

## การปรับตั้งค่าการทำงานของ Feeder Management Relay สำหรับตรวจจับสายเคเบิลอากาศในระบบ จำหน่าย 22/33 kV ขาดตก

นายวีรภัทร เสนวิรัช<sup>1</sup>, นายภาณุ ศรีสุขใส<sup>2</sup>

<sup>1</sup>กองอุปกรณ์ป้องกันและรีเลย์ การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค weerapat.sen@pea.co.th

<sup>2</sup>กองอุปกรณ์ป้องกันและรีเลย์ การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค panu.sri@pea.co.th

### 1. บทคัดย่อ

ระบบจำหน่ายไฟฟ้า 22/33 kV ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคใช้งานรีเลย์ป้องกันฟีดเดอร์ (Feeder Management Relay) ทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์หลักในการป้องกันความเสียหายที่เกิดขึ้นกับระบบไฟฟ้าเมื่อเกิดฟอลต์ขึ้น แต่ด้วยปัญหาการเกิดฟอลต์อิมพีแดนซ์สูงหรือ High Impedance Fault (HIF) อันเนื่องมาจากปัญหาสายเคเบิลอากาศขาดตกพื้น (Down Conductor) หรือต้นไม้แตะสาย ซึ่งเหตุการณ์ดังกล่าวกระแสฟอลต์ที่เกิดขึ้นมีค่าต่ำมากๆ รีเลย์ป้องกันฟีดเดอร์ไม่สามารถตรวจจับและตัดวงจรที่เกิดฟอลต์ออกได้ จึงนำไปสู่อันตรายถึงชีวิตหากมีคนเข้าไปใกล้หรือสัมผัสบริเวณที่เกิดฟอลต์ ซึ่งเคยเกิดเหตุการณ์ขึ้นมาแล้วหลายครั้งในระบบจำหน่ายของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค การตรวจจับสายเคเบิลอากาศขาดตกจึงมีความสำคัญและเร่งดำเนินการ โดยใช้ความสามารถของรีเลย์ที่สามารถวัดค่าองค์ประกอบทางไฟฟ้า และข้อสังเกตหรือพฤติกรรมของการเกิดสายขาดจากสัญญาณ นำมาปรับปรุง Logic การทำงานของฟังก์ชัน Broken Conductor (46BC) ให้เหมาะสมกับระบบจำหน่ายไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

**คำสำคัญ:** Broken Conductor, High Impedance Fault, Down Conductor

### 1. บทนำ

Broken Conductor เกิดขึ้นจากปัญหาสายเคเบิลอากาศขาด และบางครั้งตกลงบนพื้นผิวประเภทต่างๆ เช่น ทราย ถนนลาดยางมะตอย ดินแห้ง ดินชื้น กรวด ฯลฯ ทำให้กระแสฟอลต์จะมีค่าต่ำจนบางครั้งใกล้เคียงกับกระแสโหลด ซึ่งเรียกว่า High Impedance Fault (HIF) รีเลย์ป้องกันฟีดเดอร์ (Overcurrent Protection) ไม่สามารถตรวจจับและตัดวงจรที่เกิดฟอลต์ออกได้ จึงนำไปสู่อันตรายถึงชีวิตหากมีคนเข้าไปใกล้หรือสัมผัสบริเวณที่เกิดฟอลต์

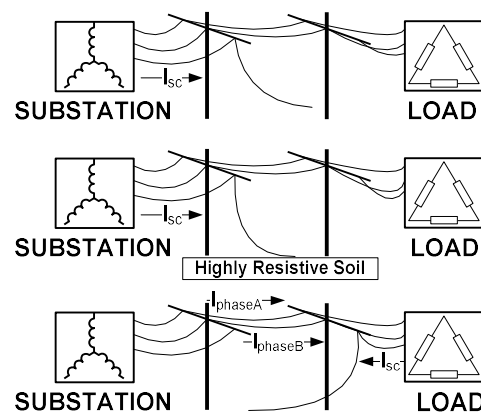
บทความนี้แนะนำเสนอแนวทางการตรวจจับสายเคเบิลอากาศขาดโดยใช้ฟังก์ชัน (Broken Conductor, 46BC) ในรีเลย์

