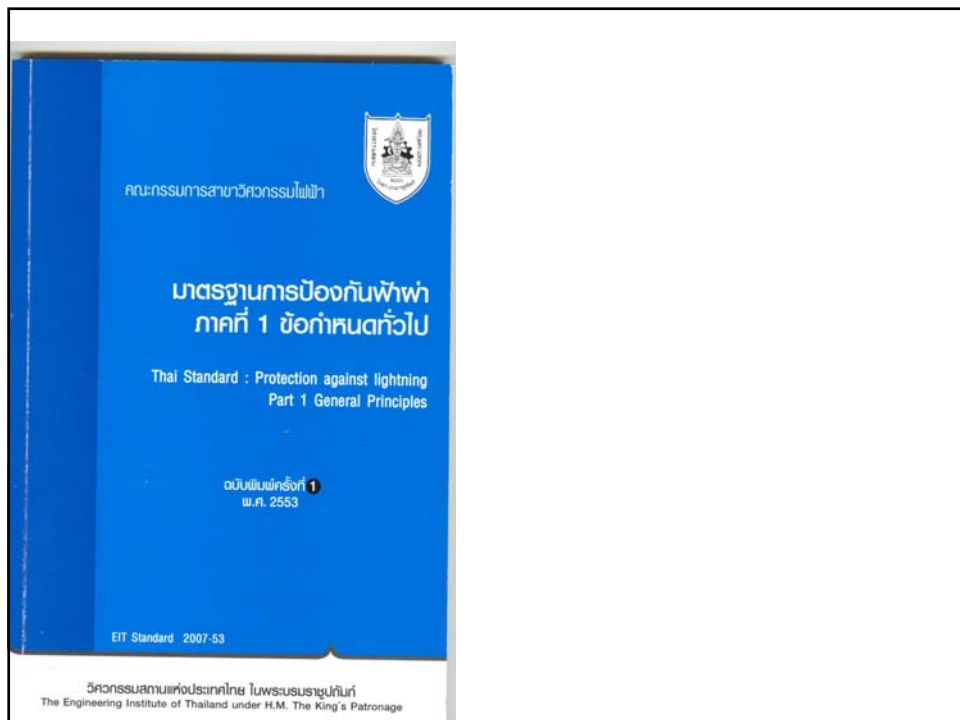


การป้องกันฟ้าผ่าภาคที่ 1

วิวัฒน์ กุลวงศ์วิทย์



คณะอนุกรรมการ

1. จศ.ดร.ดำรงวอ	สังฆะฮาล	พื้นรึกษา
2. นายประสิทธิ์	เหมกรพรชัย	พื้นรึกษา
3. นายสมศักดิ์	นิลิตกุลคำจีน	พื้นรึกษา
4. นายปารการ	กาญจนวลี	พื้นรึกษา
5. นายเกียรติ	อรรถพงศ์	พื้นรึกษา
6. นายวิวัฒน์	กุลวงศวิทย์	ประธาน
7. นายโสมณ	ศิลาพันธ์	กรรมการ
8. นายสุกิจ	เกียรติบุญศิริ	กรรมการ
9. นายสมชาย	หอมกลิ่นแก้ว	กรรมการ
10. นายบุญมาก	สมิทธิธิลา	กรรมการ
11. นายกสิศักดิ์	วรรณแก้ว	กรรมการ
12. ดร.วินัย	พฤกษ์วัน	กรรมการ
13. ดร.นาคยา	คล้ายเสียง	กรรมการ
14. นางสาวนพลา	ธีรฉัตรกุล	กรรมการ
15. นางสาวพทัญญา	ฐิติแสง	กรรมการ
16. ผศ.ดร.ปฐมทัศน์	จิระเดชะ	กรรมการ
17. ผศ.ดร.โสทธิพงศ์	พิชัยสวัสดิ์	กรรมการ
18. นายธีระพันธ์	รังสิวิจิตรประภา	กรรมการ
19. นายโสมณ	สิทธโกศล	กรรมการ
20. นายศิริชัย	คันธมาส	กรรมการ
21. นายชาญชาญ	โพธิ์สาธ	กรรมการและเลขานุการ
22. นางสาวโรชา	มณีชีโม	เจ้าหน้าที่ประสานงานวิชาการ
23. นางสาวมาลี	คำมสิริสันติ	เจ้าหน้าที่ประสานงานวิชาการ
24. นางสาวเมตตา	หมอนเขียน	เจ้าหน้าที่ประสานงานวิชาการ

บทที่ 1

ขอบข่าย

มาตรฐานข้อนี้เป็นข้อบังคับทั่วไปในการป้องกันฟ้าผ่าสำหรับ

- สิ่งปลูกสร้างรวมทั้งการติดตั้ง และสิ่งที่อยู่ภายในรวมถึงบุคคล
- ระบบสาธารณูปโภคที่ต่อเข้ากับสิ่งปลูกสร้าง

มาตรฐานนี้ไม่ครอบคลุมถึง

- ระบบรางรถไฟ
- การติดตั้งในรถ เรือ อากาศยาน และการติดตั้งนอกฝั่ง
- ระบบท่อความดันสูงที่ฝังดิน
- ระบบท่อ ไฟฟ้า และสายสื่อสารที่ไม่ได้ต่อเข้ากับสิ่งปลูกสร้าง

หมายเหตุ โดยปกติระบบเหล่านี้จะมีข้อกำหนดพิเศษ กำหนดโดยหน่วยงานที่มีหน้าที่เกี่ยวข้องโดยเฉพาะ

บทที่ 2 มาตรฐานอ้างอิง

มาตรฐานอ้างอิงต่อไปนี้เป็นสิ่งจำเป็นในการนำมาตรฐานนี้ไปประยุกต์ใช้โดยใช้อุปกรณ์ที่พิมพ์
ล่าสุด

- มาตรฐานการป้องกันฟ้าผ่าภาค 2 การบริหารความเสี่ยง
- มาตรฐานการป้องกันฟ้าผ่าภาค 3 ความเสียหายทางกายภาพ และอันตรายต่อชีวิตจากฟ้าผ่า
- มาตรฐานการป้องกันฟ้าผ่าภาค 4 ระบบไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ภายในสิ่งปลูกสร้าง

บทที่ 3 นิยามและคำจำกัดความ

3 - 1

บทที่ 3 นิยามและคำจำกัดความ

วัตถุประสงค์ของการใช้เอกสารนี้ให้ใช้นิยามและคำจำกัดความต่อไปนี้

..

3.25 ระดับป้องกันฟ้าผ่า (lightning protection level : LPL)

ตัวเลขซึ่งสัมพันธ์กับกลุ่มของค่าพารามิเตอร์ของกระแสฟ้าผ่าที่สัมพันธ์กับความน่าจะเป็นค่าสูงสุดและค่าสุดที่ออกแบบ ไม่เกินค่าที่เกิดจากฟ้าผ่าตามธรรมชาติ

หมายเหตุ ระดับป้องกันฟ้าผ่าใช้ในการออกแบบมาตรการป้องกันฟ้าผ่า ตามค่าพารามิเตอร์ของกระแสฟ้าผ่าที่กำหนดในแต่ละระดับ

3.28 ระบบป้องกันฟ้าผ่า (lightning protection system : LPS)

ระบบสมบูรณ์ที่ใช้เพื่อลดความเสียหายทางกายภาพเนื่องจากฟ้าผ่าสิ่งปลูกสร้าง

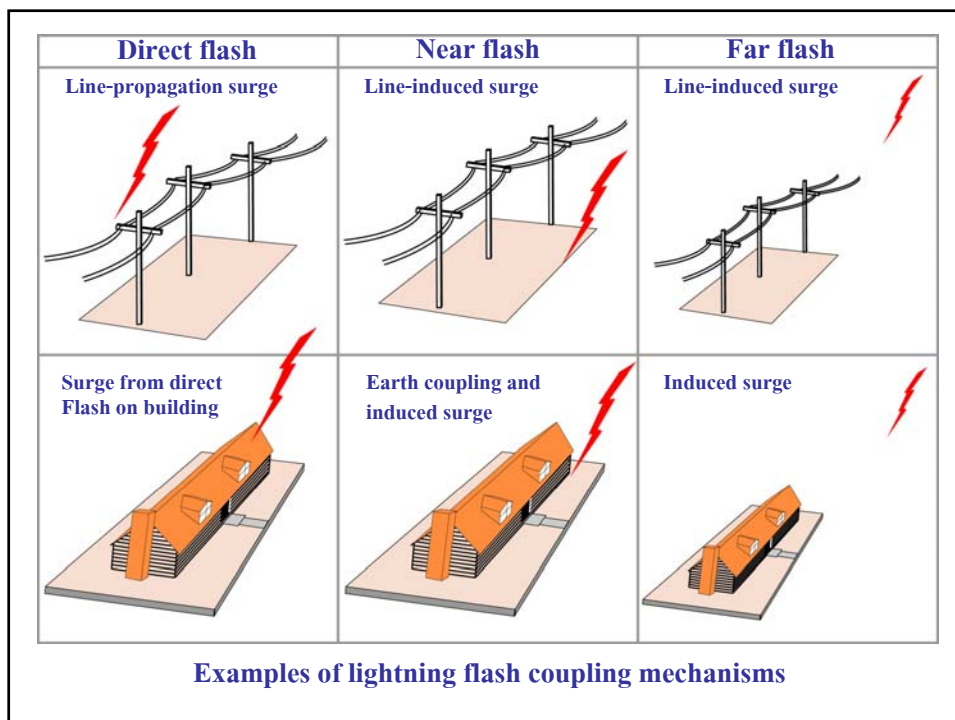
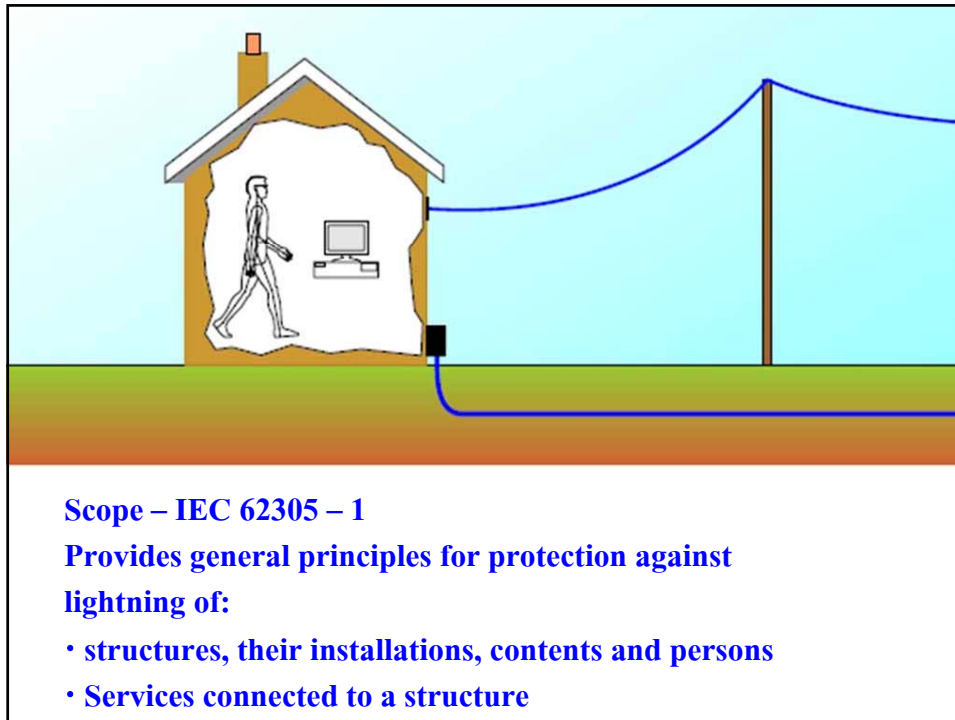
หมายเหตุ ระบบป้องกันฟ้าผ่าที่สมบูรณ์ประกอบด้วยระบบป้องกันฟ้าผ่าภายนอกและภายใน

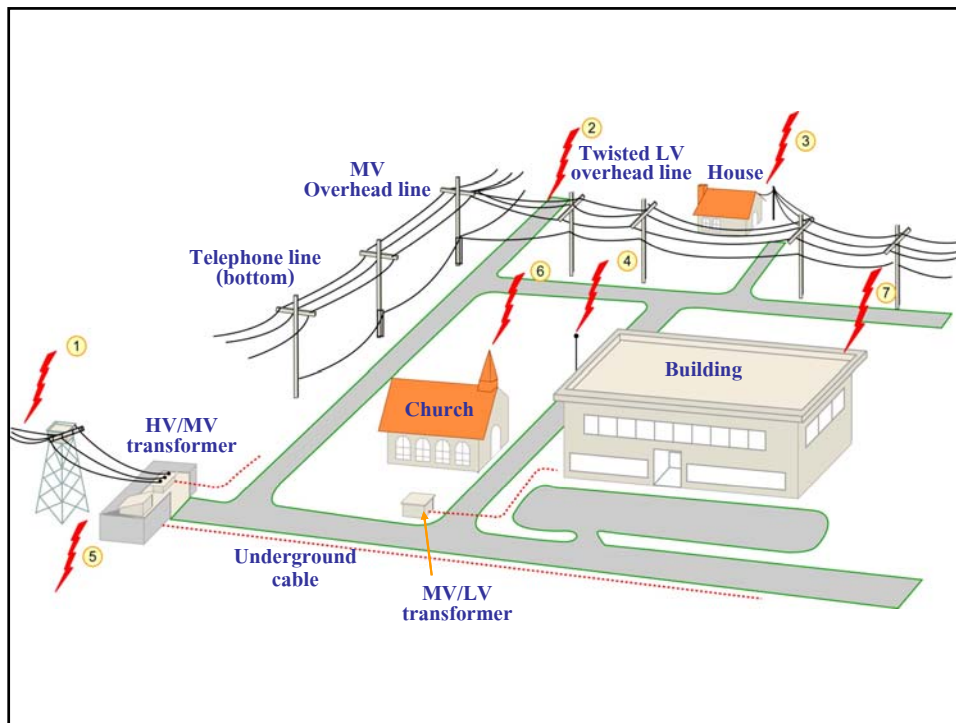
3.29 ระบบป้องกันฟ้าผ่าภายนอก (external lightning protection system)

ส่วนประกอบของระบบป้องกันฟ้าผ่าที่ประกอบด้วย ระบบตัวนำล่อฟ้า ระบบตัวนำลงดิน และระบบบรากสายดิน

3.30 ระบบป้องกันฟ้าผ่าภายใน (internal lightning protection system)

ส่วนประกอบของระบบป้องกันฟ้าผ่าที่ประกอบด้วย การประสานให้ศักย์เท่ากัน และ/หรือ การฉนวนทางไฟฟ้ากับระบบป้องกันฟ้าผ่าภายนอก

