สำนักงานวิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

การลัดวงจรแบบอิมพีแดนซ์ค่าสูง

2.1 คุณลักษณะของการลัดวงจรแบบอิมพีแดนซ์ค่าสูง (High impedance fault)

ปัจจุบันระบบจำหน่ายของการไฟฟ้านครหลวง (กฟน.) มีการขยายวงจรมากขึ้น อันเนื่องมาจากการเพิ่มขึ้นของปริมาณความต้องการใช้ไฟฟ้า การส่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าโดยทั่วไป จะส่งผ่านสายอากาศ (overhead lines) และมีการจัดวงจรแบบเรเดียล การจำหน่ายไฟฟ้าด้วย ระบบสายอากาศนี้ มีโอกาสที่ระบบไฟฟ้าเกิดการลัดวงจรได้มากกว่าการส่งจ่ายโดยใช้สายใต้ดิน (underground cables) ทุกครั้งที่เกิดการลัดวงจรในระบบจะมีกระแสไฟฟ้าไหลในปริมาณที่สูง ผิดปกติ และถ้าไม่มีการป้องกันหรือกำจัดตำแหน่งที่เกิดการลัดวงจรออกจากระบบโดยเร็วที่สุด จะทำให้อุปกรณ์ไฟฟ้าที่ติดตั้งอยู่ในระบบ เช่น เครื่องกำเนิดไฟฟ้า หม้อแปลงไฟฟ้า สายไฟฟ้า เป็นต้น ได้รับความเสียหาย ดังนั้นจึงต้องมีอุปกรณ์ป้องกัน เช่น ฟิวส์หรือเซอร์คิตเบรกเกอร์ติดตั้งอยู่ในระบบไฟฟ้าด้วย

อย่างไรก็ตามการเกิดลัดวงจรในระบบจำหน่ายไฟฟ้าบางครั้งอาจมีลักษณะการเกิดลัดวงจรแบบอิมพีแดนซ์ค่าสูง ซึ่งมีลักษณะคือ ปริมาณกระแสไฟฟ้าลัดวงจรมีค่าต่ำ (บางครั้งอาจต่ำกว่ากระแสโหลด) ดังนั้นจึงไม่สามารถใช้ระบบป้องกันที่อาศัยหลักการตรวจจับปริมาณกระแสไฟฟ้าเกิน (overcurrent protection) กับการเกิดลัดวงจรลักษณะดังกล่าวนี้ได้ การเกิดลัดวงจรแบบอิมพีแดนซ์ค่าสูงนี้ไม่ได้ทำให้อุปกรณ์ที่ติดตั้งในระบบไฟฟ้าเกิดความเสียหาย แต่จะมีประเด็นในเรื่องความปลอดภัยต่อชีวิตและทรัพย์สินของประชาชน โดยทั่วไปการลัดวงจรแบบอิมพีแดนซ์ค่าสูงจะเกิดขึ้นเมื่อมีเหตุการณ์สายตัวนำขึงในอากาศขาดและตกลงสู่พื้น เช่น พื้นดิน พื้นหญ้า พื้นทราย พื้นคอนกรีต พื้นกรวด พื้นยางมะตอย เป็นต้น หรือสัมผัสกับวัตถุที่อยู่ใกล้เคียง เช่น ต้นไม้ ป้ายโฆษณา เป็นต้น ซึ่งมีค่าความต้านทานค่อนข้างสูง เป็นผลให้ปริมาณกระแสไฟฟ้าลัดวงจรมีค่าต่ำ ไม่เพียงพอที่จะทำให้อุปกรณ์ป้องกันกระแสเกิน เช่น ฟิวส์ หรือรีเลย์สามารถตรวจจับได้ และหากการเกิดลัดวงจรดังกล่าวมีอาร์กเกิดร่วมด้วยก็อาจเป็นสาเหตุให้เกิดเพลิงไหม้ได้ คุณลักษณะของการเกิดลัดวงจรแบบอิมพีแดนซ์ค่าสูง โดยทั่วไปจะมีลักษณะดังนี้

- กระแสไฟฟ้าลัดวงจรมีปริมาณต่ำซึ่งบางครั้งจะต่ำกว่ากระแสโหลด
- มีรูปแบบการเกิดแบบไม่แน่นอน (random)
- ประกอบด้วยฮาร์มอนิกและองค์ประกอบที่มีความถี่สูง
- มีผลกระทบต่อแรงดันไฟฟ้าน้อย คือ แรงดันไม่เปลี่ยนแปลงหรือเปลี่ยนแปลงน้อยมาก
- มีพฤติกรรมเป็นแบบไม่เชิงเส้นเนื่องจากผลของอาร์ก

หอสมุดกลาง สำนักงานวิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

- รูปแบบการเกิดขึ้นอยู่กับวัตถุที่สายสัมผัส
- มีความไม่สมมาตร (asymmetry)

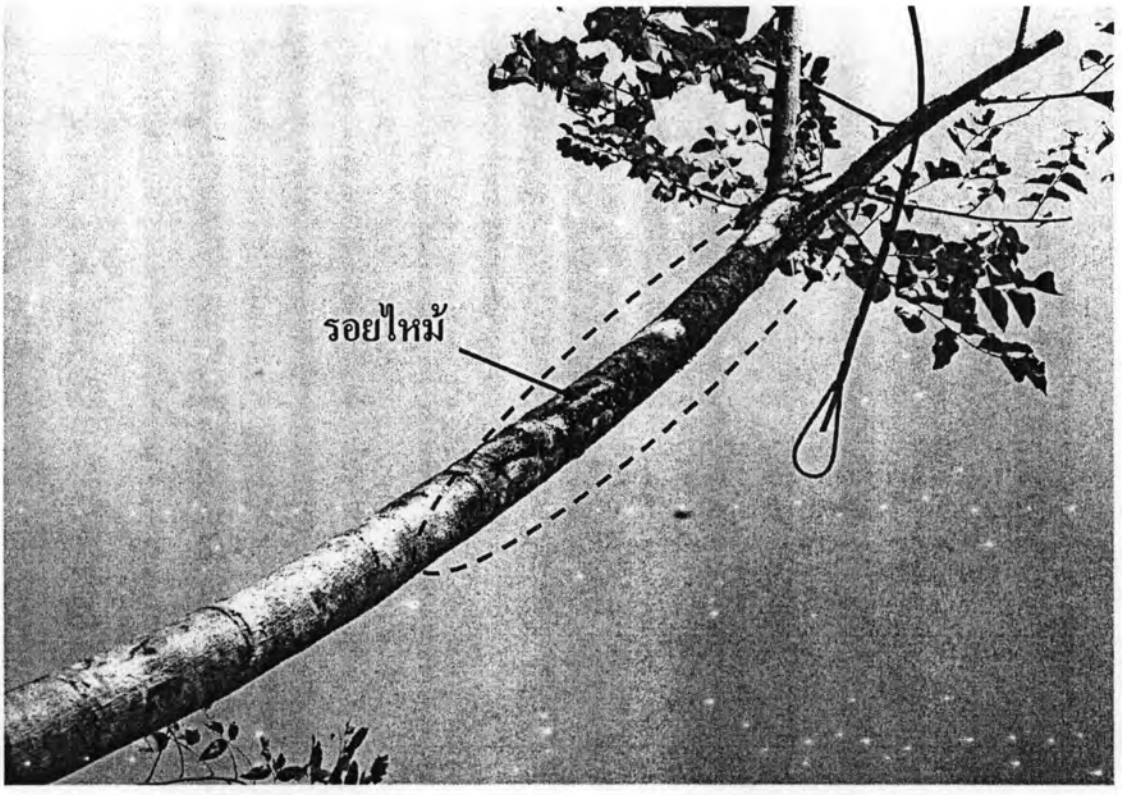
ถึงแม้ว่าการเกิดลัดวงจรแบบอิมพีแดนซ์ค่าสูงจะมีโอกาสเกิดขึ้นน้อยกว่าการเกิดลัดวงจรรูปแบบอื่นๆ (single line to ground, line to line, double line to ground, three phase fault) แต่การเกิดลัดวงจรแบบอิมพีแดนซ์ค่าสูงส่วนใหญ่ไม่สามารถตรวจจับได้ด้วยอุปกรณ์ป้องกันที่ใช้งานอยู่ในปัจจุบัน โดยผู้ดูแลด้านระบบป้องกันจะพิจารณาเงื่อนไขการทำงาน หรือปรับตั้งระบบป้องกัน จากรายงานสถิติการทำงานของเซอร์คิตเบรกเกอร์ในสายป้อน ซึ่งโดยปกติจะไม่มีการบันทึกเหตุการณ์สายตัวนำขาดตก (downed conductor) เนื่องจากไม่ได้เป็นสาเหตุให้เซอร์คิตเบรกเกอร์หรือฟิวส์ทำงาน ดังนั้นจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีการทดสอบหรือบันทึกสัญญาณทางไฟฟ้าสำหรับเหตุการณ์การเกิดลัดวงจรแบบอิมพีแดนซ์ค่าสูง เพื่อนำมาใช้เป็นข้อมูลในการทดสอบและประเมินคุณสมบัติของรีเลย์ที่มีความสามารถในการตรวจจับการเกิดลัดวงจรแบบอิมพีแดนซ์ค่าสูงที่จะนำมาติดตั้งใช้งานในระบบจำหน่ายของการไฟฟ้านครหลวงต่อไป

2.2 รูปแบบการเกิดลัดวงจรแบบอิมพีแดนซ์ค่าสูง

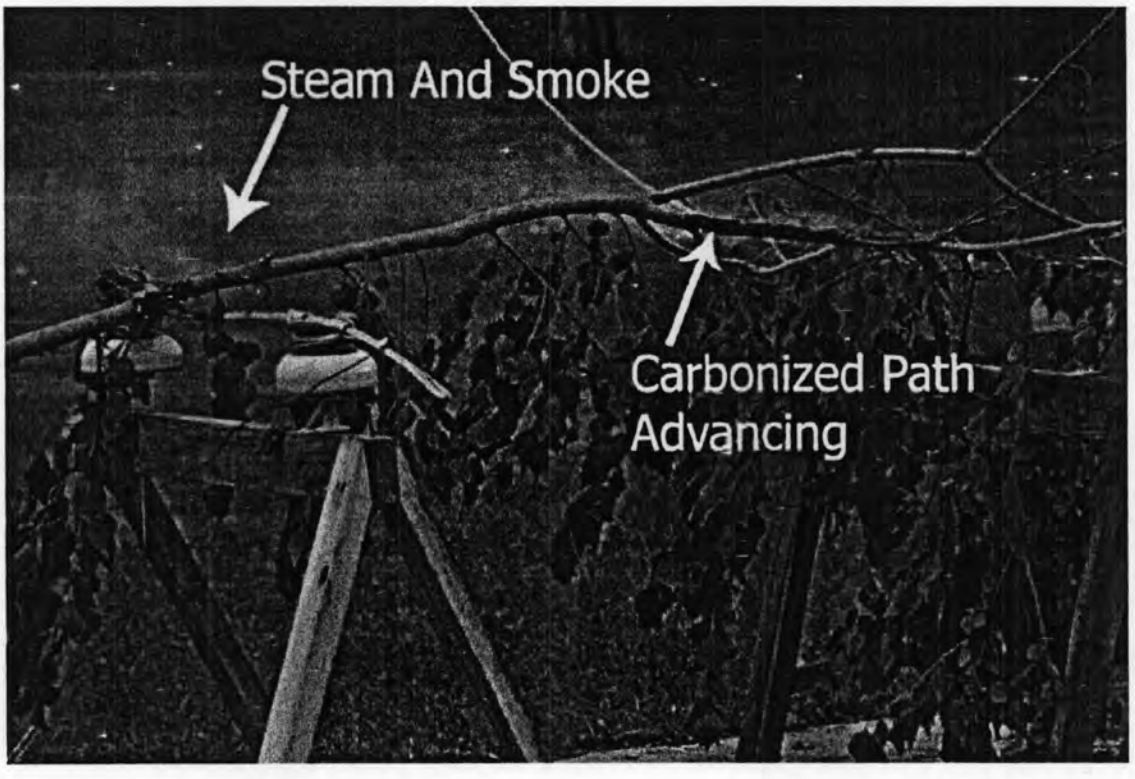
รูปแบบการเกิดความผิดพร่องในระบบจำหน่ายไฟฟ้าที่มีลักษณะแบบอิมพีแดนซ์ค่าสูงสามารถเกิดขึ้นได้หลายรูปแบบดังนี้

