

## กรณีศึกษา - CASE STUDY

## เครื่องอัดอากาศหยุดทำงานจากแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะ

## AIR COMPRESSOR STOPPED CAUSED BY VOLTAGE DIP

## ABSTRACT

A GLASS BOTTLE MANUFACTURING FACTORY, WHICH USED AN AIR COMPRESSOR TO PRODUCE AIR PRESSURE IN ITS MANUFACTURING PROCESS, WAS AFFECTED BY VOLTAGE DIP CAUSING A MOTOR THAT DRIVED AIR COMPRESSOR TO TRIP AND SUBSEQUENTLY INTERRUPTED THE WHOLE MANUFACTURING PROCESS. FROM THE ANALYSIS, IT WAS FOUND THAT MOTOR AND LOAD IN MANUFACTURING PROCESS COULD TOLERATE THE IMPACT OF VOLTAGE DIP. THE ONLY SENSITIVE PART WAS MOTOR'S CONTROL CIRCUIT WHICH TRIGGERED MOTOR TO TRIP OUT WHEN VOLTAGE DIP OCCURED. THIS PROBLEM COULD BE SOLVED BY INSTALLING AN ADDITIONAL VOLTAGE CONTROL UNIT TO MAINTAIN CONSTANT VOLTAGE SUPPLYING TO MOTOR CONTROL CIRCUIT AT THE MOMENT THAT VOLTAGE DIP OCCURRED. THIS COULD PREVENT MOTOR FROM TRIPPING AND MAINTAIN THE MANUFACTURING PROCESS TO CONTINUOUSLY OPERATE DURING VOLTAGE DIP.

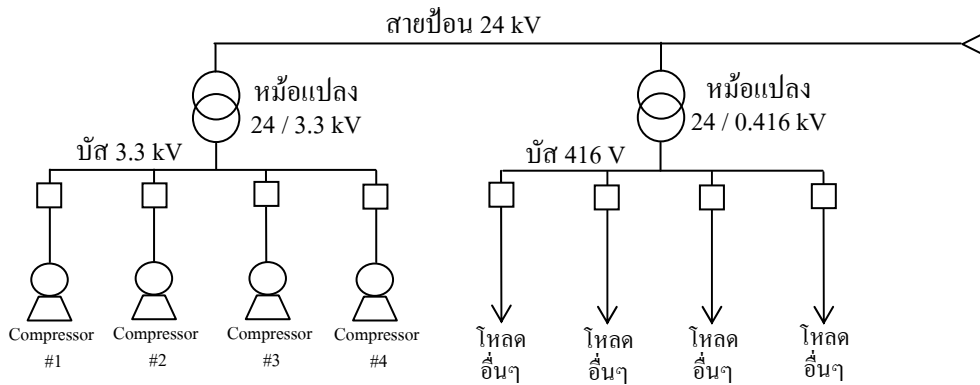
## บทคัดย่อ

โรงงานผลิตขวดแก้วซึ่งมีการใช้งานเครื่องอัดอากาศสำหรับสร้างแรงดันลมในกระบวนการผลิตขวดแก้วได้รับผลกระทบจากเหตุการณ์แรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะส่งผลให้มอเตอร์ที่ใช้ขับเคลื่อนเครื่องอัดอากาศหยุดการทำงานเป็นเหตุให้กระบวนการผลิตต้องหยุดชะงักลง จากการวิเคราะห์พบว่าตัวมอเตอร์หรือโหลดในกระบวนการผลิตเองมีความทนทานต่อเหตุการณ์แรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะได้ดี แต่ส่วนที่มีความอ่อนไหวคือภาคควบคุมของมอเตอร์ซึ่งจะสั่งหยุดการทำงานของมอเตอร์เกือบทุกครั้งที่เกิดเหตุการณ์แรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะ แนวทางการแก้ปัญหาในกรณีนี้ทำได้โดยการติดตั้งอุปกรณ์ที่สามารถควบคุมแรงดันไฟฟ้าซึ่งจ่ายให้กับภาคควบคุมของมอเตอร์ให้มีค่าคงที่ในขณะที่เกิดเหตุการณ์แรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะ อันเป็นการป้องกันไม่ให้ภาคควบคุมของมอเตอร์สั่งหยุดการทำงานส่งผลให้ส่วนอื่นๆของระบบสามารถทำงานต่อไปได้ในขณะเกิดเหตุการณ์แรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะ