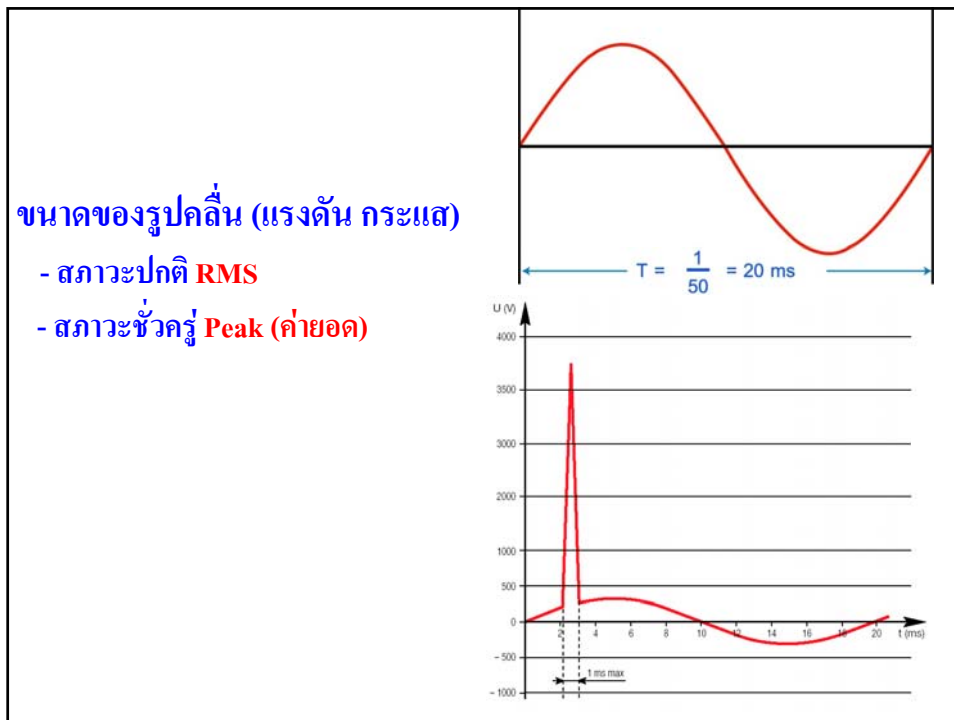


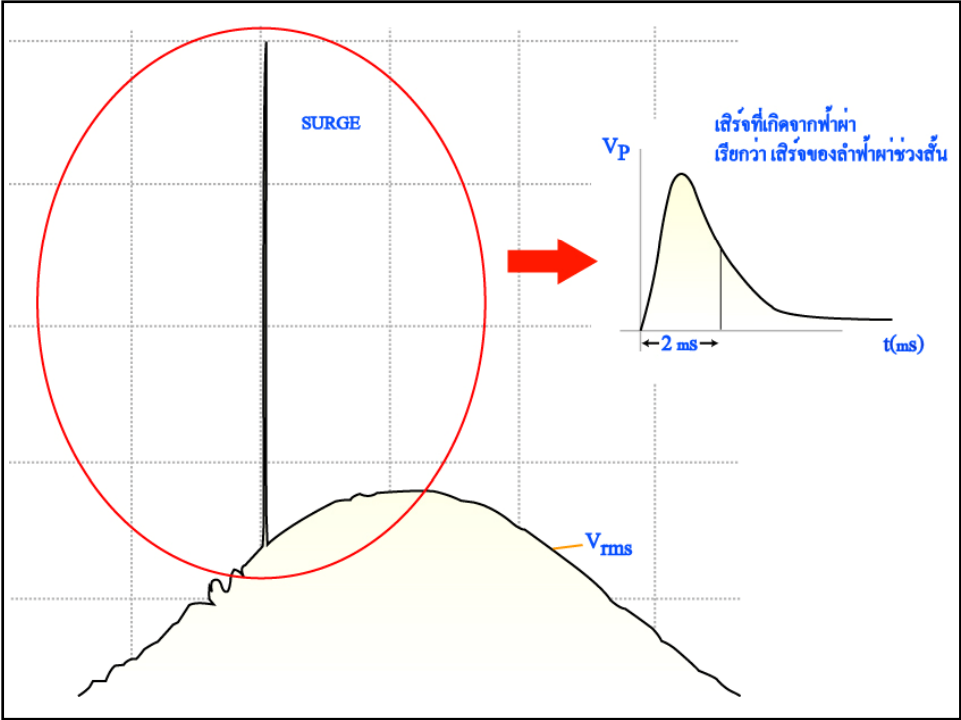
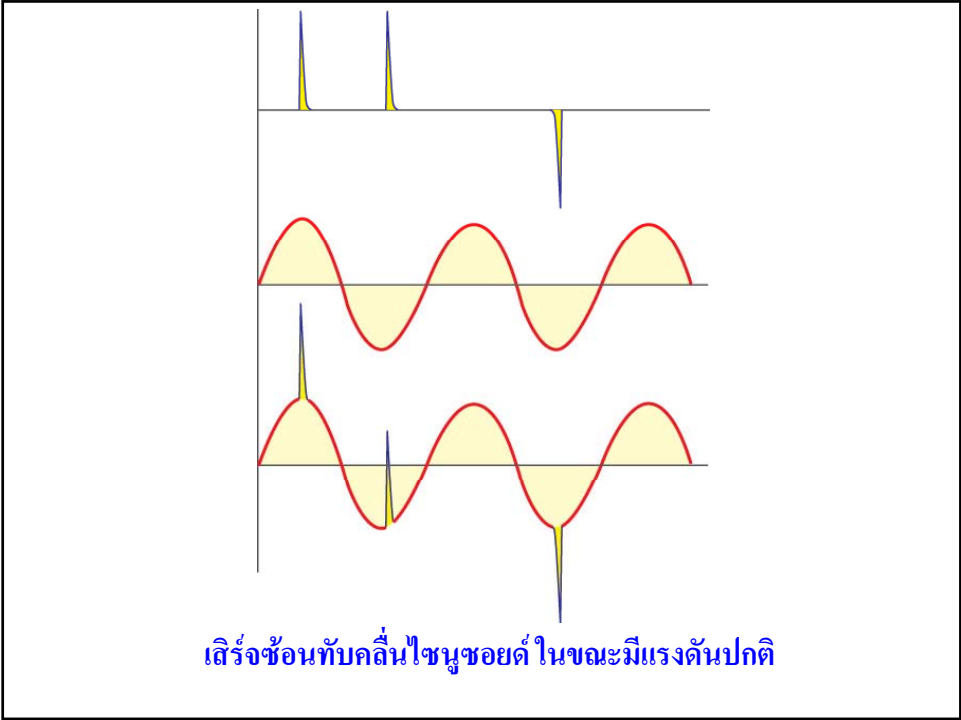


บทที่ 4

ค่าพารามิเตอร์ของกระแสไฟฟ้า

- 4.1 ค่าพารามิเตอร์ของกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในมาตรฐานนี้แสดงไว้ในภาคผนวก ก
- 4.2 ฟังก์ชันทางเวลาของกระแสไฟฟ้าเพื่อใช้ในการวิเคราะห์แสดงไว้ในภาคผนวก ข
- 4.3 ข้อมูลสำหรับการจำลองกระแสไฟฟ้าเพื่อใช้ในการทดสอบแสดงไว้ในภาคผนวก ค
- 4.4 ค่าพารามิเตอร์พื้นฐานที่ใช้ในห้องปฏิบัติการทดสอบเพื่อจำลองผลของฟ้าผ่าต่อองค์ประกอบของระบบป้องกันฟ้าผ่าแสดงไว้ในภาคผนวก ง
- 4.5 ข้อมูลของเลิร์จที่เกิดขึ้นเนื่องจากฟ้าผ่าที่ตำแหน่งติดตั้งต่าง ๆ แสดงไว้ในภาคผนวก จ





บทที่ 5

ความเสียหายจากฟ้าผ่า

5.1 ความเสียหายต่อสิ่งปลูกสร้าง

ฟ้าผ่าสิ่งปลูกสร้างสามารถทำให้เกิดความเสียหายต่อสิ่งปลูกสร้าง ผู้อยู่อาศัยและสิ่งของที่อยู่ภายในรวมทั้งระบบภายในลัมเพลว ความเสียหายและความลัมเพลวอาจขยายไปยังบริเวณโดยรอบสิ่งปลูกสร้างและยังอาจส่งผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมบริเวณนั้น ขอบเขตการขยายความเสียหายมากน้อยขึ้นอยู่กับคุณลักษณะของสิ่งปลูกสร้างและคุณลักษณะของวาวฟ้าผ่า

17

5.1.1 ผลกระทบของฟ้าผ่าที่มีต่อสิ่งปลูกสร้าง

คุณลักษณะของสิ่งปลูกสร้างซึ่งเกี่ยวข้องกับผลกระทบของฟ้าผ่า ได้แก่

- โครงสร้าง (เช่น ไม้ อิฐ คอนกรีต คอนกรีตเสริมเหล็ก โครงสร้างเหล็ก)
- ลักษณะการใช้งาน (บ้านอยู่อาศัย สำนักงาน ฟาร์ม โรงมหรสพ โรงแรม โรงเรียน โรงพยาบาล พิพิธภัณฑ์ โบสถ์ เรือนจำ ห้างสรรพสินค้า ธนาคาร โรงงาน โรงงานอุตสาหกรรม สนามกีฬา)
- ผู้อยู่อาศัยและสิ่งของที่อยู่ภายใน (บุคคลและสัตว์ มีวัสดุติดไฟหรือไม่ติดไฟ มีวัสดุระเบิดหรือไม่ระเบิด ระบบไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ที่มีแรงดันทนต่ำหรือสูง)
- ระบบสาธารณูปโภคที่ต่ออยู่ (สายไฟฟ้า สายโทรคมนาคม ระบบท่อต่าง ๆ)
- มาตรการป้องกันที่มีอยู่เดิม หรือที่ได้จัดหาไว้แล้ว (เช่น การป้องกันเพื่อลดความเสียหายทางกายภาพ และอันตรายต่อชีวิต มาตรการป้องกันความลัมเพลวของระบบภายใน)
- ขอบเขตของการขยายของอันตราย (สิ่งปลูกสร้างที่มีการอพยพผู้คนได้ลำบาก หรือสิ่งปลูกสร้างที่อาจก่อให้เกิดความแตกตื่น สิ่งปลูกสร้างที่ทำให้เกิดอันตรายต่อบริเวณโดยรอบ สิ่งปลูกสร้างที่ทำให้เกิดอันตรายต่อสิ่งแวดล้อม)

ตารางที่ 5.1 ผลกระทบของฟ้าผ่าที่มีต่อสิ่งปลูกสร้าง	
ชนิดของสิ่งปลูกสร้างแบ่งตามลักษณะใช้งานและ/หรือสิ่งที่อยู่ภายใน	ผลกระทบของฟ้าผ่า
บ้านอยู่อาศัย	- การติดตั้งทางไฟฟ้าเกิดการเจาะทะลุ เกิดไฟไหม้และวัสดุเสียหาย - ความเสียหายปกติจะเกิดกับวัตถุที่เปิดโล่งต่อจุดฟ้าผ่าหรือทางผ่านของกระแสฟ้าผ่า - ความล้มเหลวของบริเวณที่ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ และระบบที่ติดตั้ง (เช่น เครื่องรับโทรทัศน์ คอมพิวเตอร์ โมเด็ม โทรศัพท์ เป็นต้น)
อาคารที่เป็นฟาร์ม	- ความเสี่ยงหลักที่จะเกิดไฟไหม้ และอันตรายจากแรงดันช่วงก้าวรวมทั้งความเสียหายของวัสดุ - ความเสี่ยงรองที่จะเกิดการสูญเสียเนื่องจากการเกิดไฟดับและอันตรายต่อชีวิตของสัตว์เลี้ยง เนื่องจากความล้มเหลวของระบบควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ที่ควบคุมระบบระบายอากาศและระบบป้อนอาหาร เป็นต้น
โรงแรม หอพัก โรงเรียน ห้างสรรพสินค้า สนามกีฬา	- ความเสียหายของการติดตั้งทางไฟฟ้า (เช่น ระบบแสงสว่าง) มักทำให้เกิดการแตกตื่น - ความล้มเหลวของระบบแจ้งเหตุเพลิงไหม้ทำให้การผจญเพลิงล่าช้า

ธนาคาร บริษัทประกันภัย บริษัทธุรกิจ เป็นต้น	เช่นเดียวกับสิ่งปลูกสร้างข้างต้น โดยเพิ่มปัญหาเนื่องจาก สูญเสียการติดต่อสื่อสาร ระบบคอมพิวเตอร์ล้มเหลวและการสูญเสียข้อมูล
โรงพยาบาล สถานพยาบาล เรือรบ	เช่นเดียวกับสิ่งปลูกสร้างข้างต้น โดยเพิ่มปัญหาที่จะเกิดกับผู้ป่วยที่อยู่ในห้องไอซียู และความลำบากในการเคลื่อนย้ายผู้ป่วยที่ไม่สามารถเคลื่อนไหวได้
โรงงานอุตสาหกรรม	ผลกระทบเพิ่มเติมขึ้นอยู่กับวัสดุที่อยู่ในโรงงาน โดยอาจเสียหายเล็กน้อยจนถึงขั้นยอมรับไม่ได้และการผลิตต้องหยุดชะงัก
พิพิธภัณฑ์ และแหล่งโบราณสถาน โบสถ์	สูญเสียมรดกทางวัฒนธรรมซึ่งไม่อาจทดแทนได้
ศูนย์โทรคมนาคม โรงไฟฟ้า	การบริการสาธารณูปโภคขัดข้องที่ยอมรับไม่ได้
โรงงานดอกไม้ไฟ โรงงานเครื่องกระสุน	เกิดไฟไหม้และระเบิดต่อเนื่องต่อโรงงานและบริเวณรอบข้าง
โรงงานเคมี โรงกลั่นน้ำมัน โรงงานนิวเคลียร์ ห้องปฏิบัติการ และโรงงานชีวเคมี	เกิดไฟไหม้ และโรงงานอาจทำงานผิดพลาดและเกิดความเสียหายต่อเนื่องต่อท้องถิ่นและสิ่งแวดล้อมในวงกว้าง

ตารางที่ 5.2 ผลกระทบของฟ้าผ่าที่มีต่อระบบสาธารณูปโภค

ชนิดของ สาธารณูปโภค	ผลกระทบของฟ้าผ่า
สายโทรคมนาคม	- ความเสียหายทางกลต่อสาย การหลอมละลายของกำบัง และตัวนำ การเบรกดาวนของฉนวนของเคเบิลและบริกเก็ต ทำให้เกิดความล้มเหลวหลัก มีผลให้การให้บริการถูกตัดขาดทันที - ความล้มเหลวของสายเคเบิลใยแก้ว ทำให้สายเคเบิลเกิดความเสียหายแต่ระบบยังให้บริการต่อไปได้
สายไฟฟ้า	ความเสียหายต่อลูกถ้วยฉนวนของระบบสายเหนือดินแรงต่ำ ฉนวนของสายเคเบิลเกิดการเจาะทะลุ ฉนวนของบริกเก็ตและหม้อแปลงเกิดการเบรกดาวน ส่งผลให้ระบบไม่สามารถให้บริการต่อไปได้
ท่อน้ำ	ความเสียหายต่อบริกเก็ตควบคุมทางอิเล็กทรอนิกส์และไฟฟ้า มักทำให้ระบบไม่สามารถให้บริการต่อไปได้
ท่อก๊าซ ท่อน้ำมัน	- การเจาะทะลุของปะเก็นโลหะที่หน้าแปลนของท่อทำให้เกิดไฟไหม้และ/หรือเกิดการระเบิด - ความเสียหายต่อบริกเก็ตควบคุมทางอิเล็กทรอนิกส์และไฟฟ้า มักทำให้ระบบไม่สามารถให้บริการต่อไปได้

5.1.2 แหล่งกำเนิดและชนิดของความเสียหายของสิ่งปลูกสร้าง

กระแสฟ้าผ่าเป็นแหล่งกำเนิดของความเสียหาย ซึ่งต้องคำนึงถึงสถานการณ์ต่าง ๆ ที่ขึ้นอยู่กับตำแหน่งของจุดฟ้าผ่าสัมพันธ์กับสิ่งปลูกสร้างที่กำลังพิจารณาดังนี้

- S1 วาบฟ้าผ่าลงสิ่งปลูกสร้าง
- S2 วาบฟ้าผ่าใกล้สิ่งปลูกสร้าง
- S3 วาบฟ้าผ่าลงระบบสาธารณูปโภคที่ติดกับสิ่งปลูกสร้าง
- S4 วาบฟ้าผ่าใกล้ระบบสาธารณูปโภคที่ติดกับสิ่งปลูกสร้าง

วามฟ้าผ่าลงสิ่งปลูกสร้าง สามารถทำให้เกิด

- ความเสียหายทางกลทันที ไฟไหม้ และ/หรือ การระเบิด เนื่องจากความร้อนจากอาร์ก พลาสมาฟ้าผ่าเอง เนื่องจากกระแสไหลผ่านความต้านทานของตัวนำ (ตัวนำเกิดความร้อนเกิน) หรือเนื่องจากประจุทำให้เกิดการลัดกร่อนทางอาร์ก (โลหะหลอมละลาย)
- เกิดไฟไหม้ และ/หรือ เกิดการจุดระเบิด โดยประกายซึ่งเกิดจากแรงดันเกินที่เกิดจากการคาบเกี่ยวทางความต้านทานและความเหนี่ยวนำ เนื่องจากการไหลผ่านของกระแสฟ้าผ่าบางส่วน
- การบาดเจ็บของบุคคลเนื่องจากแรงดันสัมผัสและแรงดันช่วงก้าว ซึ่งมีผลมาจากการคาบเกี่ยวทางความต้านทานและความเหนี่ยวนำ
- ความล้มเหลวหรือการทำงานผิดพลาดของระบบภายในเนื่องจากอิมพัลส์แม่เหล็กไฟฟ้าจากฟ้าผ่า

วามฟ้าผ่าใกล้สิ่งปลูกสร้าง สามารถทำให้เกิด

- ความล้มเหลวหรือการทำงานผิดพลาดของระบบภายในเนื่องจากอิมพัลส์แม่เหล็กไฟฟ้าจากฟ้าผ่า

วามฟ้าผ่าลงระบบสาธารณูปโภคที่ต่อกับสิ่งปลูกสร้าง สามารถทำให้เกิด

- ไฟไหม้ และ/หรือ การจุดระเบิด โดยประกายที่เกิดจากแรงดันเกินและกระแสฟ้าผ่าที่ส่งผ่านระบบสาธารณูปโภคที่ต่ออยู่
- การบาดเจ็บของบุคคลเนื่องจากแรงดันสัมผัสภายในสิ่งปลูกสร้าง ซึ่งมีผลมาจากการแสฟ้าผ่าที่ส่งผ่านระบบสาธารณูปโภคที่ต่ออยู่

วามฟ้าผ่าใกล้ระบบสาธารณูปโภคที่ต่อกับสิ่งปลูกสร้าง สามารถทำให้เกิด

- ความล้มเหลวหรือการทำงานผิดพลาดของระบบภายใน เนื่องจากแรงดันเกินที่เหนี่ยวนำบนสายที่ต่ออยู่และส่งผ่านเข้าสู่สิ่งปลูกสร้าง