2.2.1 สายตัวนำไฟฟ้ามีการสัมผัสกับวัตถุอื่น (Intact conductor)

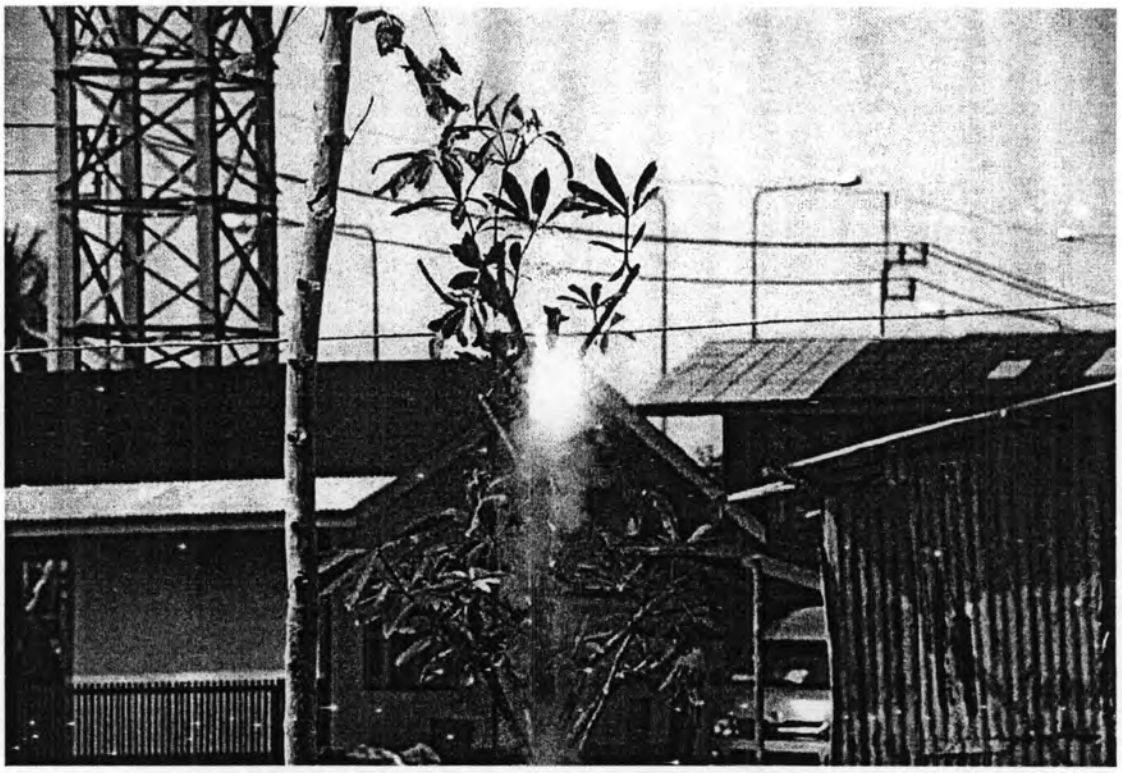
ต้นไม้ วัชพืชหรือสิ่งปลูกสร้างข้างเคียงกับแนวสายไฟฟ้าเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดความผิดพร่องในระบบไฟฟ้า เช่น กิ่งไม้หักตกลงบนสายตัวนำระหว่างเฟสหรือลมพัดทำให้กิ่งไม้สัมผัสสายตัวนำไฟฟ้า เป็นต้น



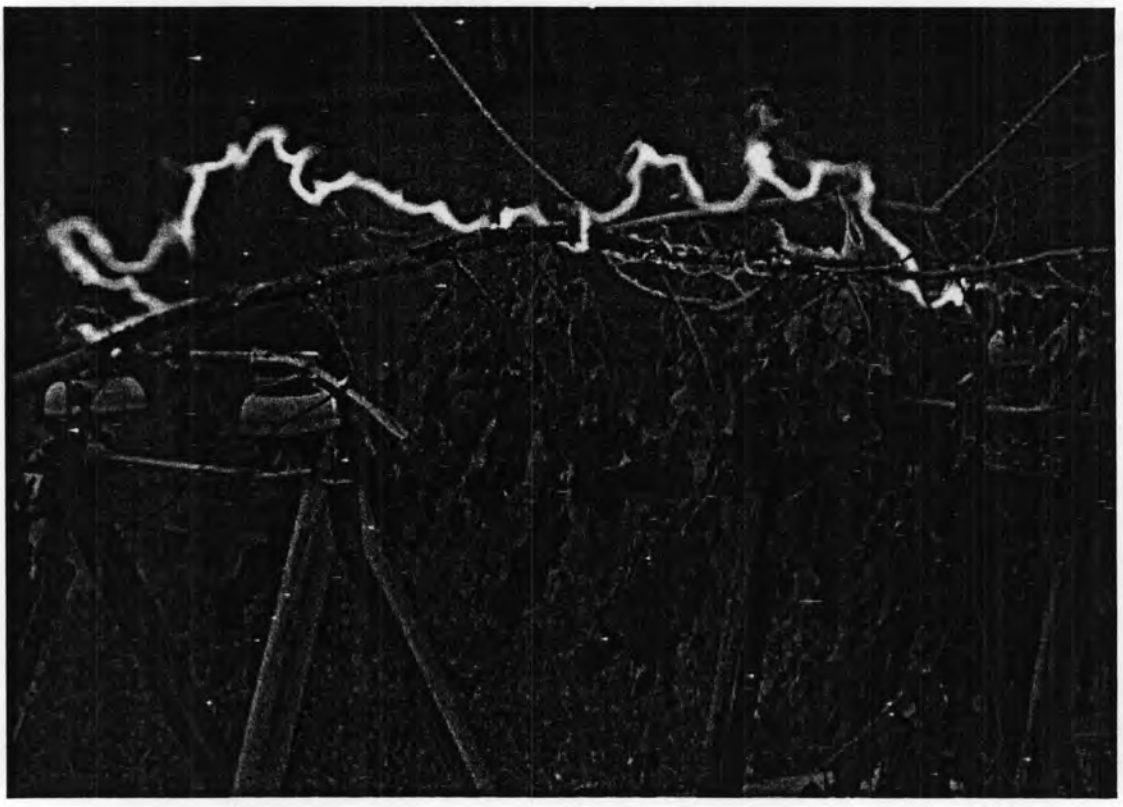
รูปที่ 2.1 ต้นไม้สัมผัสกับสายตัวนำไฟฟ้าทำให้เกิดรอยไหม้



รูปที่ 2.2 รอยไหม้จะเริ่มก่อตัวขึ้นจากจุดสัมผัสทั้ง 2 จุด [7]



รูปที่ 2.3 กระบวนการสร้างรอยไหม้ทำให้เกิดไอน้ำและควัน

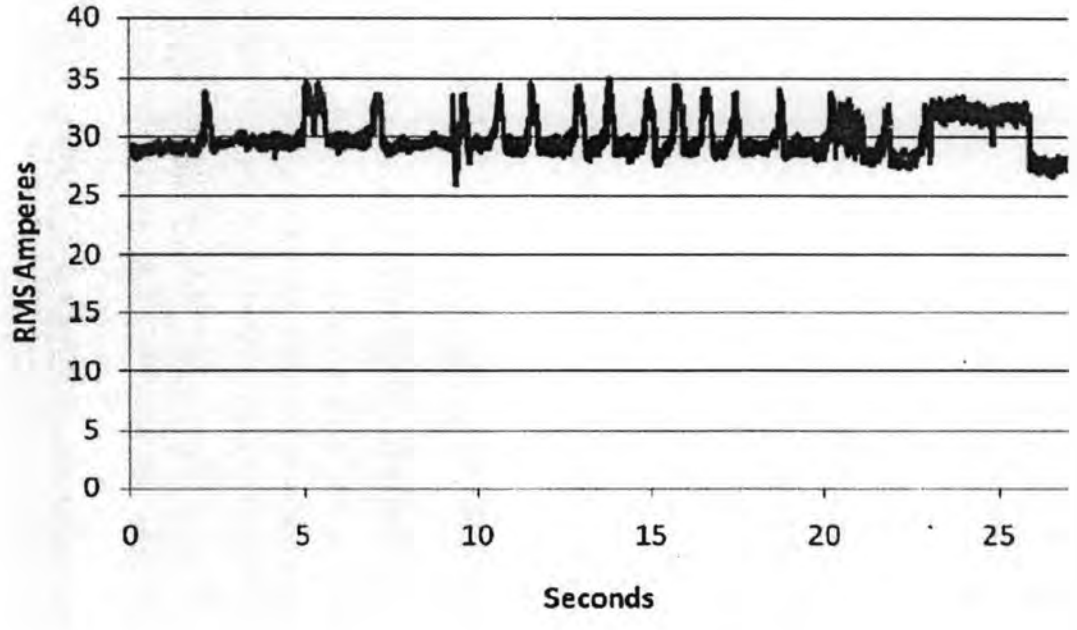


รูปที่ 2.4 เกิดอาร์กเมื่อรอยไหม้เชื่อมต่อกันสมบูรณ์ [7]

เมื่อกิ่งไม้หักตกลงบนสายตัวนำไฟฟ้า รอยไหม้จะเริ่มก่อตัวขึ้นจากจุดสัมผัสทั้งสอง ซึ่งการเกิดรอยไหม้นี้จะทำให้มีความนำไฟฟ้าเพิ่มขึ้น กระบวนการดังกล่าวจะเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องจนกระทั่งรอยไหม้มาบรรจบกัน ช่วงเวลานี้จึงเกิดเป็นเส้นทางอิมพีแดนซ์ค่าต่ำซึ่งจะมีผลทำให้ปริมาณกระแสไฟฟ้าไหลได้มากขึ้น

รูปที่ 2.1 รอยไหม้สามารถเริ่มก่อตัวได้จากจุดที่วัตถุสัมผัสสายตัวนำ โดยกระบวนการดังกล่าวจะเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง กระบวนการนี้เกิดขึ้นได้เมื่อกิ่งไม้มีความชื้นเพียงพอ ซึ่งในการทดสอบสรุปได้ว่า ในสภาวะที่กิ่งไม้แห้ง จะไม่สามารถทำให้เกิดรอยไหม้ได้แม้ว่ากิ่งไม้จะสัมผัสกับสายตัวนำไฟฟ้าเป็นเวลานานก็ตาม [7]

รูปที่ 2.2 รอยไหม้ที่เกิดขึ้นบนกิ่งไม้ที่พาดระหว่างสายเฟสและสายนิวทรัล รูปแบบการเกิดรอยไหม้นั้น สามารถเกิดขึ้นได้ทั้งบนพื้นผิวของกิ่งไม้ตามรูปที่ 2.2 หรือภายใต้เปลือกไม้ตามรูปที่ 2.3 สามารถสังเกตเห็นไอน้ำและควันเล็ดลอดออกมาจากรอยปริของเปลือกไม้อันเนื่องมาจากความชื้นในเนื้อไม้ถูกขจัดออกไป ในขณะเกิดกระบวนการดังกล่าวบนกิ่งไม้จะเป็นสภาวะอิมพีแดนซ์ค่าสูงซึ่งทำให้ปริมาณกระแสไฟฟ้ามีค่าต่ำ ความร้อนในการเผาไหม้และไอน้ำที่เกิดขึ้นขณะลัดวงจรนั้น อาจเกิดขึ้นได้ด้วยกระแสไฟฟ้าเพียงไม่กี่แอมแปร์ จนกระทั่งรอยไหม้มาบรรจบกัน มีผลทำให้สภาวะอิมพีแดนซ์ค่าสูงเปลี่ยนเป็นอิมพีแดนซ์ค่าต่ำและปริมาณกระแสไฟฟ้าจะมีค่าเพิ่มขึ้นดังรูปที่ 2.4



