Lightning Protection

20 กันยายน 2551

เวลา 8.00-12.00 น.

ณ ห้อง 2101 อาคารวิทยบริการ

มหาวิทยาลัยราชธานี

โดย อาจารย์ณัฐพงศ์ สอนอาจ

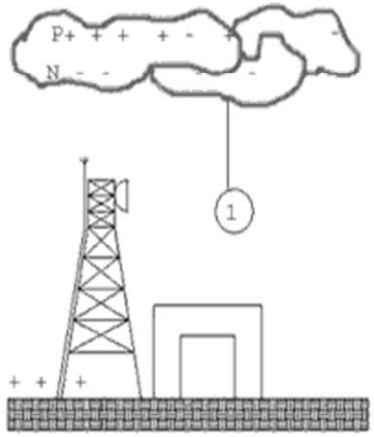
เนื้อหาการบรรยาย

- การเกิดฟ้าผ่าและอันตรายจากฟ้าผ่า
- การป้องการฟ้าผ่าภายนอก
- การป้องกันฟ้าผ่าภายใน

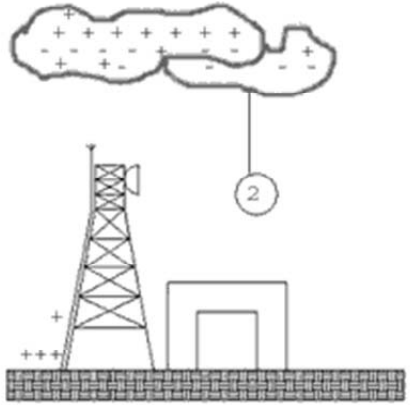
การเกิดฟ้าผ่า

ฟ้าผ่า" เป็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติโดยเริ่มจากการก่อตัวของเมฆฟ้าผ่า (Cumulonimbus Cloud) ที่มีทั้งประจุบวกและลบอยู่ในก้อนเมฆ เมื่อการสะสมประจุมากขึ้นก็ทำให้ศักดาไฟฟ้าระหว่างก้อนเมฆกับพื้นดินมีการพัฒนา เพิ่มสูงขึ้นจนถึงจุดสูงสุดที่ทำให้เกิดการถ่ายเทประจุไฟฟ้าปริมาณมหาศาลระหว่างก้อนเมฆกับพื้นดินที่เรียกว่าฟ้าผ่า กระบวนการดังกล่าวมีขั้นตอนดังนี้คือ

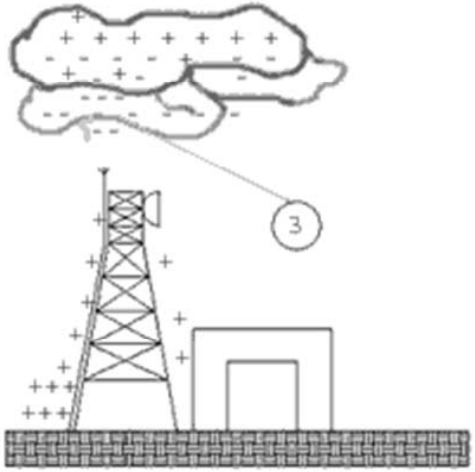
1. เริ่มก่อตัวของประจุไฟฟ้าทั้งประจุบวก (P) และประจุลบ (N) ภายในก้อนเมฆฟ้าผ่า



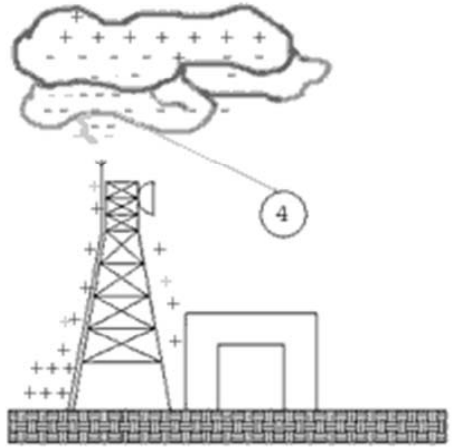
2. การถ่ายเทประจุบวกและลบภายในก้อนเมฆชั้นต่างๆ โดยชั้นที่ไม่เกิดความแปรปรวนจะแสดงศักย์ไฟฟ้าเป็นบวก และชั้นที่อยู่ต่ำเกิดความแปรปรวนจะแสดงศักย์ไฟฟ้าเป็นลบและเคลื่อนตัวต่ำลง ตามแรงดึงดูดของโลก



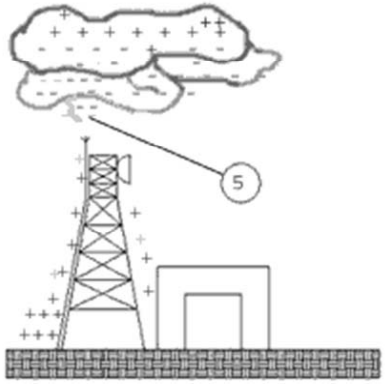
3. ที่ฐานก้อนเมฆแสดงศักย์ไฟฟ้าเป็นลบเคลื่อน ตัวต่ำลงสู่พื้นดินที่มีศักย์ไฟฟ้าเป็นบวก มากกว่า



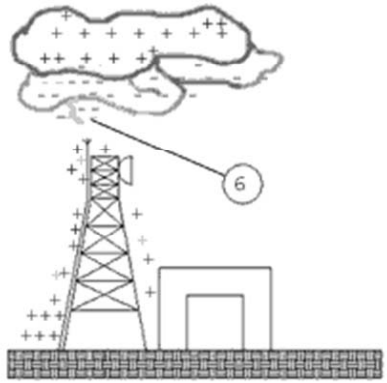
4. เมื่อก้อนเมฆเคลื่อนตัวลงต่ำทำให้ความต่างศักย์ระหว่างก้อนเมฆ กับพื้นดินเพิ่มสูงขึ้น



