บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 สาเหตุของความเสียหายที่เกิดจากแรงดันไฟฟ้าเกิน

ฟ้าผ่าเกิดขึ้นเนื่องจากการสะสมประจุบนก้อนเมฆ ทำให้สนามไฟฟ้าระหว่างก้อนเมฆและดินมีค่าสูงมาก จนอากาศแตกตัวแล้วเกิดไอออไนเซชันแบบสมบรูณ์จากก้อนเมฆลงสู่ดิน สำหรับการเกิดประจุบนก้อนเมฆนั้น เกิดขึ้นเนื่องจากมีลมพัดเมล็ดฝนจากส่วนล่างของก้อนเมฆขึ้นไปด้านบนที่เย็นมากจนเป็นเกล็ดน้ำแข็ง เกิดการเสียดสีของอากาศและหยดน้ำทำให้เกิดไฟฟ้าสถิต โดยส่วนมากทางด้านล่างของก้อนเมฆเป็นประจุลบ(มีบางส่วนเป็นประจุบวก ประมาณ 10-15% ซึ่งเกิดขึ้นเนื่องจากหยดน้ำมีขนาดใหญ่เกินกว่าที่ลมจะพัดพาขึ้นไปได้) และส่วนบนของก้อนเมฆซึ่งห่างขึ้นไปด้านบนอาจจะเป็นระยะทาง 10 กิโลเมตร มีประจุเป็นบวก เครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ทั่วไป มีการนำเอาอุปกรณ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์มาเป็นส่วนประกอบเป็นจำนวนมาก ซึ่งอุปกรณ์เหล่านี้ มีความสามารถในการทนต่อการเปลี่ยนของกระแสและแรงดันไฟฟ้าได้เพียงระดับหนึ่งเท่านั้น อาจเกิดความเสียหายได้เนื่องจากแรงดันไฟฟ้าเกินที่ผ่านเข้ามา โดยแรงดันไฟเกินนี้เกิดจาก 2 สาเหตุหลักคือ ฟ้าผ่า (Lighting) และการเปิด- ปิดวงจร (Switching)

2.1.1 ฟ้าผ่า (Lighting)

ฟ้าผ่าเป็นปรากฏการณ์ทางธรรมชาติ รูปแบบของฟ้าผ่าที่เกิดขึ้นมากกว่า 99 เปอร์เซ็นต์เป็นปรากฏการณ์ฟ้าผ่าในรูปแบบผ่าลง เป็นการดิสชาร์จกระแสสูง ตามเส้นทางฟ้าผ่าในช่วงเวลาสั้น ๆ ซึ่งเกิดขึ้นได้ 4 ลักษณะ คือ (Uman, 1994)

2.1.1.1 เกิดจากภายในก้อนเมฆ (Intracloud)

2.1.1.2 เกิดขึ้นระหว่างก้อนเมฆกับพื้นดิน (Cloud-to-Ground)

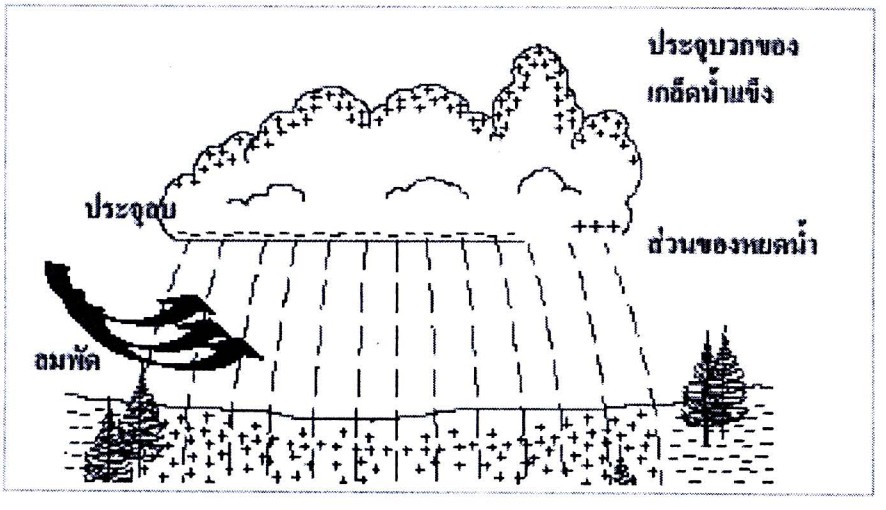
2.1.1.3 เกิดขึ้นระหว่างก้อนเมฆที่ศักดาไฟฟ้าต่างกัน (Cloud-to-Cloud)

2.1.1.4 เกิดขึ้นระหว่างก้อนเมฆกับอากาศ (Cloud-to-Air)

ฟ้าผ่าระหว่างก้อนเมฆกับพื้นดิน มีความถี่ในการเกิดมากที่สุด ซึ่งเกิดในระหว่างที่มีฝนฟ้าคะนอง ประจุไฟฟ้าบวกและลบจะถูกแยกจากกัน โดยการเสียดสีกับอากาศ ทำให้ด้านล่าง ของก้อนเมฆส่วนใหญ่จะมีประจุไฟฟ้าเป็นลบ ด้านบนของก้อนเมฆซึ่งเป็นเกล็ดน้ำแข็งมีอุณหภูมิต่ำมีประจุไฟฟ้าบวก

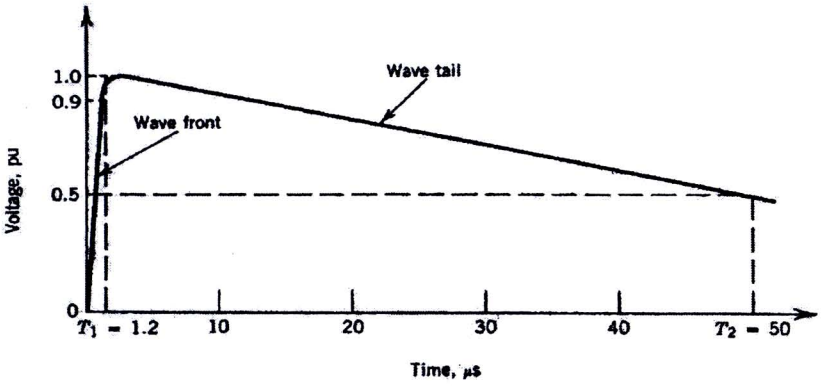
เมื่อประจุมีความหนาแน่นมากขึ้นและทำให้สนามไฟฟ้ามีค่าสูงขึ้น จนถึงค่าสนามไฟฟ้าวิกฤติที่ 30 kV/cm ที่สภาวะอากาศแห้งที่ระดับน้ำทะเล(สุชาดา,2548)

แต่ในสภาวะอากาศที่มีละอองน้ำและระดับความสูงที่สูงขึ้น ค่าสนามไฟฟ้าวิกฤติจะมีค่าประมาณ 1 ใน 3 ของค่าปกติ (10 kV/cm) จะเกิดฟ้าผ่านำทาง (Stepped leader) ซึ่งเป็นการเคลื่อนที่ของประจุจากก้อนเมฆลงมา เมื่อลำฟ้าผ่านำทางลงมาใกล้พื้นโลกจะเกิดการเหนี่ยวนำประจุให้เริ่มเกิดดิสชาร์จที่วัตถุบนพื้นโลก โดยระยะทางระหว่างลำฟ้าผ่านำทางและจุดที่ภาคพื้นดินที่เริ่มเกิดดิสชาร์จเรียกว่า ระยะฟ้าผ่า (Striking Distance) หลังจากที่ลำฟ้าผ่านำทางลงมาถึงพื้นโลกและประจุที่พื้นโลกขึ้นไปรวมกับประจุที่ลงมาจากก้อนเมฆ ซึ่งเรียกว่า ฟ้าผ่าย้อนกลับ (Return Stroke) มีความเร็วและกระแสสูงมาก ฟ้าผ่าอาจเกิดขึ้นได้หลายครั้งติดต่อกัน ถ้าสนามไฟฟ้าระหว่าง กลุ่มประจุบนก้อนเมฆมีค่าสูงก็จะเกิดลำฟ้าผ่าลงมาตามช่องนำกระแสเดิม เรียกว่า ฟ้าผ่าตาม (Dart leader) (Diesendorf ,1974)



รูปที่ 2.1 การเกิดฟ้าผ่า

คลื่นฟ้าผ่าแทนด้วยอิมพัลส์ บอกเป็นขนาด กระแสสูงสุด เวลาหน้าคลื่นและเวลาหางคลื่นกระแสฟ้าผ่าจะมีค่าสูงถึงค่ายอดในเวลาไม่กี่ไมโครวินาที และค่อย ๆ ลดต่ำลงจากค่ายอด



รูปที่ 2.2 รูปคลื่นแรงดันอิมพัลส์มาตรฐาน

เมื่อเกิดประจุที่ก้อนเมฆทำให้เกิดสนามไฟฟ้าระหว่างก้อนเมฆและดิน ถ้าสนามไฟฟ้านี้สูงมากเกินกว่าที่อากาศจะทนได้ ก็เกิดการแตกตัวของอากาศและเปลี่ยนสภาพของอากาศจากฉนวนเป็นตัวนำ ยิ่งถ้าสนามไฟฟ้าสูงมากๆ การเกิดแตกตัวของอากาศก็จะขยายตัวจนถึงภาคพื้นดินและเกิดเป็นฟ้าผ่า ถ้าฟ้าผ่าเริ่มเกิดจากประจุลบที่ด้านล่างของก้อนเมฆ เรียกว่า "ฟ้าผ่าลบ" และถ้าฟ้าผ่าเริ่มเกิดจากประจุบวก ซึ่งอยู่ด้านขวาล่างของก้อนเมฆเรียกว่า "ฟ้าผ่าบวก"