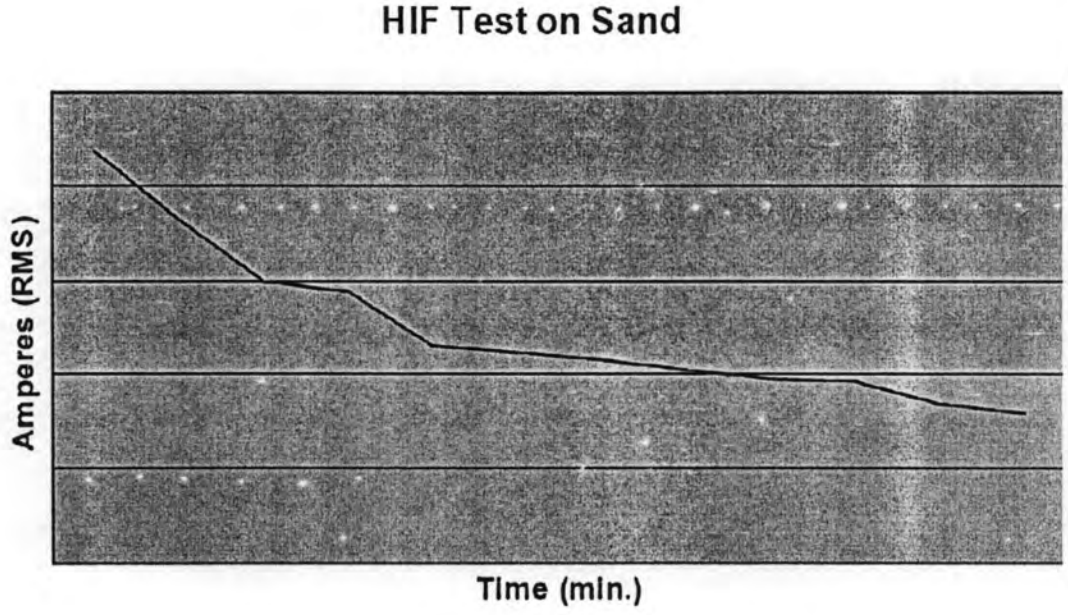
รูปที่ 2.5 ปริมาณกระแสไฟฟ้าเมื่อสายตัวนำสัมผัสต้นไม้ [7]

รูปที่ 2.5 ข้อมูลบันทึกปริมาณกระแสไฟฟ้าในช่วงเวลา 27 วินาที [7] ซึ่งพบว่ากระแสไฟฟ้าในช่วงเวลาก่อตัวของรอยไหม้มีปริมาณไม่มากพอที่จะทำให้ฟิวส์หรืออุปกรณ์ป้องกันทำงานได้

2.2.2 **สายตัวนำไฟฟ้าขาดสัมผัสพื้น** (Down conductor)

สาเหตุการเกิด สายตัวนำขาดสัมผัสพื้น ในระบบจำหน่ายไฟฟ้าส่วนใหญ่เกิดจากการเสื่อมสภาพของฉนวนไฟฟ้าหรือสายตัวนำสัมผัสกับวัตถุข้างเคียง เช่น ต้นไม้ ป้ายโฆษณาหรือโคมไฟถนน เป็นต้น สิ่งเหล่านี้ทำให้เกิดความเครียดทางไฟฟ้า ณ จุดที่สายสัมผัสจึงเกิด partial discharge (PD) และหากเกิดขึ้นเป็นเวลานานโดยไม่ได้รับการปรับปรุงแก้ไขก็จะพัฒนาไปสู่การเกิดอาร์กได้ โดยความร้อนจากการเกิดอาร์กทำให้สายตัวนำเกิดความเสียหาย

อาร์กเกิดขึ้นเนื่องจากมีช่องว่างอากาศ (air gap) อยู่ระหว่างจุดสัมผัสของสายตัวนำไฟฟ้าที่มีพลังงานจ่ายอยู่กับวัตถุที่มีศักย์เทียบเท่ากราวด์หรือมีช่องว่างอากาศเกิดขึ้นในเนื้อวัตถุที่สัมผัสกับสายตัวนำเองด้วย เช่น คอนกรีต ต้นไม้ เป็นต้น ช่องว่างอากาศนี้จะมีศักย์ไฟฟ้าตกคร่อมปริมาณสูงและเกิดอาร์กได้เมื่อช่องว่างดังกล่าวเกิดการเบรกดาวน์ โดยกระแสไฟฟ้าที่ไหลข้ามช่องว่างอากาศในช่วงที่เกิดอาร์กนั้นจะมีความไม่ต่อเนื่องและเปลี่ยนแปลงแบบไม่แน่นอน (random behaviour) ซึ่งเป็นผลเนื่องมาจากคุณสมบัติของวัตถุเปลี่ยนแปลงไปจากความร้อนที่เกิดจากอาร์ก ส่งผลให้ค่าความนำของวัตถุเปลี่ยนแปลง เช่น คุณลักษณะความนำไฟฟ้าของดิน (soil conducting characteristic) เมื่อได้รับความร้อนจากอาร์กทำให้ความชื้นในดินลดลง เป็นผลให้ค่าความต้านทานมากขึ้น ปริมาณการไหลของกระแสไฟฟ้าจึงลดลงด้วย หรือกรณีวัตถุที่สัมผัสสายตัวนำไฟฟ้าเป็นทราย ความร้อนที่เกิดจากอาร์กจะหลอมละลายทรายจนกลายเป็นแก้วซึ่งมีความเป็นฉนวนสูงทำให้กระแสไฟฟ้าไหลได้น้อยลง ส่งผลให้ระบบป้องกันไม่สามารถตรวจจับได้ [8] ดังรูปที่ 2.6 และ 2.7



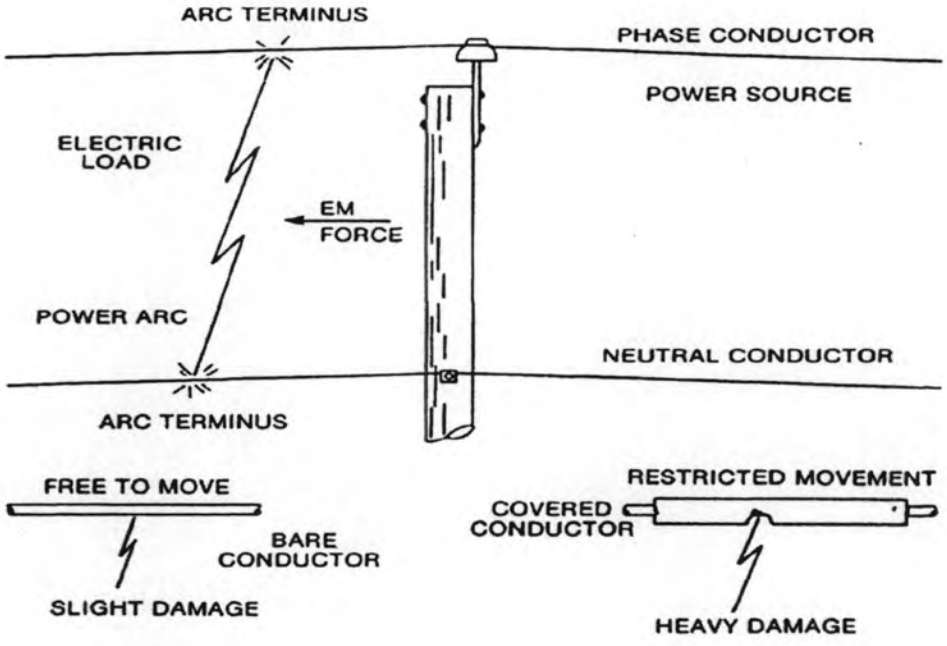
รูปที่ 2.6 รูปแบบการไหลของกระแสไฟฟ้าเมื่อเกิดเหตุการณ์สายตัวนำไฟฟ้าขาดสัมผัสพื้นทราย [8]

รูปที่ 2.7 ความร้อนจากการเกิดอาร์กทำให้ทรายหลอมละลายกลายเป็นแก้วซึ่งมีความเป็นฉนวนสูง

2.3 ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดอาร์กและสายตัวนำไฟฟ้าขาด [9]

2.3.1 สายตัวนำไฟฟ้าหุ้มฉนวน (Covered conductor)

การส่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าโดยใช้สายตัวนำไฟฟ้าหุ้มฉนวน (covered conductor) เมื่อฉนวนหุ้มสายเสื่อมสภาพและมีการลัดวงจรเกิดขึ้นในระบบไฟฟ้าเป็นผลทำให้อาร์กที่เกิดขึ้นไม่สามารถเคลื่อนที่ไปตลอดตามแนวสายไฟฟ้าได้ ทำให้เกิดความเครียดเฉพาะจุด ณ บริเวณที่ฉนวนเสื่อมสภาพ เป็นเหตุให้สายไฟฟ้าหุ้มฉนวนขาดได้เนื่องจากความร้อนที่เกิดขึ้นดังรูปที่ 2.8 และ 2.9



รูปที่ 2.8 การเคลื่อนที่ของอาร์ก [10]

รูปที่ 2.9 ฉนวนหุ้มสายไฟฟ้าเสื่อมสภาพ

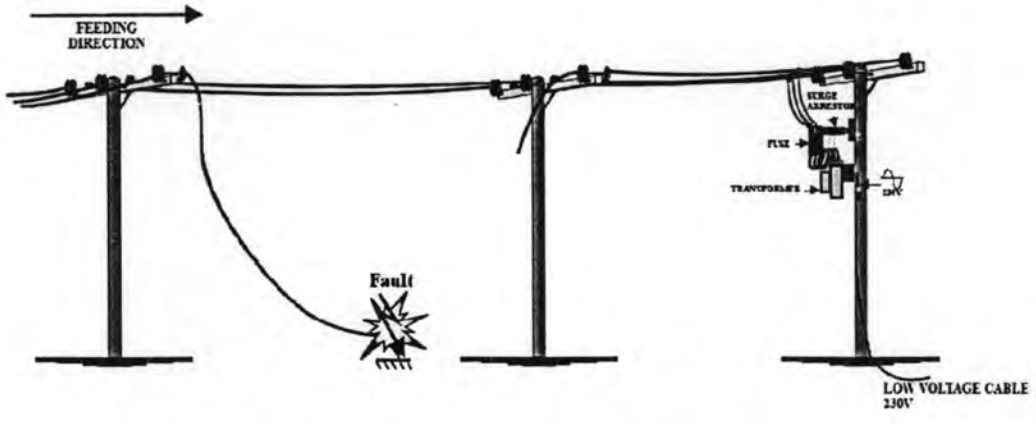
2.3.2 **สายตัวนำไฟฟ้าเปลือยขนาดเล็ก** (Small bare wire)

การใช้งานสายตัวนำไฟฟ้าขนาดเล็กจะมีความคงทนต่ออาร์กต่ำกว่าสายตัวนำไฟฟ้าขนาดใหญ่ โดยเฉพาะอย่างยิ่งสายตัวนำไฟฟ้าที่ใช้ในวงจรย่อยและไม่มีฟิวส์ป้องกัน

2.4 การจำแนกเหตุการณ์สายตัวนำไฟฟ้าขาด

เหตุการณ์ในกลุ่มนี้ จะหมายถึงตัวนำไฟฟ้าในสายป้อนตั้งแต่หนึ่งเส้นขึ้นไปมีการขาด หรือเปิดวงจรออก ซึ่งสามารถเป็นได้ทั้งเกิดสายขาดตามช่วงระหว่างเสาทั้งที่ขาดเพียงจุดเดียว หรือสองจุด ซึ่งปลายสายที่ขาดอาจมีการสัมผัสกับวัตถุต่าง ๆ เช่น พื้นดิน สายนิวทรัล ต้นไม้ หรือวัตถุอื่นที่เป็นทางผ่านลงดิน โดยเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นในเขตพื้นที่จำหน่ายของ กฟน.สามารถพิจารณาได้ 2 กรณี คือ

