่เกิดเหตุการณ์ไฟฟ้าดับมอเตอร์จะไม่มีสตาร์ทเองโดยอัตโนมัติ

2. ปัญหาและผลกระทบ

ทุกครั้งที่มอเตอร์ในสถานีบริการฯ สตาร์ท จะก่อให้เกิดเหตุการณ์แรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะกระทบกับอุปกรณ์ไฟฟ้าข้างเคียงที่อ่อนไหวต่อการเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้า และรับไฟจากหม้อแปลงจำหน่ายลูกเดียวกัน เช่น ทำให้คอมพิวเตอร์เกิดการรีเซ็ต เครื่องถ่ายเอกสารทำงานผิดพลาด หรือเครื่องโทรสารหยุดทำงาน เป็นต้น (พิจารณารูปที่ 2) ตัวอย่างกระแสและแรงดันไฟฟ้าของมอเตอร์ในขณะที่สตาร์ท ณ จุดต่อร่วมซึ่งตรวจวัดเครื่องบันทึกคุณภาพไฟฟ้าแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 2 ผลกระทบจากการสตาร์ทมอเตอร์ที่มีต่ออุปกรณ์ไฟฟ้าข้างเคียง



รูปที่ 3 กระแสและแรงดันไฟฟ้าที่จุดต่อร่วมในขณะมอเตอร์สตาร์ท

3. มูลค่าความเสียหาย

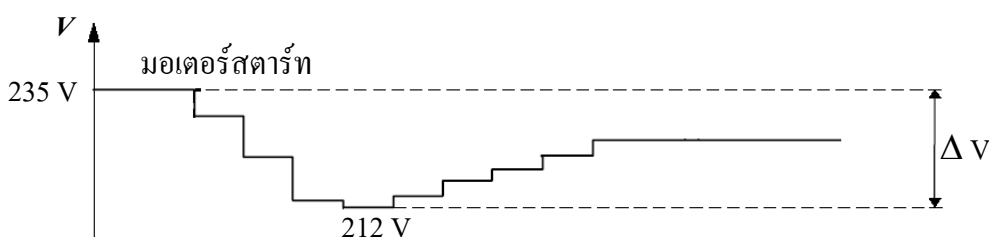
มูลค่าความเสียหายเนื่องจากเหตุการณ์แรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะจากการสตาร์ทมอเตอร์นั้นประเมินได้ค่อนข้างยาก เนื่องจากความเสียหายขึ้นอยู่กับหลายปัจจัยอัน ได้แก่ จำนวนอุปกรณ์ที่ได้รับผลกระทบ ระดับความอ่อนไหวของอุปกรณ์ และความสำคัญของงานที่อุปกรณ์นั้นรับผิดชอบอยู่ เช่น ผลกระทบจากแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะต่อระบบแสงสว่างซึ่งทำให้เกิดไฟกะพริบนั้น ความเสียหายจะมีเพียงเล็กน้อยเท่านั้น แต่หากเกิดผลกระทบกับระบบคอมพิวเตอร์ทำให้เกิดการสูญหายของข้อมูล ผลกระทบก็จะมากขึ้นตามความสำคัญของข้อมูลนั้นๆอันประมาณค่ามิได้เป็นต้น

4. สาเหตุของปัญหา

ในขณะที่ยังมอเตอร์สตาร์ท กระแสสตาร์ทซึ่งมีปริมาณสูงกว่ากระแสโหลดปกติมากเมื่อไหลผ่านอิมพีแดนซ์ของระบบ (เช่น อิมพีแดนซ์ของหม้อแปลงจำหน่าย และอิมพีแดนซ์ของสายตัวนำแรงต่ำ) จะทำให้เกิดแรงดันตกคร่อมเป็นปริมาณมากในอิมพีแดนซ์ระบบ ส่งผลให้แรงดันที่เหลือไปจ่ายโหลดอื่น ๆ มีค่าลดลงต่ำกว่าปกติในขณะที่ยังมอเตอร์สตาร์ท นั่นคือทำให้เกิดเหตุการณ์แรงดันเปลี่ยนแปลง (Voltage Change) หรือแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะ (Voltage Dip)