หมายเหตุ

- 1 การทำงานผิดพลาดของระบบภายในไม่ได้ครอบคลุมไว้ในมาตรฐานนี้ ดูรายละเอียดใน IEC 61000-4-5
- 2 เฉพาะประกายที่มีการนำกระแสฟ้าผ่าทั้งหมดหรือบางส่วนเท่านั้นที่สามารถทำให้เกิดจุดไฟไหม้
- 3 วามฟ้าผ่าโดยตรงหรือใกล้ระบบที่เข้าสู่สิ่งปลูกสร้าง จะไม่ทำให้เกิดความเสียหายต่อสิ่งปลูกสร้าง หากมีการประสานเข้ากับแท่งตัวนำต่อประสานให้ศักย์เท่ากับของสิ่งปลูกสร้าง (ดูมาตรฐานการป้องกันฟ้าผ่าภาค 3)

25

โดยสรุป ฟ้าผ่าสามารถทำให้เกิดความเสียหายพื้นฐานได้ 3 ชนิดแบบ คือ

- D1 ทำให้สิ่งมีชีวิตบาดเจ็บเนื่องจากแรงดันสัมผัสและแรงดันช่วงก้าว
- D2 ทำให้เกิดความเสียหายทางกายภาพ เช่น ไฟไหม้ ระเบิด ความเสียหายทางกล การปลดปล่อยสารเคมี เนื่องจากผลของกระแสฟ้าผ่า รวมทั้งการเกิดประกาย
- D3 ความล้มเหลวของระบบภายในเนื่องจากอิมพัลส์แม่เหล็กไฟฟ้าจากฟ้าผ่า

26

5.2 ความเสียหายต่อระบบสาธารณูปโภค

ผลของฟ้าผ่าที่มีต่อระบบสาธารณูปโภค อาจทำให้เกิดความเสียหายทางกายภาพของระบบสาธารณูปโภคเอง (สายหรือท่อ) รวมทั้งบริภัณฑ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ที่ต่ออยู่

หมายเหตุ ระบบสาธารณูปโภคที่ต้องพิจารณา คือ ส่วนที่ต่อทางกายภาพระหว่าง

- อาคารชุมสายโทรคมนาคมกับอาคารผู้ให้บริการหรือระหว่างอาคารชุมสายฯ 2 หลัง หรือระหว่างอาคารผู้ให้บริการ 2 หลัง สำหรับกรณีเป็นสายโทรคมนาคม
- อาคารชุมสายโทรคมนาคมหรืออาคารผู้ให้บริการกับจุดกระจายสายหรือระหว่างจุดกระจายสาย 2 จุด สำหรับกรณีเป็นสายโทรคมนาคม
- สถานีไฟฟ้าแรงสูงกับอาคารผู้ให้บริการ สำหรับกรณีเป็นสายส่งกำลังไฟฟ้า
- สถานีจ่ายหลักกับอาคารผู้ให้บริการ สำหรับกรณีเป็นระบบท่อ

ขอบเขตของการขยายความเสียหายมากขึ้นขึ้นอยู่กับคุณลักษณะของระบบสาธารณูปโภค แบบและการต่อขยายของระบบไฟฟ้าและระบบอิเล็กทรอนิกส์และคุณลักษณะของวาวฟ้าผ่า

27

ตารางที่ 5.2 ผลกระทบของฟ้าผ่าที่มีต่อระบบสาธารณูปโภค

ชนิดของสาธารณูปโภค	ผลกระทบของฟ้าผ่า
สายโทรคมนาคม	- ความเสียหายทางกลต่อสาย การหลอมละลายของก้ำบึง และตัวนำ การเบรกดาวนของฉนวนของเคเบิลและบริภัณฑ์ ทำให้เกิดความล้มเหลวหลัก มีผลให้การให้บริการถูกตัดขาดทันที - ความล้มเหลวของสายเคเบิลใยแก้ว ทำให้สายเคเบิลเกิดความเสียหายแต่ระบบยังให้บริการต่อไปได้
สายไฟฟ้า	ความเสียหายต่อลูกถ้วยฉนวนของระบบสายเหนือดินแรงต่ำ ฉนวนของสายเคเบิลเกิดการเจาะทะลุ ฉนวนของบริภัณฑ์และหม้อแปลงเกิดการเบรกดาวน ส่งผลให้ระบบไม่สามารถให้บริการต่อไปได้
ท่อน้ำ	ความเสียหายต่อบริภัณฑ์ควบคุมทางอิเล็กทรอนิกส์และไฟฟ้า มักทำให้ระบบไม่สามารถให้บริการต่อไปได้
ท่อก๊าซ ท่อน้ำมัน	- การเจาะทะลุของปะเก็นโลหะที่หน้าแปลนของท่อทำให้เกิดไฟไหม้และ/หรือเกิดการระเบิด - ความเสียหายต่อบริภัณฑ์ควบคุมทางอิเล็กทรอนิกส์และไฟฟ้า มักทำให้ระบบไม่สามารถให้บริการต่อไปได้

3

5.2.2 แหล่งกำเนิดและชนิดของความเสียหายของระบบสาธารณูปโภค

กระแสไฟฟ้าเป็นแหล่งกำเนิดของความเสียหาย ซึ่งต้องคำนึงถึงสถานการณ์ต่าง ๆ ขึ้นอยู่กับตำแหน่งของจุดไฟฟ้าสัมผัสกับระบบสาธารณูปโภคที่กำลังพิจารณาดังนี้

- S1 วาบไฟฟ้าลงสิ่งปลูกสร้างที่ต่อกับระบบสาธารณูปโภค
- S3 วาบไฟฟ้าลงระบบสาธารณูปโภคที่ต่อกับสิ่งปลูกสร้าง
- S4 วาบไฟฟ้าใกล้กับระบบสาธารณูปโภคที่ต่อกับสิ่งปลูกสร้าง

29

5.3 ชนิดแบบของความสูญเสีย

ความเสียหายแต่ละชนิดแบบโดยลำพังหรือร่วมกับชนิดแบบอื่น อาจทำให้เกิดความสูญเสียต่อเนื่องต่อสิ่งที่จะป้องกัน รูปแบบของความสูญเสียที่อาจเกิดขึ้น ขึ้นอยู่กับคุณลักษณะของสิ่งที่จะป้องกัน

จุดมุ่งหมายของมาตรฐานนี้จะพิจารณาชนิดแบบของความสูญเสีย เป็นดังนี้

- L1 สูญเสียชีวิตมนุษย์
- L2 สูญเสียการบริการต่อสาธารณะ
- L3 สูญเสียมรดกทางวัฒนธรรม
- L4 สูญเสียมูลค่าทางเศรษฐศาสตร์ (สิ่งปลูกสร้างและสิ่งของที่อยู่ภายใน การบริการ และความสูญเสียกิจกรรมต่าง ๆ)

ความสูญเสียชนิดแบบ L1 L2 และ L3 อาจพิจารณาได้ว่าเป็นความสูญเสียทางสังคม ส่วนความสูญเสียชนิดแบบ L4 อาจพิจารณาได้ว่าเป็นความสูญเสียทางเศรษฐศาสตร์โดยเฉพาะ

30

ความสูญเสียที่อาจเกิดขึ้นในสิ่งปลูกสร้าง ได้แก่

- L1 สูญเสียชีวิตมนุษย์
- L2 สูญเสียการบริการต่อสาธารณะ
- L3 สูญเสียมรดกทางวัฒนธรรม
- L4 สูญเสียมูลค่าทางเศรษฐศาสตร์ (สิ่งปลูกสร้างและสิ่งที่อยู่ภายใน)

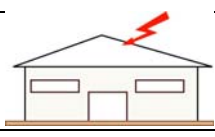
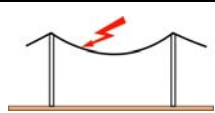
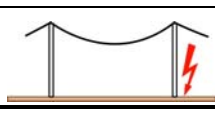
ความสูญเสียที่อาจเกิดขึ้นในระบบสาธารณูปโภค ได้แก่

- L2 สูญเสียการบริการต่อสาธารณะ
- L4 สูญเสียมูลค่าทางเศรษฐศาสตร์ (การบริการและความสูญเสียกิจกรรมต่าง ๆ)

หมายเหตุ ในระบบสาธารณูปโภค การสูญเสียชีวิตมนุษย์จะไม่พิจารณาในมาตรฐานนี้

31

Table 3 – Damages and loss in a structure according to different points of strike of lightning

Point of strike		Source of damage	Type of damage	Type of loss
Structure		S1	D1 D2 D3	L1,L4" L1,L2,L3,L4 ,L1,L2,L4
Near 3 structure		S2	D3	L1,L2,L3, L4
Service connected to the structure		S3	D1 D2 D3	L1,L4" L1,L2,L3,L4 ,L1,L2,L4
Near 3 service		S4	D3	L1,L2,L4

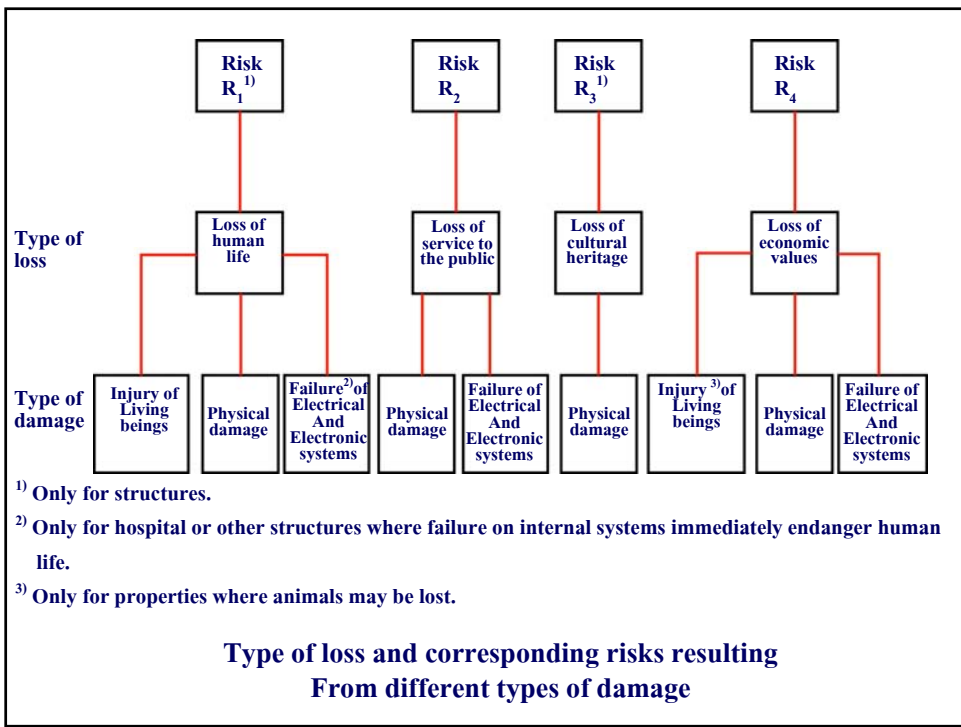
*Only for structures with risk of explosion and for hospitals or other structures where failure of internal systems immediately endangers human life.

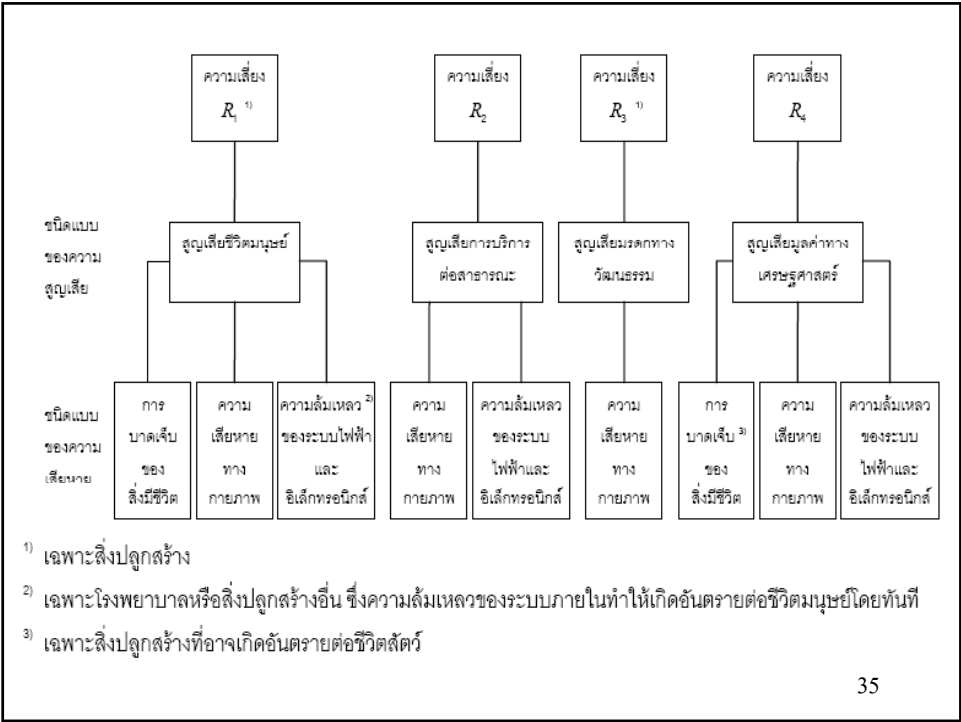
**Only for properties where animals may be lost.

ตารางที่ 5.4 ความเสียหายและความสูญเสียในระบบสาธารณูปโภค แยกตามจุดที่ผ่า

จุดที่ผ่า	แหล่งกำเนิดความสูญเสีย	ชนิดแบบของความเสียหาย	ชนิดแบบของความสูญเสีย
ลงระบบสาธารณูปโภค	S3	D2 D3	L2, L4
ใกล้ระบบสาธารณูปโภค	S4	D3	
ลงสิ่งปลูกสร้างที่ติดกับระบบสาธารณูปโภค	S1	D2 D3	

ชนิดแบบของความสูญเสียซึ่งมีผลจากชนิดแบบของความเสียหายและความเสี่ยงที่สอดคล้องกันแสดงไว้ในรูปที่ 5.1





35

บทที่ 6

ความจำเป็นและความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ ของระบบป้องกันฟ้าผ่า

6.1 ความจำเป็นของระบบป้องกันฟ้าผ่า

ต้องมีการประเมินความจำเป็นของระบบป้องกันฟ้าผ่าของสิ่งที่จะป้องกันเพื่อลดความสูญเสียมูลค่าทางสังคม L1, L2 และ L3

การประเมินว่าจำเป็นต้องมีระบบป้องกันฟ้าผ่าหรือไม่ ต้องทำการประเมินความเสี่ยงตามขั้นตอนที่กำหนดไว้ในมาตรฐานการป้องกันฟ้าผ่าภาค 2 ความเสี่ยงต่อไปนี้ต้องมีการพิจารณาให้สอดคล้องกับชนิดแบบของความสูญเสียตาม ข้อ 5.3

- R_1 ความเสี่ยงต่อการสูญเสียชีวิตมนุษย์
- R_2 ความเสี่ยงต่อการสูญเสียบริการต่อสาธารณะ
- R_3 ความเสี่ยงต่อการสูญเสียมรดกทางวัฒนธรรม

หากความเสี่ยง R (R_1 ถึง R_3) มีค่าสูงกว่าระดับที่ยอมรับได้ R_r ต้องจัดให้มีการป้องกันฟ้าผ่า

$$R > R_r$$

บทที่ 7 มาตรการป้องกัน

มาตรการป้องกันอาจนำมาใช้เพื่อลดความเสี่ยงในการสูญเสียตามชนิดแบบของการสูญเสีย

7.1 มาตรการป้องกันเพื่อลดการบาดเจ็บของสิ่งมีชีวิต เนื่องจากแรงดันสัมผัสและแรงดันช่วงกาว

มาตรการป้องกันที่อาจนำมาใช้ ได้แก่

- การฉนวนอย่างเพียงพอสำหรับส่วนตัวนำกระแสที่เปิดโล่ง (exposed conductive parts)
- การประสานศักย์ให้เท่ากันด้วยระบบสายดินแบบตายาย
- การป้องกันการเข้าถึงทางกายภาพ และการทำป้ายเตือน

หมายเหตุ

- 1 การประสานศักย์ให้เท่ากันไม่มีประสิทธิภาพในการป้องกันอันตรายจากแรงดันสัมผัส
- 2 การเพิ่มสภาพต้านทานตามผิว (surface resistivity) ของดินภายใน และภายนอกสิ่งปลูกสร้าง อาจช่วยลดอันตรายต่อชีวิตได้ (ดูบทที่ 8 มาตรฐานการป้องกันฟ้าผ่าภาค 3)

37

7.1 มาตรการป้องกันเพื่อลดการบาดเจ็บของสิ่งมีชีวิต เนื่องจากแรงดันสัมผัสและแรงดันช่วงกาว

มาตรการป้องกันที่อาจนำมาใช้ ได้แก่

- การฉนวนอย่างเพียงพอสำหรับส่วนตัวนำกระแสที่เปิดโล่ง (exposed conductive parts)
- การประสานศักย์ให้เท่ากันด้วยระบบสายดินแบบตายาย
- การป้องกันการเข้าถึงทางกายภาพ และการทำป้ายเตือน

