

## กรณีศึกษา - CASE STUDY

เซอร์กิตเบรกเกอร์ปลดวงจรจากแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะในโรงงานผลิตรถยนต์

## TRIPPED CIRCUIT BREAKER CAUSED BY VOLTAGE DIP IN CAR FACTORY

## ABSTRACT

A CAR MANUFACTURING FACTORY WAS AFFECTED BY VOLTAGE DIP CAUSING MAIN LOW VOLTAGE CIRCUIT BREAKER TO TRIP. THIS INTERRUPTED MANUFACTURING PROCESS AND DAMAGED CARS IN PRODUCTION LINES. FROM THE STUDY, IT SHOWED THAT THERE WAS NO ABNORMALITY IN OPERATION OF CIRCUIT BREAKERS AND UNDERVOLTAGE PROTECTION SYSTEM. THE CAUSE OF THE PROBLEM CAME FROM MOTOR LOADS WHICH DURING VOLTAGE DIP WOULD HEIGHTEN AND PROLONG MAGNITUDE OF INRUSH CURRENT FOR MANY SECONDS. THIS INRUSH CURRENT ELEVATED VOLTAGE DROP TO THE HIGH LEVEL RESULTING IN TRIGGERING OF AN UNDERVOLTAGE RELAY; SUBSEQUENTLY, THE MAIN LOW VOLTAGE CIRCUIT BREAKER WOULD BE TRIPPED. THIS PROBLEM COULD BE INEXPENSIVELY ALLEVIATED BY ADJUSTING THE PICK-UP AND DROP-OFF VOLTAGE OF UNDERVOLTAGE PROTECTION RELAY TO AVOID THE IMPACT OF INRUSH CURRENT FROM MOTOR LOADS.

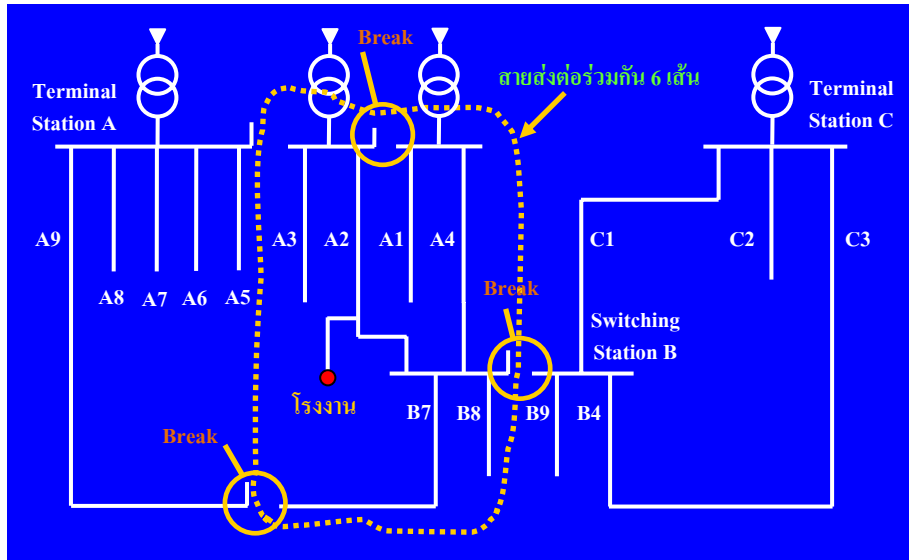
## บทคัดย่อ

โรงงานผลิตรถยนต์ประสบปัญหาเซอร์กิตเบรกเกอร์ด้านแรงต่ำปลดวงจรเมื่อเกิดเหตุการณ์แรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะจากระบบไฟฟ้าภายนอก ส่งผลให้กระบวนการผลิตหยุดชะงักและรถยนต์ที่อยู่ระหว่างการผลิตได้รับความเสียหาย จากการตรวจสอบไม่พบความบกพร่องในการทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์และระบบป้องกันแรงดันต่ำเกิน (Undervoltage Protection) สาเหตุของปัญหาเกิดจากผลของโหลดประเภทมอเตอร์ซึ่งเมื่อประสบกับแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะจะเกิดการดึงกระแสกระชาก (Inrush Current) เป็นปริมาณมากในช่วงเวลาหลายวินาที หากมีการใช้โหลดประเภทมอเตอร์นี้เป็นจำนวนมาก แรงดันตก (Voltage Drop) ที่เกิดจากกระแสกระชากนี้จะมีค่าสูง จนเป็นเหตุให้ระบบป้องกันแรงดันต่ำเกินตรวจพบว่าเป็นเหตุการณ์แรงดันต่ำเกินและสั่งปลดวงจรเซอร์กิตเบรกเกอร์ แนวทางการแก้ปัญหาสามารถทำได้โดยปรับตั้งค่า Pick-up Voltage และ Drop-off Voltage ของระบบป้องกันแรงดันต่ำเกินเพื่อลดผลกระทบจากการดึงกระแสกระชากของมอเตอร์ดังกล่าว