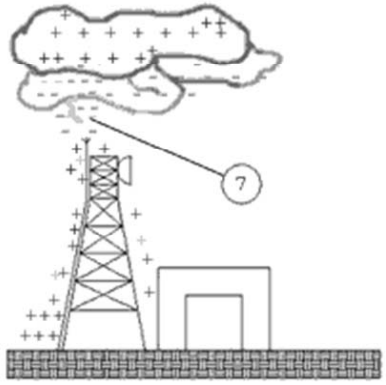
5. เกิด step leader ขึ้น มีศักย์ไฟฟ้าเป็นลบ เคลื่อนที่ลงสู่พื้นดินที่มีศักย์ไฟฟ้าเป็นบวก



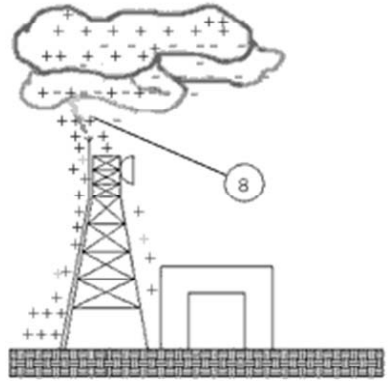
6. เกิด upward streamers ขึ้น มีศักย์ไฟฟ้าเป็นบวกเคลื่อนที่ เข้าหา step leader ที่มีศักย์ไฟฟ้าเป็นลบ



7. step leader เคลื่อนที่ชนกับ upward streamers เกิด lightning channel current ขึ้นและกระแสจะเริ่มไหล

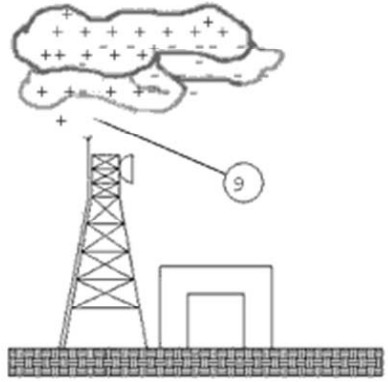


8. ประจุบวกที่พื้นดินซึ่งมีจำนวนมากเคลื่อนที่ขึ้นสู่ก้อนเมฆที่มีประจุ บวกน้อยกว่าเรียกกระบวนการนี้ว่า return stroke ซึ่งจะมี กระแสไหล

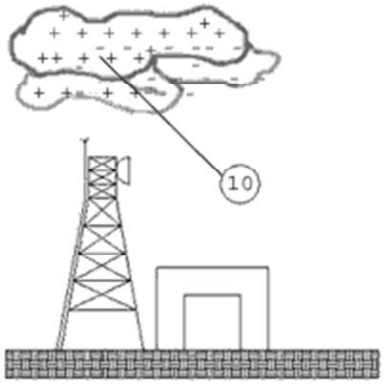


จากรูปจะพบว่าขั้นตอนที่ 8 จะมีกระแสฟ้าผ่าไหลสูงสุดซึ่งเหมาะสมที่จะวัดค่ากระแสและนำมากำหนดค่าความต้านทาน ระหว่างแท่งกราวด์กับ remote earth เพื่อใช้ในการออกแบบระบบกราวด์ของระบบล่อฟ้าต่อไป

9. ศักย์ไฟฟ้าบริเวณฐานก้อนเมฆพยายามถ่าย ประจุ เพื่อกลับสู่สภาวะสมดุลเรียกกระบวนการ นี้ว่า J & K phenomena



10. ศักย์ไฟฟ้าลบที่อยู่สูงกว่า ส่งถ่ายประจุลบมายัง ฐานก้อนเมฆ ซึ่งแสดงศักย์ไฟฟ้าเป็นบวกมากกว่า เกิดเป็นลำแสงเรียกว่า Dart leader ถ้าการส่งถ่ายยังเหลือศักย์ไฟฟ้าลบอยู่บริเวณฐานก้อน เมฆมีปริมาณมากเมื่อเทียบกับพื้นดินจะทำให้เกิด ฟ้าผ่าซ้ำได้



อันตรายและการป้องกัน

- **การเกิดฟ้าผ่า ที่เกิดขึ้นทุกวันวันละ 8 ล้านครั้งทั่วโลกก่อให้เกิดการบาดเจ็บก่อให้เกิดการบาดเจ็บและเสียชีวิตกว่า 1,500-5,000 คนต่อปี ในสหรัฐมีคนเสียชีวิตจากฟ้าผ่า กว่า 200 คนต่อปี ส่วนประเทศไทยเฉพาะเด็กที่มีอายุน้อยกว่า 17 ปี เสียชีวิตด้วยสาเหตุดังกล่าว 20 คนต่อปี และส่วนใหญ่เป็นเด็ก 10-15 ปี**

ฟ้าผ่า เป็นไฟฟ้ากระแสตรง ที่มีแรงดันไฟฟ้าสูงถึง 100 ล้านโวลต์อย่างไรก็ตามระยะเวลาการผ่านของกระแสไฟ มีความเร็ว 1/10,000-1/1,000 วินาทีดังนั้นความร้อนจากประการไฟฟ้า ทำให้เกิดการเผาไหม้ผิวหนัง ตื้นๆไม่มีเนื้อเยื่อถูกทำลายลึก เช่น เดียวกับกระแสไฟบ้าน แต่ผลที่เกิดจาก ฟ้าผ่า จะส่งผลต่อหัวใจและสมองโดยตรงทำให้เกิดภาวะหัวใจหยุดเต้นและก้านสมองไม่ทำงานในกรณีดังกล่าว 1 ใน 3 หรือ 30% ของผู้ถูกฟ้าผ่า จะตายในที่เกิดเหตุคนที่รอดชีวิตส่วนใหญ่ จะมีความพิการถาวรทั้งจากการถูกทำลายระบบประสาท ไขสันหลัง ทำให้เกิดเป็นอัมพาต และหูหนวกตาบอดตาม มาได้ในภายหลัง