ป้องกันฟีดเดอร์ (Feeder Management Relay) โดยใช้หลักการตรวจจับด้วยค่าอัตราส่วนของกระแส  $I_2/I_1$  (Negative Current/Positive Current)

### 2. ที่มาของปัญหา

#### 2.1 รูปแบบการเกิดสายเคเบิลอากาศ 22/33 kV ขาด

การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคพบปัญหาสายเคเบิลอากาศขาดของระบบจำหน่าย 22/33 kV ขาดอยู่บ่อยครั้ง ซึ่งจำแนกได้เป็น 3 รูปแบบ [1] ตามรูปที่ 1



รูปที่ 1 ลักษณะการเกิดสายเคเบิลอากาศขาดแบบต่างๆ

1. สายเคเบิลอากาศขาดตกพื้นด้าน Source บนพื้นผิวที่มีความต้านทานต่ำ ( $R_f$  มีค่าน้อย) – กระแสฟอลต์  $I_{sc}$  จะมีค่าสูงตามสมการที่ 1 รีเลย์ป้องกันฟีดเดอร์ทั่วไปสามารถตรวจจับได้

$$I_{sc} = \frac{E}{R_f + \frac{Z1+Z2+Z0}{3}} \quad (1)$$

2. สายเคเบิลอากาศขาดตกพื้นด้าน Source บนพื้นผิวที่มีความต้านทานสูง ( $R_f$  มีค่ามาก) และเกิดอาร์คทำให้สายเคเบิลอากาศระเบิดแกว่งไปมา - กระแสฟอลต์  $I_{sc}$  จะมีค่าต่ำหรือใกล้เคียงกับกระแสโหลดรีเลย์ป้องกันฟีดเดอร์ไม่สามารถตรวจจับและเคลียร์ฟอลต์ได้ ในกรณีที่สายเคเบิลอากาศระเบิดแกว่งไปมาจะเกิดกระแสฟอลต์ในช่วงสั้นๆ ไม่ถึง Operating Time ของรีเลย์
3. สายเคเบิลอากาศขาดตกพื้นด้าน Load บนพื้นผิวที่มีความต้านทานต่ำ - กระแสฟอลต์  $I_{sc}$  ไหลกลับมายังจุดที่สายเคเบิลอากาศขาดเนื่องจากหม้อแปลงจำหน่ายใช้ Vector Group Dyn11 รีเลย์ป้องกันฟีดเดอร์อาจจะไม่สามารถตรวจจับและเคลียร์ฟอลต์ได้ ขึ้นอยู่กับ Zero Sequence (3I0) ที่เกิดขึ้น



รูปที่ 2 ตัวอย่างสายเคเบิลอากาศขาดตกลงพื้นถนน

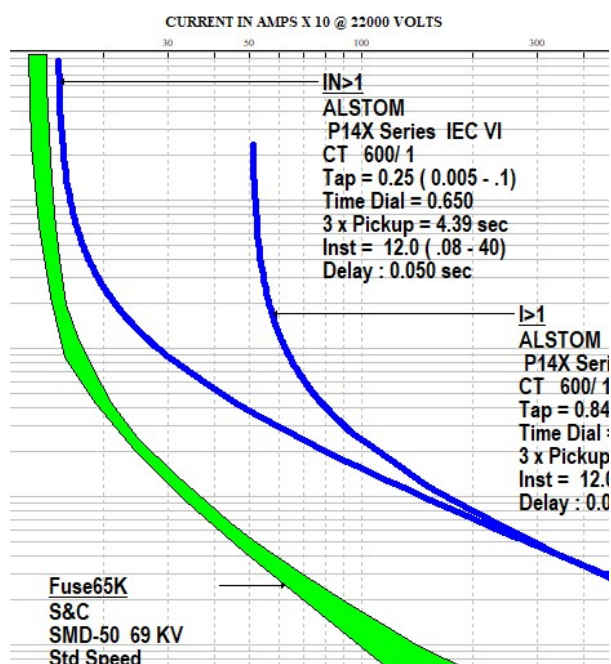
## 2.2 ระบบป้องกันฟีดเดอร์ 22/33 kV ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคใช้ Phase/Ground Overcurrent Protection (50/51, 50N/51N) เป็นระบบป้องกันหลักของสายเคเบิลอากาศระบบจำหน่าย 22/33 kV และเนื่องจากฟอลต์ที่เกิดขึ้นในระบบจำหน่ายของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคส่วนมากเป็นฟอลต์ชั่วคราวจึงมีการเปิดใช้งานฟังก์ชัน Auto-

