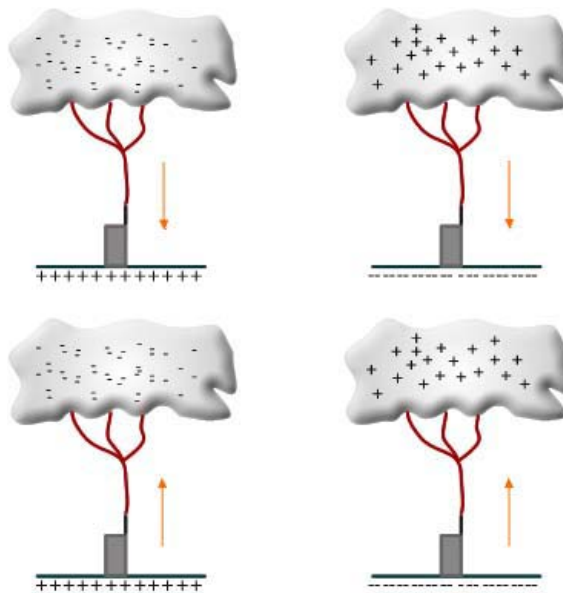


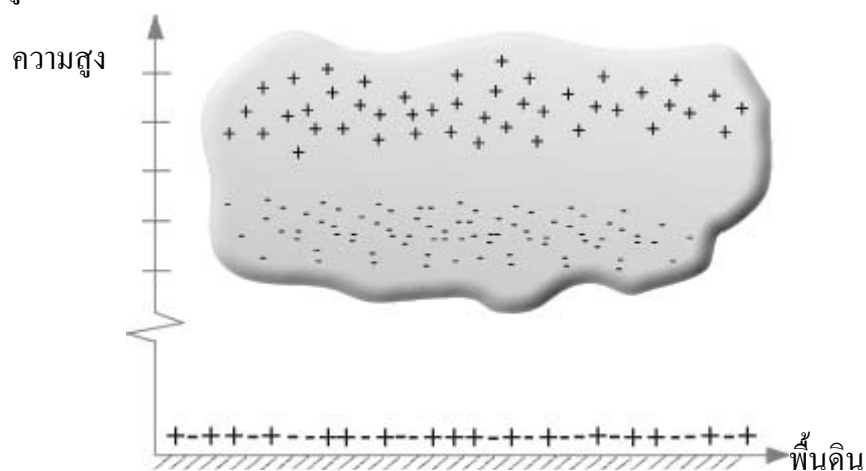
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ลักษณะการเกิดปรากฏการณ์ฟ้าผ่า



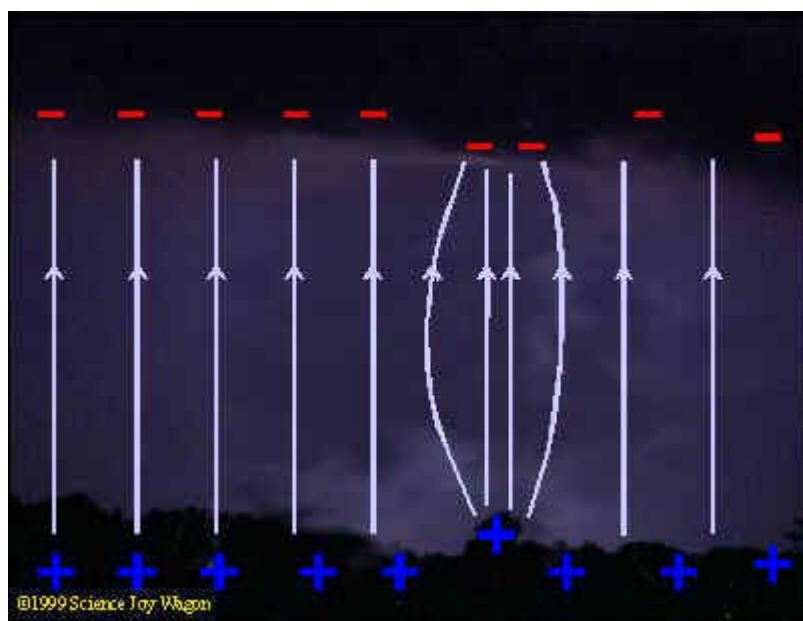
รูปที่ 2.1 ลักษณะการเกิดปรากฏการณ์ฟ้าผ่า

ปรากฏการณ์ฟ้าผ่า [7] ก็คือการถ่ายเทประจุไฟฟ้าจากก้อนเมฆลงสู่พื้นผิวโลก (หรือเป็นไปในทิศทางที่ตรงกันข้ามซึ่งมีโอกาสเกิดขึ้นน้อยกว่า 1 %) สำหรับลักษณะการสะสมประจุไฟฟ้าในก้อนเมฆ โดยส่วนบนของก้อนเมฆจะมีการสะสมประจุไฟฟ้าบวก และฐานล่างของก้อนเมฆจะสะสมประจุไฟฟ้าลบ ดังรูปที่ 2.2



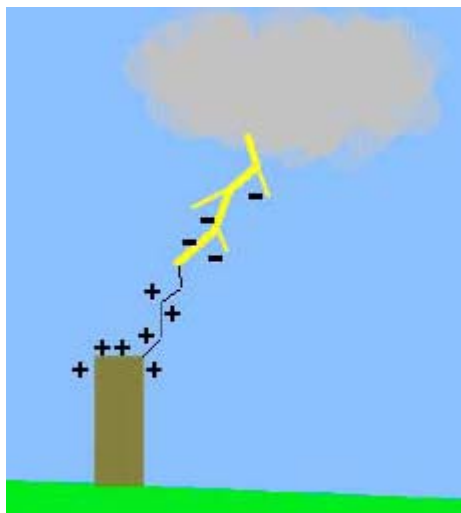
รูปที่ 2.2 ลักษณะการสะสมประจุไฟฟ้า

การเพิ่มขึ้นของประจุไฟฟ้าส่งผลให้สนามไฟฟ้า (Electric Field) ระหว่างก้อนเมฆกับพื้นผิวโลกมีความเข้มข้นที่สูงขึ้นด้วย โดยจะไปสอดคล้องกับทฤษฎีในเรื่องแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic) นั่นก็คือ จะก่อให้เกิดการสร้างประจุไฟฟ้าตามพื้นผิวดิน หรือผิวของโครงสร้างวัตถุต่างๆ ที่อยู่ระหว่างก้อนเมฆกับพื้นผิวโลก รูปที่ 2.3 ได้แสดงให้เห็นถึงการเกิดประจุไฟฟ้าตรงบริเวณส่วนยอด (ตรงมุมมากที่สุด) ของตึกสูงหรือเสารับ-ส่งสัญญาณ อันเป็นผลสืบเนื่องมาจากความเข้มข้นของสนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นระหว่างก้อนเมฆกับพื้นผิวโลก

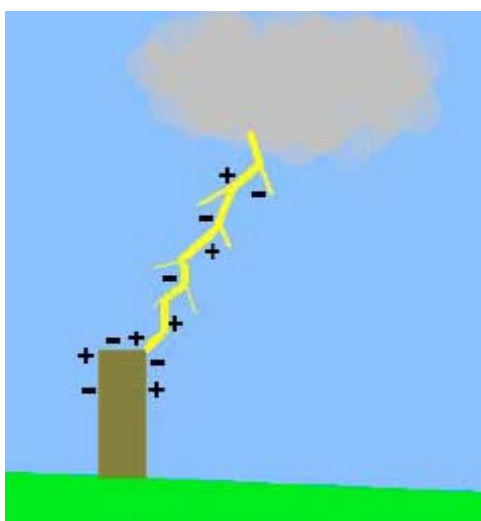


รูปที่ 2.3 ลักษณะการเกิดประจุไฟฟ้าตามพื้นผิวโลก

เมื่อระดับความเข้มข้นของสนามไฟฟ้าได้เพิ่มสูงขึ้น ซึ่งอยู่ในราว $10\text{kV} - 30\text{kV/ เมตร}$ จะก่อให้เกิดการไอโอไนเซชันในอากาศ ประจุไฟฟ้าจากก้อนเมฆจะถูกถ่ายเทลงตามเส้นทางนำลง หรือ Leader ดังรูปที่ 2.4 ประจุไฟฟ้าที่ถูกถ่ายเทลงตามเส้นทางนำลง จะเหนี่ยวนำให้ประจุไฟฟ้าตรงข้ามที่เกิดขึ้นตามพื้นผิวโลกให้เคลื่อนที่ขึ้นไปหาโดยจะเรียกว่าเส้นทางนำขึ้น หรือ Streamer เมื่อเส้นทางนำขึ้นกับเส้นทางนำลงมาระทบกัน จะก่อให้เกิดการถ่ายเทประจุไฟฟ้าจำนวนมากมหาศาลจากก้อนเมฆลงสู่พื้นผิวโลกหรือโครงสร้างวัตถุใดๆ เรียกเส้นทางการถ่ายเทประจุไฟฟ้าดังกล่าวนี้ว่า Return Stroke Current ตามรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.4 เกิดเส้นทางนำขึ้น