หมายเหตุ

- 1 การประสานศักย์ให้เท่ากันไม่มีประสิทธิภาพในการป้องกันอันตรายจากแรงดันสัมผัส
- 2 การเพิ่มสภาพต้านทานตามผิว (surface resistivity) ของดินภายใน และภายนอกสิ่งปลูกสร้าง อาจช่วยลดอันตรายต่อชีวิตได้ (ดูบทที่ 8 มาตรฐานการป้องกันฟ้าผ่าภาค 3)

38

7.2 มาตรการป้องกันเพื่อลดความสูญเสียทางกายภาพ

มาตรการป้องกันที่อาจนำมาใช้ ได้แก่

ก) มาตรการป้องกันสำหรับสิ่งปลูกสร้าง

- ระบบป้องกันฟ้าผ่า (LPS)

หมายเหตุ

- 1 กรณีมีการติดตั้งระบบป้องกันฟ้าผ่า การประสานศักยภาพให้เท่ากันเป็นมาตรการที่สำคัญที่จะลดอันตรายจากเพลิงไหม้ และการระเบิด และอันตรายต่อชีวิต ดูรายละเอียดเพิ่มเติมในมาตรฐานการป้องกันฟ้าผ่าภาค 3
- 2 มาตรการที่ช่วยจำกัดการเกิดเพลิงไหม้และลุกลามของไฟ เช่น ห้องหรือส่วนที่ทนไฟได้ (firecompartment) เครื่องดับเพลิง หัวดับเพลิง ระบบแจ้งเหตุเพลิงไหม้ และการติดตั้งระบบดับเพลิง อาจลดความสูญเสียทางกายภาพได้
- 3 ทางหนีไฟที่มีการป้องกันเป็นมาตรการป้องกันสำหรับบุคคล

ข) มาตรการป้องกันสำหรับระบบสาธารณูปโภคสายล่อฟ้า (shielding wire)

หมายเหตุ 4 สำหรับเคเบิลฝังดิน การป้องกันที่มีประสิทธิภาพสูงคือ การใช้ท่อโลหะร้อยสาย

39

7.3 มาตรการป้องกันเพื่อลดความล้มเหลวของระบบไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์

มาตรการป้องกันที่อาจนำมาใช้ ได้แก่

ก) มาตรการป้องกันสำหรับสิ่งปลูกสร้าง

- มาตรการป้องกันอิมพัลส์แม่เหล็กไฟฟ้าจากฟ้าผ่า ประกอบด้วยวิธีใดวิธีหนึ่ง หรือหลายวิธีร่วมกันดังต่อไปนี้
 - การต่อลงดินและการต่อประสาน
 - การกำบังสนามแม่เหล็ก
 - การจัดวางแนวสายที่เหมาะสม
 - การใช้อุปกรณ์ป้องกันเครื่องที่ประสานสัมพันธ์กัน

ข) มาตรการป้องกันสำหรับระบบสาธารณูปโภค

- การติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันลัดวงจร ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ตลอดความยาวของสายและที่ปลายสาย
- การใช้กำบังสนามแม่เหล็กของเคเบิล

หมายเหตุ

- 1 กรณีเคเบิลฝังดิน การป้องกันที่มีประสิทธิภาพสูงคือการใช้กำบังโลหะที่ต่อเนื่องและมีความหนาเพียงพอ
- 2 การเดินสายสำรอง การใช้บริภัณฑ์สำรอง ชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำรองระบบจ่ายไฟฟ้าต่อเนื่อง ระบบการเก็บของไหล การใช้ระบบตรวจสอบความล้มเหลวอัตโนมัติ เป็นมาตรการป้องกันที่มีประสิทธิภาพในการลดการสูญเสียการให้บริการ
- 3 การเพิ่มความคงทนต่อแรงดันของฉนวนของบริภัณฑ์ และเคเบิล เป็นมาตรการป้องกันที่มีประสิทธิภาพในการป้องกันความล้มเหลวเนื่องจากแรงดันเกิน

40

บทที่ 8

เกณฑ์พื้นฐานสำหรับการป้องกันสิ่งปลูกสร้างและสาธารณูปโภค

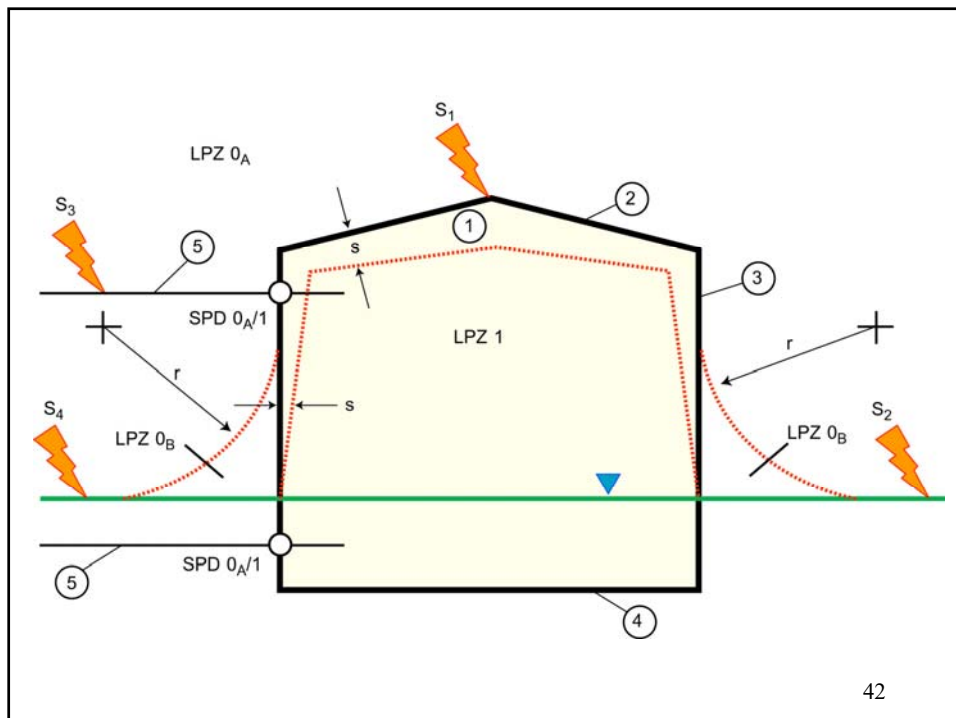
การป้องกันทางอุดมคติสำหรับสิ่งปลูกสร้างและระบบสาธารณูปโภค คือ การห่อหุ้มวัตถุที่จะป้องกันไว้ภายในกำบังที่มีความนำไฟฟ้าสมบูรณ์ มีความต่อเนื่อง มีความหนาเพียงพอ และมีการต่อลงดิน และจัดให้มีการต่อประสานที่เพียงพอที่จุดทางเข้าเข้ากับกำบังของระบบสาธารณูปโภคที่ต่อเข้ากับสิ่งปลูกสร้าง

การป้องกันตามที่กล่าวมาแล้วสามารถป้องกันการไหลเข้าของกระแสฟ้าผ่า รวมทั้งการลวงล้าของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่เกิดจากฟ้าผ่า ไม่ให้เข้าไปสู่วัตถุที่จะป้องกัน ช่วยป้องกันผลของความร้อนและแรงทางไฟฟ้าพลวัตที่อันตรายที่เกิดจากกระแสฟ้าผ่า ตลอดจนการเกิดประกายและแรงดันเกินในระบบภายใน

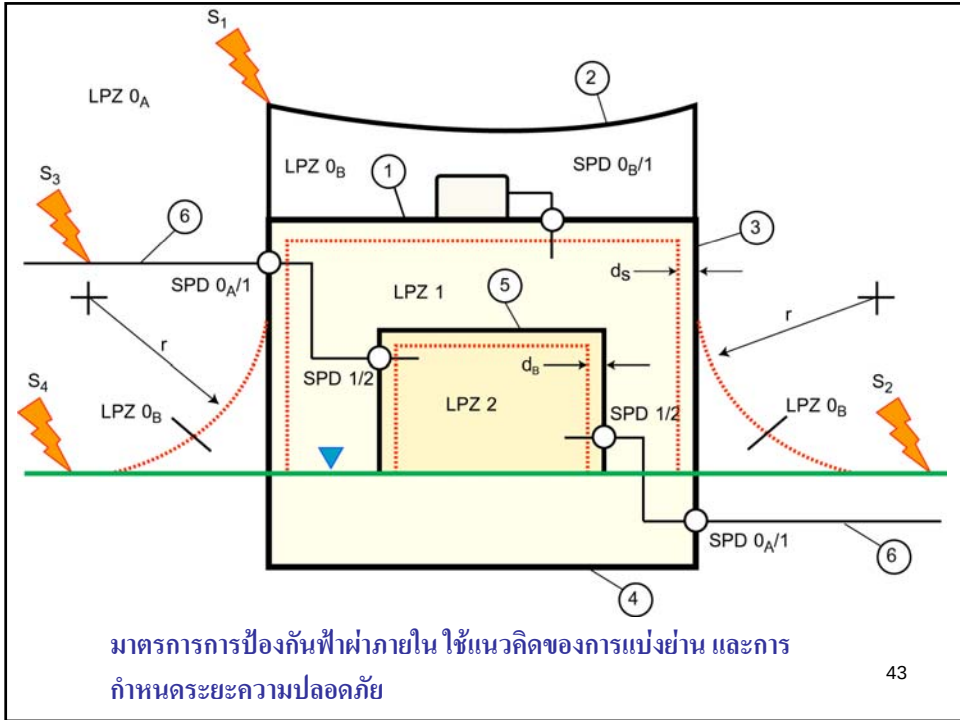
ในทางปฏิบัติมักจะเป็นไปไม่ได้ที่จะทำการป้องกันอย่างสมบูรณ์ และคุ้มค่าต่อการลงทุน การขาดความต่อเนื่องของกำบัง และ/หรือ การใช้กำบังที่มีความหนาไม่เพียงพอทำให้กระแสฟ้าผ่าสามารถไหลผ่านกำบัง ทำให้เกิด

- ความเสียหายทางกายภาพ และอันตรายต่อชีวิต
- ความล้มเหลวของระบบภายใน
- ความล้มเหลวของระบบสาธารณูปโภค และระบบอื่น ๆ ที่ต่ออยู่

41



42



43

ตารางที่ 8.2 ค่าต่ำสุดของพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของกระแสฟ้าผ่า และรัศมีทรงกลมกลิ้งตามระดับป้องกัน

เกณฑ์การดักจับฟ้าผ่า			ระดับป้องกันฟ้าผ่า			
	สัญลักษณ์	หน่วย	1	2	3	4
กระแสคายยอดต่ำสุด	I	kA	3	5	10	16
รัศมีทรงกลมกลิ้ง	r	m	20	30	45	60

จากข้อมูลการกระจายทางสถิติที่แสดงในรูปที่ ก.5 สามารถคำนวณถ่วงน้ำหนักความน่าจะเป็นของค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของกระแสฟ้าผ่ามีค่าต่ำกว่าค่าสูงสุด และมีค่าสูงกว่าค่าต่ำสุดตามลำดับที่กำหนดไว้ สำหรับระดับการป้องกันฟ้าผ่าแต่ละระดับ (ดูตารางที่ 8.3)

ตารางที่ 8.3 ความน่าจะเป็นของข้อจำกัดของพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของกระแสฟ้าผ่า

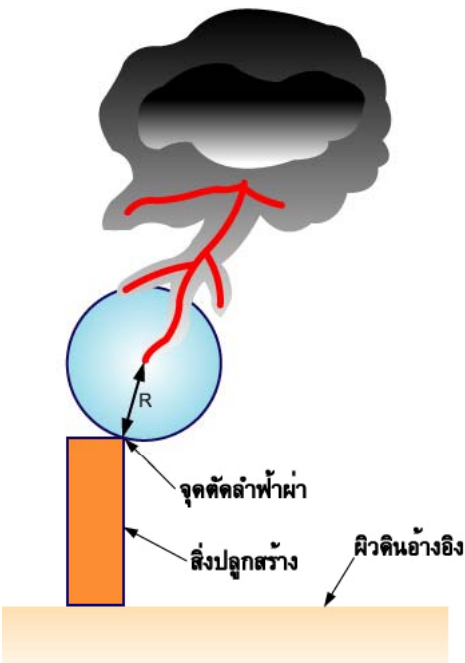
ความน่าจะเป็นที่พารามิเตอร์ต่าง ๆ ของกระแสฟ้าผ่า	ระดับป้องกันฟ้าผ่า			
	1	2	3	4
มีค่าต่ำกว่าค่าสูงสุดที่กำหนดในตารางที่ 8.1	0.99	0.98	0.97	0.97
มีค่าสูงกว่าค่าต่ำสุดที่กำหนดในตารางที่ 8.2	0.99	0.97	0.91	0.84

44

Table 6 - Minimum values of lightning parameters and related rolling sphere radius corresponding to LPL

Interception criteria			LPL			
	Symbol	Unit	I	II	II	IV
Minimum peak current	I	kA	3	5	10	16
Rolling sphere radius	r	m	20	30	45	60

45

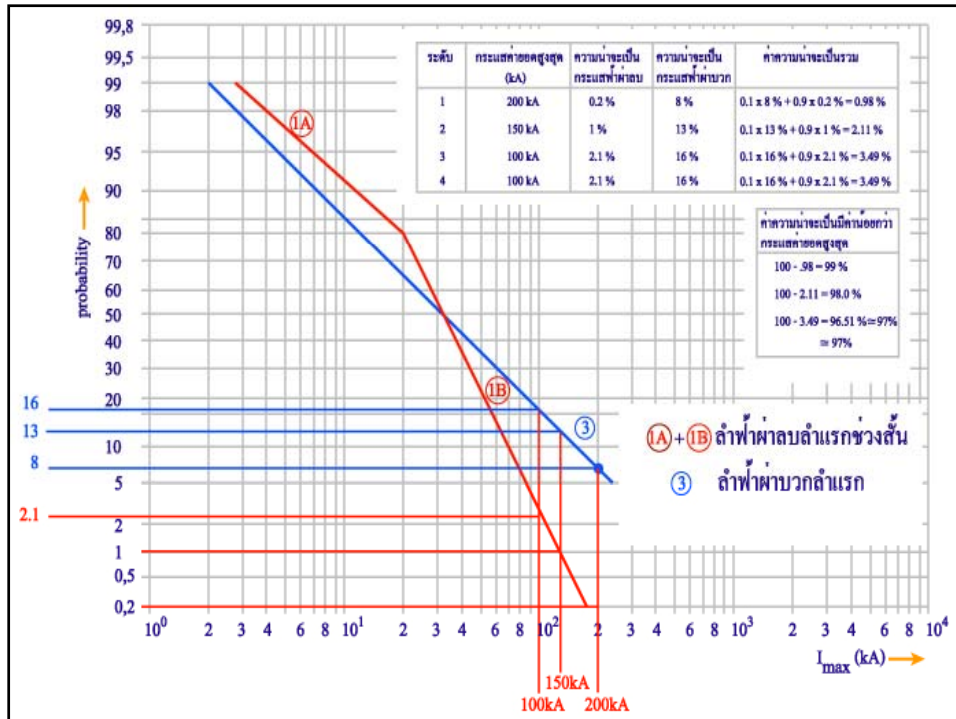
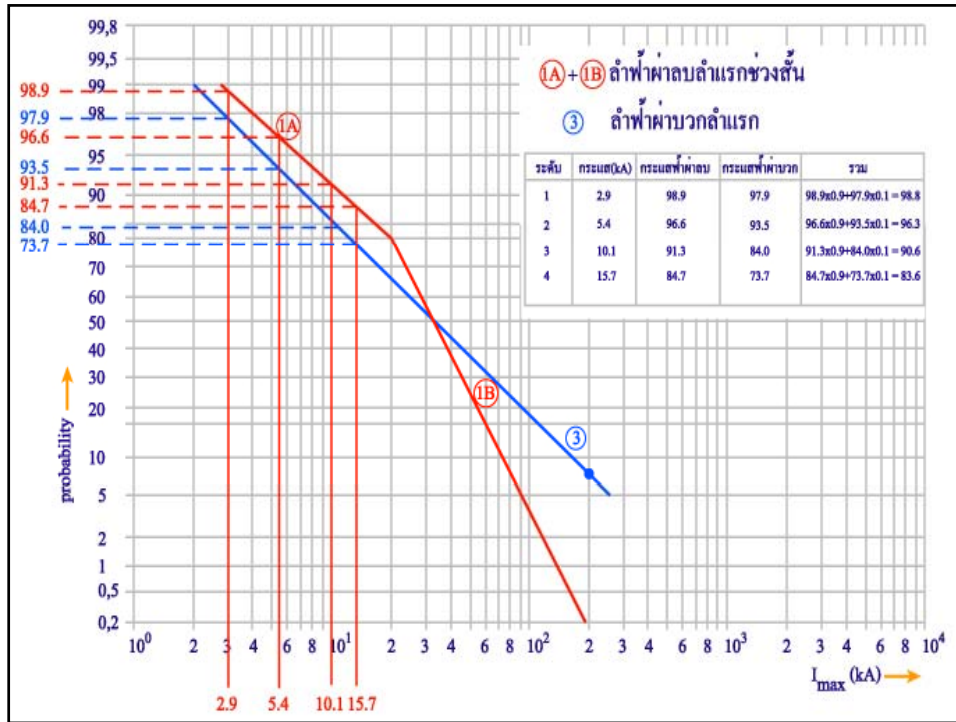