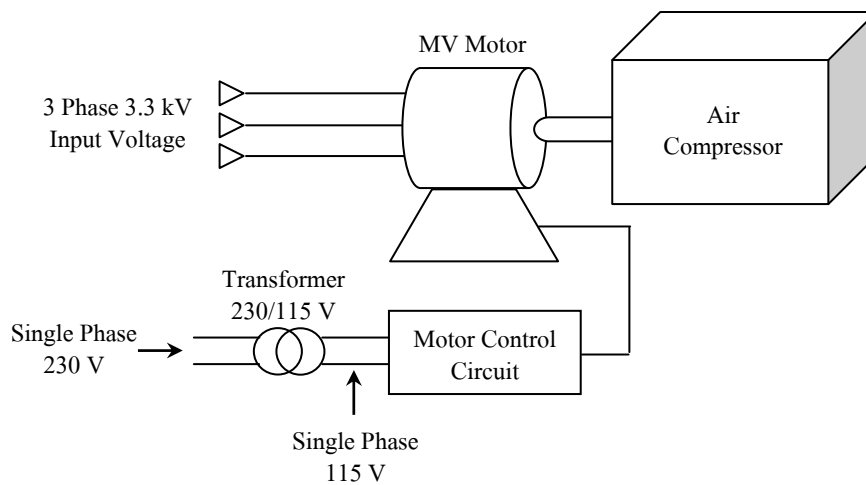
## 1. ข้อมูลเบื้องต้น

โรงงานผลิตขวดแก้วแห่งหนึ่งรับไฟจากการไฟฟ้านครหลวงในระบบสายป้อนระดับแรงดัน 24 kV ได้รับผลกระทบจากเหตุการณ์แรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะส่งผลกระทบต่อกระบวนการผลิต โดยโรงงานมีการติดตั้งเครื่องอัดอากาศ (Air Compressor) ขนาดใหญ่สำหรับสร้างแรงดันลมเพื่อใช้เป็นต้นกำลังในการ

ขับเคลื่อนกระบวนการผลิตขวดแก้ว เครื่องอัดอากาศนี้ขับเคลื่อนโดยมอเตอร์แรงกลาง (Medium Voltage Motor) ชนิด 3 เฟสพิกัดแรงดัน 3.3 kV ขนาด 1200 kVA จำนวน 4 ชุด มอเตอร์แรงกลางนี้ควบคุมการทำงานโดยชุดวงจรควบคุมซึ่งใช้ไฟเลี้ยง 115 V หนึ่งเฟส และมีพิกัดโหลดประมาณ 500 VA รายละเอียดระบบจ่ายไฟของชุดมอเตอร์แรงกลางและเครื่องอัดอากาศแสดงในรูปที่ 1 และ 2