รูปที่ 2.5 การเกิด Return Stroke Current

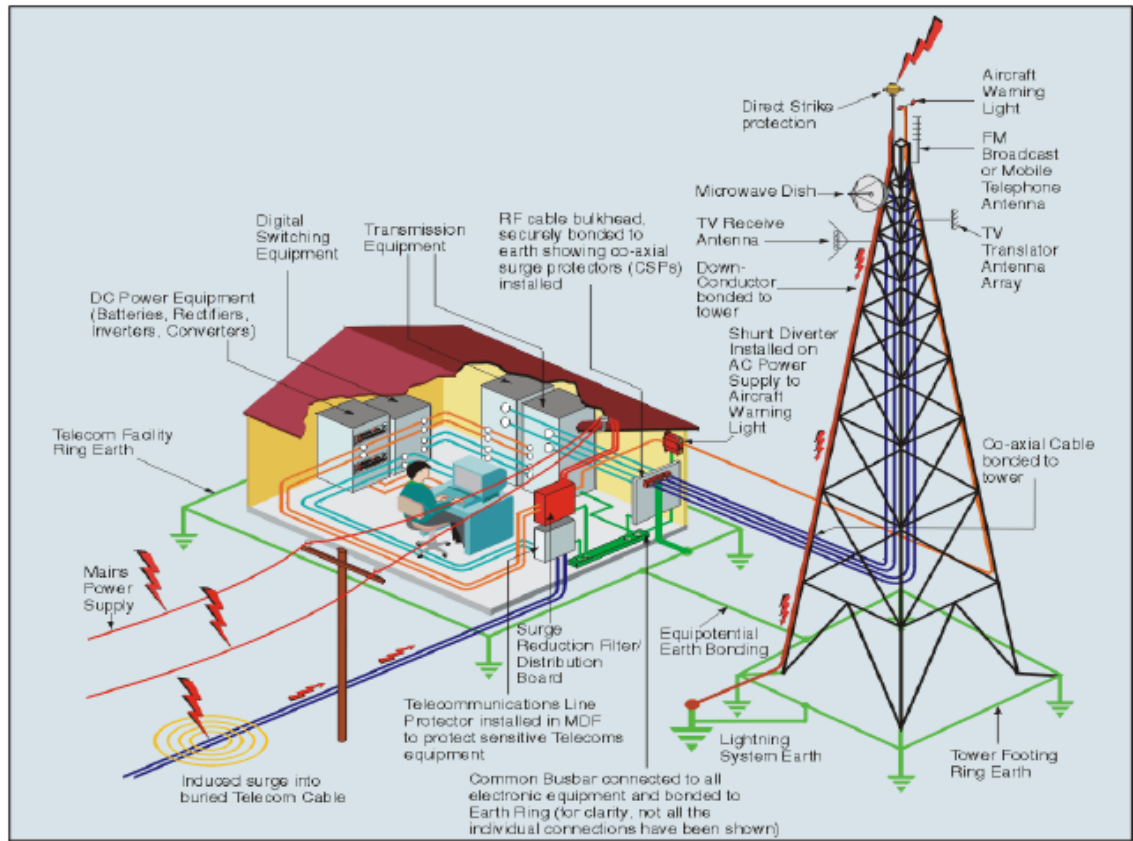
2.1.1 ผลกระทบทางตรง (Direct Lightning)

ผลกระทบทางตรง นั่นก็คือ ความเสียหาย ความสูญเสียที่เกิดจากกระแสฟ้าผ่าได้ผ่าลงมาโดยตรง ๆ เช่น ฟ้าผ่าต้นไม้ คน สัตว์และสิ่งของอื่น ๆ เป็นต้น

2.1.2 ผลกระทบทางอ้อม (Indirect Lightning)

ผลกระทบทางตรงจากปรากฏการณ์ฟ้าผ่าต่อระบบงาน กล่าวได้ว่า พบเจอน้อยมาก เพราะระบบงานแต่ละแห่งจะดำเนินการติดตั้งหัวล่อฟ้า เพื่อกำหนดจุดลงของกระแสฟ้าผ่าอย่างเหมาะสม ด้วยหน้าที่การทำงานของหัวล่อฟ้านำไปสู่ความเข้าใจในวงกว้างว่า เป็นแนวทางการป้องกันฟ้าผ่าที่

ครอบคลุมผลกระทบทั้งหมดแล้ว ซึ่งความเป็นจริงมิได้เป็นเช่นนั้นเลย เพราะปรากฏการณ์ฟ้าผ่ายังส่งผลกระทบในทางอ้อมอีกหลายรูปแบบ

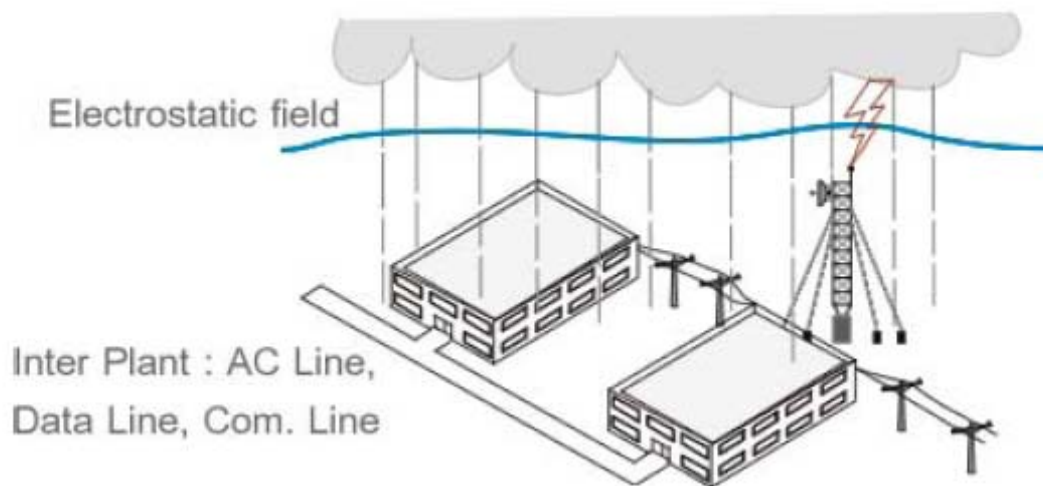


รูปที่ 2.6 แสดงลักษณะการเข้ามาของแรงดันเกินที่เกิดขึ้นในอาคารสำนักงานหรือโรงงานที่ตั้งอยู่ ณ บริเวณที่ใกล้เคียงกับจุดที่เกิดปรากฏการณ์ฟ้าผ่า

2.1.2.1 รูปแบบที่ 1 Atmospheric Transient

หากพิจารณาลักษณะภาพรวมของโครงสร้างระบบงาน ดังรูปที่ 2.6 ซึ่งประกอบด้วยสายตัวนำทางไฟฟ้า สัญญาณต่างๆ มากมายที่เชื่อมต่อระหว่างส่วนงาน (ตัวอาคาร) และเมื่อพิจารณาไปที่พฤติกรรมของปรากฏการณ์ฟ้าผ่า ซึ่งสามารถแยกพิจารณาได้ 2 ช่วงเวลา ได้แก่ ช่วงก่อนเกิดฟ้าผ่ากับช่วงเวลาเกิดฟ้าผ่า ในช่วงเวลาก่อนเกิดฟ้าผ่า บริเวณระบบงานจะเกิดสนามไฟฟ้าสถิตย์ (Electrostatic Field) สนามไฟฟ้าสถิตย์จะก่อให้เกิดแรงดันไฟกระชอกชั่วขณะขึ้นที่สายตัวนำ หรือตามโครงสร้างตัวนำไฟฟ้าต่างๆ สำหรับระบบงานที่ตั้งอยู่บนภูเขาสูง เช่น สถานีโทรทัศน์ หากสนามไฟฟ้าสถิตย์มีความเข้มข้นสูง(ปัจจัยทางด้านความชื้น) สามารถส่งผลให้เกิดศักย์ไฟฟ้าปรากฏขึ้นที่เสาส่งสัญญาณได้ ซึ่งเป็นอันตรายโดยตรงต่อเจ้าหน้าที่ที่เข้าไปสัมผัสกับโครงสร้างของเสา (เหตุการณ์ดังกล่าวนี้ผู้เขียน

ได้ประสบเจอมานี้ครั้ง เป็นช่วงเวลาก่อนเกิดฟ้าผ่าตามมาประมาณ 10-15 นาที ทำให้เจ้าหน้าที่ของ สถานีถูกศกย์ไฟฟ้าช็อตกระเด็นออกไปจากเสาสูง 1-2 เมตร)

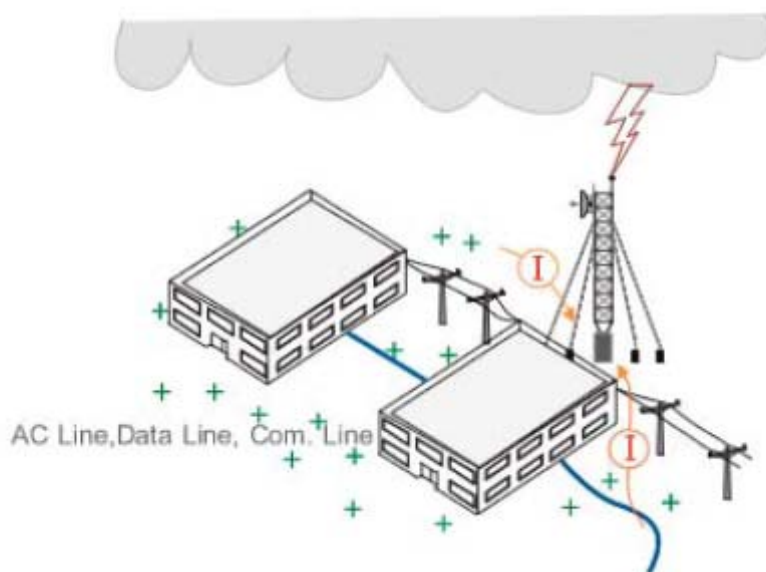


รูปที่ 2.7 โครงสร้างระบบงานอธิบายผลกระทบในรูปแบบ Atmospheric Transient

เมื่อเกิดฟ้าผ่าขึ้นในระบบงาน ซึ่งไม่มีความจำเป็นจะต้องผ่าลงที่สายตัวนำ ประจุไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในระบบงานจะมีการเดินทางไปตามผิวของสายตัวนำ ซึ่งประจุไฟฟ้าเหล่านี้มันจะไม่หายไปอย่างทันทีทันใด ตามการหายไปของลำแสงฟ้าผ่า ประจุไฟฟ้าจะเคลื่อนที่ไปตามผิวของสายตัวนำสู่เครื่องมือไฟฟ้า-อิเล็กทรอนิกส์ซึ่งต่ออยู่ที่ปลายสาย และนำไปสู่ความชำรุด ทำงานผิดปกติ เสียหายเกิดขึ้นกับเครื่องมือไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ ดังกล่าว