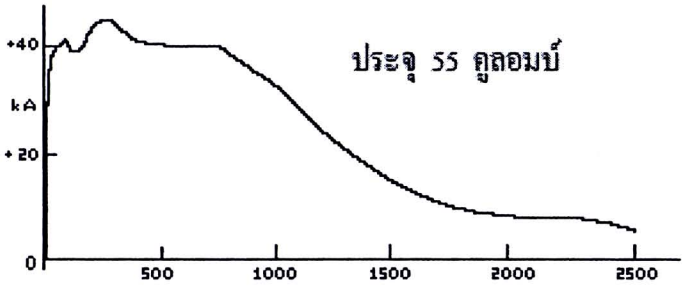
รูปที่ 2.3 แสดงประจุไฟฟ้าที่เกิดที่ก้อนเมฆก่อนเกิดปรากฏการณ์ฟ้าผ่า

เมื่อระดับความเข้มข้นของสนามไฟฟ้าได้เพิ่มสูงขึ้น ซึ่งอยู่ในราว 10kV – 30 kV/ m จะก่อ ให้เกิดการไอโอไนเซชั่นในอากาศ ประจุไฟฟ้าจากก้อนเมฆจะถูกถ่ายเทลงมาตามเส้นทางนำลงหรือ Stepped Leader ดังรูปที่ 2.4 ประจุไฟฟ้าที่ถูกถ่ายเทลงมาตามเส้นทางนำลง จะเหนี่ยวนำให้ประจุไฟฟ้าตรงข้ามที่เกิดขึ้นตามพื้นผิวโลกให้เคลื่อนที่ขึ้นไปหาโดยจะเรียกว่าเส้นทางนำขึ้นหรือ Streamer เมื่อเส้นทางนำขึ้นกับเส้นทางนำลงมากระทบกัน จะก่อให้เกิดการถ่ายเทประจุไฟฟ้าจำนวนมหาศาลจาก

ก้อนเมฆลงสู่พื้นผิวโลกหรือโครงสร้างวัตถุใดๆ เรียกเส้นทางการถ่ายเทประจุไฟฟ้าดังกล่าวนี้ว่า Return Stroke Current

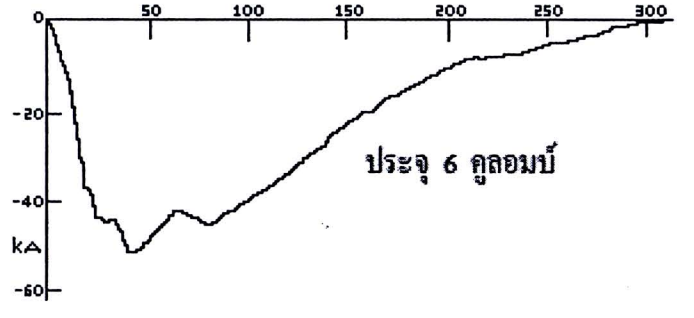
กระแสฟ้าผ่า หมายถึง ลำฟ้าผ่านำเอาประจุบวกจากก้อนเมฆดิสชาร์จลงสู่พื้นโลก ซึ่งเกิดขึ้นน้อยครั้ง มีลักษณะรูปคลื่นคล้ายกระแสฟ้าผ่าลบแต่กินเวลานานกว่าประมาณ 10 เท่า จึงมีปริมาณประจุ (คูลอมบ์) มากกว่ากระแสฟ้าผ่าลบ มักเกิดเป็นลำฟ้าผ่าเดี่ยว (Single Stroke)

กระแสฟ้าผ่าลบ หมายถึง ลำฟ้าผ่านำเอาประจุลบจากก้อนเมฆดิสชาร์จลงสู่พื้นโลก กระแสฟ้าผ่าลบสามารถเพิ่มขึ้นถึงค่ายอดได้ในเวลาเป็นไมโครวินาทีและค่ากระแสลดลงเหลือครึ่งหนึ่งในช่วงเวลาเป็นหลายๆ สิบไมโครวินาที นอกจากนี้ มักเกิดซ้ำซ้อนหลายครั้ง (Multi Strokes)



ก) แสดงรูปคลื่นกระแสฟ้าผ่าบวก

ข)



ข) แสดงรูปคลื่นกระแสฟ้าผ่าลบ

รูปที่ 2.4 รูปคลื่นกระแสฟ้าผ่า

ขนาดของกระแสฟ้าผ่า หมายถึง ค่ายอดของรูปคลื่นฟ้าผ่าจะมีค่ามากหรือน้อยขึ้นอยู่กับว่าเป็นฟ้าผ่าขึ้นหรือฟ้าผ่าลง กระแสฟ้าผ่าลบมีค่าสูงสุดประมาณ 90 กิโลแอมแปร์ และกระแสฟ้าผ่าบวกมีค่าสูงถึงประมาณ 270 กิโลแอมแปร์

ลักษณะที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งของฟ้าผ่าคือ จำนวนฟ้าผ่าซ้ำซ้อนในแต่ละครั้ง เมื่อลำฟ้าผ่าวิ่งไปตามแนวที่เกิดการแตกตัวของอากาศระหว่างก้อนเมฆกับพื้นดินแล้ว อากาศในแนวลำฟ้าผ่าวิ่งผ่านนี้ยังไม่สามารถคืนตัวมีสภาพเป็นฉนวนดังเดิมได้ทันที (เนื่องจากกระแสฟ้าผ่ามีค่าสูงมาก และไหลอยู่เป็นเวลานาน เช่น เมื่อฟ้าผ่าลงมาแล้วเป็นเวลา 10 มิลลิวินาที กระแสฟ้าผ่าที่ไหลอยู่มีค่า 200-300 แอมแปร์หรือถึงแม้ว่ากระแสฟ้าผ่านั้นได้หยุดไหลไปแล้วตั้งแต่ 10-100 มิลลิวินาที) เป็นเหตุให้ประจุในก้อนเมฆที่เกิดขึ้นใหม่สามารถคายประจุต่อได้อีก เรียกว่า "ฟ้าผ่าตาม" ซึ่งอาจเกิดขึ้นซ้ำซ้อนกันได้หลายครั้ง (Multi Stroke) ช่วงเวลาสำหรับการผ่าตามแต่ละครั้งราว 3-10 มิลิวินาที เวลาช่วงหน้าคลื่นของฟ้าผ่าตามจะมีความชันสูงมาก อาจสูงถึง 120 kA/ μs ในขณะที่ความชันหน้าคลื่นฟ้าผ่าลำแรกมีค่าเพียง 32 kA/ μs (ความชันเฉลี่ยประมาณ 12 kA/ μs)

โดยทั่วไปเมื่อเกิดปรากฏการฟ้าผ่า การคายประจุระหว่างก้อนเมฆสามารถเหนี่ยวนำให้เกิดการเสิร์จ (Transient Voltage Surge) ประมาณ 7,000 V/m ในระบบไฟฟ้ากำลังหรือในระบบเคเบิลโทรศัพท์ประมาณ 70 V/m ในบริเวณใกล้เคียง นอกจากนี้ฟ้าผ่าเป็นต้นเหตุให้เกิดเสิร์จ ตั้งแต่ประมาณ 10-20,000 V เข้าสู่อาคาร อย่างไรก็ตามโดยปกติแล้วมักจะเกิดเสิร์จแรงดันไฟฟ้าค่าสูงสุดประมาณ 6,000 V และกระแสไฟฟ้าตั้งแต่ 3,000 A ที่บริเวณแผงจำหน่ายกำลังไฟฟ้าหลัก (Main Power Distribution Board)

แรงดันไฟฟ้าเกินอันเนื่องมาจากการคายประจุของฟ้าผ่า แบ่งออกเป็น 2 ประเภท ดังนี้
แรงดันไฟฟ้าเกินอันเนื่องมาจากฟ้าผ่าลงที่ระบบล่อฟ้าโดยตรงหรือบริเวณใกล้เคียง (Direct Strokes or Closed up/Nearby Strokes)

ก. แรงดันไฟฟ้าเกินอันเนื่องมาจากอิมพัลส์ทรานเซียนท์ตกคร่อมความต้านทานของดิน (Earth Resistance's)

ข. แรงดันไฟฟ้าเกินที่ถูกเหนี่ยวนำให้เกิดอยู่ภายในลูป (Induced Voltage) เนื่องจากอัตราการเปลี่ยนแปลงของกระแสฟ้าผ่าสูงสุด $(di/dt)_{max}$
อีกประเภทคือ แรงดันไฟฟ้าเกินอันเนื่องมาจากฟ้าผ่าลงที่ระยะห่างไกล (Distant Strokes)

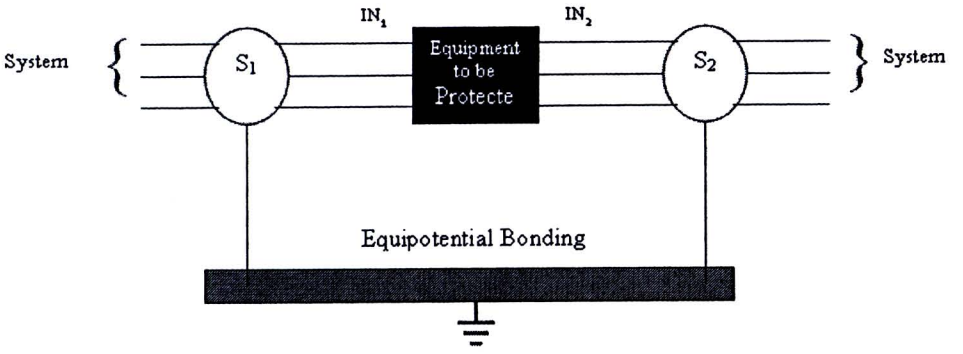
2.1.2 แรงดันไฟฟ้าเกินอันเนื่องมาจากฟ้าผ่าลงที่ระบบล่อฟ้าโดยตรงหรือบริเวณใกล้เคียง

