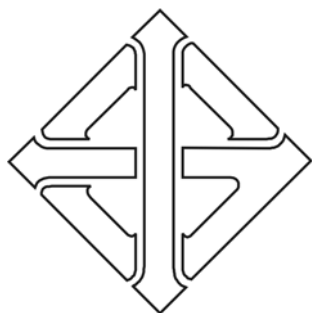




มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

THAI INDUSTRIAL STANDARD

มอก. 1586 เล่ม 1 – 2555

การป้องกันฟ้าผ่า

เล่ม 1 หลักทั่วไป

PROTECTION AGAINST LIGHTNING

PART 1: GENERAL PRINCIPLES

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

กระทรวงอุตสาหกรรม

ICS 91.120.40

ISBN 978-616-231-434-6

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

การป้องกันฟ้าผ่า

เล่ม 1 หลักทั่วไป

มอก. 1586 เล่ม 1 – 2555

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

กระทรวงอุตสาหกรรม ถนนพระรามที่ 6 กรุงเทพฯ 10400

โทรศัพท์ 0 2202 3300

ประกาศในราชกิจจานุเบกษา ฉบับประกาศและงานทั่วไป เล่ม 130 ตอนพิเศษ 6ง

วันที่ 17 มกราคม พุทธศักราช 2556

คณะกรรมการพิจารณากร่างมาตรฐาน

การป้องกันไฟฟ้า

ที่ปรึกษา

รศ.ดร.สำรวย สังข์สะอาด
นายประสิทธิ์ เหมวราพรชัย
นายสมศักดิ์ นิติตุงคาริน
นายปรการ กาญจนวดี
นายเกียรติ อัครพงศ์

ประธานอนุกรรมการ

นายวิวัฒน์ กุลวงศ์วิทย์

อนุกรรมการ

นายโสภณ ศิลาพันธ์
นายสุกิจ เกียรติบุญศรี
นายสมชาย หอมกลิ่นแก้ว
นายบุญมาก สมितिสีลา
นายกิตติศักดิ์ วรรณแก้ว
ดร.วินัย พุกกะวัน
ดร.นาตยา คล้ายเรือง
นางสาวนพดา ชีรอัจฉริยกุล
นางสาวเทพกัญญา ขัติแสง
ผศ.ดร.ปฐมทัศน์ จิระเดชะ
ผศ.ดร.โสทธิพงศ์ พิชัยสวัสดิ์
นายวิระพันธ์ รังสีวิจิตรประภา
นายโสภณ ลิกขโกศล
นายศิริชัย คัมธมาส

อนุกรรมการและเลขานุการ

นายชายชาญ โพธิสาร

อนุกรรมการและผู้ช่วยเลขานุการ

นางสาวสโรชา มัณชิโม
นางสาวมาลี ด่านสิริสันติ
นางสาวเมตตา หมอนเขื่อน

ข้าราชการบำนาญ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
การไฟฟ้านครหลวง
การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค
บริษัท เมเซอร์โทรนิคส์ จำกัด
บริษัท เอ็นไวรอนเมนต์อล เอ็นจิเนียริง คอนซัลแตนท์ จำกัด

วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์

ข้าราชการบำนาญ กรมโยธาธิการ และผังเมือง
การไฟฟ้านครหลวง
การไฟฟ้านครหลวง
การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย
การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ (องครักษ์)
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
บริษัท ชไนเดอร์ (ไทยแลนด์) จำกัด
สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์
วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์
วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์

คณะกรรมการวิชาการคณะที่ 998
คณะกรรมการวิชาการรายสาขาเครื่องใช้ไฟฟ้า

ประธานกรรมการ

นายสุวิน เลาหประสิทธิ์

กรรมการ

นายอิทธิชัย ปัทมสิริวัฒน์

สำนักงานเศรษฐกิจอุตสาหกรรม

นายชัยพร มานะกิจจกมล

นางรัชดา อิศระเสนารักษ์

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

นายบัณฑิตย์ วุฒิรักษ์ชัยนันท์

นายวิสิษฐ สุตสุนทร

กรมการค้าต่างประเทศ

นายเสกสรรค์ เรืองโฆหาร

สำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมการลงทุน

นายสันติ ลีละวงศ์

นายจาริก เสงรัมย์

สถาบันไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์

นายชนะศักดิ์ ไชยเวช

นายกมล ตรีวิบูลย์

สภาหอการค้าแห่งประเทศไทย

นายคเชนทร์ ประสาน

นายประวิทย์ ฮวดสุนทร

สภาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย

นายปกรณ์ เมธาวิณ

กรรมการและเลขานุการ

นายสุรยุทธ บุญมาทัต

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

กรรมการและผู้ช่วยเลขานุการ

นายสถาพร รุ่งรัตนอุบล

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมการป้องกันฟ้าผ่า เล่ม 1 หลักทั่วไป นี้ ได้ประกาศใช้ครั้งแรกเป็นมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมการป้องกันโครงสร้างจากฟ้าผ่า เล่ม 1 หลักการทั่วไป มาตรฐานเลขที่ 1586-2541 ในราชกิจจานุเบกษา ฉบับประกาศทั่วไป เล่มที่ 116 ตอนพิเศษ 74ง วันที่ 29 กันยายน พุทธศักราช 2542 ต่อมาได้พิจารณาเห็นสมควรแก้ไขปรับปรุงเพื่อให้ทันสมัยตามพัฒนาการของ IEC จึงได้แก้ไขปรับปรุงโดยยกเลิกมาตรฐานเดิมและกำหนดมาตรฐานนี้ขึ้นใหม่

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้ จัดทำขึ้นตามความร่วมมือด้านการกำหนดมาตรฐานระหว่างสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกับสมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ ที่ตั้งอยู่เลขที่ 487 ซอยรามคำแหง 39 (เทพลีลา 1) ถนนรามคำแหง แขวงวังทองหลาง เขตวังทองหลาง กทม. 10310 โทรศัพท์ 0 2319 2410-3 E-mail: eit@eit.or.th www.eit.or.th

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้ กำหนดขึ้นโดยรับ IEC 62305-1 (2006-01) Protection against lightning – Part 1: General principle มาใช้โดยวิธีร่างใหม่ ในระดับดัดแปลง โดยได้ปรับแก้ข้อความ เพื่อสื่อความหมายให้เข้าใจได้ง่าย

กรรมการมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมได้พิจารณามาตรฐานนี้แล้ว เห็นสมควรเสนอรัฐมนตรีประกาศตามมาตรา 15 แห่งพระราชบัญญัติมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม พ.ศ. 2511

สารบัญ

	หน้า
1. ขอบข่าย	1
2. เอกสารอ้างอิง	1
3. บทนิยาม	2
4. พารามิเตอร์กระแสไฟฟ้า	8
5. ความเสียหายเนื่องจากไฟฟ้า	8
6. ความจำเป็นและความเหมาะสมทางเศรษฐกิจสำหรับการป้องกันไฟฟ้า	16
7. มาตรการการป้องกัน	18
8. เกณฑ์พื้นฐานสำหรับการป้องกันของโครงสร้างและสิ่งบริการ	20
ภาคผนวก ก.	28
ภาคผนวก ข.	39
ภาคผนวก ค.	43
ภาคผนวก ง.	48
ภาคผนวก จ.	68

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 1 ต้นแบบของความสูญเสียและความเสี่ยงสมนัยอันเป็นผลมาจากต้นแบบของความเสียหายต่างกัน	16
รูปที่ 2 LPZ นิยามโดย LPS (IEC 62305-3)	22
รูปที่ 3 LPZ นิยามโดย LEMP (IEC 62305-4)	23
รูปที่ ก.1 คำนิยามของพารามิเตอร์ช่วงจังหวะสั้น	29
รูปที่ ก.2 คำนิยามของพารามิเตอร์ช่วงจังหวะยาว	29
รูปที่ ก.3 ส่วนประกอบเป็นไปได้อิงของช่วงจังหวะของวาลลง	30
รูปที่ ก.4 ส่วนประกอบเป็นไปได้อิงของช่วงจังหวะของวาลขึ้น	31
รูปที่ ก. 5 การแจกแจงความถี่สะสมของพารามิเตอร์กระแสฟ้าผ่า (เส้นผ่านค่าร้อยละ 95 และร้อยละ 5)	35
รูปที่ ข.1 รูปคลื่นของส่วนเพิ่มกระแสฟ้าผ่าของช่วงจังหวะสั้นลำดับแรก	40
รูปที่ ข.2 รูปคลื่นของส่วนท้ายกระแสฟ้าผ่าของช่วงจังหวะสั้นลำดับแรก	40
รูปที่ ข.3 รูปคลื่นของส่วนเพิ่มกระแสฟ้าผ่าของช่วงจังหวะสั้นลำดับหลัง	41
รูปที่ ข.4 รูปคลื่นของส่วนท้ายกระแสฟ้าผ่าของช่วงจังหวะสั้นลำดับหลัง	41
รูปที่ ข. 5 ความหนาแน่นแอมพลิจูดของกระแสฟ้าผ่าตาม LPL I	42
รูปที่ ค.1 ตัวอย่างเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทดสอบสำหรับการจำลองของพลังงานจำเพาะ ของช่วงจังหวะสั้นลำดับแรกและประจุของช่วงจังหวะยาว	44
รูปที่ ค. 2 นิยามสำหรับความชันกระแสฟ้าผ่าตามตารางที่ ค.3	46
รูปที่ ค. 3 ตัวอย่างเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทดสอบสำหรับการจำลองของความชันหน้า ของช่วงจังหวะสั้นลำดับแรกสำหรับขึ้นทดสอบขนาดใหญ่	46
รูปที่ ค.4 ตัวอย่างเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทดสอบสำหรับการจำลองความชันหน้า ของช่วงจังหวะสั้นลำดับหลังสำหรับขึ้นทดสอบขนาดใหญ่	47
รูปที่ ง. 1 การจัดวางทั่วไปของตัวนำ 2 เส้นสำหรับการคำนวณแรงพลศาสตร์ไฟฟ้า	56
รูปที่ ง. 2 การจัดวางตัวนำต้นแบบใน LPS	57
รูปที่ ง.3 แผนภาพของความเค้นสำหรับรูปแบบของรูปที่ ง.2	57
รูปที่ ง.4 แรงต่อหน่วยความยาวตลอดตัวนำแนวระดับของรูปที่ ง.2	57

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1 ผลกระทบของไฟฟ้าต่อโครงสร้างต้นแบบ	9
ตารางที่ 2 ผลกระทบของไฟฟ้าต่อสิ่งบริการต้นแบบ	12
ตารางที่ 3 ความเสียหายและความสูญเสียในโครงสร้างตามจุดไฟฟ้า	15
ตารางที่ 4 ความเสียหายและความสูญเสียในสิ่งบริการตามจุดไฟฟ้า	15
ตารางที่ 5 ค่าสูงสุดของพารามิเตอร์ไฟฟ้าตาม LPL	21
ตารางที่ 6 ค่าต่ำสุดของพารามิเตอร์กระแสไฟฟ้าและรัศมีทรงกลมกลิ้งที่สัมพันธ์สมกับ LPL	23
ตารางที่ 7 ความน่าจะเป็นสำหรับขีดจำกัดของพารามิเตอร์กระแสไฟฟ้า	24
ตารางที่ ก.1 ค่าของพารามิเตอร์กระแสไฟฟ้าในตาราง	33
ตารางที่ ก.2 การแจกแจงปกติเชิงล็อกการริ้มของพารามิเตอร์กระแสไฟฟ้า – ค่าเฉลี่ย μ และการกระจาย $\sigma_{\log}$	34
ตารางที่ ข.1 พารามิเตอร์สำหรับสมการ ข.1	39
ตารางที่ ค. 1 พารามิเตอร์ทดสอบของช่วงจังหวะสั้นลำดับแรก	44
ตารางที่ ค. 2 พารามิเตอร์ทดสอบของช่วงจังหวะยาว	44
ตารางที่ ค.3 พารามิเตอร์ทดสอบของช่วงจังหวะสั้น	45
ตารางที่ ง.1 สรุปพารามิเตอร์ภัยคุกคามไฟฟ้าที่ต้องพิจารณาในการคำนวณ ค่าทดสอบสำหรับส่วนประกอบ LPS	
ต่างกันและสำหรับ LPL ต่างกัน	49
ตารางที่ ง. 2 ลักษณะเฉพาะทางกายภาพของวัสดุต้นแบบซึ่งใช้ในส่วนประกอบ LPS	53
ตารางที่ ง. 3 อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นสำหรับตัวนำมีพื้นที่หน้าตัดต่างกันเป็นฟังก์ชันของ W/R	53
ตารางที่ จ. 1 ค่าอิมพีแดนซ์ดินธรรมดา Z และ Z_1 ตามสภาพความต้านทานของเนื้อดิน	70
ตารางที่ จ. 2 กระแสเกินเลี้ยวที่คาดหมายเนื่องจากวาทไฟฟ้า	71



ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม

ฉบับที่ 4482 (พ.ศ. 2555)

ออกตามความในพระราชบัญญัติมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

พ.ศ. 2511

เรื่อง ยกเลิกมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมการป้องกันโครงสร้างจากฟ้าผ่า

เล่ม 1 หลักการทั่วไป และกำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมการป้องกันฟ้าผ่า เล่ม 1 หลักทั่วไป

โดยที่เป็นการสมควรแก้ไขปรับปรุงมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมการป้องกันโครงสร้างจากฟ้าผ่า เล่ม 1 หลักการทั่วไป มาตรฐานเลขที่ มอก.1586 -2541

อาศัยอำนาจตามความในมาตรา 15 แห่งพระราชบัญญัติมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม พ.ศ. 2511 รัฐมนตรีว่าการกระทรวงอุตสาหกรรมออกประกาศยกเลิกประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 2431 (พ.ศ. 2541) ออกตามความในพระราชบัญญัติมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม พ.ศ. 2511 เรื่อง กำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมการป้องกันโครงสร้างจากฟ้าผ่า ลงวันที่ 26 สิงหาคม พ.ศ. 2542 และออกประกาศ กำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมการป้องกันฟ้าผ่า เล่ม 1 หลักทั่วไป มาตรฐานเลขที่ มอก.1586 เล่ม 1-2555 ขึ้นใหม่ ดังมีรายการละเอียดต่อท้ายประกาศนี้

ทั้งนี้ ให้มีผลเมื่อพ้นกำหนด 270 วัน นับแต่วันประกาศในราชกิจจานุเบกษา เป็นต้นไป

ประกาศ ณ วันที่ 14 กันยายน พ.ศ. 2555

พงษ์สวัสดิ์ สวัสดิวัตน์

รัฐมนตรีว่าการกระทรวงอุตสาหกรรม

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

การป้องกันฟ้าผ่า

เล่ม 1 หลักทั่วไป

1. ขอบข่าย

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้เป็นหลักทั่วไปที่ต้องปฏิบัติตามในการป้องกันฟ้าผ่าของ

- โครงสร้างรวมทั้งสิ่งติดตั้งกับโครงสร้างและสิ่งอยู่ภายใน ซึ่งรวมถึงคนด้วย
- สิ่งบริการซึ่งต่อถึงโครงสร้าง

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้ไม่ครอบคลุมถึง

- ระบบทางรถไฟ
- ยานพาหนะ เรือ อากาศยาน และสิ่งติดตั้งนอกฝั่ง (offshore installation)
- เส้นท่อความดันสูงใต้ดิน
- เส้นท่อ สายไฟฟ้ากำลังและสายไฟฟ้าสื่อสาร ซึ่งไม่ต่อถึงโครงสร้าง

หมายเหตุ โดยปกติระบบเหล่านี้อยู่ตามกฎระเบียบพิเศษของหน่วยงานเฉพาะหลายหน่วย

2. เอกสารอ้างอิง

เอกสารอ้างอิงที่ระบุนี้ ประกอบด้วยข้อกำหนดที่นำมาอ้างอิงในการกำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้ เอกสารอ้างอิงฉบับที่ระบุที่พิมพ์จะไม่นำเอาเอกสารอ้างอิงฉบับที่แก้ไขเพิ่มเติมหรือแก้ไขปรับปรุงมาใช้ในการอ้างอิง อย่างไรก็ตาม การจะนำเอกสารอ้างอิงฉบับล่าสุดมาใช้ ผู้เกี่ยวข้องอาจรวมพิจารณาตกลงกันว่าสามารถใช้เอกสารอ้างอิงได้เพียงใด ส่วนเอกสารอ้างอิงฉบับที่ไม่ได้ระบุที่พิมพ์นั้นให้ใช้ฉบับล่าสุด

IEC 62305-2, *Protection against lightning – Part 2: Risk management*

IEC 62305-3, *Protection against lightning – Part 3: Physical damage to structures and life hazard*

IEC 62305-4, *Protection against lightning – Part 4: Electrical and electronic systems within structures*

IEC 62305-5, *Protection against lightning – Part 5: Services*

3. บทนิยาม

ความหมายของคำที่ใช้ในมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้ ให้เป็นดังต่อไปนี้

3.1 วาบฟ้าผ่าถึงดิน (lightning flash to earth)

การปล่อยประจุไฟฟ้ากำเนิดในบรรยากาศระหว่างเมฆกับดิน ซึ่งประกอบด้วยช่วงจังหวะ 1 ช่วงหรือหลายช่วง

3.2 วาบลง (downward flash)

วาบฟ้าผ่าซึ่งเริ่มต้นจากกระแสนำลง (downward leader) จากเมฆถึงดิน

หมายเหตุ วาบลงประกอบด้วยช่วงจังหวะสั้นลำดับแรก ซึ่งสามารถตามด้วยช่วงจังหวะสั้นลำดับหลังหลายช่วง ช่วงจังหวะสั้น 1 ช่วงหรือหลายช่วงอาจตามด้วยช่วงจังหวะยาว

3.3 วาบขึ้น (upward flash)

วาบฟ้าผ่าซึ่งเริ่มต้นจากกระแสนำขึ้น (upward leader) จากโครงสร้างต่อกับดินถึงเมฆ

หมายเหตุ วาบขึ้นประกอบด้วยช่วงจังหวะยาวลำดับแรก ซึ่งมีหรือไม่มีช่วงจังหวะสั้นซ้อนทับหลายช่วง ช่วงจังหวะสั้น 1 ช่วงหรือหลายช่วงอาจตามด้วยช่วงจังหวะยาว

3.4 ช่วงจังหวะฟ้าผ่า (lightning stroke)

การปล่อยประจุไฟฟ้า 1 ครั้งในวาบฟ้าผ่าถึงดิน

3.5 ช่วงจังหวะสั้น (short stroke)

ส่วนของวาบฟ้าผ่าซึ่งสมนัยกับกระแสฟ้าผ่าอิมพัลส์ (impulse current)

หมายเหตุ กระแสฟ้าผ่าอิมพัลส์นี้มีเวลาถึงครึ่งค่า T_2 โดยต้นแบบน้อยกว่า 2 มิลลิวินาที (ดูรูปที่ ก. 1)

3.6 ช่วงจังหวะยาว (long stroke)

ส่วนของวาบฟ้าผ่าซึ่งสมนัยกับกระแสฟ้าผ่าต่อเนื่อง (continuing current)

หมายเหตุ ช่วงเวลา T_{long} (เวลาจากค่าร้อยละ 10 ด้านหน้า ถึง ค่าร้อยละ 10 ด้านท้าย) ของกระแสฟ้าผ่าต่อเนื่องนี้ โดยต้นแบบมากกว่า 2 มิลลิวินาที และน้อยกว่า 1 วินาที (ดูรูปที่ ก. 2)

3.7 ช่วงจังหวะหลายช่วง (multiple stroke)

วาบฟ้าผ่าซึ่งประกอบด้วยช่วงจังหวะเฉลี่ย 3-4 ช่วง มีช่วงเวลาดำเนินแบบระหว่างช่วงจังหวะประมาณ 50 มิลลิวินาที

หมายเหตุ มีรายงานว่ามีการเกิดได้ถึง 20-30 ช่วงจังหวะ มีช่วงห่างระหว่างช่วงจังหวะตั้งแต่ 10 มิลลิวินาที ถึง 250 มิลลิวินาที

3.8 จุดฟ้าผ่า (point of strike)

จุดซึ่งวาบฟ้าผ่าโลก (the earth) หรือวัตถุที่ยื่นขึ้นมา (เช่น โครงสร้าง, LPS, สิ่งบริการ และต้นไม้ เป็นต้น)

หมายเหตุ วาบฟ้าผ่าอาจมีจุดฟ้าผ่ามากกว่า 1 จุด

3.9 กระแสฟ้าผ่า (lightning current, i)

กระแสซึ่งไหลที่จุดฟ้าผ่า

3.10 ค่าพิก (peak value, I)

ค่าสูงสุดของกระแสฟ้าผ่า

3.11 ความชันเฉลี่ยหน้าของกระแสช่วงจังหวะสั้น (average steepness of the front of short stroke current)

อัตราการเปลี่ยนแปลงเฉลี่ยของกระแสฟ้าผ่าอิมพัลส์ภายในช่วงเวลาห่าง t_2-t_1

หมายเหตุ ค่านี้แสดงโดยความต่างกันของค่ากระแสฟ้าผ่าอิมพัลส์ ณ เวลาเริ่มต้นช่วงกับ ณ เวลาสิ้นสุดช่วง $i(t_2)-i(t_1)$ หารด้วยช่วงเวลาห่าง t_2-t_1 (ดูรูปที่ ก.1)

3.12 เวลาหน้าของกระแสช่วงจังหวะสั้น (front time of short stroke current, T_1)

พารามิเตอร์เสมือนซึ่งนิยามเป็น 1.25 เท่าของช่วงเวลาห่างระหว่างขณะที่ถึงร้อยละ 10 กับขณะที่ถึงร้อยละ 90 ของค่าพิก (ดูรูปที่ ก.1)

3.13 จุดกำเนิดเสมือนของกระแสช่วงจังหวะสั้น (virtual origin of short stroke current, O_1)

จุดตัดกับแกนเวลาของเส้นตรงซึ่งลากผ่านจุดอ้างอิงร้อยละ 10 และจุดอ้างอิงร้อยละ 90 ด้านหน้ากระแสช่วงจังหวะสั้น (ดูรูปที่ ก. 1) หรือจุดนำหน้าโดย $0.1 T_1$ ซึ่งเป็นขณะที่กระแสช่วงจังหวะสั้นมีค่าร้อยละ 10 ของค่าพิกของกระแสช่วงจังหวะสั้น

3.14 เวลาถึงครึ่งค่าของกระแสช่วงจังหวะสั้น (time to half value of short stroke current, T_2)

พารามิเตอร์เสมือนซึ่งนิยามเป็นช่วงเวลาห่างระหว่างจุดกำเนิดเสมือนของกระแสช่วงจังหวะสั้น O_1 กับขณะที่กระแสช่วงจังหวะสั้นได้ลดลงถึงครึ่งค่าพิก (ดูรูปที่ ก. 1)

3.15 ช่วงเวลาวาบ (flash duration, T)

เวลาซึ่งกระแสฟ้าผ่าไหล ณ จุดฟ้าผ่า

3.16 ช่วงเวลาของกระแสช่วงจังหวะยาว (duration of long stroke current, T_{long})

ช่วงเวลาระหว่างที่กระแสฟ้าผ่าในช่วงจังหวะยาวอยู่ระหว่างร้อยละ 10 ของค่าพิกตตลอดเวลาของกระแสฟ้าผ่าต่อเนื่องกำลังเพิ่มขึ้น กับ ร้อยละ 10 ของค่าพิกตตลอดเวลาของกระแสฟ้าผ่าต่อเนื่องกำลังลดลง (ดูรูปที่ ก. 2)

3.17 ประจุวาบ (flash charge, Q_{flash})

อินทิกรัลเวลาของกระแสฟ้าผ่าตลอดช่วงเวลาวาบฟ้าผ่า

3.18 ประจุช่วงจังหวะสั้น (short stroke charge, Q_{short})

อินทิกรัลเวลาของกระแสฟ้าผ่าในช่วงจังหวะสั้น

3.19 ประจุช่วงจังหวะยาว (long stroke charge, Q_{long})

อินทิกรัลเวลาของกระแสฟ้าผ่าในช่วงจังหวะยาว

3.20 พลังงานจำเพาะ (specific energy, W/R)

อินทิกรัลเวลาของกระแสฟ้าผ่ายกกำลังสองตลอดช่วงเวลาวาบฟ้าผ่า

หมายเหตุ คำนวณพลังงานกระจายสูญเสียโดยกระแสฟ้าผ่าในความต้านทานหนึ่งหน่วย

3.21 พลังงานจำเพาะของกระแสช่วงจังหวะสั้น (specific energy of short stroke current)

อินทิกรัลเวลาของกระแสฟ้าผ่ายกกำลังสองตลอดช่วงเวลาของกระแสช่วงจังหวะสั้น

หมายเหตุ พลังงานจำเพาะในกระแสช่วงจังหวะยาวไม่ต้องนำมาพิจารณา

3.22 วัตถุที่ต้องป้องกัน (object to be protected)

โครงสร้างที่ต้องป้องกันหรือสิ่งบริการที่ต้องป้องกัน

3.23 โครงสร้างที่ต้องป้องกัน (structure to be protected)

โครงสร้างซึ่งกำหนดให้ต้องมีการป้องกันผลกระทบของฟ้าผ่าตามมาตรฐานนี้

หมายเหตุ โครงสร้างที่ต้องป้องกันอาจเป็นส่วนหนึ่งของโครงสร้างขนาดใหญ่กว่า

3.24 สิ่งบริการที่ต้องป้องกัน (service to be protected)

สิ่งบริการซึ่งต่อถึงโครงสร้างซึ่งกำหนดให้ต้องมีการป้องกันผลกระทบของฟ้าผ่าตามมาตรฐานนี้

3.25 วาบฟ้าผ่าถึงวัตถุ (lightning flash to an object)

วาบฟ้าผ่าซึ่งผ่าวัตถุที่ต้องป้องกัน

3.26 วาบฟ้าผ่าใกล้วัตถุ (lightning flash near an object)

วาบฟ้าผ่าซึ่งผ่าใกล้วัตถุที่ต้องป้องกันซึ่งอาจทำให้เกิดแรงดันเกินอันตราย

3.27 ระบบไฟฟ้า (electrical system)

ระบบซึ่งรวมส่วนประกอบจ่ายไฟฟ้ากำลังแรงต่ำเข้าไว้

3.28 ระบบอิเล็กทรอนิกส์ (electronic system)

ระบบซึ่งรวมส่วนประกอบอิเล็กทรอนิกส์ไวต่อความเสียหายเข้าไว้ เช่น บริภัณฑ์สื่อสาร คอมพิวเตอร์ ระบบวัดคุม ระบบวิทยุ และสิ่งติดตั้งอิเล็กทรอนิกส์กำลัง เป็นต้น

3.29 ระบบภายใน (internal system)

ระบบไฟฟ้าและระบบอิเล็กทรอนิกส์ภายในโครงสร้าง

3.30 ความเสียหายทางกายภาพ (physical damage)

ความเสียหายแก่โครงสร้าง (หรือแก่สิ่งอยู่ภายในโครงสร้าง) หรือแก่สิ่งบริการ เนื่องจากผลกระทบของ ไฟผ่า ทางกล ทางความร้อน ทางเคมี และการระเบิด

3.31 การบาดเจ็บของสิ่งมีชีวิต (injury of living beings)

การบาดเจ็บ รวมทั้งความสูญเสียชีวิตคนหรือสัตว์ เนื่องจากแรงดันแตะและแรงดันก้าวซึ่งเกิดจากไฟผ่า

3.32 ความล้มเหลวของระบบภายใน (failure of internal system)

ความเสียหายถาวรของระบบภายในเนื่องจาก LEMP

3.33 อิมพัลส์แม่เหล็กไฟฟ้าไฟผ่า (lightning electromagnetic impulse: LEMP)

ผลกระทบแม่เหล็กไฟฟ้าของกระแสไฟผ่า

หมายเหตุ ให้หมายความรวมถึงเสร็จซึ่งถูกนำมา (conducted) และทั้งผลกระทบสนามแม่เหล็กไฟฟ้าอิมพัลส์แผ่รังสี (radiated) ด้วย

3.34 เสิร์จ (surge)

คลื่นชั่วครู่ (transient wave) ซึ่งปรากฏเป็นแรงดันเกินและ/หรือกระแสเกินที่เกิดจาก LEMP

หมายเหตุ เสิร์จที่เกิดจาก LEMP สามารถเกิดขึ้นจากกระแสไฟผ่า (บางส่วน), จากผลกระทบการเหนี่ยวนำในวงรอบ สิ่งติดตั้ง และเหลือเป็นภัยคุกคามปลายทาง (remaining threat downstream) ของ SPD

3.35 เขตการป้องกันไฟผ่า (lightning protection zone: LPZ)

เขตซึ่งถูกนิยามเป็นสภาพแวดล้อมแม่เหล็กไฟฟ้าไฟผ่า

หมายเหตุ เส้นแบ่งเขตของ LPZ ไม่จำเป็นต้องเป็นเส้นแบ่งเขตทางกายภาพ เช่น ผนัง พื้น และ เพดาน เป็นต้น

3.36 ความเสี่ยง (risk, R)

ค่าของความสูญเสีย (มนุษย์และสินค้า) โดยเฉลี่ยเป็นรายปีที่น่าจะเป็นเนื่องจากฟ้าผ่า สัมพันธ์กับค่า (มนุษย์และสินค้า) โดยรวมของวัตถุที่ต้องป้องกัน

3.37 ความเสี่ยงคลาดเคลื่อนได้ (tolerable risk, R_T)

ค่าสูงสุดของความเสียหายที่สามารถคลาดเคลื่อนสำหรับวัตถุที่ต้องป้องกัน

3.38 ระดับการป้องกันฟ้าผ่า (lightning protection level: LPL)

ตัวเลขซึ่งสัมพันธ์กับชุดของพารามิเตอร์กระแสฟ้าผ่าที่สัมพันธ์กับความน่าจะเป็นซึ่งค่าออกแบบสูงสุดร่วมกับค่าออกแบบต่ำสุดจะไม่เกินค่าฟ้าผ่าที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ

หมายเหตุ ใช้ระดับการป้องกันฟ้าผ่าออกแบบมาตรการการป้องกัน ตามชุดสัมพันธ์ของพารามิเตอร์กระแสฟ้าผ่า

3.39 มาตรการการป้องกัน (protection measure)

มาตรการซึ่งนำมาปรับใช้เพื่อลดความเสี่ยงในวัตถุที่ต้องป้องกัน

3.40 ระบบการป้องกันฟ้าผ่า (lightning protection system: LPS)

ระบบสมบูรณ์ซึ่งใช้เพื่อลดความเสียหายทางกายภาพเนื่องจากวาบฟ้าผ่าถึงโครงสร้าง

หมายเหตุ ระบบการป้องกันฟ้าผ่าประกอบด้วยทั้งระบบการป้องกันฟ้าผ่าภายนอกและระบบการป้องกันฟ้าผ่าภายใน

3.41 ระบบการป้องกันฟ้าผ่าภายนอก (external lightning protection system)