2.1.2.2 รูปแบบที่ 2 Earth Current Transient

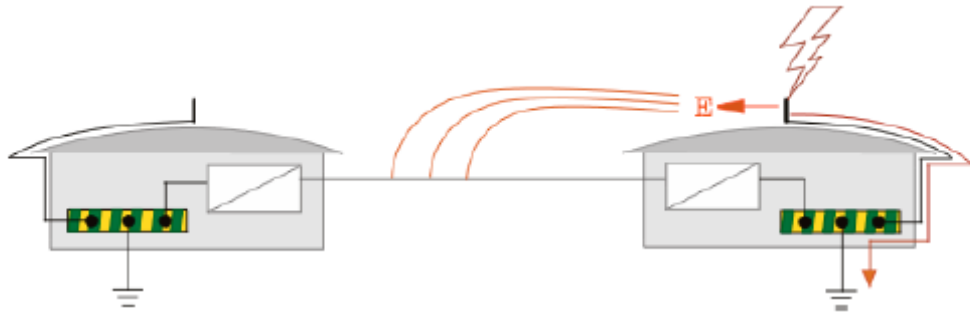
เมื่อกระแสฟ้าผ่ามาสิ้นสุดอยู่ที่พื้นดินหรือตัวระบบกราวด์ ดังรูปที่ 2.7 ณ จุดสิ้นสุดของกระแสฟ้าผ่าจะเป็นจุดที่มีความเข้มข้นของสนามไฟฟ้าสถิตย์สูงสุด ด้วยอิทธิพลจากความเข้มข้นของสนามไฟฟ้าสถิตย์ ณ จุดสิ้นสุดของกระแสฟ้าผ่า ส่งผลให้เกิดการเคลื่อนที่ของประจุไฟฟ้าตามพื้นผิวดินไปสู่จุดสิ้นสุดของกระแสฟ้าผ่า (หลักการทางงานเข้าใจมีลักษณะเดียวกับการเกิดปรากฏการณ์ฟ้าผ่าจากก้อนเมฆลงสู่พื้นผิวโลก) การเคลื่อนที่ของประจุไฟฟ้าดังกล่าว หากตัดผ่านสายตัวนำที่ฝังอยู่ใต้ดิน จะทำให้เกิดการคับเปิดเป็นแรงดันไฟกระชากชั่วขณะส่งผลให้มีไฟกระชากชั่วขณะไหลอยู่ตามผิวดินเป็นบริเวณโดยรอบ ซึ่งจะเรียกกระแสไฟกระชากชั่วขณะดังกล่าวนี้ว่า Earth Current Transient ดังรูปที่ 2.8



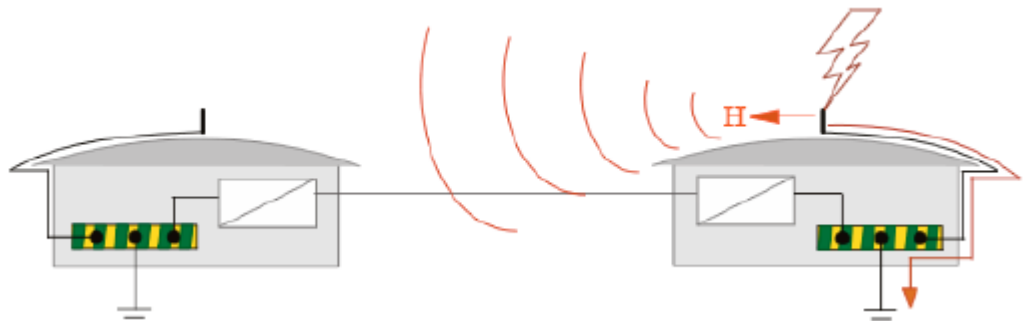
รูปที่ 2.8 โครงสร้างระบบงานอธิบายผลกระทบในรูปแบบ Earth Current Transient

2.1.2.3 รูปแบบที่ 3 Electromagnetic Pulse (EMP)

สาเหตุการแพร่กระจายของคลื่นหรือพัลส์ในลักษณะ Electromagnetic เกิดจากการเคลื่อนที่ของพลังงานจากแหล่งเข้มนทางประจุไฟฟ้าหนึ่งไปสู่แหล่งเข้มนทางประจุไฟฟ้าอีกแหล่งหนึ่ง กระแสไฟฟ้าก็เช่นเดียวกัน มันเป็นการเคลื่อนที่ของพลังงานจากก้อนเมฆสู่พื้นดิน หรือระหว่างก้อนเมฆด้วยกันเอง คลื่น Electromagnetic จะแพร่กระจายในทิศทางออกจากเส้นทางของกระแสไฟฟ้า (Return Stroke Current) เมื่อคลื่น Electromagnetic เคลื่อนที่ไปตัดกับผิวของตัวนำไฟฟ้า จะเกิดการคับเปิดเป็นแรงดันไฟกระชอกชั่วขณะปรากฏขึ้นที่สายตัวนำต่างๆ แล้วเกิดเป็นกระแสไฟกระชอกชั่วขณะไหลไปตามสายตัวนำสู่เครื่องมือไฟฟ้า-อิเล็กทรอนิกส์ที่ต่ออยู่ปลายสายตัวนำให้ได้รับความเสียหาย การพิจารณาการแพร่กระจายของคลื่น Electromagnetic สามารถแยกศึกษาได้ 2 ลักษณะ ได้แก่ การแพร่กระจายในลักษณะสนามไฟฟ้า หรือ Electric Field ดังรูปที่ 2.9 กับลักษณะสนามแม่เหล็ก หรือ Magnetic Field ดังรูปที่ 2.10 การแพร่กระจายทั้งสองลักษณะสามารถส่งผลกระทบไม่แตกต่างกัน ซึ่งจะเป็นไปตามที่ได้อธิบายผ่านมา



รูปที่ 2.9 การแพร่กระจายในลักษณะสนามไฟฟ้า



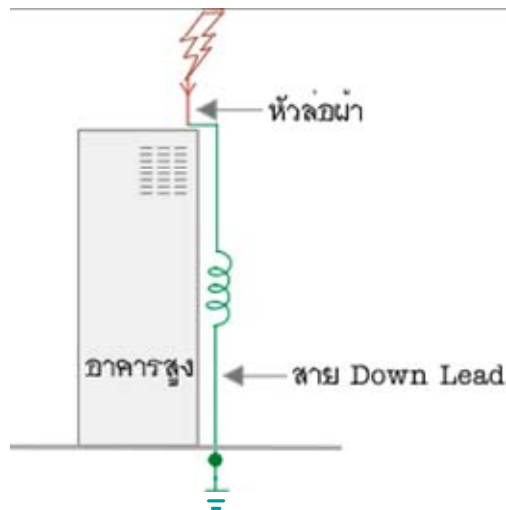
รูปที่ 2.10 การแพร่กระจายในลักษณะสนามแม่เหล็ก

2.1.2.4 รูปแบบที่ 4 Building Potential Rise

โดยธรรมชาติของสายตัวนำต่างๆ (สายตัวนำลงดินหรือ Down Lead) หรือสิ่งก่อสร้างที่มีโครงสร้างเป็นตัวนำทางไฟฟ้า เช่น โลหะ เป็นต้น (เสารับ-ส่งสัญญาณ) ย่อมมีค่าอินดักแตนซ์อยู่ค่าหนึ่งเสมอ เมื่อกระแสฟ้าผ่าได้ไหลผ่านตัวนำดังกล่าว ย่อมก่อให้เกิดศักย์ไฟฟ้าชั่วขณะปรากฏขึ้นที่ตัวนำนั้นๆ

ตัวอย่างที่ 1

หากนำสายตัวนำไฟฟ้าแบบ THW ขนาด 35 sq.mm. มาทำหน้าที่เป็นสายตัวนำลงดินหรือ Down Lead ดังรูปที่ 2.11 ซึ่งสายตัวนำเส้นนี้จะมีค่าอินดักแตนซ์ประมาณ 1.6 uH/เมตร มีค่าความต้านทานประมาณ 0.005 โอห์ม/เมตร หากกำหนดให้กระแสฟ้าผ่ามีค่าขนาดเท่ากับ 18 kA และมีค่า Rise Time เท่ากับ 1 uS สามารถคำนวณหาค่า Building Potential Rise ได้ดังนี้