อันตรายและการป้องกัน

- การป้องกันที่สำคัญคืออย่าอยู่กลางแจ้งขณะฝนตกควรหลบเข้าในอาคารหากอยู่กลางแจ้งให้พยายามนั่งหรือนอราบลงเพื่อให้เตี้ยที่สุด เพราะการอยู่ใต้ต้นไม้สูงจะเสี่ยงต่อการถูกฟ้าผ่าได้ ที่สำคัญขณะฝนตกฟ้าผ่า ควรงดใช้โทรศัพท์ เพราะฟ้าที่ผ่าลงพื้นดิน จะเกิดกระแสไฟกระจายทั่วพื้นซึ่งอาจส่งผ่านไปตามท่อน้ำ สายโทรศัพท์ในบ้าน ก่อให้เกิดการบาดเจ็บต่อคนที่ใช้โทรศัพท์ได้ หรือไม่ควรอยู่ในตู้โทรศัพท์ขณะฝนตกถึงแม้ไม่ใช้ก็ตาม

  กรณีที่อยู่ในรถยนต์ ควรปิดหน้าต่างให้มิดชิด กันการผ่านของกระแสไฟฟ้า ที่ผ่าเข้ามาในรถยนต์ หรือการมีโลหะที่เป็นเครื่องประดับ ในร่างกาย โทรศัพท์มือถือ จะเปิดหรือปิด จะใช้หรือไม่ใช้ก็ตามหากอยู่ในมือจะมีความเสี่ยงสูง เพราะเม่อฟ้าผ่ากระแสไฟฟ้าวิ่งผ่านเข้าสู่ร่างกายในทันที แต่หากไม่มีสื่อนำ กระแสไฟฟ้าจะทำลายแค่เพียงผิวหนังภายนอกให้เกิดไฟไหม้เท่านั้น

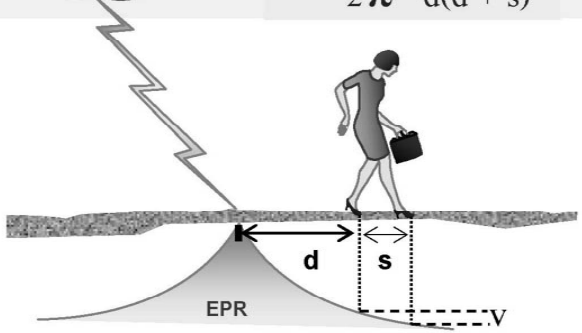
อันตรายและการป้องกัน

เมื่อเกิดฟ้าผ่าขึ้น กระแสฟ้าฝ่าจะวิ่งลงสู่พื้นดิน และแพร่กระจายไปในผิวดิน ซึ่งเมื่อระยะทางไกลออกไปเรื่อย ๆ ค่าแรงดันฟ้าผ่าก็จะลดลงไปเรื่อยๆ เช่นกัน ดังนั้นในแต่ระยะทางที่กระแสฟ้าผ่านวิ่งผ่านผิวดิน ก็จะมีค่าแรงดันฟ้าฝ่าที่แตกต่างกันไป

ดังนั้น กรณีที่เราก้าว เท้าระหว่างจุด 2 จุด จึงทำให้เกิดความต่างศักดิ์ระหว่างเท้า 2 ข้างขึ้น ทำให้เกิดกระแสฟ้าผ่าวิ่งผ่านระหว่างเท้าทั้ง 2 ข้าง ทำให้เกิดอันตรายต่อผู้นั้นได้

สูตรการคำนวณ Step Voltage

$$V = \frac{I\rho}{2\pi}\left[\frac{s}{d(d+s)}\right]$$



ระบบป้องกันฟ้าผ่าภายนอก

1. **หัวล่อฟ้า (Lightning Air-terminal)**
2. **ตัวนำลงดิน (Down Conductor/Down Lead)**
3. **แท่งกราวนด์ฟ้าผ่า (Lightning Ground)**

1. หัวล่อฟ้า (Lightning Air-terminal)

- ในกรณีที่เกิดฟ้าผ่าขึ้นหัวล่อฟ้าจะเป็นตำแหน่งที่เราต้องการให้ฟ้ามาผ่าลง ดังนั้นหัวล่อฟ้าจึงควรติดอยู่ในตำแหน่งที่เหมาะสม เช่น อยู่เหนือจากจุดที่สูงที่สุดของอาคาร (เสาอากาศทีวี, เสาอากาศวิทยุ, แท๊งค์น้ำ ฯลฯ) ตัวหัวล่อฟ้าควรทำด้วยโลหะที่มีคุณสมบัติการเป็นตัวนำไฟฟ้าที่ดี ทนต่อการหลอมละลาย เช่น แท่งทองแดง แท่งสเตนเลส แท่งทองแดงชุบดีบุก แท่งเหล็ก หรือวัสดุตัวนำอื่นๆ ซึ่งการพิจารณาวัสดุที่นำมาใช้ การติดตั้งหัวล่อฟ้าจะต้องไม่มีส่วนหนึ่งส่วนใดของหัวล่อฟ้าเชื่อมต่อกับตัวอาคาร ทั้งนี้เพื่อลดผลกระทบจากฟ้าผ่าที่อาจเกิดขึ้นกับตัวอาคารและระบบไฟฟ้าในอาคาร เส้นผ่าศูนย์กลางไม่น้อยกว่า 3/8 นิ้ว ยาวไม่น้อยกว่า 10 นิ้ว (ตามมาตรฐาน UL96) ทั้งนี้เพื่อให้สามารถรองรับกระแสฟ้าผ่าขนาดใหญ่ได้ดี

ชนิดของหัวล่อฟ้า

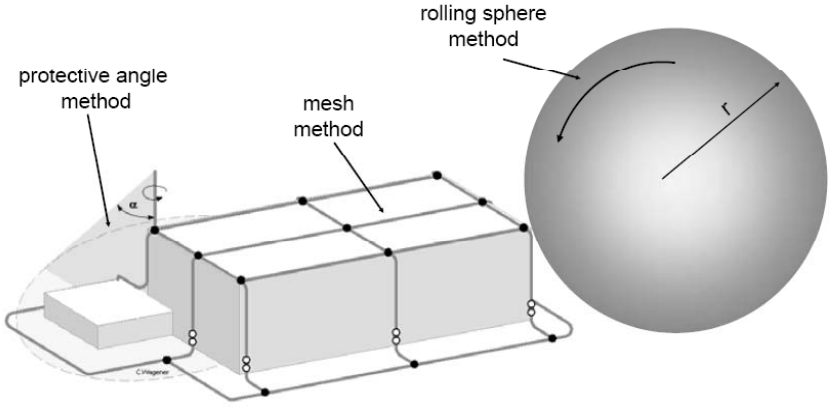
- หัวล่อฟ้าแบบ Faraday
- หัวล่อฟ้าแบบ Early Streamer Emission
- หัวล่อฟ้าแบบ Radio Active
- หัวล่อฟ้าแบบร่ม