ส่วนของ LPS ซึ่งประกอบด้วยระบบปลายทางอากาศ ระบบตัวนำลง และระบบปลายทางดิน

3.42 ระบบการป้องกันฟ้าผ่าภายใน (internal lightning protection system)

ส่วนของ LPS ซึ่งประกอบด้วยส่วนต่อประสานให้ศักย์เท่ากันฟ้าผ่าและ/หรือฉนวนทางไฟฟ้าของ LPS ภายนอก

3.43 ระบบปลายทางอากาศ (air-termination system)

ส่วนของ LPS ภายนอกซึ่งใช้ส่วนย่อยโลหะ (metallic element) เช่น แท่งกลมโลหะ ตัวนำดาบ หรือเส้นลวดแข็ง เป็นต้น ซึ่งมีเจตนาไว้สกัดกั้น (intercept) วาบฟ้าผ่า

3.44 ระบบตัวนำลง (down-conductor system)

ส่วนของ LPS ภายนอกซึ่งมีเจตนาำกระแสฟ้าผ่าจากระบบปลายทางอากาศถึงระบบปลายทางดิน

3.45 ระบบปลายทางดิน (earth-termination system)

ส่วนของ LPS ภายนอกซึ่งมีเจตนาำและกระจายกระแสฟ้าผ่าเข้าในดิน

3.46 ส่วนนำกระแสภายนอก (external conductive part)

ชิ้นส่วนโลหะ (metal item) ซึ่งขยายออกเข้าข้างในหรือออกข้างนอกของโครงสร้างที่ต้องป้องกัน เช่น โครงท่อ, ส่วนย่อยเคเบิลโลหะ, ท่อโลหะ, เป็นต้น ซึ่งอาจนำพากระแสไฟฟ้าส่วนหนึ่ง

3.47 ส่วนต่อประสานให้ศักย์เท่ากันฟ้าผ่า (lightning equipotential bonding)

ส่วนต่อประสานถึง LPS ของส่วนโลหะที่แยกกัน โดยสิ่งื่อนำกระแส (conductive connections) โดยตรงหรือโดยผ่านอุปกรณ์ป้องกันเล็ร็จ เพื่อลดความต่างศักย์ซึ่งเกิดจากกระแสฟ้าผ่า

3.48 ลวดกำบัง (shielding wire)

ลวดโลหะซึ่งใช้เพื่อลดความเสียหายทางกายภาพเนื่องจากวไฟฟ้าถึงสิ่งบริการ

3.49 ระบบมาตรการการป้องกัน LEMP (LEMP protection measure system, LPMS)

ระบบสมบูรณ์ของมาตรการการป้องกันสำหรับระบบภายในต่อ LEMP

3.50 กำบังแม่เหล็ก (magnetic shield)

สิ่งบัง (screen) ต่อเนื่องหรือคล้ายตาข่ายซึ่งเป็นโลหะปิดหุ้มวัตถุที่ต้องป้องกันทั้งหมด หรือ ส่วนของสิ่งบังดังกล่าว ที่ใช้ลดความล้มเหลวของระบบภายใน

3.51 อุปกรณ์ป้องกันเล็ร็จ (surge protective device, SPD)

อุปกรณ์ซึ่งมีเจตนาจำกัดแรงดันเกินชั่วครู่และเบี่ยงเบนกระแสเล็ร็จ ซึ่งประกอบด้วยส่วนประกอบไม่เป็นเชิงเส้นอย่างน้อย 1 ส่วน

3.52 การป้องกัน SPD ประสาน (coordinated SPD protection)

ชุด SPD ซึ่งได้เลือก ประสาน และติดตั้งอย่างถูกต้อง เพื่อลดความล้มเหลวของระบบภายใน

3.53 แรงดันทนอิมพัลส์ที่กำหนด (rated impulse withstand voltage, U_w)

แรงดันทนอิมพัลส์ซึ่งผู้ทำกำหนดสำหรับบริภัณฑ์หรือส่วนของบริภัณฑ์ เพื่อแยกวิสัยสามารถความทนที่ระบุไว้ของฉนวนของบริภัณฑ์นั้นต่อแรงดันเกิน เป็นการเฉพาะ

หมายเหตุ วัตถุประสงค์ของมาตรฐานนี้ พิจารณาเฉพาะแรงดันทนระหว่างตัวนำมีไฟฟ้า (live conductor) กับดินเท่านั้น (IEC 60664-1: 2002)

3.54 อิมพีแดนซ์ดินธรรมดา (conventional earthing impedance)

อัตราส่วนระหว่างค่าฟีกของแรงดันปลายทางดิน กับ ค่าฟีกของกระแสปลายทางดิน ซึ่งโดยทั่วไปไม่เกิดขึ้นพร้อมกัน

4. พารามิเตอร์กระแสไฟฟ้า

พารามิเตอร์กระแสไฟฟ้าซึ่งใช้ในอนุกรมมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้ มีกำหนดให้ไว้ในภาคผนวก ก.

ฟังก์ชันเวลาของกระแสไฟฟ้าที่ต้องใช้เพื่อการวิเคราะห์ มีกำหนดให้ไว้ในภาคผนวก ข.

ข้อแนะนำสำหรับการจำลองของกระแสไฟฟ้าเพื่อการทดสอบ มีกำหนดให้ไว้ในภาคผนวก ค.

พารามิเตอร์พื้นฐานที่ต้องใช้ในห้องปฏิบัติการเพื่อจำลองผลกระทบของฟ้าผ่าต่อส่วนประกอบ LPS มีกำหนดให้ไว้ในภาคผนวก ง.

ข้อแนะนำเกี่ยวกับเสริมเนื่องจากฟ้าผ่าที่จุดติดตั้งต่างกัน มีกำหนดให้ไว้ในภาคผนวก จ.

5. ความเสียหายเนื่องจากฟ้าผ่า

5.1 ความเสียหายแก่โครงสร้าง

ฟ้าผ่าเป็นผลร้ายต่อโครงสร้างสามารถทำให้เกิดความเสียหายแก่โครงสร้างเอง และแก่ผู้ครอบครองและสิ่งอยู่ภายในโครงสร้าง รวมทั้งความล้มเหลวของระบบภายใน ความเสียหายและความล้มเหลวอาจยังขยายถึงสิ่งอยู่โดยรอบของโครงสร้างและแม้ยังก่อให้เกิดผลร้ายแก่สภาพแวดล้อมบริเวณนั้น สัดส่วน (scale) ของการขยายความเสียหายขึ้นอยู่กับลักษณะเฉพาะของโครงสร้างและลักษณะเฉพาะของวาบฟ้าผ่า

5.1.1 ผลกระทบของฟ้าผ่าต่อโครงสร้าง

ลักษณะเฉพาะอันเป็นสาระสำคัญของโครงสร้างเกี่ยวเนื่องกับผลกระทบฟ้าผ่าให้รวมทั้ง

- สิ่งสร้าง (เช่น สิ่งสร้างที่ทำด้วยไม้ อิฐ คอนกรีต คอนกรีตเสริมเหล็ก หรือโครงเหล็ก เป็นต้น)
- สิ่งใช้ประโยชน์ (บ้านอยู่อาศัย สำนักงาน ฟาร์ม โรงมหรสพ โรงแรม โรงเรียน โรงพยาบาล พิพิธภัณฑ์ โบสถ์ เรือนจำ ห้างสรรพสินค้า ธนาคาร โรงงาน โรงงานอุตสาหกรรม พื้นที่เล่นกีฬา)
- ผู้อยู่อาศัยและสิ่งอยู่ภายใน (คนและสัตว์ การมีวัตถุติดไฟหรือวัตถุไม่ติดไฟ วัตถุระเบิดหรือวัตถุไม่ระเบิด ระบบภายในที่มีแรงดันทอนิมพัลส์ต่ำหรือแรงดันทอนิมพัลส์สูง)
- สิ่งบริการซึ่งต่ออยู่ (สายไฟฟ้ากำลัง, สายไฟฟ้าสื่อสาร, เส้นท่อ)
- มาตรการการป้องกันที่จัดให้มีอยู่ (เช่น มาตรการการป้องกันเพื่อลดความเสียหายทางกายภาพและความเสี่ยงอันตรายต่อชีวิต, มาตรการการป้องกันเพื่อลดความล้มเหลวของระบบภายใน เป็นต้น)
- สัดส่วนของการขยายอันตราย (โครงสร้างมีความยากต่อการอพยพผู้คน หรือ โครงสร้างที่อาจก่อความตื่นตระหนก, โครงสร้างอันตรายแก่สิ่งอยู่โดยรอบ, โครงสร้างอันตรายแก่สภาพแวดล้อม)

ตารางที่ 1 รายงานผลกระทบของฟ้าผ่าตามต้นแบบต่าง ๆ ของโครงสร้าง

ตารางที่ 1 ผลกระทบของไฟฟ้าต่อโครงสร้างต้นแบบ

(ข้อ 5.1.1)

ต้นแบบของโครงสร้างตาม สิ่งใช้ประโยชน์และ/หรือสิ่งอยู่ ภายใน	ผลกระทบของไฟฟ้า
บ้านอยู่อาศัย	- การเจาะทะลุของสิ่งติดตั้งทางไฟฟ้า อัดคัท และ ความเสียหายวัสดุ - ความเสียหายซึ่งตามปกติจำกัดที่วัตถุซึ่งเปิดโล่งต่อจุดไฟฟ้าหรือต่อเส้นทางกระแสไฟฟ้า - ความล้มเหลวของบริภัณฑ์ไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์ และระบบที่ติดตั้ง (เช่น เครื่องรับโทรทัศน์ คอมพิวเตอร์ โมเด็ม โทรศัพท์ เป็นต้น)
อาคารฟาร์ม	- ความเสี่ยงขั้นแรกด้านอัคคีภัยและแรงดันก๊วเสี่ยงอันตราย ทั้งความเสียหายวัสดุอีกด้วย - ความเสี่ยงรองเนื่องจากความสูญเสียกำลังไฟฟ้า, และความเสี่ยงอันตรายต่อชีวิตปศุสัตว์เนื่องจากความล้มเหลวของการควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ของระบบระบายอากาศและระบบการจ่ายอาหาร และอื่น ๆ
โรงแรม โรงเรียน ห้างสรรพสินค้า พื้นที่เล่นกีฬา	- ความเสียหายแก่สิ่งติดตั้งทางไฟฟ้า (เช่น ไฟฟ้าส่องสว่าง เป็นต้น) มักก่อความตื่นตระหนก - ความล้มเหลวของสัญญาณแจ้งเหตุเพลิงไหม้อันเป็นผลให้มาตรการผจญเพลิงล่าช้า
ธนาคาร บริษัทประกันภัย บริษัทธุรกิจ เป็นต้น	เช่นเดียวกับข้างต้น เพิ่มปัญหาอันเป็นผลมาจากความสูญเสียการสื่อสาร ความล้มเหลวของคอมพิวเตอร์ และความสูญเสียข้อมูล
โรงพยาบาล สถานพยาบาล เรือนจำ	เช่นเดียวกับข้างต้น เพิ่มปัญหาของผู้ป่วยในภายใต้การอภิบาลอย่างใกล้ชิด (intensive care) และยากต่อการช่วยชีวิตคนไข้เผือกหรือคนเคลื่อนไหวไม่ได้
สถานประกอบการอุตสาหกรรม	ผลกระทบเพิ่มเติมซึ่งขึ้นอยู่กับสิ่งอยู่ภายในโรงงาน ตั้งแต่ความเสียหายเล็กน้อยจนถึงขั้นยอมรับไม่ได้และความสูญเสียการผลิต
พิพิธภัณฑ์และ แหล่งโบราณสถาน โบสถ์	ความสูญเสียมรดกทางวัฒนธรรมซึ่งไม่อาจทดแทนได้
ศูนย์โทรคมนาคม โรงไฟฟ้า	ความสูญเสียด้านสิ่งบริการแก่สาธารณะซึ่งยอมรับไม่ได้
โรงงานดอกไม้ไฟ โรงงานยุทธโธปกรณ์	ผลต่อเนื่องจากไฟและการระเบิดแก่โรงงานและสิ่งอยู่โดยรอบโรงงาน
โรงงานเคมี โรงกลั่น โรงงานนิวเคลียร์ โรงงานและห้องปฏิบัติการชีวเคมี	ไฟและการทำน้ำที่ผิดของโรงงานด้วยความทรุดโทรมต่อเนื่อง (detrimental consequence) แก่สภาพแวดล้อมเฉพาะถิ่นและเป็นวงกว้าง

5.1.2 ต้นกำเนิดและต้นแบบของความเสียหายแก่โครงสร้าง

กระแสไฟฟ้าเป็นต้นกำเนิดของความเสียหาย ให้คำนึงถึงสถานการณ์ดังต่อไปนี้ซึ่งขึ้นอยู่กับตำแหน่งของจุดไฟฟ้าสัมผัสกับโครงสร้างที่พิจารณา

- S1: วาบถึงโครงสร้าง
- S2: วาบใกล้โครงสร้าง
- S3: วาบถึงสิ่งบริการซึ่งต่อถึงโครงสร้าง
- S4: วาบใกล้สิ่งบริการซึ่งต่อถึงโครงสร้าง

วาบถึงโครงสร้างสามารถทำให้เกิด

- ความเสียหายทางกลโดยตรง, ไฟและ/หรือการระเบิดเนื่องจากอาร์กพลาสมาไฟฟ้าร้อนในตัวเอง, เนื่องจากกระแสไฟฟ้าทำให้เกิดความร้อนโอห์มของตัวนำ (ตัวนำร้อนเกิน), หรือเนื่องจากประจุทำให้เกิดการกร่อนอาร์ก (โลหะหลอมเหลว)
- ไฟและ/หรือการระเบิด จุดขึ้นโดยประกายไฟเนื่องจากแรงดันเกินอันเป็นผลมาจากการควบคุมความเหนี่ยวนำและความต้านทาน และเพื่อการผ่านของกระแสไฟฟ้าส่วนหนึ่ง
- การบาดเจ็บแก่ประชาชน เนื่องจากแรงดันแตะและแรงดันก้าวอันเป็นผลมาจากการควบคุมความเหนี่ยวนำและความต้านทาน
- ความล้มเหลวระบบภายในหรือการทำหน้าที่ผิดของระบบภายใน เนื่องจาก LEMP

วาบใกล้โครงสร้างสามารถทำให้เกิด

- ความล้มเหลวระบบภายในหรือการทำหน้าที่ผิดของระบบภายใน เนื่องจาก LEMP

วาบถึงสิ่งบริการซึ่งต่อถึงโครงสร้างสามารถทำให้เกิด

- ไฟและ/หรือการระเบิด จุดขึ้นโดยประกายไฟเนื่องจากแรงดันเกินและกระแสไฟฟ้าที่ส่งผ่านสิ่งบริการซึ่งต่ออยู่
- การบาดเจ็บแก่ประชาชน เนื่องจากแรงดันแตะภายในโครงสร้างอันเป็นผลมาจากกระแสไฟฟ้าที่ส่งผ่านสิ่งบริการซึ่งต่ออยู่
- ความล้มเหลวระบบภายในหรือการทำหน้าที่ผิดของระบบภายใน เนื่องจากแรงดันเกินที่ปรากฏแก่สายไฟฟ้าซึ่งต่ออยู่และที่ส่งผ่านถึงโครงสร้าง

วาบใกล้สิ่งบริการซึ่งต่อถึงโครงสร้างสามารถทำให้เกิด

- ความล้มเหลวระบบภายในหรือการทำหน้าที่ผิดของระบบภายใน เนื่องจากแรงดันเกินที่เหนี่ยวนำบนสายไฟฟ้าซึ่งต่ออยู่และที่ส่งผ่านถึงโครงสร้าง

หมายเหตุ 1. การทำหน้าที่ผิดของระบบภายในไม่ครอบคลุมโดยอนุกรม IEC 62305 อ้างอิงถึง IEC 61000-4-5

หมายเหตุ 2. เฉพาะประกายไฟซึ่งนำพากระแสฟ้าผ่า (ทั้งหมดหรือบางส่วน) เท่านั้นที่สามารถทำให้จุดไฟได้

หมายเหตุ 3. วาบฟ้าผ่าโดยตรงถึงหรือใกล้เส้นท่อน้ำเข้า ไม่ทำให้เกิดความเสียหายแก่โครงสร้าง ถ้าเส้นท่อน้ำเข้าถูกต่อประสานถึงตัวนำแท่งศักย์เท่ากัน (equipotential bar) ของโครงสร้างนั้น (ดู IEC 62305-3)

โดยสรุป ฟ้าผ่าสามารถทำให้เกิดความเสียหายพื้นฐานได้ 3 ดันแบบ ดังนี้

- D1: การบาดเจ็บของสิ่งมีชีวิต เนื่องจากแรงดันแตะและแรงดันก้าว
- D2: ความเสียหายทางกายภาพ (เช่น ไฟ การระเบิด การทำลายทางกล การปล่อยสารเคมี เป็นต้น) เนื่องจากผลกระทบทางความร้อนของกระแสฟ้าผ่า รวมทั้งการเกิดประกายไฟ
- D3: ความล้มเหลวของระบบภายในเนื่องจาก LEMP

5.2 ความเสียหายแก่สิ่งบริการ

ฟ้าผ่าซึ่งเป็นผลร้ายแก่สิ่งบริการสามารถทำให้เกิดความเสียหายแก่ตัวกลางทางกายภาพเอง (สายไฟฟ้าหรือท่อ) ซึ่งใช้เป็นสิ่งบริการ และทั้งบริษัทไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์ซึ่งต่ออยู่ด้วย

หมายเหตุ สิ่งบริการที่ต้องพิจารณา คือ สิ่งต่อทางกายภาพระหว่าง

- สำหรับสายไฟฟ้าสื่อสาร (TLC): อาคารชุมสายโทรคมนาคม กับ อาคารของผู้ให้บริการ 1 หลัง หรือ อาคารชุมสายโทรคมนาคม 2 หลัง หรือ อาคารของผู้ให้บริการ 2 หลัง
- สำหรับสายไฟฟ้าสื่อสาร (TLC): อาคารชุมสายโทรคมนาคมหรืออาคารของผู้ให้บริการ กับ สถานีเชื่อมต่อ 1 สถานี หรือ สถานีเชื่อมต่อ 2 สถานี
- สำหรับสายไฟฟ้ากำลัง: สถานีไฟฟ้าแรงสูง กับ อาคารของผู้ให้บริการ
- สำหรับท่อ: สถานีจ่ายไฟฟ้าประธาน กับ อาคารของผู้ให้บริการ

สัดส่วนของการขยายความเสียหายนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะเฉพาะของสิ่งบริการ, กับต้นแบบและการขยายของระบบภายใน และกับลักษณะเฉพาะของวาบฟ้าผ่า

5.2.1 ผลกระทบของฟ้าผ่าต่อสิ่งบริการ

ลักษณะเฉพาะอันเป็นสาระสำคัญของสิ่งบริการเกี่ยวเนื่องกับผลกระทบของฟ้าผ่าให้รวมทั้ง

- สิ่งสร้าง (สายไฟฟ้า: เหนือศีรษะ, ใต้ดิน, มีสิ่งบัง, ไม่มีสิ่งบัง, เส้นใยนำแสง; ท่อ: เหนือดิน, ฝัง, เป็นโลหะ, เป็นพลาสติก)
- สิ่งใช้ประโยชน์ (สายไฟฟ้าสื่อสาร, สายไฟฟ้ากำลัง, เส้นท่อ)

- โครงสร้างซึ่งรับการจ่าย (สิ่งสร้าง, สิ่งอยู่ภายใน, มิติ, ตำแหน่ง)
- มาตรการการป้องกันที่จัดให้มีอยู่ (เช่น ลวดกำบัง, SPD, ทางซ้ำสำรอง, ระบบเก็บของไหล, ชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า, ระบบกำลังไฟฟ้าต่อเนื่อง (UPS) เป็นต้น)

ตารางที่ 2 รายงานผลกระทบของฟ้าผ่าตามต้นแบบต่าง ๆ ของสิ่งบริการ

ตารางที่ 2 ผลกระทบของฟ้าผ่าต่อสิ่งบริการต้นแบบ
(ข้อ 5.2.1)

ต้นแบบของสิ่งบริการ	ผลกระทบของฟ้าผ่า
สายไฟฟ้าสื่อสาร	- ความเสียหายทางกลแก่สายไฟฟ้าสื่อสาร, การหลอมเหลวของสิ่งบังและตัวนำ, การเสียสภาพฉนวนของฉนวนของเคเบิลและบริภัณฑ์ นำสู่ความล้มเหลวด้วยความสูญเสียของสิ่งบริการทันที เป็นขั้นแรก - ความล้มเหลวด้านเคเบิลใยนำแสงด้วยความเสียหายของเคเบิลเส้นใยนำแสง แต่ไม่มีความสูญเสียของสิ่งบริการ เป็นขั้นรอง
สายไฟฟ้ากำลัง	ความเสียหายแก่ลูกถ้วยไฟฟ้าของสายไฟฟ้าเหนือศีรษะแรงต่ำ, การเจาะทะลุของฉนวนของสายเคเบิลไฟฟ้า, การเสียสภาพฉนวนของฉนวนของบริภัณฑ์สายไฟฟ้าและของหม้อแปลงไฟฟ้า, ด้วยความสูญเสียต่อเนื่องของสิ่งบริการ
ท่อน้ำ	ความเสียหายแก่บริภัณฑ์ควบคุมไฟฟ้าและบริภัณฑ์ควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งมักจะทำให้เกิดความสูญเสียของสิ่งบริการ
ท่อก๊าซ ท่อน้ำมัน	- การเจาะทะลุของปะเก็นหน้าแปลนโลหะ ซึ่งมักจะทำให้เกิดไฟและ/หรือการระเบิด - ความเสียหายแก่บริภัณฑ์ควบคุมไฟฟ้าและบริภัณฑ์ควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งมักจะทำให้เกิดความสูญเสียของสิ่งบริการ

5.2.2 ต้นกำเนิดและต้นแบบของความเสียหายแก่สิ่งบริการ

กระแสฟ้าผ่าเป็นต้นกำเนิดของความเสียหาย ให้คำนึงถึงสถานการณ์ดังต่อไปนี้ซึ่งขึ้นอยู่กับตำแหน่งของจุดฟ้าผ่าสัมพันธ์กับโครงสร้างที่พิจารณา

- S1: วาดถึงโครงสร้างซึ่งรับการจ่าย
- S3: วาดถึงสิ่งบริการซึ่งต่อถึงโครงสร้าง
- S4: วาดถึงสิ่งบริการซึ่งต่อถึงโครงสร้าง

วาดถึงโครงสร้างซึ่งรับการจ่ายสามารถทำให้เกิด

- การหลอมเหลวของลวดโลหะและของสิ่งบังเคเบิล เนื่องจากกระแสฟ้าผ่าบางส่วนไหลเข้าไปในสิ่งบริการ (อันเป็นผลมาจากการเกิดความร้อนความต้านทาน)

- การเสียดสีภาพฉนวนของฉนวนของสายไฟฟ้าและของบริภัณฑ์ซึ่งต่ออยู่ เนื่องจากการกู่ควบคุมความต้านทาน
- การเจาะทะลุของปะเก็นโลหะในหน้าแปลนของท่อ และทั้งปะเก็นในข้อต่อฉนวน (insulating joint) ด้วย

หมายเหตุ 1. เคเบิลเส้นใยนำแสงไม่มีตัวนำโลหะ ไม่รับผลร้ายจากภาวะฟ้าผ่าโครงสร้างซึ่งรับการจ่าย

วาทถึงสิ่งบริการซึ่งต่อถึงโครงสร้างสามารถทำให้เกิด

- ความเสียหายทางกลโดยตรงของลวดโลหะหรือท่อโลหะ เนื่องจากความเค้นพลศาสตร์ไฟฟ้าหรือผลกระทบทางความร้อนซึ่งเกิดจากกระแสไฟฟ้า (การขาดและ/หรือการหลอมเหลวของลวดโลหะ สิ่งบังโลหะ หรือท่อโลหะ) และเนื่องจากความร้อนของอาร์กพลาสมาฟ้าผ่าตัวเอง (การเจาะทะลุของฝาครอบป้องกันพลาสติก)
- ความเสียหายทางไฟฟ้าโดยตรงของสายไฟฟ้า (การเสียดสีภาพฉนวนของฉนวน) และของบริภัณฑ์ซึ่งต่ออยู่
- การเจาะทะลุของท่อโลหะบางเหนือศีรษะและของปะเก็นโลหะในหน้าแปลน ตรงที่ผลต่อเนื่องอาจขยายเป็นไฟและการระเบิดซึ่งขึ้นอยู่กัธรรมชาติของของไหลพาไป

วาทใกล้สิ่งบริการซึ่งต่อถึงโครงสร้างสามารถทำให้เกิด

- การเสียดสีภาพฉนวนของฉนวนของสายไฟฟ้าและของบริภัณฑ์ซึ่งต่ออยู่ เนื่องจากการกู่ควบคุมความเหนียว (แรงดันเกินเหนียว)

หมายเหตุ 2. เคเบิลเส้นใยนำแสงไม่มีตัวนำโลหะ ไม่รับผลร้ายจากภาวะฟ้าผ่าผาดิน

โดยสรุป ฟ้าผ่าสามารถทำให้เกิดความเสียหายพื้นฐาน 2 รูปแบบ ดังนี้

- D2: ความเสียหายทางกายภาพ (เช่น ไฟ การระเบิด การทำลายทางกล การปล่อยสารเคมี เป็นต้น) เนื่องจากผลกระทบทางความร้อนของกระแสไฟฟ้า
- D3: ความล้มเหลวของระบบภายในเนื่องจาก LEMP

5.3 รูปแบบของความสูญเสีย

ความเสียหายเพียงต้นแบบเดียวหรือร่วมเป็นชุดกับความเสียหายอื่น ๆ อาจก่อให้เกิดความสูญเสียต่อเนื่องต่างกันในวัตถุที่ต้องป้องกัน ต้นแบบของความสูญเสียซึ่งอาจเกิดขึ้นขึ้นอยู่กัลักษณะเฉพาะของวัตถุที่ต้องป้องกันนั่นเอง

มาตรฐานนี้มีวัตถุประสงค์พิจารณาต้นแบบของความสูญเสีย ดังนี้

- L1: ความสูญเสียของชีวิตมนุษย์

- L2: ความสูญเสียของสิ่งบริการแก่สาธารณะ
- L3: ความสูญเสียของมรดกทางวัฒนธรรม
- L4: ความสูญเสียของค่าทางเศรษฐกิจ (โครงสร้างและสิ่งอยู่ภายในโครงสร้าง, สิ่งบริการและความสูญเสียของงานบริการ)

ความสูญเสียต้นแบบ L1, L2, และ L3 อาจพิจารณาเป็นความสูญเสียของค่าทางสังคม ส่วนความสูญเสียต้นแบบ L4 อาจพิจารณาเป็นความสูญเสียทางเศรษฐกิจแท้ ๆ

ความสูญเสียที่อาจปรากฏในโครงสร้าง ได้แก่

- L1: ความสูญเสียของชีวิตมนุษย์
- L2: ความสูญเสียของสิ่งบริการแก่สาธารณะ
- L3: ความสูญเสียของมรดกทางวัฒนธรรม
- L4: ความสูญเสียของค่าทางเศรษฐกิจ (โครงสร้างและสิ่งอยู่ภายในโครงสร้าง)

ความสูญเสียที่อาจปรากฏในสิ่งบริการ ได้แก่

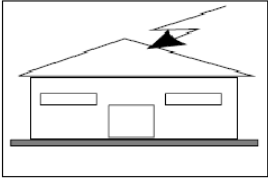
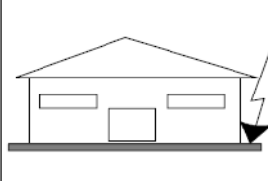
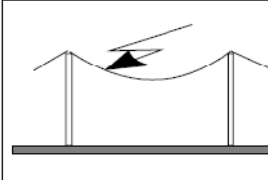
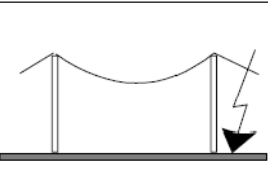
- L2: ความสูญเสียของสิ่งบริการแก่สาธารณะ
- L4: ความสูญเสียของค่าทางเศรษฐกิจ (สิ่งบริการและความสูญเสียของงานบริการ)

หมายเหตุ ความสูญเสียของชีวิตมนุษย์ในสิ่งบริการ ไม่มีการพิจารณาในมาตรฐานนี้

ตารางที่ 3 รายงานความสัมพันธ์ระหว่างต้นกำเนิดของความเสียหาย ต้นแบบของความเสียหาย และต้นแบบของความสูญเสีย, สำหรับโครงสร้าง

ตารางที่ 4 รายงานความสัมพันธ์ระหว่างต้นกำเนิดของความเสียหาย ต้นแบบของความเสียหาย และต้นแบบของความสูญเสีย, สำหรับสิ่งบริการ

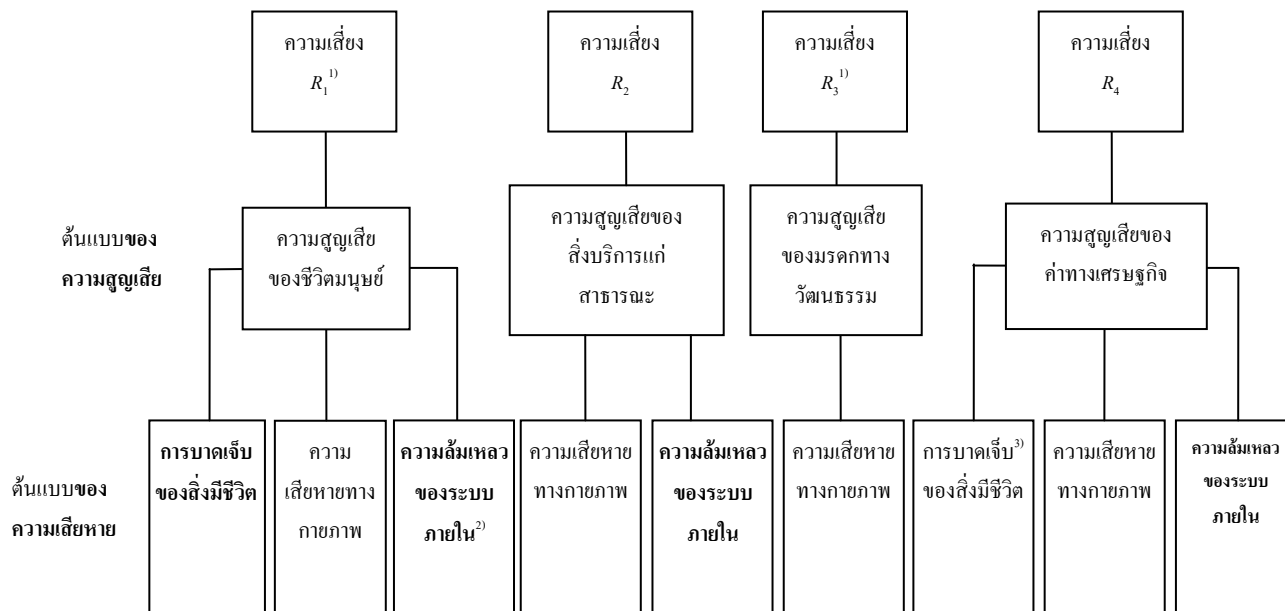
ตารางที่ 3 ความเสียหายและความสูญเสียในโครงสร้างตามจุดฟ้าผ่า
(ข้อ 5.3)