recloser (79) จำนวน 2 ครั้ง การกำหนดค่าการทำงานของฟีดเดอร์ 22/33 kV Outgoing Feeder ใช้ Criteria ตามตารางที่ 1 และแสดงกราฟ Co-ordination Curve ได้ดังรูปที่ 3

ตารางที่ 1 ค่าการทำงานของ Outgoing Feeder

Function	Pickup Current	Curve	Operating Time
51	120% $I_{cable}$ ( $I_p=500A$ )	VI	0.2 Sec
50	100% of 3 Phase Fault at MV bus	DT	0 sec
51N	30% $I_{cable}$ ( $I_n=150A$ )	VI	0.2 Sec
50N	100% of 1 Phase Fault at MV bus	DT	0 sec
79	51,51N = 2 shots Auto-reclose Dead Time=0.5, 15 sec, Reclaim Time =50 sec		

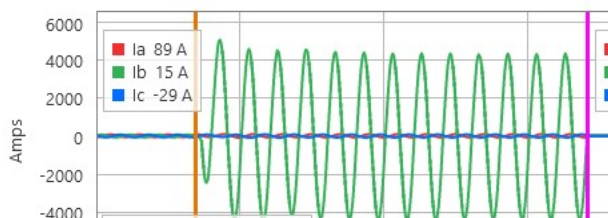


รูปที่ 3 Co-ordination Curve ของ Outgoing Feeder

## 3. ตัวอย่างเหตุการณ์ สายเคเบิลอากาศ 22/33 kV ขาดในระบบจำหน่ายของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

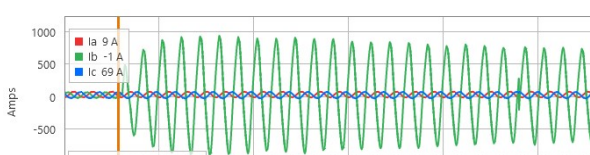
วันที่ 25 เมษายน 2563 เกิดเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้องสายเคเบิลอากาศชนิด PIC ระบบจำหน่าย 22 kV สถานีไฟฟ้าสันทราย 1 (XSU) ฟีดเดอร์ 3 ขาดตกลงมาบนพื้นเนื่องจากฟ้าผ่าลงเสาไฟฟ้าระบบจำหน่าย ที่บริเวณสี่แยกแม่แก้วห่างจากสถานีไฟฟ้า 3.4 กิโลเมตร สรุปการทำงานของรีเลย์ได้ดังนี้

- เวลา 13.45 น. XSU03VR-01 Trip Reclose 1 ครั้ง  
รีเลย์โซฟเฟส BG กระแสฟอลต์ 3395 แอมป์ ( $I_A = 550A$ ,  $I_B = 3395A$ ,  $I_C = 1675A$ ,  $I_N = 3385A$ ) รีเลย์ใช้เวลาเคลียร์ฟอลต์ 0.273 ms เป็นเวลาเดียวกับที่เกิดฟ้าผ่าทำให้เกิดวาทตามผิวย้อนของลูกถ้วย มีหลักฐานภาพถ่ายจากกล้องของรถยนต์



รูปที่ 4 Disturbance Record เวลา 13.45น

- เวลา 14.27 น. XSU03VR-01 Trip Reclose 1 ครั้ง  
รีเลย์โซฟเฟส BG กระแสฟอลต์ 622 แอมป์ ( $I_A = 32A$ ,  $I_B = 622A$ ,  $I_C = 35A$ ,  $I_N = 593A$ ) รีเลย์ใช้เวลาเคลียร์ฟอลต์ 0.644 ms และหลังจาก Recloser ปิดกลับพบว่าสายเคเบิลอากาศเฟส B ขาดตกแกว่งไปมาบนพื้น



รูปที่ 5 Disturbance Record เวลา 14.27น.