หัวล่อฟ้าแบบ Faraday นี้ เป็นหัวล่อฟ้าแบบที่สามารถใช้งานได้ดี มีราคาถูกและเป็นที่นิยมใช้กันแพร่หลายโดยทั่วไป มีมุมในการป้องกันฟ้าผ่าโดยเฉลี่ยประมาณ 45 องศา (วัดจากปลายสุดของหัวล่อฟ้า) จากประสบการณ์ผ่านมาพบว่า การนำหัวล่อฟ้าแบบ Faraday มาต่อใช้งานร่วมกับระบบกราวนด์ฟ้าผ่าแบบกราวนด์ลึก จะทำให้ประสิทธิภาพและมุมในการป้องกันฟ้าผ่ามีมากยิ่งขึ้น เนื่องจากหัวล่อฟ้าจะสามารถถ่ายเทประจุไฟฟ้าระหว่างดินและประจุไฟฟ้าในอากาศผ่านแท่งกราวนด์ฟ้าผ่าแบบกราวนด์ลึกได้ดียิ่งขึ้นนั่นเอง

การจัดวางตำแหน่งตัวนำล่อฟ้าให้ปฏิบัติตามตารางที่ 2.1.2

- ก. วิธีมุมป้องกัน
- ข. วิธีทรงกลมกลิ้ง
- ค. วิธีตาข่าย

Positioning of air-termination systems
General

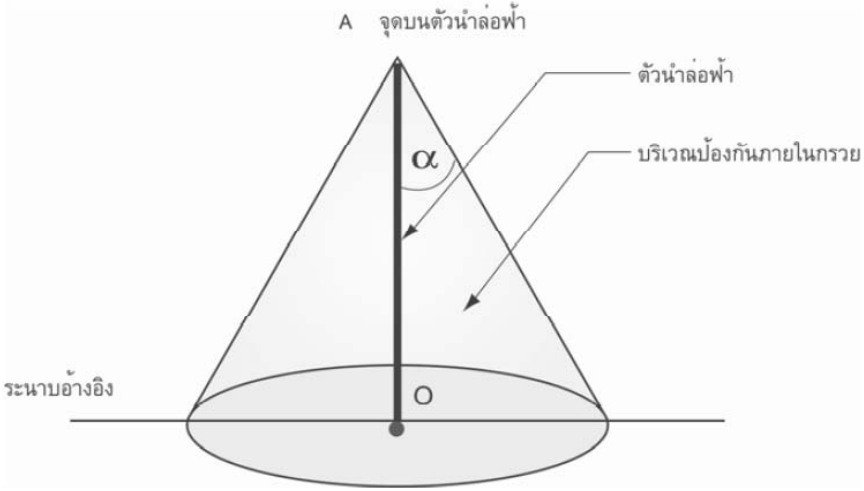


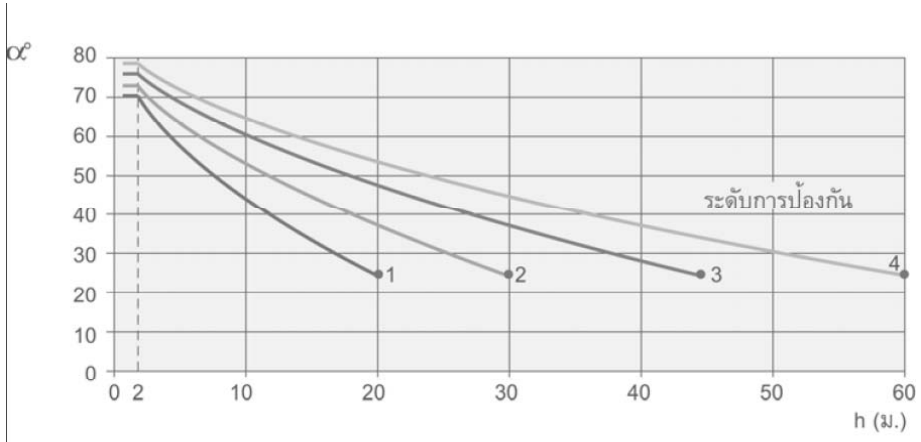
ตารางที่ 2.1.2 การจัดวางตำแหน่งตัวนำล่อฟ้าตามระดับการป้องกัน

ระดับป้องกัน	ค่ากระแสยอดต่ำสุด kA	วิธีป้องกัน		
1	2.9	ดูกราฟ	20	5
2	5.4		30	10
3	10.1		45	15
4	15.7		60	20

ก) วิธีมุมป้องกัน

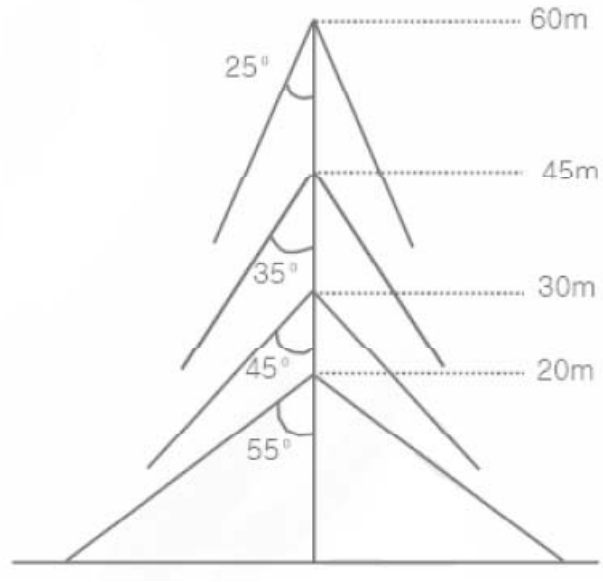
แท่งตัวนำเสาและสายล่อฟ้าต้องติดตั้งโดยจัดวางตำแหน่งให้ตัวนำล่อฟ้าครอบคลุมทุกส่วนของสิ่งปลูกสร้าง ที่อยู่ในบริเวณป้องกัน ซึ่งสร้างโดยมุมป้องกัน ที่ฉายไปทุกทิศทุกทางในแนวดิ่ง