แบ่งออกเป็น 2 ลักษณะคือ

2.1.2.1 แรงดันไฟฟ้าเกินอันเนื่องมาจากอิมพัลส์ทรานเซียนท์ตกคร่อมความต้านทานของดิน (Earth Resistance:R_{st})

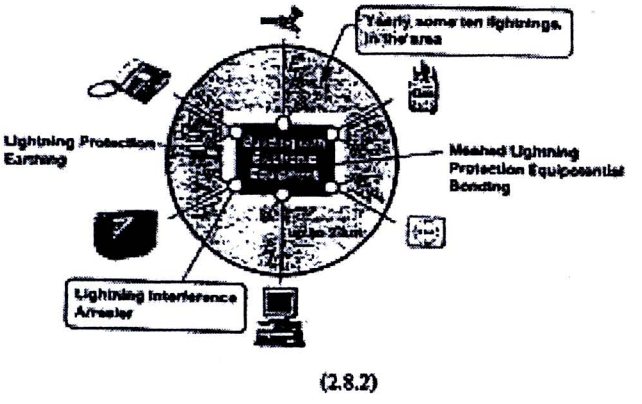
2.1.2.2 แรงดันไฟฟ้าเกินที่ถูกเหนี่ยวนำให้เกิดอยู่ภายในลูป (Induced Voltage) เนื่องจากอัตราการเปลี่ยนแปลงของกระแสฟ้าผ่าสูงสุด $(di/dt)_{max}$

สำหรับแรงดันไฟฟ้าเกินที่ตกคร่อมความต้านทานของดิน จะไม่เป็นอันตรายใดๆ กับระบบที่มีการติดตั้งระบบป้องกันฟ้าผ่า โดยมีการเชื่อมต่อกับระบบดิน จะทำให้ศักย์ไฟฟ้าเท่ากันได้และเป็นการป้องกันที่มีประสิทธิภาพพิจารณารูปที่ 2.5



S = Surge Protective Device
IN = Input

รูปที่ 2.5 แรงดันไฟฟ้าเกินตกคร่อมความต้านทานของดิน

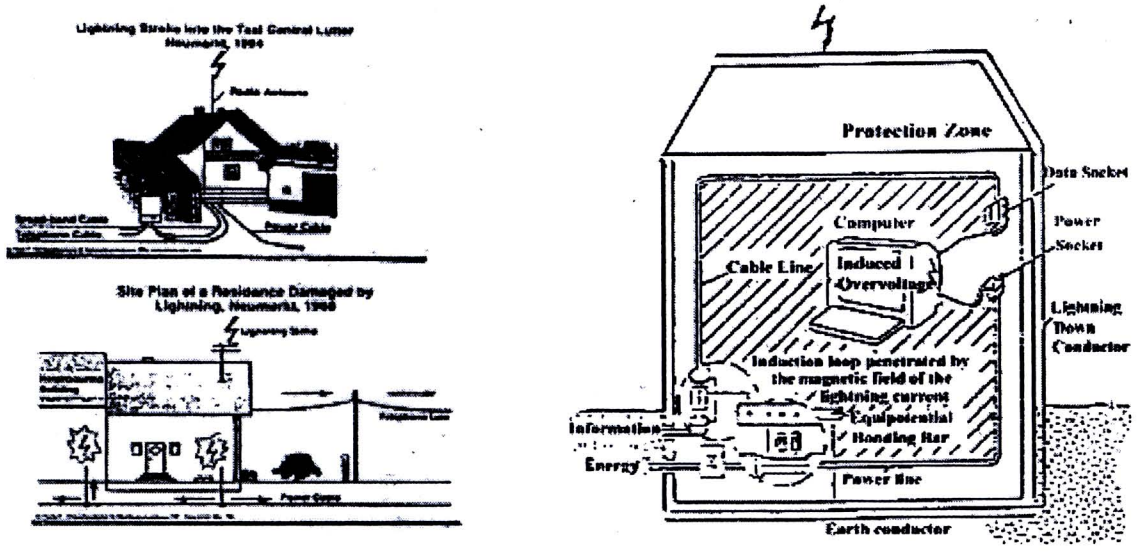


(2.8.2)

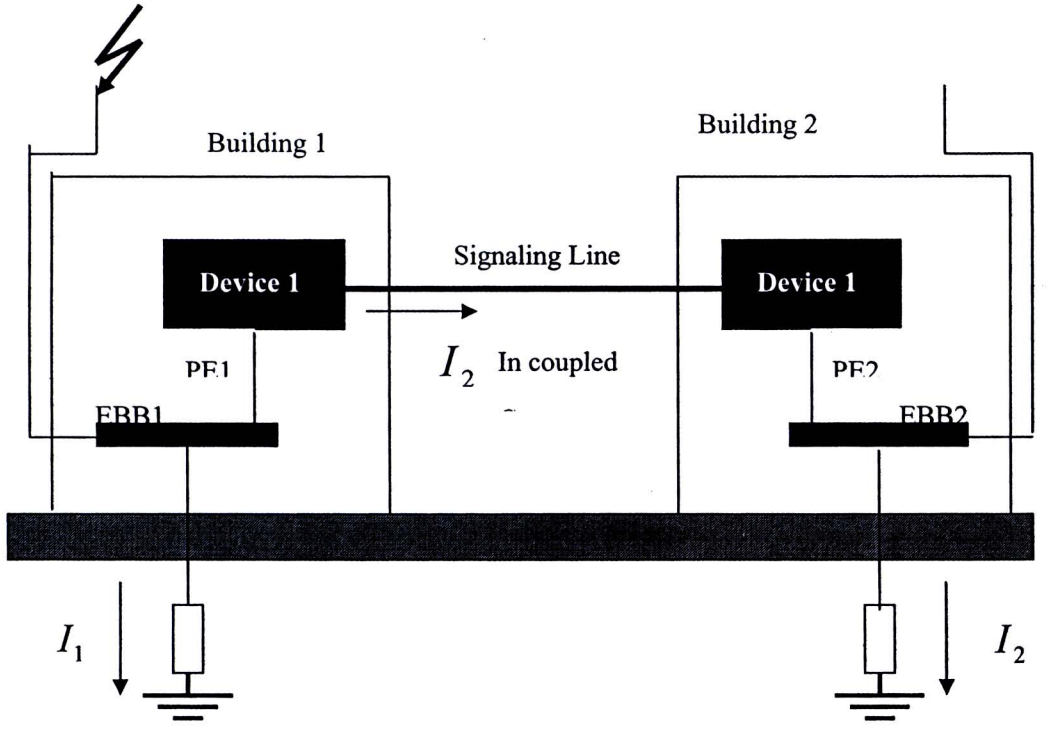
รูปที่ 2.6 แสดงการติดตั้งอุปกรณ์ป้องกัน

พิจารณารูปที่ 2.6 ซึ่งแสดงลักษณะการเกิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำภายในลูปโดยที่ทั้งสองเครือข่ายเป็นอิสระต่อกัน โดยที่เครือข่ายที่ 1 เป็น Energy Technical Network และเครือข่ายที่ 2 เป็น Information Technical Network ถึงแม้จะมีการติดตั้งระบบป้องกันฟ้าผ่าภายนอก หรือมีการเตรียมอุปกรณ์ป้องกันฟ้าผ่าที่ทำให้ศักย์ไฟฟ้าเท่ากันอย่างสมบูรณ์แล้วก็ตาม แต่ก็ยังเกิดการเหนี่ยวนำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าขึ้น

ระหว่างช่องทางเข้า ของ E_1 กับ E_2 ในลูปได้ (Induction Loop) ขนาดของเสิร์จนี้ อาจมีค่ามากถึง 100*kv* ทำให้อุปกรณ์ในระบบเสียหายได้

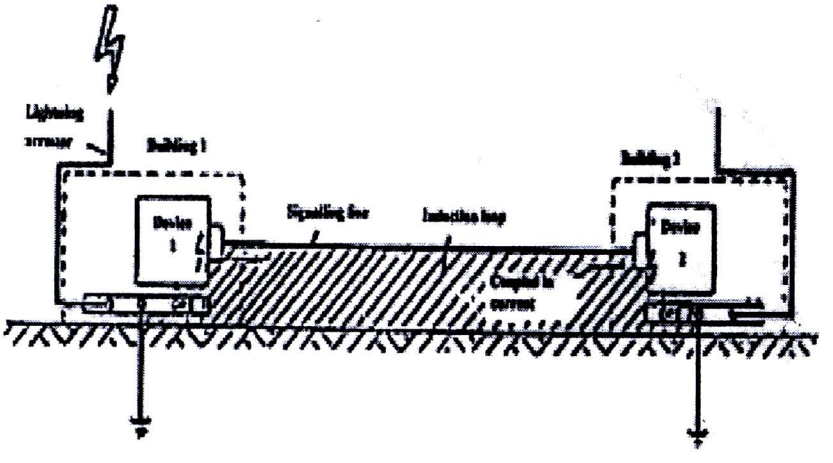


รูปที่ 2.7 แสดงการเกิดฟ้าผ่าลงระบบสื่อสาร การเกิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำในลูปที่ไม่ใช่ระบบเครือขายเดียวกันและอันตรายที่เข้ามาสู่อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เนื่องจากแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำ (Induction Voltage)