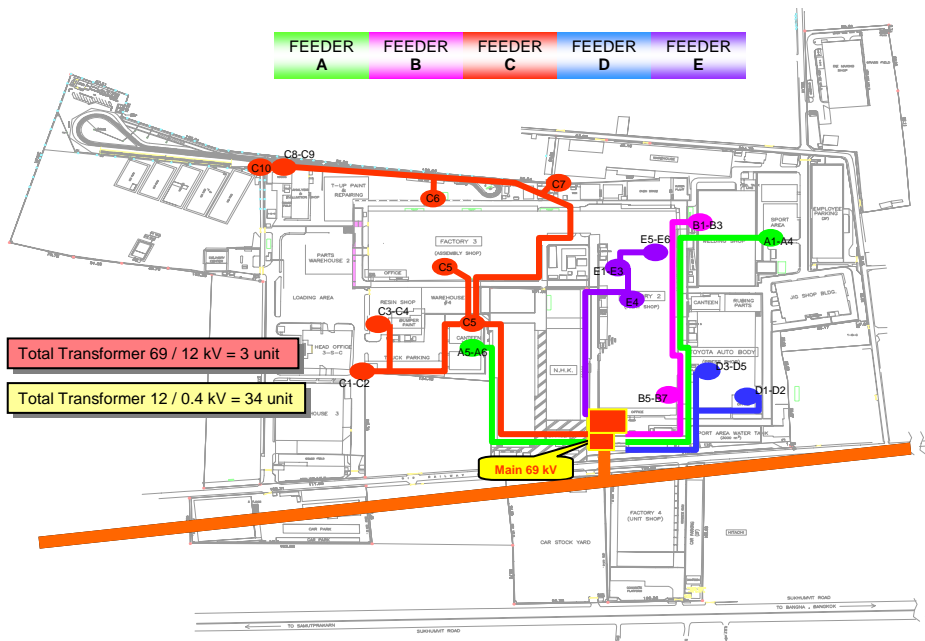
## 1. ข้อมูลเบื้องต้น

โรงงานผลิตรถยนต์แห่งหนึ่งเชื่อมต่อกับระบบของการไฟฟ้านครหลวงที่ระดับแรงดัน 69 kV โดยรับไฟจากสายส่ง A2 ซึ่งจ่ายไฟมาจาก Terminal Station A และมีสายส่งข้างเคียงซึ่งต่อเชื่อมถึงกันอยู่ 5 เส้นคือ

สายส่ง A1, A3, A4, B7 และ B8 ดังแสดงรายละเอียดในรูปที่ 1 ภายในโรงงานมีการติดตั้งหม้อแปลงกำลังพิกัด 69/12 kV จำนวน 3 ลูกใน Substation เพื่อจ่ายไฟไปยังส่วนต่างๆของโรงงานผ่านสายป้อน (Feeder) 12 kV จำนวน 5 สายป้อน ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 1 แผนผังระบบสายส่ง 69 kV ที่จ่ายไฟให้กับโรงงานและสายส่งข้างเคียง