$$R = 10I^{0.65}$$

หรือ

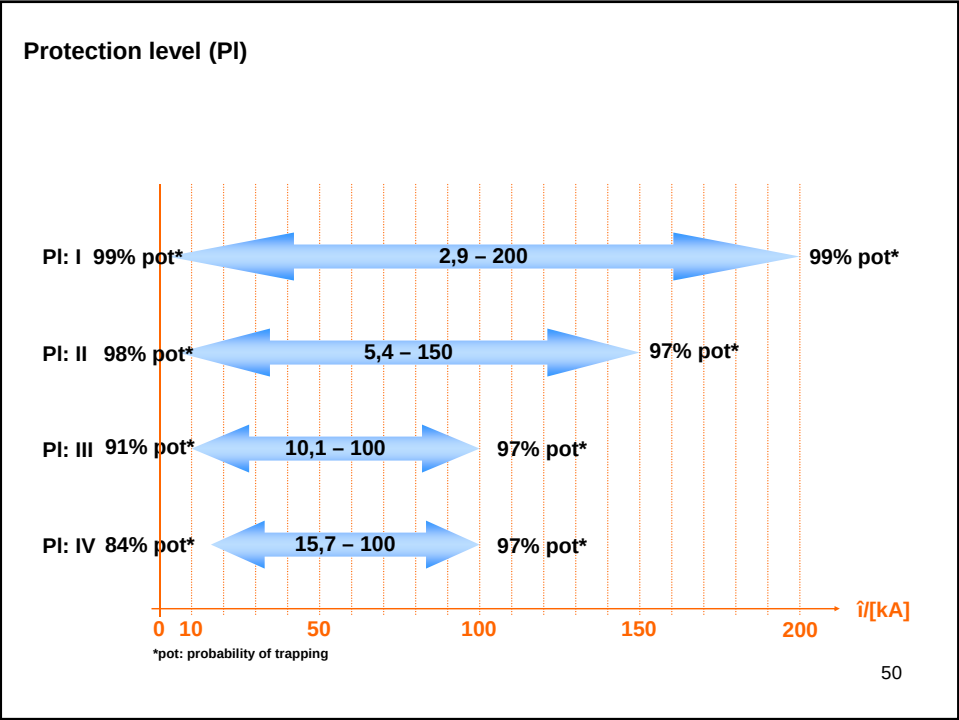
$$R = 10I^{2/3}$$

46



**ตารางที่ 1 (ตารางที่ 7 ความน่าจะเป็นของข้อจำกัดของพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของ
กระแสไฟฟ้า (หน้า 25))**

ความน่าจะเป็นที่พารามิเตอร์ ต่าง ๆ ของกระแสไฟฟ้า	ระดับการป้องกันไฟฟ้า			
	1	2	3	4
มีค่าน้อยกว่ากระแสค่าสูงสุดสุดใน แต่ละระดับการป้องกัน	0.99	0.98	0.97	0.97
มีค่ามากกว่ากระแสค่าต่ำสุดใน แต่ละระดับการป้องกัน	0.99	0.97	0.91	0.84
ความสัมพันธ์ระหว่างระดับการป้องกันกับประสิทธิภาพการป้องกันไฟฟ้า				
	1	2	3	4
	0.99x0.99 = .98 = 98%	0.98x0.97 = .95 = 95%	0.97x0.91 = .88 ≈ 90%	0.97x0.84 = .81 ≈ 80%



ภาคผนวก ข
(ใช้เป็นข้อมูล)
ฟังก์ชันเวลาของกระแสฟ้าผ่าเพื่อการวิเคราะห์

ข.1 รูปคลื่นของกระแสเพื่อวัตถุประสงค์ในการวิเคราะห์

- ลำฟ้าผ่าลำแรก 10/350 μ s
- ลำฟ้าผ่าลำต่อมา 0.25/100 μ s

อาจแทนด้วยสมการดังนี้

$$i = \frac{I}{k} \cdot \frac{(t/\tau_1)^{10}}{1 + (t/\tau_1)^{10}} \cdot \exp(-t/\tau_2) \quad (ข.1)$$

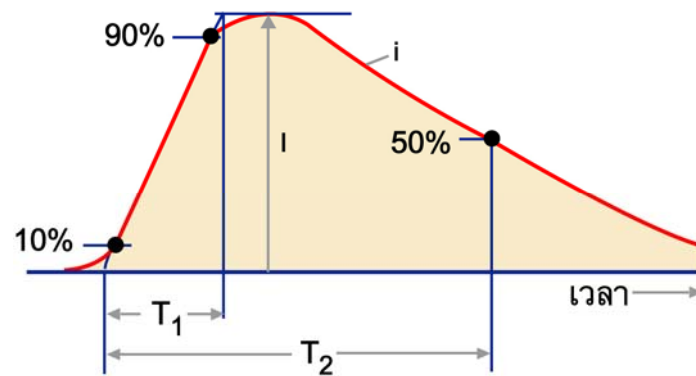
โดยที่

51

History of the 10/350 μ s Waveform

- Around 1985 the waveform parameter “10/350 μ s” appear
- Late 1987 different “Protection Levels” are introduced
(200 kA / 150 kA / 100 kA)
- Late 1987 an equation for numerical calculations is given

$$i = \frac{i_{\max}}{\eta} \cdot \frac{(t/\tau_1)^{10}}{1 + (t/\tau_1)^{10}} \cdot \exp\left(-\frac{t}{\tau_2}\right)$$

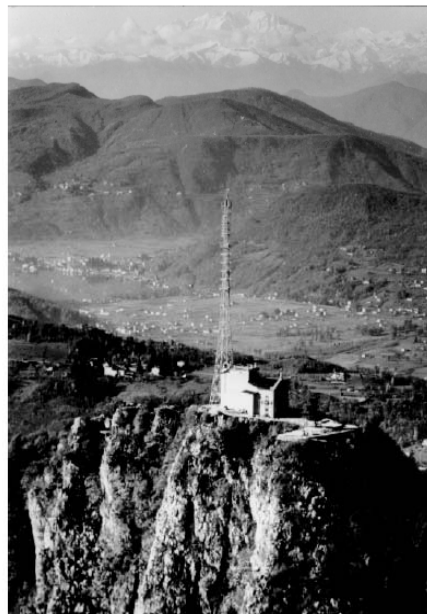


i = กระแสคายยอด

T_1 = ช่วงเวลาหน้าคลื่น

T_2 = ช่วงเวลาถึงครึ่งหนึ่งของกระแสคายยอด

Lightning station Monte San Salvatore Prof. Berger: 30 years recording of lightnings



Source:
Niederrohrdorf/CH

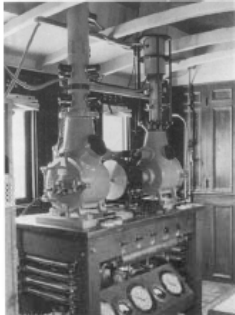


HISTORY: BERGER's Tower
Measurements at Mont San Salvatore



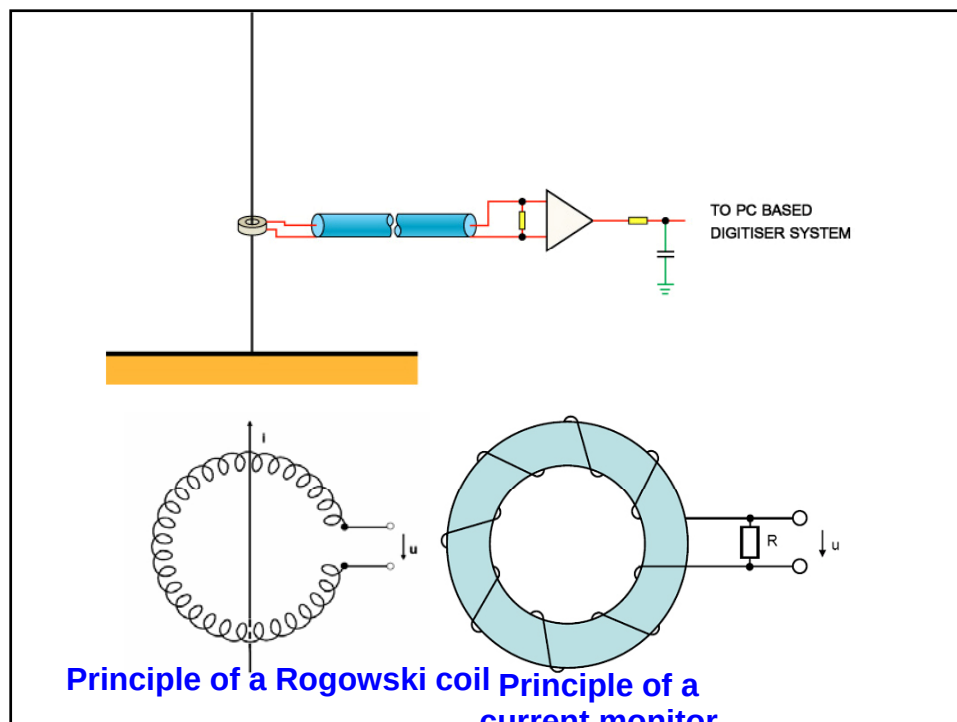


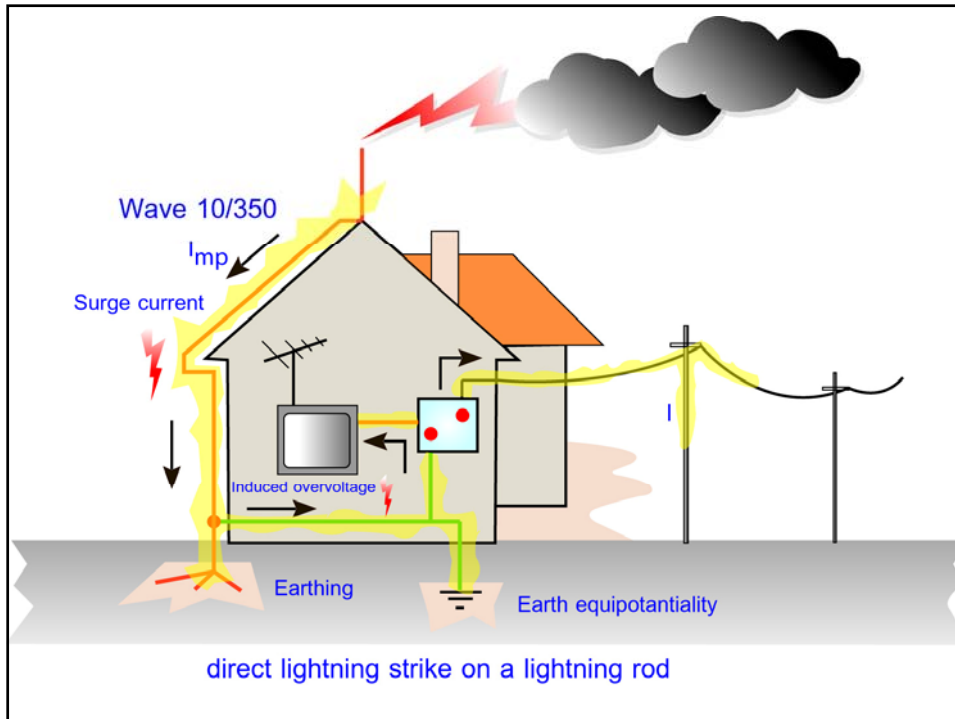
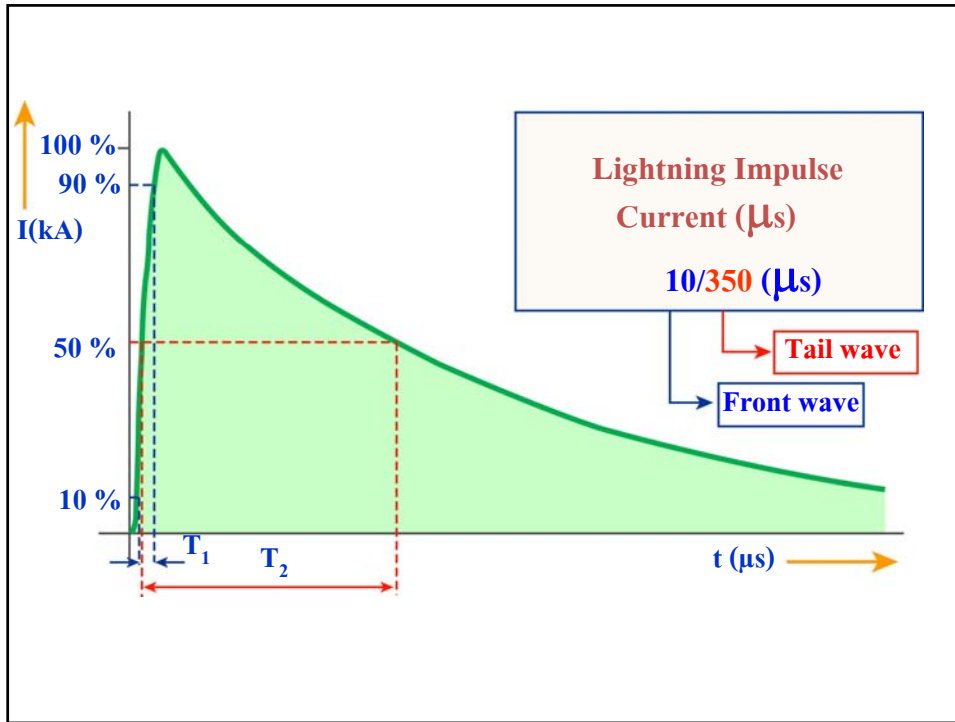
Two instrumented towers
1943 – 1972 (29 years !!!)
101 neg. CG first strokes
135 neg. subsequent strokes

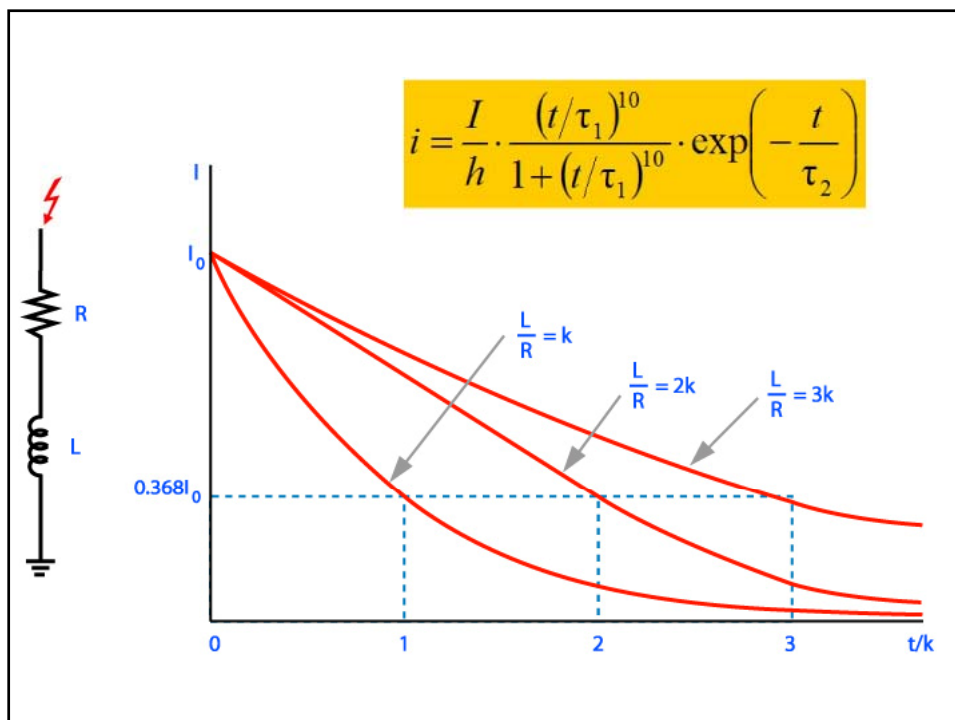
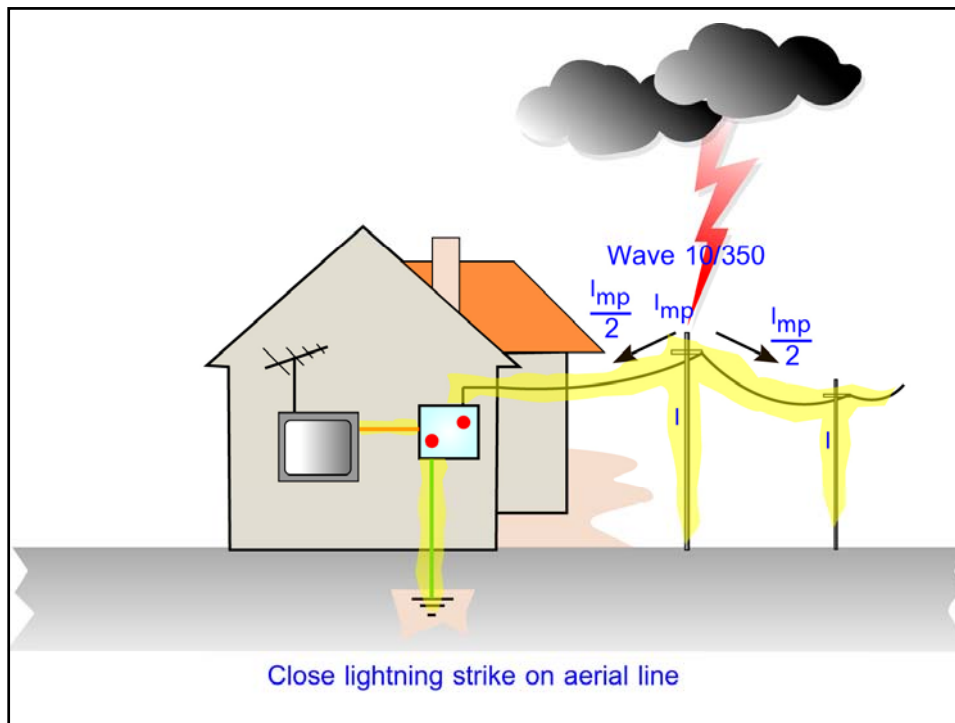