- เวลา 14.49 น. XSU03VR-01 พนักงานปลด 3R-01  
ออกด้วย Manual Local สั่งปลดหน้าตู้

จากเหตุการณ์ดังกล่าวพบว่า Overcurrent Protection (50/51, 50N/51N) ไม่ทำงานหลังจากเกิดสายเคเบิลอากาศขาด

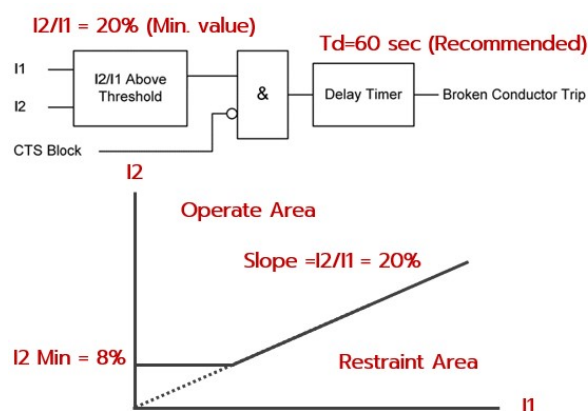
#### 4. แนวทางการแก้ไขปัญหาโดยการปรับตั้งค่าการทำงานของฟังก์ชัน Broken Conductor (46BC) ใน Feeder Management Relay

ปัจจุบันเทคโนโลยีรีเลย์ได้พัฒนาเป็นชนิด Numerical Relay สามารถประมวลผลและคำนวณค่าต่างๆ ตามความต้องการของผู้ใช้งาน ด้วยจุดเด่นดังกล่าวทำให้รีเลย์แต่ละผลิตภัณฑ์ใช้ประโยชน์จากอัตราส่วนของค่ากระแส  $I_2$  และ  $I_1$  เพื่อตรวจจับการขาดของสาย [2-6] หรือเรียกกันโดยทั่วไปคือ ฟังก์ชัน Broken Conductor (46BC) ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 Broken Conductor (46BC) ของรีเลย์

Product	Conceptual	Input	Program Logic	Remark
Micom, ABB, NR	• $I_2/I_1$	• $\%I_2/I_1$ • Delay Time	✓	
Ingeteam	• $I_2/I_1$ • $I_2/I_{rated}$	• $\%I_2/I_1$ • $\%I_0/I_{rated}$ • Timer	✓	There are 2 mode • Always Mode : $I_2/I_1$ . • Yes with 52 : CB close and $I_2/I_{rated}$
ZIV	• $I_2/I_1$	• $\%I_2/I_1$ • $\%I_1$ • Delay Time	✓	• $I_1$ must set for identifying normal load current.

เพื่อลดผลกระทบของเหตุการณ์สายเคเบิลอากาศขาดตกพื้น ในระยะสั้นการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคได้พิจารณาเปิดใช้งานฟังก์ชัน Broken Conductor (46BC) ที่สามารถเปิดใช้งานใน Feeder Management Relay ใช้หลักการตรวจจับด้วยค่าอัตราส่วนของกระแส  $I_2/I_1$  (Negative Current/Positive Current) ซึ่งในสภาวะการจ่ายไฟปกติมีค่าเท่ากับศูนย์ แต่เมื่อเกิดสายขาดจะทำให้เกิดค่าดังกล่าวขึ้น และหากค่า  $I_2/I_1$  มีค่าเกินค่า Setting ที่กำหนดไว้ที่รีเลย์ป้องกัน รีเลย์จะทำงานด้วยฟังก์ชัน Broken Conductor แต่เนื่องจากระบบจำหน่ายของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคมีอุปกรณ์ Single Phase Switching เช่น Dropout Fuse ซึ่งหากฟิวส์ขาดไป 1 เฟส ก็จะทำให้เกิดค่า  $I_2/I_1$  ขึ้นเช่นเดียวกับกรณีสายขาด ทำให้รีเลย์ป้องกันฟังก์ชัน Broken Conductor ไม่สามารถแยกแยะระหว่างสายขาดจริงหรือฟิวส์ขาดได้หรืออาจทำงานผิดพลาดขณะศูนย์จ่ายไฟสับขนานสวิทช์เพื่อถ่ายเทโหลด จากประสบการณ์ของการไฟฟ้าหน้างานและการศึกษาข้อมูลเหตุการณ์สายเคเบิลอากาศของการไฟฟ้า PPL Electric Utilities ในรัฐ Pennsylvania ประเทศสหรัฐอเมริกาตั้งข้อสังเกตว่าโดยทั่วไปสายเคเบิลอากาศในระบบจำหน่ายมักจะขาดหลังจากที่เกิดเหตุการณ์ฟอลต์ในครั้งแรกที่มีกระแสสูง [7]