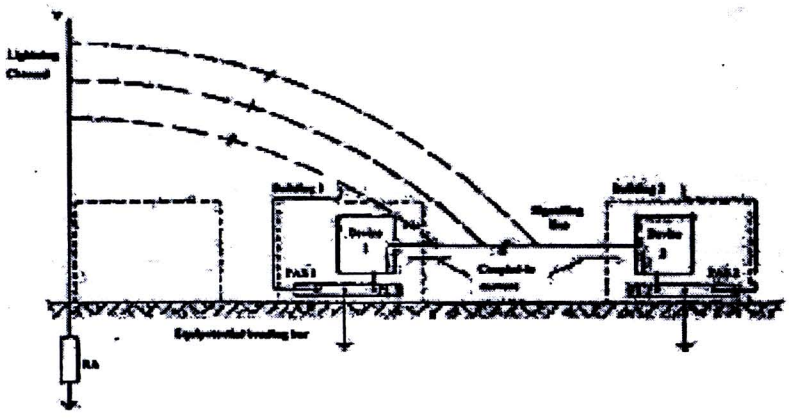
รูปที่ 2.8 แสดงการเชื่อมโยงของกระแสเสิร์จผ่านค่าความต้านทาน

จากรูปที่ 2.8 สมมติค่ากระแสฟ้าผ่า $I = 100kA$ ผ่าลงมาที่ระบบล่อฟ้าของอาคาร 1 และสมมติค่าความต้านทานของดินที่อาคาร 1 มีค่าเท่ากับ 10Ω ค่าความต้านทานของดินที่อาคาร 2 เท่ากับ 5Ω หากพิจารณาตามความรู้สึก กระแสฟ้าผ่าน่าจะไหลลงที่อาคาร 1 เพียงที่เดียวเนื่องจาก มีความต้านทานของดินต่ำกว่า ค่าความต้านทานของดินที่อาคาร 2 แต่ในความเป็นจริงพบว่า เมื่อเกิดฟ้าผ่าจะมีศักย์ไฟฟ้าตกคร่อมระบบดินที่อาคาร 1 เท่ากับ $100kA \times 1\Omega = 100kV$ สายไฟฟ้าและสายสัญญาณต่างเชื่อมกันเป็นเครือข่าย (Network) ต่อเชื่อมกับอาคาร 2 เมื่อเกิดแรงดันไฟฟ้าขนาด $100kV$ ที่อาคาร 1 ทำให้เกิดการสปาร์ก (Spark Over) ที่เทอร์มินอลของอุปกรณ์ในอาคาร 1 (Device 1) เกิดกระแสไฟฟ้าที่ I_2 (In coupled Current)ไหลในสายสัญญาณไปยังอุปกรณ์ในอาคาร 2(Device 2) สำหรับการเชื่อมโยงของเสิร์จผ่านค่าความเหนี่ยวนำ จะเกิดขึ้นเมื่อโครงสร้างของระบบป้องกันฟ้าผ่าของอาคารถูกโจมตี กระแสฟ้าผ่าไหลลงสู่ดินโดยผ่านตัวนำไฟฟ้าของอาคาร ผลของสนามแม่เหล็กอาจรบกวนต่อสายเคเบิลในตัวอาคาร และอาจเหนี่ยวนำทำให้เกิด Transient Voltage Surge หรือ Induced Over voltage ขึ้นบนสายเคเบิลทำให้อุปกรณ์ที่มีความไวสูงและเปราะบางได้รับความเสียหายได้



รูปที่ 2.9 แสดงการเชื่อโยงของเสิร์จโดยค่าความเหนี่ยวนำ

นอกจากนั้น สายนำสัญญาณที่เชื่อมโยงกันทำให้เกิดการเก็บประจุกับแนวทางเดินของฟ้าผ่า ทำให้เกิดกระแสขึ้นได้ โดยทั่วไปมีค่าโดยประมาณ $10kA$ หลังจากเกิดการ Spark Over ขึ้นที่ฉนวนของอุปกรณ์ในอาคาร 1 และอุปกรณ์ในอาคาร 2 ถ้าแรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้นบนสาย มากกว่าค่าความเครียดของการทำให้เกิดเบรกดาวน์ (Break down) ของอุปกรณ์ก็จะเกิดความเสียหายได้ ดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 แสดงการเชื่อมโยงของระบบทำให้เกิดการเก็บประจุ

2.1.3 แรงดันไฟฟ้าเกินอันเนื่องมาจากฟ้าผ่าลงที่ระยะห่างไกล

สำหรับการเกิดฟ้าผ่าลงที่ระยะไกล(Distant Strokes) นั้น ในสภาวะเริ่มแรกที่เกิดขึ้นจะเป็นต้นเหตุให้เกิดแรงดันไฟฟ้าเกินประมาณ $10kV$ และจะมีกระแสเกิดขึ้นไม่มากนัก เมื่อเปรียบเทียบกับการเกิด Distant Strokes กระแสฟ้าผ่าในกรณีนี้จะมีทั้งขนาดความรุนแรงมากกว่า โดยกระแสฟ้าผ่าที่เกิดขึ้นจาก Distant Strokes มีค่าประมาณ $150kA$ และค่ายอดของแรงดันไฟฟ้ามีค่าประมาณ $100kV$ โดยปกติค่า Withstand Impulse Voltage ของอุปกรณ์ที่ติดตั้งในระบบไฟฟ้าแรงดันต่ำ มีค่าประมาณ $1kV$ เท่านั้น ดังนั้นอุปกรณ์เหล่านี้จึงเปราะบางและได้รับความเสียหายได้ง่าย

แรงดันไฟฟ้าที่เกิดจากการคายประจุฟ้าผ่า สามารถเกิดขึ้นได้จาก 100 ถึง 1000 เท่า ของแรงดันไฟฟ้าในสภาวะปกติที่จ่ายให้อุปกรณ์ในระบบ แรงดันไฟฟ้าเกินที่มีค่าสูงนี้ สามารถถูกลดค่าลงและทำให้มีค่าต่ำจนอยู่ภายในขอบเขตของค่า Withstand Impulse Voltage เพื่อไม่ให้เกิดความเสียหายกับอุปกรณ์ในระบบ โดยใช้อุปกรณ์ป้องกันแรงดันไฟฟ้าเกิน ทั้งนี้อุปกรณ์ป้องกันไฟฟ้าเกินต้องสามารถทนรับกระแสดิสชาร์จบางส่วน (Partial Discharge) ที่มีค่าสูงมากได้ โดยไม่เกิดความเสียหายกับอุปกรณ์ป้องกันด้วย

2.1.4 การเปิด-ปิดวงจร (Switching)

2.1.4.1 แรงดันไฟฟ้าเกินเนื่องจากการเปิด – ปิดวงจร (Switching – Overvoltage)

แรงดันไฟฟ้าเกินเกิดจากการเปิด – ปิดวงจรในโรงจักรไฟฟ้ากำลัง สามารถทำให้เกิดผลกระทบกับระบบไฟฟ้าแรงต่ำได้และค่าแรงดันไฟฟ้าเกินที่เกิดขึ้นเป็นค่าที่มากกว่า 15 kV ขึ้นไป การเกิดแรงดันไฟฟ้าเกิน เนื่องจากการเปิด – ปิดวงจร สามารถเกิดได้จากสาเหตุที่ยกตัวอย่างได้ดังต่อไปนี้ คือ

การเปิด- ปิดวงจรที่มีคาปาซิเตอร์และในขณะที่สายส่งไม่มีโหลด ในระหว่างขบวนการขัดจังหวะในเบรกเกอร์ หน้าคอนแทคของเบรกเกอร์ จะค่อยๆ แยกออกทีละน้อยๆ และถ้ามีบางช่วงเวลาของขบวนการนี้เกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ทำให้แรงดันไฟฟ้าตกคร่อมที่คอนแทคมากเกินค่า ความเครียดฉนวนเกิดขึ้นอย่างฉับพลัน ก็จะทำให้มีการเผาไหม้ของอาร์ค ขึ้นอีกนั่นหมายถึง เบรคเกอร์ restrike ขึ้น และเมื่อในวงจรที่มี คาแปซิเตอร์ หรือ สายส่งที่ไม่มีโหลดถูกเปิด – ปิด วงจรก็จะทำให้เกิดการ restrike ขึ้นซ้ำอีกในเบรกเกอร์ และอาจจะเกิดแรงดันไฟฟ้าเกินขึ้น

การเปิด – ปิดวงจรเพื่อปลดหม้อแปลงไฟฟ้า หรือ ตัวเหนี่ยวนำที่ขนานกับแหล่งจ่ายสิ่งที่น่าสังเกตจากลักษณะของปรากฏการณ์แรงดันไฟฟ้าเกิน คือ จะเกิดหลังจากหม้อแปลงหรือ shunt reactor ถูกปลดออกจากระบบเรียบร้อยแล้วโดยที่ระบบสายส่ง จะไม่ได้รับผลกระทบเนื่องจากเสิร์จ เหล่านี้และจะไม่เกิด flashover หรือมีการทำงานของ co – ordinating gap ที่หม้อแปลงหรือ reactor put earth fault ของระบบ

เสิร์จที่เกิดจากการขัดจังหวะเมื่อเกิดการลัดวงจร และจากการเปิด – ปิดวงจร เมื่ออาร์ค ที่เกิดขึ้นระหว่างหน้า คอนแทคของเบรกเกอร์ ดับลง ก็จะมีแรงดันไฟฟ้าในระบบเกิดขึ้นมาอีก และตกคร่อมช่องว่างที่เกิดขึ้นจากการของหน้าคอนแทคทันทีทันใด นั่นหมายถึงแรงดันจะตกคร่อมวงจร R – L – C ที่ประกอบกันอยู่ในระบบเป็นรูปแบบที่ง่ายที่สุดของวงจร หนึ่งเฟส