2.4.1 **สายตัวนำไฟฟ้าขาดสัมผัสพื้นด้านแหล่งจ่าย** (Down conductor on source side)



รูปที่ 2.10 สายตัวนำไฟฟ้าขาดสัมผัสพื้นด้านแหล่งจ่าย [11]

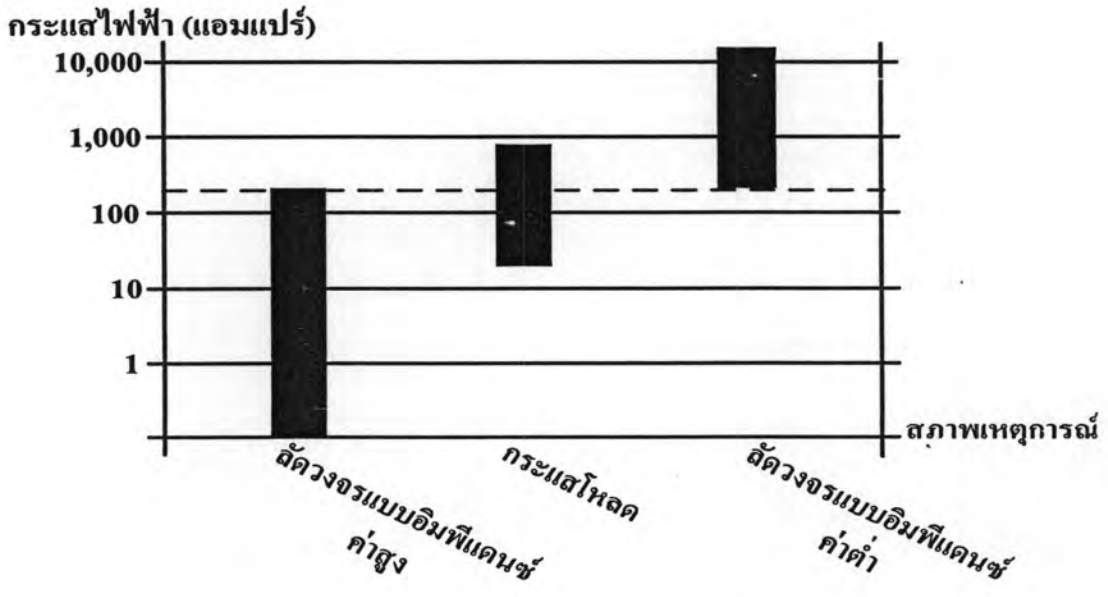
เมื่อสายตัวนำไฟฟ้าขาดและสัมผัสพื้น (down conductor) ปริมาณกระแสไฟฟ้าลัดวงจรจะถูกจำกัดไว้ด้วยอิมพีแดนซ์ของพื้นผิววัตถุที่สายตัวนำไฟฟ้าสัมผัส ค่ากระแสไฟฟ้าในขณะเกิดลัดวงจรแบบอิมพีแดนซ์ค่าสูง จะมีปริมาณตั้งแต่ศูนย์จนถึงระดับการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันกระแสเกิน ในการบันทึกค่ากระแสไฟฟ้าลัดวงจร[15] จะมีปริมาณอยู่ใน ช่วง 10 ถึง 50 แอมแปร์ และจากงานวิจัยพบว่าอิทธิพลที่มีผลต่อกระแสไฟฟ้าลัดวงจร ณ ตำแหน่งที่สายตัวนำไฟฟ้าตกลง คือ ชนิดของดิน ความชื้นดิน และวัตถุที่อยู่บริเวณพื้นดินนั้น เช่น ท่อน้ำ วัสดุโลหะ กิ่งไม้ หรือราก

ต้นไม้ ส่วนความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าลัดวงจรกับชนิดพื้นผิวที่สายสัมผัสจะแสดงใน ตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ปริมาณกระแสไฟฟ้าลัดวงจรที่เกิดขึ้นบนพื้นผิวที่มีลักษณะแตกต่างกัน [15]

ชนิดพื้นผิว	กระแสไฟฟ้าลัดวงจร (แอมแปร์)
ยางมะตอยแห้ง	0
คอนกรีตไม่เสริมเหล็ก	0
ทรายแห้ง	0
ทรายเปียก	15
ดินแห้ง	20
หญ้าแห้ง	25
ดินเปียก	40
หญ้าเปียก	50
คอนกรีตเสริมเหล็ก	75

ตารางที่ 2.1 สังเกตพบว่าปริมาณกระแสไฟฟ้าลัดวงจรมีปริมาณตั้งแต่ศูนย์ไปจนกระทั่งหลักสิบแอมแปร์ ซึ่งก็ยังเป็นปริมาณที่น้อยดังนั้นจึงเป็นสาเหตุที่ทำให้รีเลย์ป้องกันกระแสเกินหรือฟิวส์ไม่สามารถทำงานได้

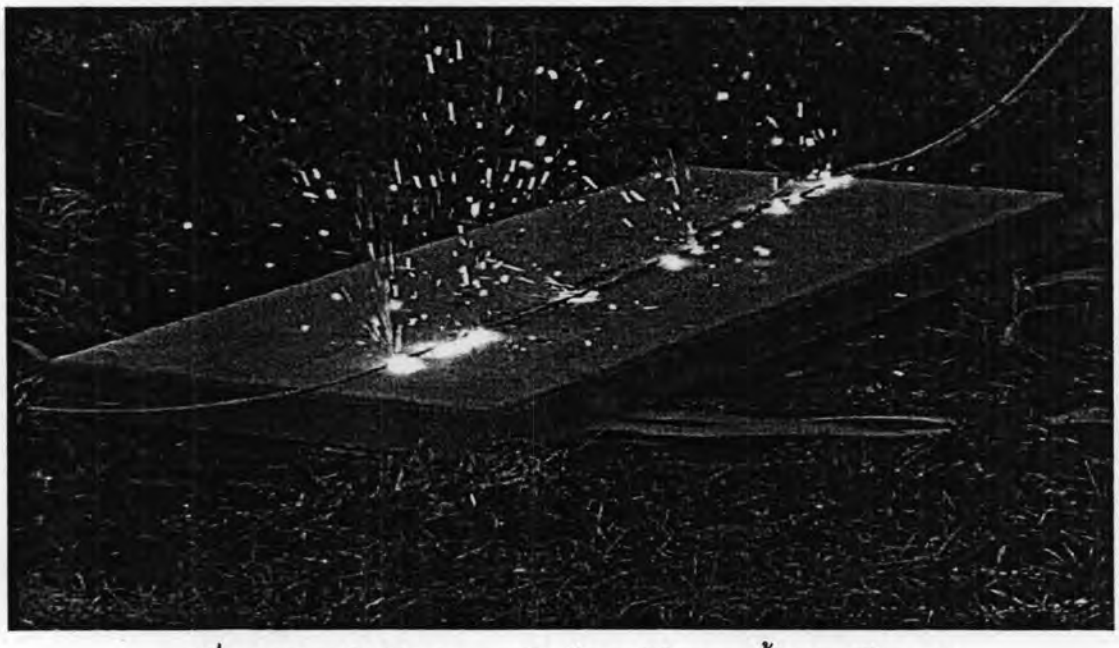


รูปที่ 2.11 ปริมาณกระแสไฟฟ้าของสภาพเหตุการณ์ต่างๆ ที่เกิดกับสายป้อนในระบบจำหน่าย[15]

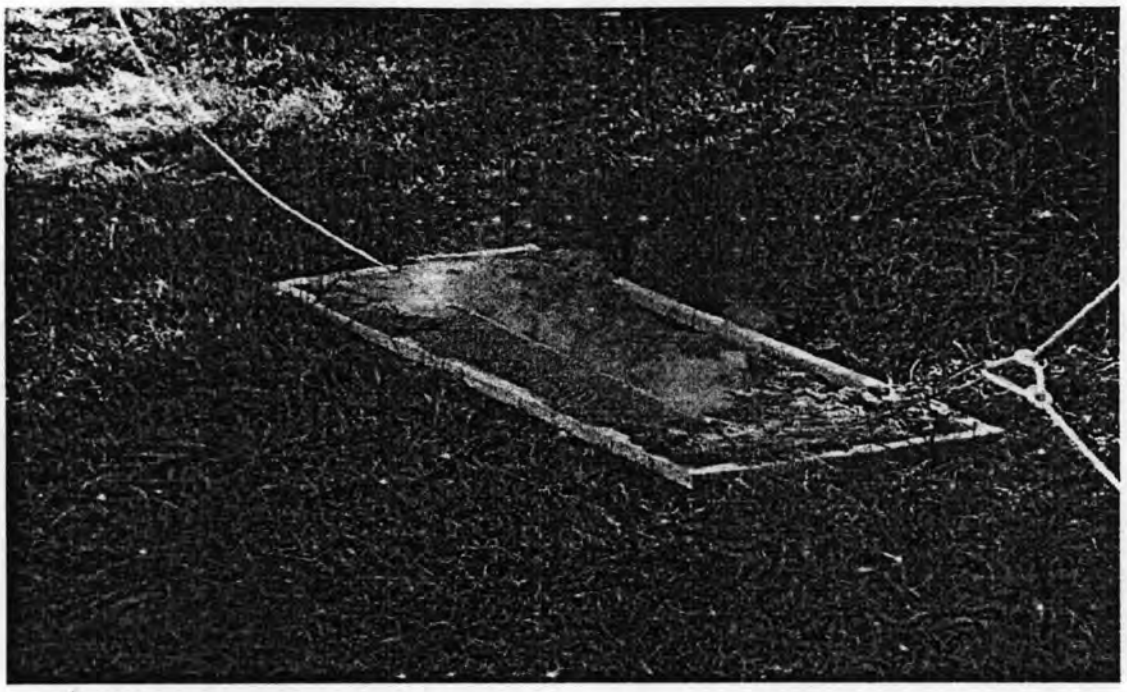
รูปที่ 2.11 แสดงระดับกระแสไฟฟ้าของสภาพเหตุการณ์ต่างๆ ที่เกิดกับสายป้อนในระบบจำหน่ายซึ่งมีการป้องกันระบบไฟฟ้าด้วยรีเลย์ป้องกันกระแสเกิน ส่วนใหญ่จะพบปัญหาการป้องกันในช่วงที่เกิดลัดวงจรกระแสไฟฟ้าค่าต่ำ เมื่อพิจารณาการทำงานของรีเลย์ที่สถานีย่อยสายป้อนจะได้รับการป้องกัน เมื่อกระแสไฟฟ้าลัดวงจรเกิดขึ้นที่ระดับเกินกว่าค่าปรับตั้งการทำงานของรีเลย์ โดยรีเลย์นี้จะมีข้อกำหนดคือ ค่าปรับตั้งกระแสไฟฟ้าเริ่มทำงานจะต้องมีค่าสูงกว่ากระแสโหลดสูงสุดของสายป้อน ดังนั้นเมื่อเกิดกระแสไฟฟ้าลัดวงจรในช่วงที่กระแสค่าต่ำกว่าค่าปรับตั้งการทำงานของรีเลย์ อุปกรณ์ป้องกันกระแสเกินทั่วไปจะไม่สามารถตรวจจับการเกิดลัดวงจรนั้น ๆ ได้ การลัดวงจรแบบอิมพีแดนซ์ค่าสูงที่เกิดขึ้นในสายป้อนจะมีค่าอยู่ในช่วงสถานะที่ไม่ได้รับการป้องกันหรืออยู่ในช่วงที่กระแสไฟฟ้ามีค่าต่ำกว่าค่าปรับตั้งการทำงานของรีเลย์