จุดฟ้าผ่า	ภาพแสดงจุดฟ้าผ่า	ต้นกำเนิดของ ความเสียหาย	ต้นแบบของ ความเสียหาย	ต้นแบบของ ความสูญเสีย
โครงสร้าง		S1	D1 D2 D3	L1, L4** L1, L2, L3, L4 L1*, L2, L4
ใกล้โครงสร้าง		S2	D3	L1*, L2, L4
สิ่งบริการซึ่งต่อถึง โครงสร้าง		S3	D1 D2 D3	L1, L4** L1, L2, L3, L4 L1*, L2, L4
ใกล้สิ่งบริการ		S4	D3	L1*, L2, L4
* เฉพาะโครงสร้างมีความเสี่ยงด้านการระเบิด และเฉพาะโรงพยาบาลหรือโครงสร้างอื่น ๆ ตรงที่ความล้มเหลวของระบบภายในเป็นอันตรายต่อชีวิตมนุษย์โดยตรง ** เฉพาะทรัพย์สินตรงที่อาจมีความสูญเสียเกี่ยวกับสัตว์				

ตารางที่ 4 ความเสียหายและความสูญเสียในสิ่งบริการตามจุดฟ้าผ่า
(ข้อ 5.3 และตารางที่ 7)

จุดฟ้าผ่า	ต้นกำเนิดของความสูญเสีย	ต้นแบบของความเสียหาย	ต้นแบบของความสูญเสีย
สิ่งบริการ	S3	D2 D3	L2, L4
ใกล้สิ่งบริการ	S4	D3	
โครงสร้างซึ่งรับการจ่าย	S1	D2 D3	

ต้นแบบของความสูญเสียอันเป็นผลมาจากต้นแบบของความเสียหายและความเสี่ยงสมนัยมีรายงานไว้ในรูปที่ 1



¹⁾ เฉพาะโครงสร้าง

²⁾ เฉพาะโรงพยาบาลหรือโครงสร้างอื่น ๆ ตรงที่ความล้มเหลวของระบบภายในเป็นอันตรายต่อชีวิตมนุษย์โดยตรง

³⁾ เฉพาะทรัพย์สินตรงที่อาจมีความเสี่ยงเกี่ยวกับสัตว์

รูปที่ 1 ต้นแบบของความสูญเสียและความเสี่ยงสมนัยอันเป็นผลมาจากต้นแบบของความเสียหายต่างกัน (ข้อ 5.3)

6. ความจำเป็นและความเหมาะสมทางเศรษฐกิจสำหรับการป้องกันฟ้าผ่า

6.1 ความจำเป็นสำหรับการป้องกันฟ้าผ่า

ต้องการค่าความจำเป็นสำหรับการป้องกันฟ้าผ่าของวัตถุที่ต้องป้องกันเพื่อลดความสูญเสียด้านค่าทางสังคม L1, L2 และ L3

เพื่อหาว่าจำเป็นต้องมีการป้องกันฟ้าผ่าของวัตถุหรือไม่ ให้ประเมินความเสี่ยงตามลำดับขั้นตอนตาม IEC 62305-2 โดยคำนึงถึงความเสี่ยงต่อไปนี้จะสอดคล้องกับต้นแบบของความสูญเสียตามข้อ 5.3

- R_1 : ความเสี่ยงด้านความสูญเสียของชีวิตมนุษย์
- R_2 : ความเสี่ยงด้านความสูญเสียของสิ่งบริการแก่สาธารณะ
- R_3 : ความเสี่ยงด้านความสูญเสียของมรดกทางวัฒนธรรม

จำเป็นต้องป้องกันฟ้าผ่า ถ้าความเสี่ยง R (R_1 ถึง R_3) มีค่าสูงกว่าระดับความเสี่ยงคลาดเคลื่อนได้ R_T

$$R > R_T$$

ในกรณีเช่นนี้ ต้องนำมาตรการการป้องกันฟ้าผ่ามาปรับใช้เพื่อลดความเสี่ยง R (R_1 ถึง R_3) ให้ลงถึงระดับความเสี่ยงคลาดเคลื่อนได้ R_T

$$R \leq R_T$$

ถ้าปรากฏว่าอาจมีความสูญเสียมากกว่า 1 ดันแบบ ในวัตถุที่ต้องป้องกัน ความสูญเสียแต่ละดันแบบ (L1, L2 และ L3) ต้องเป็นที่น่าสนใจตาม $R \leq R_T$

ฟ้าผ่าอาจทำความสูญเสียด้านค่าทางสังคมหลายด้าน จึงสมควรอยู่ในความรับผิดชอบของหน่วยงานระดับชาติที่มีเจ้าหน้าที่ควบคุมค่าของความเสี่ยงคลาดเคลื่อนได้ R_T

หมายเหตุ 1. หน่วยงานระดับชาติที่มีเจ้าหน้าที่ควบคุมตามกฎหมายอาจจะระบุความจำเป็นว่าต้องมีการป้องกันฟ้าผ่าสำหรับการใช้งานจำเพาะอย่างใดไม่กำหนดการประเมินความเสี่ยง กล่าวคือ หน่วยงานระดับชาติที่มีเจ้าหน้าที่ควบคุมตามกฎหมายจะระบุระดับการป้องกันฟ้าผ่าตามข้อกำหนด แต่ในบางกรณีอาจนำการประเมินความเสี่ยงมาใช้เป็นกลวิธีละเว้นข้อกำหนดเหล่านี้

หมายเหตุ 2. ข้อเสนอแนะละเอียดด้านการประเมินความเสี่ยงและด้านลำดับขั้นตอนสำหรับการเลือกมาตรการการป้องกันมีรายงานไว้ใน IEC 62035-2

6.2 ความเหมาะสมทางเศรษฐกิจของการป้องกันฟ้าผ่า

6.2.1 นอกจากความจำเป็นสำหรับการป้องกันฟ้าผ่าสำหรับวัตถุที่ต้องป้องกันแล้ว ยังอาจเป็นประโยชน์เพื่อหาค่าผลประโยชน์ทางเศรษฐกิจของมาตรการการป้องกันที่จัดให้มีเพื่อลดความสูญเสียทางเศรษฐกิจ L4

6.2.2 ในกรณีนี้ สมควรประเมินค่าความเสี่ยงด้านความสูญเสียทางเศรษฐกิจ R_4 การประเมินความเสี่ยง R_4 ย่อมหาค่าต้นทุนของความสูญเสียทางเศรษฐกิจทั้งที่มีและไม่มีมาตรการการป้องกันที่นำมาปรับใช้

6.2.3 การป้องกันฟ้าผ่าเป็นความคุ้มค่าการลงทุน ถ้าผลรวมของต้นทุน C_{RL} ของความสูญเสียตกค้างในการมีมาตรการการป้องกันและต้นทุน C_{PM} ของมาตรการการป้องกันต่ำกว่าต้นทุน C_L ของความสูญเสียโดยรวมที่ไม่มีมาตรการการป้องกัน

$$C_{RL} + C_{PM} < C_L$$

หมายเหตุ ข้อเสนอแนะละเอียดด้านการหาค่าความเหมาะสมทางเศรษฐกิจของการป้องกันฟ้าผ่า มีรายงานไว้ใน IEC 62305-2

7. มาตรการการป้องกัน

อาจรับมาตรการการป้องกันมาปรับใช้เพื่อลดความเสี่ยงตามต้นแบบของความเสียหาย

7.1 มาตรการการป้องกันเพื่อลดการบาดเจ็บของสิ่งมีชีวิตเนื่องจากแรงดันแตะและแรงดันก้าว

มาตรการการป้องกันที่เป็นไปได้ให้รวมทั้ง

- ฉนวนของส่วนนำกระแสเปิดโล่ง (exposed conductive part) เพียงพอ
- การทำให้ศักย์เท่ากัน (equipotentialization) ด้วยระบบดินตาข่าย (meshed earthing system)
- ข้อจำกัดทางกายภาพและประกาศเตือน

หมายเหตุ 1. การทำให้ศักย์เท่ากันไม่มีประสิทธิผลต่อแรงดันแตะ

หมายเหตุ 2. การเพิ่มขึ้นของสภาพความต้านทานพื้นผิว (surface resistivity) ของเนื้อดินภายในและภายนอกโครงสร้าง อาจลดความเสี่ยงอันตรายต่อชีวิต (ดู IEC 62035-3 Clause 8)

7.2 มาตรการการป้องกันเพื่อลดความเสียหายทางกายภาพ

มาตรการการป้องกันที่เป็นไปได้ให้รวมทั้ง

(ก) สำหรับโครงสร้าง

- ระบบการป้องกันฟ้าผ่า (LPS)

หมายเหตุ 1. เมื่อติดตั้ง LPS การทำให้ศักย์เท่ากันเป็นมาตรการสำคัญยิ่งเพื่อลดอัคคีภัยและการระเบิดและความเสี่ยงอันตรายต่อชีวิต ดูรายละเอียดเพิ่มเติมตาม IEC 62035-3

หมายเหตุ 2. สิ่งเตรียม (provision) จำกัดการพัฒนาและการลุกลามของไฟ เช่น ห้องหรือส่วนกันแยกทนไฟ (fire-proof compartment) เครื่องดับเพลิง หัวดับเพลิง สิ่งติดตั้งแจ้งเหตุเพลิงไหม้และดับเพลิง เป็นต้น อาจลดความสูญเสียทางกายภาพ

หมายเหตุ 3. จัดทางหนีป้องกันไว้ป้องกันคน

(ข) สำหรับสิ่งบริการ

- ลวดกำบัง

หมายเหตุ 4. สำหรับเคเบิลฝังดิน กำหนดให้ท่อร้อยสายโลหะ เป็น สิ่งป้องกันประสิทธิผลดีมาก

7.3 มาตรการการป้องกันเพื่อลดความล้มเหลวของระบบภายใน

มาตรการการป้องกันที่เป็นไปได้ให้รวมทั้ง

(ก) สำหรับโครงสร้าง

- ระบบมาตรการการป้องกัน LEMP (LPMS) ต้องใช้มาตรการหนึ่งหรือหลายมาตรการต่อไปนี้
 - มาตรการการต่อประสานและมาตรการการต่อกับดิน
 - การกำบังแม่เหล็ก
 - การจัดทางเดินสายไฟฟ้า
 - “การป้องกัน SPD ประสาน”

(ข) สำหรับสิ่งบริการ

- อุปกรณ์ป้องกันลျี่จ (SPDs) ที่ตำแหน่งต่างกันตลอดทางตามความยาวของสายไฟฟ้าและที่สิ่งต่อปลายสายไฟฟ้า (line termination)
- กำบังแม่เหล็กของเคเบิล

หมายเหตุ 1. สำหรับเคเบิลฝังดิน การจัดให้มีสิ่งบังโลหะต่อเนื่องที่มีความหนาเพียงพอ เป็น สิ่งป้องกันประสิทธิผลดีมาก

หมายเหตุ 2. ทางเข้าสำรอง, บริภัณฑ์เข้าสำรอง, ชุดกำเนิดไฟฟ้ากำลังอิสระ, ระบบกำลังไฟฟ้าต่อเนื่อง (UPS), ระบบเก็บของไหล และระบบตรวจหาความล้มเหลวอัตโนมัติ เป็น มาตรการการป้องกันประสิทธิผลเพื่อลดความสูญเสียการให้บริการของสิ่งบริการ (activity of service)

หมายเหตุ 3. แรงดันทนที่เพิ่มขึ้นของฉนวนของบริภัณฑ์และเคเบิล เป็น มาตรการการป้องกันประสิทธิผลต่อความล้มเหลวเนื่องจากแรงดันเกิน

7.4 การเลือกมาตรการการป้องกัน

ผู้ออกแบบและผู้เป็นเจ้าของต้องเลือกมาตรการการป้องกันให้เหมาะสมที่สุด ตามต้นแบบและปริมาณของแต่ละต้นแบบของความเสียหาย และตามลักษณะทางเทคนิคและลักษณะทางเศรษฐกิจของมาตรการการป้องกันที่ต่างกัน

เกณฑ์สำหรับการประเมินความเสี่ยงและสำหรับการเลือกมาตรการการป้องกันให้เหมาะสมที่สุด มีกำหนดไว้ใน IEC 62035-2

มาตรการการป้องกันเป็นประสิทธิผล ถ้ามาตรการนั้นเป็นไปตามข้อกำหนดตามมาตรฐานเกี่ยวเนื่องและสามารถทนความเค้นซึ่งคาดหมายในสถานที่ติดตั้งมาตรการการป้องกัน ได้

8. เกณฑ์พื้นฐานสำหรับการป้องกันของโครงสร้างและสิ่งบริการ

การป้องกันอุดมคติสำหรับโครงสร้างและสิ่งบริการสมควรต้องห่อหุ้มวัตถุที่ต้องป้องกันไว้ภายในกำบังซึ่งมีความหนาเพียงพอในการนำกระแสต่อเนื้ออย่างสมบูรณ์และต่อกับดิน และโดยการจัดให้มีส่วนต่อประสานเพียงพอของสิ่งบริการซึ่งต่อถึงโครงสร้างเอาไว้ ที่จุดทางเข้าภายในกำบังนั้น

การเช่นนี้จึงสามารถป้องกันการเจาะทะลุของกระแสไฟฟ้าและไม่ให้สนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่สัมพันธ์เข้าไปในวัตถุที่ต้องป้องกัน และป้องกันผลกระทบทางความร้อนอันตรายและผลกระทบพลศาสตร์ไฟฟ้าของกระแสไฟฟ้า และทั้งประกายไฟอันตรายและแรงดันเกินสำหรับระบบภายในด้วย

ในทางปฏิบัติ มักเป็นไปได้หรือไม่คุ้มค่าการลงทุนที่จะจัดให้มีการป้องกันที่เหมาะสมที่สุด (optimum protection)

การขาดความต่อเนื่องของกำบังและ/หรือความหนาไม่เพียงพอของกำบังยอมให้กระแสไฟฟ้าเจาะทะลุกำบัง ทำให้เกิด

- ความเสียหายทางกายภาพและความเสี่ยงอันตรายต่อชีวิต
- ความล้มเหลวของระบบภายใน
- ความล้มเหลวของสิ่งบริการและของระบบซึ่งต่ออยู่

ต้องออกแบบมาตรการการป้องกันเพื่อนำมาปรับใช้ลดความเสียหายและความสูญเสียต่อเนื่องที่เกี่ยวข้อง สำหรับชุดของพารามิเตอร์กระแสไฟฟ้าซึ่งนิยามการป้องกันตามที่กำหนด (ระดับการป้องกันไฟฟ้า)

8.1 ระดับการป้องกันไฟฟ้า (LPL)

มาตรฐานนี้มีวัตถุประสงค์นำเสนอระดับการป้องกันไฟฟ้า 4 ระดับ (I ถึง IV) กำหนดพารามิเตอร์กระแสไฟฟ้าสูงสุดและพารามิเตอร์กระแสไฟฟ้าต่ำสุดเป็นชุดตายตัว สำหรับแต่ละ LPL

หมายเหตุ 1. มาตรฐานนี้ไม่ครอบคลุมถึงการป้องกันไฟฟ้าซึ่งมีพารามิเตอร์กระแสไฟฟ้าสูงสุดและพารามิเตอร์กระแสไฟฟ้าต่ำสุดเกินพารามิเตอร์กระแสไฟฟ้าซึ่งเกี่ยวข้องกับ LPL I

หมายเหตุ 2. ความน่าจะเป็นของการเกิดขึ้นของไฟฟ้ามีพารามิเตอร์กระแสไฟฟ้าสูงสุดหรือพารามิเตอร์กระแสไฟฟ้าต่ำสุดนอกพิสัยของค่าซึ่งนิยามสำหรับ LPL I มีค่าน้อยกว่าร้อยละ 2

ค่าสูงสุดของพารามิเตอร์กระแสไฟฟ้าเกี่ยวข้องกับ LPL I จะต้องไม่เกินความน่าจะเป็นร้อยละ 99 ตามอัตราส่วนสภาพชั่วไฟฟ้าสมมุติ (ดูข้อ ก.2) ค่าซึ่งได้มาจากwabv จะมีค่าความน่าจะเป็นน้อยกว่าร้อยละ 10 ขณะที่ค่าซึ่งได้จากwab จะมีค่าความน่าจะเป็นเหลือน้อยกว่าร้อยละ 1 (ดูข้อ ก.3)

ค่าสูงสุดของพารามิเตอร์กระแสไฟฟ้าเกี่ยวข้องกับ LPL I ลดลงเหลือร้อยละ 75 สำหรับ LPL II และเหลือร้อยละ 50 สำหรับ LPL III และ LPL IV (เป็นเส้นตรงสำหรับ I , Q และ di/dt , แต่เป็นกำลังสองสำหรับ W/R) ส่วนพารามิเตอร์เวลาไม่เปลี่ยน

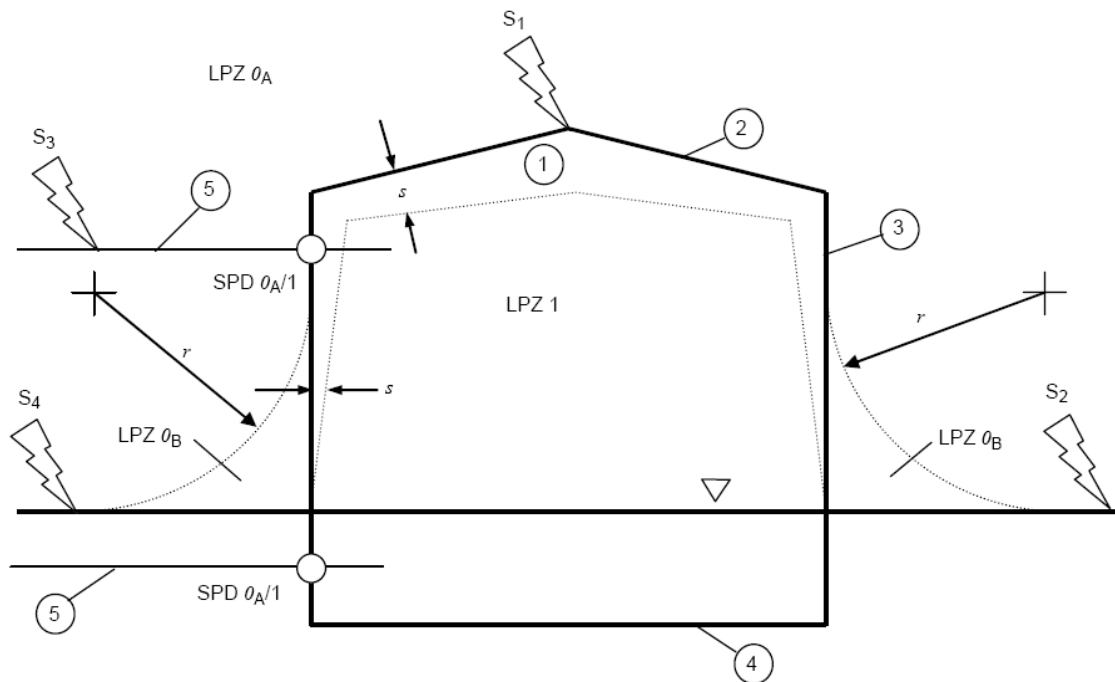
ให้ใช้ค่าสูงสุดของพารามิเตอร์กระแสฟ้าผ่าสำหรับระดับการป้องกันฟ้าผ่าต่างกันมีกำหนดให้ไว้ในตารางที่ 5 เพื่อออกแบบส่วนประกอบการป้องกันฟ้าผ่า (เช่น ภาคตัดขวางของตัวนำ, ความหนาของแผ่นโลหะ, วัสดุสามารถกระแสของ SPDs, ระยะแยกห่าง (separation distance) ด้านการเกิดประกายไฟอันตราย เป็นต้น) และเพื่อกำหนดพารามิเตอร์ทดสอบจำลองผลกระทบของฟ้าผ่าต่อส่วนประกอบเช่นนี้ (ดูภาคผนวก ง.)

ให้ใช้ค่าต่ำสุดของแอมพลิจูดกระแสฟ้าผ่าสำหรับ LPL ต่างกัน เพื่อให้ได้มาซึ่งรัศมีทรงกลมกลิ้ง (rolling sphere radius) (ดูข้อ ก.4) เพื่อกำหนดเขตการป้องกันฟ้าผ่า LPZ O_B ซึ่งการผ่าโดยตรง (direct strike) ไม่สามารถถึงได้ (ดูข้อ 8.2 รูปที่ 2 และรูปที่ 3) ค่าต่ำสุดของพารามิเตอร์กระแสฟ้าผ่าพร้อมกับรัศมีทรงกลมกลิ้งที่สัมพันธ์กันกำหนดให้ไว้ในตารางที่ 6 ให้ใช้รัศมีทรงกลมกลิ้งสำหรับหาตำแหน่งของระบบปลายทางอากาศและเพื่อกำหนดเขตการป้องกันฟ้าผ่า LPZ O_B (ดูข้อ 8.2)

ตารางที่ 5 ค่าสูงสุดของพารามิเตอร์ฟ้าผ่าตาม LPL

(ข้อ 8.1 ตารางที่ 7 และภาคผนวก ข.)

ช่วงจังหวะสั้นลำดับแรก			LPL			
พารามิเตอร์กระแสฟ้าผ่า	สัญลักษณ์	หน่วย	I	II	III	IV
ค่าฟีก	I	kA	200	150	100	
ประจุช่วงจังหวะสั้น	Q_{short}	C	100	75	50	
พลังงานจำเพาะ	W/R	MJ/ Ω	10	5.6	2.5	
พารามิเตอร์เวลา	T_1/T_2	$\mu s/\mu s$	10/350			
ช่วงจังหวะสั้นลำดับหลัง			LPL			
พารามิเตอร์กระแสฟ้าผ่า	สัญลักษณ์	หน่วย	I	II	III	IV
ค่าฟีก	I	kA	50	37.5	25	
ความชันเฉลี่ย	di / dt	kA/ μs	200	150	100	
พารามิเตอร์เวลา	T_1/T_2	$\mu s/\mu s$	0.25/100			
ช่วงจังหวะยาว			LPL			
พารามิเตอร์กระแสฟ้าผ่า	สัญลักษณ์	หน่วย	I	II	III	IV
ประจุช่วงจังหวะยาว	Q_{long}	C	200	150	100	
พารามิเตอร์เวลา	T_{long}	s	0.5			
วาบ			LPL			
พารามิเตอร์กระแสฟ้าผ่า	สัญลักษณ์	หน่วย	I	II	III	IV
ประจุวาบ	Q_{flash}	C	300	225	150	



- | | |
|--------------------|--|
| 1 โครงสร้าง | S_1 วาบถึงโครงสร้าง |
| 2 ระบบปลายทางอากาศ | S_2 วาบใกล้โครงสร้าง |
| 3 ระบบตัวนำลง | S_3 วาบถึงสิ่งบริการซึ่งต่อถึงโครงสร้าง |
| 4 ระบบปลายทางดิน | S_4 วาบใกล้สิ่งบริการซึ่งต่อถึงโครงสร้าง |
| 5 สิ่งบริการเข้า | r รัศมีทรงกลมกลิ้ง |
| | s ระยะแยกห่างด้านการเกิดประกายไฟอันตราย |

▽ ระดับพื้นดิน

○ ส่วนต่อประสานให้ศักย์เท่ากันฟ้าผ่าโดย SPD

วาบโดยตรง, กระแสฟ้าผ่าเต็ม

$LPZ 0_A$ วาบโดยตรง, กระแสฟ้าผ่าเต็ม

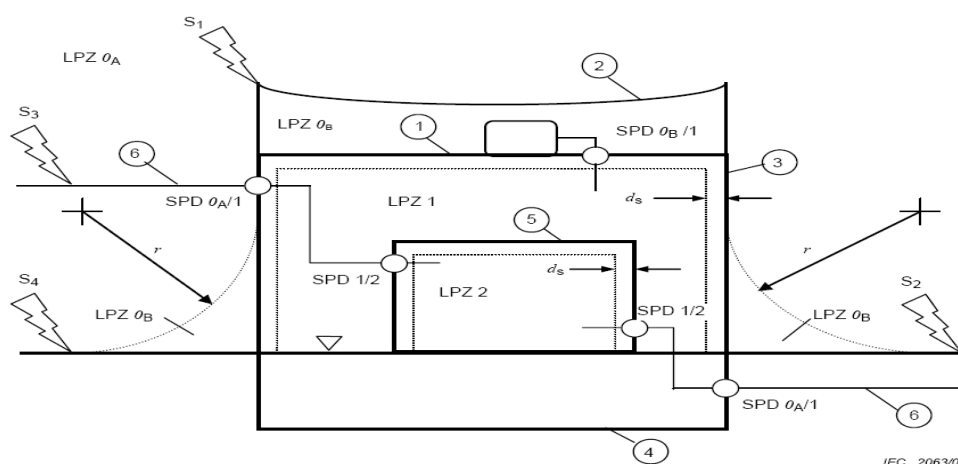
$LPZ 0_B$ ไม่มีวาบโดยตรง, กระแสเหนี่ยวนำหรือกระแสฟ้าผ่าบางส่วน

$LPZ 1$ ไม่มีวาบโดยตรง, กระแสเหนี่ยวนำหรือกระแสฟ้าผ่าจำกัด

ปริมาตรถูกป้องกันภายใน $LPZ 1$ ต้องตรงตามระยะแยกห่าง s

รูปที่ 2 LPZ นิยามโดย LPS (IEC 62305-3)

(ข้อ 8.1 ข้อ 8.2 และข้อ 8.3.1)



- | | | | |
|---|-------------------------------|-------|---------------------------------------|
| 1 | โครงสร้าง (กำบังของ LPZ 1) | S1 | วابلั้งโครงสร้าง |
| 2 | ระบบปลายทางอากาศ | S2 | วابلั้งโครงสร้าง |
| 3 | ระบบตัวนำลง | S3 | วابلั้งสิ่งบริการซึ่งต่อถึงโครงสร้าง |
| 4 | ระบบปลายทางดิน | S4 | วابلั้งสิ่งบริการซึ่งต่อถึงโครงสร้าง |
| 5 | ห้อง (กำบังของ LPZ 2) | r | รัศมีทรงกลมกลิ้ง |
| 6 | สิ่งบริการซึ่งต่อถึงโครงสร้าง | d_s | ระยะห่างปลอดภัยต่อสนามแม่เหล็กสูงเกิน |

▽ ระดับพื้นดิน

○ ส่วนประสานให้ศักย์เท่ากันไฟฟ้าโดย SPD

LPZ O_A วาบโดยตรง, กระแสฟ้าผ่าเต็ม, สนามแม่เหล็กเต็ม

LPZ O_B ไม่มีวาบโดยตรง, กระแสเหนี่ยวนำหรือกระแสฟ้าผ่าบางส่วน, สนามแม่เหล็กเต็ม

LPZ 1 ไม่มีวาบโดยตรง, กระแสเหนี่ยวนำหรือกระแสฟ้าผ่าจำกัด, สนามแม่เหล็กหนึ่ง

LPZ 2 ไม่มีวาบโดยตรง, กระแสเหนี่ยวนำ, สนามแม่เหล็กหนึ่งวงต่อไป

ปริมาตรป้องกันภายใน LPZ 1 และ LPZ 2 ต้องตรงตามระยะห่างปลอดภัย d_s

รูปที่ 3 LPZ นิยามโดย LEMP (IEC 62305-4)

(ข้อ 8.1 และข้อ 8.2)

ตารางที่ 6 ค่าต่ำสุดของพารามิเตอร์กระแสฟ้าผ่าและรัศมีทรงกลมกลิ้งที่สัมพันธ์สมกับ LPL

(ข้อ 8.1)

เกณฑ์การสกัดกัน			LPL			
	สัญลักษณ์	หน่วย	I	II	III	IV
ค่าฟ้าผ่าต่ำสุด	I	kA	3	5	10	16
รัศมีทรงกลมกลิ้ง	r	m	20	30	45	60

จากการแจกแจงทางสถิติ (statistical distribution) ซึ่งกำหนดให้ไว้ในรูปที่ ก.5 สามารถกำหนดความน่าจะเป็นถ่วงน้ำหนัก (weighted probability) ได้แน่นอนว่าพารามิเตอร์กระแสฟ้าผ่าเป็นค่าน้อยกว่าค่าสูงสุด และค่ามากกว่าค่าต่ำสุดตามลำดับซึ่งนิยามไว้สำหรับระดับการป้องกันฟ้าผ่าแต่ละระดับ (ดูตารางที่ 7)

ตารางที่ 7 ความน่าจะเป็นสำหรับขีดจำกัดของพารามิเตอร์กระแสฟ้าผ่า

(ข้อ 8.1 และข้อ ก.4)

ความน่าจะเป็นซึ่งพารามิเตอร์กระแสฟ้าผ่า	LPL			
	I	II	III	IV
มีค่าน้อยกว่าค่าสูงสุดซึ่งนิยามไว้ในตารางที่ 5	0.99	0.98	0.97	0.97
มีค่ามากกว่าค่าต่ำสุดซึ่งนิยามไว้ในตารางที่ 6	0.99	0.97	0.91	0.84

มาตรการการป้องกันที่ระบุไว้ใน IEC 62305-3, IEC 62305-4 และ IEC 62305-5 มีประสิทธิภาพต่อฟ้าผ่าซึ่งมีพารามิเตอร์กระแสฟ้าผ่าอยู่ในพิสัยซึ่งนิยามโดย LPL ซึ่งสมมติไว้เพื่อการออกแบบ ดังนั้นประสิทธิภาพของมาตรการการป้องกันจึงสมมติให้เท่ากับความน่าจะเป็นซึ่งมีพารามิเตอร์กระแสฟ้าผ่าอยู่ในพิสัยเช่นนี้

8.2 เขตการป้องกันฟ้าผ่า (LPZ)

ใช้มาตรการการป้องกัน เช่น LPS, ลวดกำบัง, กำบังแม่เหล็ก, และ SDP เป็นต้น กำหนดเขตการป้องกันฟ้าผ่า (LPZ) ได้แน่นอน

ด้านปลายทางของ LPZ ของมาตรการการป้องกันกำหนดลักษณะเฉพาะโดยการลดทอนนัยสำคัญของ LEMP มากกว่าการลดทอนด้านต้นทางของ LPZ

ในเรื่องภัยคุกคามจากฟ้าผ่า (threat of lightning) ได้นิยาม LPZs ไว้ดังนี้ (ดูรูปที่ 2 และรูปที่ 3)

LPZ O_A เขตตรงที่ภัยคุกคามเนื่องจากวาบฟ้าผ่าโดยตรงและสนามแม่เหล็กไฟฟ้าฟ้าผ่าเต็ม ระบบภายในอาจต้องรับเสิร์จกระแสฟ้าผ่าเต็มหรือบางส่วน