เพื่อที่จะกำหนดระดับความรุนแรงของเหตุการณ์แรงดันเปลี่ยนแปลง มาตรฐาน IEC Series 61000 จึงได้กำหนดดัชนีแรงดันเปลี่ยนแปลงสัมพัทธ์สูงสุด (d_{max}) ซึ่งมีนิยามคือ อัตราส่วนระหว่าง ค่าความแตกต่างของแรงดัน RMS (Line to Neutral) สูงสุดและต่ำสุด ในขณะที่เกิดแรงดันเปลี่ยนแปลงอันเนื่องจากการสตาร์ทมอเตอร์ กับค่าแรงดันจ่ายไฟปกติในระบบไฟฟ้าแรงต่ำ (Nominal Line to Neutral Voltage) ดังแสดงในสมการที่ (1) และรูปที่ 4

$$d_{max} (\%) = \frac{V_{Max} - V_{Min}}{V_{Nominal}} \times 100 \tag{1}$$



กรณีการสตาร์ทมอเตอร์แรงดันเปลี่ยนแปลงสัมพัทธ์สูงสุด (d_{\max}) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2)

$$d_{\max} (\%) = \frac{I_{\text{Start}} \times Z_{\text{System}}}{V_{\text{NOMINAL}}} \times 100 \quad (2)$$

เมื่อ I_{Start} = ขนาดกระแสสตาร์ทสูงสุดของมอเตอร์ (แอมแปร์)

Z_{System} = ขนาดอิมพีแดนซ์ของระบบที่จุดต่อรวม (โอห์ม)

V_{NOMINAL} = แรงดัน Line to Neutral ที่จ่ายไฟปกติในระบบไฟฟ้าแรงต่ำ (โวลต์)

แรงดันเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นหากมีค่าสูงเกินไปก็ส่งผลกระทบต่อการทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้าที่อยู่ข้างเคียง โดยเฉพาะอุปกรณ์ที่อ่อนไหวต่อการเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้า เช่น เครื่องคอมพิวเตอร์หรืออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ

5. การวิเคราะห์ปัญหา

จาก Parameter ต่างๆในระบบจ่ายไฟของสถานีบริการก๊าซ NGV ดังแสดงในรูปที่ 1 กำหนดหาค่าอิมพีแดนซ์ระบบที่จุดต่อรวมได้ดังนี้

Resistance ที่บัส 24 kV ในสถานีย่อยมีค่า $(24^2 / 220) \times \cos(\tan^{-1} 5) = 0.514$ โอห์ม

ย้ายค่าไปด้าน LV จะได้ $0.514 \times (0.416 / 24)^2 = 0.00015$ โอห์ม

Reactance ที่บัส 24 kV ในสถานีย่อยมีค่า $(24^2 / 220) \times \sin(\tan^{-1} 5) = 2.569$ โอห์ม

ย้ายค่าไปด้าน LV จะได้ $2.569 \times (0.416 / 24)^2 = 0.00077$ โอห์ม

Resistance ในสายป้อน 24 kV มีค่า $2 \times 0.200 = 0.400$ โอห์ม

ย้ายค่าไปด้าน LV จะได้ $0.400 \times (0.416 / 24)^2 = 0.00012$ โอห์ม

Reactance ในสายป้อน 24 kV มีค่า $2 \times 0.295 = 0.590$ โอห์ม

ย้ายค่าไปด้าน LV จะได้ $0.590 \times (0.416 / 24)^2 = 0.00018$ โอห์ม

Resistance ของหม้อแปลงด้าน LV มีค่า $0.07 \times (0.416^2 / 0.3) \times \cos(\tan^{-1} 10) = 0.00402$ โอห์ม

Reactance ของหม้อแปลงด้าน LV มีค่า $0.07 \times (0.416^2 / 0.3) \times \sin(\tan^{-1} 10) = 0.04018$ โอห์ม