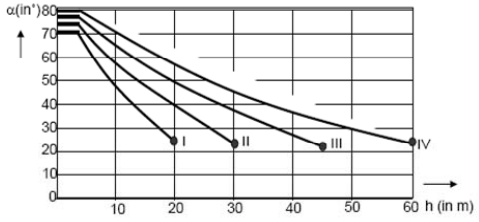


1) ค่าในกราฟที่แทนด้วย • ไม่สามารถใช้วิธีมุมป้องกันได้ กรณีนี้ให้ใช้วิธีทรงกลมกลิ้งหรือวิธีตาข่าย

2) h คือความสูงของตัวนำล่อฟ้าเหนือพื้นที่ที่ต้องการป้องกัน

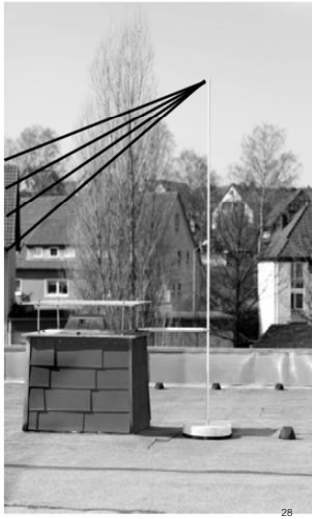


Protective angle according the protection class / Protection of a chimney



Protective angle for a 3m air termination rod

Protection class I	= 70°
Protection class II	= 72°
Protection class III	= 76°
Protection class IV	= 79°



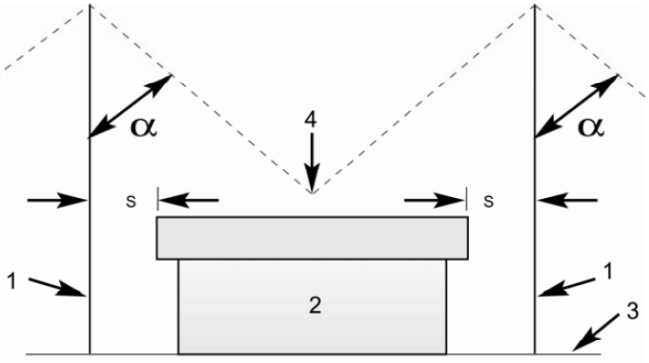
Positioning of air-termination systems by using the protective angle method

Height h [m]		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Protection angle α [°]	Prot. level I	67	67	67	65	59	57	54	52	49	47	45	42	40	37	35
	Prot. level II	71	71	71	69	65	62	60	58	56	54	52	50	49	47	45
	Prot. level III	74	74	74	72	70	68	66	64	62	61	59	58	57	55	54
	Prot. level IV	78	78	78	76	73	71	69	68	66	65	64	62	61	60	59

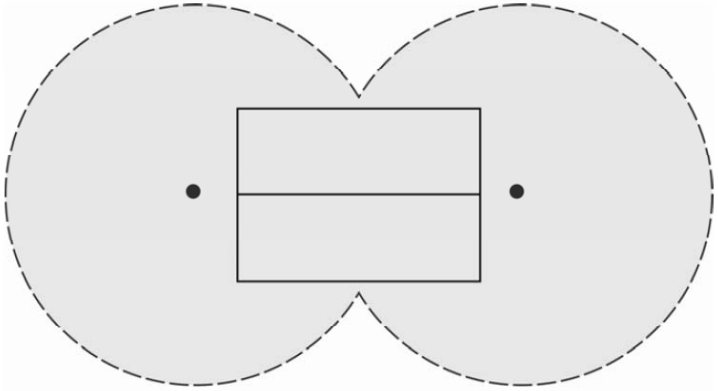
Height h [m]		16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Protection angle α [°]	Prot. level I	33	30	28	25	23										
	Prot. level II	44	42	40	39	37	36	35	33	32	30	29	27	26	25	23
	Prot. level III	53	52	50	49	48	47	46	45	44	43	42	40	39	38	37
	Prot. level IV	58	57	56	55	54	53	52	51	50	49	49	48	47	46	45

Height h [m]		31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45
Protection angle α [°]	Prot. level I															
	Prot. level II															
	Prot. level III	36	35	35	34	33	32	31	30	29	28	27	26	25	24	23
	Prot. level IV	44	44	43	42	41	40	40	39	38	37	37	36	35	35	34

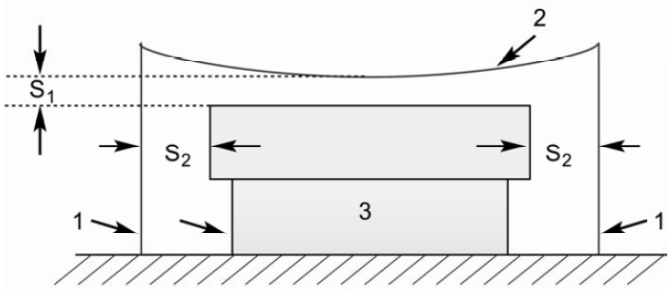
Height h [m]		46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
Protection angle α [°]	Prot. level I															
	Prot. level II															
	Prot. level III															
	Prot. level IV	33	32	32	31	30	30	29	28	27	27	26	25	25	24	23