รูปที่ 2.11 แสดงลักษณะการติดตั้งสาย Down Lead

$$\begin{aligned}
 V_T &= V_L + V_R & (2.1) \\
 &= L \frac{dI}{dt} + IR \\
 &= (1.6 \times 10^{-6})(18 \times 10^3 / 1 \times 10^{-6}) + (18 \times 10^3 \times 0.005) \\
 &= 28,800 \text{ V/เมตร} + 90 \text{ V/เมตร} \\
 &= 28,890 \text{ V/เมตร}
 \end{aligned}$$

∴ หากใช้สายตัวนำลงดินมีความยาวรวมเท่ากับ 60 เมตร ก็จะทำให้ทราบค่า Building Potential Rise ดังนี้

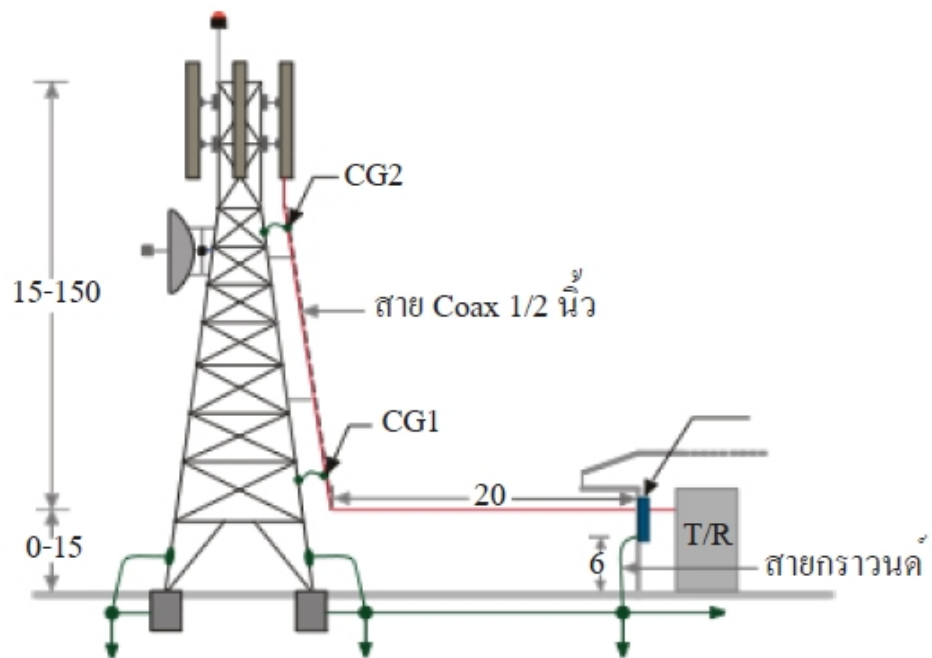
$$\begin{aligned}
 &= 60 \text{ เมตร} \times 28,890 \text{ V/เมตร} \\
 &= 1,733 \text{ kV}
 \end{aligned}$$

ตัวอย่างที่ 2

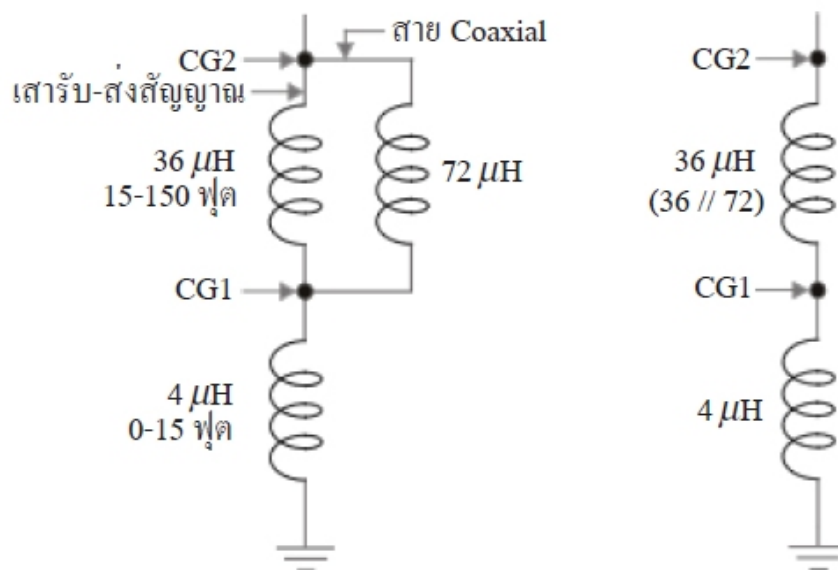
โครงสร้างของเสารับ-ส่งสัญญาณเป็นอีกจุดหนึ่งที่เกิดค่า Building Potential Rise ที่สูงมาก ดังรูปที่ 2.12 ซึ่งเป็นตัวอย่างโครงสร้างระบบงานสื่อสาร โดยจะอาศัยโครงสร้างเสาเป็นตัวนำกระแสฟ้าผ่าลงดิน หรือ เสาเป็น Down Lead และมีการเชื่อมต่อส่วนฉลัดของสายสัญญาณเข้ากับโครงสร้างของเสา ค่าอินดักแตนซ์ของเสาประมาณ 27 uH และหากกำหนดให้กระแสฟ้าผ่ามีค่า 18 kA ส่วนค่า Rise Time เท่ากับ 2 uS จะสามารถคำนวณหาค่า Building Potential Rise ปรากฏที่เสารับ-ส่งสัญญาณดังนี้

$$\begin{aligned}
 V &= L \frac{dV}{dt} & (2.2) \\
 &= (27 \text{ uH} \times 18 \text{ kA}) / 2 \text{ uS} \\
 &\approx 243 \text{ kV}
 \end{aligned}$$

ค่าศักย์ไฟฟ้าที่ปรากฏอยู่ที่เสารับ-ส่งสัญญาณ จะถูกหารค่าลง (Divider Voltage) ตามลักษณะการต่อ (Wiring) ของสายสัญญาณ ทำให้ปรากฏศักย์ไฟฟ้าชั่วขณะค่าหนึ่งตกคร่อมระหว่าง Bulkhead กับระบบกราวด์ ศักย์ไฟฟ้างี้ดกล่าว (≈ 7.3 kV) สามารถอินดิเคซ์เข้าสู่เครื่องรับ-ส่งสัญญาณที่ต่ออยู่ตรงปลายทางของสายสัญญาณ



รูปที่ 2.12 โครงสร้างระบบงานสื่อสาร

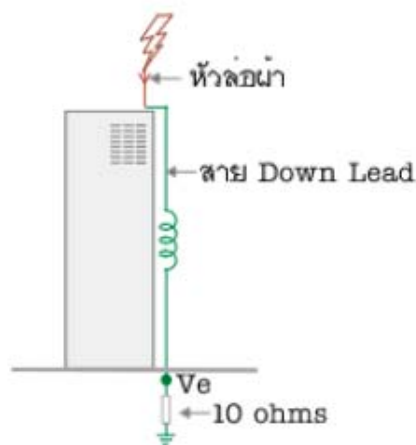


รูปที่ 2.13 วงจรเทียบเคียงเสารับ-ส่งสัญญาณกับสาย Coaxial

จากสองตัวอย่างที่นำเสนอเพื่อความเข้าใจต่อความหมายของ Building Potential Rise โดยจะประจักษ์ว่าไม่มีหนทาง (ปัจจุบัน) ใดที่จะระงับมิให้เกิดค่า Building Potential Rise ขึ้นตามสายตัวนำหรือโครงสร้างตัวนำได้เลย อีกทั้งยังส่งผลให้เกิดอันตรายกับผู้ปฏิบัติงาน ที่เข้าไปสัมผัสกับโครงสร้างตัวนำในช่วงเวลาที่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่าน (แรงดันสัมผัส) หรือยืนอยู่ในบริเวณใกล้ๆ

2.1.2.5 รูปแบบที่ 5 Earth Potential Rise

ระบบกราวด์คือจุดสิ้นสุดของกระแสไฟฟ้า เป็นเรื่องยากที่จะทำให้ค่าความต้านทานของระบบกราวด์มีค่าเป็นศูนย์ตามทฤษฎีได้ เมื่อกระแสไฟฟ้าได้ไหลลงสู่ระบบกราวด์ จะก่อให้เกิดศักย์ไฟฟ้าค่าหนึ่งปรากฏขึ้นที่ระบบกราวด์ โดยมีค่าเท่ากับผลคูณระหว่างค่าความต้านทานของระบบกราวด์ (หรือค่าอิมพีแดนซ์ แต่เพื่อความง่ายในการวิเคราะห์จึงใช้ค่าความต้านทานแทน) กับค่ากระแสไฟฟ้า