LPZ O_B เขตซึ่งป้องกันวาบฟ้าผ่าโดยตรง แต่ภัยคุกคามเป็นสนามแม่เหล็กไฟฟ้าฟ้าผ่าเต็ม ระบบภายในอาจต้องรับเสิร์จกระแสฟ้าผ่าบางส่วน

LPZ 1 เขตตรงที่เสิร์จกระแสฟ้าผ่าถูกจำกัด โดยการแบ่งส่วนกระแสฟ้าผ่าและโดย SPDs ที่เส้นแบ่งเขต การกำบังเชิงเว้นระยะแยกห่าง (spatial shielding) อาจลดทอนสนามแม่เหล็กไฟฟ้าฟ้าผ่า

LPZ 2,...,n เขตตรงที่เสิร์จกระแสฟ้าผ่าอาจถูกจำกัดต่อไป โดยการแบ่งส่วนกระแสฟ้าผ่าและโดย SPDs เพิ่มเติมที่เส้นแบ่งเขต อาจใช้การกำบังเชิงเว้นระยะแยกห่างเพิ่มเติมเพื่อลดทอนสนามแม่เหล็กไฟฟ้าฟ้าผ่าลงอีก

หมายเหตุ 1. โดยทั่วไป ตัวเลขของเขตแต่ละเขตยิ่งสูง พารามิเตอร์สภาพแวดล้อมแม่เหล็กไฟฟ้ายิ่งต่ำ

หลักทั่วไปสำหรับการป้องกัน คือ วัตถุที่ต้องป้องกันต้องอยู่ใน LPZ ตรงที่มีลักษณะเฉพาะแม่เหล็กไฟฟ้า เข้ากันได้กับวิสัยความสามารถของวัตถุที่ต้องป้องกันเพื่อทนต่อความเค้นทำให้ความเสียหายให้ลดลง (ความเสียหายทางกายภาพ, ความล้มเหลวของระบบภายในเนื่องจากแรงดันเกิน)

หมายเหตุ 2. ข้อเสนอแนะเกี่ยวกับระดับความทนสำหรับระบบภายใน โดยมากสามารถหาได้จากผู้ทำ

8.3 การป้องกันของโครงสร้าง

8.3.1 การป้องกันเพื่อลดความเสียหายทางกายภาพและความเสี่ยงอันตรายต่อชีวิต

โครงสร้างที่ต้องป้องกันต้องอยู่ภายใน LPZ O_B หรือสูงกว่า การนี้ทำให้บรรลุได้โดยระบบการป้องกัน ฟาผ่า (LPS)

LPS ประกอบด้วยทั้งระบบการป้องกันฟาผ่าภายนอกและระบบการป้องกันฟาผ่าภายใน (ดูรูปที่ 2)

หน้าที่ของ LPS ภายนอก คือ

- เพื่อสกัดกั้นวาบฟาผ่าถึงโครงสร้าง (ด้วยระบบปลายทางอากาศ)
- เพื่อนำกระแสฟาผ่าถึงดินอย่างปลอดภัย (ด้วยระบบตัวนำลง)
- เพื่อกระจาย (disperse) กระแสฟาผ่าเข้าในดิน (ด้วยระบบปลายทางดิน)

หน้าที่ของ LPS ภายใน คือ เพื่อป้องกันการเกิดประกายไฟอันตรายภายในโครงสร้าง โดยการใช้ส่วนต่อประสานให้ศักย์เท่ากันหรือระยะแยกห่าง, s , (และต่อไป คือ การแยกเดี่ยวทางไฟฟ้า) ระหว่างส่วนประกอบ LPS กับส่วนย่อหน้าไฟฟ้า (electrically conducting element) อื่นภายในถึงโครงสร้าง

สำหรับระดับชั้นของ LPS (I, II, III, IV) นิยามเป็นชุดหลักการสร้างตามบนพื้นฐาน LPS สมัย แต่ละชุดมีทั้งหลักการสร้างระดับไม่อิสระ (level-dependent) (เช่น รัศมีทรงกลมกลิ้ง, ความกว้างตาข่าย เป็นต้น) และหลักการสร้างระดับอิสระ (level-independent) (เช่น ภาควัดขวาง, วัสดุ เป็นต้น)

ตรงที่สภาพความต้านทานเชิงผิวของเนื้อดินภายนอกและของพื้นภายในโครงสร้างไม่สูงเพียงพอ ความเสี่ยงอันตรายต่อชีวิตเนื่องจากแรงดันแตะและแรงดันก้าว ทำให้ลดลงได้ ดังนี้

- ภายนอกโครงสร้าง, โดยฉนวนของส่วนนำกระแสเปิดโล่ง, โดยการทำให้ศักย์เท่ากันของเนื้อดิน โดยระบบดินตาข่าย, โดยป้ายเตือน และโดยสิ่งจำกัดทางกายภาพ
- ภายในโครงสร้าง, โดยส่วนต่อประสานให้ศักย์เท่ากันของสิ่งบริการที่จุดทางเข้าภายในโครงสร้าง

LPS ต้องเป็นไปตามข้อกำหนดตาม IEC 62305-3

8.3.2 การป้องกันเพื่อลดความล้มเหลวของระบบภายใน

การป้องกัน LEMP เพื่อลดความเสี่ยงด้านความล้มเหลวของระบบภายใน จำกัดได้ ดังนี้

- แรงดันเกิน เนื่องจากวาบฟ้าผ่าถึงโครงสร้างอันเป็นผลมาจากการควบคุมความเหนี่ยวนำและความต้านทาน
- แรงดันเกิน เนื่องจากวาบฟ้าผ่าใกล้โครงสร้างอันเป็นผลมาจากการควบคุมความเหนี่ยวนำ
- แรงดันเกินส่งผ่านจากสายไฟฟ้าซึ่งต่ออยู่ถึงโครงสร้าง เนื่องจากวาบถึงหรือใกล้สายไฟ
- สนามแม่เหล็กคู่ควบโดยตรงกับระบบภายใน

หมายเหตุ ความล้มเหลวของเครื่องสำเร็จ เนื่องจากสนามแม่เหล็กไฟฟ้าซึ่งแผ่รังสีเข้าในบริษัทโดยตรงไม่ต้องนำมาพิจารณา ถ้าเครื่องสำเร็จนั้นเป็นไปตามเกณฑ์การทดสอบภูมิคุ้มกันและการปล่อยความถี่วิทยุ (radio frequency (RF) radiated emission and immunity test) ตามนิยามโดยมาตรฐานผลิตภัณฑ์ EMC เกี่ยวข้อง (ดู IEC 62305-2 และ IEC 62305-4)

ระบบภายในที่ต้องป้องกันต้องอยู่ภายใน LPZ 1 หรือสูงกว่า การนี้ทำให้บรรลุได้โดยกำบังแม่เหล็กลดทอนสนามแม่เหล็กเหนี่ยวนำและ/หรือการจัดทางเดินสายไฟฟ้าเหมาะสมโดยการลดวงรอบการเหนี่ยวนำ ต้องจัดให้มีส่วนต่อประสานเอาไว้ที่เส้นแบ่งเขตของ LPZ สำหรับส่วนโลหะและระบบภายในโดยการไขว้ข้ามเส้นแบ่งเขต ส่วนต่อประสานเช่นนี้อาจสำเร็จได้โดยตัวนำต่อประสาน (bonding conductor) หรือโดยอุปกรณ์ป้องกันลัดวงจร (SPDs) ตามความจำเป็น

มาตรการการป้องกันสำหรับ LPZ ต้องเป็นไปตาม IEC 62305-4

การป้องกันประสิทธิผลต่อแรงดันเกินซึ่งทำให้เกิดความล้มเหลวของระบบภายในยังอาจทำให้บรรลุได้โดยใช้ “การป้องกัน SPD ประสาน” จำกัดแรงดันเกินให้ต่ำกว่าแรงดันทนอิมพัลส์ที่กำหนดของระบบภายในที่ต้องป้องกัน

ต้องเลือกและติดตั้ง SPDs ตามข้อกำหนดตาม IEC 62305-4

8.4 การป้องกันของสิ่งบริการ

สิ่งบริการที่ต้องป้องกันต้องเป็นดังนี้

- ภายใน LPZ O_B หรือสูงกว่า เพื่อลดความเสียหายทางกายภาพ การนี้ทำให้บรรลุได้โดยการเลือกการจัดทางเดินสายไฟฟ้าใต้ดินแทนทางอากาศ หรือโดยการใช้ลวดกำบังวางตำแหน่งเพียงพอ ตรงที่ได้ประสิทธิผลตามลักษณะเฉพาะสายไฟฟ้า หรือ, โดยการเพิ่มความหนาท่อให้ได้ค่าเพียงพอและทำให้ความต่อเนื่องทางโลหะของท่อแน่นอน ในกรณีที่เป็นท่อ

- ภายใน LPZ 1 หรือสูงกว่า เพื่อการป้องกันแรงดันเกินซึ่งทำให้เกิดความล้มเหลวของสิ่งบริการ การนี้ทำให้บรรลุได้โดยการลดระดับของแรงดันเกินซึ่งเหนี่ยวนำจากฟ้าผ่าโดยกำบังแม่เหล็กเพียงพอของเคเบิล, การเบี่ยงกระแสเกิน และการจำกัดแรงดันเกินโดย SPDs เพียงพอ

ภาคผนวก ก.

(ข้อแนะนำ)

พารามิเตอร์ของกระแสไฟฟ้า

(ข้อ 4.)

ก.1 วาบไฟฟ้าถึงดิน

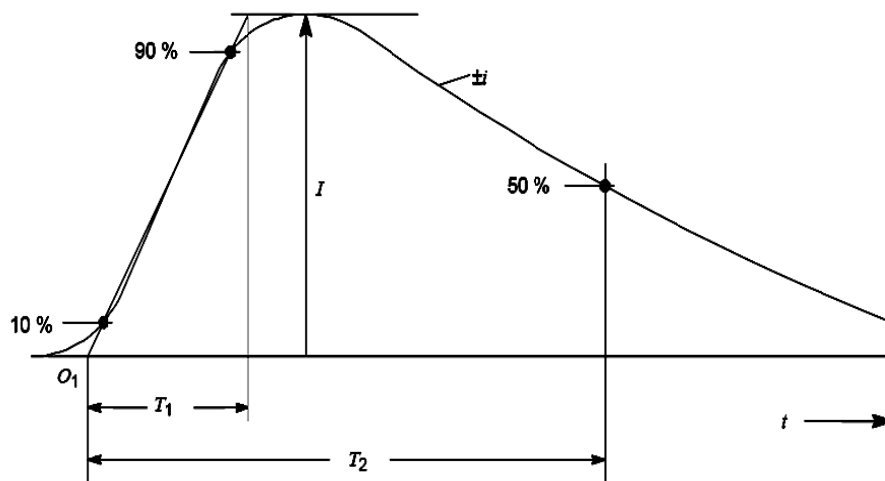
ก.1.1 วาบพื้นฐานมี 2 ต้นแบบ ดังนี้

- วาบลงเริ่มต้นจากกระแสนำลงจากเมฆถึงดิน
- วาบขึ้นเริ่มต้นจากกระแสนำขึ้นจากโครงสร้างต่อกับดินถึงเมฆ

วาบลงส่วนมากเกิดขึ้นในอาณาเขตแนวราบและถึงโครงสร้างต่ำกว่า แต่สำหรับโครงสร้างเปิดโล่งและ/หรือโครงสร้างสูงกว่า วาบขึ้นกลับมีลักษณะเด่นชัด ช่วงจังหวะโดยตรง (direct strike) ถึงโครงสร้างมีความน่าจะเป็นเพิ่มขึ้นตามความสูงประสิทธิผล (ดู IEC 65305-2, Annex A) และการเปลี่ยนแปลงของภาวะทางกายภาพ

ก.1.2 กระแสไฟฟ้าประกอบด้วยช่วงจังหวะต่างกัน 1 ช่วงหรือหลายช่วง

- (1) ช่วงจังหวะสั้นมีช่วงเวลาน้อยกว่า 2 มิลลิวินาที (รูปที่ ก.1)
- (2) ช่วงจังหวะยาวมีช่วงเวลามากกว่า 2 มิลลิวินาที (รูปที่ ก.2)



ดัชนี

O_1 จุดกำเนิดเสมือนของกระแสงช่วงจังหวะสั้น

I ค่าพีค

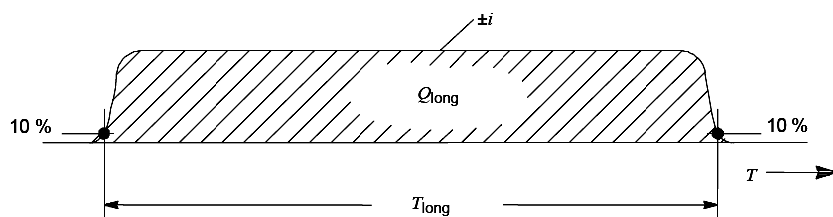
T_1 เวลาค้างของกระแสงช่วงจังหวะสั้น

T_2 เวลาถึงครึ่งค่าของกระแสงช่วงจังหวะสั้น

รูปที่ ก.1 คำนิยามของพารามิเตอร์ช่วงจังหวะสั้น

(ตามต้นแบบ $T_2 < 2$ มิลลิวินาที)

(ข้อ 3.11 ข้อ 3.12 ข้อ ก. 1.2 (1) ข้อ ก.3.1 และข้อ ก.3.2)



ดัชนี

T_{long} ช่วงเวลาของกระแสงช่วงจังหวะยาว

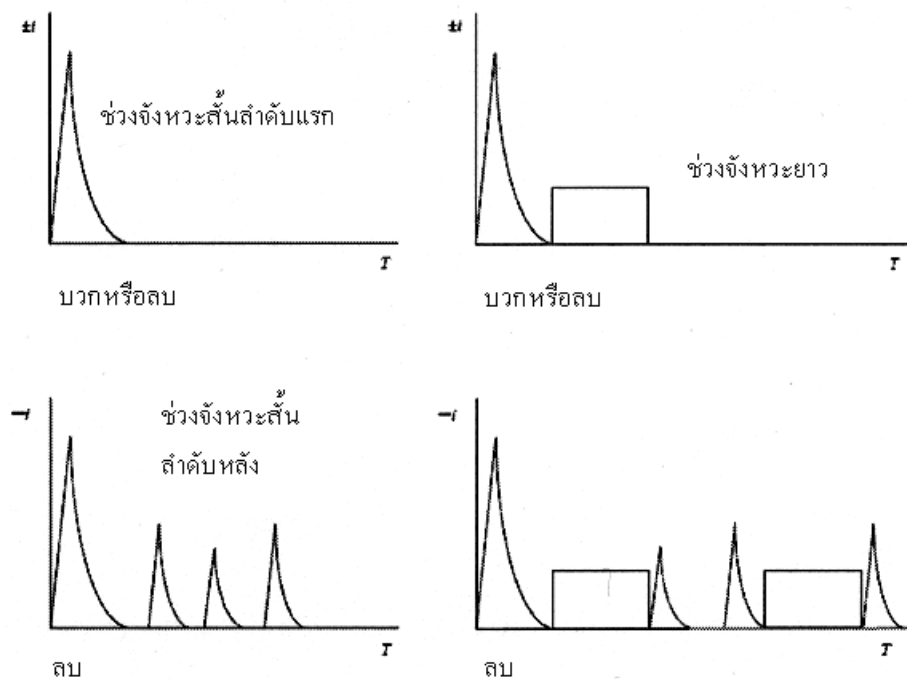
Q_{long} ประจุช่วงจังหวะยาว

รูปที่ ก.2 คำนิยามของพารามิเตอร์ช่วงจังหวะยาว

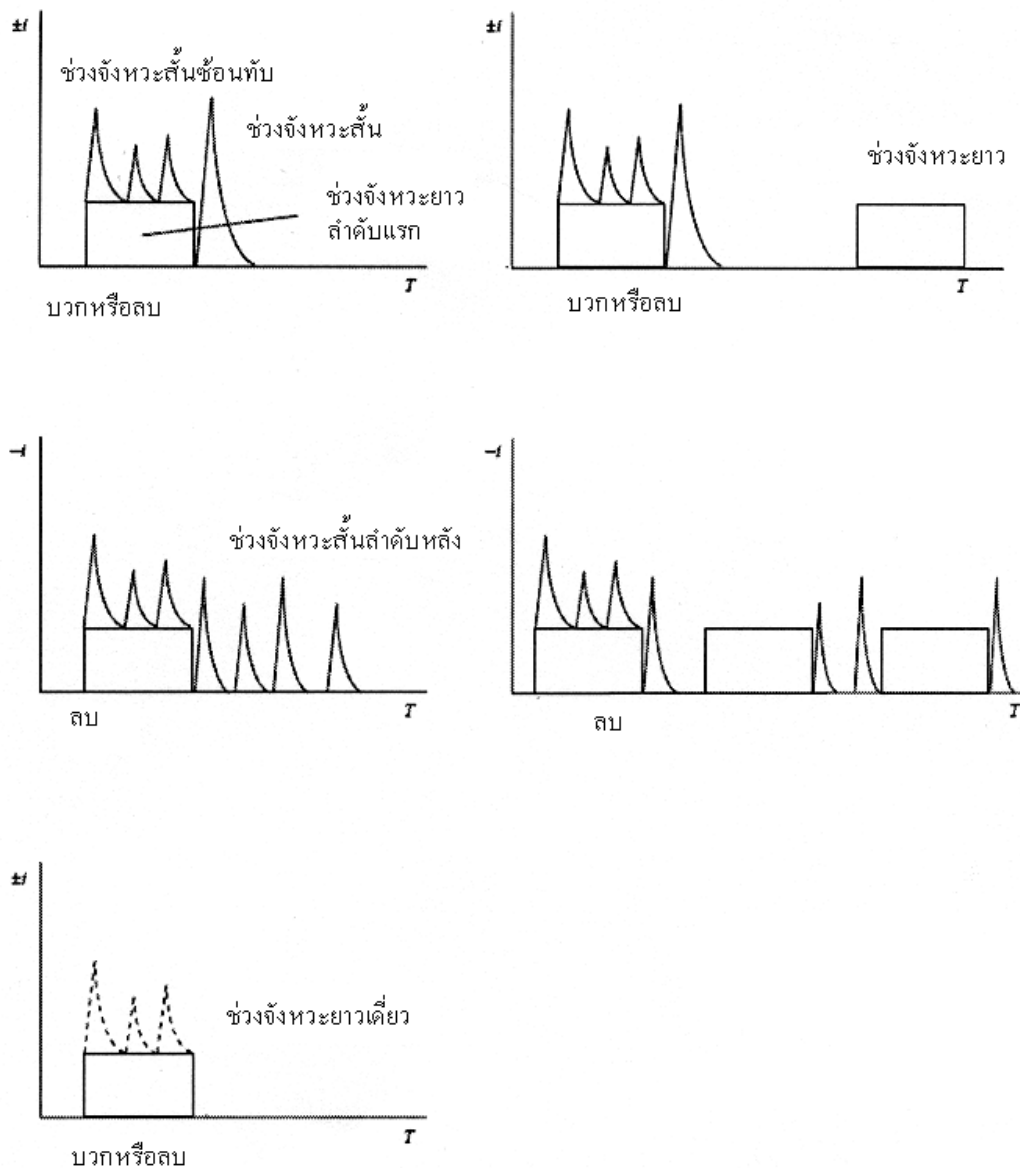
(ตามต้นแบบ $2 \text{ มิลลิวินาที} < T_{long} < 1 \text{ วินาที}$)

(ข้อ ก.1.2 (2))

ก.1.3 ช่วงจังหวะยังมีความต่างกันแบ่งแยกได้อีกจากสภาพชั่วไฟฟ้า (บวกหรือลบ) ของช่วงจังหวะและจากตำแหน่งของช่วงจังหวะในระหว่างการวาบ (ลำดับแรก ลำดับหลัง ซ้อนทับ) ส่วนประกอบเป็นไปได้ของช่วงจังหวะมีแสดงไว้ในรูปที่ ก.3 สำหรับวาบลง และในรูปที่ ก.4 สำหรับวาบขึ้น



รูปที่ ก.3 ส่วนประกอบเป็นไปได้ของช่วงจังหวะของวาบลง
(ต้นแบบในอาณาเขตแนวราบและถึงโครงสร้างต่ำกว่า)
(ข้อ ก.1.3)



รูปที่ ก.4 ส่วนประกอบเป็นไปได้อของช่วงจังหวะของวาบขึ้น
(ต้นแบบถึงโครงสร้างเปิดโล่งและ/หรือสูงกว่า)

(ข้อ ก.1.3)

ส่วนประกอบเพิ่มเติมในวาบขึ้น คือ ช่วงจังหวะยาวลำดับแรกไม่มีหรือมีช่วงจังหวะสั้นซ้อนทับเป็นจำนวนถึงหลายสิบ แต่พารามิเตอร์ช่วงจังหวะสั้นทุกตัวของวาบขึ้นมีค่าน้อยกว่าพารามิเตอร์ช่วงจังหวะสั้นทุกตัวของวาบลง ยังไม่มีการยืนยันว่าประจวบช่วงจังหวะยาวของวาบขึ้นสูงกว่า ดังนั้นพารามิเตอร์กระแสไฟฟ้าของวาบขึ้นจึงถือว่าถูกรอบโดยค่าสูงสุดซึ่งกำหนดให้ไว้สำหรับวาบลง การ

หาค่าของพารามิเตอร์กระแสไฟฟ้าให้แม่นยำยิ่งขึ้นและการขึ้นอยู่กับความสูงของพารามิเตอร์กระแสไฟฟ้าเกี่ยวกับวามชื้นและวามลงยังอยู่ในระหว่างการพิจารณา

ก.2 พารามิเตอร์กระแสไฟฟ้า

พารามิเตอร์กระแสไฟฟ้าตามมาตรฐานนี้มีพื้นฐานมาจากผลลัพธ์ของ International Council on Large Electrical Systems (CIGRE) ดังข้อมูลซึ่งกำหนดไว้ในตารางที่ ก.1 การแจกแจงทางสถิติของพารามิเตอร์กระแสไฟฟ้าสามารถสมมติได้ว่าการแจกแจงปกติเชิงลอการิทึม ค่าเฉลี่ยสมนัย μ และการกระจาย $\sigma_{\log}$ มีกำหนดไว้ในตารางที่ ก.2 และมีฟังก์ชันการแจกแจงแสดงไว้ในรูปที่ ก.5 ด้วยสมมติฐานนี้ความน่าจะเป็นของการเกิดค่าใด ๆ ขึ้นของพารามิเตอร์กระแสไฟฟ้าแต่ละตัวจึงสามารถกำหนดแน่นอนได้ สมมติว่าอัตราส่วนสภาพชั่วไฟฟ้าวามบวกเป็นร้อยละ 10 และวามลบเป็นร้อยละ 90 อัตราส่วนสภาพชั่วไฟฟ้างกล่าว คือ ฟังก์ชันของอาณาเขต ถ้าไม่มีข้อแนะนำท้องถิ่นให้ใช้ได้ ก็สมควรใช้อัตราส่วนซึ่งกำหนดไว้ดังนี้

ตารางที่ ก.1 ค่าของพารามิเตอร์กระแสไฟฟ้าในตารางได้จาก CIGRE

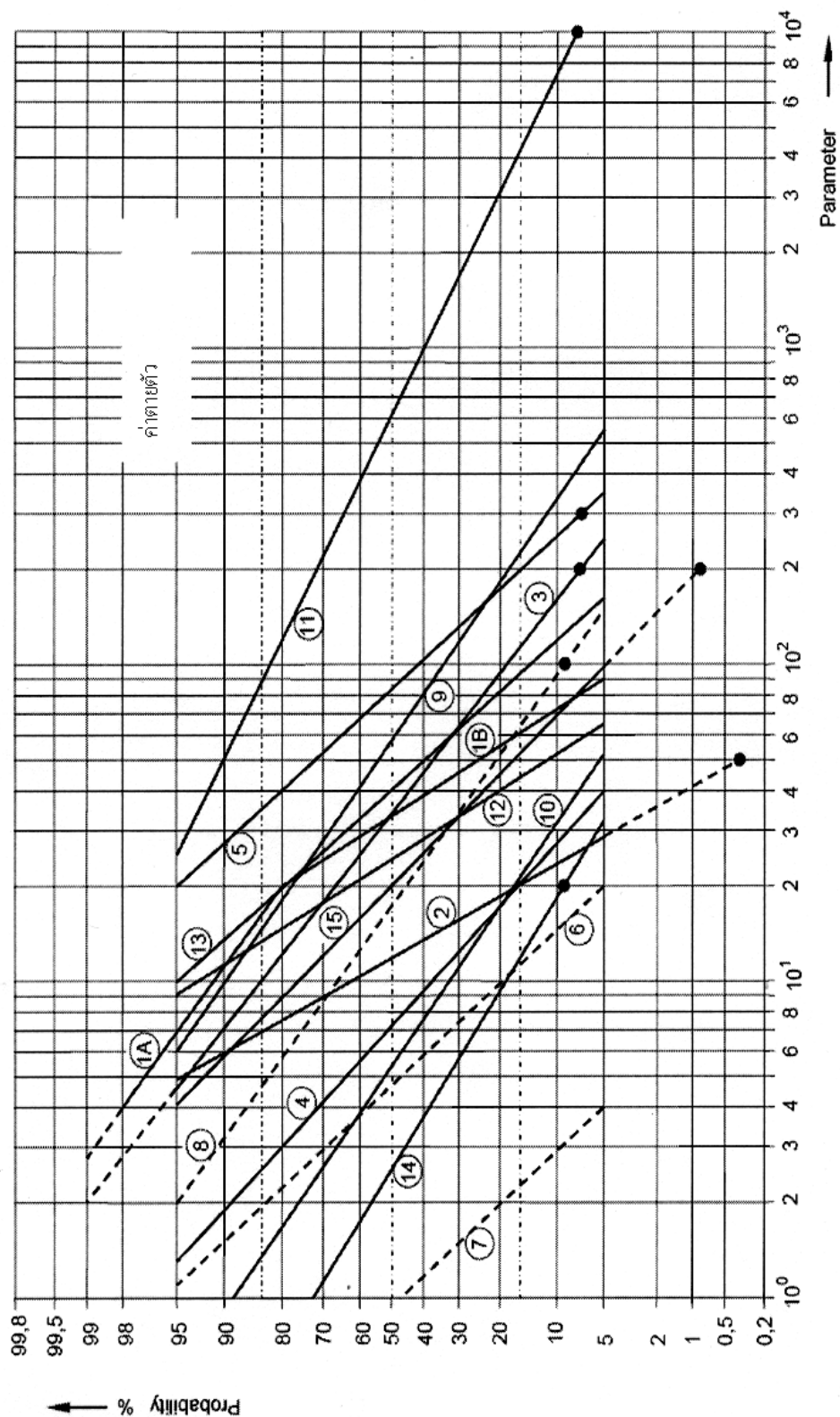
(วารสาร Electra ฉบับที่ 41 หรือฉบับที่ 69*)^{[3],[4]}

(ข้อ ก.2)

พารามิเตอร์	ค่าตายตัว สำหรับ LPL I	ค่า			ต้นแบบของ ช่วงจังหวะ	เส้นใน รูปที่ ก.5
		95%	50 %	5 %		
I (kA)	50 200	4 (98%)	20 (80%)	90	* สันลบลำดับแรก	1A + 1B
		4.9	11.8	28.6	* สันลบลำดับหลัง	2
		4.6	35	250	สันบวกลำดับแรก (เดี่ยว)	3
Q_{flash} (C)	300	1.3	7.5	40	วابلบ	4
		20	80	350	วาบบวก	5
Q_{short} (C)	100	1.1	4.5	20	สันลบลำดับแรก	6
		0.22	0.95	4	สันลบลำดับหลัง	7
		2	16	150	สันบวกลำดับแรก (เดี่ยว)	8
W/R (kJ/ Ω)	10 000	6	55	550	สันลบลำดับแรก	9
		0.55	6	52	สันลบลำดับหลัง	10
		25	650	15 000	สันบวกลำดับแรก	11
di/dt_{max} (kA / μ s)	20	9.1	24.3	65	* สันลบลำดับแรก	12
		9.9	39.9	161.5	* สันลบลำดับหลัง	13
		0.2	2.4	32	สันบวกลำดับแรก	14
$di/dt_{30/90\%}$ (kA / μ s)	200	4.1	20.1	98.5	* สันลบลำดับหลัง	15
Q_{long} (C)	200				ยาว	
t_{long} (s)	0.5				ยาว	
ช่วงเวลาหน้า (μ s)		1.8	5.5	18	สันลบลำดับแรก	
		0.22	1.1	4.5	สันลบลำดับหลัง	
		3.5	22	200	สันบวกลำดับแรก (เดี่ยว)	
ช่วงเวลาช่วงจังหวะ (μ s)		30	75	200	สันลบลำดับแรก	
		6.5	32	140	สันลบลำดับหลัง	
		25	230	2 000	สันบวกลำดับแรก (เดี่ยว)	
ช่วงเวลาห่าง (ms)		7	33	150	ช่วงจังหวะลบหลายช่วง	
ช่วงเวลาวาบโดยรวม (ms)		0.15	13	1 100	วابلบ (ทั้งหมด)	
		31	180	900	วابلบ (ไม่มีเดี่ยว)	
		14	85	500	วาบบวก	
หมายเหตุ ค่า $I = 4$ kA และ $I = 20$ kA สอดคล้องกับความน่าจะเป็นร้อยละ 98 และร้อยละ 80 ตามลำดับ						

ตารางที่ ก.2 การแจกแจงปกติเชิงล็อกการีธึมของพารามิเตอร์กระแสไฟฟ้า –
ค่าเฉลี่ย μ และการกระจาย $\sigma_{\log}$ ซึ่งคำนวณจากค่าร้อยละ 95 และค่าร้อยละ 5
ที่นำมาจาก CIGRE (วารสาร Electra ฉบับที่ 41 หรือ ฉบับที่ 69) ^{[3],[4]}
(ข้อ ก.2)