COST P18 Training School
Kiten, Bulgaria, September, 2007

G. Diendorfer

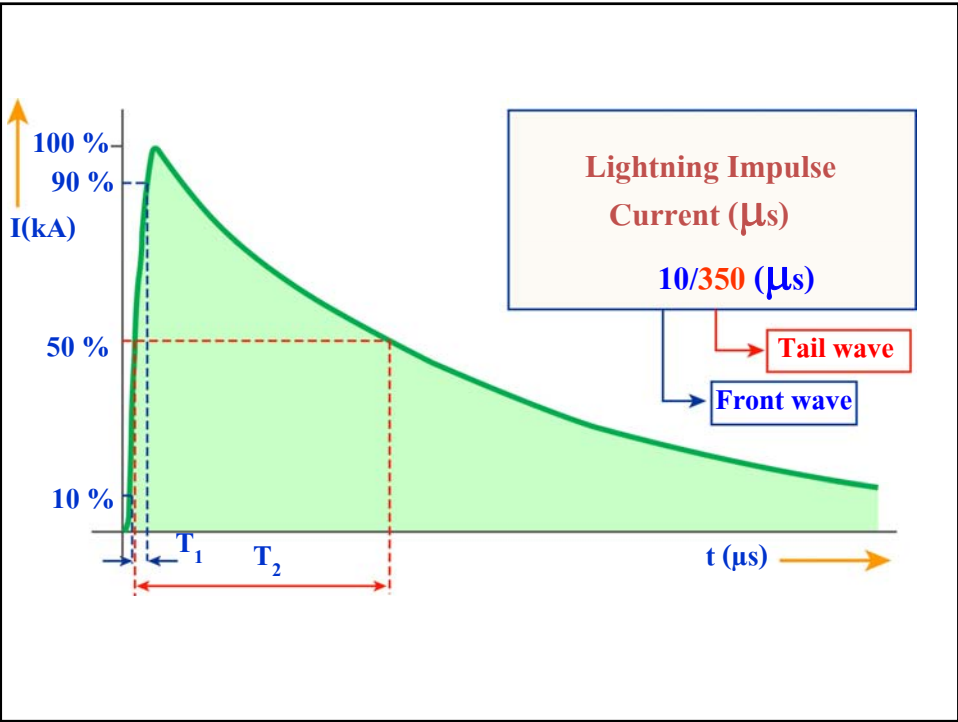


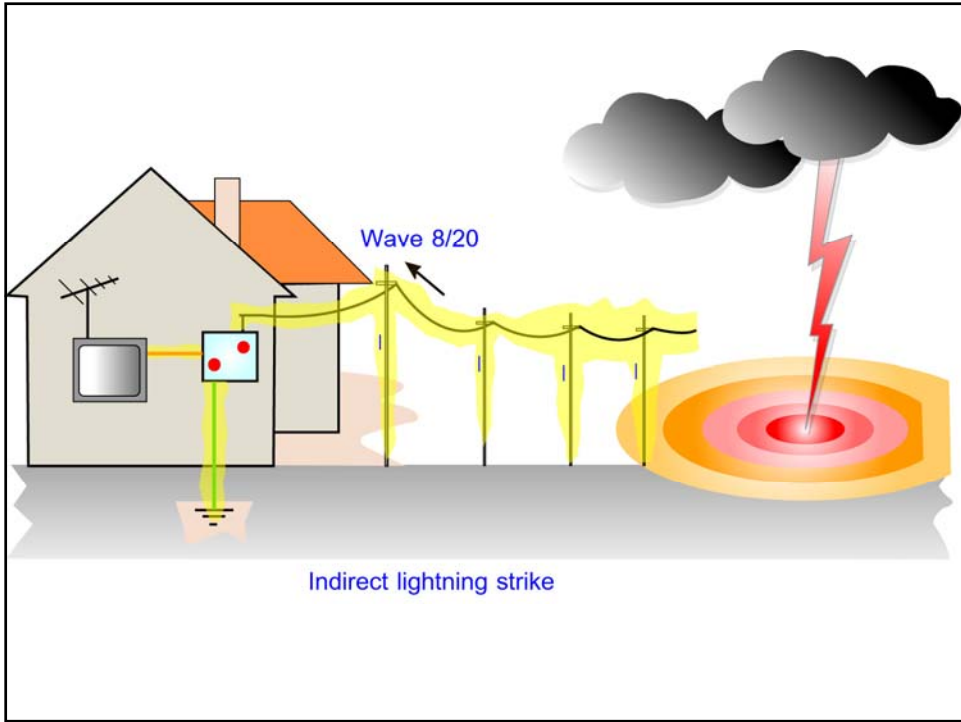
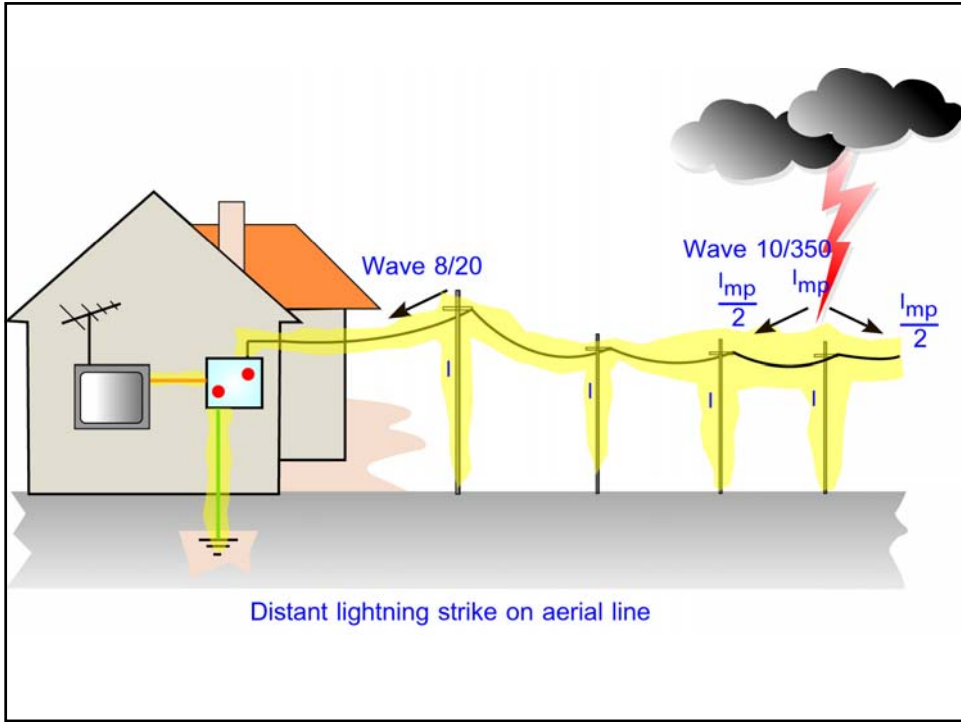


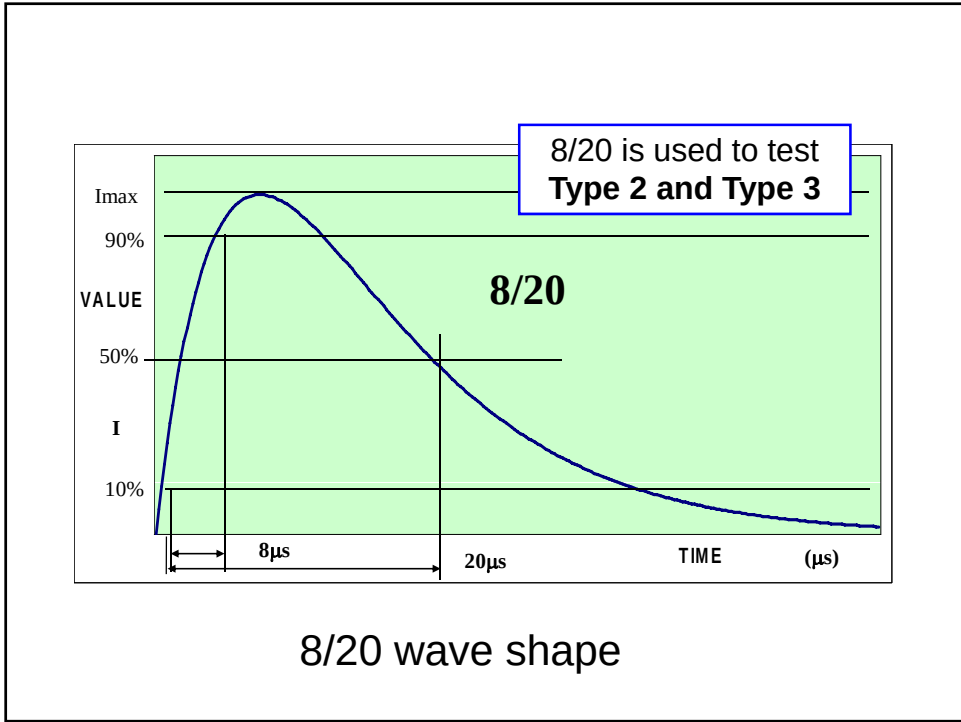
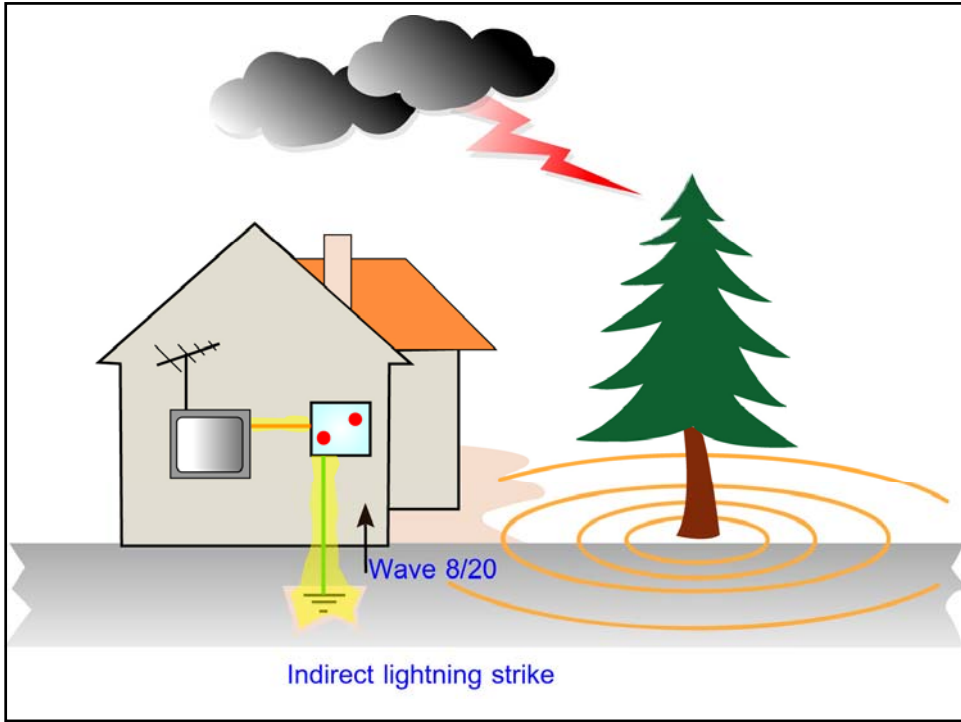


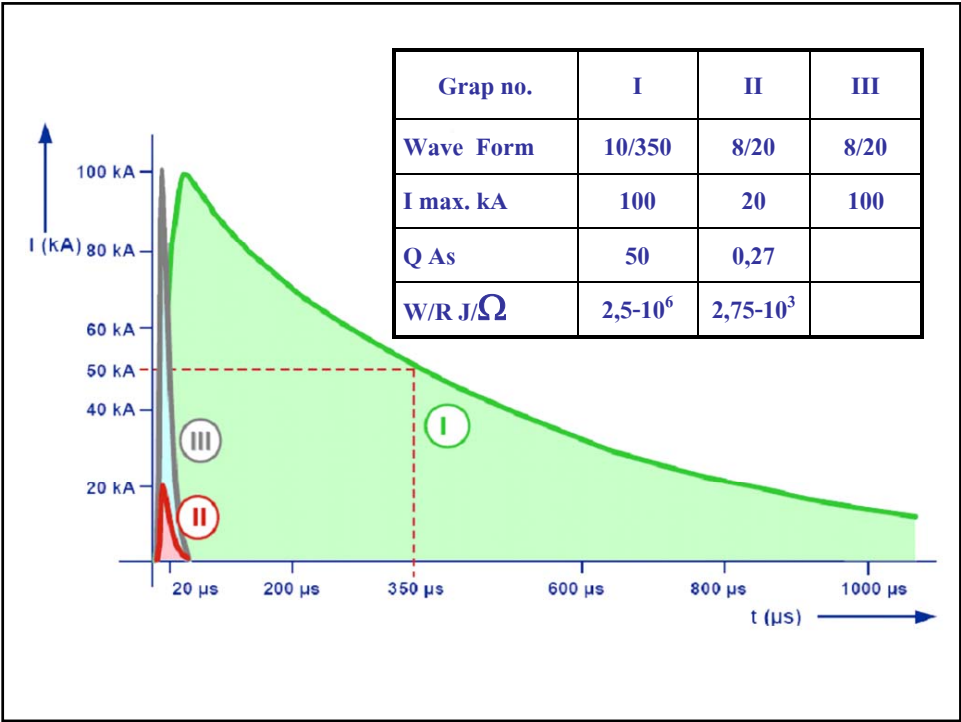
Parameters for the equation

Parameter	First stroke			Subsequent stroke		
	Protection level			Protection level		
	I	II	III-IV	I	II	III-IV
I (kA)	200	150	100	50	37,5	25
h	0,930	0,930	0,930	0,993	0,993	0,993
τ_1 (μ s)	19,0	19,0	19,0	0,454	0,454	0,454
τ_2 (μ s)	485	485	485	143	143	143









ภาคผนวก ก

ก - 1

ภาคผนวก ก
(ใช้เป็นข้อมูล)
ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของกระแสฟ้าผ่า