Resistance ของสายตัวนำแรงต่ำมีค่า $0.1 \times 0.197 = 0.01970$ โอห์ม

Reactance ของสายตัวนำแรงต่ำมีค่า $0.1 \times 0.244 = 0.02440$ โอห์ม

Resistance รวมที่จุดต่อรวมมีค่า $0.00015 + 0.00012 + 0.00402 + 0.01970 = 0.02399$ โอห์ม

Reactance รวมที่จุดต่อรวมมีค่า $0.00077 + 0.00018 + 0.04018 + 0.02440 = 0.06553$ โอห์ม

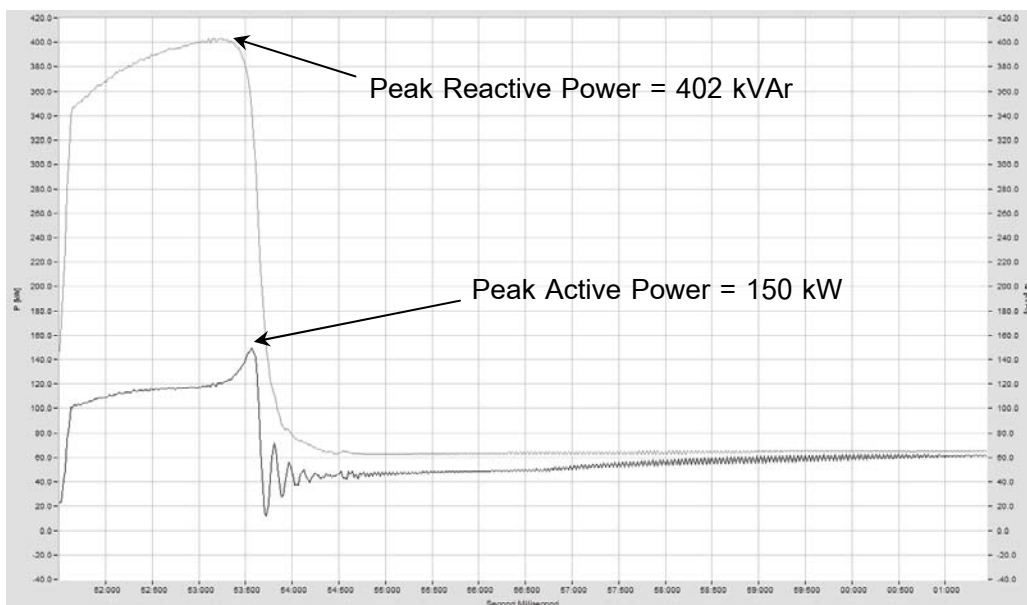
อิมพีแดนซ์รวมที่จุดต่อรวมมีค่า $(0.02399^2 + 0.06553^2)^{1/2} = 0.06978$ โอห์ม

ดังนั้นแรงดันเปลี่ยนแปลงสัมพัทธ์สูงสุดที่จุดต่อรวมจากการสาร์ทมอเตอร์มีค่า

$$d_{\max} = (600 \times 0.06978 / 230) \times 100 = 18.2\%$$

มาตรฐาน IEC Series 61000 กำหนดไว้ว่า “อุปกรณ์ไฟฟ้าประเภทที่สวิตซ์เปิดปิดโดยอัตโนมัติหรือโดยผู้ใช้งานเกินกว่า 2 ครั้งต่อวัน และมีการหน่วงเวลาในการสาร์ทที่ขึ้นมาใหม่หลังเกิดเหตุการณ์ไฟฟ้าดับเป็นเวลาไม่น้อยกว่าหลายสิบวินาที หรือใช้วิธีการสาร์ทที่ขึ้นมาใหม่โดยผู้ใช้งานหลังเกิดเหตุการณ์ไฟฟ้าดับในขณะที่ทำงานต้องไม่ทำให้เกิดแรงดันเปลี่ยนแปลงสัมพัทธ์สูงสุดที่จุดต่อรวมเกินกว่า 6%” ซึ่งจากลักษณะการทำงานของมอเตอร์ในสถานบริการฯ สอดคล้องกับคุณสมบัติของอุปกรณ์ที่ระบุในมาตรฐาน IEC ข้างต้น และจากผลการคำนวณพบว่าแรงดันเปลี่ยนแปลงสัมพัทธ์สูงสุดจากการสาร์ทมอเตอร์ในสถานบริการฯ มีค่าสูงถึง 18.2% ซึ่งเกินกว่าขีดจำกัดที่ 6% ตามมาตรฐานไปมากจึงอาจส่งผลกระทบต่อการทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้าข้างเคียงได้โดยเฉพาะอุปกรณ์ที่มีความอ่อนไหวเป็นพิเศษ