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

2.1.5 ปัญหาที่เกิดขึ้นเนื่องจากแรงดันไฟฟ้าเกิน

แรงดันไฟฟ้าเกินทั้งที่เกิดจากการปรากฏการณ์ฟ้าผ่า หรือจากการเปิด – ปิดวงจรไฟฟ้า ก็ทำให้เกิดผลกระทบในลักษณะเดียวกัน คือ ทำให้เกิดการรบกวนขึ้นแก่อุปกรณ์ไฟฟ้าหรืออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ในระบบ และอาจทำให้เกิดการทำงานผิดพลาดได้ หรือ อาจทำให้เกิดการเสื่อมสภาพ เกิดความเสียหายแก่อุปกรณ์ไฟฟ้าหรือ อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ จนอาจทำให้ทั้งระบบหยุดการทำงาน ดั้งนี้

2.1.5.1 การเกิดการรบกวนขึ้นในระบบ ทำให้ระบบทำงานผิดพลาด ถึงแม้ว่าจะไม่เกิดความเสียหายทางกายภาพให้เห็น แต่การรบกวนที่เกิดขึ้นนั้นจะเป็นสาเหตุทำให้ระดับสัญญาณทางลอจิก (Logic) หรือ อนาลอก (Analog) ของระบบเสียหาย และอาจทำให้ข้อมูลสูญหาย ข้อมูลต่างๆ และซอฟต์แวร์ผิดพลาด อาจเกิดการล็อคของระบบขึ้นได้ เป็นต้น

2.1.5.2 การเสื่อมสภาพของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งเป็นสิ่งที่ต้องตระหนักและได้รับพิจารณาเป็นอย่างมาก เนื่องจากในระยะยาว อุปกรณ์เหล่านี้จะสามารถรับแรงดันไฟฟ้าเกินได้ ต่ำกว่าที่ควรจะเป็น

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
ห้องสมุดงานวิจัย
วันที่ 13 ก.ย. 2555
เลขทะเบียน 249556

ทำให้ผู้ใช้งานไม่ทราบว่า มีการเสื่อมขององค์ประกอบภายในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ และทำให้อายุการใช้งานของอุปกรณ์เหล่านี้สั้นลง

2.1.5.3 เกิดความเสียหายแก่อุปกรณ์ ได้แก่ องค์ประกอบภายในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ แผงวงจรไฟฟ้า อุปกรณ์ไฟฟ้า และ I/O การ์ดได้

2.1.5.4 เกิดการหยุดทำงานของระบบ จากการที่ระบบถูกรบกวน ทำให้เกิดการผิดพลาดในการทำงานขึ้นหรือ เกิดการเสื่อมภาพขององค์ประกอบภายในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ และเกิดความเสียหายแก่องค์ประกอบภายในอุปกรณ์เหล่านี้ นำไปสู่การหยุดทำงานของระบบ

2.1.6 แรงดันไฟฟ้าเกินเป็นสาเหตุของความเสียหายได้อย่างไร

วงจรไฟฟ้าที่ได้รับแรงดันไฟฟ้าเกินทรานเซียนท์ หรือเสิร์จ จะได้รับความเสียหายทางกายภาพ คือ ทำให้เกิดความร้อนสูง และทำให้เกิดฉนวนเกิดความเสียหาย ความเสียหายทั้งสองลักษณะนี้เป็นเหตุให้เกิดการทำงานผิดพลาดของอุปกรณ์ต่างๆ เนื่องจากการทำงานในการจ่ายกำลังไฟฟ้าจะต้องเป็นไปตามลำดับของอุปกรณ์เหล่านั้น นอกจากนี้ในระหว่างการเกิดแรงดันไฟฟ้าเกินทรานเซียนท์ กระแสไฟฟ้าจะไหลผ่านไปตามสายตัวนำภายในวงจร หรืออาจจะเป็นพวกลายปริ้น ทำให้เกิดความร้อนขึ้น ถ้าความร้อนที่เกิดขึ้นมีค่ามากพอ ก็จะทำให้สายตัวนำละลายหรือไหม้ได้ การเสื่อมของอุปกรณ์ก็เกิดขึ้นตามมาสำหรับความร้อนที่เกิดนี้ก็ยังคงมีสะสมอยู่ และอาจทำลายองค์ประกอบภายในอุปกรณ์ ทำให้ระบบเกิดความเสียหายหรือทำงานล้มเหลว เช่น จุดร่วมที่ต่อกับฟิวส์, ลายบนแผ่นปริ้น, อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ เป็นต้น นอกจากความเสียหายทางกายภาพตามที่กล่าวมา ยังมีความเสียหายอีกหลายแบบหนึ่ง คือ ความเสียหายอันเนื่องจากการทำงานที่ไม่ถูกต้อง โดยในสภาวะปกติอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำที่ต่อร่วมกัน 2 ตัว และต่อเข้ากับแหล่งจ่ายไฟฟ้า อุปกรณ์ทั้งสองนี้จะไม่ทำงานในเวลาเดียวกัน แต่เมื่อเกิดแรงดันไฟฟ้าเกิน ทรานเซี้ยนท์ขึ้นในแหล่งจ่ายไฟฟ้า อุปกรณ์เหล่านี้จะได้รับแรงดันไฟฟ้าเกินไปด้วย ทำให้อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำถูกทริกในเวลาที่ผิดได้ และอาจทำให้เกิดการลัดวงจรที่แหล่งจ่าย เกิดผลเสียหาย

2.2 ช่องทางเข้าของระบบที่แรงดันไฟฟ้าเกินสามารถเข้ามารบกวน

2.2.1 สายอากาศของวิทยุ โทรทัศน์ ไมโครเวฟและระบบเรดาร์ ระบบโทรคมนาคม (Telecommunication) ที่ใช้อุปกรณ์สื่อสารต่างๆ มักจะติดตั้งอุปกรณ์สายอากาศของระบบบนชั้นหลังคาหรือบนเสาสูงๆ จากนั้นก็เดินสายป้อนสัญญาณเข้ามาสู่อุปกรณ์โทรคมนาคมในอาคาร

อุปกรณ์สายอากาศเหล่านี้มีโอกาสสูงที่จะถูกฟ้าผ่าทั้งตรงหรือ โดยอ้อม กระแสฟ้าผ่าจะพยายามหาเส้นทางลงสู่ดิน โดยทั่วไปก็จะผ่านสายป้อนที่เชื่อมระหว่างสายอากาศกับเครื่องรับส่งสัญญาณเข้ามาทำความเสียหายให้กับอุปกรณ์โทรคมนาคม

2.2.2 ระบบลงดิน (Grounding System) การเข้ามาของแรงดันไฟฟ้าเกินทรานเซียนท์โดยผ่านสายดินของระบบหรืออุปกรณ์ เกิดขึ้นได้ในกรณีที่มีการต่อลงดินหลายจุด และเมื่อเกิดฟ้าผ่า ก่อให้เกิดศักย์ไฟฟ้าที่จุดลงดินจุดหนึ่งสูงกว่าอีกจุดหนึ่ง ทำให้มีกระแสไฟฟ้าไหลวนขึ้นจากระบบดินจุดหนึ่ง

2.3 การป้องกันเสิร์จด้วยกับดัก

2.3.1 แบบแคลมป์ (Clamp) ซึ่งเป็นการตัดยอดคลื่นออกไป เช่น MOV, ซีเนอร์ไดโอด, ไดโอดสกัด เป็นต้น

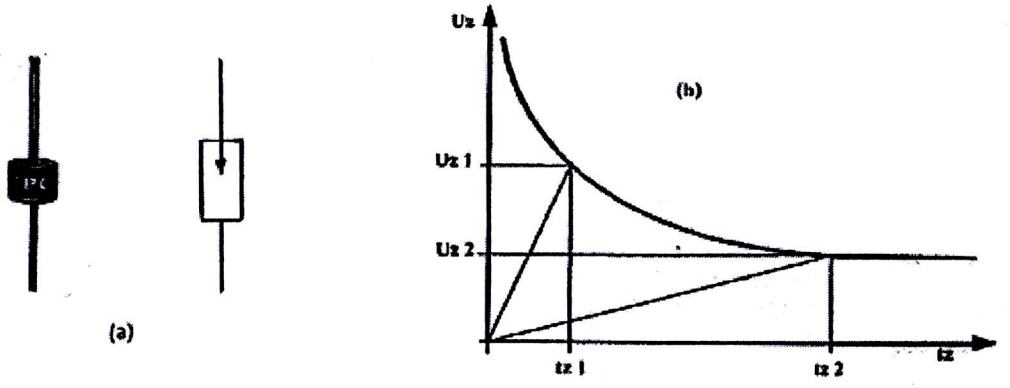
2.3.2 แบบโครบาร์ (Crowbars) ซึ่งเป็นการลดพื้นที่ ของพลังงานจากทรานเซียนท์ แต่ไม่มีการตัดยอดคลื่นลงแต่อย่างใด เช่น Gas tube or Spark gap เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีแบบผสมทังสองแบบนี้เข้าด้วยกันเรียกว่าแบบไฮบริด (Hybrids)

องค์ประกอบของชุดกับดักเสิร์จแต่ละชนิด จะมีลักษณะคุณสมบัติในการทำงาน ละสกัดกั้นเสิร์จได้ต่างกัน องค์ประกอบชนิดใดชนิดหนึ่ง ไม่สามารถทำหน้าที่ป้องกันเสิร์จได้อย่างสมบรูณ์ครบถ้วนตามความต้องการ จึงใช้ประสานงานร่วมกัน เป็นแบบผสม โดยทั่วไปมี 3 ชนิด คือ หลอดบรรจุแก๊ส (Gas discharge tube), วาริสเตอร์ชนิดโลหะออกไซด์ (MOV) และไดโอดสกัด (Suppressor Diode)