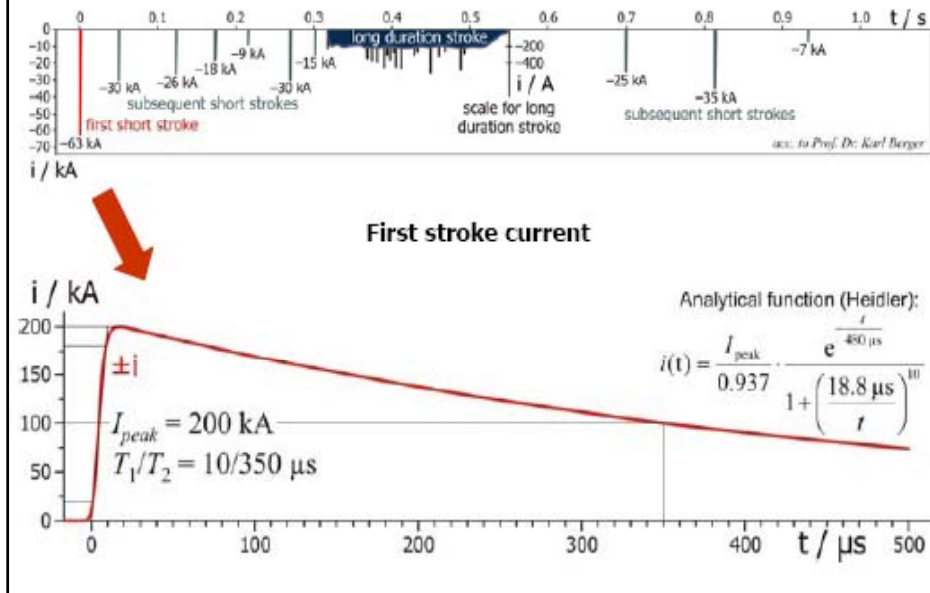
68

ค่าพารามิเตอร์ของกระแสฟ้าผ่าลำแรก			
ค่าพารามิเตอร์ของกระแส (ดูรูปที่ 1.3-1)	ระดับการป้องกัน		
	1	2	3-4
กระแสคายยอด I กิโลแอมแปร์ (kA)	200	150	100
ช่วงเวลาหน่วงคลื่น T ₁ ไมโครวินาที (μs)	10	10	10
เวลาถึงครึ่งหนึ่งของคายยอด T ₂ ไมโครวินาที (μs) (หมายเหตุ 1)	350	350	350
ประจุของลำฟ้าผ่าช่วงสั้น Q _s (หมายเหตุ 2) คูลอมป์ (C)	100	75	50
พลังงานจำเพาะ W/R (หมายเหตุ 3) เมกกะจูล/โอห์ม (MJ/Ω)	10	5.6	2.5
หมายเหตุ 1) เวลาถึงครึ่งหนึ่งของคายยอด หมายถึง เวลาตั้งแต่เริ่มต้นจนกระทั่งคายยอดลดลงเหลือครึ่งหนึ่ง 2) เนื่องจากส่วนใหญ่ของประจุทั้งหมด Q _s จะอยู่ในลำฟ้าผ่าลำแรก ดังนั้นประจุของลำฟ้าผ่าช่วงเวลาสั้นทั้งหมดให้ถือว่ามีความเท่ากับค่าตามตาราง 3) เนื่องจากส่วนใหญ่พลังงานจำเพาะ W/R จะอยู่ในลำฟ้าผ่าลำแรก ดังนั้นพลังงานจำเพาะของลำฟ้าผ่าช่วงเวลาสั้นทั้งหมดให้ถือว่ามีความเท่ากับค่าตามตาราง			
			69

ภาคผนวก ค (ใช้เป็นข้อมูล) การจำลองกระแสฟ้าผ่าเพื่อวัตถุประสงค์ในการทดสอบ	70
---	----

Parameters of lightning discharges – natural process

Negative multiple lightning downward flash

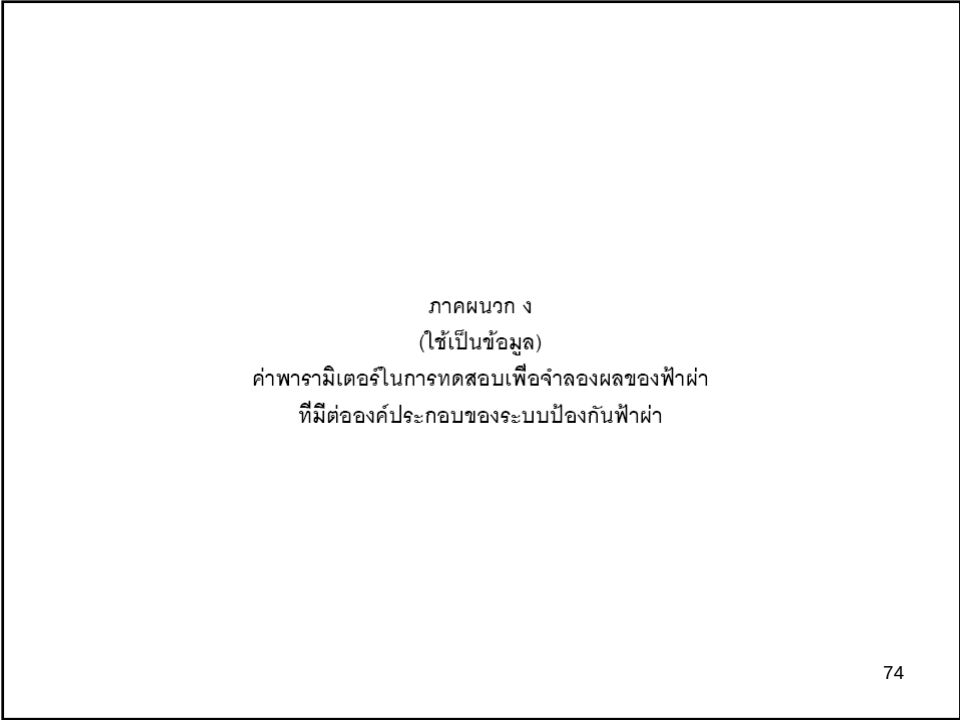
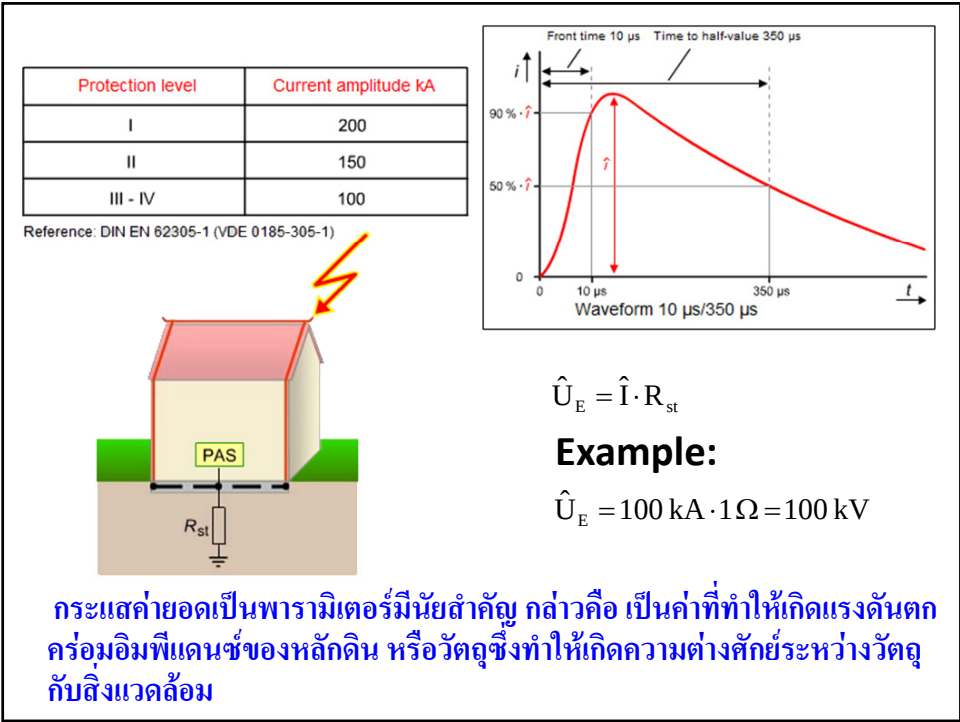


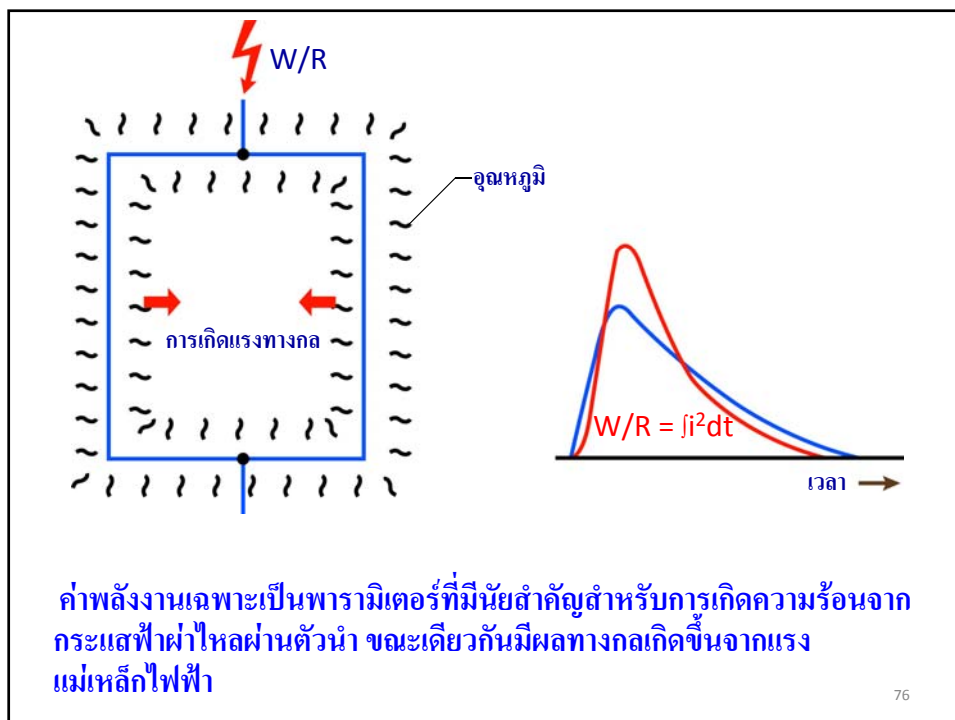
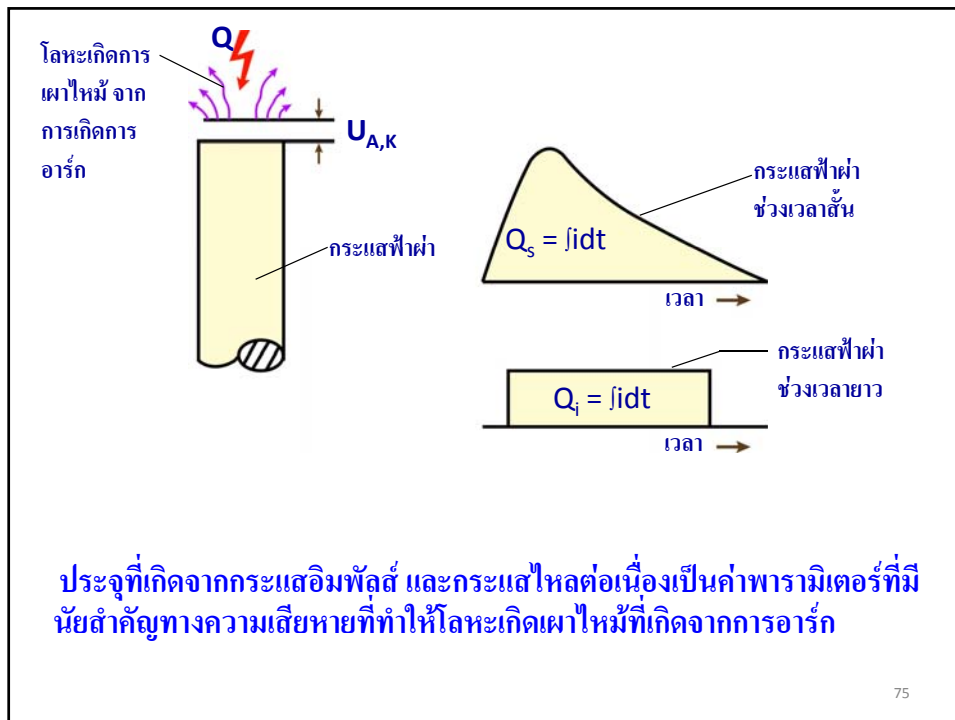
Parameters of lightning discharges – standardization

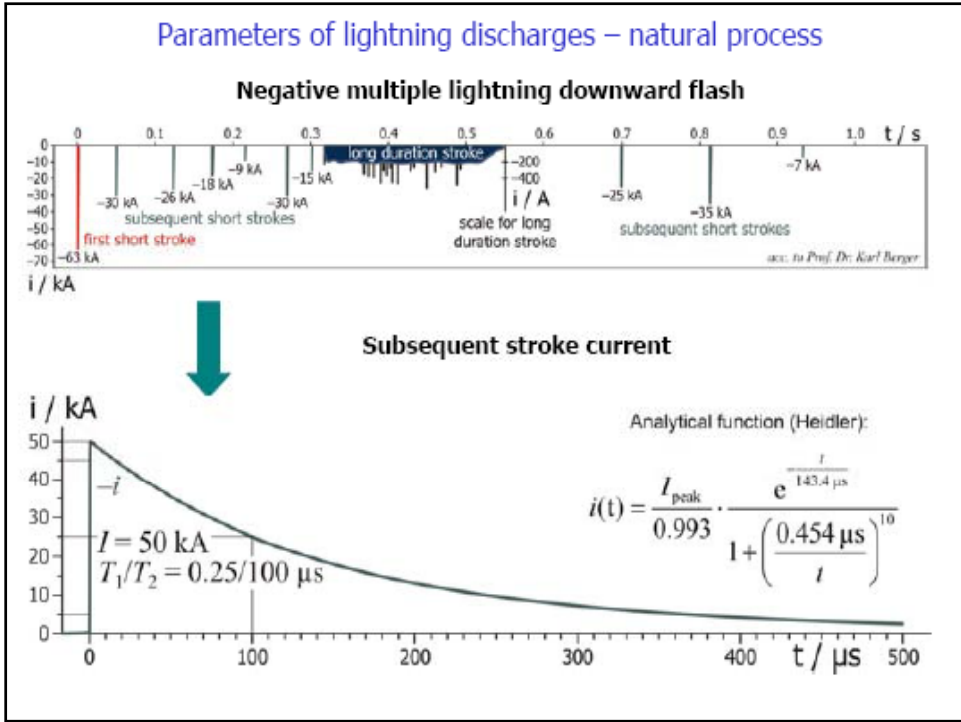
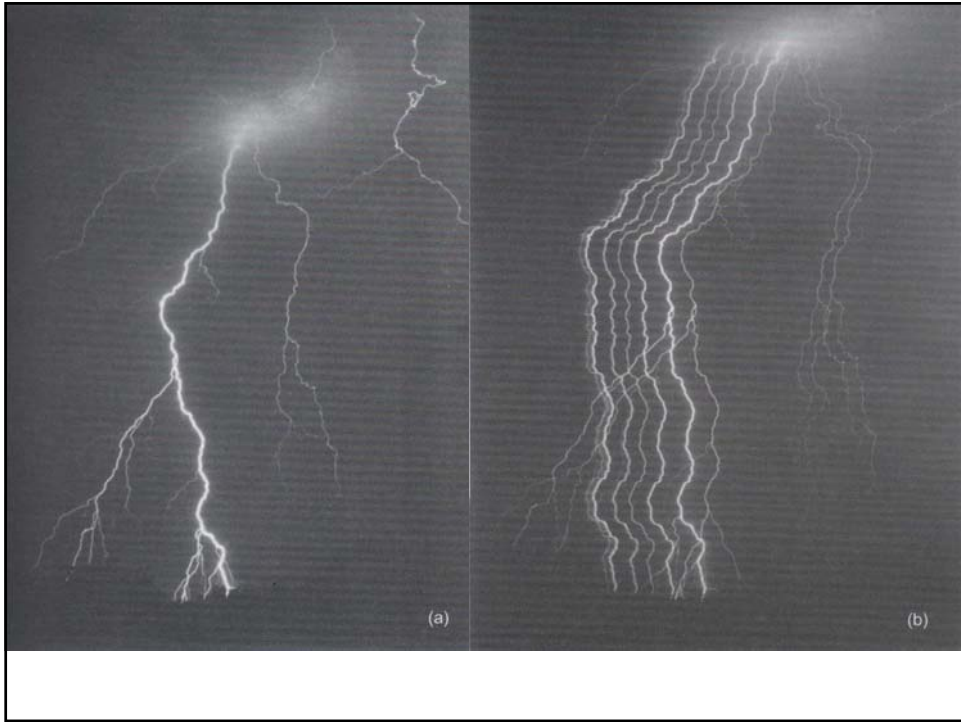
partial currents of lightning discharges	protection level IV - I	typical wave shape
first stroke $T_1 / T_2 = 10/350 \mu s$ peak current / kA specific energy / $\frac{MJ}{\Omega}$	100 ... 200 2,5 ... 10	
long duration stroke $T_d = 0,5 \text{ s}$ current / A charge / As	200 ... 400 100 ... 200	
subsequent stroke $T_1 / T_2 = 0,25/100 \mu s$ peak Current / kA mean steepness / $\frac{kA}{\mu s}$	25 ... 50 100 ... 200	

Lightning current parameters acc. to EN/IEC 62305

- Mainly the current peak values and the integral parameters (W/R, Q, steepness) are defined in the standard. Current wave shapes are only recommended!
- The parameters are graduated in three steps acc. to the lightning protection level respectively the claim of protection.
- The surge current 8/20 μs is specified in different international standards like EN/IEC 62305 "Protection against lightning" or EN/IEC 61643 "Surge protective devices".