รูปที่ 2.14 ค่า Earth Potential Rise (กำหนดกระแสไฟฟ้ามีค่าเท่ากับ 30 kA)

$$V_e = IR \quad (2.4)$$

$$= 30 \text{ kA} \times 10 \, \Omega$$

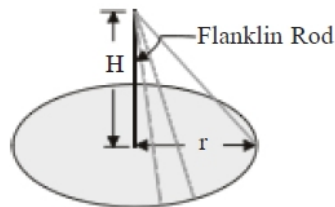
$$= 300 \text{ kV}$$

ทางออกสู่การลดลงของค่า Earth Potential Rise คือการทำให้ระบบกราวด์มีค่าความต้านทานที่ลดลงเข้าสู่ศูนย์ให้มากที่สุด ถึงแม้ว่าค่า Earth Potential Rise ดังรูปที่ 2.14 ซึ่งจะมีค่าที่สูงและเกิดความรู้สึกน่ากลัว แต่มันจะไม่สร้างความเสียหายให้กับระบบงานแต่ประการใด หากระบบกราวด์ในระบบงานเกิดศักย์ไฟฟ้าที่ระบบกราวด์แต่ละจุดมีค่าเท่ากัน (Equipotential) มุมมองอีกเรื่องหนึ่งที่เกิดจากการแพร่กระจายของกระแสไฟฟ้าตามผิวดิน โดยปกติแล้วหากยึดจุดกราวด์ (Ground Point) เป็นศูนย์กลาง ค่าความต้านทานรอบๆ จุดกราวด์ซึ่งจะมีระยะห่างออกไปเป็นวงชั้นหรือ Earth Shell ค่าความต้านทานแต่ละวงชั้นที่ห่างออกไปจากจุดกราวด์จะมีค่าที่ลดลง ประเด็นปัญหาก็จะอยู่ที่

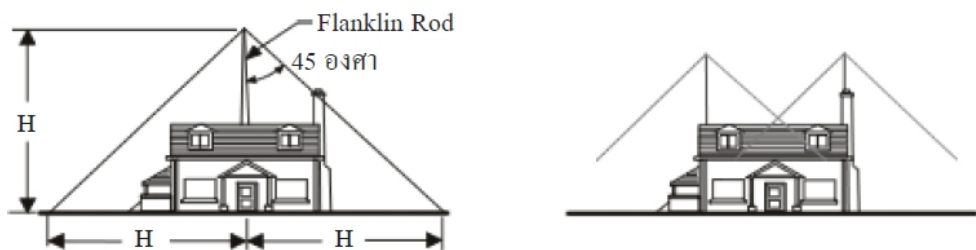
ศักย์ไฟฟ้าที่ปรากฏตามผิวดินจะมีค่าไม่เท่ากัน ซึ่งจะเป็นอันตรายโดยตรงต่อมนุษย์หรือสัตว์ ตลอดจนถึงตัวระบบงานเอง เรียกปัญหานี้ว่า แรงดันช่วงก้าวหรือ Step Voltage

2.2 หัวล่อฟ้า (Air Terminal)

ธรรมชาติโดยเบื้องต้นของฟ้าผ่า คือ มักจะดิสชาร์จกระแสฟ้าผ่าลงสู่ตำแหน่งหรือวัตถุที่มีความสูงมากที่สุด แต่พฤติกรรมในลักษณะนี้ของฟ้าผ่าไม่ได้หมายความว่า วัตถุที่มีระดับความสูงที่น้อยกว่าจะไม่มีโอกาสได้รับการดิสชาร์จของกระแสฟ้าผ่าเข้ามาเสมอไป เราได้ทราบถึงลักษณะการเกิดขึ้นของปรากฏการณ์ฟ้าผ่า ตลอดจนถึงผลกระทบที่สามารถส่งผลถึงชีวิตและทรัพย์สิน สำหรับหัวข้อนี้ถือว่าเป็นมาตรการแรกในการป้องกันฟ้าผ่าที่ลดความเสียหายให้แก่ชีวิตและทรัพย์สิน นั่นก็คือ การกำหนดจุดลงของกระแสฟ้าผ่าซึ่งวัตถุที่จะนำมาใช้ในการกำหนดจุดลงของกระแสฟ้าผ่า คือ หัวล่อฟ้า หรือ Air Terminal จุดเริ่มต้นในการป้องกันฟ้าผ่าโดยท่าน Benjamin Franklin ซึ่งเป็นบุคคลท่านแรกที่ได้ค้นพบหลักการป้องกันการฟ้าผ่า โดยดำเนินการติดตั้งแท่งโลหะไว้ ณ. จุดที่สูงที่สุด เพื่อกำหนดให้เป็นจุดลงของกระแสฟ้าผ่าโดยไม่สร้างความเสียหายให้เกิดขึ้นกับบริเวณรอบๆ หลักการป้องกันฟ้าผ่าของท่าน Benjamin Franklin ได้ถูกบัญญัติขึ้นในปี ค.ศ. 1952 ในชื่อว่า Franklin Rod ด้วยหลักการป้องกันฟ้าผ่าแบบ Franklin Rod มีรัศมีครอบคลุมพื้นที่ในลักษณะทรงกรวย โดยรัศมีภาคพื้นดินที่ครอบคลุมจะมีค่าประมาณความสูงของแท่งโลหะ ดังแสดงในรูปที่ 2.15 (ก) จึงกลายเป็นจุดด้อยสำหรับความต้องการรัศมีครอบคลุมที่กว้างขึ้น



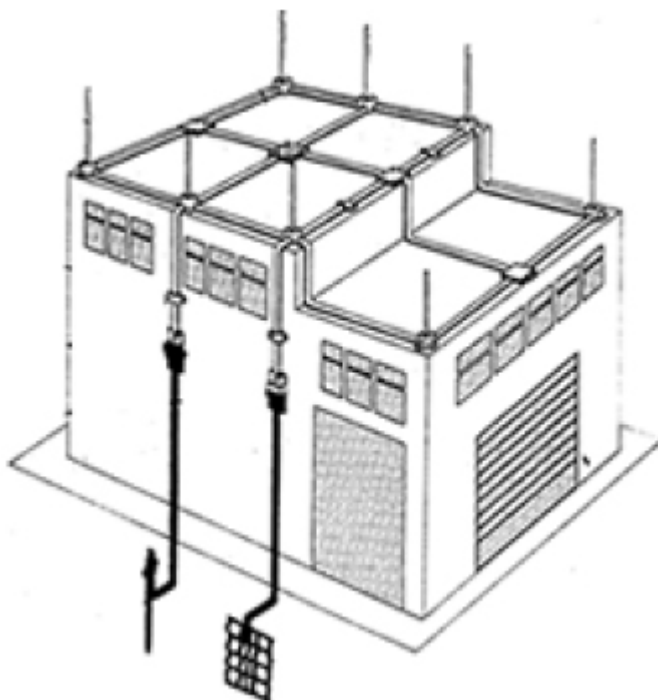
(ก) รัศมีที่ครอบคลุม



(ข) ลักษณะการป้องกันแบบ Franklin Rod

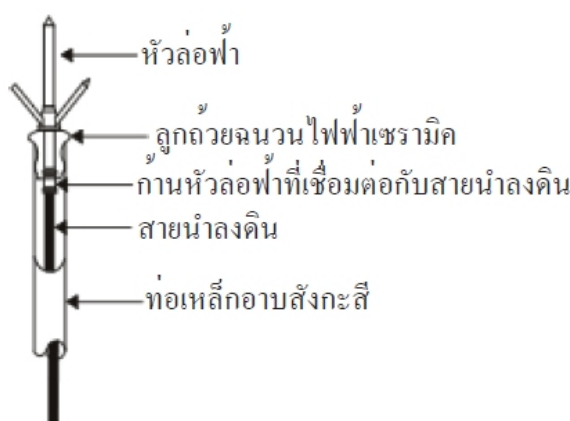
รูปที่ 2.15 ลักษณะการป้องกันฟ้าผ่าแบบ Franklin Rod

ธรรมชาติของฟ้าผ่าไม่มีความจำเป็นเสมอไปว่า แนวของฟ้าผ่าจะมีลักษณะตั้งฉากกับแท่งโลหะซึ่งทำหน้าที่เป็นหัวล่อฟ้าผ่า แนวของฟ้าผ่าอาจจะเข้ามาทางด้านข้างของแท่งโลหะ จากรูปที่ 2.15(ข) เราจะเห็นว่าปล่องควันของบ้านอยู่นอกเหนือรัศมีครอบคลุมของแท่งโลหะ ทำให้ฟ้าผ่าสามารถดิสชาร์จลงที่ปล่องควัน ซึ่งในทางปฏิบัติมักพบเจอปัญหาในลักษณะนี้อยู่บ่อยครั้ง นั่นก็คือขอบของอาคารที่อยู่นอกเหนือรัศมีครอบคลุมถึงจะถูกฟ้าผ่าดิสชาร์จลงมา บางครั้งทำให้บริเวณนั้นเกิดรอยร้าวหรือแตกออกเป็นชิ้น เป็นต้น



รูปที่ 2.16 ลักษณะการป้องกันฟ้าผ่าแบบ Faraday Cage

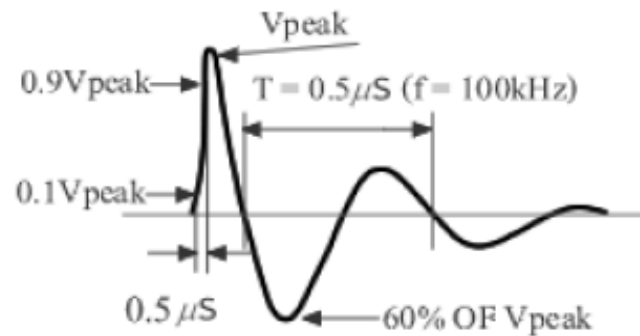
จากข้อด้อยของการป้องกันฟ้าผ่าแบบ Franklin Rod จึงได้รับการพัฒนาต่อเพื่อให้มีประสิทธิภาพที่สูงขึ้นโดยท่าน Sir Michel Faraday ท่าน Sir Michel Faraday ได้ดำเนินการเพิ่มจำนวนแท่งโลหะให้มากขึ้น เพื่อสามารถครอบคลุมตัวอาคารทั้งอาคาร ซึ่งแท่งโลหะทุกแท่งจะมีการต่อถึงกันหมดและลงสู่ระบบกราวด์ รูปแบบการป้องกันฟ้าผ่าของท่าน Sir Michel Faraday จะออกมาอยู่ในรูปแบบคล้ายกรงครอบตัวอาคารเอาไว้ จึงได้มีการบัญญัติชื่อการป้องกันฟ้าผ่าแบบนี้ว่า กรงฟาราเดย์หรือ Faraday Cage แสดงให้เห็นดังรูปที่ 2.16 ถึงแม้หลักการป้องกันฟ้าผ่าแบบกรงฟาราเดย์จะมีประสิทธิภาพในการป้องกันฟ้าผ่าได้เป็นอย่างดี แต่ในทางปฏิบัติจริงมีความเป็นไปได้ต่ำมากที่จะนำเอามาปฏิบัติกัน เพราะการติดตั้งระบบป้องกันฟ้าผ่าในลักษณะนี้จะทำให้ทัศนียภาพของตัวอาคารสูญเสียไป