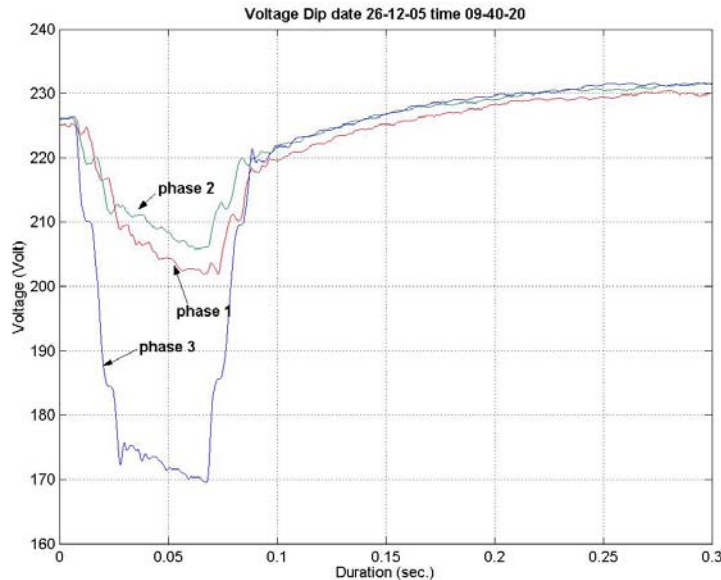


รูปที่ 2 แผนผังระบบสายป้อน (Feeder) 12 kV และหม้อแปลงจำหน่ายภายใน โรงงาน

## 2. ปัญหาและผลกระทบ

เมื่อเกิดเหตุการณ์ลัดวงจรในสายส่ง A1, A3, A4, B7 หรือ B8 รวมถึงสายส่งในระดับแรงดัน 230 kV ที่จ่ายไฟให้กับ Terminal Station A และ Terminal Station C จะทำให้เกิดเหตุการณ์แรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะกระทบกับกระบวนการผลิตของโรงงาน โดยส่งผลให้เซอร์กิตเบรกเกอร์หลักด้านแรงต่ำภายในโรงงานปลด

วงจร ทำให้กระบวนการผลิตหยุดชะงักและรถยนต์ที่อยู่ระหว่างการผลิตได้รับความเสียหาย ตัวอย่างเหตุการณ์แรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะที่ส่งผลให้เซอร์กิตเบรกเกอร์ด้านแรงต่ำภายในโรงงานปลดวงจรแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3 เหตุการณ์แรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะที่ส่งผลให้เซอร์กิตเบรกเกอร์ด้านแรงต่ำปลดวงจร

### 3. มูลค่าความเสียหาย

เหตุการณ์แรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะที่เกิดขึ้นและส่งผลให้เซอร์กิตเบรกเกอร์ด้านแรงต่ำปลดวงจร จะทำให้โครงตัวถังรถยนต์ที่อยู่ระหว่างการชุบเคลือบกันสนิมค้างอยู่ในสายการผลิต ซึ่งหากทำการแก้ไขล่าช้าอาจก่อให้เกิดสนิมขึ้นกับชิ้นงานจนไม่สามารถใช้ผลิตต่อไปได้ นอกจากนี้โรงงานแห่งนี้สามารถผลิตรถยนต์ออกจากสายการผลิตได้เฉลี่ยนาทีละ 1 คัน หากเซอร์กิตเบรกเกอร์เกิดปลดวงจร ไปพนักงานต้องเข้าไปเคลียร์สายการผลิตและใช้เวลาอีกประมาณ 10 - 15 นาทีกว่าจะสับเซอร์กิตเบรกเกอร์เข้ามาเพื่อเริ่มการผลิตใหม่ได้นั้นคือแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะแต่ละเหตุการณ์ส่งผลให้โรงงานสูญเสียโอกาสการผลิตรถยนต์ไป 10 - 15 คัน คิดเป็นมูลค่าความเสียหายหลักหลายแสนบาทต่อเหตุการณ์แต่ละครั้ง

### 4. สาเหตุของปัญหา

ภายในโรงงานมีการติดตั้งใช้งานมอเตอร์ไฟฟ้าแรงต่ำขนาดใหญ่จำนวนมาก และที่เซอร์กิตเบรกเกอร์ด้านแรงต่ำได้ติดตั้งรีเลย์ป้องกันแรงดันต่ำเกิน (Undervoltage Protection Relay) เพื่อทำหน้าที่สั่งปลดวงจรออกเมื่อเกิดภาวะแรงดันต่ำเกิน เพื่อป้องกันความเสียหายที่อาจเกิดกับมอเตอร์ ในส่วนของตัวรีเลย์ป้องกันแรงดันต่ำเกินมีลูกบิด (Knob) สำหรับปรับตั้งค่า Pick-up Voltage , Drop-off Voltage และ Time Delay โดยโรงงานได้ตั้งค่าการทำงานดังนี้

$$\text{Pick-up Voltage} = 360 \text{ V}_{L-L} \quad \text{Drop-off Voltage} = 375 \text{ V}_{L-L} \quad \text{Time Delay} = 3.0 \text{ sec}$$