พารามิเตอร์	ค่าเฉลี่ย μ	การกระจาย $\sigma_{\log}$	ต้นแบบของ ช่วงจังหวะ	เส้นใน รูปที่ ก.5
I (kA)	(61.1)	0.576	* สันลบลำดับแรก (80%)	1A
	33.3	0.263	* สันลบลำดับแรก (80%)	1B
	11.8	0.233	* สันลบลำดับหลัง	2
	33.9	0.527	สันบวกลำดับแรก (เดี่ยว)	3
Q_{flash} (C)	7.21	0.452	วابلบ	4
	83.7	0.378	วบบวก	5
Q_{short} (C)	4.69	0.383	สันลบลำดับแรก	6
	0.938	0.383	สันลบลำดับหลัง	7
	17.3	0.570	สันลบลำดับแรก (เดี่ยว)	8
W/R (kJ/ Ω)	57.4	0.596	สันลบลำดับแรก	9
	5.35	0.600	สันลบลำดับหลัง	10
	612	0.844	สันบวกลำดับแรก	11
di/dt_{max} (kA / μ s)	24.3	0.260	* สันลบลำดับแรก	12
	40.0	0.369	* สันลบลำดับหลัง	13
	2.53	0.670	สันบวกลำดับแรก	14
$di/dt_{30/90\%}$ (kA / μ s)	20.1	0.420	* สันลบลำดับหลัง	15
Q_{long} (C)	200		ยาว	
t_{long} (s)	0.5		ยาว	
ช่วงเวลาหน้า (μ s)	5.69	0.304	สันลบลำดับแรก	
	0.995	0.398	สันลบลำดับหลัง	
	26.5	0.534	สันบวกลำดับแรก (เดี่ยว)	
ช่วงเวลาช่วงจังหวะ (μ s)	77.5	0.250	สันลบลำดับแรก	
	30.2	0.405	สันลบลำดับหลัง	
	224	0.578	สันบวกลำดับแรก (เดี่ยว)	
ช่วงเวลาห่าง (ms)	32.4	0.405	ช่วงจังหวะลบหลายช่วง	
ช่วงเวลาวบบโดยรวม (ms)	12.8	1.175	วابلบ (ทั้งหมด)	
	167	0.445	วابلบ (ไม่มีเดี่ยว)	
	83.7	0.472	วบบวก	



หมายเหตุ สำหรับการกำหนดเลขหมายของเส้นกราฟ ดูตารางที่ ก.1 และตารางที่ ก.2

รูปที่ ก. 5 การแจกแจงความถี่สะสมของพารามิเตอร์กระแสไฟฟ้า (เส้นผ่านค่าร้อยละ 95 และร้อยละ 5)
(ข้อ 8.1 ข้อ ก. 2 ข้อ ก.3.1 และข้อ ก.4)

ค่าทุกค่าสำหรับ LPL ซึ่งกำหนดให้ไว้ในมาตรฐานนี้สัมพันธ์กับทั้งวาทขึ้นและวาทลงตายตัว

หมายเหตุ โดยปกติค่าของพารามิเตอร์กระแสฟ้าผ่าได้มาจากการวัดวัตถุทรงสูง การแจกแจงทางสถิติของค่าพิกประมาณซึ่งไม่ถือว่าเป็นผลกระทบของวัตถุทรงสูง ยังวัดจากระบบตำแหน่งฟ้าผ่า (lightning location system) ได้อีกด้วย

ก.3 การกำหนดพารามิเตอร์กระแสฟ้าผ่าสูงสุดตายตัวสำหรับ LPL I

- ผลกระทบทางกลของกระแสฟ้าผ่า สัมพันธ์กับค่าพิก (I) และกับพลังงานจำเพาะ (W/R)
- ผลกระทบทางความร้อน สัมพันธ์กับพลังงานจำเพาะ (W/R) เมื่อมีความต้านทานคู่ควบด้วย และกับประจุ (Q) เมื่ออาร์กพัฒนาถึงสิ่งติดตั้ง
- แรงดันเกินและประกายไฟอันตรายซึ่งเกิดจากการคู่ควบความเหนี่ยวนำ สัมพันธ์กับความชันเฉลี่ย (di/dt) ของหน้ากระแสฟ้าผ่า

พารามิเตอร์กระแสฟ้าผ่าเดี่ยวแต่ละตัว (I , Q , W/R , di/dt) มักมีความสำคัญต่อขบวนการปฏิบัติการความล้มเหลวแต่ละอย่าง จึงต้องคำนึงถึงการสร้างลำดับขั้นตอนการทดสอบ (test procedure)

ก.3.1 ช่วงจังหวะสั้นลำดับแรกและช่วงจังหวะยาว

ค่า I , ค่า Q และค่า W/R ซึ่งสัมพันธ์กับผลกระทบทางกลและผลกระทบทางความร้อน กำหนดแน่นอนได้จากวาทบวก (เนื่องจากค่าร้อยละ 10 ของวาทบวก สูงกว่า ค่าร้อยละ 1 ของวาทลบสมนัย มาก) จากรูปที่ ก.5 (เส้น 3, เส้น 5, เส้น 8, เส้น 11 และเส้น 14) สามารถได้ค่าต่อไปนี้อย่างมีความน่าจะเป็นน้อยว่าร้อยละ 10

$$I = 200 \text{ kA}$$

$$Q_{\text{flash}} = 300 \text{ C}$$

$$Q_{\text{short}} = 100 \text{ C}$$

$$W/R = 10 \text{ MJ}/\Omega$$

$$di/dt = 20 \text{ kA}/\mu\text{s}$$

สำหรับช่วงจังหวะสั้นลำดับแรกตามรูปที่ ก.1, ค่าเหล่านี้ให้ค่าประมาณแรกสำหรับเวลาหน้าของกระแสช่วงจังหวะสั้น

$$T_1 = I / (di/dt) = 10 \mu\text{s} \text{ (} T_1 \text{ มีความสำคัญน้อย)}$$

สำหรับช่วงจังหวะลดระดับอย่างเอ็กซ์โปเนนเชียล (exponentially decay stroke), ให้ใช้สูตรต่อไปนี้สำหรับค่าประจุประมาณและค่าพลังงานจำเพาะประมาณ ($T_1 \ll T_2$)

$$Q_{\text{short}} = (1/0.7) \cdot I \cdot T_2$$

$$W/R = (1/2) \cdot (1/0.7) \cdot I^2 \cdot T_2$$

สูตรเหล่านี้ พร้อมกับค่าซึ่งกำหนดให้ไว้ข้างบน นำสู่ค่าประมาณแรกสำหรับเวลาถึงครึ่งค่าของกระแสช่วงจังหวะสั้น

$$T_2 = 350 \mu\text{s}$$

สำหรับช่วงจังหวะยาว, ประจุของช่วงจังหวะยาวสามารถคำนวณโดยประมาณจาก

$$Q_{\text{long}} = Q_{\text{flash}} - Q_{\text{short}} = 200 \text{ C}$$

ช่วงเวลาของกระแสช่วงจังหวะยาวตามรูปที่ ก. 2 อาจประมาณค่าจากเวลาช่วงเวลาวาบ

$$T_{\text{long}} = 0.5 \text{ s}$$

ก.3.2 ช่วงจังหวะสั้นลำดับหลัง

ค่าสูงสุดของความชันเฉลี่ย (di/dt) ซึ่งสัมพันธ์กับการเกิดประกายไฟอันตรายซึ่งเกิดจากการคู่ควบความเหนี่ยวนำ กำหนดแน่นอนได้จากช่วงจังหวะสั้นลำดับหลังของวาล์ว (เพราะค่าร้อยละ 1% ของวาล์วมากกว่า ค่าร้อยละ 1 จากช่วงจังหวะลบลำดับแรก มาก หรือค่าร้อยละ 10 ของวาล์วบวกสมนัย) จากรูปที่ ก. 5 (เส้น 2 และเส้น 15) สามารถได้ค่าต่อไปนี้อย่างมีความน่าจะเป็นน้อยกว่าร้อยละ 1

$$I = 50 \text{ kA}$$

$$di/dt = 200 \text{ kA}/\mu\text{s}$$

สำหรับช่วงจังหวะสั้นลำดับหลังตามรูปที่ ก.1 ค่าเหล่านี้ให้ค่าประมาณแรกเป็นเวลาหน้าของกระแสช่วงจังหวะสั้นลำดับหลังเป็น

$$T_1 = I / (di/dt) = 0.25 \mu\text{s}$$

เวลาถึงครึ่งค่าของกระแสช่วงจังหวะสั้นลำดับหลัง อาจประมาณค่าได้จากช่วงเวลาช่วงจังหวะของช่วงจังหวะสั้นลำดับหลังลบ

$$T_2 = 100 \mu\text{s} (T_2 \text{ มีความสำคัญน้อย})$$

ก.4 การกำหนดพารามิเตอร์กระแสฟ้าผ่าต่ำสุดตายตัว

ประสิทธิภาพการสกัดกั้น (interception efficiency) ของ LPS ขึ้นอยู่กับพารามิเตอร์กระแสฟ้าผ่าต่ำสุดและขึ้นอยู่กับรัศมีทรงกลมกลิ้งที่สัมพันธ์ (related rolling sphere radius) เส้นแบ่งเขตทางเรขาคณิตของพื้นที่ที่

ต้องถูกป้องกันวาทไฟฟ้าโดยตรงสามารถกำหนดแน่นอนได้โดยการใช้วิธีทรงกลมกลิ้ง (rolling sphere method)

ตามแบบจำลองเรขาคณิตไฟฟ้า (electro-geometric model) ต่อไปนี้, รัศมีทรงกลมกลิ้ง r (ระยะห่างกระโดดขั้นสุดท้าย) สหสัมพันธ์กับค่าฟีกของช่วงจังหวะสั้นลำดับแรก ในรายงานคณะกรรมการ IEEE ฉบับหนึ่ง กำหนดความสัมพันธ์ไว้ให้เป็น

$$r = 10 \cdot I^{0.65} \quad (\text{ก.1})$$

เมื่อ

r คือ รัศมีทรงกลมกลิ้ง เป็น m

I คือ ค่าฟีก เป็น kA

สำหรับรัศมีทรงกลมกลิ้ง r ซึ่งกำหนดให้ไว้นั้น สามารถสมมุติว่า วาททุกวาทมีค่าฟีกสูงกว่าค่าฟีกต่ำสุดสมนัย I จะถูกสกัดกั้นโดยสิ่งต่อปลายทางอากาศธรรมชาติหรือสิ่งต่อปลายทางอากาศเฉพาะงาน (natural or dedicated air terminations) ดังนั้น ความน่าจะเป็นสำหรับค่าฟีกของช่วงจังหวะลำดับแรกและของช่วงจังหวะลำดับแรกบวกจากรูปที่ ก.5 (เส้น 1A และเส้น 3) จึงสมมุติว่าเป็น ความน่าจะเป็นการสกัดกั้นโดยคำนึงถึงอัตราส่วนสภาพชั่วไฟฟ้ามีวาทบวกร้อยละ 10 และวาทลบร้อยละ 90 ก็จะสามารถคำนวณความน่าจะเป็นการสกัดกั้นโดยรวม (ดูตารางที่ 7)

ภาคผนวก ข.

(ข้อแนะนำ)

ฟังก์ชันเวลาของกระแสไฟฟ้าเพื่อการวิเคราะห์

(ข้อ 4.)

ข.1 รูปคลื่นกระแสไฟฟ้าของ

- ช่วงจังหวะสั้นลำดับแรก 10/350 μs
- ช่วงจังหวะสั้นลำดับหลัง 0.25/100 μs

อาจนิยามเป็น

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

เมื่อ

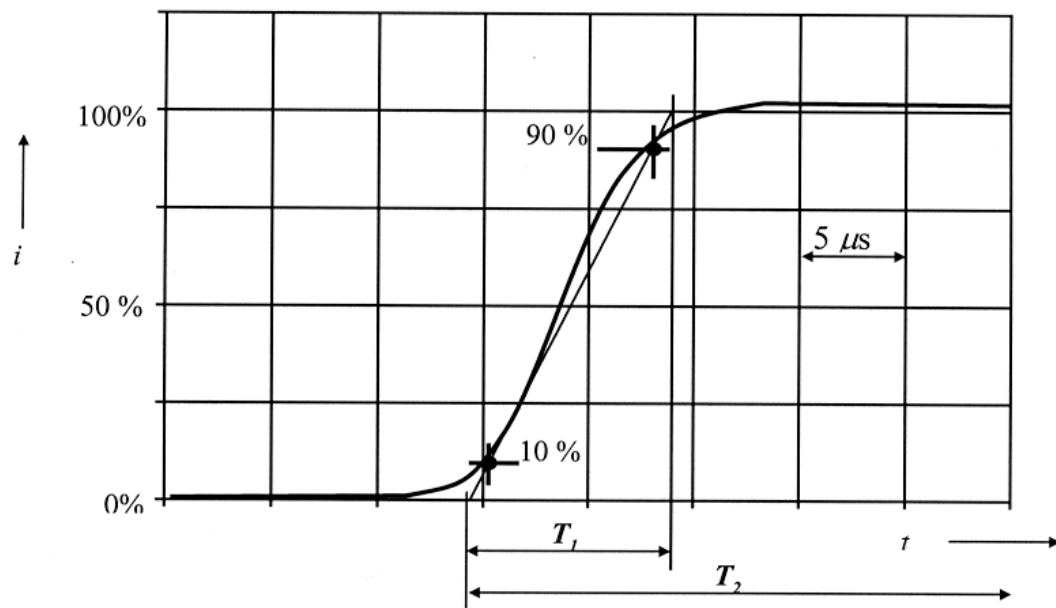
 I คือ ค่าพิก k คือ ตัวประกอบการปรับแก้สำหรับค่าพิก t คือ เวลา τ_1 คือ ค่าคงตัวเวลาหน้าของกระแสช่วงจังหวะสั้น τ_2 คือ ค่าคงตัวเวลาท้าย

สำหรับรูปคลื่นกระแสไฟฟ้าของช่วงจังหวะสั้นลำดับแรกและช่วงจังหวะสั้นลำดับหลัง สำหรับ LPL ต่างกัน ใช้พารามิเตอร์ซึ่งกำหนดไว้ในตารางที่ ข.1 เส้นโค้งวิเคราะห์หมีแสดงไว้ในรูปที่ ข.1 ถึงรูปที่ ข.4

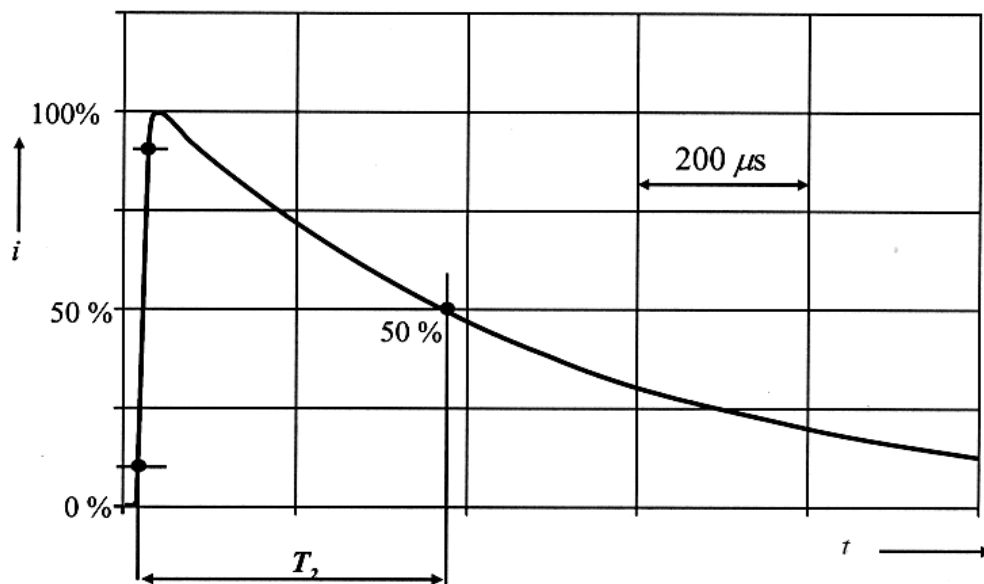
ตารางที่ ข.1 พารามิเตอร์สำหรับสมการ ข.1

(ข้อ ข.1)

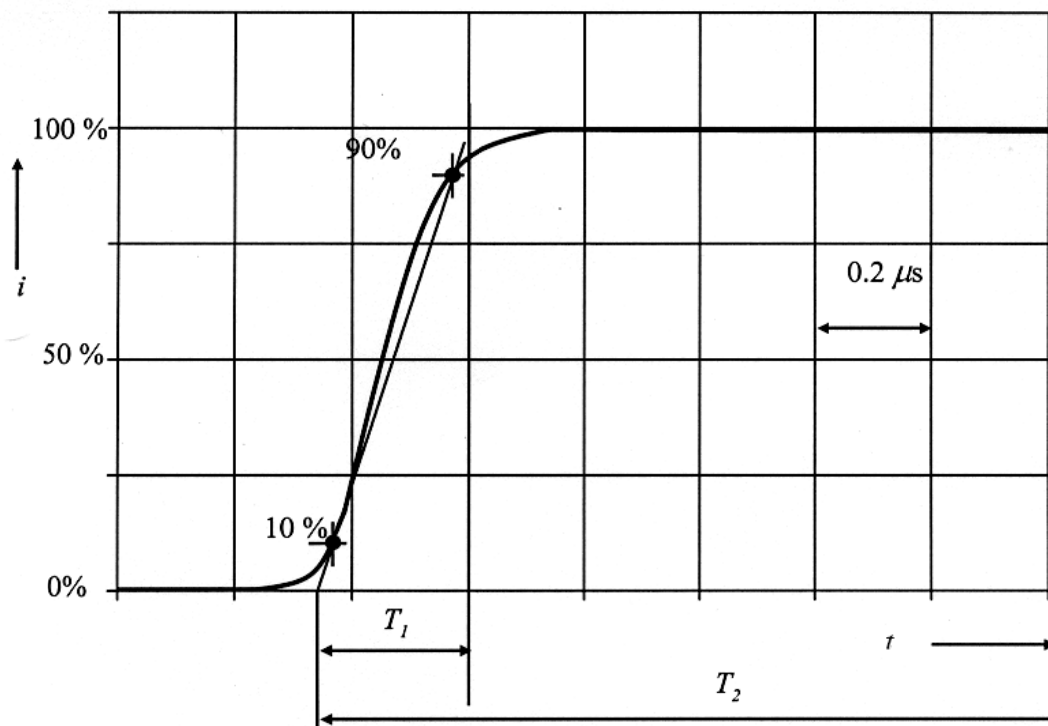
พารามิเตอร์	ช่วงจังหวะสั้นลำดับแรก			ช่วงจังหวะสั้นลำดับหลัง		
	LPL			LPL		
	I	II	III-IV	I	II	III-IV
I (kA)	200	150	100	50	37.5	25
k	0.93	0.93	0.93	0.993	0.993	0.993
τ_1 (μs)	19	19	19	0.454	0.454	0.454
τ_2 (μs)	485	485	485	143	143	143



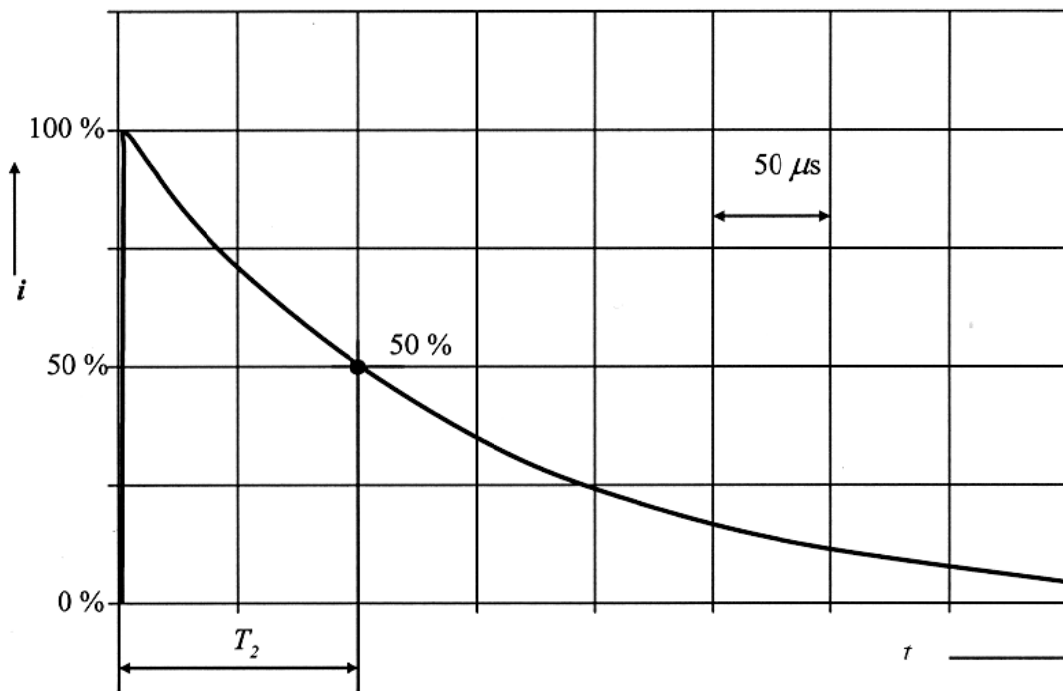
รูปที่ ข.1 รูปคลื่นของส่วนเพิ่มกระแสไฟฟ้าของช่วงจังหวะสั้นลำดับแรก
(ข้อ ข.1)



รูปที่ ข.2 รูปคลื่นของส่วนท้ายกระแสไฟฟ้าของช่วงจังหวะสั้นลำดับแรก
(ข้อ ข.1)



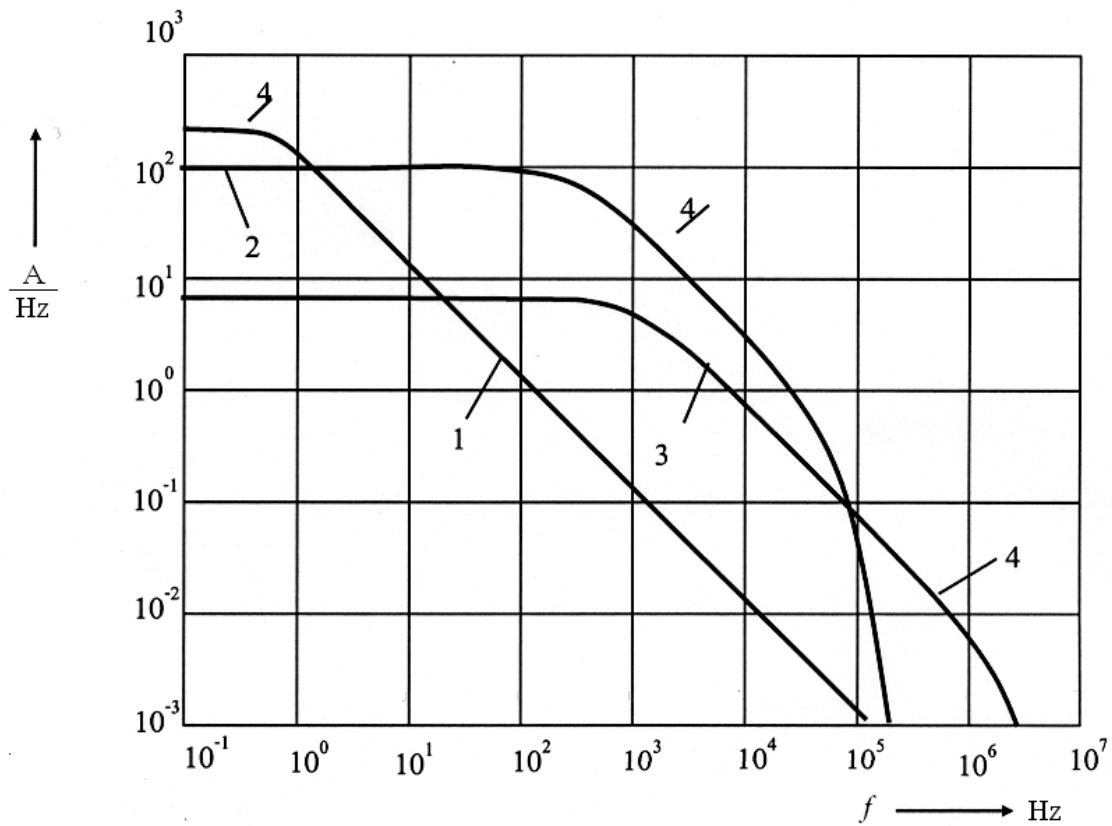
รูปที่ ข.3 รูปคลื่นของส่วนเพิ่มกระแสไฟฟ้าของช่วงจังหวะสั้นลำดับหลัง
(ข้อ ข.1)



รูปที่ ข.4 รูปคลื่นของส่วนท้ายกระแสไฟฟ้าของช่วงจังหวะสั้นลำดับหลัง
(ข้อ ข.1)

ช่วงจังหวะยาวสามารถแสดงได้โดยรูปคลื่นสี่เหลี่ยมผืนผ้ามีกระแสไฟฟ้าเฉลี่ย I และช่วงเวลาของกระแสช่วงจังหวะยาว T_{long} ตามตารางที่ 5

จากเส้นโค้งวิเคราะห์, สามารถคำนวณหาความหนาแน่นแอมพลิจูดของกระแสไฟฟ้า (รูปที่ ข.5)



1	ช่วงจังหวะยาว	400 A	0.5 s
2	ช่วงจังหวะสั้นลำดับแรก	200 kA	10/350 μ s
3	ช่วงจังหวะสั้นลำดับหลัง	50 kA	0.25/100 μ s
4	เส้นโค้งล้อมรอบ		

รูปที่ ข. 5 ความหนาแน่นแอมพลิจูดของกระแสไฟฟ้าตาม LPL I
(ข้อ ข.1)

ภาคผนวก ก.

(ข้อแนะนำ)

การจำลองของกระแสไฟฟ้าสำหรับการทดสอบ

(ข้อ 4.)

ก.1 ทัวไป

ถ้าวัตถุถูกฟ้าผ่า, กระแสไฟฟ้าจะกระจายภายในวัตถุนั้น เมื่อทดสอบส่วนประกอบตามมาตรการการป้องกันแยกเป็นส่วน ๆ ต้องเลือกพารามิเตอร์ทดสอบให้เหมาะสมกับส่วนประกอบแต่ละส่วน ต้องมีการวิเคราะห์ทั้งระบบในขั้นสุดท้าย

ก.2 การจำลองของพลังงานจำเพาะของช่วงจังหวะสั้นลำดับแรกและประจุของช่วงจังหวะยาว

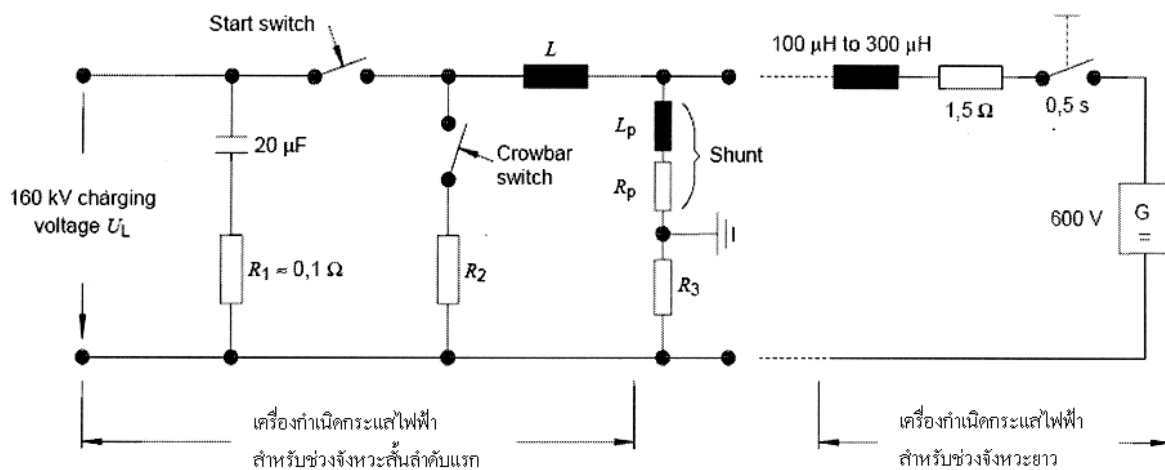
พารามิเตอร์ทดสอบมีนิยามไว้ในตารางที่ ก.1 และตารางที่ ก.2 และตัวอย่างเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทดสอบมีแสดงไว้ในรูปที่ ก. 1 อาจใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้านี้เพื่อจำลองพลังงานจำเพาะของช่วงจังหวะสั้นลำดับแรกร่วมเป็นชุดกับประจุของช่วงจังหวะยาว

อาจใช้การทดสอบดังกล่าว เพื่อประเมินผลกระทบที่ปลอดภัยจากการเกิดความร้อนและการหลอมเหลวอันไม่พึงประสงค์ตามสภาพทางกลทั้งระบบไม่แยกส่วน (mechanical integrity)

พารามิเตอร์ทดสอบเกี่ยวข้องกับพลังงานจำเพาะของช่วงจังหวะสั้นลำดับแรก (ค่าพิก I , พลังงานจำเพาะ W/R และประจุ Q_s) มีกำหนดให้ไว้ในตารางที่ ก.1 พารามิเตอร์ทดสอบเหล่านี้ต้องได้จากอิมพัลส์เดียวกัน ซึ่งสามารถทำให้บรรลุได้โดยการลดระดับกระแสไฟฟ้าลงแบบเอ็กซ์โปเนนเชียลโดยประมาณด้วย T_2 ในพิสัย 350 ไมโครวินาที

พารามิเตอร์ทดสอบเกี่ยวข้องกับพลังงานจำเพาะของช่วงจังหวะยาว (ประจุ Q_{long} และช่วงเวลา T) มีกำหนดให้ไว้ในตารางที่ ก.2

สามารถใช้การทดสอบเดี่ยว ๆ หรือใช้การทดสอบร่วมเป็นชุด สำหรับช่วงจังหวะสั้นลำดับแรกหรือช่วงจังหวะยาว โดยขึ้นอยู่กับชิ้นทดสอบ (test item) และขบวนการปฏิบัติความเสียหายที่คาดหวัง (expected damage mechanism) เมื่อช่วงจังหวะยาวตามช่วงจังหวะสั้นลำดับแรกทันที การทดสอบเพื่อการหลอมเหลวจากอาร์ก (arc melting) สมควรทำโดยการใช้สภาพชั่วไฟฟ้าทั้งสองขั้ว



หมายเหตุ ใช้ค่าเหล่านี้กับ LPL I

รูปที่ ค.1 ตัวอย่างเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทดสอบสำหรับการจำลองของพลังงานจำเพาะ
ของช่วงจังหวะสั้นลำดับแรกและประจุของช่วงจังหวะยาว
(ข้อ ค.2)

ตารางที่ ค. 1 พารามิเตอร์ทดสอบของช่วงจังหวะสั้นลำดับแรก
(ข้อ ค.2)

พารามิเตอร์ทดสอบ	LPL			เกณฑ์ความคลาดเคลื่อน %
	I	II	III - IV	
ค่าพิกัด I (kA)	200	150	100	± 10
ประจุ Q_s (C)	100	75	50	± 20
พลังงานจำเพาะ W/R (MJ/Ω)	10	5.6	2.5	± 35

ตารางที่ ค. 2 พารามิเตอร์ทดสอบของช่วงจังหวะยาว
(ข้อ ค.2)

พารามิเตอร์ทดสอบ	LPL			เกณฑ์ความคลาดเคลื่อน %
	I	II	III - IV	
ประจุ Q_{long} (C)	200	150	100	± 20
ช่วงเวลา T (s)	0.5	0.5	0.5	± 10

ค.3 การจำลองของความชันกระแสไฟฟ้าหน้าของช่วงจังหวะสั้น

ความชันของกระแสไฟฟ้าหน้า กำหนดแรงดันเหนี่ยวนำทางแม่เหล็กในวงรอบซึ่งติดตั้งใกล้ตัวนำที่นำพากระแสไฟฟ้า

ความชันกระแสไฟฟ้าของช่วงจังหวะสั้น นิยามเป็นการเพิ่มขึ้นของกระแสไฟฟ้า Δi ในระหว่างเวลาที่เพิ่มขึ้น Δt (รูปที่ ค.2) พารามิเตอร์ทดสอบเกี่ยวข้องเนื่องสำหรับการจำลองของความชันกระแสไฟฟ้าหน้าเช่นนี้มีกำหนดให้ไว้ตารางที่ ค.3 ตัวอย่างเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทดสอบมีแสดงไว้ในรูปที่ ค.3 และรูปที่ ค.4 (ซึ่งอาจใช้จำลองความชันหน้าของกระแสไฟฟ้าเข้าร่วมกับฟ้าผ่าที่ผ่าโดยตรง) การจำลองดังกล่าวอาจทำขึ้นสำหรับช่วงจังหวะสั้นลำดับแรกและช่วงจังหวะสั้นลำดับหลัง

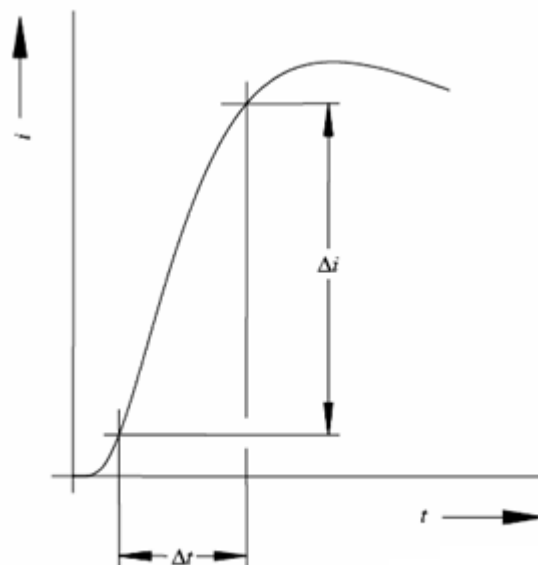
หมายเหตุ การจำลองนี้ครอบคลุมความชันกระแสไฟฟ้าหน้าของช่วงจังหวะสั้น ฟ้าผ่าของกระแสไฟฟ้าไม่มีผลกระทบต่อ การจำลองชนิดนี้

อาจใช้การจำลองตามข้อ ค.3 อย่างอิสระหรือใช้ร่วมเป็นชุดกับการจำลองตามข้อ ค.2

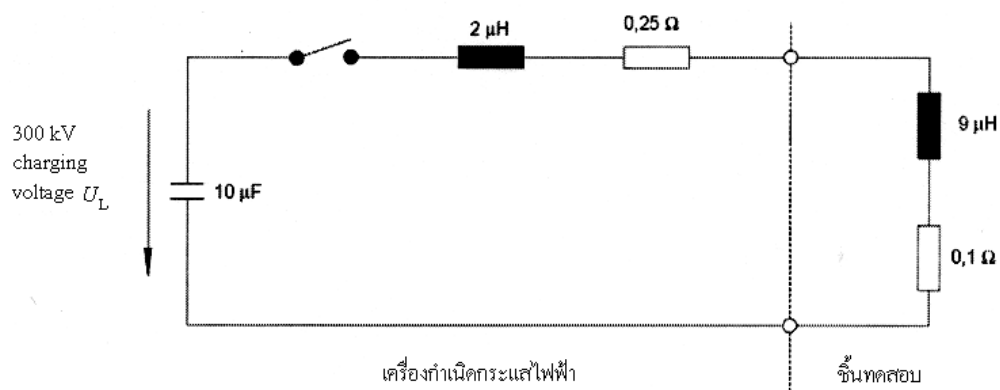
ข้อแนะนำเพิ่มเติมเกี่ยวกับพารามิเตอร์ทดสอบ ซึ่งจำลองผลกระทบของฟ้าผ่าต่อส่วนประกอบ LPS ตามภาคผนวก ง.