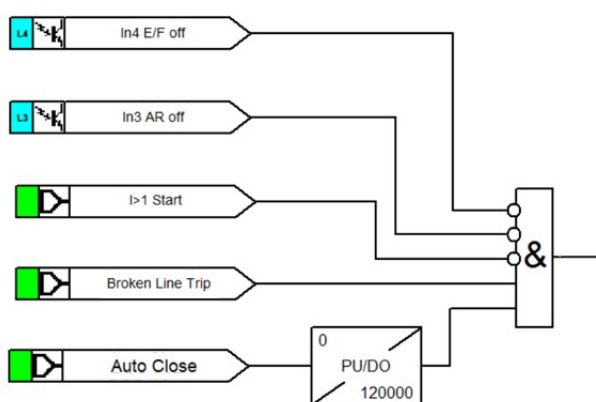
รูปที่ 6 ฟังก์ชัน Broken Conductor ของรีเลย์ผลิตภัณฑ์ Alstom/Schneider

สำหรับการตั้งค่าการทำงานของฟังก์ชัน Broken Conductor ในระบบ Single Grounded System ปกติจะมีอัตราส่วนกระแส  $I_2/I_1$  น้อยกว่าระบบ Multi-grounded System กรณีเกิดสายเคเบิลอากาศขาดจะมีอัตราส่วนกระแส  $I_2/I_1$  ตามตารางที่ 3 ดังนั้นบริษัทผู้ผลิตรีเลย์ เช่น Siemens และ Alstom แนะนำให้ตั้งค่าการทำงานของกระแส  $I_2/I_1 = 200\%$  ของค่า  $I_2/I_1$  ขณะจ่ายไฟปกติ โดยค่ากระแส  $I_2$  ต้องมีค่ามากกว่า 8% ของพิกัด CT และการตั้งเวลาการทำงานไว้ประมาณ 50 - 60 วินาที ตามรูปที่ 6 เพื่อให้ Overcurrent Protection ทำงานก่อนกรณีเกิดฟอลต์ที่มีความต้านทานต่ำ

ตารางที่ 3 อัตราส่วนกระแส  $I_2/I_1$

ประเภทความผิดปกติ	อัตราส่วน $I_2/I_1$
ฟอลต์สามเฟสสมดุล	0%
ฟอลต์เฟสหนึ่งขาดและลอย	50%
ฟอลต์สองเฟสขาดและลอย	100%
สายตัวนำขาดและตกลงพื้นด้านโหลด	25-50%

การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคจึงได้มีแนวคิดในการปรับปรุง Logic ใหม่ ดังรูปที่ 7 มีหลักการคือตรวจจ็กระแส Unbalance หลังจากเบรกเกอร์ปิดกลับทุกครั้ง โดยให้ฟังก์ชัน Broken Conductor ทำงานหลังจากที่รีเลย์ป้องกันสั่งทริปด้วยฟังก์ชัน Overcurrent Protection และรีเลย์สั่งปิดกลับภายใน 2 นาที (120,000 ms) เท่านั้น ส่วนกรณีที่ยังไม่มีการทำงานของ Overcurrent Protection และคำสั่งปิดกลับครั้งแรก แล้วมีเหตุการณ์ทำให้เกิดอัตราส่วนกระแส  $I_2/I_1$  เกินค่า Pickup รีเลย์ป้องกันฟังก์ชัน Broken Conductor จะต้องไม่ทำงาน และเพื่อป้องกันในกรณีที่ศูนย์สั่งการระบบไฟฟ้ามีการถ่ายเทโหลดจึงต้องมีสัญญาณ Auto-Reclose Cut Off และ Earth Fault Cut Off มาใช้ Block