ความหมายของค่า Pick-up Voltage คือระดับแรงดันไฟฟ้าที่รีเลย์พิจารณาว่าเริ่มเกิดเหตุการณ์แรงดันต่ำเกิน ค่า Drop-off Voltage คือระดับแรงดันที่รีเลย์พิจารณาว่าแรงดันไฟฟ้าได้กลับเข้าสู่ภาวะปกติแล้ว ส่วนค่า Time Delay คือค่าหน่วงเวลาการทำงานของรีเลย์ โดยรีเลย์จะพิจารณาว่าเกิดเหตุการณ์แรงดันต่ำเกินขึ้นและสั่งปลดวงจรก็ต่อเมื่อ ระยะเวลาตั้งแต่ที่แรงดันเริ่มมีค่าต่ำกว่า Pick-up Voltage จนถึงเวลาที่แรงดันมีค่ากลับมาสูงกว่า Drop-off Voltage มีค่ามากกว่าค่า Time Delay นั่นคือหากภาวะแรงดันต่ำเกินเกิดขึ้นในเวลา น้อยกว่าค่า Time Delay แล้วรีเลย์จะยังไม่สั่งปลดวงจร แต่หากภาวะแรงดันต่ำเกินขึ้นต่อเนื่องเป็นเวลานานกว่าค่า Time Delay รีเลย์จึงจะสั่งปลดวงจร

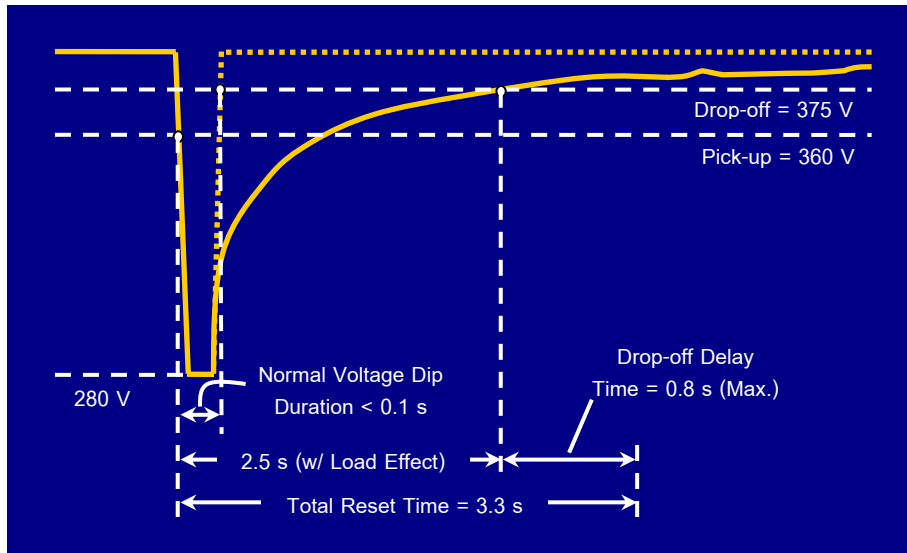
จากการตั้งค่า Time Delay ของรีเลย์เป็นเวลา 3 วินาทีข้างต้น เหตุการณ์แรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะซึ่งทั่วไปแล้วเกิดขึ้นเป็นเป็นเวลานับพันวินาที (พิจารณารูปที่ 3) ไม่ควรเป็นเหตุทำให้รีเลย์สั่งปลดวงจรได้ อย่างไรก็ตามในขณะที่เกิดเหตุการณ์แรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะ โหลดมอเตอร์จะเกิดการดึงกระแสกระชาก (Inrush Current) ซึ่งมีปริมาณสูงกว่ากระแสปกติ กระแสกระชากนี้อาจคงอยู่ได้เป็นเวลาหลายวินาทีก่อนที่จะค่อยๆสลายตัวไป เป็นเหตุให้แรงดันในระบบไฟฟ้าแรงต่ำมีค่าลดลงเนื่องจากแรงดันตก (Voltage Drop) ที่มีค่าเพิ่มสูงขึ้นอันเป็นผลจากกระแสกระชากที่ไหลผ่านอิมพีแดนซ์ของระบบ (System Impedance) นั่นเอง ด้วยผลของโหลดมอเตอร์ดังกล่าวระยะเวลาของเหตุการณ์แรงดันต่ำเกินที่เกิดขึ้นในระบบไฟฟ้าแรงต่ำภายในโรงงานจึงอาจยาวนานกว่าระยะเวลาของเหตุการณ์แรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะที่เกิดขึ้นจริงในระบบไฟฟ้าภายนอก และอาจยาวนานกว่าค่า Time Delay ของรีเลย์ด้วย จนเป็นเหตุให้รีเลย์สั่งปลดวงจรเซอร์กิตเบรกเกอร์