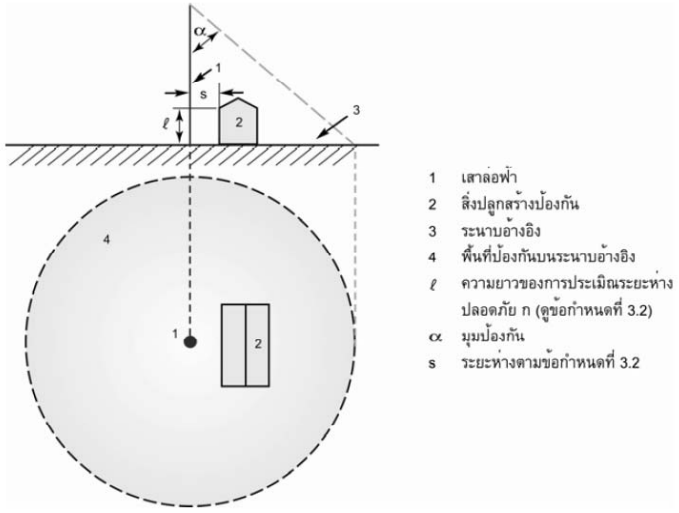
1 เสาล่อฟ้า
2 สิ่งปลูกสร้างป้องกัน
3 ระนาบอ้างอิง
4 จุดตัดระหว่างกรวยป้องกัน
s ระยะห่างตามข้อกำหนดที่ 3.2
α มุมป้องกันตามตารางที่ 2.1.2



วงกลมสองวงระบุพื้นที่ป้องกันบนระนาบอ้างอิง

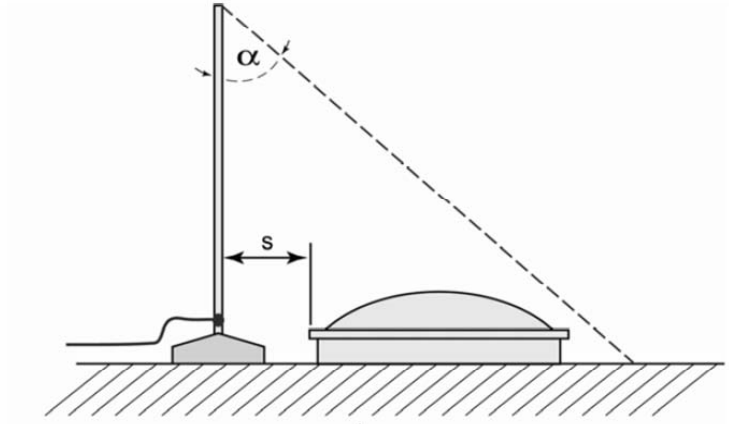


1 เสาล่อฟ้า
2 ตัวนำล่อฟ้าแนวราบ
3 สิ่งปลูกสร้างป้องกัน
S_1, S_2 ระยะห่างตามข้อกำหนดที่ 3.2



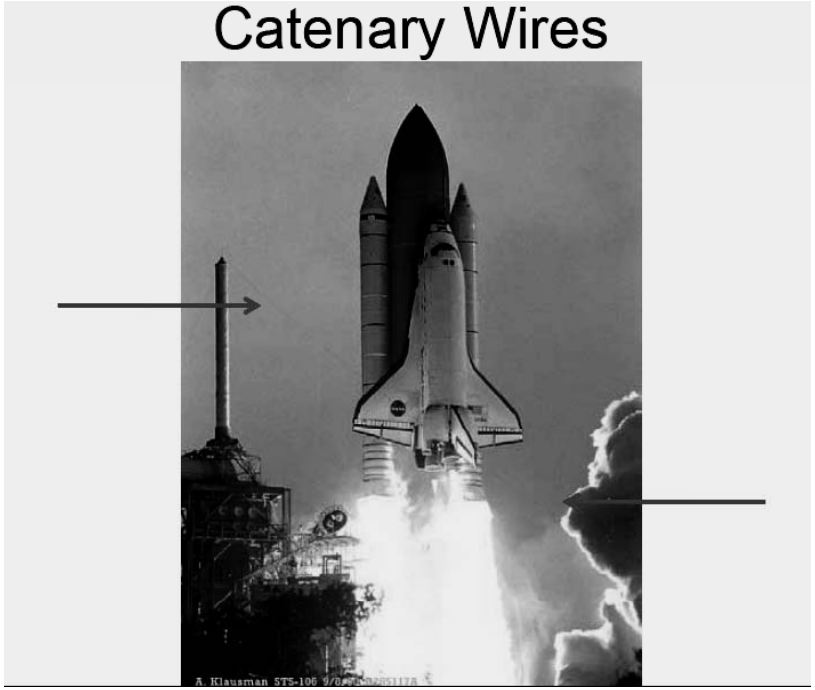
1 เสาล่อฟ้า
2 สิ่งปลูกสร้างป้องกัน
3 ระนาบอ้างอิง
4 พื้นที่ป้องกันบนระนาบอ้างอิง
ℓ ความยาวของการประเมินระยะห่างปลอดภัย n (ดูข้อกำหนดที่ 3.2)
α มุมป้องกัน
s ระยะห่างตามข้อกำหนดที่ 3.2

ระบบป้องกันฟ้าผ่าภายนอกไม่แยกอิสระ คือ : ระบบป้องกันฟ้าผ่าที่ระบบตัวนำล่อฟ้าและระบบตัวนำลงดินที่ติดตั้งในลักษณะที่ทางเดินของกระแสฟ้าผ่าสัมผัสกับบริเวณป้องกัน