รูปที่ 7 Logic สำหรับตรวจจ็สายอากาศขาดรูปแบบใหม่

## 5. สรุปผล

ในระยะสั้นการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคมีแผนการเปิดใช้ฟังก์ชัน Broken Conductor (46BC) ร่วมกับ Logic เพื่อตรวจจ็สายเคเบิลอากาศระบบจำหน่าย 22/33 kV ขาดในหลายๆ พื้นที่ที่มีความเสี่ยงแล้วประมาณ 100 สถานี (1,000 วงจร) สามารถตรวจจ็เหตุการณ์สายเคเบิลอากาศขาดได้ 5 เหตุการณ์ และไม่สามารถตรวจจ็ได้ 1 เหตุการณ์ จากการวิเคราะห์จาก Disturbance Record พบว่ากระแส  $I_2$  ไม่เกิน 8% ของพิกัด CT Rated (Ratio 600/1) ดังรูปที่ 8



รูปที่ 8 Disturbance Record เหตุการณ์สายเคเบิลอากาศขาดตกพื้นสถานีไฟฟ้านครพนมพัฒนา เมื่อค่ากระแส  $I_2$  มีค่าต่ำกว่า 8% ของพิกัด CT

จากผลการติดตั้งใช้งานจริง ในกรณีที่ไม่สามารถตรวจจ็สายขาดได้นั้น พบว่าค่ากระแส  $I_2$  มีค่าประมาณ 5.33% ของพิกัด CT ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการตั้งค่า  $\%I_2$  Threshold มีนัยสำคัญในใช้งาน Logic การตรวจจ็สายขาดรูปแบบใหม่นี้ และต้องคำนึงถึงความสามารถในการกำหนดค่าเริ่มต้นการทำงานค่ากระแส  $I_2$  ของรีเลย์แต่ละผลิตภัณฑ์

ในระยะยาวการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคมีแผนพิจารณาการทดลองติดตั้งใช้งาน High Impedance Fault (HIF) Relay ซึ่งการดำเนินการแก้ไขปรับปรุงที่ผ่านมายังไม่ได้ผลเป็นที่น่าพอใจ จำเป็นต้องศึกษาหาเทคโนโลยีใหม่ ๆ ที่เหมาะสมเพิ่มเติมอีก ซึ่งในขณะนี้ไม่มีรีเลย์ใช้สำหรับตรวจจ็ High Impedance Fault อยู่ 3 ผลิตภัณฑ์ ได้แก่ ผลิตภัณฑ์ ABB รุ่น REF550 REF615R REF620 ผลิตภัณฑ์ GE รุ่น F60 และผลิตภัณฑ์ SEL รุ่น SEL451, SEL-751 รวมทั้งการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคมีแผนที่จะพัฒนาทำชุดตรวจจ็ High Impedance Fault (HIF) ขึ้นมาใช้งานเองในอนาคต

## 6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Miguel LOURO, LABELEC/EDP, Portugal  
“Evaluation of Protection Approaches to Detect Broken Conductor in Distribution Network”
- [2] AREVA, 2001, “MICOM P14x Technical Manual”, 82-84
- [3] ABB, Revision N 2018, “615 series Technical Manual”, 578-583
- [4] NR Electric, 2017, “PCS-9611 Feeder Relay Instruction Manual”, 34-36
- [5] Ingeteam, UME\_INGEPAC\_MD\_eng Rev. I (06/18), “MULTIFUNCTION PROTECTION INGEpac EF-MD User Manual”, 84-86
- [6] ZIV grid automation, S.L. 2012, “Integrated Protection, Control & Metering IED Instructions Manual”, 3.9-2 – 3.9-4
- [7] Mychal Kislter, PPL Electric Utilities, Frank Heleniak and Tanvi Varshney, Schweitzer Engineering Laboratories, Inc “Practical Experience with High-Impedance Fault in Distribution Systems”