ตารางที่ ค.3 พารามิเตอร์ทดสอบของช่วงจังหวะสั้น
(ข้อ ค.3)

พารามิเตอร์ทดสอบ	LPL			เกณฑ์ความคลาดเคลื่อน %
	I	II	III - V	
ช่วงจังหวะสั้นลำดับแรก				
Δi (kA)	200	150	100	±10
Δt (μs)	10	10	10	±20
ช่วงจังหวะสั้นลำดับหลัง				
Δi (kA)	50	37.5	25	±10
Δt (μs)	0.25	0.25	0.25	±20

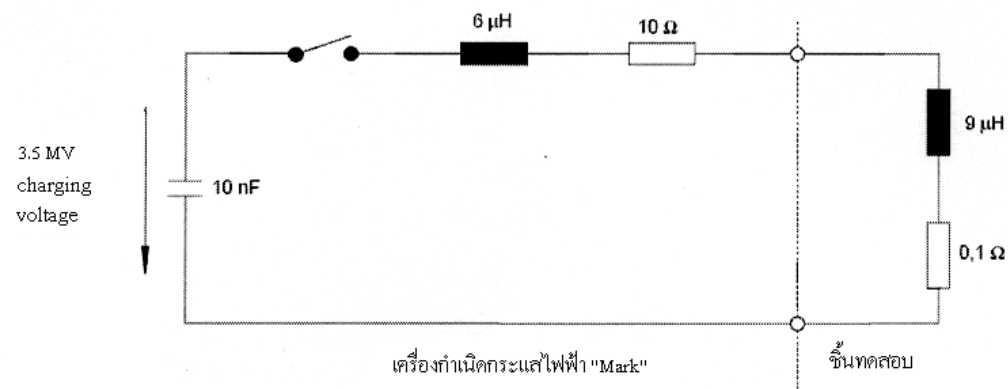


รูปที่ ค. 2 นิยามสำหรับความชันกระแสไฟฟ้าตามตารางที่ ค.3
(ข้อ ค.3)



หมายเหตุ ใช้ค่าเหล่านี้กับ LPL I

รูปที่ ค. 3 ตัวอย่างเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทดสอบสำหรับการจำลองของความชันหน้า
ของช่วงจังหวะสั้นลำดับแรกสำหรับชั้นทดสอบขนาดใหญ่
(ข้อ ค.3)



หมายเหตุ ใช้ค่าเหล่านี้กับ LPL I

รูปที่ ก.4 ตัวอย่างเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทดสอบสำหรับการจำลองความชันหน้า
ของช่วงจังหวะสั้นลำดับหลังสำหรับชั้นทดสอบขนาดใหญ่
(ข้อ ก.3)

ภาคผนวก ง.

(ข้อแนะนำ)

พารามิเตอร์ทดสอบซึ่งจำลองผลกระทบของฟ้าผ่าต่อส่วนประกอบ LPS

(ข้อ 4., ข้อ 8.1 และข้อ ก.3)

ง.1 ทัวไป

ภาคผนวก ง. นี้กำหนดพารามิเตอร์พื้นฐานที่ต้องใช้ในห้องปฏิบัติการเพื่อจำลองผลกระทบของฟ้าผ่า ภาคผนวกนี้ครอบคลุมส่วนประกอบทุกส่วนของ LPS ซึ่งรับกระแสฟ้าผ่าส่วนมากหรือทั้งหมด และต้องใช้ร่วมกับมาตรฐานซึ่งระบุข้อกำหนดและข้อทดสอบสำหรับส่วนประกอบจำเพาะแต่ละส่วน

หมายเหตุ พารามิเตอร์เกี่ยวข้องกับแนวคิดเชิงระบบ (เช่น เพื่อการประสาน (coordination) ของอุปกรณ์ป้องกันลัดจ์ เป็นต้น) ไม่มีการพิจารณาในภาคผนวกนี้

ง.2 พารามิเตอร์กระแสฟ้าผ่าเกี่ยวกับจุดฟ้าผ่า

โดยทั่วไป พารามิเตอร์กระแสฟ้าผ่าซึ่งมีบทบาทเป็นระบบรวมไม่แยกส่วนทางกายภาพ (physical integral) ของ LPS คือ ค่าพิค I , ประจุ Q , พลังงานจำเพาะ W/R , ช่วงเวลา T และความชันเฉลี่ยของกระแสฟ้าผ่า di/dt พารามิเตอร์กระแสฟ้าผ่าแต่ละตัวมักมีความสำคัญต่อขบวนการปฏิกิริยาความล้มเหลวต่างกันตามที่ได้วิเคราะห์ในรายละเอียดต่อไปนี้ พารามิเตอร์กระแสฟ้าผ่าที่ต้องพิจารณาสำหรับการทดสอบ คือ ชุดของค่าเหล่านี้ ซึ่งถูกเลือกเป็นตัวแทนในห้องปฏิบัติการ ในการทดสอบขบวนการปฏิกิริยาความล้มเหลวจริงของส่วนของ LPS เกณฑ์สำหรับการเลือกปริมาณที่ยังไม่ข้อยุติมีกำหนดไว้ในข้อ ง.5

ตารางที่ ง.1 บันทึกค่าสูงสุดของ I , Q , W/R , T และ di/dt ที่ต้องพิจารณาเพื่อการทดสอบ เป็นฟังก์ชันของระดับการป้องกันฟ้าผ่าตามที่กำหนด

ตารางที่ ง.1 สรุปพารามิเตอร์ภัยคุกคามฟ้าผ่าที่ต้องพิจารณาในการคำนวณ
ค่าทดสอบสำหรับส่วนประกอบ LPS ต่างกันและสำหรับ LPL ต่างกัน
(ข้อ ง.2 และข้อ ง.7)

ส่วนประกอบ	ปัญหาสำคัญ	พารามิเตอร์ภัยคุกคามฟ้าผ่า					หมายเหตุ
สิ่งต่อปลายทาง อากาศ	การกร่อนที่ จุดเชื่อมต่อ (เช่น แผ่นโลหะ บาง เป็นต้น)	LPL	Q_{long} (C)	T			
		I	200	$< 1\text{ s}$ (ใช้			
		II	150	Q_{long} ใน			
		III - IV	100	ครั้งเดียว)			
สิ่งต่อปลายทาง อากาศและ ตัวนำลง	การเกิดความร้อน โอห์ม	LPL	W/R (kJ/ Ω)	T			มิติกำหนดตาม IEC 62305-3 ไม่ จำเป็นต้อง ทดสอบ
		I	10 000	ใช้ W/R ใน			
		II	5 600	โครงแบบ			
		III - IV	2 500	แอเดียเบติก			
	ผลกระทบทาง กล	LPL	I (kA)	W/R (kJ/ Ω)			
		I	200	10 000			
ส่วนประกอบ การต่อ	ผลกระทบร่วม เป็นชุด (ทางความร้อน, ทางกล และการอาร์ก)	II	150	5 600			
		III - IV	100	2 500			
		LPL	I (kA)	W/R (kJ/ Ω)	T		
		I	200	10 000	$< 2\text{ms}$ (ใช้ I และ W/R ใน พัลส์เดียว)		
สิ่งต่อปลาย ทางดิน	การกร่อนที่ จุดเชื่อมต่อ	II	150	5 600			โดยปกติ มิติ กำหนดได้จาก ลักษณะทางเคมี/ ทางกล (เช่น การ กัดกร่อน เป็นต้น)
		III - IV	100	2 500			
		LPL	Q_{long} (C)	T			
		I	200	$< 1\text{ s}$ (ใช้			
SPDs ประกอบด้วย ช่องว่างประกาย ไฟ	ผลกระทบร่วม เป็นชุด(ทาง ความร้อน, ทาง กล และการ อาร์ก)	II	150	75			ใช้ I , Q_{short} และ W/R ในพัลส์เดียว (ช่วงเวลา $T < 2\text{ ms}$); ใช้ di/dt ในพัลส์ แยก
		III - IV	100	50			
		LPL	I (kA)	Q_{short} (C)	W/R (kJ/ Ω)	di/dt (kA/ μs)	
		I	200	100	10 000	200	
SPDs ประกอบด้วย ก้อนต้านทาน โลหะ-ออกไซด์ (metal-oxide resistor block)	ผลกระทบ พลังงาน(โหลด เกิน)	II	150	75			จำเป็นต้อง ตรวจสอบทั้งสอง ลักษณะ
		III - IV	50				
		LPL	Q_{short} (C)				
		I	100				
	ผลกระทบ ไดอิเล็กตริก (วาวไฟตามผิว/ แตกร้าว)	LPL	I (kA)	T			สามารถ พิจารณาทดสอบ แยก
		I	200	$< 2\text{ ms}$ (ใช้ I ใน พัลส์เดียว			
		II	150				
		III - IV	100				

ง.3 การแบ่งส่วนกระแสไฟฟ้า

พารามิเตอร์ซึ่งกำหนดไว้ในตารางที่ ง.3 เกี่ยวเนื่องกับกระแสไฟฟ้าที่จุดไฟฟ้า ในความเป็นจริงกระแสไฟฟ้าไหลถึงดินผ่านเส้นทางมากกว่า 1 เส้นทาง ตามปกติมีตัวนำลงและตัวนำธรรมชาติหลายเส้นใน LPS ภายนอก ยิ่งกว่านั้นโดยปกติยังมีสิ่งบริวารต่างกันเดินเข้าโครงสร้างถูกป้องกัน (เช่น ท่อน้ำและท่อแก๊ส, สายไฟฟ้ากำลัง และสายไฟฟ้าสื่อสาร เป็นต้น) สำหรับการกำหนดพารามิเตอร์ของกระแสไฟฟ้าจริงที่ไหลในส่วนประกอบจำเพาะของ LPS ต้องคำนึงถึงการแบ่งส่วนของกระแสไฟฟ้า นิยมหาค่าแอมพลิจูดกระแสไฟฟ้าและรูปคลื่นผ่านส่วนประกอบที่ตำแหน่งจำเพาะของ LPS ถ้าไม่สามารถหาค่าเป็นรายตัวได้ อาจหาค่าพารามิเตอร์กระแสไฟฟ้าโดยลำดับขั้นตอนต่อไปนี้

สำหรับการหาค่าของการแบ่งส่วนกระแสไฟฟ้าภายใน LPS ภายนอก, อาจปรับใช้ตัวประกอบโครงแบบ (configuration factor) k_c (ดู IEC 62305-3 Annex C) ตัวประกอบนี้ให้ค่าประมาณของการแบ่งส่วนกระแสไฟฟ้าไหลในตัวนำลงของ LPS ภายนอก ภายใต้ภาวะเลวที่สุด

ส่วนการหาค่าของการแบ่งส่วนกระแสไฟฟ้าในขณะมีส่วนนำกระแสภายนอก และสายไฟฟ้ากำลังและสายไฟฟ้าสื่อสารซึ่งต่อถึงโครงสร้างถูกป้องกัน อาจนำค่าประมาณของ k_c และ k'_c ซึ่งพิจารณาตามภาคผนวก จ. มาปรับใช้

แนวอธิบายข้างต้น ใช้ค่าพิกที่ไหลในเส้นทางเฉพาะ 1 เส้นทางถึงดิน การคำนวณหาพารามิเตอร์อื่นของกระแสไฟฟ้า ทำได้ดังนี้

$$I_p = kI \quad (ง.1)$$

$$Q_p = kQ \quad (ง.2)$$

$$(W/R)_p = k^2 (W/R) \quad (ง.3)$$

$$(di/dt)_p = k (di/dt) \quad (ง.4)$$

เมื่อ

x_p คือ ค่าของปริมาณที่พิจารณา (ค่าพิก I_p , ประจุ Q_p , พลังงานจำเพาะ $(W/R)_p$, ความชันกระแสไฟฟ้า $(di/dt)_p$) เกี่ยวเนื่องกับเส้นทางโดยเฉพาะถึงดิน “p”

x คือ ค่าของปริมาณที่พิจารณา (ค่าพิก I , ประจุ Q , พลังงานจำเพาะ (W/R) , ความชันกระแสไฟฟ้า (di/dt)) เกี่ยวเนื่องกับกระแสไฟฟ้าโดยรวม

K คือ ตัวประกอบการแบ่งส่วนกระแสไฟฟ้า (current sharing factor)

k_c คือ ตัวประกอบการแบ่งส่วนกระแสไฟฟ้าสำหรับ LPS ภายนอก (ดู IEC 62305-3 Annex C)

k_c, k'_c คือ ตัวประกอบการแบ่งส่วนกระแสฟ้าผ่าในกรณีมีส่วนนำกระแสภายนอก สายไฟฟ้ากำลังและสายไฟฟ้าสื่อสารที่ต่อกับโครงสร้างถูกป้องกัน (ดูภาคผนวก จ.)

ง.4 ผลกระทบของกระแสฟ้าผ่าที่ทำให้เกิดความเสียหายซึ่งเป็นไปได้

ง.4.1 ผลกระทบทางความร้อน

ผลกระทบทางความร้อนที่เชื่อมโยงกับกระแสฟ้าผ่าเกี่ยวเนื่องกับการเกิดความร้อนความต้านทาน (resistive heating) ซึ่งเกิดจากการไหลวน (circulation) ของกระแสไฟฟ้า (electric current) ไหลผ่านความต้านทานของตัวนำหรือเข้าไปใน LPS ผลกระทบทางความร้อนยังเกี่ยวเนื่องกับความร้อนซึ่งเกิดขึ้นในรากของอาร์ก (root of the arc) ที่จุดเชื่อมต่อ และ ในส่วนแยกเดี่ยว (isolated part) ทุกส่วนของ LPS ซึ่งก่อให้เกิดการพัฒนาอาร์กขึ้น (เช่น ช่องว่างประกายไฟ เป็นต้น) อีกด้วย

ง.4.1.1 การเกิดความร้อนความต้านทาน

ความร้อนความต้านทานเกิดขึ้นในส่วนประกอบใดของ LPS ซึ่งนำพาส่วนสำคัญของกระแสฟ้าผ่า พื้นที่หน้าตัดต่ำสุดของตัวนำต้องเพียงพอเพื่อป้องกันการเกิดความร้อนเกินของตัวนำถึงระดับซึ่งอาจมีความเสี่ยงอันตรายจากไฟต่อสิ่งอยู่โดยรอบ แม้ว่าลักษณะทางความร้อน (thermal aspect) มีกล่าวไว้ตามข้อ ง.4.1 แล้ว ก็ต้องพิจารณาเกณฑ์ความคงทนและความทนทางกลสำหรับส่วนซึ่งเปิดโล่งต่อภาวะบรรยากาศและ/หรือการกัดกร่อน บางครั้งจำเป็นต้องหาค่าของการเกิดความร้อนที่ตัวนำเนื่องจากการไหลของกระแสฟ้าผ่า ในกรณีที่มีปัญหาความเสี่ยงด้านการบาดเจ็บของคนและด้านอัคคีภัยหรือการระเบิด

คำแนะนำต่อไปนี้จะช่วยให้หาค่าอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นของตัวนำซึ่งรับกระแสฟ้าผ่าไหลผ่าน ดังวิธีการวิเคราะห์แสดงไว้ข้างล่างนี้

กำลังไฟฟ้าขณะที่จะกระจายสูญเสียไปเป็นความร้อนในตัวนำ เนื่องจากกระแสไฟฟ้าแสดงได้เป็น

$$P(t) = i^2 R \quad (ง.5)$$

พลังงานทางความร้อนซึ่งเกิดขึ้นโดยพัลส์ฟ้าผ่าสมบูรณ์ ก็คือ ความต้านโอห์มของเส้นทางฟ้าผ่า (lightning path) ผ่านส่วนประกอบ LPS ที่พิจารณา คูณด้วย พลังงานจำเพาะของพัลส์ฟ้าผ่า พลังงานนี้มีหน่วยเป็นจูล (J) หรือ วัตต์ต่อวินาที (W/s) ดังนี้

$$W = R \cdot \int i^2 \cdot dt \quad (ง.6)$$

ในการปล่อยประจุฟ้าผ่า ช่วงระยะพลังงานจำเพาะสูง (high specific energy phase) ของวาบฟ้าผ่ามีช่วงเวลาสั้นมากจนความร้อนที่เกิดขึ้นในโครงสร้างกระจาย (dispersed) ไปได้อย่างมีนัยสำคัญ ปรากฏการณ์เช่นนี้ถือว่าเป็น แอเดียแบติก

อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นของตัวนำของ LPS สามารถหาค่าได้ดังนี้

$$\theta - \theta_0 = \frac{1}{\alpha} \left[\exp \frac{\frac{W}{R} \cdot \alpha \cdot \rho_0}{q^2 \cdot \gamma \cdot C_w} - 1 \right] \quad (3.7)$$

เมื่อ

$\theta - \theta_0$ = อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นของตัวนำ เป็น K

α = สัมประสิทธิ์อุณหภูมิของความต้านทาน เป็น 1/K

W/R = พลังงานจำเพาะของกระแสไฟฟ้าอิมพัลส์ เป็น J/ Ω

ρ_0 = ความต้านทานโอห์มจำเพาะของตัวนำที่อุณหภูมิโดยรอบ เป็น Ωm

q = พื้นที่หน้าตัดของตัวนำ เป็น m^2

γ = ความหนาแน่นวัสดุ เป็น kg/m^3

C_w = ความจุทางความร้อน เป็น J/kgK

θ_s = อุณหภูมิหลอมเหลว เป็น $^{\circ}C$

ค่าลักษณะเฉพาะของพารามิเตอร์ทางกายภาพตามสมการ ง. 7 สำหรับวัสดุต่างกันซึ่งใช้ใน LPS นั้นมีบันทึกไว้ในตารางที่ ง. 2 ส่วนตารางที่ ง.3 เป็นตัวอย่างการใช้สมการ ง. 7 แสดงอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นของตัวนำซึ่งทำจากวัสดุต่างกัน เป็นฟังก์ชันของ W/R และของพื้นที่หน้าตัดตัวนำ

ช่วงจังหวะฟ้าผ่า ต้นแบบแยกลักษณะเฉพาะได้โดยช่วงจังหวะเวลาสั้น (เวลาถึงครึ่งค่าเป็นสองสามร้อยไมโครวินาที) และ**ค่าพีกสูง** (high current peak value) ภายใต้พฤติกรรมเช่นนี้สมควรคำนึงถึงปรากฏการณ์เชิงผิว (skin effect) ด้วย อย่างไรก็ตามกรณีที่เป็นไปได้ในทางปฏิบัติส่วนมากมักเชื่อมโยงกับส่วนประกอบ LPS, ลักษณะเฉพาะวัสดุ (ความซาบซึมได้แม่เหล็กเชิงพลวัต (dynamic magnetic permeability) ของ LPS) และโครงแบบทางเรขาคณิต (พื้นที่หน้าตัดของตัวนำ LPS) ก็จะลดการมีส่วนเสริมของปรากฏการณ์เชิงผิวด้านอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นของตัวนำลงเหลือระดับไม่ต้องนำมาพิจารณา

ส่วนประกอบของวาบฟ้าผ่าส่วนมากเกี่ยวเนื่องกับขบวนการปฏิกิริยาการเกิดความร้อน (heating mechanism) นี้ ได้แก่ ช่วงจังหวะย้อนกลับลำดับแรก (first return stroke)

ตารางที่ ง. 2 ลักษณะเฉพาะทางกายภาพของวัสดุต้นแบบซึ่งใช้ในส่วนประกอบ LPS

(ข้อ ง.4.1.1 และข้อ ง.4.1.2.2)

ปริมาณ	วัสดุ			
	อะลูมิเนียม	เหล็กกล้าอะมุน	ทองแดง	เหล็กกล้าไร้สนิม*
ρ_0 (Ωm)	29×10^{-9}	120×10^{-9}	17.8×10^{-9}	0.7×10^{-6}
α (1/K)	4.0×10^{-3}	6.5×10^{-3}	3.92×10^{-3}	0.8×10^{-3}
γ (kg/ m ³)	2 700	7 700	8 920	8×10^3
θ_s (°C)	658	1 530	1 080	1 500
C_s (J/kg)	397×10^3	272×10^3	209×10^3	-
C_w (J/kgK)	908	469	385	500
* ออสเทนนิติกไม่เป็นแม่เหล็ก (Austenitic non magnetic)				

ตารางที่ ง. 3 อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นสำหรับตัวนำมีพื้นที่หน้าตัดต่างกันเป็นฟังก์ชันของ W/R

(ข้อ ง.3 และข้อ ง.4.1.1)

พื้นที่หน้าตัด mm ²	วัสดุ											
	อะลูมิเนียม			เหล็กกล้าอะมุน			ทองแดง			เหล็กกล้าไร้สนิม*		
	W/R (MJ/ Ω)			W/R (MJ/ Ω)			W/R (MJ/ Ω)			W/R (MJ/ Ω)		
	2.5	5.6	10	2.5	5.6	10	2.5	5.6	10	2.5	5.6	10
4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10	564	-	-	-	-	-	169	542	-	-	-	-
16	146	454	-	1 120	-	-	56	143	309	-	-	-
25	52	132	283	211	913	-	22	51	98	940	-	-
50	12	28	52	37	96	211	5	12	22	190	460	940
100	3	7	12	9	20	37	1	3	5	45	100	190
* ออสเทนนิติกไม่เป็นแม่เหล็ก												

ง.4.1.2 ความเสียหายทางความร้อนจุดเชื่อมต่อ

ความเสียหายทางความร้อนจุดเชื่อมต่อสามารถสังเกตได้ที่ส่วนประกอบทุกส่วนของ LPS ซึ่งเกิดการพัฒนาารกขึ้น เช่น ระบบปลายทางอากาศ ช่องว่างประกายไฟ เป็นต้น

การหลอมเหลวและการกร่อนของวัสดุสามารถเกิดขึ้นที่จุดเชื่อมต่อ อันที่จริงในพื้นที่รากอาร์ก (arc root area) มีความร้อนปริมาณมากเข้าตรงรากอาร์กนั่นเอง และทั้งยังมีความเข้มข้นของการเกิด

ความร้อนแบบโอห์มเนื่องจากความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าสูงด้วย พลังงานทางความร้อนส่วนใหญ่เกิดขึ้นที่หรือตรงหรือใกล้กับพื้นผิวของโลหะมาก ความร้อนซึ่งเกิดขึ้นในพื้นที่รากโดยตรงมีมากเกินไปที่จะสามารถถูกดูดกลืนเข้าไปในโลหะโดยการนำและพลังงานส่วนเกินก็ไม่แผ่รังสีหรือสูญเสียไปในการหลอมโลหะหรือทำโลหะให้เป็นไอ ความรุนแรงของกระบวนการดังกล่าวเชื่อมโยงกับแอมพลิจูดกระแสไฟฟ้าและกับช่วงเวลาของกระแสไฟฟ้า

ง.4.1.2.1 ทั่วไป

แบบจำลองทางทฤษฎีสำหรับคำนวณผลกระทบทางความร้อนบนพื้นผิวโลหะที่จุดเชื่อมต่อของช่องฟ้าผ่า (lightning channel) ได้พัฒนาขึ้นแล้วหลายแบบ เพื่อประโยชน์ไม่ซับซ้อนทางวิทยาศาสตร์มาตรฐานนี้จะรายงานแต่แบบจำลองแรงดันตกแอโนด-หรือ-แคโทด (anode-or-cathode voltage drop model) การใช้งานแบบจำลองนี้มีประสิทธิภาพโดยเฉพาะสำหรับผิวโลหะบางเท่านั้น ในทุกกรณีจะได้ผลลัพธ์เชิงอนุรักษ์ (conservative result) ตามหลักที่ว่าพลังงานทั้งหมดซึ่งอัดฉีดในจุดเชื่อมต่อฟ้าผ่า (lightning attachment point) ถูกใช้หลอมเหลวหรือทำวัสดุตัวนำให้เป็นไอ การแพร่ความร้อนภายในโลหะไม่ต้องนำมาพิจารณา ให้ใช้แบบจำลองอื่นโดยขึ้นอยู่กับความเสียหายของจุดเชื่อมต่อฟ้าผ่าตามช่วงเวลาของกระแสไฟฟ้าอิมพัลส์

ง.4.1.2.2 แบบจำลองแรงดันตกแอโนด-หรือ-แคโทด

สมมุติพลังงานเข้า W ที่รากอาร์กตามที่กำหนดให้ไว้จากแรงดันตกแอโนด/แคโทด $u_{a,c}$ คูณด้วยประจุ Q ของกระแสฟ้าผ่า

$$W = \int u_{a,c} idt = u_{a,c} \int idt = u_{a,c} \cdot Q \quad (ง.8)$$

ด้วยเหตุที่ $u_{a,c}$ เป็นค่าค่อนข้างคงตัว ในฟิล์มกระแสฟ้าผ่าซึ่งพิจารณาในที่นี้ ประจุของกระแสฟ้าผ่า (Q) เป็นเหตุสำคัญต่อการแปลงผันพลังงานในรากอาร์ก

แรงดันตกแอโนด-หรือ-แคโทด $u_{a,c}$ มีค่าเฉลี่ยถึงสามสิบโวลต์

สมการ ง. 9 ใช้สมมุติฐานเชิงเดียวว่า พลังงานทั้งหมดซึ่งพัฒนาขึ้นที่รากอาร์กถูกใช้เฉพาะการหลอมโลหะเท่านั้น แต่ทำให้ได้ค่าประมาณของปริมาตรหลอมเหลวมากเกินไป

$$V = \frac{u_{a,c} Q}{\gamma} \frac{1}{C_w (\theta_s - \theta_u) + c_s} \quad (ง.9)$$

เมื่อ

V คือ ปริมาตรของโลหะซึ่งถูกหลอมเหลว เป็น m^3

$u_{a,c}$ คือ แรงดันตกแอโนด-หรือ-แคโทด (สมมติว่าคงตัว) เป็น V

Q	คือ	ประจุของกระแสไฟฟ้า เป็น C
γ	คือ	ความหนาแน่นวัสดุ เป็น kg/m^3
C_w	คือ	ความจุทางความร้อน เป็น J/kgK
θ_s	คือ	อุณหภูมิหลอมเหลว เป็น $^{\circ}\text{C}$
θ_U	คือ	อุณหภูมิโดยรอบ เป็น $^{\circ}\text{C}$
c_s	คือ	ความร้อนแฝงของการหลอมเหลว เป็น J/kg

ค่าลักษณะเฉพาะของพารามิเตอร์ทางกายภาพตามสมการ ง.9 สำหรับวัสดุต่างกันซึ่งใช้ใน LPS นั้น มีบันทึกไว้ในตารางที่ ง. 2

โดยพื้นฐาน ประจุที่ต้องพิจารณา คือ ผลรวมของประจุของช่วงจังหวะย้อนกลับ กับกระแสไฟฟ้าต่อเนื่อง จากประสบการณ์ในห้องปฏิบัติการแสดงให้เห็น (revealed) ว่า ผลกระทบของประจุช่วงจังหวะย้อนกลับมีผลเล็กน้อยเมื่อเทียบกับผลกระทบของกระแสไฟฟ้าต่อเนื่อง