ส่วนข้อจำกัดอีกประการหนึ่งพบว่าเมื่อมีการพิจารณาการเพิ่มอุปกรณ์ป้องกันกระแสเกินด้านกราวด์ (รีเลย์กราวด์) เพื่อให้สามารถตรวจจับการเกิดลัดวงจรแบบอิมพีแดนซ์ค่าสูงได้นั้น ไม่สามารถบรรลุวัตถุประสงค์ดังกล่าวได้ เนื่องมาจากสายป้อนในระบบจำหน่ายจะมีโหลดกระจายอยู่ทั่วไปและเกิดปัญหาโหลดในระบบไม่สมดุลในปริมาณที่สูง ทำให้ไม่สามารถใช้การป้องกันกระแสเกินด้านกราวด์ที่มีความไวสูงมาก ๆ ได้ โดยทั่วไปแล้วรีเลย์กราวด์จะถูกปรับตั้งค่าการทำงานอยู่ในช่วง 30 ถึง 50 เปอร์เซนต์ของการปรับตั้งค่าการทำงานของรีเลย์เฟส ซึ่งเป็นปริมาณที่สูงกว่าการเกิดลัดวงจรแบบอิมพีแดนซ์ค่าสูงทำให้สายป้อนยังคงไม่ได้รับการป้องกัน

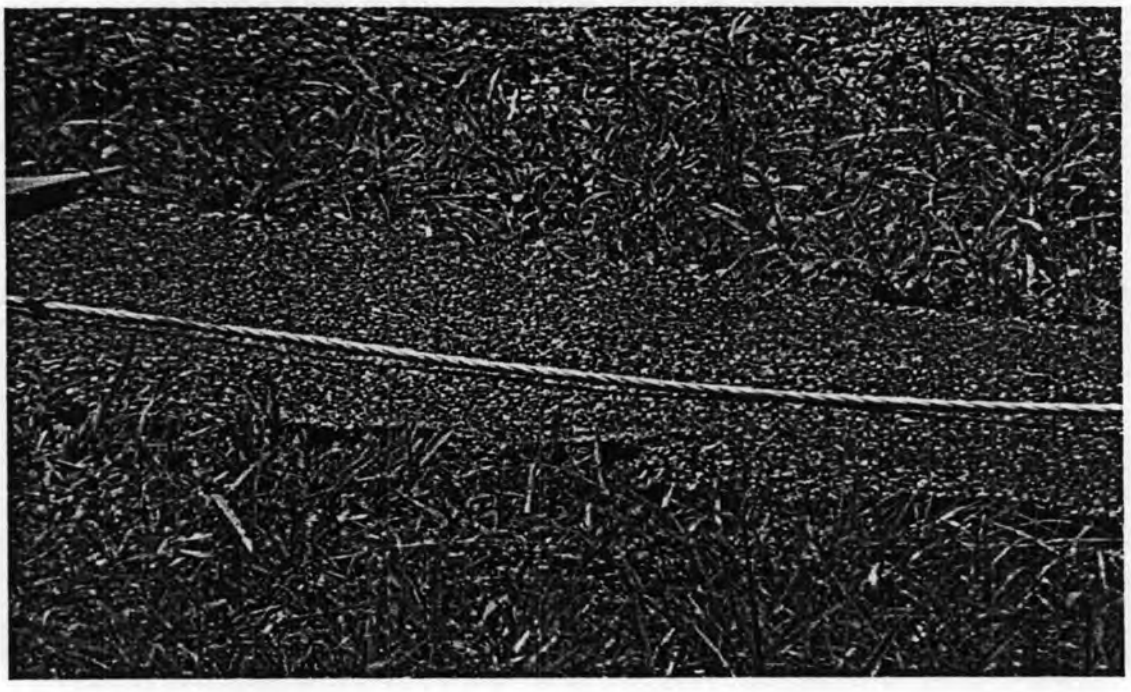
รูปที่ 2.12 - 2.14 การลัดวงจรแบบอิมพีแดนซ์ค่าสูงบนวัตถุชนิดต่างๆ ได้แก่ พื้นคอนกรีต พื้นทราย และพื้นยางมะตอย



รูปที่ 2.12 การเกิดลัดวงจรแบบอิมพีแดนซ์ค่าสูงบนพื้นคอนกรีต [12]

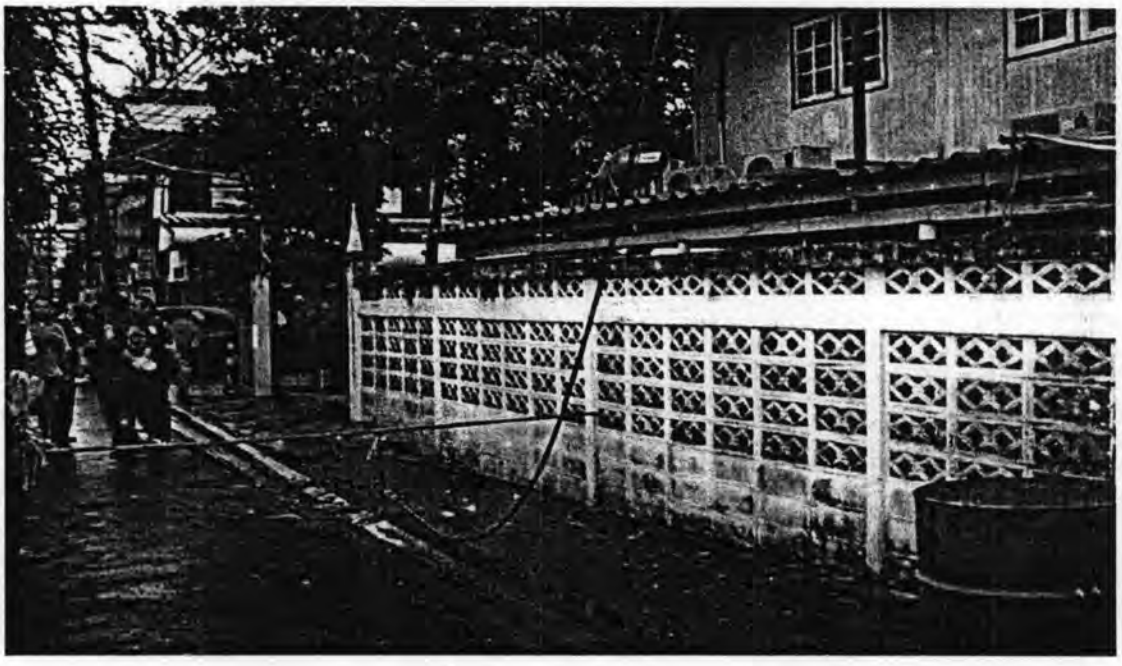


รูปที่ 2.13 การเกิดลัดวงจรแบบอิมพีแดนซ์ค่าสูงบนพื้นทราย [12]



รูปที่ 2.14 การเกิดลัดวงจรแบบอิมพีแดนซ์ค่าสูงบนพื้นยางมะตอย [12]

อาจกล่าวโดยสรุปได้ว่าปริมาณกระแสไฟฟ้าลัดวงจรที่เกิดจากเหตุการณ์ดังกล่าวนี้ไม่มีผลทำให้อุปกรณ์ไฟฟ้าที่ติดตั้งในระบบเกิดความเสียหายแต่มีประเด็นในเรื่องความปลอดภัยต่อชีวิตและทรัพย์สินของประชาชนที่สัญจรผ่านบริเวณดังกล่าว ตัวอย่างเช่น เหตุการณ์ที่เคยเกิดขึ้นในเขตพื้นที่จำหน่ายไฟฟ้าของ กฟน.ดังรูปที่ 2.15

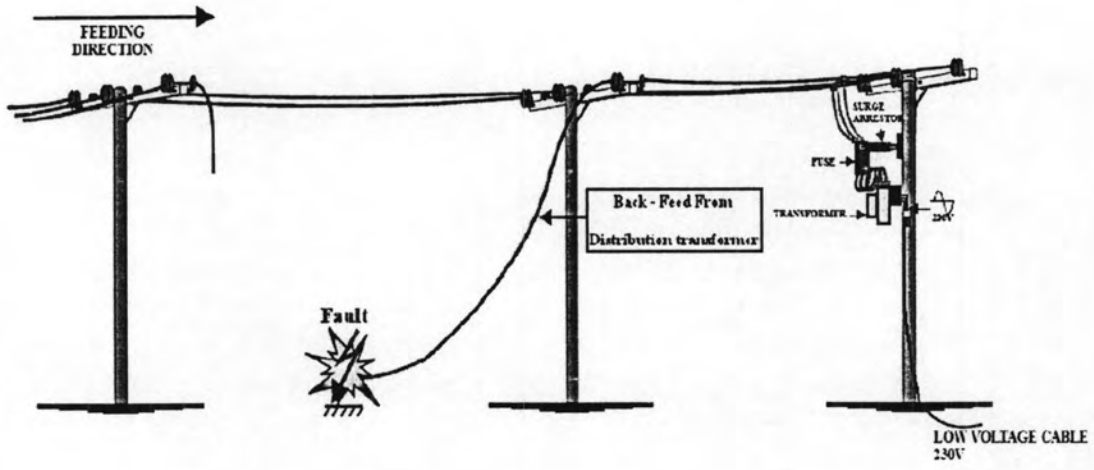


รูปที่ 2.15 สายไฟฟ้าขาดเป็นอันตรายต่อประชาชนที่สัญจรผ่าน

เมื่อสายตัวนำไฟฟ้าของสายป้อนในระบบจำหน่ายขาดอาจเกิดอันตรายขึ้นได้ เนื่องจากตัวนำไฟฟ้าที่มีการจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงอาจตกลงไปสัมผัสพื้นในลักษณะผ่านกับวัตถุหรือสิ่งต่าง ๆ ที่อยู่บนพื้นซึ่งเป็นการยากที่ระบบป้องกันที่สถานีย่อยจะตรวจจับได้ พฤติกรรมดังกล่าวจะมีปริมาณกระแสไฟฟ้าคล้ายคลึงกับสภาวะขณะระบบปกติมาก และบางกรณีไม่สามารถแยกแยะเหตุการณ์สายตัวนำไฟฟ้าขาดกับฟิวส์ของวงจรย่อย (lateral circuit) ขาดได้ ซึ่งต้องอาศัยการบันทึกรูปคลื่นเพื่อช่วยในการวิเคราะห์ร่วมด้วย เมื่อเกิดสายตัวนำไฟฟ้าขาดจะทำให้สูญเสียโหลดปลายทาง และเกิดโหลดไม่สมดุล แต่บางกรณีอาจเกิดสายตัวนำไฟฟ้าขาดและตกลงสัมผัสกับวัสดุที่มีศักย์เทียบเท่ากราวด์ ซึ่งในกรณีนี้จะมีข้อดีคือจะทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าเกินได้ แต่ถ้าเกิดการเปลี่ยนแปลงในลักษณะลัดวงจรแบบอิมพีแดนซ์ค่าสูง จำเป็นต้องใช้อุปกรณ์ตรวจจับที่มีความสามารถสูง (intelligent detector) แทน โดยต้องทำการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับสายป้อน