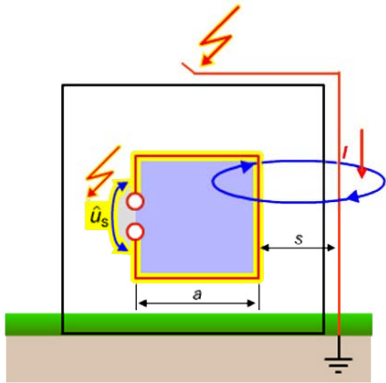
ค่าพารามิเตอร์ของกระแสฟ้าผ่าของลํ้าฟ้าผ่าลํ้าต่อมา

ค่าพารามิเตอร์ของกระแส (ดูรูปที่ 1.3-1)	ระดับการป้องกัน		
	1	2	3-4
กระแสคายอด I กิโลแอมแปร์ (kA)	250	37.5	25
ช่วงเลาหน้าคลื่น T ₁ ไมโครวินาที (μs)	0.25	0.25	0.25
เวลาถึงครึ่งหนึ่งของคายอด T ₂ ไมโครวินาที (μs)	100	100	100
ความชันเฉลี่ย I/T ₁ กิโลแอมป์/ไมโครวินาที (kA/μs)	200	150	100

79

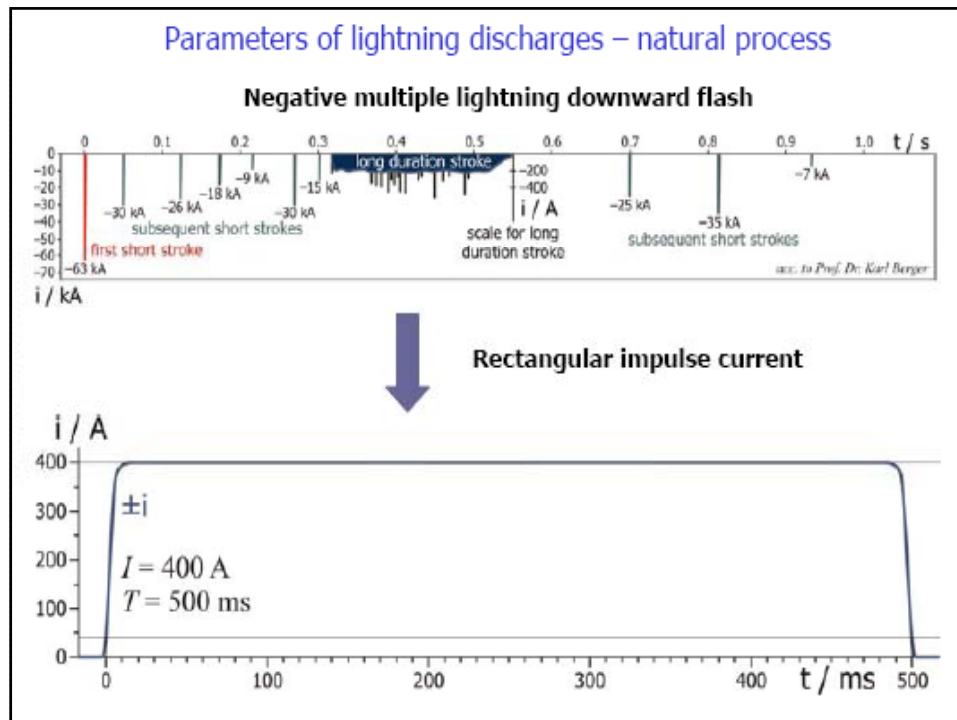
$$\hat{u}_s = L \cdot \frac{\Delta i}{\Delta t}$$

u : Voltage
 $\frac{\Delta i}{\Delta t}$: Current steepness
 L : Cable inductance



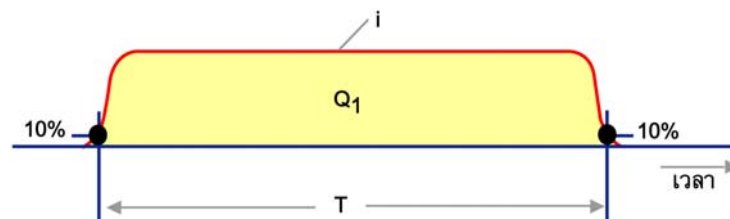
a : Side length of the conductor loop
 s : Distance from external lightning protection system

ค่าอัตราการเพิ่มของหน้าคลื่น เป็นพารามิเตอร์ที่มีนัยสำคัญสำหรับการเกิดแรงดันเหนี่ยวนำในวงรอบตัวนำที่อยู่ใกล้ลํ้าฟ้าผ่า ทำให้เกิดกระแสไหลในวงรอบ การถ่ายเทพลังงานของฟ้าหลายลํ้าเป็นสาเหตุที่สำคัญในการทำให้ระบบดิจิตอลทำงานผิดพลาด หรือเกิดการเสียหาย



ลํ้าฟ้าผ่าช่วงยาว

ลํ้าฟ้าผ่าซึ่งมีเวลานับจากเวลาที่ 10 % ของค่าด้านหน้าคลื่น
จนถึงเวลาที่ 10 % ของค่าทางด้านหางคลื่นมากกว่า
10 มิลลิวินาที และ น้อยกว่า 1 วินาที



T = ช่วงเวลา (นับจากเวลาที่ 10% ของค่าทางด้านหน้าคลื่นจนถึง
เวลาที่ 10% ของค่าทางด้านหางคลื่น)

Q_1 = ประจุของกระแสช่วงเวลายาว

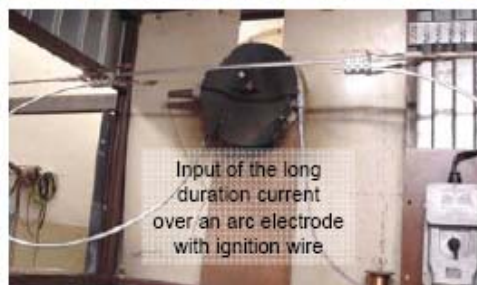
ค่าพารามิเตอร์ของกระแสไฟฟ้าผ่าของลําฟ้าผ่าช่วงเวลายาว

ค่าพารามิเตอร์ของกระแส (ดูรูปที่ 1.3-1)	ระดับการป้องกัน		
	1	2	3-4
ประจุ Q_1 คูลอมป์ (C)	200	150	100
ช่วงเวลา T วินาที (s)	0.5	0.5	0.5

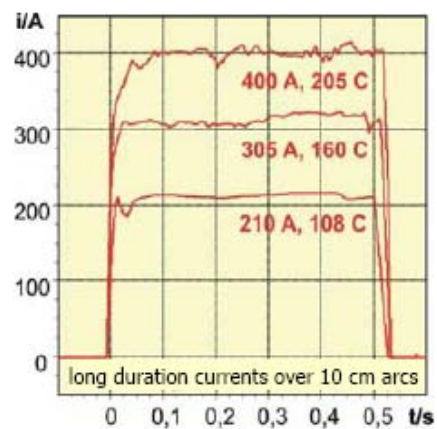
ค่ากระแสเฉลี่ยมีค่าประมาณเท่ากับ Q/T

83

Example 2: Melting effects on earth wires due to long duration current arcs



A high length of the test arc is necessary to reach of real results ($I_{\min} = 5 \text{ cm}$)!



84

Example 2: Melting effects on earth wires due to long duration current arcs



Results in function of the load parameters:

200 A – 0.5 s, 100 C

→ 3 single wires damaged



300 A – 0.5 s, 150 C

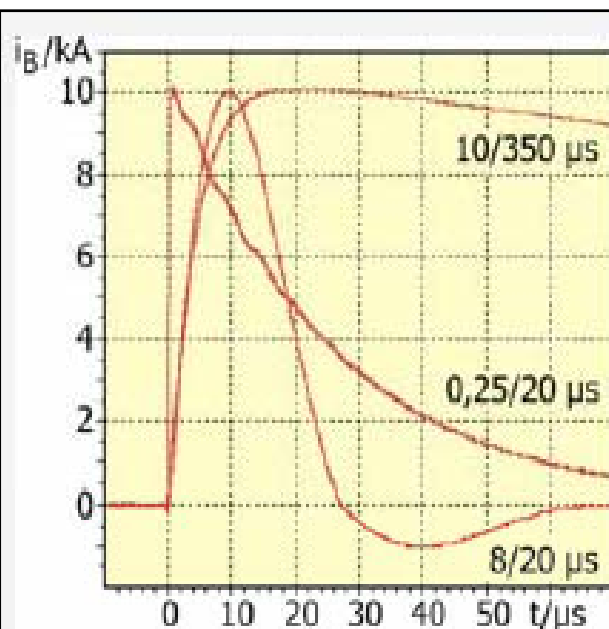
→ 4 single wires damaged



400 A – 0.5 s, 200 C

→ 4 single wires damaged

85



1: Typical lightning current wave-shapes

86

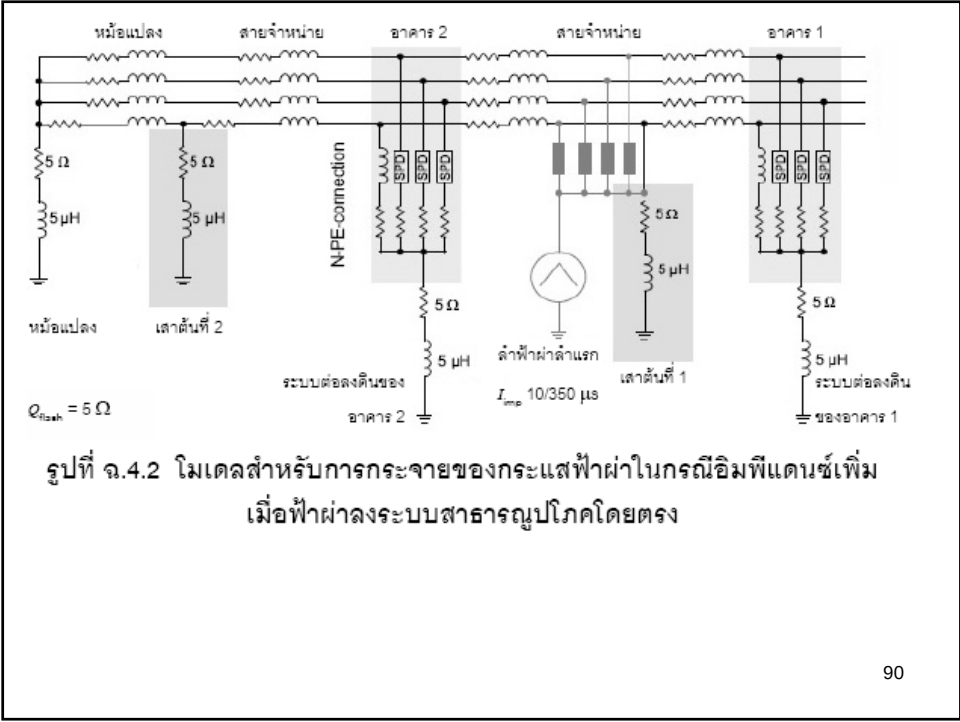
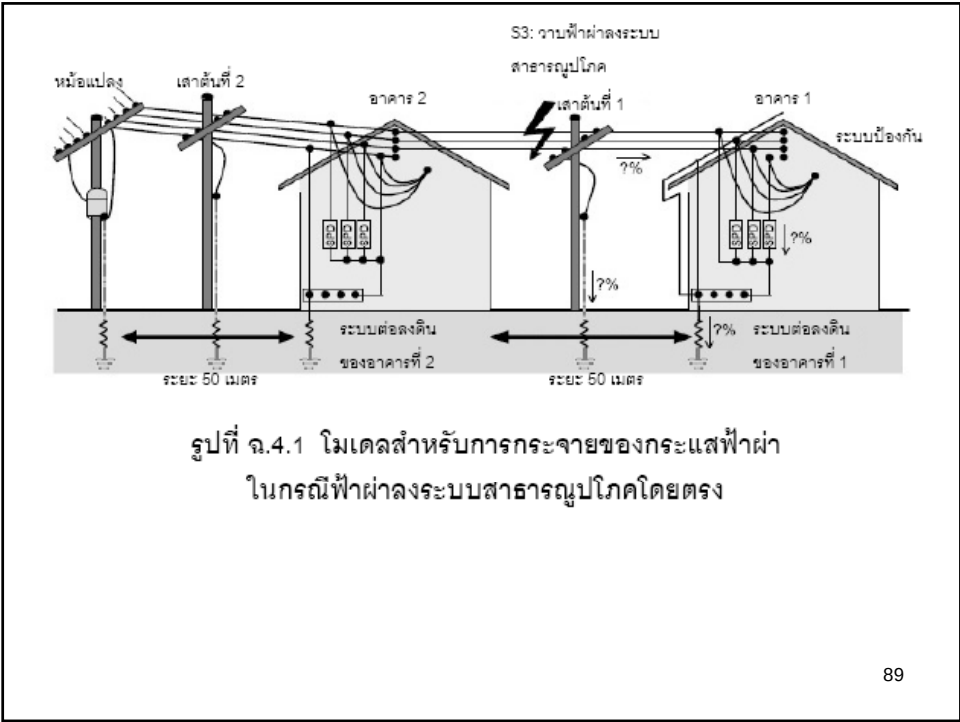
ภาคผนวก จ
(ใช้เป็นข้อมูล)
เสิร์จที่เกิดจากฟ้าผ่าที่ตำแหน่งต่างๆ

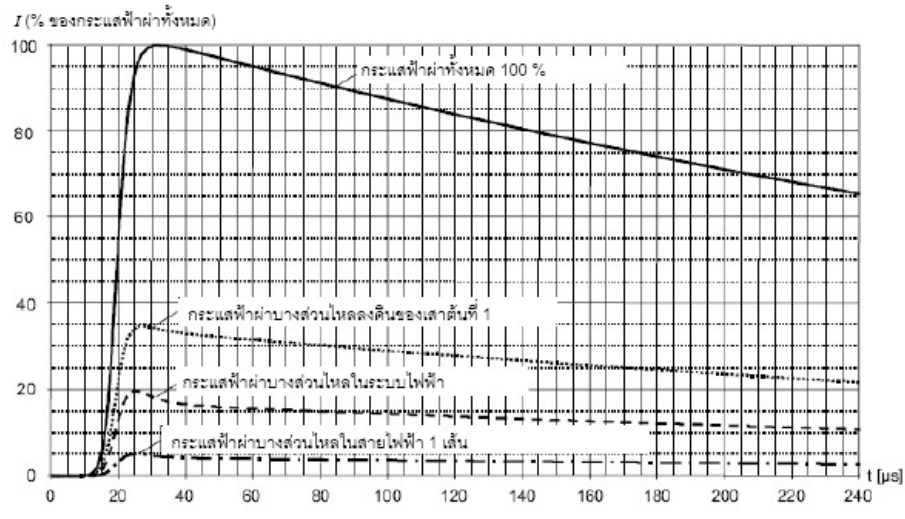
87

ตารางที่ จ.2 ค่ากระแสเกินของเสิร์จที่คาดหวังเนื่องจากวบบฟ้าผ่า

	ระบบแรงต่ำ			ระบบโทรคมนาคม		
	วบบฟ้าผ่าลงระบบ สาธารณูปโภค	วบบฟ้าผ่าใกล้ระบบ สาธารณูปโภค	วบบฟ้าผ่าใกล้หรือ ลงสิ่งปลูกสร้าง	วบบฟ้าผ่าลงระบบ สาธารณูปโภค	วบบฟ้าผ่าใกล้ระบบ สาธารณูปโภค	วบบฟ้าผ่าใกล้ หรือสิ่งปลูกสร้าง
ระดับ ป้องกัน ฟ้าผ่า	แหล่งกำเนิดความ เสียหาย S3 (ฟ้าผ่าโดยตรง)	แหล่งกำเนิดความ เสียหาย S4 (ฟ้าผ่าโดยอ้อม)	แหล่งกำเนิดความ เสียหาย S1 หรือ S2 (กระแสเหนี่ยวนำ เฉพาะกรณี S1)	แหล่งกำเนิดความ เสียหาย S3 (ฟ้าผ่าโดยตรง)	แหล่งกำเนิดความ เสียหาย S4 (ฟ้าผ่าโดยอ้อม)	แหล่งกำเนิดความ เสียหาย S2 (กระแสเหนี่ยวนำ)
	รูปคลื่น 10/350 μ s (kA)	รูปคลื่น 8/20 μ s (kA)	รูปคลื่น 8/20 μ s (kA)	รูปคลื่น 10/350 μ s (kA)	รูปคลื่นที่วัดได้ 5/300 μ s (ใช้ค่าประมาณ 8/20 μ s) (kA)	รูปคลื่น 8/20 μ s (kA)
3 - 4	5	2.5	0.1	1	0.01 (0.05)	0.05
1 - 2	10	5	0.2	2	0.02 (0.1)	0.1

88





รูปที่ จ.4.3 ออสซิลโลแกรมของกระแสไฟฟ้าลงระบบมาตรฐานปกติโดยตรง

91

ตารางที่ จ.4.1 พารามิเตอร์กระแสไฟฟ้าลงระบบมาตรฐานปกติโดยตรงเสาต้นที่ 1 และอาคาร 1

กระแส		กระแสบางส่วน ไหลลงดินของเสาต้นที่ 1		กระแสบางส่วน ไหลในระบบไฟฟ้า		กระแสบางส่วน ไหลในตัวนำ 1 เส้น	
I_{peak}	Q	I_{peak}	Q	I_{peak}	Q	I_{peak}	Q
100%	100%	37.5%	33%	20%	16%	5%	4%

ความสัมพันธ์การกระจายของ I_{peak} และ Q เป็น % ของกระแสรวมทั้งหมด

92