ง.4.2 ผลกระทบทางกล

ผลกระทบทางกลซึ่งเกิดจากกระแสไฟฟ้า ขึ้นอยู่กับแอมพลิจูดและช่วงเวลาของกระแสไฟฟ้า และทั้งลักษณะเฉพาะช่วงยืดหยุ่นของโครงสร้างทางกลซึ่งได้รับผลร้ายด้วย ผลกระทบทางกลยังขึ้นอยู่กับแรงเสียดทานระหว่างส่วนต่าง ๆ ของ LPS ซึ่งกระทำต่อกันและกัน

ง.4.2.1 ปฏิสัมพันธ์แม่เหล็ก (magnetic interaction)

แรงแม่เหล็กเกิดขึ้นระหว่าง ตัวนำนำพากระแส (current-carrying conductor) 2 เส้น, หรือแม้มีตัวนำนำพากระแสเพียง 1 เส้น ประกอบขึ้นเป็นมุมหรือเป็นวงรอบ

เมื่อกระแสไฟฟ้าไหลผ่านวงจร, แอมพลิจูดของแรงพลศาสตร์ไฟฟ้าซึ่งพัฒนาขึ้นที่ตำแหน่งต่าง ๆ ของวงจรขึ้นอยู่กับทั้งแอมพลิจูดของกระแสไฟฟ้าและโครงสร้างทางเรขาคณิตของวงจร อย่างไรก็ตาม ผลกระทบทางกลของแรงเหล่านี้ไม่ขึ้นอยู่กับแอมพลิจูดของกระแสไฟฟ้าเท่านั้น แต่ยังขึ้นอยู่กับรูปคลื่นทั่วไปของกระแสไฟฟ้า, ช่วงเวลา, และทั้งด้านโครงสร้างทางเรขาคณิตของสิ่งติดตั้งด้วย

ง.4.2.1.1 แรงพลศาสตร์ไฟฟ้า

แรงพลศาสตร์ไฟฟ้าพัฒนาจากกระแสไฟฟ้า i ไหลเข้าในตัวนำที่มีส่วนขนานกันยาวซึ่งยาว l และระยะห่าง d (วงรอบที่ยาวและเล็ก) ตามที่แสดงไว้ในรูปที่ ง. 1 สามารถคำนวณค่าประมาณได้โดยสมการต่อไปนี้

$$F(t) = \frac{\mu_0}{2\pi} i^2(t) \frac{l}{d} = 2 \cdot 10^{-7} i^2(t) \frac{l}{d} \quad (จ.10)$$

เมื่อ

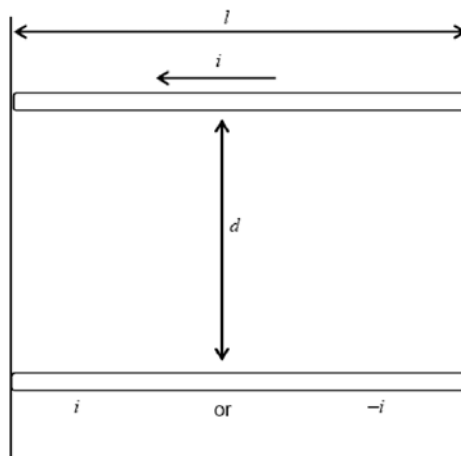
$F(t)$ คือ แรงพลศาสตร์ไฟฟ้า เป็น N

i คือ กระแสไฟฟ้า เป็น A

μ_0 คือ สภาพซาบซึมได้แม่เหล็กของที่ว่างเปล่า (สุญญากาศ) มีค่า $4\pi \times 10^{-7}$ H/m

l คือ ความยาวของตัวนำ เป็น m

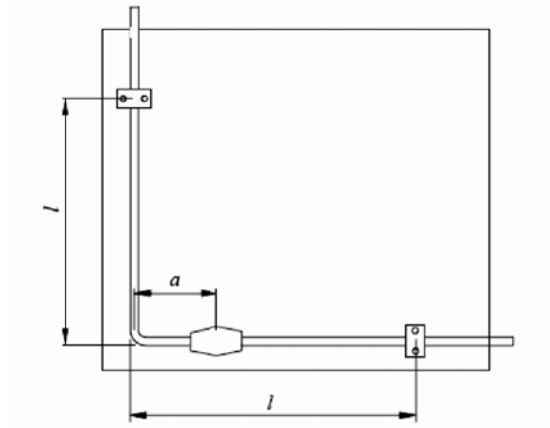
d คือ ระยะห่างระหว่างส่วนตรงของตัวนำที่ขนานกัน เป็น m



รูปที่ จ. 1 การจัดวางทั่วไปของตัวนำ 2 เส้นสำหรับการคำนวณแรงพลศาสตร์ไฟฟ้า

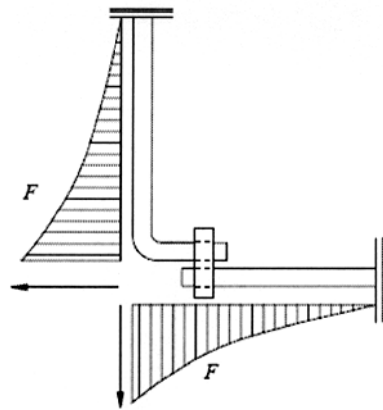
(ข้อ จ.4.2.1.1)

ใน LPS กำหนดตัวอย่างต้นแบบให้ไว้โดยการจัดวางตัวนำเป็นรูปแบบมุมสมมาตร 90 องศา มีตัวจับอยู่ตรงตำแหน่งใกล้เคียงตามที่แสดงไว้ในรูปที่ จ.2 แผนภาพของความเค้นสำหรับโครงแบบของรูปที่ จ.2 มีรายงานไว้ในรูปที่ จ.3 แรงตามแนวแกนบนตัวนำแนวระดับมีแนวโน้มดึงตัวนำออกจากตัวจับ ค่าตัวเลขของแรงตามตัวนำแนวระดับมีแสดงไว้ในรูปที่ จ.4 ได้มาจากค่าพิก 100 kA และความยาวของตัวนำแนวดิ่ง 0.5 เมตร



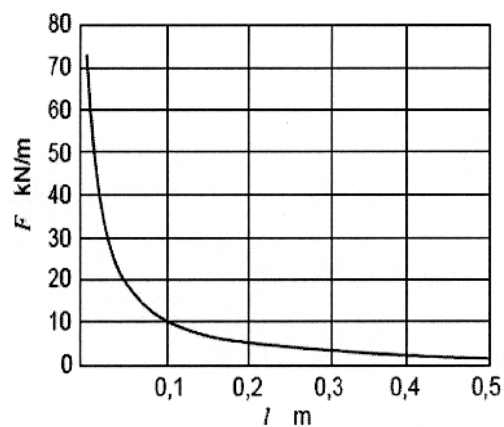
รูปที่ ง. 2 การจัดวางตัวนำดินแบบใน LPS

(ข้อ ง.4.2.1.1)



รูปที่ ง.3 แผนภาพของความเค้นสำหรับรูปแบบของรูปที่ ง.2

(ข้อ ง.4.2.1.1)



หมายเหตุ ค่าพิก 100 kA และความยาวของตัวนำแนวดิ่ง 0.5 เมตร

รูปที่ ง.4 แรงต่อหน่วยความยาวตลอดตัวนำแนวดิ่งระดับของรูปที่ ง.2

(ข้อ ง.4.2.1.1)

ง.4.2.1.2 ผลกระทบของแรงพลศาสตร์ไฟฟ้า

- ตามเงื่อนไขของแอมพลิจูดของแรงที่ใช้, ค่าขณะหนึ่งของแรงพลศาสตร์ไฟฟ้า $F(t)$ เป็นสัดส่วนกับกำลังสองของกระแสไฟฟ้าผ่านขณะหนึ่ง $I^2(t)$
- ตามเงื่อนไขของการพัฒนาความเค้นขึ้นภายในโครงสร้าง LPS ทางกล, แสดงโดยผลคูณของการผิดรูปในช่วงยืดหยุ่น (elastic deformation) $\alpha(t)$ และค่าคงตัวช่วงยืดหยุ่น (elastic constant) k ของโครงสร้าง LPS, สมควรพิจารณาผลกระทบ 2 ประการ ดังนี้

(1) ความถี่ทางกลธรรมชาติ (เชื่อมโยงกับพฤติกรรมช่วงยืดหยุ่นของโครงสร้าง LPS)

(2) การผิดรูปถาวร (permanent deformation) ของโครงสร้าง LPS (เชื่อมโยงกับพฤติกรรมช่วงพลาสติกของโครงสร้าง LPS)

เป็นพารามิเตอร์ที่มีความสำคัญมากที่สุด

- ยิ่งกว่านั้น ในหลายกรณีพบว่า ผลกระทบของแรงเสียดทานภายในโครงสร้าง LPS ก็มีความสำคัญในระดับมีนัยสำคัญ ด้วย
- แอมพลิจูดของส่วนสั่นสะเทือนของโครงสร้าง LPS ยืดหยุ่น ที่เกิดจากแรงพลศาสตร์ไฟฟ้าซึ่งพัฒนาขึ้นจากกระแสไฟฟ้า สามารถหาค่าได้โดยสมการอนุพันธ์อันดับสอง ตัวประกอบหลัก (key factor) ซึ่งเป็นอัตราส่วนระหว่าง ช่วงเวลาของกระแสไฟฟ้าอิมพัลส์ กับ คาบของการแกว่งไกวทางกลธรรมชาติ (natural mechanical oscillation) ของโครงสร้าง LPS ยืดหยุ่น ภาวะค้นพบซึ่งพบ (encountered) ในการใช้ LPS ประกอบด้วยคาบการแกว่งไกวธรรมชาติของโครงสร้าง LPS นานกว่าคาบการแกว่งไกวธรรมชาติของแรงที่ใช้มาก (ช่วงเวลาของกระแสไฟฟ้าอิมพัลส์) ในกรณีเช่นนี้ความเค้นทางกลสูงสุดเกิดขึ้นหลังจากการหยุดไหลของกระแสไฟฟ้าอิมพัลส์ และมีค่าพิกซึ่งเหลือน้อยกว่าความเค้นทางกลสูงสุดของแรงที่ใช้ ในแทบทุกกรณีความเค้นทางกลสูงสุดไม่ต้องนำมาพิจารณา
- การผิดรูปในช่วงพลาสติกเกิดขึ้นเมื่อความเค้นถึงเกินขีดจำกัดช่วงยืดหยุ่นของวัสดุ ถ้าโครงสร้าง LPS ประกอบขึ้นจากวัสดุอ่อน เช่น อะลูมิเนียม หรือ ทองแดงอ่อน เป็นต้น แรงพลศาสตร์ไฟฟ้าสามารถทำตัวนำให้ผิดรูปหักเป็นมุมหรือขาดเป็นวงรอบ ดังนั้นสมควรออกแบบส่วนประกอบ LPS ให้ทนแรงพลศาสตร์ไฟฟ้าเหล่านี้ และเผยให้เห็นพฤติกรรมช่วงยืดหยุ่นตามความจำเป็น (essentially)
- ความเค้นทางกลโดยรวมซึ่งใช้กับโครงสร้าง LPS ขึ้นอยู่กับอินทิกรัลเวลาของแรงที่ใช้และก็ขึ้นอยู่กับพลังงานจำเพาะร่วมเป็นชุดกับกระแสไฟฟ้าอิมพัลส์ อีกทั้งยังขึ้นอยู่กับรูปคลื่นของกระแสไฟฟ้าอิมพัลส์และช่วงเวลาของกระแสไฟฟ้าอิมพัลส์ (เทียบกับคาบของการแกว่งไกว

ธรรมชาติของโครงสร้าง LPS) ดังนั้นในระหว่างการทดสอบจึงต้องคำนึงถึงพารามิเตอร์ที่มีผลกระทบ (influencing parameter) เหล่านี้ทุกตัว

ง.4.2.2 ความเสียหายคลื่นเสียงกระแทก

เมื่อกระแสไฟฟ้าไหลในอาร์กจะเกิดคลื่นกระแทก ความรุนแรงของการกระแทกขึ้นอยู่กับค่าฟลักซ์และอัตราการเพิ่มขึ้นของกระแสไฟฟ้า

โดยทั่วไป ความเสียหายเนื่องจากคลื่นเสียงกระแทกไม่มีนัยสำคัญแก่ส่วนโลหะของ LPS แต่สามารถทำให้เกิดความเสียหายแก่ชิ้นส่วนอยู่โดยรอบได้

ง.4.2.3 ผลกระทบร่วมเป็นชุด

ในทางปฏิบัติ ผลกระทบทางกลและผลกระทบทางความร้อนเกิดขึ้นพร้อมกัน ถ้าการเกิดความร้อนของวัสดุของส่วนประกอบ (เช่น แท่ง ตัวจับ ฯลฯ) มีเพียงพอทำให้วัสดุดังกล่าวอ่อนตัว ก็สามารถเกิดความเสียหายมากกว่ากรณีอื่น ในกรณีรุนแรงที่สุด ตัวนำอาจหลอมเหลวโดยการระเบิดและทำให้เกิดอันตรายมากมายแก่โครงสร้างที่อยู่โดยรอบ ถ้าหน้าตัดของโลหะมีเพียงพอต่อการรับผลกระทบโดยรวมได้อย่างปลอดภัย ก็ให้ตรวจสอบเฉพาะสภาพความสมบูรณ์ทางกลเท่านั้น

ง.4.3 การเกิดประกายไฟ

โดยทั่วไป การเกิดประกายไฟจะมีความสำคัญเฉพาะในสภาพแวดล้อมไวไฟเท่านั้น: ในแทบทุกกรณีที่นำไปได้ในทางปฏิบัติ การเกิดประกายไฟไม่มีความสำคัญสำหรับส่วนประกอบ LPS

การเกิดประกายไฟสามารถเกิดได้ 2 แบบต่างกัน คือ การเกิดประกายไฟความร้อน และการเกิดประกายไฟแรงดันไฟฟ้า

- การเกิดประกายไฟความร้อน เกิดขึ้นเมื่อกระแสไฟฟ้าสูงมากถูกบังคับให้ข้ามรอยต่อระหว่างวัสดุตัวนำ 2 ชนิด การเกิดประกายไฟความร้อนส่วนมากเกิดขึ้นใกล้ขอบข้างในรอยต่อ ถ้าความดันระหว่างผิวหน้าต่ำเกินไป เนื่องจากเริ่มต้นโดย (primarily) ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าสูงและความดันระหว่างผิวหน้าไม่เพียงพอ และเพราะความเข้มของการเกิดประกายไฟความร้อนเชื่อมโยงกับพลังงานจำเพาะ ช่วงระยะวิกฤติที่สุด (most critical phase) ของฟ้าผ่า คือ ช่วงจังหวะย้อนกลับลำดับแรก
- การเกิดประกายไฟแรงดันไฟฟ้า เกิดขึ้นในกรณีที่กระแสไฟฟ้าถูกบังคับให้ไหลผ่านเส้นทางวกวน (convoluted path) เช่น ข้างในรอยต่อ เป็นต้น ถ้าแรงดันไฟฟ้าซึ่งเหนี่ยวนำขึ้นในลักษณะวงรอบสูงเกินแรงดันเสียหายฉนวนปัด (breakdown voltage) ระหว่างส่วนโลหะทั้งสอง แรงดันเหนี่ยวนำ (induced voltage) เป็นสัดส่วนกับความเหนี่ยวนำในตัวเอง คูณด้วย ความชันของกระแส

ฟ้าผ่า ดังนั้นส่วนประกอบฟ้าผ่าวิกฤติที่สุดสำหรับการเกิดประกายไฟแรงดันไฟฟ้า ก็คือ ช่วง
จังหวะลบลำดับหลัง

ง.5 ส่วนประกอบ LPS, ปัญหาเกี่ยวเนื่อง และ พารามิเตอร์ทดสอบ

ระบบการป้องกันฟ้าผ่า (LPS) ทำจากส่วนประกอบต่างกันหลายส่วน โดยแต่ละส่วนมีหน้าที่จำเพาะภายใน
ระบบการป้องกันฟ้าผ่า โดยธรรมชาติของส่วนประกอบ LPS และความจำเป็นจำเพาะซึ่งส่วนประกอบ LPS
ได้รับจึงจำเป็นต้องมีข้อพิจารณาพิเศษ เมื่อจัดเตรียมการทดสอบห้องปฏิบัติการเพื่อตรวจสอบสมรรถนะ
ของส่วนประกอบ LPS

ง.5.1 สิ่งต่อปลายทางอากาศ

ผลกระทบต่อ**ระบบปลายทางอากาศ**เกิดขึ้นจากทั้งผลกระทบทางกลและผลกระทบทางความร้อน
(ตามที่อธิบายในข้อ ง 5.2 แต่มีข้อสังเกตว่า สัดส่วนของกระแสฟ้าผ่าสูงจะไหลในตัวนำปลายทาง
อากาศซึ่งถูกผ่า) และในบางกรณียังเกิดผลกระทบการกร่อนอาร์ก โดยเฉพาะในส่วนประกอบ LPS
ธรรมชาติ เช่น ผิวหลังคาโลหะบาง (ตรงที่อาจเกิดการเจาะทะลุหรือการเพิ่มอุณหภูมิพื้นผิวด้านหลังขึ้น
เกิน) และตัวนำจึง เป็นต้น

สำหรับผลกระทบการกร่อนอาร์ก สมควรพิจารณาพารามิเตอร์ทดสอบประมาณ 2 ตัว

- ประจุของกระแสฟ้าผ่าช่วงเวลายาว (charge of long duration current)
- ช่วงเวลาของกระแสฟ้าผ่าช่วงเวลายาว

ประจุของกระแสฟ้าผ่าช่วงเวลายาว กำหนดพลังงานเข้าที่รากอาร์ก โดยเฉพาะช่วงจังหวะเวลายาว
ปรากฏว่ารุนแรงที่สุดสำหรับผลกระทบการกร่อนอาร์กนี้ ในขณะที่ช่วงจังหวะเวลาสั้นไม่ต้องนำมา
พิจารณา

ช่วงเวลาของกระแสฟ้าผ่าช่วงเวลายาว มีบทบาทสำคัญในปรากฏการณ์ถ่ายโอนความร้อนเข้าในวัสดุ
ช่วงเวลาของกระแสฟ้าผ่าช่วงเวลายาว ซึ่งใช้ในระหว่างการทดสอบต้องใกล้เคียงช่วงเวลาของช่วง
จังหวะเวลายาว (0.5 ถึง 1 วินาที)

ง.5.2 ตัวนำลง

ผลกระทบต่อตัวนำลงซึ่งเกิดจากฟ้าผ่า สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท

- ผลกระทบทางความร้อน เนื่องจากการเกิดความร้อนความต้านทาน
- ผลกระทบทางกล ที่เชื่อมโยงกับผลสะท้อนแม่เหล็ก ตรงที่กระแสฟ้าผ่าถูกแบ่งส่วนโดยตัวนำซึ่งอยู่
ที่ตำแหน่งใกล้เคียงซึ่งกันและกัน หรือ เมื่อกระแสฟ้าผ่าเปลี่ยนทิศทาง (สิ่งโค้งงอ (bends) หรือสิ่ง
ต่อระหว่างตัวนำกับตัวนำซึ่งอยู่ตรงมุมซึ่งกำหนดให้เทียบกับตัวนำอื่น)

ส่วนมาก ผลกระทบทั้ง 2 ประเภทนี้ไม่ขึ้นแก่กัน และสามารถแยกการทดสอบห้องปฏิบัติการออกจากกันได้เพื่อตรวจสอบผลกระทบแต่ละประเภท สามารถเริ่มต้นปรับใช้ได้ในทุกกรณีที่เกิดความร้อนซึ่งพัฒนาขึ้นจากกระแสไฟฟ้าไหล ไม่ทำให้ลักษณะเฉพาะทางกลเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ

ง.5.2.1 การเกิดความร้อนความต้านทาน

การคำนวณและการวัดซึ่งสัมพันธ์กับการเกิดความร้อนของตัวนำมีหน้าตัดต่างกันและวัสดุต่างกัน เนื่องจากกระแสไฟฟ้าไหลตามเส้นทางตัวนำ ได้ตีพิมพ์โดยผู้เขียนหลายคน ผลลัพธ์ส่วนมาก (main result) เป็นจุดกราฟและสูตรซึ่งสรุปไว้ในข้อ ง.4.1.1 ดังนั้นโดยทั่วไปจึงไม่จำเป็นต้องมีการทดสอบห้องปฏิบัติการเพื่อตรวจสอบพฤติกรรมของตัวนำเทียบกับอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น

ในทุกกรณีที่กำหนดให้สำหรับการทดสอบห้องปฏิบัติการ ต้องคำนึงถึงดังนี้

- พารามิเตอร์ทดสอบประธานที่ต้องพิจารณาในกรณีนี้ คือ
 - พลังงานจำเพาะ
 - ช่วงเวลากระแสไฟฟ้าอิมพัลส์ (impulse current duration)
- พลังงานจำเพาะกำหนดอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากการเกิดความร้อนจุดซึ่งเกิดจากการไหลของกระแสไฟฟ้า ค่าตัวเลขที่ต้องพิจารณา คือ ค่าตัวเลขเกี่ยวกับช่วงจังหวะลำดับแรก ข้อมูลอนุรักษ์นิยมได้มาจากการพิจารณาช่วงจังหวะบวก
- ช่วงเวลากระแสไฟฟ้าอิมพัลส์ มีผลกระทบฉับพลัน (decisive influence) ต่อกระบวนการการแลกเปลี่ยนความร้อน เทียบกับ ภาวะอุณหภูมิโดยรอบ ๆ ตัวนำที่พิจารณา ส่วนมากช่วงเวลาของกระแสไฟฟ้าอิมพัลส์มักสั้นจนกระบวนการการเกิดความร้อน ถือว่าเป็น แอเดียแบติก

ง.5.2.2 ผลกระทบทางกล

ดังที่อธิบายในข้อ ง.4.2.1 ผลสะท้อนทางกลพัฒนาขึ้นระหว่างตัวนำกับตัวนำซึ่งนำพากระแสไฟฟ้าแรงเป็นสัดส่วนกับผลคูณของกระแสไฟฟ้าซึ่งไหลในตัวนำ (หรือเป็นสัดส่วนกับกำลังสองของกระแสไฟฟ้า กรณีที่เป็นตัวนำเดี่ยวโค้งงอ) และเชื่อมโยงกับการผกผันของระยะห่างระหว่างตัวนำกับตัวนำ

ตามสถานการณ์ปกติสามารถมองเห็นผลกระทบที่เกิดขึ้นได้ เมื่อตัวนำมีทรงเป็นวงรอบหรือโค้งงอ เมื่อตัวนำเช่นนี้พากระแสไฟฟ้าก็จะต้องรับแรงทางกลซึ่งพยายามขยายวงรอบและเหยียดมุมให้ตรงและก็คดตัวนำให้โค้งออก ขนาดของแรงนี้เป็นสัดส่วนกับกำลังสองของแอมพลิจูดของกระแสไฟฟ้าอิมพัลส์ อย่างไรก็ตามสมควรทำให้ชัดเจนว่าระหว่าง แรงพลศาสตร์ไฟฟ้าซึ่งเป็นสัดส่วนกับกำลังสองของแอมพลิจูดของกระแสไฟฟ้าอิมพัลส์ กับ ความเค้นสมนัยซึ่งขึ้นอยู่กับลักษณะเฉพาะ

ช่วงยืดหยุ่นของโครงสร้าง LPS ทางกล สำหรับโครงสร้าง LPS มีความถี่ธรรมชาติต่ำโดยสัมพันธ์กับความเค้นซึ่งพัฒนาขึ้นภายในโครงสร้าง LPS สมควรต่ำกว่าแรงพลศาสตร์ไฟฟ้ามากที่สุด ในกรณีเช่นนี้ไม่จำเป็นต้องมีการทดสอบห้องปฏิบัติการเพื่อตรวจสอบพฤติกรรมทางกลของตัวนำซึ่งโค้งงอตรงมุมฉากราบเท่าที่พื้นที่หน้าตัดเป็นไปตามข้อกำหนดมาตรฐานปัจจุบัน

ในทุกกรณีที่กำหนดให้สำหรับการทดสอบห้องปฏิบัติการ (โดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับวัสดุอ่อน) ต้องคำนึงถึงข้อพิจารณาต่อไปนี้ ต้องพิจารณาพารามิเตอร์ 3 ตัว ของช่วงจังหวะย้อนกลับลำดับแรกได้แก่

- ช่วงเวลาของกระแสไฟฟ้าอิมพัลส์
- พลังงานจำเพาะของกระแสไฟฟ้าอิมพัลส์
- แอมพลิจูดของกระแสไฟฟ้าอิมพัลส์ ในกรณีที่เป็นระบบการป้องกันฟ้าผ่าไม่ยืดหยุ่น (rigid system)

ช่วงเวลาของกระแสไฟฟ้าอิมพัลส์ เทียบกับคาบของการแกว่งไกวทางกลธรรมชาติของ โครงสร้าง LPS กำหนดต้นแบบของการตอบสนองทางกลของระบบการป้องกันฟ้าผ่าเป็นการกระจัด

- (1) ถ้าช่วงเวลาของกระแสไฟฟ้าอิมพัลส์ สั้นกว่าคาบของการแกว่งไกวทางกลธรรมชาติของโครงสร้าง LPS มาก (กรณีปกติสำหรับโครงสร้าง LPS ซึ่งเกิดความเค้นจากกระแสไฟฟ้าอิมพัลส์) มวลและสภาพยืดหยุ่นของระบบการป้องกันฟ้าผ่าจะป้องกันไม่ให้เกิดการกระจัดอย่างเห็นได้ชัด และความเค้นทางกลเกี่ยวเนื่องจำต้องสัมพันธ์กับพลังงานจำเพาะของกระแสไฟฟ้าอิมพัลส์ ค่าพิกของกระแสไฟฟ้าอิมพัลส์มีผลกระทบจำกัด
- (2) ถ้าช่วงเวลาของกระแสไฟฟ้าอิมพัลส์ ใกล้เคียงกับหรือยาวกว่าคาบของการแกว่งไกวทางกลธรรมชาติของโครงสร้าง LPS การกระจัดของระบบการป้องกันฟ้าผ่าจะไวต่อรูปคลื่นของความเค้นที่ใช้มากกว่า ในกรณีนี้ค่าพิกของกระแสไฟฟ้าอิมพัลส์และพลังงานจำเพาะของกระแสไฟฟ้าอิมพัลส์จำเป็นต้องเกิดขึ้นซ้ำระหว่างการทดสอบ

พลังงานจำเพาะของกระแสไฟฟ้าอิมพัลส์ กำหนดความเค้นซึ่งทำให้เกิดการผิดรูปในช่วงพลาสติกและช่วงยืดหยุ่น (elastic and plastic deformation) ของโครงสร้าง LPS ค่าตัวเลขที่ต้องพิจารณา คือ ค่าตัวเลขเกี่ยวเนื่องกับช่วงจังหวะลำดับแรก

แอมพลิจูดของกระแสไฟฟ้าอิมพัลส์ กำหนดความยาวของการกระจัดสูงสุดของโครงสร้าง LPS ในกรณีที่เป็นการป้องกันฟ้าผ่าไม่ยืดหยุ่นซึ่งมีความถี่การแกว่งไกวธรรมชาติสูง ค่าตัวเลขที่ต้องพิจารณา คือ ค่าตัวเลขเกี่ยวเนื่องกับช่วงจังหวะลำดับแรก

ง.5.3 ส่วนประกอบการต่อ (connecting component)

ส่วนประกอบการต่อระหว่างตัวนำกับตัวนำประชิดของ LPS เป็นจุดอ่อนทางกลและทางความร้อนได้ตรงที่เกิดความเค้นสูงมาก

ในกรณีที่ตัวต่อ (connector) วางอยู่ในตำแหน่งลักษณะทำให้ตัวนำเดินตามมุมฉาก ผลกระทบอันเป็นสาระสำคัญของความเค้นเชื่อมโยงกับแรงทางกลซึ่งมีแนวโน้มยึดชุดตัวนำให้ตรงและต้านแรงเสียดทานระหว่าง ส่วนประกอบการต่อ กับ ตัวนำซึ่งกำลังดึงการต่อดังกล่าวให้ออกจากกัน มีการพัฒนาอาร์กขึ้นที่จุดต่าง ๆ ของส่วนสัมผัส (contact) ของส่วนต่างกันได้ ยิ่งกว่านั้นผลกระทบทางความร้อนซึ่งเกิดจากความเข้มของกระแสไฟฟ้าผ่านเนื้อพื้นผิวส่วนสัมผัสขนาดเล็กมีผลกระทบสังเกตได้

การทดสอบห้องปฏิบัติการแสดงว่าเป็นการยากที่จะแยกผลกระทบแต่ละอย่างออกจากกัน เนื่องจาก การเกิดการซ้อนทับซับซ้อน (complex synergism) ความแข็งแรงทางกลรับผลร้ายจากการหลอมเหลว เฉพาะที่ของพื้นที่ของส่วนสัมผัส การกระจัดสัมพัทธ์ระหว่างส่วนกับส่วนของส่วนประกอบการต่อนั้น ทำให้เกิดการพัฒนารักษ์ขึ้นและเกิดความร้อนรุนแรงต่อเนื่อง

ในกรณีที่ไม่มีแบบจำลองสมเหตุสมผลยอมรับได้ การทดสอบห้องปฏิบัติการสมควรทำให้ได้ใกล้เคียงเท่ากับพารามิเตอร์เหมาะสมของกระแสไฟฟ้าในสถานการณ์วิกฤติที่สุดเท่าที่เป็นไปได้ กล่าวคือ ต้องใช้พารามิเตอร์เหมาะสมของกระแสไฟฟ้าโดยการทดสอบทางไฟฟ้าครั้งเดียว

ในกรณีนี้ต้องพิจารณาพารามิเตอร์ 3 ตัว

- ค่าพิกของกระแสไฟฟ้าอิมพัลส์
- พลังงานจำเพาะของกระแสไฟฟ้าอิมพัลส์
- ช่วงเวลาของกระแสไฟฟ้าอิมพัลส์

ค่าพิกของกระแสไฟฟ้าอิมพัลส์ กำหนดแรงสูงสุด หรือ ถ้ำและหลังจากแรงดึงพลศาสตร์ไฟฟ้าเกินแรงเสียดทาน ความยาวของการกระจัดสูงสุดของโครงสร้าง LPS ค่าตัวเลขที่ต้องพิจารณา คือ ค่าตัวเลขเกี่ยวเนื่องกับช่วงจังหวะลำดับแรก ข้อมูลอนุรักษ์นิยมได้มาจากการพิจารณาช่วงจังหวะบวก

พลังงานจำเพาะของกระแสไฟฟ้าอิมพัลส์ กำหนดการเกิดความร้อนที่พื้นผิวสัมผัสตรงที่กระแสไฟฟ้าเข้าเนื้อพื้นที่ขนาดเล็ก ค่าตัวเลขที่ต้องพิจารณา คือ ค่าตัวเลขเกี่ยวเนื่องกับช่วงจังหวะลำดับแรก ข้อมูลอนุรักษ์นิยมได้มาจากการพิจารณาช่วงจังหวะบวก