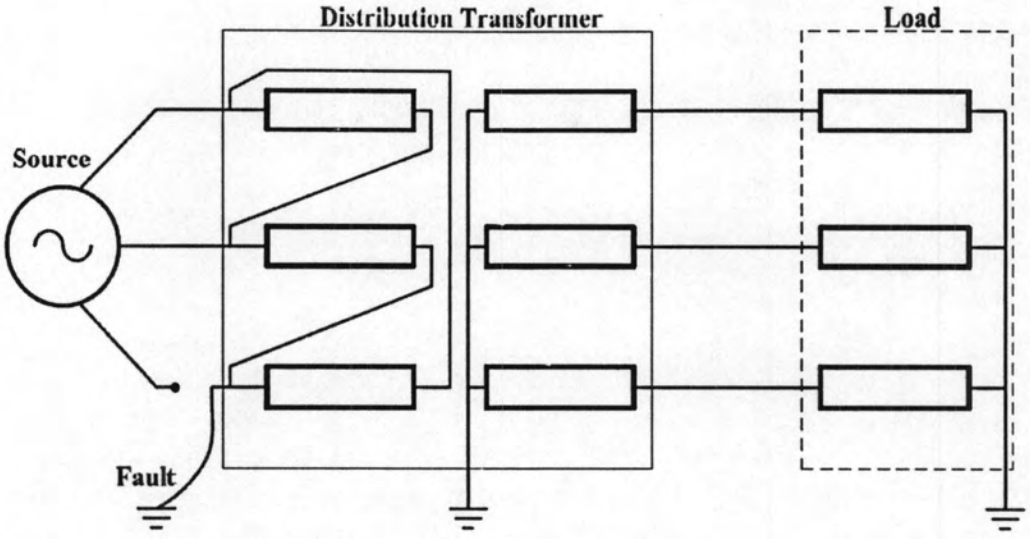
หลาย ๆ จุด คือ ตัวตรวจจับจะวัดความต่างศักย์ที่ตำแหน่งปลายสายป้อน แต่ยังไม่สามารถแยกแยะกรณีที่ฟิวส์ทำงานออกจากการเกิดลัดวงจรแบบอิมพีแดนซ์ค่าสูงได้

2.4.2 สายตัวนำไฟฟ้าขาดสัมผัสพื้นด้านโหลด (Down conductor on load side)



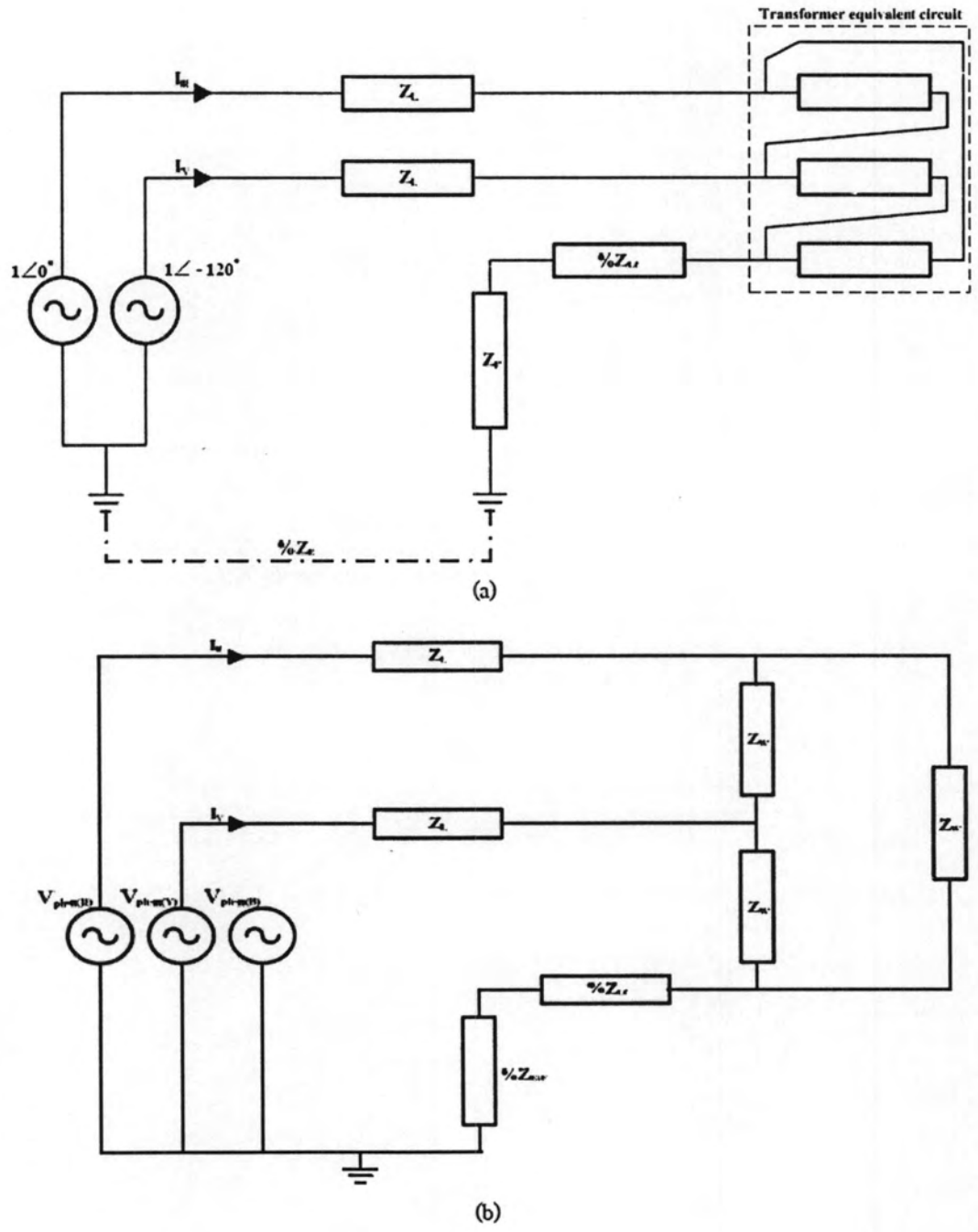
รูปที่ 2.16 สายตัวนำไฟฟ้าขาดสัมผัสพื้นด้านโหลด [11]

เมื่อเกิดเหตุการณ์สายตัวนำไฟฟ้าที่จ่ายพลังงานให้กับหม้อแปลงจำหน่ายเกิดขาด 1 เฟส และสายตัวนำดังกล่าวตกลงบนพื้นทางด้านหม้อแปลงจำหน่ายตามรูปที่ 2.16 สิ่งที่มีผลต่อปริมาณกระแสไฟฟ้าลัดวงจรจะมีอยู่ 2 สิ่ง คือ ปริมาณของโหลดที่ต่อทางด้านแรงดันไฟฟ้าต่ำของหม้อแปลงจำหน่าย (load impedance effects) และอิมพีแดนซ์ของวัตถุที่สายตัวนำสัมผัสรวมถึงค่าความต้านทานจำเพาะของดิน วงจรที่ใช้ในการพิจารณาดังรูปที่ 2.17 [5]



รูปที่ 2.17 ลักษณะวงจรเมื่อเกิดสายตัวนำไฟฟ้าขาดแล้วตกลงบนพื้นทางด้านโหลด [5]

กระแสไฟฟ้าลัดวงจรจะไหลผ่านอิมพีแดนซ์ของโหลดที่ส่งผ่านจากทางด้านแรงดันไฟฟ้าต่ำสู่แรงดันไฟฟ้าสูง (reflect load impedance) สมมติให้โหลดทางด้านแรงดันไฟฟ้าต่ำมีค่าเท่ากันทั้งสามเฟส (balance) และอิมพีแดนซ์ของสายไฟฟ้าทั้งสามเฟสมีค่าเท่ากันสามารถนำมาเขียนเป็นวงจรที่ใช้พิจารณาได้ดังรูปที่ 2.18 (a) – (b)



รูปที่ 2.18 วงจรที่ใช้ในการพิจารณากระแสไฟฟ้าลัดวงจรโดยมีผลของ load impedance effects

a) Reflect load impedance

b) Load impedance effects and extremely high soil resistivities[5]

เมื่อ

Z_L คือ อิมพีแดนซ์ของสายป้อน

Z_{Lf} คือ อิมพีแดนซ์ของสายป้อนจากหม้อแปลงจำหน่ายไปยังจุดที่สายไฟฟ้าสัมผัสพื้น

Z_{E+F} คือ อิมพีแดนซ์ของดินที่กระแสไฟฟ้าไหลกลับรวมกับอิมพีแดนซ์ของจุดที่สายไฟฟ้าสัมผัสพื้น

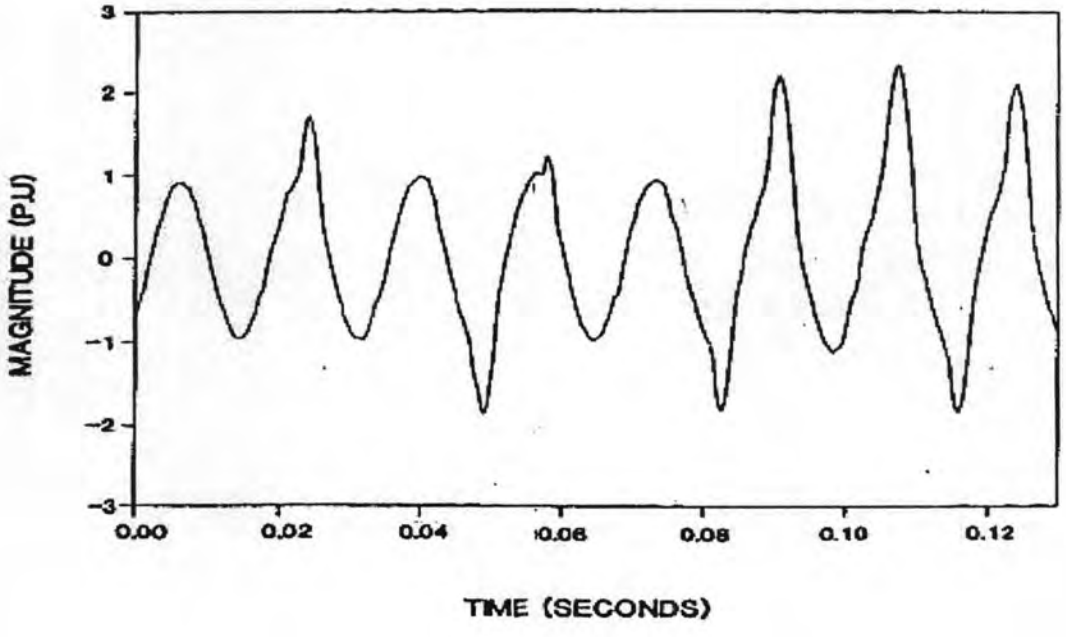
Z_{W} คือ อิมพีแดนซ์ของโหลดที่ส่งผ่านจากทางด้านแรงดันไฟฟ้าต่ำสู่แรงดันไฟฟ้าสูงของหม้อแปลงจำหน่าย

2.5 คุณลักษณะของอาร์ก

จากการศึกษาพบว่าจะมีอาร์กเกิดขึ้นเมื่อเกิดการลัดวงจรกรณีสายตัวนำไฟฟ้าขาด ขณะมีการจ่ายพลังงานให้แก่สายป้อน โดยเฉพาะสายป้อนที่ตกลงอยู่ใกล้กับพื้นที่มีระยะห่างระหว่างสายตัวนำกับพื้นต่ำ หรืออาจเป็นช่องว่างอากาศที่เกิดขึ้นในเนื้อของวัสดุเองที่ทำให้เกิดความต่างศักย์สูง ทำให้อากาศบริเวณช่องว่างนั้นเกิดการเสียสภาพฉับพลัน และส่งผลให้เกิดอาร์ก

2.5.1 คุณลักษณะของการลัดวงจรโดยมีอาร์กในโดเมนเวลา

คุณลักษณะในโดเมนเวลาของอาร์กจะมีอิทธิพลมาจากคุณลักษณะทางกล และทางกายภาพของการลัดวงจรนั้น โดยทั่วไปเมื่อตัวนำไฟฟ้าขาดตกลงพื้น จะเกิดการไหลของกระแสไฟฟ้าที่มีพฤติกรรมแบบไม่แน่นอนในอัตราการเปลี่ยนแปลงที่สูงและไม่สามารถคาดการณ์ขนาดของกระแสไฟฟ้าได้ว่าจะมีค่าเพิ่มขึ้นหรือลดลงเมื่อเวลาผ่านไป และเมื่อพิจารณาจากรูปคลื่นแรงดัน ไฟฟ้าจะมีการเปลี่ยนแปลงน้อย ยกเว้นกรณีที่การลัดวงจรนั้นมีปริมาณกระแสไฟฟ้าสูง ซึ่งตัวอย่างรูปคลื่นของกระแสไฟฟ้ากรณีเกิดการลัดวงจรแบบอิมพีแดนซ์ค่าสูงแสดงดังรูปที่ 2.19