## 5. การวิเคราะห์ปัญหา

กราฟแสดงการวิเคราะห์แรงดันในระบบไฟฟ้าแรงต่ำที่มีการใช้งานโหลดมอเตอร์จำนวนมากในขณะที่เกิดแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะจากภายนอกแสดงในรูปที่ 4 ซึ่งจะเห็นว่าแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะจากภายนอกมีขนาดแรงดัน Line to Line ลดลงเหลือ 280 V และเกิดขึ้นเป็นเวลานับพันวินาที (เส้นประสีเหลือง) แต่ด้วยผลของโหลดมอเตอร์ทำให้แรงดันจริงในระบบไฟฟ้าแรงต่ำมีค่าเปลี่ยนแปลงกลับมาสู่ระดับปกติเป็น เวลาช้ากว่ามาก (เส้นทึบสีเหลือง) กว่าที่แรงดันไฟฟ้าจะกลับ มามีค่าเกินกว่า Pick-up Voltage ต้องใช้เวลาถึง 2.5 วินาที นอกจากนี้ถึงแม้แรงดันจะกลับมามีค่าเกินกว่า Pick-up Voltage แล้วแต่รีเลย์จะยังคงไม่หยุดนับ ช่วงเวลาที่เกิดแรงดันต่ำเกิน เนื่องจากตัวรีเลย์เองต้องใช้เวลาในการทำงานภายในระยะหนึ่งก่อนที่จะสั่งหยุด นับ ช่วงเวลานี้เรียกว่า Drop-off Delay Time ซึ่งใช้เวลาไปอีก 0.8 วินาที ส่งผลให้เวลารวมที่รีเลย์นับว่าเป็น ช่วงเวลาที่เกิดแรงดันต่ำเกินมีค่า 3.3 วินาที ซึ่งเป็นระยะเวลานานกว่าค่า Time Delay ของตัวรีเลย์ที่ได้ปรับตั้งค่าไว้ จึงเป็นเหตุให้รีเลย์สั่งปลดวงจรเซอร์กิตเบรกเกอร์

นอกจากนั้นการทดสอบด้วยเครื่องทดสอบรีเลย์พบว่า Pick-up Voltage และ Drop-off Voltage ที่ได้จากการทดสอบมีค่าไม่ตรงกับค่าที่ได้ปรับตั้งไว้บนตัวรีเลย์ดังแสดงในตารางที่ 1 ซึ่งอาจเป็นผลมาจากความไม่เที่ยงตรงของลูกบิดปรับค่าบนตัวรีเลย์เอง และ Pick-up Voltage จริงที่ได้จากการทดสอบซึ่งมีค่าสูงกว่า

ระดับแรงดันที่ต้องการให้ทำงานนั้น จะส่งผลทำให้ช่วงเวลาก่อนที่แรงดันกลับมาจะมีค่าสูงกว่า Pick-up Voltage ยาวนานออกไปอีก ซึ่งจะทำให้ความเสี่ยงที่รีเลย์จะสั่งปลดวงจรเซอร์กิตเบรกเกอร์เนื่องจากแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะเพิ่มมากขึ้นไปด้วย



รูปที่ 4 ผลกระทบจากแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะและผลของโหลดมอเตอร์ที่มีต่อการทำงานของรีเลย์ป้องกันแรงดันต่ำเกิน

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบค่าที่ปรับตั้งไว้บนตัวรีเลย์กับค่าจริงที่ได้จากการทดสอบ

ตัวแปร	ค่าที่ปรับตั้งไว้บนตัวรีเลย์	ค่าจริงที่ได้จากการทดสอบ
Pick-up Voltage	360 V	368.9 V
Drop-off Voltage	375 V	382.8 V

### 6. แนวทางการแก้ปัญหา

เนื่องจากปัญหาที่รีเลย์สั่งปลดวงจรจากแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะมีสาเหตุมาจากหลายปัจจัย ดังนั้นการแก้ปัญหาจึงต้องดำเนินการแยกทีละประเด็นดังนี้

- ประเด็นความไม่เที่ยงตรงของลูกบิดปรับตั้งค่าบนตัวรีเลย์ ที่ทำให้ค่า Pick-up Voltage และ Drop-off Voltage จริงที่ได้จากการทดสอบมีค่าสูงกว่าค่าที่ปรับตั้งไว้บนตัวรีเลย์ ประเด็นนี้ควรแก้ไขโดยใช้วิธีปรับตั้งค่าการทำงานของรีเลย์โดยอ้างอิงจากเครื่องทดสอบรีเลย์ เนื่องจากมีความเที่ยงตรงและความเชื่อถือได้มากกว่าค่าที่อ่านได้จากลูกบิดบนตัวรีเลย์