ช่วงเวลาของกระแสไฟฟ้าอิมพัลส์ กำหนดการกระจัดสูงสุดของโครงสร้าง LPS หลังจากแรงเสียดทานเกินและมีบทบาทสำคัญในปรากฏการณ์การถ่ายโอนความร้อนเข้าในวัสดุ

ง.5.4 สิ่งต่อปลายทางดิน

ปัญหาที่แท้จริงกับอิเล็กโทรดปลายทางดิน (earth termination electrode) เชื่อมโยงกับการกักความร้อนทางเคมีและความเสียหายทางกลซึ่งเกิดจากแรงอื่นที่ไม่ใช่แรงพลศาสตร์ไฟฟ้า ในทางปฏิบัติการกร่อนของอิเล็กโทรดปลายทางดินที่รากอาร์กมีความสำคัญน้อย แต่ต้องพิจารณาด้านตรงข้ามสิ่งต่อปลายทางอากาศว่า LPS ต้นแบบมีสิ่งต่อปลายทางดินหลายส่วน กระแสฟ้าผ่าจะแบ่งส่วนระหว่างอิเล็กโทรดดินหลายแห่ง ดังนั้นจึงทำให้เกิดผลกระทบที่รากอาร์กน้อยมาก

ในกรณีนี้ต้องพิจารณาพารามิเตอร์ทดสอบประมาณ 2 ตัว

- ประจุของกระแสฟ้าผ่าอิมพัลส์ช่วงเวลายาว
- ช่วงเวลาของกระแสฟ้าผ่าอิมพัลส์ช่วงเวลายาว

ประจุของกระแสฟ้าผ่าอิมพัลส์ช่วงเวลายาว กำหนดพลังงานเข้าที่รากอาร์ก โดยเฉพาะการมีส่วนร่วมของช่วงจังหวะลำดับแรกไม่ต้องนำมาพิจารณา เนื่องจากช่วงจังหวะช่วงเวลายาวปรากฏว่ารุนแรงที่สุดสำหรับส่วนประกอบนี้

ช่วงเวลาของกระแสฟ้าผ่าอิมพัลส์ช่วงเวลายาว มีบทบาทสำคัญในปรากฏการณ์ถ่ายโอนความร้อนเข้าในวัสดุ ช่วงเวลาของกระแสฟ้าผ่าอิมพัลส์ซึ่งใช้ระหว่างการทดสอบต้องเทียบได้กับช่วงเวลาของช่วงจังหวะช่วงเวลายาว (0.5 ถึง 1 วินาที)

ง.6 อุปกรณ์ป้องกันลัด (SPD)

ผลกระทบของความเค้นต่อ SPD ซึ่งเกิดจากฟ้าผ่าขึ้นอยู่กับแบบของ SPD ว่าเป็นแบบมีช่องว่างหรือแบบไม่มีช่องว่าง

ง.6.1 SPD มีช่องว่างประกายไฟ

ผลกระทบต่อช่องว่างประกายไฟซึ่งเกิดจากฟ้าผ่าสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท

- การกร่อนของอิเล็กโทรดช่องว่างประกายไฟจาก การเกิดความร้อน การหลอมเหลว และการระเหยเป็นไอของวัสดุ
- ความเค้นทางกล ซึ่งเกิดจากคลื่นกระแทกของการคายประจุ

เป็นการยากอย่างยิ่งที่จะศึกษาค้นคว้าผลกระทบทั้งสองนี้แยกกัน เนื่องจากผลกระทบทั้งสองเชื่อมโยงกับพารามิเตอร์กระแสฟ้าผ่าประมาณโดยความสัมพันธ์ซับซ้อน

สำหรับช่องว่างประกายไฟ การทดสอบหึ่งปฏิบัติการต้องทำให้ได้ใกล้เคียงเท่ากับพารามิเตอร์เหมาะสมของกระแสฟ้าผ่าในสถานการณ์วิกฤติที่สุดเท่าที่เป็นไปได้ กล่าวคือ ต้องใช้พารามิเตอร์เหมาะสมทุกตัวของกระแสฟ้าผ่าโดยความเค้นทางไฟฟ้าครั้งเดียว

ในกรณีนี้ต้องพิจารณาพารามิเตอร์ 5 ตัว

- ค่าพิกของกระแสไฟฟ้าอิมพัลส์
- ประจุของกระแสไฟฟ้าอิมพัลส์
- ช่วงเวลาของกระแสไฟฟ้าอิมพัลส์
- พลังงานจำเพาะของกระแสไฟฟ้าอิมพัลส์
- อัตราการเพิ่มขึ้นของกระแสไฟฟ้าอิมพัลส์

ค่าพิกของกระแสไฟฟ้าอิมพัลส์ กำหนดความรุนแรงของคลื่นกระแทก ค่าตัวเลขที่ต้องพิจารณา คือ ค่าตัวเลขเกี่ยวเนื่องกับช่วงจังหวะลำดับแรก ข้อมูลอนุรักษ์นิยมได้มาโดยการพิจารณาช่วงจังหวะบวก

ประจุของกระแสไฟฟ้าอิมพัลส์ กำหนดพลังงานเข้า (energy input) ในอาร์ก พลังงานในอาร์กจะทำให้ร้อนขึ้น หลอมเหลว และอาจทำให้ส่วนของวัสดุอิเล็กทรอนิกส์ที่จุดเชื่อมต่อของอาร์กเป็นไอได้ ค่าตัวเลขที่ต้องพิจารณา คือ ค่าตัวเลขเกี่ยวเนื่องกับวาบไฟฟ้าทั้งวาบ อย่างไรก็ตามประจุของกระแสไฟฟ้าช่วงเวลายาวไม่ต้องนำมาพิจารณาในหลายกรณี ซึ่งขึ้นอยู่กับโครงสร้างของระบบจ่ายไฟฟ้ากำลัง (TN TT หรือ IT)

ช่วงเวลาของกระแสไฟฟ้าอิมพัลส์ กำหนดปรากฏการณ์ถ่ายโอนความร้อนเข้าในมวลของอิเล็กทรอนิกส์ และการแพร่กระจายผลลัพธ์ของน้ำหลอมเหลว

พลังงานจำเพาะของกระแสไฟฟ้าอิมพัลส์ กำหนดการอัดตัวแม่เหล็กของอาร์กและกายภาพของฉนวนพลาสติกอิเล็กทรอนิกส์ซึ่งพัฒนาขึ้นที่ระหว่างหน้าสัมผัส ระหว่างพื้นผิวอิเล็กทรอนิกส์ กับ อาร์กนั้น (ซึ่งสามารถพันวัสดุหลอมเหลวปริมาณน้อยสำคัญออกมา) ค่าตัวเลขที่ต้องพิจารณา คือ ค่าตัวเลขเกี่ยวเนื่องกับช่วงจังหวะลำดับแรก ข้อมูลอนุรักษ์นิยมได้มาโดยการพิจารณาช่วงจังหวะบวก

หมายเหตุ สำหรับช่องว่างประกายไฟซึ่งใช้สำหรับระบบจ่ายไฟฟ้ากำลัง, ต้องพิจารณาตัวประกอบความเครียดสำคัญ (important stress factor) ซึ่งเกิดจากอาจมีความถี่ไฟฟ้ากำลังตามหลังแอมพลิจูดของกระแสไฟฟ้า

ง.6.2 SDP มีตัววาริสเตอร์โลหะออกไซด์ (SDP containing metal-oxide varistor)

ความเครียดต่อตัววาริสเตอร์โลหะออกไซด์ซึ่งเกิดจากฟ้าผ่าสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท

- โหลดเกิน
- วาบไฟตามผิวฉนวน (flashover)

แต่ละประเภทมีลักษณะเฉพาะโดยแบบวิธีความล้มเหลว (failure mode) ซึ่งเกิดขึ้นจากปรากฏการณ์ต่างกันและมีกำหนดจากพารามิเตอร์ต่างกัน ความล้มเหลวของ SDP โลหะออกไซด์เชื่อมโยงกับ

ลักษณะเฉพาะอ่อนแอที่สุดของ SDP โลหะออกไซด์ และดังนั้นจึงไม่น่าเกิดการชอนتبระหว่างความเค้นพินาศต่างกันขึ้น จึงจำต้องยอมรับว่าสามารถทำการทดสอบแยกกันได้ เพื่อตรวจสอบพฤติกรรมภายใต้ภาวะแบบวิธีความล้มเหลว (failure mode condition) แต่ละภาวะ

โหลดเกินเกิดจากปริมาณพลังงานดูดซับเกินวิสัยสามารถของอุปกรณ์ป้องกันเล็กรัง พลังงานส่วนเกินซึ่งพิจารณาในที่นี้สัมพันธ์กับความเค้นไฟฟ้าในตัวเอง อย่างไรก็ตามสำหรับ SDPs ที่ติดตั้งในระบบจ่ายไฟฟ้ากำลัง กระแสไฟฟ้าซึ่งไหลลัดเข้าในอุปกรณ์ป้องกันเล็กรังโดยระบบไฟฟ้ากำลังโดยตรงหลังจากการหยุดไหลของกระแสไฟฟ้ายังสามารถมีบทบาทสำคัญในการทำความเสียหายขั้นพินาศ (fatal damage) แก่ SDP โดยสรุป SDP สามารถเสียหายขั้นพินาศจากสภาพไม่เสถียรทางความร้อนภายใต้แรงดันไฟฟ้าที่ใช้งานซึ่งสัมพันธ์กับสัมประสิทธิ์อุณหภูมิของลักษณะเฉพาะเป็นโวลต์แอมแปร์ของตัวต้านทาน สำหรับการจำลองโหลดเกินของตัววารีเตอร์โลหะออกไซด์ ต้องพิจารณาพารามิเตอร์ประมาณ 1 ตัว คือ ประจุ

ประจุกำหนดพลังงานเข้า (energy input) เข้าในก้อนตัวต้านทานโลหะออกไซด์ (metal-oxide resistor block) ซึ่งถือว่า แรงดันไฟฟ้าตกค้าง (residual voltage) ของก้อนตัวต้านทานโลหะออกไซด์มีค่าคงตัว ค่าตัวเลขที่ต้องพิจารณา คือ ค่าตัวเลขเกี่ยวเนื่องกับวามไฟฟ้า

วามไฟฟ้าตามพิกัดและรอยแตกกร้าว เกิดจากแอมพลิจูดของกระแสไฟฟ้าอิมพัลส์เกินวิสัยสามารถของตัวต้านทาน โดยทั่วไป ลักษณะความล้มเหลวเช่นนี้เห็นเด่นชัด (evidenced) จากวามไฟฟ้าตามพิกัดภายนอกตามรอยต่อวงแหวน (collar) บางครั้งการเจาะทะลุเข้าในก้อนตัวต้านทานทำให้เกิดรอยแตกหรือรูตั้งฉากกับรอยต่อวงแหวน ส่วนมากความล้มเหลวเชื่อมโยงกับการยุบตัวไดอิเล็กตริก (dielectric collapse) ของรอยต่อวงแหวนของก้อนตัวต้านทาน

สำหรับการจำลองของปรากฏการณ์ไฟฟ้าเช่นนี้ ต้องพิจารณาพารามิเตอร์ประมาณ 2 ตัว

- ค่าสูงสุดของกระแสไฟฟ้าอิมพัลส์
- ช่วงเวลาของกระแสไฟฟ้าอิมพัลส์

ค่าสูงสุดของกระแสไฟฟ้าอิมพัลส์ กำหนดผ่านระดับแรงดันไฟฟ้าตกค้างสมมุติว่า ความทนไดอิเล็กตริกสูงสุดบนรอยต่อวงแหวนตัวต้านทานมากเกินไป ค่าตัวเลขที่ต้องพิจารณา คือ ค่าตัวเลขเกี่ยวเนื่องกับช่วงจังหวะลำดับแรก ข้อมูลอนุรักษ์นิยมได้มาโดยการพิจารณาช่วงจังหวะบวก

ช่วงเวลาของกระแสไฟฟ้าอิมพัลส์ กำหนดช่วงเวลาของการใช้งานของความเค้นไดอิเล็กตริกบนรอยต่อวงแหวนตัวต้านทาน

ง.7 สรุปพารามิเตอร์ทดสอบที่ต้องปรับใช้ในการทดสอบส่วนประกอบ LPS

ตารางที่ ง.1 สรุปเกณฑ์วิกฤติที่สุดของส่วนประกอบ LPS แต่ละส่วน ระหว่างสมรรถนะของหน้าที่ของส่วนประกอบ LPS และกำหนดพารามิเตอร์ของกระแสไฟฟ้าที่ต้องทำขึ้นใหม่ในการทดสอบห้องปฏิบัติการให้ไว้

ค่าตัวเลขซึ่งกำหนดให้ไว้ในตารางที่ ง.1 เกี่ยวเนื่องกับพารามิเตอร์กระแสไฟฟ้ามีความสำคัญที่จุดไฟฟ้า

ค่าทดสอบที่ต้องคำนวณโดยพิจารณาการแบ่งส่วนกระแสไฟฟ้า ซึ่งสามารถแสดงโดยตัวประกอบการแบ่งส่วนกระแสไฟฟ้าตามข้อ ง.3

ค่าตัวเลขของพารามิเตอร์ที่ต้องใช้ระหว่างการทดสอบ จึงสามารถคำนวณบนพื้นฐานของข้อมูลซึ่งกำหนดให้ไว้ในตารางที่ ง.1 โดยการใช้ตัวประกอบลดค่าที่เชื่อมโยงกับการแบ่งส่วนกระแสไฟฟ้า ดังสมการตามข้อ ง.3

ภาคผนวก จ.

(ข้อแนะนำ)

เสร็จเนื่องจากฟ้าผ่าที่จุดติดตั้งต่างกัน

(ข้อ 4. และ ข้อ ง.3)

กล่าวโดยสังเขป

เพื่อกำหนดมิติของตัวนำ, SPDs และเครื่องสำเร็จ สมควรกำหนดภัยคุกคามเนื่องจากเสร็จที่จุดติดตั้งเฉพาะของส่วนประกอบเหล่านี้ให้แน่นอน เสร็จสามารถเกิดขึ้นจากกระแสฟ้าผ่า (บางส่วน) และจากผลกระทบการเหนี่ยวนำ (induction effect) เข้าในวงรอบสิ่งติดตั้ง ภัยคุกคามเนื่องจากเสร็จเหล่านี้ต้องต่ำกว่าระดับความทนของส่วนประกอบที่ใช้ (นิยามโดยการทดสอบเพียงพอตามความจำเป็น)

จ.1 เสร็จเนื่องจากวาบถึงโครงสร้าง (ต้นกำเนิดของความเสียหาย S1)

จ.1.1 เสร็จไหลผ่านส่วนนำกระแสภายนอกและสายไฟฟ้าซึ่งต่อถึงโครงสร้าง

เมื่อเสร็จไหลถึงดิน กระแสฟ้าผ่าถูกแบ่งออกกระหว่างระบบปลายทางดิน ส่วนนำกระแสภายนอก และสายไฟฟ้า โดยตรงหรือผ่าน SPDs ซึ่งต่อถึงสิ่งดังกล่าว

$$I_f = k_e I \quad (จ.1)$$

I_f คือ ส่วนของกระแสฟ้าผ่าเกี่ยวข้องกับส่วนนำกระแสภายนอกแต่ละส่วนหรือสายไฟฟ้าแต่ละเส้น ดังนั้น k_e ขึ้นอยู่กับ

- จำนวนของเส้นทางขนาน
- อิมพีแดนซ์ดินธรรมดา (conventional earthing impedance) ของเสร็จสำหรับส่วนใต้ดิน หรือความต้านทานดินของเสร็จ ตรงที่ส่วนเหนือศีรษะต่อถึงใต้ดิน สำหรับส่วนเหนือศีรษะ
- อิมพีแดนซ์ดินธรรมดาของระบบปลายทางดิน

สำหรับสิ่งติดตั้งใต้ดิน

$$k_e = \frac{Z}{Z_1 + Z(n_1 + n_2 \frac{Z_1}{Z_2})} \quad (จ.2)$$

สำหรับสิ่งติดตั้งเหนือศีรษะ

$$k_e = \frac{Z}{Z_2 + Z(n_2 + n_1 \frac{Z_2}{Z_1})} \quad (จ.3)$$

เมื่อ

Z คือ อิมพีแดนซ์ดินธรรมดาของระบบปลายทางดิน

- Z_1 คือ อิมพีแดนซ์ดินธรรมชาติของส่วนนำกระแสภายนอกหรือสายไฟฟ้า (ตารางที่ จ. 1) เดินใต้ดิน
- Z_2 คือ ความต้านทานดินของการจัดดินซึ่งต่อสายไฟฟ้าเหนือศีรษะถึงดิน ถ้าไม่ทราบความต้านทานดินของจุดดิน อาจใช้ค่า Z_1 ตามตาราง จ. 1 (ตรงที่สภาพความต้านทานเกี่ยวเนื่องถึงจุดดิน)
- หมายเหตุ ตามสูตรข้างต้นนี้ สมมติว่าจุดดินแต่ละจุดมีค่าเดียวกัน ถ้าไม่เป็นเช่นนี้จำเป็นต้องใช้สมการซับซ้อนกว่านี้
- n_1 คือ จำนวนโดยรวมของส่วนนำกระแสภายนอกหรือสายไฟฟ้าเดินใต้ดิน
- n_2 คือ จำนวนโดยรวมของส่วนนำกระแสภายนอกหรือสายไฟฟ้าเดินเหนือศีรษะ
- I คือ กระแสไฟฟ้าเกี่ยวเนื่องกับระดับชั้น LPS ที่พิจารณา

ให้เริ่มต้นสมมติว่า ประมาณครั้งหนึ่งของกระแสไฟฟ้าไหลในระบบปลายทางดิน และว่า $Z_2 = Z_1$, อาจหาค่าของ k_c สำหรับส่วนนำกระแสภายนอกหรือสายไฟฟ้าได้ โดย

$$k_c = 0.5 / (n_1 + n_2) \quad (\text{จ.4})$$

ถ้าสายไฟฟ้าเดินเข้า (เช่น สายไฟฟ้ากำลัง และ สายไฟฟ้าสื่อสาร เป็นต้น) ไม่มีก้างหรือไม่เดินในท่อร้อยสายโลหะ ตัวนำแต่ละเส้น (จำนวน n' เส้น) ของสายไฟฟ้านำพากระแสไฟฟ้าเป็นส่วนเท่ากัน

$$k'_c = k_c / n' \quad (\text{จ.5})$$

n' คือ จำนวนตัวนำทั้งหมด

สำหรับสายไฟฟ้ามีก้างซึ่งถูกต่อประสานที่ทางเข้า ค่าของกระแสไฟฟ้า k'_c สำหรับตัวนำแต่ละเส้น (จำนวน n' เส้น) ของสิ่งบริกรมมีก้างซึ่งกำหนดให้ไว้โดย

$$k'_c = k_c R_s (n' R_s + R_c) \quad (\text{จ.6})$$

เมื่อ

R_s คือ ความต้านทานโอห์มต่อหน่วยความยาวของก้าง

R_c คือ ความต้านทานโอห์มต่อหน่วยความยาวของตัวนำข้างใน

หมายเหตุ สูตรนี้อาจประมาณข้างน้อยกว่าบทบาทของก้างในการเปลี่ยนทาง (diverting) กระแสไฟฟ้าเนื่องจากความเหนี่ยวนำร่วมระหว่างแกนกับก้าง

ตารางที่ จ. 1 ค่าอิมพีแดนซ์ดินธรรมดา Z และ Z_1 ตามสภาพความต้านทานของเนื้อดิน
(ข้อ จ.1.1)

ρ (Ωm)	Z_1 (Ω)	อิมพีแดนซ์ดินธรรมดาสัมพันธ์กับระดับชั้นของ LPS Z (Ω)		
		I	II	III - IV
≤ 100	8	4	4	4
200	11	6	6	6
500	16	10	15	10
1 000	22	10	15	20
2 000	28	10	15	40
3 000	35	10	15	60
หมายเหตุ ค่าตามตารางนี้อ้างถึงอิมพีแดนซ์ดินธรรมดาของตัวนำฝังดินภายใต้ภาวะอิมพัลส์ (10/350 μs)				

จ.1.2 ตัวประกอบมีผลกระทบต่อการแบ่งส่วนของกระแสฟ้าผ่าในสายไฟฟ้ากำลัง

เพื่อการคำนวณละเอียด ตัวประกอบหลายตัวสามารถมีผลกระทบต่อแอมพลิจูดและรูปคลื่นของเล็จเช่นนี้

- (1) ความยาวเคเบิล สามารถมีผลกระทบต่อการแบ่งส่วนกระแสฟ้าผ่าและลักษณะเฉพาะรูปคลื่นเนื่องจากอัตราส่วน L/R
- (2) อิมพีแดนซ์ต่างกันของตัวนำเฟสและตัวนำเป็นกลาง สามารถมีผลกระทบต่อการแบ่งส่วนกระแสฟ้าผ่าระหว่างตัวนำสายไฟฟ้า

หมายเหตุ ตัวอย่าง ถ้าตัวนำเป็นกลาง (N) มีดินหลายจุด เมื่อเปรียบเทียบแล้ว อิมพีแดนซ์ของตัวนำเป็นกลางต่ำกว่าของ L_1 , L_2 และ L_3 ซึ่งอาจทำให้กระแสฟ้าผ่าร้อยละ 50 ไหลผ่านตัวนำเป็นกลางโดยมีที่เหลือ (with the remaining) ร้อยละ 50 ถูกแบ่งส่วนโดยสายไฟฟ้าอื่น 3 เส้น (เส้นละร้อยละ 17) ถ้า N , L_1 , L_2 และ L_3 มีอิมพีแดนซ์เหมือนกัน ตัวนำแต่ละเส้นจะนำพากระแสฟ้าผ่าประมาณร้อยละ 25

- (3) อิมพีแดนซ์หม้อแปลงไฟฟ้าต่างกัน สามารถมีผลกระทบต่อการแบ่งส่วนกระแสฟ้าผ่า (ผลกระทบเช่นนี้ไม่ต้องนำมาพิจารณา ถ้าหม้อแปลงไฟฟ้าถูกป้องกันโดย SPDs ต่อเบื้องอิมพีแดนซ์ของหม้อแปลงไฟฟ้า)
- (4) ความสัมพันธ์ระหว่าง ความต้านดินธรรมดาของหม้อแปลงไฟฟ้า กับ ชิ้นส่วนด้านโหลด สามารถมีผลกระทบต่อการแบ่งส่วนกระแสฟ้าผ่า (อิมพีแดนซ์หม้อแปลงไฟฟ้ายิ่งต่ำ เล็จกระแสฟ้าผ่ายิ่งสูงไหลเข้าในระบบไฟฟ้าแรงต่ำ)

- (5) การขนานผู้ใช้ไฟฟ้าทำให้อิมพีแดนซ์ประสิทธิภาพของระบบไฟฟ้าแรงต่ำลดลง ซึ่งอาจทำให้กระแสไฟฟ้าบางส่วนไหลเข้าในระบบไฟฟ้าแรงต่ำนี้เพิ่มขึ้น

จ.2 เสรีจเกี่ยวเนื่องกับสิ่งบริการซึ่งต่อถึงโครงสร้าง

จ.2.1 เสรีจเนื่องจากวบถึงสิ่งบริการ (ต้นกำเนิดของความเสียหาย S3)

สำหรับวบไฟฟ้าโดยตรงถึงสิ่งบริการซึ่งต่ออยู่, ต้องคำนึงถึงการแบ่งส่วนของกระแสไฟฟ้าในทั้งสองทิศทางของสิ่งบริการและการเสียดทานที่ปลั๊กของฉนวน

สามารถเลือกค่า I_{imp} ตามกำหนดไว้ในตารางที่ จ.2 ซึ่งเป็นค่าที่นิยมของ I_{imp} ร่วมเป็นชุดกับระดับการป้องกันฟ้าผ่า (LPL)

ตารางที่ จ. 2 กระแสเกินเสรีจที่คาดหมายเนื่องจากวบฟ้าผ่า

(ข้อ จ.2.1 ข้อ จ.2.2 และข้อ จ.3.1)

	ระบบไฟฟ้าแรงต่ำ			สายไฟฟ้าสื่อสาร		
	วบถึง สิ่งบริการ	วบใกล้ สิ่งบริการ	ใกล้หรือบน โครงสร้าง	วบถึง สิ่งบริการ	วบใกล้ สิ่งบริการ	ใกล้หรือบน โครงสร้าง
LPL	ต้นกำเนิดของ ความเสียหาย S3 (วบโดยตรง)	ต้นกำเนิดของ ความเสียหาย S4 (วบโดยอ้อม)	ต้นกำเนิดของ ความเสียหาย S1 หรือ S2 (กระแสเหนี่ยวนำ เฉพาะ S1)	ต้นกำเนิดของ ความเสียหาย S3 (วบโดยตรง)	ต้นกำเนิดของ ความเสียหาย S4 (วบโดยอ้อม) วัดได้	ต้นกำเนิดของ ความเสียหาย S2 (กระแส เหนี่ยวนำ)
	รูปคลื่น 10/350 μ s (kA)	รูปคลื่น 8/20 μ s (kA)	รูปคลื่น 8/20 μ s (kA)	รูปคลื่น 10/350 μ s (kA)	5/300 μ s (ค่าประมาณ 8/20 μ s) (kA)	รูปคลื่น 8/20 μ s (kA)
III – IV4	5	2.5	0.1	1	0.01 (0.05)	0.05
I – II	10	5	0.2	2	0.02 (0.1)	0.1

สำหรับสายไฟฟ้ามีกำลัง, ค่าของกระแสเกินซึ่งกำหนดไว้ในตารางที่ จ.2 สามารถลดลงโดยตัวประกอบ 0.5

หมายเหตุ สมมติว่าความต้านทานของกังบังมีค่าประมาณเท่ากับความต้านทานของตัวนำสิ่งบริการทุกเส้นขนานกัน

จ.2.2 เสรีจเนื่องจากวบใกล้สิ่งบริการ (ต้นกำเนิดของความเสียหาย S4)

เสรีจจากวบใกล้สิ่งบริการมีพลังงานน้อยกว่าเสรีจร่วมกับวบถึงสิ่งบริการมาก (ต้นกำเนิดของความเสียหาย S3)

กระแสเกินที่คาดหมายร่วมกับระดับการป้องกันฟ้าผ่าจำเพาะ (LPL) มีกำหนดไว้ในตารางที่ จ.2

สำหรับสายไฟฟ้ามีกำลัง, ค่าของกระแสเกินซึ่งกำหนดให้ไว้ในตารางที่ จ.2 สามารถลดลงโดยตัวประกอบ 0.5

จ.3 เสริมเนื่องจากผลกระทบการเหนี่ยวนำ (ต้นกำเนิดของความเสียหาย S1 หรือ S2)

เสริมเนื่องจากผลกระทบการเหนี่ยวนำจากสนามแม่เหล็ก ซึ่งเกิดขึ้นทั้งจากวาวไฟฟ้าใกล้เคียง (ต้นกำเนิดของความเสียหาย S2) หรือจากกระแสไฟฟ้าไหลใน LPS ภายนอก หรือ กำลังเชิงเส้นระยะแยกห่างของ LPZ 1 (ต้นกำเนิดของความเสียหาย S1) มีรูปคลื่นกระแสต้นแบบ 8/20 μ s เสริมเช่นนี้ให้ถือว่าใกล้เคียงกับหรือที่ชั่วต่อของเครื่องสำเร็จภายในของ LPZ 1 และที่เส้นแบ่งเขตของ LPZ 1/2

จ.3.1 เสริมภายใน LPZ 1 ไม่มีกำลัง

ภายใน LPZ 1 ไม่มีกำลัง (เช่น เฉพาะที่ถูกป้องกันโดย LPS ภายนอกเท่านั้น ตาม IEC 62305-3 มีความกว้างตาข่ายใหญ่กว่า 5 เมตร เป็นต้น) ต้องคาดหมายว่ามีเสริมสูงโดยสัมผัส เนื่องจากผลกระทบการเหนี่ยวนำจากสนามแม่เหล็กไม่หน่วง

กระแสเกินที่คาดหมายร่วมกับระดับการป้องกันฟ้าผ่าเฉพาะ (LPL) มีกำหนดให้ไว้ในตารางที่ จ.2

จ.3.2 เสริมภายใน LPZ 1 มีกำลัง

ภายในของ LPZs มีการกำลังเชิงเส้นระยะแยกห่างประสิทธิผล (การกำหนดความกว้างตาข่ายต่ำกว่า 5 เมตร ตาม IEC 62035-4 Annex A), การเกิดขึ้นของเสริมเนื่องจากผลกระทบการเหนี่ยวนำจากสนามแม่เหล็กลดลงอย่างมาก ในกรณีเช่นนี้เสริมต่ำกว่าเสริมซึ่งกำหนดให้ไว้ในข้อ จ.3.1 มาก

ภายใน LPZ 1 ผลกระทบการเหนี่ยวนำต่ำกว่า เนื่องจากผลกระทบหน่วงของกำลังเชิงเส้นระยะแยกห่างของ LPZ 1

ภายใน LPZ 2 เสริมลดต่อไป เนื่องจากผลกระทบเป็นลำดับ (cascaded effect) ของทั้งกำลังเชิงเส้นระยะแยกห่างของ LPZ 1 และกำลังเชิงเส้นระยะแยกห่างของ LPZ 2

จ.4 ข้อเสนอแนะทั่วไปสัมพันธ์กับ SPDs

การใช้ SPDs ขึ้นอยู่กับวิสัยความสามารถความทนของ SPDs ซึ่งจัดประเภทตาม IEC 61643-1 สำหรับระบบไฟฟ้ากำลัง และตาม IEC 61643-21 สำหรับระบบไฟฟ้าสื่อสาร

SPDs ที่ต้องใช้ตามตำแหน่งการติดตั้งของ SPDs ดังนี้

(ก) ที่ทางเข้าสายไฟฟ้าเข้าในโครงสร้าง (ที่เส้นแบ่งเขตของ LPZ 1, เช่น ที่ตู้จ่ายไฟฟ้าประธาน (MB) เป็นต้น)

- SPD ซึ่งทดสอบด้วย I_{imp} (รูปคลื่นต้นแบบ 10/350, เช่น SPD ซึ่งทดสอบตามประเภท I เป็นต้น);

- SPD ซึ่งทดสอบด้วย I_n (รูปคลื่นต้นแบบ 10/20, เช่น SPD ซึ่งทดสอบตามประเภท II เป็นต้น)
- (ข) ใกล้กับเครื่องสำเร็จที่ต้องป้องกัน (ที่เส้นแบ่งเขตของ LPZ 2 และสูงกว่า, เช่น ที่ตู้จ่ายไฟฟ้าย่อย (SB), หรือที่เข้ารับไฟฟ้า (SA) เป็นต้น)
- SPD ซึ่งทดสอบด้วย I_n (รูปคลื่นต้นแบบ 10/20, เช่น SPD ซึ่งทดสอบตามประเภท II เป็นต้น);
 - SPD ซึ่งทดสอบด้วยคลื่นรวมชุด (รูปคลื่นกระแสดั้งเดิม 10/20, เช่น SPD ซึ่งทดสอบตามประเภท III เป็นต้น)
-