s ระยะห่าง
α มุมป้องกันตามตารางที่ 2.1.2

ระยะห่าง s ต้องมีค่ามากกว่าระยะห่างปลอดภัย d ตามข้อกำหนดที่ 3.2

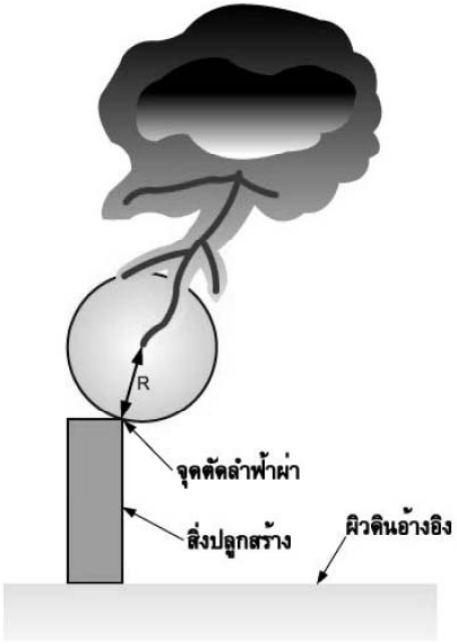


ข) วิธีทรงกลมกลิ้ง

- วิธีทรงกลมกลิ้งใช้เพื่อระบุบริเวณป้องกันหรือพื้นที่สิ่งปลูกสร้างที่มีความซับซ้อนหรือไม่เหมาะสมที่จะใช้วิธีมุมป้องกันรัศมีที่ใช้ในทรงกลมกลิ้งสามารถเลือกตามระดับการป้องกันตามตารางที่ 2.1.2

ตารางที่ 2.1.2 การจัดวางตำแหน่งตัวนำล่อฟ้าตามระดับการการป้องกัน

ระดับป้องกัน	ค่ากระแสยอดต่ำสุด kA	วิธีป้องกัน		
		ระยะห่างโดยประมาณของตัวนำล่อฟ้าตามรัศมีทรงกลมกลิ้ง R เมตร	ระยะห่างโดยประมาณของตัวนำล่อฟ้าตามตารางเมช เมตร
1	2.9	ดูกราฟ	20	5
2	5.4		30	10
3	10.1		45	15
4	15.7		60	20



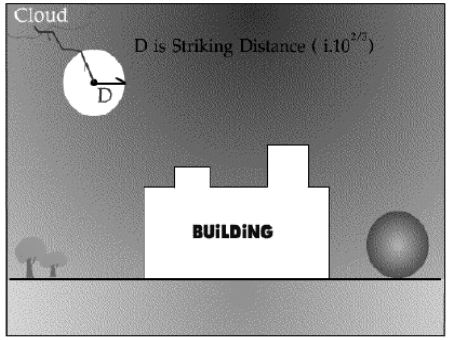
$$R = 10I^{0.65}$$

หรือ

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

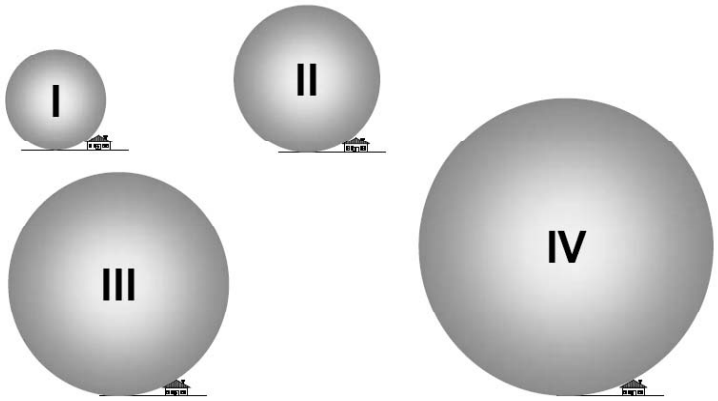
บริเวณป้องกันฟ้าผ่าของระบบคือ บริเวณที่ทรงกลมกลิ้ง ไม่สามารถผ่านเข้าไปในย่านนั้นได้

การจัดวางตำแหน่งตัวนำล่อฟ้าระบบป้องกันฟ้าผ่าภายนอก แบบวิธีทรงกลมกลิ้ง

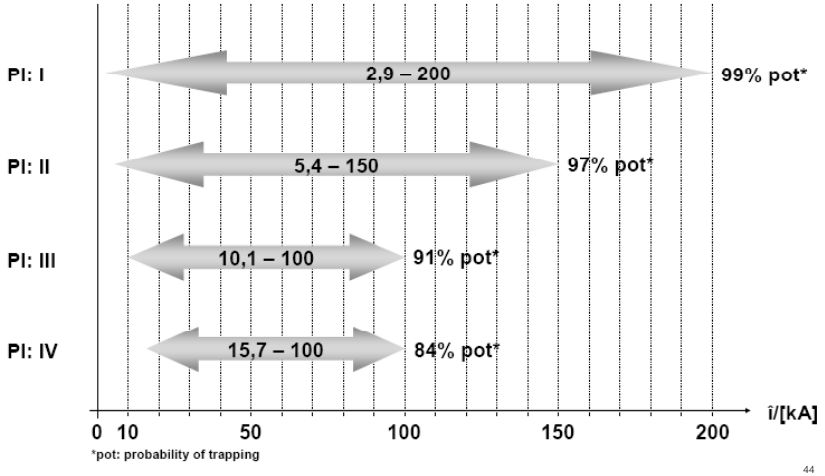


ระดับการป้องกัน	กระแสค่ายอดต่ำสุด KA	รัศมีทรงกลมกลิ้ง R (เมตร)
1	2.9	20
2	5.4	30
3	10.1	45
4	15.7	60

Positioning of air-termination systems by using the rolling sphere method

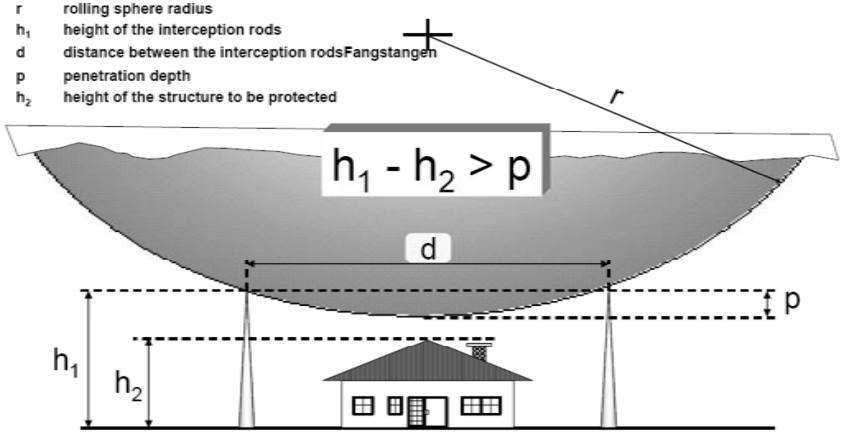


Protection Level (PL)