- ประเด็นเรื่องความเหมาะสมของค่า Pick-up Voltage และ Drop-off Voltage นั้น จากการตั้งค่าการทำงานเดิมที่ต้องการให้ Pick-up Voltage มีค่า 360 V และ Drop-off Voltage มีค่า 375 V พบว่า Drop-off Voltage มีค่าสูงกว่า Pick-up Voltage อยู่ 15 V หรือ 4.17% แต่ทั้งนี้หาก Drop-off Voltage มีค่าสูงกว่า Pick-

up Voltage มากเกินไปจะส่งผลให้ระยะเวลาที่รีเลย์พิจารณาว่าเกิดภาวะแรงดันต่ำเกินยาวนานขึ้นด้วย ดังนั้น การบรรเทาปัญหาจึงอาจทำได้โดยปรับลดค่า Drop-off Voltage ลง เช่นปรับลด Drop-off Voltage ให้มีค่า เหลือ 103% ของ Pick-up Voltage อย่างไรก็ตามไม่ควรปรับลดค่า Drop-off Voltage จนใกล้เคียงกับ Pick-up Voltage มากเกินไป เนื่องจากอาจทำให้เซอร์กิตเบรกเกอร์ต้องสับปลดวงจรบ่อยครั้งในสภาวะที่แรงดัน ไฟฟ้าไม่เสถียรค่า Pick-up และ Drop-off Voltage ที่ปรับตั้งใหม่เพื่อบรรเทาปัญหาแสดงในตารางที่ 2

**ตารางที่ 2** ค่าปรับตั้งของรีเลย์ป้องกันแรงดันต่ำเกิน  
เพื่อบรรเทาผลกระทบจากแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะและผลของโหลดมอเตอร์

ตัวแปร	ค่าเดิมที่ปรับตั้งไว้บนตัวรีเลย์	ค่าจริงที่ได้จากการทดสอบ	ค่าที่จะปรับตั้งใหม่เพื่อบรรเทาปัญหา
Pick-up Voltage	360 V	368.9 V	360 V (90% of Nominal Voltage, 400 V)
Drop-off Voltage	375 V	382.8 V	370.8 V (103% of Pick-up Voltage)

## 7. ค่าใช้จ่ายในการแก้ปัญหา

การบรรเทาปัญหาเซอร์กิตเบรกเกอร์ปลดวงจรเนื่องจากแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะและผลของโหลดประเภทมอเตอร์ โดยการปรับตั้งค่า Pick-up และ Drop-off Voltage ของรีเลย์ป้องกันแรงดันต่ำเกินให้เหมาะสม แทนไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายใดๆ เนื่องจากไม่ต้องติดตั้งอุปกรณ์อะไรเพิ่มเติม แต่อาจมีค่าใช้จ่ายบ้างในส่วน ของค่าทดสอบการทำงานของรีเลย์

## 8. สรุป

ปัญหาเซอร์กิตเบรกเกอร์ด้านแรงต่ำปลดวงจรเมื่อเกิดเหตุการณ์แรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะจากระบบไฟฟ้าภายนอก มีสาเหตุมาจากการที่โหลดมอเตอร์ภายในโรงงานเมื่อประสบกับเหตุการณ์แรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะจะเกิดการดึงกระแสกระชาก (Inrush Current) ปริมาณมากในช่วงเวลาหลายวินาที เมื่อกระแสนี้ไหลผ่านอิมพีแดนซ์ของระบบจะทำให้แรงดันในระบบไฟฟ้าแรงต่ำของโรงงานมีค่าลดต่ำลงเนื่องจาก Voltage Drop ที่เพิ่มขึ้น ซึ่งระยะเวลาที่เกิด Voltage Drop นี้หากยาวนานกว่าค่า Time Delay ของรีเลย์ป้องกันแรงดันต่ำเกิน จะเป็นเหตุทำให้รีเลย์สั่งปลดวงจรเซอร์กิตเบรกเกอร์ แนวทางการบรรเทาปัญหาสามารถทำได้โดยปรับตั้งค่า Pick-up Voltage และ Drop-off Voltage ของรีเลย์ป้องกันแรงดันต่ำเกินให้เหมาะสมเพื่อลดความอ่อนไหวของรีเลย์ต่อผลกระทบจากแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะและผลของมอเตอร์โหลดข้างต้น