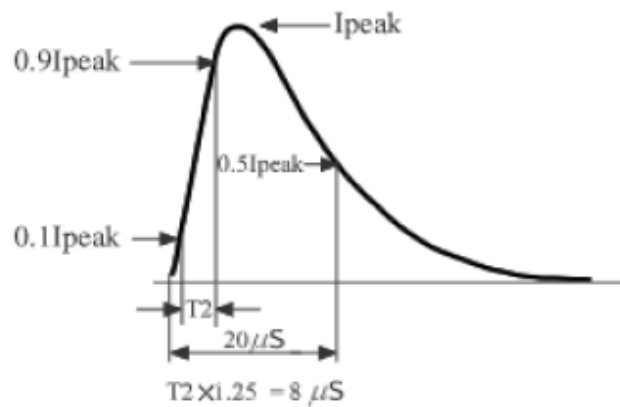
รูปที่ 2.17 ลักษณะโครงสร้างของหัวล่อฟ้าและการต่อใช้งาน

ปกติแล้วหัวล่อฟ้ามักจะมีการทำให้ปลายของมันแหลม เพื่อก่อให้เกิดการแตกตัวของโมเลกุลในอากาศในบริเวณโดยรอบหัวล่อฟ้า ทำให้เกิดความเครียดทางสนามไฟฟ้าที่สูงขึ้น สร้างโอกาสในการเพิ่มประจุไฟฟ้านำขึ้นได้ดีกว่าบริเวณอื่นที่ใกล้เคียง ซึ่งบางครั้งเราจะพบว่าหัวล่อฟ้ามักจะถูกทำให้เป็นแนกแหลก เพื่อต้องการสร้างความเครียดทางสนามไฟฟ้าในสูงขึ้นนั่นเองในทางปฏิบัติการติดตั้งระบบล่อฟ้าไม่สามารถยึดรูปแบบใดที่คงตัวได้ เพราะจะต้องขึ้นอยู่กับบริเวณที่ต้องการรัศมีครอบคลุม ลักษณะของตัวอาคาร เป็นต้น ดังนั้นการผสมผสานระหว่างการป้องกันฟ้าผ่าแบบ Franklin Rod กับกรงฟาราเดย์เข้าด้วยกันจึงเป็นเรื่องที่เหมาะสมที่สุด โดยยืนอยู่บนพื้นฐานความคิดที่ว่ารัศมีครอบคลุมจะมีค่าประมาณเท่ากับความสูงของแท่งล่อฟ้าตามที่ได้ขอแนะนำเพิ่มเติมสำหรับอาคารสูงและมีพื้นที่มาก หากมีการเดินสายทองแดงตามขอบคาดฟ้า แน่นอนที่สุดว่าไม่สามารถหลบหนีการหักเหของสายในลักษณะมุมฉากได้ ถ้าหากจุดหักเหมีระยะห่างจากจุดที่ต่ออยู่กับสายตัวนำลงดินหรือ Down Lead ให้เราดำเนินการเพิ่มสายนำลงดินขึ้นมาอีก เพื่อช่วยลดค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ปรากฏอยู่ตามสายทองแดงที่ต่อถึงกันทั้งหมด(การติดตั้งระบบล่อฟ้ามีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องเพิ่มเส้นทางการนำลงดินมากกว่าอย่างน้อย 2 เส้นทาง)สายตัวนำลงดินทุกเส้นที่ต่อลงสู่ระบบดิน จะต้องดำเนินการเชื่อมต่อเข้าด้วยกันให้ครบทุกจุด (ใช้การเชื่อมต่อแบบเอ็กโซเทอร์มิก (Exothermic Welding) หรือการเชื่อมแบบอื่นที่ดีกว่า) เพื่อป้องกันปัญหาในเรื่อง Earth Loop Current (หรือ Ground Loop Current) ส่วนค่าความต้านทานหรืออิมพีแดนซ์ของระบบดิน จะต้องดำเนินการทำให้ต่ำที่สุดเพื่อลดค่า Earth Potential Rise (หรือ Ground Potential Rise)

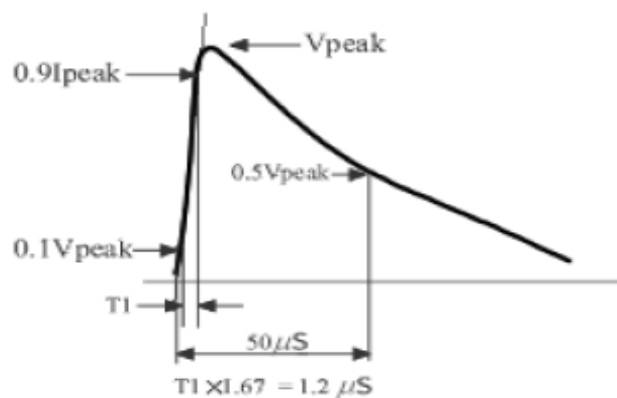
2.3 ลักษณะรูปคลื่นมาตรฐานของสัญญาณจากปรากฏการณ์ฟ้าผ่า



รูปที่ 2.18 แสดงรูปคลื่นสัญญาณแกว่ง หรือ Ring Wave



รูปที่ 2.19 รูปคลื่นกระแสไฟฟ้าเกินชั่วขณะ 8/20 μs



รูปที่ 2.20 แรงดันไฟฟ้าเกินชั่วขณะ 1.2/50 μs

ทางสถาบัน IEEE [7],[16,17,18] จึงได้มีการกำหนดรูปแบบของสัญญาณจากปรากฏการณ์ฟ้าผ่า ซึ่งเรียกว่าสัญญาณไฟฟ้าเกินชั่วขณะ (Transient Over voltage) ขึ้นมา ให้เป็นไปในลักษณะเดียวกัน เพื่อ

ง่ายต่อการตรวจสอบมาตรฐานของเครื่องและอุปกรณ์ ที่ใช้ในการลดทอนแรงดันไฟฟ้าเกินชั่วขณะ 3 ลักษณะด้วยกัน ได้แก่ รูปคลื่นของสัญญาณแวง (Ring Wave) รูปคลื่นแรงดันไฟฟ้าเกินชั่วขณะ และรูปคลื่นกระแสไฟฟ้าเกินชั่วขณะ จากรูปที่ 2.14 - 2.16 ตามลำดับ นอกเหนือจากการกำหนด ลักษณะของรูปคลื่นที่แตกต่างกันไปแล้ว สถาบัน IEEE ก็ยังได้จัดแบ่งบริเวณความรุนแรงของ ลักษณะระบบงานออกเป็นส่วนต่างๆ (CAT. A, CAT B., CAT C) สามารถพิจารณาค่าขนาดได้ตาม ตารางที่ 1 และ 2 ส่วนมาตรฐานของประเทศออสเตรเลียกับนิวซีแลนด์ ซึ่งเป็นกลุ่มประเทศที่ต้อง เผชิญหน้ากับฟ้าผ่าที่ค่อนข้างรุนแรง และมีความถี่ที่เกิดบ่อยมาก จึงได้ออกมาตรฐานที่มากขึ้นกว่า สถาบัน IEEE เพิ่มอีก 2 โซน คือ CAT D กับ CAT E สามารถพิจารณาได้จากรูปที่ 2.17 และรูปที่ 2.18

ตารางที่ 2.1 CAT. แสดงความรุนแรงในแต่ละบริเวณมาตรฐานรูปคลื่นแวง

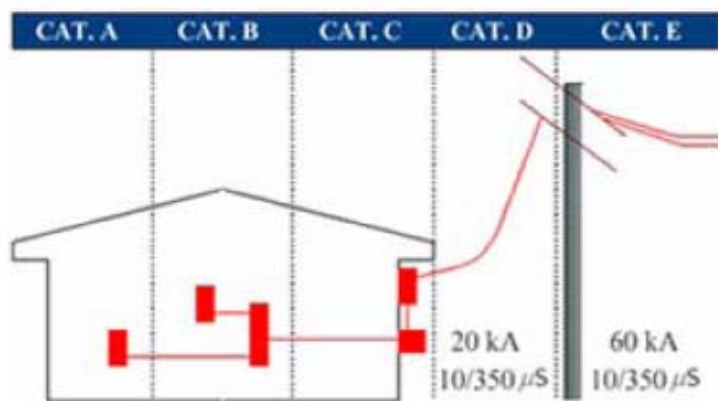
(0.5 μ S 100 kHz Ring Wave)