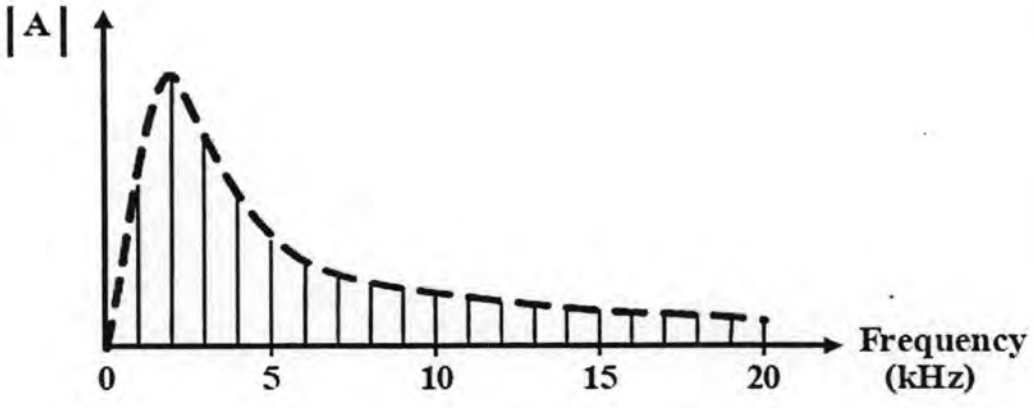
รูปที่ 2.19 ลักษณะกระแสไฟฟ้าลัดวงจรที่เกิดขึ้นเมื่อเกิดการลัดวงจรแบบอิมพีแดนซ์ค่าสูง [15]

หอสมุดกลาง สำนักงานวิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เมื่อเกิดอาร์กขึ้นพื้นดินโดยรอบจุดที่สายตัวนำขาดตก จะมีความร้อนสูง ความร้อนที่สูงนี้จะแผ่ขยายไปในพื้นดินและไปขจัดความชื้นในเนื้อดินให้กลายเป็นไอน้ำอย่างรวดเร็ว ไอน้ำที่เกิดขึ้นมีการขยายตัวทำให้ช่องว่างอากาศในดินที่อยู่บริเวณรอบตัวนำเกิดการเปลี่ยนคุณลักษณะเป็นเหตุให้ขนาดของกระแสไฟฟ้าลัดวงจรเมื่อเกิดอาร์กในช่วงเวลาถัดไปแตกต่างกับอาร์กในช่วงเวลาก่อนหน้า และความร้อนที่เกิดจากการอาร์กจะทำให้ทรายและซิลิกาในดินหลอมละลายได้ ดังนั้นดินบริเวณดังกล่าวจึงเปลี่ยนคุณลักษณะไป ส่งผลให้ขนาดของกระแสไฟฟ้าลัดวงจรมีการเปลี่ยนแปลงด้วย

2.5.2 คุณลักษณะของการลัดวงจรโดยมีอาร์กในโดเมนความถี่

กลไกการก่อตัวของอาร์กสามารถอธิบายด้วยโดเมนความถี่ ซึ่งนักวิจัยบางกลุ่มใช้สิ่งนี้ประกอบกับเทคนิควิธีการต่างๆ ในการสร้างอุปกรณ์ตรวจจับการลัดวงจร แต่เนื่องจากการลัดวงจรแบบมีอาร์กเป็นพฤติกรรมแบบไม่แน่นอน ซึ่งไม่สามารถที่จะหาสเปกตรัมความถี่สำหรับในทุกกรณีได้ แต่ก็สามารถช่วยในการวิเคราะห์ค่าโดยประมาณหรือในกรณีเฉพาะได้ ในโดเมนเวลา การลัดวงจรแบบมีอาร์กสามารถจำลองในรูปขบวนพัลส์แบบมีช่วงคาบ (train of periodic pulse) แต่อาจไม่ถูกต้องมากนักเนื่องจากอาร์กมีคุณลักษณะแบบไม่แน่นอน ส่วนการสร้างแบบจำลองเพื่อศึกษาในโดเมนความถี่โดยการแปลงฟูเรียร์ของพัลส์เพื่อให้อยู่ในรูป (sinx)/x จะได้องค์ประกอบความถี่ที่มีช่วงกว้าง ส่วนช่วงเวลาและขนาดของพัลส์แต่ละชุดอาจมีการเปลี่ยนแปลงแตกต่างกันไปในตัวนำแต่ละกลุ่ม ซึ่งเมื่อนำสเปกตรัมมาทำการเฉลี่ยในช่วงเวลาหลายวินาทีสามารถทำการสร้างความสัมพันธ์ในรูปความถี่ได้ ยกตัวอย่างดังรูปที่ 2.20 พบว่าในช่วงความถี่ประมาณ 2 กิโลเฮิรตซ์ จะมีการปล่อยพลังงานออกมามากที่สุด



รูปที่ 2.20 ตัวอย่างสเปกตรัมของการลัดวงจรแบบมีอาร์ก

ความถี่มูลฐานและความถี่ฮาร์มอนิก สามารถสังเกตองค์ประกอบของการลัดวงจรระหว่างฮาร์มอนิกตั้งแต่ความถี่ต่ำจนถึงความถี่สูงหลายสิบกิโลเฮิรตซ์ได้ จะพบว่าพลังงานจากการลัดวงจรจะอยู่ในช่วงความถี่มูลฐานและฮาร์มอนิก ส่วนองค์ประกอบที่อยู่ในช่วงที่ไม่ใช่ฮาร์มอนิกและองค์ประกอบความถี่สูงจะมีขนาดเล็กมาก

2.6 ชนิดของสายตัวนำไฟฟ้าในระบบจำหน่ายของ กฟน.

สายตัวนำไฟฟ้าที่ใช้ใน กฟน.ทำจากโลหะสองชนิดด้วยกันคืออลูมิเนียมและทองแดง การเลือกว่าจะใช้โลหะชนิดใดนั้น จะพิจารณาจากความเหมาะสมในการนำไปใช้งาน เนื่องจากโลหะทั้งสองชนิดนี้มีคุณสมบัติที่แตกต่างกันออกไป โดยอลูมิเนียมมีน้ำหนักเบาและราคาถูกกว่าทองแดงในขนาดพื้นที่หน้าตัดเดียวกัน แต่ทองแดงจะนำกระแสไฟฟ้าได้ดีกว่า ดังนั้นสายอลูมิเนียมจึงนิยมใช้เป็นสายตัวนำไฟฟ้าเดินในอากาศ ส่วนทองแดงใช้เป็นสายใต้ดิน

สายตัวนำไฟฟ้าเดินในอากาศแบ่งตามระบบแรงดันไฟฟ้าได้ดังนี้

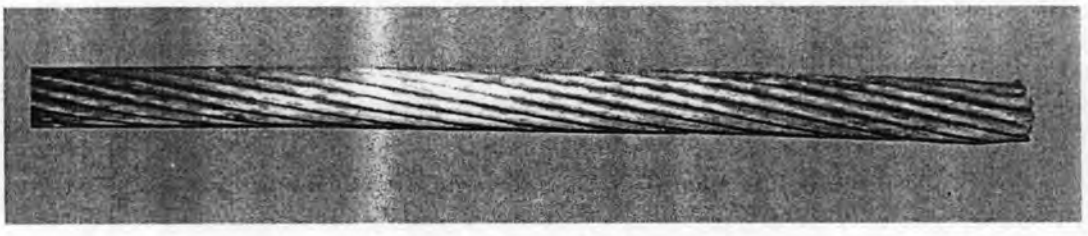
2.6.1 สายสำหรับระบบแรงดัน 69 และ 115 กิโลโวลต์

เป็นสายอลูมิเนียมเปลือย มีขนาดเดียวคือ ขนาดพื้นที่หน้าตัด 400 ตร.มม. มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 25.65 มม.

2.6.2 สายสำหรับระบบแรงดัน 12 และ 24 กิโลโวลต์

2.6.2.1 สายเปลือย

เป็นสายอลูมิเนียมชนิดตีเกลียว จำนวนเส้นจะขึ้นอยู่กับขนาดของสายไฟฟ้า มีรายละเอียดตามตารางที่ 2.2



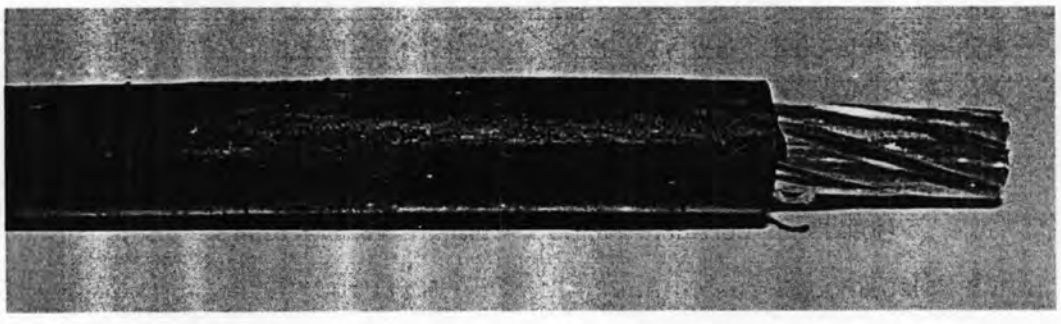
รูปที่ 2.21 สายอลูมิเนียมเปลือย

ตารางที่ 2.2 คุณสมบัติต่างๆ ของสายเปลือยในระบบแรงดัน 12 และ 24 กิโลโวลต์

ขนาด (ตร.มม.)	จำนวนแกน	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง(มม.)	ทนแรงดึงได้สูงสุด(ปอนด์)	ขนาดกระแสไฟฟ้า(แอมแปร์)	
				ภาวะปกติ	ภาวะฉุกเฉิน
35	7	7.5-8.0	1,290	170	205
70	19	10.5-11.6	2,656	270	320
120	19	13.8-14.3	4,365	390	470
185	37	16.7-18.7	6,800	515	620

2.6.2.2 สายหุ้มฉนวนบางส่วน (Partially insulated conductor)

เรียกชื่อย่อว่าสาย APC เป็นสายอลูมิเนียมชนิด compact หุ้มด้วยฉนวน cross linked polyethylene (XLPE) ความหนาของฉนวนมากกว่าความหนาของสายแรงต่ำเล็กน้อย การหุ้มนี้ก็เพื่อลดอันตรายเนื่องจากการสัมผัสสายไฟฟ้าโดยบังเอิญ ซึ่งใช้เวลาไม่นานนัก และยังช่วยลดการลัดวงจรลงดินในกรณีที่ติดตั้งใกล้ต้นไม้ เป็นการเพิ่มความเชื่อถือได้ของระบบ แต่ต้องระวังไม่ให้สายชนิดนี้เสียดสีหรือสัมผัสกับต้นไม้เป็นเวลานานๆ เพราะฉนวนของสายจะทนไม่ได้และจะเกิดกระแสรั่วลงดินในที่สุด และในทางปฏิบัติหรือในการก่อสร้าง ควรจะถือว่าสายชนิดนี้เป็นเสมือนสายเปลือย