6. แนวทางการแก้ปัญหา



รูปที่ 5 องค์ประกอบ Active และ Reactive ของกระแสสาร์ทมอเตอร์

โดยทั่วไปการแก้ไขปัญหาสามารถทำได้โดยการควบคุมปัจจัยที่ส่งผลต่อการเกิดแรงดันเปลี่ยนแปลงจากการสตาร์ทมอเตอร์ซึ่งได้แก่ การลดขนาดกระแสสตาร์ทสูงสุดของมอเตอร์ และการลดขนาดอิมพีแดนซ์ระบบที่จุดต่อร่วม

การลดขนาดกระแสสตาร์ทสูงสุดของมอเตอร์สามารถทำได้โดยการติดตั้งอุปกรณ์ Softstarter เพื่อทำหน้าที่ลดกระแสสตาร์ทโดยการปรับลดแรงดันที่จ่ายให้กับมอเตอร์ในขณะสตาร์ท อุปกรณ์ Softstarter มีอยู่หลายชนิดเช่น แบบ Star - Delta แบบ Voltage Chopper และแบบ Inverter ซึ่งก็มีข้อดีข้อเสียและเหมาะสมสำหรับมอเตอร์แต่ละประเภทแตกต่างกันไป

นอกจากนั้นจากการวิเคราะห์ห้วงค์ประกอบของกระแสสตาร์ทมอเตอร์พบว่าองค์ประกอบของกระแสส่วนใหญ่เป็นกระแส Reactive ดังแสดงในรูปที่ 5 ดังนั้นการติดตั้ง Static VAR Compensator (SVC) ซึ่งสามารถตอบสนองความต้องการกระแส Reactive และชดเชยให้กับมอเตอร์ได้อย่างรวดเร็วในขณะที่มอเตอร์สตาร์ทนั้น จะสามารถช่วยลดปริมาณกระแสสตาร์ทที่ต้องดึงจากระบบลงได้มากเช่นกัน

สำหรับการลดขนาดอิมพีแดนซ์ระบบที่จุดต่อร่วมอาจทำได้โดยการเลือกใช้หม้อแปลงจำหน่ายที่มีเปอร์เซ็นต์อิมพีแดนซ์ต่ำ หรือการใช้หม้อแปลงที่มีขนาดใหญ่ขึ้น นอกจากนี้การเดินสายตัวนำแรงต่ำแยกต่างหากจากโหลดอื่นๆเพื่อไปจ่ายให้กับมอเตอร์โดยเฉพาะก็สามารถช่วยลดอิมพีแดนซ์ระบบที่จุดต่อร่วมลงได้ วิธีนี้เปรียบเสมือนการย้ายจุดต่อร่วมของมอเตอร์ไปที่ตำแหน่งหม้อแปลงจำหน่าย ดังนั้นอิมพีแดนซ์ระบบที่จุดต่อร่วมจึงไม่รวมอิมพีแดนซ์ของสายตัวนำแรงต่ำ