ตำแหน่ง CAT.	ค่าระดับ	ค่าขนาด		อิมพีแดนซ์
		แรงดัน (kV)	กระแส (kA)	
A1	ต่ำ	2	0.07	30
A2	ปานกลาง	4	0.13	30
A3	สูง	6	0.2	30
B1	ต่ำ	2	0.17	12
B2	ปานกลาง	4	0.33	12
B3	สูง	6	0.5	12

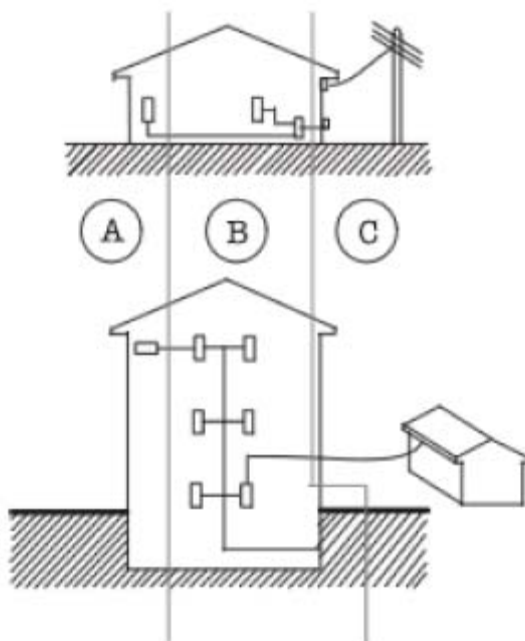
ตารางที่ 2.2 CAT. แสดงความรุนแรงในแต่ละบริเวณมาตรฐานรูปคลื่นร่วมแรงดันกับกระแส

(1.2/50 μ S-8/20 μ S Combination Wave)

ตำแหน่ง CAT.	ค่าระดับ	ค่าขนาด		อิมพีแดนซ์
		แรงดัน (kV)	กระแส (kA)	
B1	ต่ำ	2	1	2
B2	ปานกลาง	4	2	2
B3	สูง	6	3	2
C1	ต่ำ	6	3	2
C2	ปานกลาง	10	5	2
C3	สูง	20	10	2



รูปที่ 2.21 แสดงลักษณะการจัด Category ค่าระดับความรุนแรงและลักษณะของรูปคลื่น
แสดงมาตรฐานของออสเตรเลีย-นิวซีแลนด์



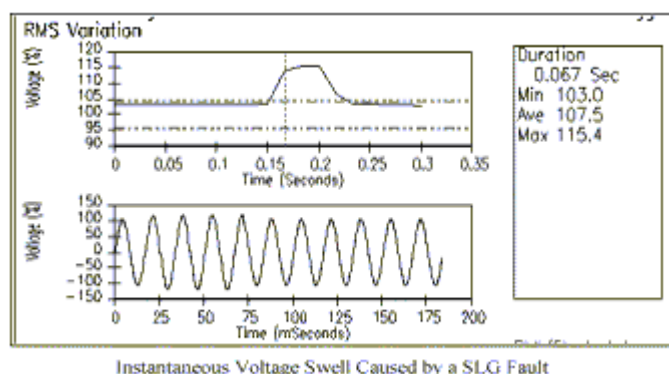
รูปที่ 2.22 แสดงลักษณะการจัด Category ค่าระดับความรุนแรงและลักษณะของรูปคลื่น
มาตรฐาน ANSI/IEEE

2.4 ปัญหาที่จากการเกิดสถานะความผิดปกติ (Fault) ทางไฟฟ้า

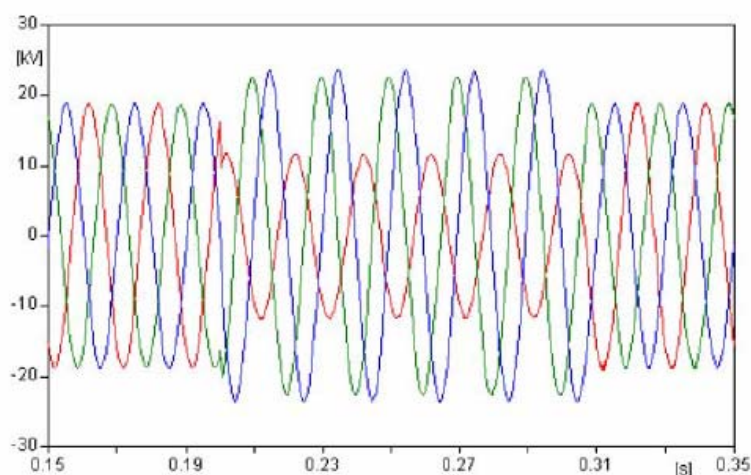
2.4.1 แรงดันเกินช่วงสั้น (Voltage Swell)

ค่าแรงดัน RMS มีค่าในช่วงเวลาระหว่าง 10 ms – 1 min [9], [10] ปัญหาแรงดันเกินช่วงสั้น มีสาเหตุหลักมาจากฟอลต์แบบ Single Line to Ground Fault ที่เกิดขึ้นในระบบ โดยในขณะที่เกิดฟอลต์ขึ้นนั้น

ค่าแรงดันไฟฟ้าในเฟสที่ไม่เกิดฟอลต์จะมีขนาดที่เพิ่มขึ้น ค่าแรงดันไฟฟ้าในเฟสที่ไม่เกิดฟอลต์อาจมีค่าสูงถึง 1.73 P.U. แต่โดยส่วนใหญ่แล้วจะมีค่าประมาณ 1.4 P.U. นอกจากนั้น การปลดโหลดขนาดใหญ่ และการสวิตซ์ซึ่งคาปาซิเตอร์ขนาดใหญ่เข้าระบบก็มีส่วนในการทำให้เกิดปัญหาแรงดันเกินช่วงสั้น เช่นกัน แต่ระดับความรุนแรงที่เกิดขึ้นจะน้อยกว่าสามารถพิจารณาได้จากรูปที่ 2.23 และรูปที่ 2.24



รูปที่ 2.23 Voltage Swell จากสาเหตุการเกิดความผิดปกติทางไฟฟ้าลงดิน

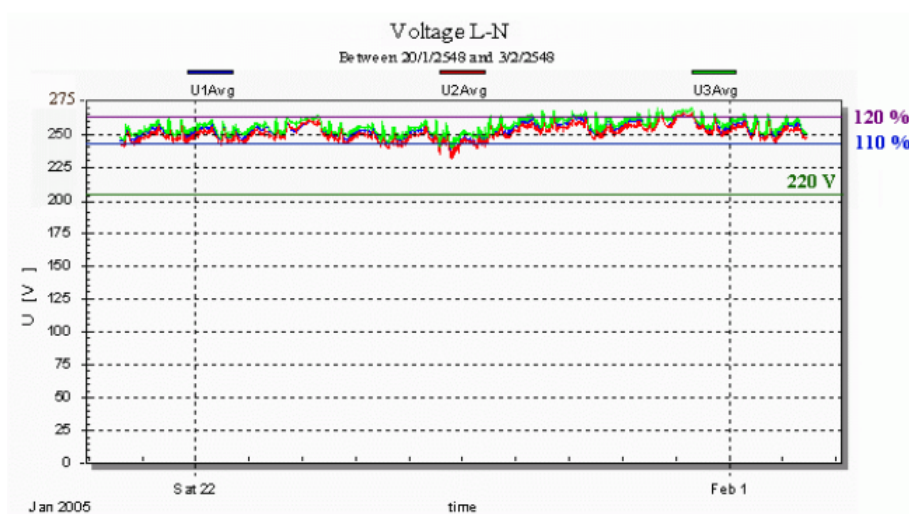


รูปที่ 2.24 แรงดันเกินชั่วขณะที่มีสาเหตุมาจากฟอลต์แบบ Single Line to Ground Fault

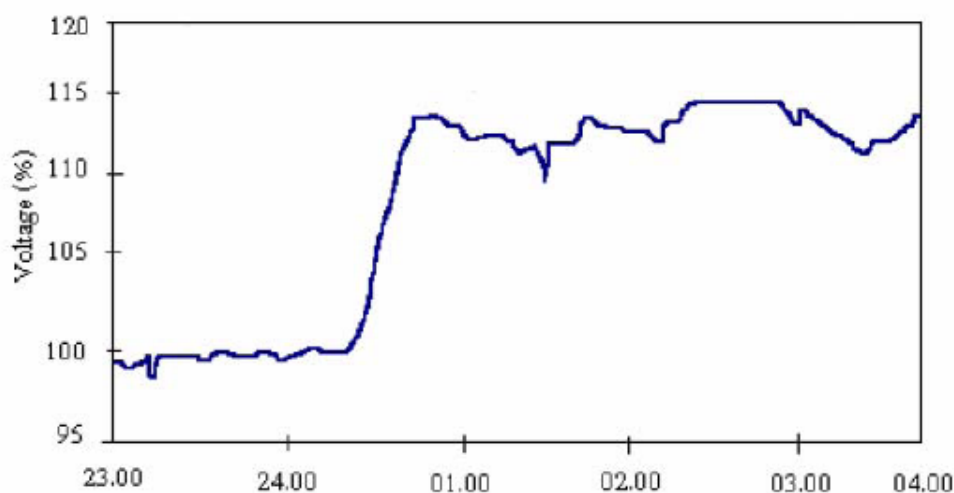
2.4.2 แรงดันไฟเกิน (Over voltage)