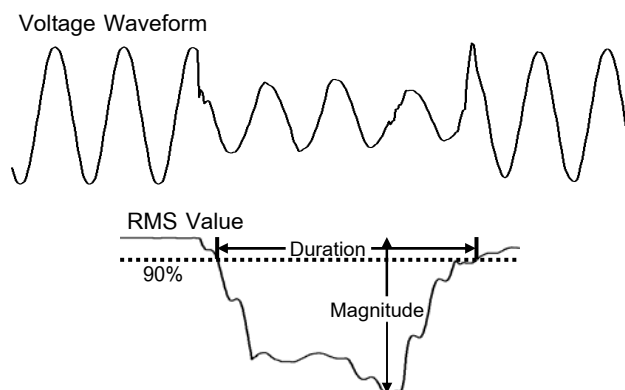


รูปที่ 1 แผนผังระบบจ่ายไฟภายในโรงงานผลิตขวดแก้ว



รูปที่ 2 แผนผังการเชื่อมต่อของมอเตอร์แรงกลางและเครื่องอัดอากาศ

## 2. ปัญหาและผลกระทบ



### รูปที่ 3 รูปคลื่นแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะที่ทำให้มอเตอร์แรงกลางหยุดทำงาน

เมื่อเกิดเหตุการณ์ผิดปกติจวรในระบบไฟฟ้าข้างเคียงกับสายป้อนที่จ่ายไฟให้โรงงาน จะก่อให้เกิดเหตุการณ์แรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะ (Voltage Dip) ซึ่งเป็นสภาวะที่แรงดันไฟฟ้ามีค่าลดลงต่ำกว่าระดับปกติในช่วงเวลาสั้นๆ โดยทั่วไปน้อยกว่า 0.1 วินาที ส่งผลให้มอเตอร์แรงกลางที่ใช้ขับเคลื่อนเครื่องอัดอากาศหยุดการทำงาน และทำให้แรงดันลมที่ใช้ในกระบวนการผลิตขวดแก้วหายไปเป็นเหตุให้กระบวนการผลิตต้องหยุดชะงักลง รูปคลื่นของแรงดันในขณะเกิดเหตุการณ์แรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะแสดงในรูปที่ 3

### 3. มูลค่าความเสียหาย

เหตุการณ์แรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะที่เกิดขึ้นและส่งผลกระทบต่อเครื่องอัดอากาศหยุดทำงาน จะทำให้ขวดแก้วที่อยู่ระหว่างการผลิตโดยใช้แรงดันลมเป่าขึ้นรูปแต่ยังไม่เสร็จสมบูรณ์เกิดความเสียหาย ต้องรีอขวดแก้วที่เสียหายออกจากสายการผลิตและนำมาหลอมใหม่ ทำให้เกิดความสูญเสียทั้งขวดแก้วที่อยู่ระหว่างการผลิต ค่าเชื้อเพลิงที่ต้องใช้ในการหลอมแก้วใหม่ คิดเป็นมูลค่าความเสียหายต่อเหตุการณ์ได้ประมาณ 40,000 บาท ไม่นับรวมค่าเสียโอกาสในการผลิตซึ่งมีค่าแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับความเร่งด่วนในการส่งมอบสินค้า

### 4. สาเหตุของปัญหา

จากการสอบถามไปยังผู้ผลิตเครื่องอัดอากาศได้รับข้อมูลว่ามอเตอร์แรงกลางนั้นมีความทนทานต่อแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะค่อนข้างมาก ในขณะที่เกิดแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะโดยทั่วไปแล้วมอเตอร์สามารถทำงานต่อไปได้โดยไม่ได้รับความเสียหายใดๆ เพียงแต่อาจมีการเปลี่ยนแปลงแรงบิดหรือความเร็วรอบเพียงเล็กน้อย ซึ่งส่งผลทำให้แรงดันลมที่ใช้ในกระบวนการผลิตลดลงเล็กน้อยในช่วงเวลาสั้นๆเช่นกัน และจากการตรวจสอบร่วมกับเจ้าหน้าที่ของโรงงานพบว่าแรงดันลมที่เปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยในช่วงเวลาสั้นๆนั้นจะไม่ส่งผลกระทบต่อกระบวนการผลิตแต่อย่างใด ดังนั้นจึงสันนิษฐานได้ว่าปัญหาดังกล่าวมีสาเหตุมาจากภาคควบคุมของมอเตอร์ซึ่งมีความอ่อนไหวต่อการเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้ามากเกินไป เมื่อเกิดแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะขึ้นภาคควบคุมของมอเตอร์จึงสั่งหยุดการทำงานของมอเตอร์ แม้ตัวมอเตอร์และโหลดในกระบวนการผลิตเองจะมีความทนทานต่อแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะ แต่หากภาคควบคุมสั่งหยุดการทำงานแล้วจะทำให้ระบบทุกอย่างหยุดทำงานเช่นกัน