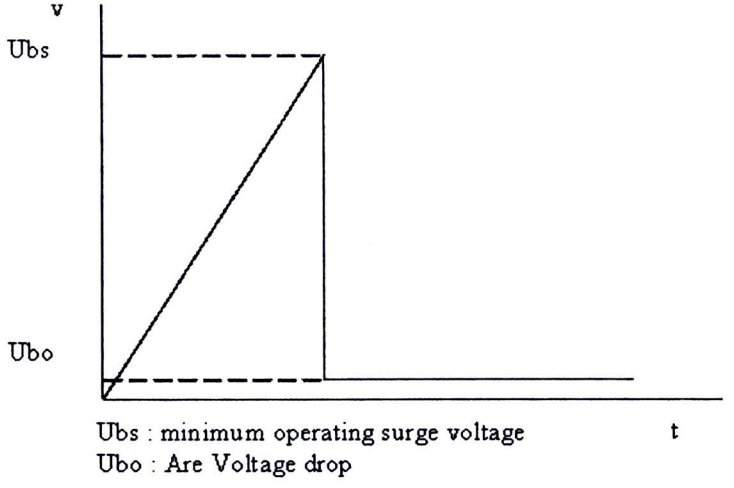
2.3.3 หลอดบรรจุแก๊ส (Gas discharge tube)

องค์ประกอบชนิดนี้ ทำงานโดยการเกิดสปาร์ค ระหว่างขั้วอิเล็กโทรดที่ทำด้วยโลหะ ซึ่งติดตั้งอยู่ ภายในหลอดแก๊สที่มีแรงดันพอเหมาะสำหรับลดค่าแรงดันเบรกดาวน์ เมื่อเกิดการสปาร์คดิสชาร์จทดกระแสไฟฟ้าเสิร์จทรานเซียนท์ได้ถึง $20kA(8/20\mu s)$ หลอดบรรจุแก๊สมีเวลาตอบสนองในช่วงเวลาหลายร้อยนาโนวินาที (ns) โดยเป็นไปตามหลักการดิสชาร์จในแก๊ส ซึ่งขึ้นอยู่กับความชันของหน้าคลื่น ในขณะที่เกิดสปาร์คและอาร์คดิสชาร์จ จะมีแรงดันไฟฟ้าเหลือตกคร่อมกับดักเสิร์จแบบหลอดบรรจุแก๊สเพียง $10-15V$ ซึ่งก็เท่ากับการเกิดลัดวงจร จึงเป็นผลให้เกิดกระแสไฟฟ้าไหลตามต่อเนื่อง แม้ว่าเสิร์จต้นเหตุได้ผ่านไปแล้วก็ตาม ซึ่งเป็นผลกระทบต่อแรงดันไฟฟ้าในระบบ และถ้านานพอก็อาจทำให้กับดักหลอดบรรจุแก๊สระเบิดได้ในเวลาเป็นวินาที ดังนั้นควรใส่ฟิวส์ป้องกันกับ

ดักเสิร์จเพื่อทำหน้าที่ในการตัดวงจรได้ทันทีหรือใส่องค์ประกอบตัวอื่นที่สามารถตัดกระแสไฟฟ้าตามต่อเนื่องได้



รูปที่ 2.11 องค์ประกอบกับดักหลอดบรรจุแก๊สและกราฟคุณลักษณะ



รูปที่ 2.12 คุณลักษณะการตอบสนองของแก๊สดิสชาร์จ

ขั้วอิเล็กโทรดบรรจุภายในภาชนะทรงกระบอกปิดทึบและภายในภาชนะทรงกระบอกบรรจุแก๊สอาจจะเป็นแก๊สธรรมดา หรือแก๊สเฉื่อย เมื่อมีแรงดันไฟตกคร่อมที่ขั้วอิเล็กโทรดสูงถึงระดับหนึ่งก็จะทำให้แก๊สที่อยู่ภายในรอบๆ ขั้วอิเล็กโทรดเกิดการแตกตัวเป็นไอออน ทำให้แก๊สเปลี่ยนสภาพจากฉนวนเป็นตัวนำไฟฟ้าได้อิเล็กตรอนจากขั้วอิเล็กโทรดขั้วหนึ่งจะสามารถกระโดดข้ามไปยังอีกขั้วหนึ่ง โดยมีไอออนของแก๊สที่แตกตัวเป็นตัวนำ ระดับแรงดันไฟฟ้าที่ทำให้เกิดการแตกตัวของแก๊สหรือทำให้เกิดการนำไฟฟ้าของอุปกรณ์แก๊สดิสชาร์จ เรียกว่า "แรงดันเบรกดาวน์ (Breakdown

Voltage)" มีค่าได้ตั้งแต่ $70V$ ถึง $15kV$ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับการออกแบบ สำหรับแก๊สดิสชาร์จ แบ่งได้ 2 ประเภท คือ

2.3.3.1 แก๊สดิสชาร์จแบบคาร์บอน ซึ่งจะมีแกรไฟต์รูปร่างทรงกระบอกเป็นอิเล็กโทรด โดยมีช่องว่างอากาศประมาณ 0.003 นิ้ว ใช้อากาศธรรมดาบรรจุรอบแท่งอิเล็กโทรด มีค่าแรงดันเบรกดาวน์ประมาณ $400-800V$ เมื่อเกิดการนำกระแสจะเกิดแรงดันไฟฟ้าจะมีแรงดันตกคร่อมที่ขั้วอิเล็กโทรดประมาณ $30V$ หรือต่ำกว่าแก๊สดิสชาร์จแบบคาร์บอนนี้ มีระยะห่างระหว่างขั้วอิเล็กโทรดแคบมาก ดังนั้นถ้านำกระแสไฟฟ้ามากๆ หรือบ่อยครั้ง ก็จะมีฝุ่นแกรไฟต์ตกค้าง สะสมที่ปลายขั้วอิเล็กโทรด ฝุ่นแกรไฟต์นี้จำทำให้เกิดการลดลงของความต้านทานหรือสภาพฉนวนของแก๊สก่อให้เกิดการไหลของกระแสไฟฟ้า เป็นผลทำให้เกิดสัญญาณรบกวนต่ออีก นอกจากนี้ยังอาจทำให้แรงดันเบรกดาวน์มีค่าต่ำลงเรื่อยๆ เมื่อใช้งานไปนานๆ อย่างไรก็ตาม การที่แก๊สดิสชาร์จแบบคาร์บอนมีระยะห่างระหว่างขั้วอิเล็กโทรดแคบมาก จึงทำให้อุปกรณ์เหล่านี้มีความไวต่อทรานเซียนท์ ดีกว่าแก๊สดิสชาร์จประเภทอื่น นั่นคือ เปลี่ยนสภาพจากฉนวนไปเป็นสภาพนำไฟฟ้าได้เร็วกว่านั้น

2.3.3.2 แก๊สดิสชาร์จแบบแก๊สเฉื่อย ซึ่งใช้โลหะตัวนำเป็นอิเล็กโทรด แก๊สที่ใช้บรรจุเป็นแก๊สเฉื่อย เช่น อาร์กอน, ฮีเลียม, นีออน เป็นต้น โดยอยู่ในสภาพแรงดันต่ำ และมีระยะห่างระหว่างขั้วอิเล็กโทรดห่างกันได้มากกว่าแบบคาร์บอน เนื่องจากแก๊สเฉื่อยแตกตัวเป็นไอออนได้ดีกว่าอากาศธรรมดา การที่ระยะห่างระหว่างขั้วอิเล็กโทรดเพิ่มมากขึ้น จึงทำให้อายุการใช้งานของอิเล็กโทรดนานขึ้นตามไปด้วย เพราะการสึกหรอของอิเล็กโทรดเนื่องจากกระแสไฟฟ้ามีน้อยลง อย่างไรก็ตามการที่ระยะห่างของขั้วอิเล็กโทรดมากขึ้น ก็ทำให้ความไวต่อทรานเซียนท์ลดลง เมื่อเทียบกับคาร์บอน สามารถแก้ไขปัญหาได้โดยการเติมสารกัมมันตรังสีปริมาณน้อย ๆ เข้าไป เพื่อกระตุ้นการเกิดอิเล็กตรอนอิสระในแก๊สเฉื่อยมากขึ้น ช่วยนำกระแสไฟฟ้าได้ไวและดีขึ้น

2.3.4 ชนิดของตัวเหนี่ยวนำ

ตัวเหนี่ยวนำบางครั้งเรียกว่า โช้ก (Choke) ได้ถูกนำมาใช้ในวงจรอิเล็กทรอนิกส์ จะมีอยู่มากมายหลายชนิดซึ่งเราสามารถแบ่งตัวเหนี่ยวนำได้พันขดลวดได้เป็น 3 ชนิด ดังตัวอย่างที่จะได้เห็นดังกล่าว

2.3.4.1 โช้กแกนเหล็ก (Iron-Core Choke)

ตัวเหนี่ยวนำชนิดนี้จะมีลักษณะของการพันอยู่บนแกนเหล็ก โดยแกนที่พันขดลวดนั้นอาจมีลักษณะของแท่งเหล็ก แกนรูปตัวซี (C) แกนแบบอี-ไอ (E-I) โดยทั่วไปตัวเหนี่ยวนำแบบนี้จะมีฟอร์มพลาสติกรองรับขดลวดที่พัน เพื่อที่จะแยกขดลวดออกจากแกนเหล็กที่เป็นตัวนำไฟฟ้าเพื่อป้องกันการ

ลัดวงจร ตัวเหนี่ยวนำชนิดนี้จะใช้งานในย่านความถี่ต่ำๆ เนื่องจากการตอบสนองของแกนเหล็กอ่อนที่ไม่สามารถตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของเส้นแรงแม่เหล็กที่มีความถี่สูงได้ บางครั้งเรียกว่า เอเอฟโช้ก (A.F Choke) แต่ตัวเหนี่ยวนำที่ใช้แกนเหล็กอ่อนนี้จะมีค่าความเหนี่ยวนำสูง โดยทั่วไปจะมีค่าความเหนี่ยวนำประมาณ 10-30 เฮนรี

2.3.4.2 โช้กแกนอากาศ(Air-Core Choke)