เป็นการเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟช่วงระยะยาวของค่าแรงดัน RMS มีค่าสูงขึ้นถึง 1.1 – 1.2 P.U. เป็นเวลานานกว่า 1 min มีสาเหตุของปัญหาเช่นเดียวกับปัญหาแรงดันตก เพียงแต่อยู่ในสภาวะที่ตรงข้ามกันยกตัวอย่างเช่น การปลดโหลดขนาดใหญ่การชดเชยค่า Reactive Power ในช่วง Light Load ที่

มากเกินไป หรือแม้กระทั่งการปรับแก้ที่ผิดพลาดของหม้อแปลงก็จะมีผลทำให้เกิดแรงดันเกินขึ้นได้ ผลกระทบเมื่อมีแรงดันเกินในลักษณะนี้เกิดขึ้นจะมีความรุนแรงเท่า ๆ กัน กับการเกิดแรงดันเกินจากฟ้าผ่าและแรงดันเกินจากการสวิตช์ซึ่งคาปาซิเตอร์ขนาดใหญ่ จากแรงดันไฟเกินในลักษณะของ Long Duration Variationsนี้จะไม่ทำให้อุปกรณ์ไฟฟ้าชำรุดอย่างทันทีทันใด แต่จะมีผลในระยะยาวมากกว่า คือทำให้ประสิทธิภาพในการทำงานและอายุการใช้งานของอุปกรณ์ไฟฟ้าลดลง ลักษณะการเกิดแรงดันไฟเกิน ดังรูปที่ 2.21 และ 2.22 ตามลำดับ



รูปที่ 2.25 แรงดันไฟเกินที่มีค่าสูงอยู่ในช่วงระหว่าง 110% ถึง 120%



รูปที่ 2.26 แรงดันไฟเกินในลักษณะของ Long Duration Variations

2.5 หลักการป้องกันฟ้าผ่าโดยทั่วไป

การป้องกันฟ้าผ่าไม่ทำให้สร้างความเสียหายต่อระบบงานหรือลดระดับความเสียหายให้น้อยที่สุด สามารถแบ่งออกได้ 7 มาตรการอย่างกว้างๆ ด้วยกัน

1. มาตรการที่ 1 กำหนดจุดการลงของฟ้าผ่าตามที่กำหนด ซึ่งหมายถึง การติดตั้งหัวล่อฟ้า นั่นเอง
2. มาตรการที่ 2 ติดตั้งเส้นทางนำกระแสฟ้าผ่าลงสู่ระบบกราวด์อย่างปลอดภัย หรือหมายถึง การติดตั้งสาย Down Lead
3. มาตรการที่ 3 ติดตั้ง ปรับปรุง ระบบกราวด์ให้มีค่าความต้านทานต่ำที่สุด เพื่อลดค่า Earth Potential Rise ตลอดจนการระบายกระแสฟ้าผ่าได้อย่างรวดเร็ว
4. มาตรการที่ 4 ดำเนินการทำให้เกิดศักย์ไฟฟ้ากราวด์เป็นสมมูล (Equipotential) ขึ้นที่ระบบกราวด์ เพื่อป้องกันมิให้อิทธิพลจากค่า Earth Potential Rise ก่อให้เกิดปัญหาในเรื่อง Earth Loop หรือ Ground Loop ขึ้นระหว่างส่วนงานต่างๆ ในระบบงาน (สำหรับระบบงานที่ต้องใช้ไฟฟ้าแรงสูง ขอแนะนำให้ติดตั้งกราวด์ MAT)
5. มาตรการที่ 5 ป้องกันแรงดันทรานเซียนต์หรือไฟกระชอกทางด้านสายจ่ายกำลังไฟฟ้า การพิจารณาป้องกันไฟกระชอกทางด้านสายจ่ายกำลังไฟฟ้า มิได้หมายความว่าเพียงจุดเข้าของสายจากตัวหม้อแปลงไฟฟ้าสู่ตัวอาคาร แต่หมายถึงทุกเส้นทางของการเข้าสู่ตัวระบบงานของสายจ่ายกำลังไฟฟ้า (สายจ่ายไฟเลี้ยงแสงสว่างบนเสารับ-ส่งสัญญาณมักจะถูกลืมมองข้ามอยู่เสมอ)
6. มาตรการที่ 6 ป้องกันแรงดันทรานเซียนต์หรือไฟกระชอกทางด้านสายสัญญาณต่างๆ ให้ครบทุกเส้นทาง เช่นสายโทรศัพท์ สายสัญญาณของระบบสกาตา สายสัญญาณควบคุมระหว่าง PLC กับเครื่องจักร เป็นต้น การพิจารณาป้องกันจะต้องป้องกัน ณ จุดปลายสายสัญญาณทั้งทางด้านต้นทางและปลายทาง
7. มาตรการที่ 7 ดำเนินการชีลด์ส่วนงานอิเล็กทรอนิกส์ความไวสูง รวมไปถึงสายตัวนำสัญญาณ ต่างๆ เพื่อป้องกันปัญหาในเรื่องการคับเปิดของคลื่น Electromagnetic

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการเพิ่มประสิทธิภาพของวงจรป้องกันแรงดันไฟฟ้าเกิน มีรายละเอียดดังนี้

วิฑูรย์ งามประดิษฐ์ และ ลำรวญ สังข์สะอาด [12] ทำการวิจัยเมื่อปี 2543 อุปกรณ์ป้องกันแรงดันเกินในระบบแรงต่ำและเทคนิคการทดสอบ สัมมนาวิชาการวิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูงและอีเอ็มซี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย งานวิจัยนี้กล่าวถึง การป้องกันเสิร์จด้วยกับดักโดยใช้หลอดแก๊ส

วาริสเตอร์ และไดโอดสกดส์เลิร์จ ให้รายละเอียดคุณลักษณะขององค์ประกอบของกับดักแต่ละชนิด การใช้วงจรผสมกับดักป้องกันเลิร์จ การเลือกอุปกรณ์กับดักเลิร์จ และเทคนิคการทดสอบ

สรรเสริญ ลิ้มปานุภาพ สุรเดช ปกพัฒน์กุล และ อัจฉราพร พนมธีรเกียรติ [13] ทำการวิจัยเมื่อปี 2543 กับดักแรงดันไฟฟ้าต่ำ โครงการปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี งานวิจัยนี้กล่าวถึง การออกแบบอุปกรณ์ป้องกันแรงดันเกินเลิร์จ เพื่อป้องกันอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ภายในสถานที่ต่างๆ ในวิทยานิพนธ์นี้จะกล่าวถึง คุณสมบัติของ หลอดแก๊ส วาริสเตอร์ และไดโอดสกดส์เลิร์จ ที่นำมาใช้ประกอบเป็นอุปกรณ์ป้องกันแรงดันเกินเลิร์จ และรวมไปถึงผลการทดสอบอุปกรณ์ป้องกันแรงดันเกินเลิร์จ ที่ได้ออกแบบไว้ตามมาตรฐาน IEEE C62-45-1992 [17] ซึ่งกำหนดให้ทดสอบอุปกรณ์ป้องกันแรงดันเกินเลิร์จที่ติดตั้งใน Category B ด้วยรูปคลื่นผสมคือ รูปคลื่นแรงดันเปิดวงจร 1.2/50 μ S ที่แรงดัน 6 kV และลัดวงจรเป็นกระแสรูปคลื่น 8/20 μ S ที่กระแสค่ายอด 3 kA โดยทดสอบทั้งชั่วคราวและชั่วคราว

ชัยมงคล คำสม [14] ทำการวิจัยเมื่อปี 2543 ระบบป้องกันและกำจัดฟ้าผ่าของ ทศท วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ งานวิจัยนี้กล่าวถึง ระบบป้องกันและกำจัดฟ้าผ่าของ ทศท เพื่อหยุดยั้งและระงับความเสียหายที่เกิดจากฟ้าผ่า และกำหนดว่าต้องใช้วัสดุอุปกรณ์ต่างๆ ที่สามารถหาได้ภายในประเทศมาใช้งาน โดยอาศัยหลักการฟ้าผ่าวิเคราะห์โดยละเอียดและได้ใช้ข้อมูลบันทึกฟ้าผ่าที่เกิดขึ้นกับ ทศท เป็นแนวทางการออกแบบ โดยอาศัยการทำลายแหล่งกำเนิดและแยกทิ้งกระแสฟ้าผ่าให้พ้นจากระบบสื่อสาร ลดระดับสัญญาณรบกวนขณะฟ้าผ่า และใช้อุปกรณ์ป้องกันเสริม สิ่งสำคัญที่สุดของระบบป้องกันและกำจัดฟ้าผ่าคือการนำระบบกราวด์แบบต่อร่วมวงจรกัน ณ สภาพดินที่ให้ค่านำกระแสไฟฟ้าสูงสุด ซึ่งมีอยู่ได้ผิวดินที่ระดับความลึกค่าหนึ่งเข้ามาใช้ในระบบ

สรุป จากการศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ได้ข้อสรุปในการดำเนินการวิจัยในส่วนของแนวทางการออกแบบอุปกรณ์ป้องกันแรงดันเกินเลิร์จ การเลือกวัสดุที่นำมาใช้ในการลดทอนแรงดันไฟเกินลักษณะฟ้าผ่า ซึ่งศึกษาคุณสมบัติของ หลอดแก๊ส วาริสเตอร์ ซึ่งรายละเอียดในการดำเนินการวิจัยจะกล่าวในบทต่อไป