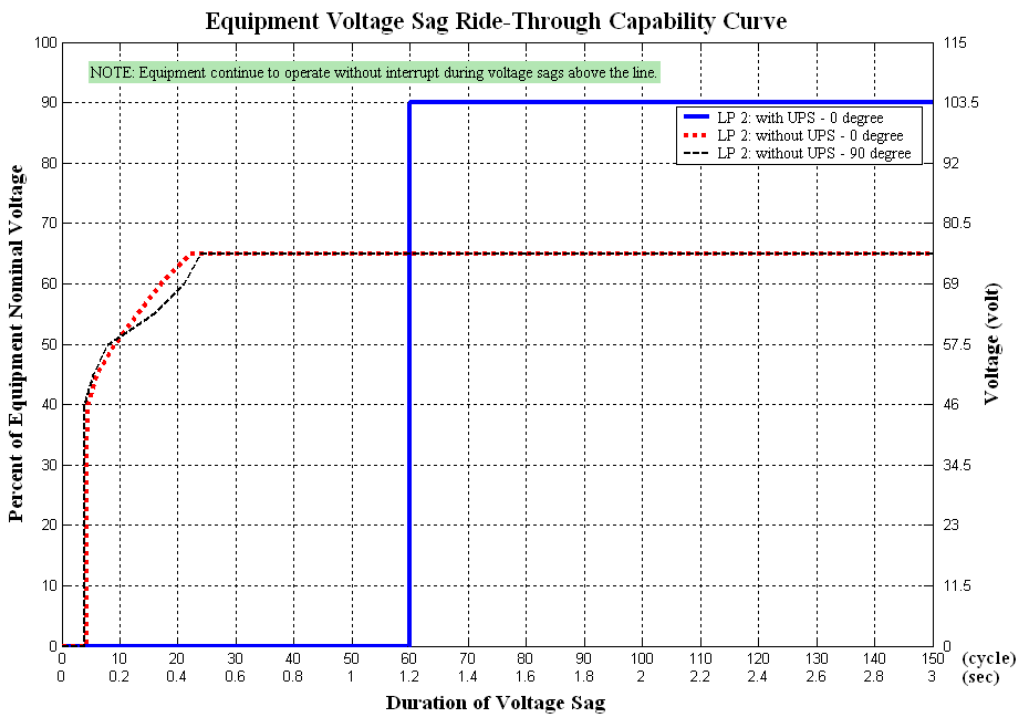
### 5. การวิเคราะห์ปัญหา

กฟน. ได้ทำการทดสอบความอ่อนไหวต่อเหตุการณ์แรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะของวงจรภาคควบคุมมอเตอร์โดยใช้เครื่องกำเนิดแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะ (Sag Generator) ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่สามารถสร้างแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะโดยสามารถกำหนดขนาด (Magnitude) ระยะเวลา (Duration) และมุมที่เกิด (Phase) ของแต่ละเหตุการณ์ได้ดังแสดงในรูปที่ 4 การทดสอบทำโดยป้อนแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะไปยังวงจรจ่ายไฟของภาคควบคุมมอเตอร์ โดยค่อยๆปรับขนาด และระยะเวลาของแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะในทั้งกรณีมูฟเฟสเป็น

0 และ 90 องศา จากนั้นตรวจสอบว่ามีการสั่งหยุดการทำงานจากภาคควบคุมของมอเตอร์หรือไม่ นำผลการทดสอบมาพล็อตเป็นกราฟแสดงความอ่อนไหวต่อแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะดังแสดงในรูปที่ 5



รูปที่ 4 เครื่องกำเนิดแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะ (Sag Generator)



รูปที่ 5 กราฟแสดงความอ่อนไหวของภาคควบคุมมอเตอร์ต่อแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะ

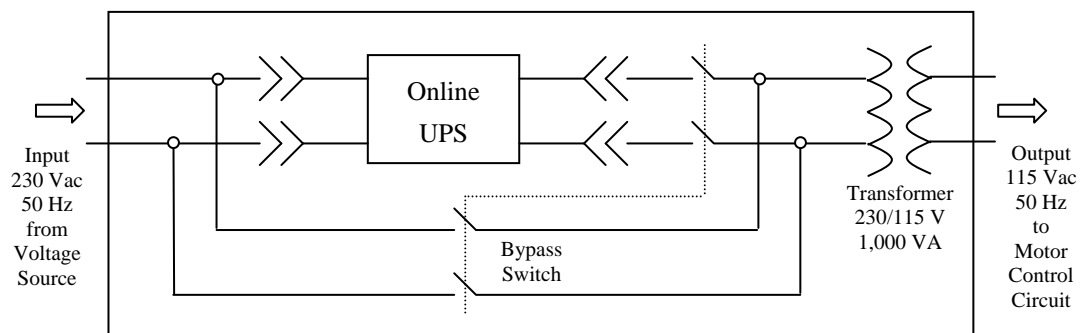
ผลการทดสอบกรณีมุมเฟสเป็น 0 องศาแสดงในเส้นประสีแดง และกรณีมุมเฟสเป็น 90 องศาแสดงในเส้นประสีดำ ทั้งนี้พบว่าผลการทดสอบทั้งสองมุมเฟสมีความแตกต่างกันเล็กน้อยเท่านั้น จึงสรุปได้ว่ามุมเฟสของแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะไม่ได้มีนัยสำคัญต่อความอ่อนไหวของภาคควบคุมมอเตอร์ แต่หากพิจารณาถึงผลของขนาดและระยะเวลาของแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะแล้วจะพบว่า หากแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะเกิดขึ้นเป็นเวลาน้อยกว่า 4 Cycle (0.08 วินาที) ไม่ว่าแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะจะมีขนาดเท่าใดหรือแม้แต่ลดลงเป็น

ศูนย์ ภาควควบคุมของมอเตอร์ก็ยังสามารถทำงานต่อไปได้โดยไม่สั่งหยุดการทำงาน แต่ถ้าระยะเวลาการเกิดแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะเพิ่มขึ้น ขนาดของแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะที่ทำให้ภาควควบคุมสั่งหยุดการทำงานจะมีค่าลดลงเช่น เหตุการณ์แรงดัน ไฟฟ้าตกชั่วขณะระยะเวลา 10 Cycle (0.2 วินาที) และมีขนาด 49% (เหลือแรงดัน 51%) จะส่งผลให้ภาควควบคุมสั่งหยุดการทำงานของมอเตอร์ และหากแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะเกิดขึ้นเป็นเวลานานกว่า 23 Cycle (0.46 วินาที) และมีขนาดมากกว่า 35% (เหลือแรงดันน้อยกว่า 65%) จะส่งผลให้ภาควควบคุมสั่งหยุดการทำงานทุกครั้ง

ในระบบของการไฟฟ้านครหลวง แรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะส่วนใหญ่มีระยะเวลาไม่เกิน 0.1 วินาที แต่อาจมีบางเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นเป็นเวลานานกว่านี้ นอกจากนั้นหากแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะที่เกิดขึ้นมีขนาดเกินกว่าที่ภาควควบคุมมอเตอร์สามารถทนรับได้ หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งคือเหตุการณ์แรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะที่อยู่ใต้เส้นกราฟความอ่อนไหวของภาควควบคุมมอเตอร์ (เส้นประสีแดงและดำ) จะส่งผลทำให้ภาควควบคุมมอเตอร์สั่งหยุดการทำงาน และทำให้กระบวนการผลิตต้องหยุดชะงัก

## 6. แนวทางการแก้ปัญหา

เนื่องจากกรณีนี้ปัญหาเกิดจากการที่ภาควควบคุมมอเตอร์มีความอ่อนไหวต่อแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะที่เกิดขึ้นในไฟเลี้ยงวงจรมากเกินไป ทั้งที่ตัวมอเตอร์หรือโหลดในกระบวนการผลิตเองสามารถทนต่อแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะได้ ดังนั้นการแก้ปัญหาสามารถจึงต้องเพิ่มความทนทานต่อแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะที่ให้กับภาควควบคุมมอเตอร์โดยการติดตั้งอุปกรณ์ที่สามารถควบคุมแรงดันในวงจรไฟเลี้ยงของภาควควบคุมมอเตอร์ให้อยู่ในระดับคงที่ขณะเกิดแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะ



รูปที่ 6 อุปกรณ์ควบคุมแรงดันไฟเลี้ยงให้กับภาควควบคุมมอเตอร์

รูปที่ 6 แสดงอุปกรณ์ควบคุมแรงดันไฟเลี้ยงให้กับภาควควบคุมมอเตอร์ ซึ่งประกอบไปด้วย Online UPS ชนิดทั่วไปในท้องตลาดพิกัด Input 230 Vac, Output 230 Vac, 1,000 VA ทำหน้าที่สำรองและควบคุมระดับแรงดันไฟฟ้า หม้อแปลงพิกัด 230/115 V ขนาด 1,000 VA ทำหน้าที่แปลงแรงดันให้เหมาะสมกับระดับที่ภาควควบคุมมอเตอร์ต้องการ และ Bypass Switch ทำหน้าที่ Bypass จ่ายไฟให้โหลดกรณี UPS ชำรุด โดยอุปกรณ์ดังกล่าวออกแบบมาเพื่อให้สามารถรักษาระดับแรงดันที่จ่ายให้กับภาควควบคุมให้คงที่ที่ 115 V ในขณะเกิดแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะ เพื่อให้ภาควควบคุมไม่สั่งหยุดการทำงานของมอเตอร์ส่งผลให้กระบวนการผลิตโดยรวมสามารถดำเนินการต่อไปได้ในขณะเกิดแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะ

อย่างไรก็ตามการควบคุมแรงดัน Output ให้คงที่ในขณะที่แรงดัน Input มีค่าลดลงต่ำกว่าปกติจะต้องมีระยะเวลาไม่เกิน 3 วินาที เพื่อให้ภาคควบคุมต้องสั่งหยุดการทำงานของมอเตอร์และปลดวงจรตัวมอเตอร์ ออกจากระบบไฟฟ้าเมื่อเกิดเหตุการณ์ไฟฟ้าดับ (โดยเฉพาะกรณีไฟฟ้าดับชั่วคราว 3 วินาที) เนื่องจากในขณะที่เกิดไฟฟ้าดับความถี่ของตัวมอเตอร์และโหลดจะเปลี่ยนสภาพการทำงานของมอเตอร์ให้กลายเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและจ่ายแรงดันไฟฟ้าย้อนออกมา หากตัวมอเตอร์ไม่ปลดวงจรออกจากระบบไฟฟ้าหลังไฟฟ้าดับ เมื่อเวลาผ่านไป 3 วินาทีจะมีแรงดันไฟฟ้าจากการไฟฟ้าจ่ายมาที่ตัวมอเตอร์ ซึ่งหากแรงดันที่จ่ายจากการไฟฟ้าและแรงดันที่เกิดจากตัวมอเตอร์เองมีมูมเฟสต่างกันจะทำให้เกิดกระแสกระชากสร้างความเสียหายต่อตัวมอเตอร์ได้

ดังนั้นเพื่อป้องกันปัญหาดังกล่าวจึงต้องปรับตั้งค่าการทำงานของอุปกรณ์ควบคุมแรงดันไฟเลี้ยงให้จ่ายแรงดัน Output ในระดับคงที่เมื่อแรงดัน Input มีค่าต่ำกว่าระดับปกติ (ต่ำกว่า 90% ของแรงดันปกติ) ในช่วงเวลาไม่เกิน 1.2 วินาที แต่หากแรงดัน Input ยังคงมีค่าต่ำกว่าระดับปกติเป็นเวลานานกว่า 1.2 วินาที อุปกรณ์ควบคุมแรงดันไฟเลี้ยงจะต้องตัดแรงดัน Output ออกจากการปรับตั้งค่าการทำงานข้างต้น หากเกิดเหตุการณ์แรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะซึ่งมีระยะเวลาสั้นกว่า 1.2 วินาที ภาคควบคุมมอเตอร์ก็ยังคงได้รับแรงดันไฟเลี้ยงระดับปกติและคงที่จึงไม่สั่งหยุดการทำงานของมอเตอร์ แต่หากเป็นเหตุการณ์ไฟฟ้าดับซึ่งเกิดขึ้นเป็นเวลา 3 วินาทีหรือมากกว่า แรงดันไฟเลี้ยงที่จ่ายให้ภาคควบคุมมอเตอร์จะถูกตัดออกไปทำให้ภาคควบคุมมอเตอร์สั่งหยุดการทำงานและปลดตัวมอเตอร์ออกจากระบบไฟฟ้าอันเป็นการป้องกันมิให้ตัวมอเตอร์ชำรุดเสียหายจากกระแสกระชาก

หลังจากติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมแรงดันไฟเลี้ยงให้กับภาคควบคุมมอเตอร์แล้ว ทำการทดสอบความอ่อนไหวต่อแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะอีกครั้ง ได้ผลทดสอบตามเส้นกราฟสีน้ำเงินในรูปที่ 5 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าไม่แรงดันไฟฟ้าจะมีค่าลดลงเพียงใดในระยะเวลาไม่เกิน 1.2 วินาทีแล้ว ภาคควบคุมมอเตอร์จะยังคงไม่สั่งหยุดการทำงาน แต่หากแรงดันมีค่าต่ำกว่า 90% เป็นเวลานานกว่า 1.2 วินาที ภาคควบคุมมอเตอร์จะต้องสั่งหยุดการทำงานและปลดมอเตอร์ออกจากระบบไฟฟ้า

## 7. ค่าใช้จ่ายในการแก้ปัญหา

อุปกรณ์ควบคุมแรงดันไฟเลี้ยงให้กับภาคควบคุมมอเตอร์ 1 ชุดมีค่าใช้จ่ายประมาณ 53,500 บาท เนื่องจากโรงงานมีเครื่องอัดอากาศจำนวนทั้งสิ้น 4 ชุด ดังนั้นหากติดตั้งอุปกรณ์ดังกล่าวให้กับเครื่องอัดอากาศทุกชุด จะมีค่าใช้จ่ายรวมประมาณ 214,000 บาท ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับความเสียหายที่เกิดจากแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะที่มีมูลค่าประมาณ 40,000 บาทต่อเหตุการณ์ โดยประมาณว่าโรงงานได้รับผลกระทบจากแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะเดือนละ 4 เหตุการณ์ การติดตั้งระบบควบคุมฯจะถึงจุดคุ้มทุนการลงทุนในเวลาไม่เกิน 2 เดือน

## 8. สรุป

ปัญหาเครื่องอัดอากาศหยุดการทำงานเนื่องจากเหตุการณ์แรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะมีสาเหตุมาจากการที่ภาคควบคุมของมอเตอร์มีความอ่อนไหวต่อการเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้ามากเกินไป เป็นเหตุให้ภาคควบคุม

สั่งหยุดการทำงานมอเตอร์เมื่อเกิดแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะ แม้ตัวมอเตอร์หรือโหลดในกระบวนการผลิตเองจะสามารถทนต่อแรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะได้ การแก้ปัญหาจึงต้องเพิ่มความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้าให้กับภาคควบคุมมอเตอร์โดยการติดตั้งอุปกรณ์ที่สามารถควบคุมแรงดันในวงจรไฟเลี้ยงของภาคควบคุมมอเตอร์ให้อยู่ในระดับคงที่ อย่างไรก็ตามการควบคุมแรงดันไฟเลี้ยงให้คงที่นั้นควรใช้ในกรณีที่เหตุการณ์แรงดันไฟฟ้าตกชั่วขณะเท่านั้น หากเป็นเหตุการณ์ไฟฟ้าดับต้องยอมให้มอเตอร์หยุดการทำงานเพื่อป้องกันความเสียหายต่อตัวมอเตอร์ที่เกิดจากกระแสกระชาก