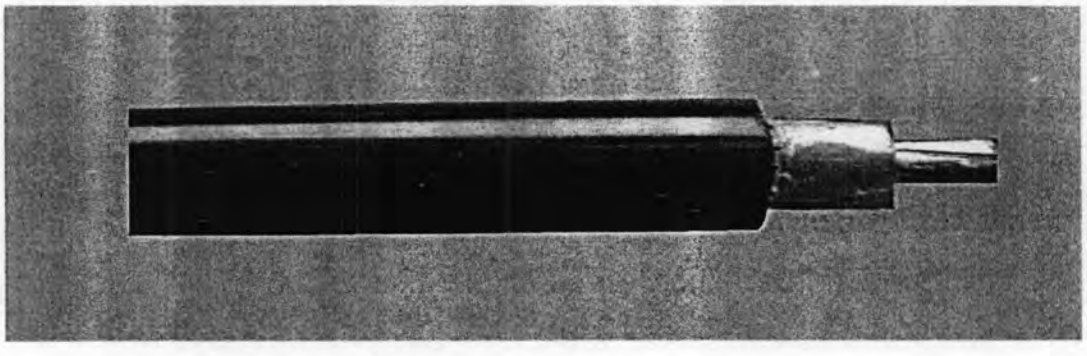
รูปที่ 2.22 สายไฟฟ้าหุ้มฉนวนบางส่วน

ตารางที่ 2.3 คุณสมบัติต่างๆ ของสายหุ้มฉนวนบางส่วนในระบบแรงดัน 12 และ 24 กิโลโวลต์

ขนาด (ตร.มม.)	จำนวนแกน (น้อยสุด)	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง(มม.)	ทนแรงดึงได้สูงสุด(ปอนด์)	ขนาดกระแสไฟฟ้า(แอมแปร์)	
				ภาวะปกติ	ภาวะฉุกเฉิน
35	7	11.32-12.06	1,290	172	205
70	7	14.53-15.43	2,656	260	311
185	30	21.22-22.54	6,800	488	584

2.6.2.3 **สาย** Spaced aerial cable

เรียกชื่อย่อว่าสาย ASC เป็นสายอลูมิเนียมชนิด compact หุ้มด้วยฉนวน cross linked polyethylene (XLPE) เช่นเดียวกับสายหุ้มฉนวนบางส่วน แต่ความหนาของฉนวนมากกว่าสายหุ้มฉนวนบางส่วนมาก (ความหนาของฉนวนประมาณเท่ากับสายชนิด fully insulated) แต่ไม่มี shield หุ้ม ดังนั้นจึงไม่สามารถกั้นสนามไฟฟ้าที่ออกจากตัวนำที่อยู่ภายในได้ สายชนิดนี้จึงไม่เหมาะสมที่จะใช้ในสถานที่ซึ่งต้องสัมผัสกับโลหะหรือสัมผัสวัตถุที่ต่อลงดินเป็นเวลานานๆ เพราะตรงจุดที่สัมผัสจะมีความเข้มของสนามไฟฟ้าสูง เป็นผลให้ฉนวนของสายไฟฟ้าบริเวณดังกล่าวเสียหายได้ ในการติดตั้งจึงจำเป็นต้องติดตั้งบนฉนวนไฟฟ้าอีกทีหนึ่ง ปกติจะใช้ฉนวนที่เรียกว่า spacer เป็นตัวรองรับ และ spacer นี้จะมีทั้งชนิดที่ทำด้วยเซรามิกและ polyethylene (PE) และสิ่งสำคัญอีกประการหนึ่งก็คือ สายชนิดนี้ไม่ได้ออกแบบให้รับแรงดึงได้สูงๆ (ค่าแรงดึงสูงสุดไม่ควรเกิน 300 ปอนด์) การติดตั้งจึงจำเป็นต้องติดตั้งบน spacer และมีสาย messenger เป็นตัวรับน้ำหนักอีกทีหนึ่ง



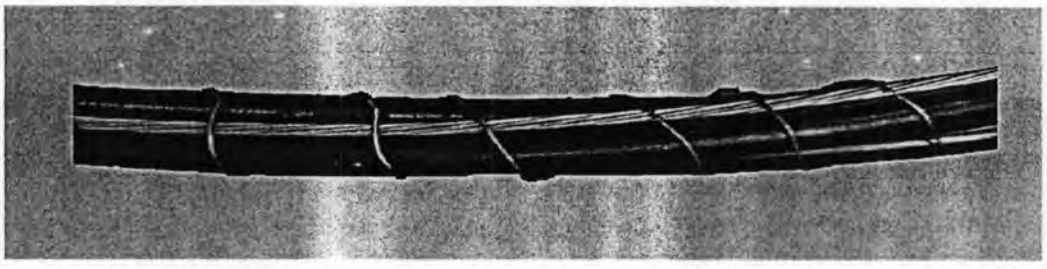
รูปที่ 2.23 สาย spaced aerial cable

ตารางที่ 2.4 คุณสมบัติต่างๆ ของสาย spaced aerial cable ในระบบแรงดัน 12 และ 24 กิโลโวลต์

ขนาด (ตร.มม.)	จำนวนแกน (น้อยสุด)	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง(มม.)	ทนแรงดึงได้สูงสุด(ปอนด์)	ขนาดกระแสไฟฟ้า(แอมแปร์)	
				ภาวะปกติ	ภาวะฉุกเฉิน
35	7	19.91-21.48	1,286	170	200
120	15	25.56-27.48	4,368	365	435
185	30	28.93-31.08	6,802	470	560

2.6.2.4 **สาย** Preassembly aerial cable

เรียกชื่อย่อว่าสาย AFC เป็นสายอลูมิเนียมหุ้มฉนวน cross linked polyethylene (XLPE) และมี shield ด้วยเช่นเดียวกับสายชนิดเดินใต้ดิน สายชนิดนี้จัดอยู่ในประเภท fully insulated สามารถสัมผัสได้โดยไม่เกิดอันตราย สายนี้จะทำสำเร็จรูปพร้อม messenger จากโรงงานผู้ผลิต สายทั้งสามเส้นและ messenger จะใช้เทปพันควบเข้าด้วยกัน ใช้งานในบริเวณที่ระยะห่างระหว่างสายไฟฟ้ากับสิ่งก่อสร้างน้อยกว่าที่กำหนด สำหรับการติดตั้งปลายสายชนิดนี้จำเป็นต้องมี cable terminator ด้วย



รูปที่ 2.24 สาย preassembly aerial cable

ตารางที่ 2.5 คุณสมบัติต่างๆ ของสาย preassembly aerial cable ในระบบแรงดัน 24 กิโลโวลต์

ขนาด (ตร.มม.)	จำนวนแกน (น้อยสุด)	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง(มม.)	ขนาดกระแสไฟฟ้า(แอมแปร์)	
			ภาวะปกติ	ภาวะฉุกเฉิน
240	34	30.5-33.4	430	508

2.7 ความยาวสายตัวนำในระบบจำหน่ายไฟฟ้าของการไฟฟ้านครหลวง

ตารางที่ 2.6 แสดงข้อมูลความยาวของสายตัวนำในระบบจำหน่ายไฟฟ้าของ กฟน. ซึ่งเป็นความยาวของตัวนำสายอากาศและสายใต้ดินในแต่ละเขตจำหน่ายไฟฟ้าของ กฟน.ทั้ง 18 เขต ในระดับแรงดัน 12 และ 24 กิโลโวลต์ รวมถึงระบบจำหน่ายแรงดันต่ำ จากตารางหากรวมความยาวของตัวนำไฟฟ้าระบบสายอากาศจะพบว่ามีความยาวถึง 13,913.23 วงจรกิโลเมตร หรือ 89% ของความยาวสายในระบบจำหน่ายไฟฟ้าทั้งหมดของ กฟน. ดังนั้นจึงมีโอกาสเกิดการลัดวงจรในระบบจำหน่ายค่อนข้างสูง

ตารางที่ 2.6 ความยาวของสายตัวนำในระบบจำหน่ายของ กฟน. สถานะถึงเดือนมกราคม 2552

ลำดับ	เขต	สายอากาศ (วงจรกิโลเมตร)			สายใต้ดิน (วงจรกิโลเมตร)		
		แรงดันต่ำ	12 kV	24 kV	แรงดันต่ำ	12 kV	24 kV
1	บางบัวทอง	2,311.23	7.17	1,321.23	5.73	0.00	42.55
2	บางเขน	1,671.84	308.23	630.05	0.84	40.79	43.55
3	บางกะปิ	1,166.19	129.67	539.85	10.35	20.21	101.10
4	บางพลี	1,632.56	0.64	1,579.51	0.00	0.00	46.82
5	บางขุนเทียน	1,834.01	594.10	262.41	0.29	63.17	26.10
6	บางใหญ่	1,566.69	87.94	520.54	1.52	11.00	57.95
7	คลองเตย	542.32	238.64	68.32	0.98	165.62	83.07
8	ลาดกระบัง	1,210.37	2.24	702.46	0.17	0.01	21.25
9	ลาดพร้าว	1,104.53	15.80	511.60	1.34	0.48	24.54
10	มีนบุรี	1,867.33	2.50	1,105.01	18.87	0.00	42.42
11	นนทบุรี	1,622.77	286.58	583.43	3.05	22.34	96.44
12	ประเวศ	1,117.63	16.88	723.49	21.13	0.00	52.40
13	ราษฎร์บูรณะ	2,083.78	1,090.50	139.49	0.00	77.61	7.71
14	สมุทรปราการ	1,432.71	107.65	956.98	0.00	27.76	67.82
15	สามเสน	1,012.33	331.40	199.98	2.16	57.22	66.81
16	ธนบุรี	1,237.33	282.09	181.29	0.02	29.63	17.33
17	วัดเลียบ	540.23	0.91	53.30	3.74	297.37	6.99
18	ยานนาวา	807.71	196.13	135.22	0.75	47.10	41.90
รวม		24,761.56	3,699.07	10,214.16	70.94	860.31	846.75

ตารางที่ 2.7 แสดงจำนวนครั้งการเกิดลัดวงจรจากสาเหตุต่างๆ ในเขตพื้นที่จำหน่ายไฟฟ้าของ กฟน.ทั้งที่ทราบสาเหตุและไม่ทราบสาเหตุ

ตารางที่ 2.7 สรุปสาเหตุการเกิดลัดวงจรในพื้นที่จำหน่ายไฟฟ้าของ กฟน.ปี 2001 -2007

Cause	No. of Outage						
	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Weather/Environment	92	215	188	86	36	131	175
Overhead Conductor	539	391	494	512	650	605	661
Tree	1279	1284	1142	951	1322	1290	1117
Animal	1226	1258	1419	1850	2398	2705	3213
Human	69	64	52	42	59	61	57
Vehicle ,Crane	171	134	134	143	110	137	133
Defective Other Equipment	182	124	132	125	168	168	201
Foreign Objects	75	55	48	54	79	54	76
Voltage Control Equipment	281	334	392	280	463	269	165
Protective Devices	1051	1129	1383	1536	2173	2322	2601
Underground Cable	10	19	19	21	22	36	23
Fire	128	121	125	104	118	118	171
Emergency Maintenance	266	251	225	240	278	226	232
Customer	594	661	726	457	700	652	811
Overload	6	2	5	4	-	7	6
Relay	-	-	-	-	-	4	-
Switching Device	157	132	130	134	144	117	130
Metering Equipment	74	51	73	53	88	97	102
Other Feeder/Substation	42	90	95	87	119	120	191
Total Known	6242	6315	6782	6679	8927	9219	9903
Total Unknown	3547	3965	5400	5290	5615	5977	6320
Grand Total	**9789**	**10280**	**12182**	**11969**	**14542**	**15196**	**16223**

จากข้อมูลการลัดวงจรในระบบจำหน่ายของ กฟน.พบว่า จำนวนครั้งการเกิดลัดวงจรมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นในแต่ละปี ทั้งนี้เนื่องมาจากมีการขยายตัวของระบบจำหน่ายไฟฟ้าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องในทุกปี ดังนั้นนอกจากการป้องกันสาเหตุต่างๆ ที่ทำให้เกิดการลัดวงจรดังตารางที่ 2.7 แล้ว กฟน.ยังต้องพิจารณาถึงประสิทธิภาพของระบบป้องกันการลัดวงจรด้วย ทั้งนี้ไม่เพียงแต่ป้องกันความเสียหายที่เกิดกับอุปกรณ์ที่ติดตั้งในระบบไฟฟ้า แต่ยังต้องรวมถึงการป้องกันอันตรายที่จะเกิดขึ้นต่อชีวิตและทรัพย์สินของประชาชนด้วย