อย่างไรก็ตามกรณีนี้มอเตอร์ในสถานบริการก๊าซ NGV ได้ติดตั้ง Softstarter อยู่แล้วและหม้อแปลงจำหน่ายที่จ่ายไฟให้มอเตอร์มีปริมาณโหลดไม่มากนัก จึงไม่เหมาะสมในทางเศรษฐศาสตร์สำหรับการไฟฟ้าที่จะต้องเปลี่ยนหม้อแปลงให้มีขนาดใหญ่ขึ้นเพื่อจ่ายโหลดที่มีปริมาณกระแสต่อเนื่องเพียงเล็กน้อย นอกจากนี้ยังไม่สามารถเดินสายไฟฟ้าแรงต่ำแยกเฉพาะสำหรับมอเตอร์ได้ เนื่องจากข้อจำกัดเรื่องการขาดสายบนเสาไฟฟ้า แนวทางการแก้ปัญหาจึงเหลือเพียง 2 แนวทางคือ การติดตั้ง SVC เพื่อช่วยลดกระแส Reactive ในขณะสตาร์ทมอเตอร์ และการย้ายมอเตอร์ไปเชื่อมต่อกับระบบสายป้อน 24 kV โดยตรงโดยติดตั้งหม้อแปลงจำหน่ายแยกต่างหากเพื่อจ่ายไฟให้มอเตอร์โดยเฉพาะ เพื่อหลีกเลี่ยงมิให้การสตาร์ทมอเตอร์สร้างผลกระทบกับอุปกรณ์ไฟฟ้าอื่นๆที่รับไฟจากหม้อแปลงลูกเดียวกัน

7. ค่าใช้จ่ายในการแก้ปัญหา

สำหรับกรณีนี้การแก้ปัญหาโดยใช้ SVC จะต้องใช้ SVC ที่มีขนาดพิกัด 400 kvar ซึ่งมีค่าใช้จ่ายประมาณ 1,200,000 บาท เปรียบเทียบกับการตั้งหม้อแปลงจำหน่ายใหม่แยกต่างหากเพื่อจ่ายไฟให้กับมอเตอร์โดยเฉพาะ หม้อแปลงจำหน่ายขนาด 300 kVA รวมอุปกรณ์ประกอบและค่าติดตั้งมีค่าใช้จ่ายรวมประมาณ 600,000 บาท ซึ่งจะเห็นการตั้งหม้อแปลงใหม่แยกต่างหากมีค่าใช้จ่ายที่ต่ำกว่ามากจึงมีความเหมาะสมสำหรับการแก้ปัญหาในกรณีนี้มากกว่า

8. สรุป

ปัญหาแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะจากการสตาร์ทมอเตอร์แรงต่ำขนาดใหญ่ในสถานบริการก๊าซ NGV มีสาเหตุมาจากกระแสสตาร์ทของมอเตอร์เหล่านี้ที่มีค่าสูงกว่ากระแสโหลดปกติหลายเท่าตัว ซึ่งเมื่อไหลผ่านอิมพีแดนซ์ระบบจะทำให้เกิดแรงดันตกคร่อมอิมพีแดนซ์ระบบสูงกว่าปกติ และส่งผลให้เหลือแรงดันไปจ่ายโหลดอื่นๆที่ต่อรับไฟจากหม้อแปลงจำหน่ายลูกเดียวกันน้อยกว่าปกติในขณะที่มอเตอร์สตาร์ท

ดังนั้นการแก้ไขปัญหาจึงต้องควบคุมมิให้แรงดันเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นมีค่าเกินกว่าขีดจำกัดตามมาตรฐานสากล ซึ่งทำได้โดยการควบคุมปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดแรงดันเปลี่ยนแปลงอันได้แก่ การปรับลดขนาดกระแสสตาร์ทของมอเตอร์โดยติดตั้งอุปกรณ์ Softstarter หรือ SVC และการปรับลดขนาดอิมพีแดนซ์ระบบโดยใช้หม้อแปลงจำหน่ายที่มีเปอร์เซ็นต์อิมพีแดนซ์ต่ำหรือเดินสายตัวนำแรงต่ำไปจ่ายไฟให้กับมอเตอร์โดยเฉพาะ

อย่างไรก็ตามหากใช้วิธีการข้างต้นแล้วยังไม่สามารถควบคุมแรงดันเปลี่ยนแปลงให้มีค่าไม่เกินขีดจำกัดได้ การแก้ปัญหาสุดท้ายทำได้โดยการย้ายมอเตอร์ที่สร้างปัญหาไปเชื่อมต่อกับระบบสายป้อน 24 kV โดยตรง โดยติดตั้งหม้อแปลงจำหน่ายแยกต่างหากเพื่อจ่ายไฟให้มอเตอร์ดังกล่าวโดยเฉพาะ