ตัวเหนี่ยวนำชนิดนี้จะมีลักษณะเป็นลวดที่พันโดยไม่มีแกน (แกนอากาศ) หรืออาจพันบนฟอร์มพลาสติกหรือกระดาษที่ไม่มีแกน เนื่องจากใช้แกนในอากาศจึงมีผลทำให้ตัวเหนี่ยวนำต่ำมาก โดยส่วนมากจะมีหน่วยเป็นไมโครเฮนรี(μH) ซึ่งตัวเหนี่ยวนำที่มีแกนเป็นอากาศนี้จะใช้ในย่านวิทยุ โดยจะเรียกว่า อาร์.เอฟ โช้ก (R.F Choke)

2.3.4.3 โช้กแกนเฟอร์ไรต์(Ferrite-Core Choke)

ตัวเหนี่ยวนำชนิดนี้จะใช้แกนเป็นผงโลหะผสมพิเศษอัดเพื่อทำให้ค่าความเหนี่ยวนำมีค่าสูงกว่าตัวเหนี่ยวนำแกนอากาศ แต่สามารถใช้งานในย่านความถี่สูงๆ มักนิยมใช้เป็นตัวเหนี่ยวนำปรับค่าในวงจรจูลเลือกย่านความถี่รับวิทยุ บางครั้งแกนเฟอร์ไรต์แบบนี้จะช่วยปรับค่าความเหนี่ยวนำให้เปลี่ยนแปลงไปได้เล็กน้อย รูปร่างของแกนแบบนี้จะมีทั้งแบบ อี.ไอ แบบตัวซี แบบแท่งยาว และแบบนี้เป็นสลักเกลียวปรับเลื่อนเข้า - ออกจากขดลวดเพื่อปรับค่าของความเหนี่ยวนำได้

2.3.4.4 การพันตัวเหนี่ยวนำ

ตัวเหนี่ยวนำเป็นอุปกรณ์ที่มีความยุ่งยากในการจัดซื้อ เพื่อให้ได้ค่าความเหนี่ยวนำที่ต้องการ เรามักจะนิยมพันตัวเหนี่ยวนำขึ้นมาเอง โดยใช้พื้นฐานแล้วความเหนี่ยวนำของขดลวด ซึ่งมีองค์ประกอบดังนี้

จำนวนอบของการพันขดลวดที่มีผลต่อความเหนี่ยวนำโดยตรง คือ ถ้าพันขดลวดจำนวนรอบมากรอบความเหนี่ยวนำที่ปรากฏก็จะมีจำนวนมากตาม แต่ถ้าพันขดลวดจำนวนน้อยก็จะมีความเหนี่ยวนำที่น้อยตาม

พื้นที่หน้าตัดของแกนที่ขดลวดพันอยู่ คือ ถ้าแกนที่ใช้ในการพันขดลวดเป็นแกนชนิดเดียวความเหนี่ยวนำก็จะเพิ่มขึ้นตามขนานพื้นที่หน้าตัดของแกนนี้

ความซาบซึมได้ (Permeability: μr)ของแกนที่ใช้พันขดลวด จะมีค่าความซาบซึมได้ (Permeability: μr) ของแกนที่ใช้พันขดลวด เท่ากับ 1

ระยะห่างของการพันขดลวดและความยาวของแกนที่ใช้ คือเมื่อกำหนดจำนวนรอบของขดลวดเท่ากัน เราจะเห็นได้ว่าการพันขดลวดบนแกนที่ยาวจะทำให้ระยะห่างของขดลวดมากขึ้น ผลก็คือความเหนี่ยวนำจะมีค่าน้อย แต่ถ้าพันขดลวดบนแกนที่สั้นจะทำให้ขดลวดที่พันมีระยะห่างของขดลวดอยู่ชิดกันมากทำให้ความเหนี่ยวนำมีค่าเพิ่มสูงขึ้น

สูตรในการคำนวณหาค่าความเหนี่ยวนำ (Inductance :L) จากการพันขดลวด หรือบางครั้งอาจเรียกว่าคอยล์(Coil) ซึ่งความยาวของขดลวดต้องมีขนาดมากกว่าเส้นผ่าศูนย์กลางของตัวมันอย่างน้อย 10 เท่า คือ

$$L = \mu r \times \frac{N^2 \times A}{1} \times 1.26 \times 10^{-6}$$

เมื่อค่า L = ความเหนี่ยวนำเหนี่ยว มีหน่วยเป็น เฮนรี่ (H)

μr = ความซาบซึมได้จากแกนที่ใช้(ความซาบซึมในแกนอากาศเท่ากับ 1)

A = พื้นที่ของแกน หน่วยตารางเมตร (m^2)

1 = ความยาวของขดลวด หน่วยเป็นเมตร(m)

N = จำนวนรอบของขดลวด หน่วยเป็น รอบ

กรณีที่คิดพื้นที่ของแกน (A) เป็นตารางเมตร (m^2) และความยาวของแกน (1) เป็นเมตร(m)หรือ

$$L = \frac{4 \times \pi^2 \times r^2 \times n^2 \times \mu r}{1 \times 10^9} \qquad \text{(ใช้แกนเหล็ก)}$$

$$L = \frac{4 \times \pi^2 \times r^2 \times n^2}{1 \times 10^9} \qquad \text{(ใช้แกนอากาศ)}$$

ตัวอย่างการหาค่า L ชนิดแกนอากาศ

ขดลวดแกนอากาศวัดรัศมีเฉลี่ย 10 เซนติเมตร วัดความยาวรอบขดลวดได้ 20 เซนติเมตร มีค่าความเหนี่ยวนำที่วัดได้ 50 มิลิเฮนรี จงคำนวณหาค่ารอบที่ใช้พันขดลวดมีกี่รอบ

วิธีทำ กำหนดให้ค่า r=10 cm , 1 = 20 cm , L = 50 mH =0.05 H

จากสูตร $L = \frac{4 \times \pi^2 \times r^2 \times n^2}{1 \times 10^9}$

$$0.05 = \frac{4 \times \pi^2 \times r^2 \times n^2}{20 \times 10^9}$$

$$n^2 = \frac{0.055(20 \times 10^9)}{4 \times \pi^2 \times 10^2} \qquad = 253{,}559.98 \text{ รอบ}$$

$\therefore$ จำนวนรอบที่พัน(n) = 503.55 รอบ

2.3.4.5 การออกแบบสร้างความเหนี่ยวนำ (L) แบบแกนอากาศ

การพันตัวเหนี่ยวนำ

ตัวเหนี่ยวนำจะเป็นอุปกรณ์ที่มีความยุ่งยากในการจัดซื้อ เพื่อให้ได้ค่าความเหนี่ยวนำตามต้องการมาก จะนิยมการพันตัวเหนี่ยวนำขึ้นมาใช้เอง โดยพื้นฐานแล้วความเหนี่ยวนำของขดลวดจะขึ้นอยู่กับองค์ประกอบดังต่อไปนี้

จำนวนรอบของการพันขดลวดจะมีผลต่อความเหนี่ยวนำโดยตรงคือ ถ้าพันขดลวดให้มีจำนวนรอบน้อย ความเหนี่ยวนำที่ปรากฏก็จะมีค่าน้อยไปด้วย โดยทั่วไปแล้วความเหนี่ยวนำจะมีการเพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วนกำลังสองของจำนวนรอบที่พัน

พื้นที่หน้าตัดของแกนที่ขดลวดพันอยู่ คือถ้าแกนที่ใช้ในการพันขดลวดเป็นแกนชนิดเดียวกันความเหนี่ยวนำก็จะเพิ่มขึ้นตามขนาดพื้นที่หน้าตัดของแกนนี้

ความซาบซึมได้(Permeability: μr) ของแกนที่ใช้ในการพันขดลวด เช่น การใช้แกนเหล็กอ่อนจะมีผลทำให้ความเหนี่ยวนำมีค่าเพิ่มขึ้น เพราะแกนเหล็กอ่อนเป็นทางที่นำเส้นแรงมีแม่เหล็กได้ดีกว่าขดลวดชนิดอื่นอย่างเช่นขดลวดที่ใช้แกนอากาศ ซึ่งจะมีความซาบซึมได้ของแกนเท่ากับ 1 เป็นต้น

2.3.4.6 คำนวณแบบแกนอากาศ(Ai-Core Choke)

ตัวเหนี่ยวนำชนิดนี้จะมีลักษณะเป็นลวดที่พันโดยไม่มีแกน (แกนอากาศ) หรืออาจพันบนฟอร์มพลาสติกหรือกระดาษที่ไม่มีแกน เนื่องจากการใช้แกนเป็นอากาศจึงมีผลทำให้ตัวเหนี่ยวนำต่ำมาก โดยส่วนมากจะมีหน่วยเป็นไมโครเฮนรี (μH)

ต้องการค่าความเหนี่ยวนำ 100ไมโครเฮนรี

ขดลวดแกนอากาศวัดรัศมีเฉลี่ยได้ 2 เซนติเมตร ใช้ความยาวขดลวดได้ 25 เซนติเมตร ต้องการค่าความเหนี่ยวนำที่วัดได้ 100ไมโครเฮนรี คำนวณหารอบที่ใช้พัน

สูตรที่ใช้คำนวณ $$L = \frac{4 \times \pi^2 \times r^2 \times n^2}{1 \times 10^9}$$

กำหนดค่า L = 100 μH , r = cm ,1 = 25 cm

วิธีทำ $$n^2 = \frac{L \times 1 \times 10^9}{4 \times \pi^2 \times r^2}$$

$$= \frac{100 \times 10^{-6} \times 25 \times 10^{9}}{4 \times \pi^{2} \times 2^{2}}$$

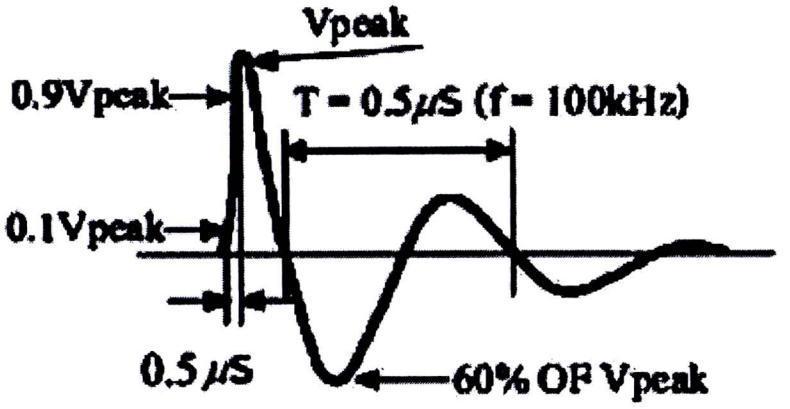
$$n^{2} = 15831.435$$

$$n = \sqrt{15831.435}$$

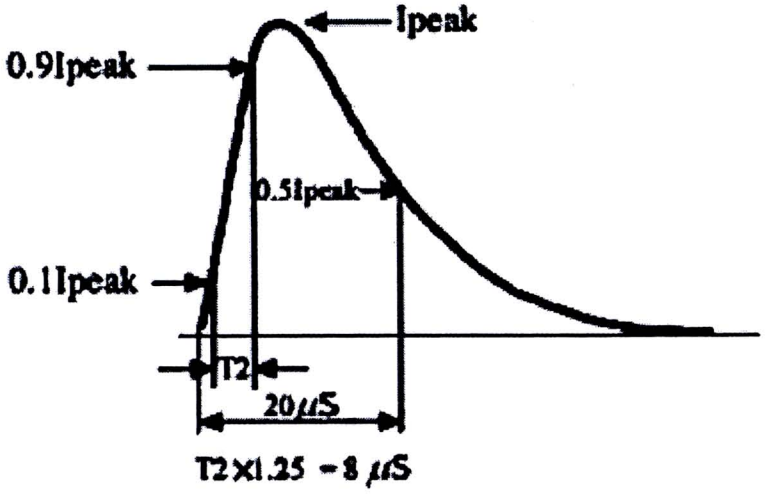
$$= 125$$

ดังนั้น จะได้จำนวนรอบที่ใช้พันแบบแกนอากาศเท่ากับ 125 รอบ

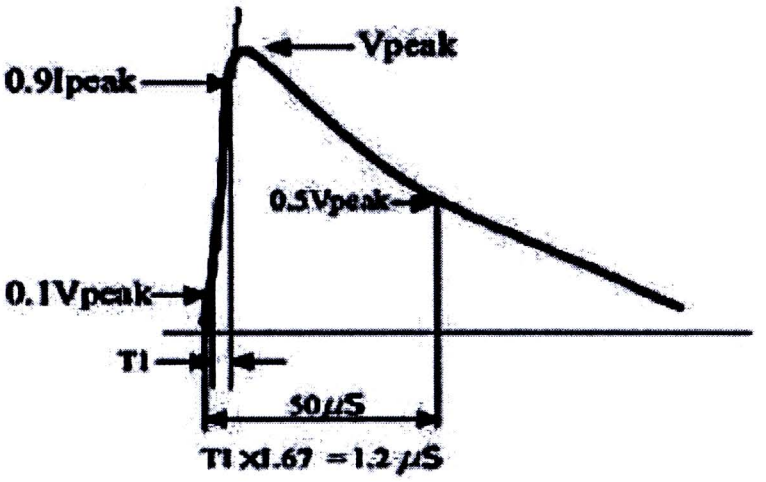
2.4 ลักษณะรูปคลื่นมาตรฐานจากปรากฏการฟ้าผ่า



รูปที่ 2.13 แสดงรูปคลื่นสัญญาณแกร่งหรือ Ring Wave



รูปที่ 2.14 รูปคลื่นกระแสไฟฟ้าเกินชั่วขณะ $8/20\mu S$



รูปที่ 2.15 รูปคลื่น แรงดันไฟฟ้าเกินชั่วขณะ $1.2/50\mu S$

ทางสถาบัน IEEE จึงได้มีการกำหนดรูปแบบของสัญญาณจากปรากฏการฟ้าผ่าซึ่งเรียกว่า สัญญาณไฟฟ้าเกินชั่วขณะ (Transient Over Voltage) ขึ้นมาให้เป็นไปในลักษณะเดียวกัน เพื่อง่ายต่อการตรวจสอบมาตรฐานของเครื่องและอุปกรณ์ ที่ใช้ในการลดทอนแรงดันไฟฟ้าเกินชั่วขณะ 3 ลักษณะด้วยกัน ได้แก่ รูปคลื่นสัญญาณแกร่งหรือ Ring Wave รูปคลื่นกระแสไฟฟ้าเกินชั่วขณะ $8/20\mu S$ และรูปคลื่น แรงดันไฟฟ้าเกินชั่วขณะ $1.2/50\mu S$ ดูรูปที่ 2.21 , 2.22 , 2.23 ตามลำดับ นอกเหนือจากการกำหนดลักษณะของรูปคลื่นที่แตกต่างกันไปแล้ว สถาบัน IEEE ก็ยังได้จัดแบ่งบริเวณความรุนแรงของลักษณะของระบบงานออกเป็นส่วนต่างๆ (CAT.A. ,CAT B.. CAT C.) สามารถพิจารณาค่าขนาดได้ตามตารางที่ 1 และ2 ส่วนมาตรฐานของประเทศออสเตรเลียกับนิวซีแลนด์ ซึ่งเป็นกลุ่มประเทศที่ต้องเผชิญหน้ากับฟ้าผ่าที่ค่อนข้างรุนแรง และมีความถี่ที่เกิดบ่อยมาก จึงได้ออกมาตรฐานที่มากขึ้นกว่าสถาบัน IEEE เพิ่มอีก 2 โซน คือ CAT.D, CAT.

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

วิทวัส งามประดิษฐ์ และ สำรวย สังข์สะอาด [3] ทำการวิจัยเมื่อปี 2543 อุปกรณ์ป้องกันแรงดันเกินในระบบแรงต่ำและเทคนิคการทดสอบ สัมมนาวิชาการวิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูงและอีเอ็มซี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย งานวิจัยนี้กล่าวถึง การป้องกันเสิร์จด้วยกับดักโดยใช้หลอดแก๊ส วาริสเตอร์ และไดโอดสกัดเสิร์จ ให้รายละเอียดคุณลักษณะขององค์ประกอบของกับดักแต่ละชนิด การใช้วงจรผสมกับดักป้องกันเสิร์จ การเลือกอุปกรณ์กับดักเสิร์จ และเทคนิคการทดสอบ

อนันต์ มนต์สันเทียะ [16] ทำการวิจัยเมื่อปี 2546 การพัฒนาบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนรูปแบบสถานการณ์จำลองเรื่อง อุบัติเหตุ วิ ชาจราจร สำหรับนักเรียนพลตำรวจ โครงงานปริญญาครุศาสตร

บัณฑิต สาขาเทคโนโลยีและการสื่อสาร สถาบันราชภัฏนครราชสีมา งานวิจัยนี้กล่าวถึงการพัฒนาและหาประสิทธิภาพบทเรียนคอมพิวเตอร์ ช่วยสอนรูปแบบสถานการณ์จำลอง เรื่อง อุบัติเหตุวิชาจราจร สำหรับนักเรียนพลตำรวจและหาค่าดัชนีประสิทธิผลของนักเรียน พลตำรวจที่เรียนด้วยบทเรียนคอมพิวเตอร์ช่วยสอนรูปแบบสถานการณ์จำลอง ซึ่งเป็นการใช้คอมพิวเตอร์สร้างสถานการณ์จำลองขึ้นมา

ชัยมงคล คำสม [18] ทำการวิจัยเมื่อปี 2543 ระบบป้องกันและกำจัดฟ้าผ่าของ ทศท วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ งานวิจัยนี้กล่าวถึง ระบบป้องกันและกำจัดฟ้าผ่าของ ทศท เพื่อหยุดยั้งและระงับความเสียหายที่เกิดจากฟ้าผ่า และกำหนดว่าต้องใช้วัสดุอุปกรณ์ต่างๆ ที่สามารถหาได้ภายในประเทศมาใช้งาน โดยอาศัยหลักการฟ้าผ่าวิเคราะห์โดยละเอียดและได้ใช้ข้อมูลบันทึกฟ้าผ่าที่เกิดขึ้นกับ ทศท เป็นแนวทางการออกแบบ โดยอาศัยการทำลายแหล่งกำเนิดและแยกทิ้งกระแสฟ้าผ่าให้พ้นจากระบบสื่อสาร ลดระดับสัญญาณรบกวนขณะฟ้าผ่า และใช้อุปกรณ์ป้องกันเสริม สิ่งสำคัญที่สุดของระบบป้องกันและกำจัดฟ้าผ่าคือการนำระบบกราวนด์แบบต่อร่วมวงจรกัน ณ สภาพดินที่ให้ค่านำกระแสไฟฟ้าสูงสุด ซึ่งมีอยู่ใต้ผิวดินที่ระดับความลึกค่าหนึ่งเข้ามาใช้ในระบบ

สรุป จากการศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ได้ข้อสรุปในการดำเนินการวิจัยในส่วนของการออกแบบโหลดอิเล็กทรอนิกส์ มาใช้ในการทดสอบวงจรป้องกันแรงดันเกิน โดยจะเลือกวัสดุที่นำมาใช้ในการลดทอนแรงดันไฟเกิน ดังรายละเอียดในการดำเนินการวิจัยจะกล่าวใน บทต่อไป