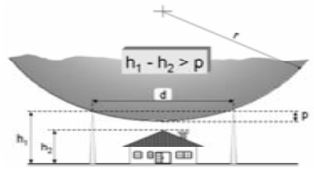


Penetration depth p

r rolling sphere radius
h_1 height of the interception rods
d distance between the interception rodsFangstangen
p penetration depth
h_2 height of the structure to be protected

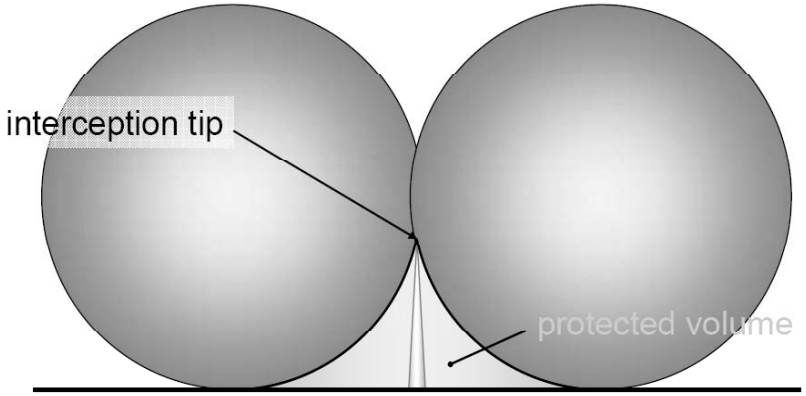


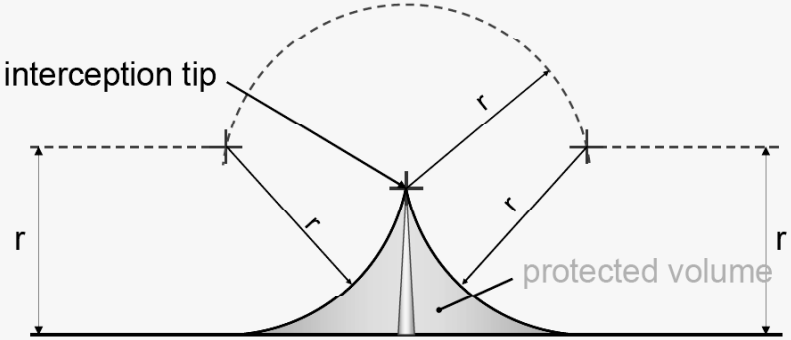
$$p = r - \sqrt{r^2 - \left(\frac{d}{2}\right)^2}$$

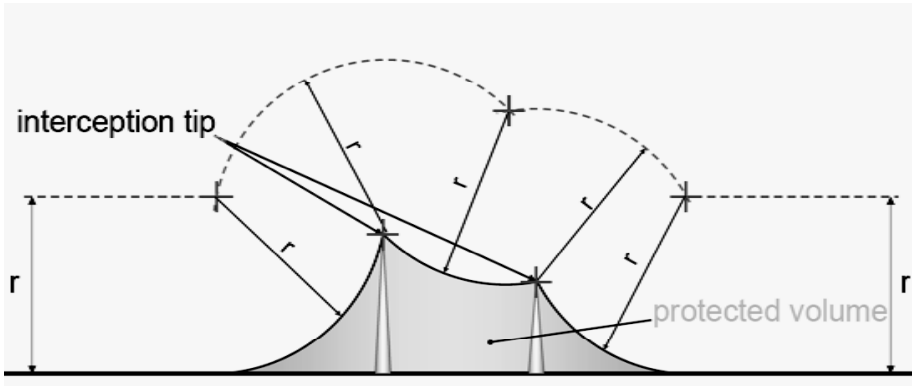


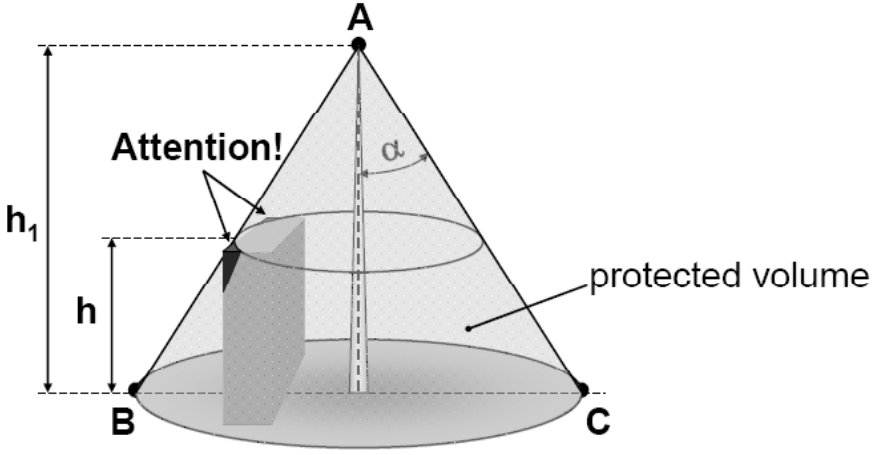
Distance between interception rods d [m]	Protection level I	II	III	IV
	Rolling sphere radius r [m] 20	30	45	60
	Penetration depth p [m]			
1	0,006	0,004	0,003	0,002
2	0,03	0,02	0,01	0,01
3	0,06	0,04	0,03	0,02
4	0,10	0,07	0,04	0,03
5	0,16	0,10	0,07	0,05
6	0,23	0,15	0,10	0,08
7	0,31	0,20	0,14	0,10
8	0,40	0,27	0,18	0,13
9	0,51	0,34	0,23	0,17
10	0,64	0,42	0,28	0,21
15	1,46	0,95	0,63	0,47
20	2,68	1,72	1,13	0,84

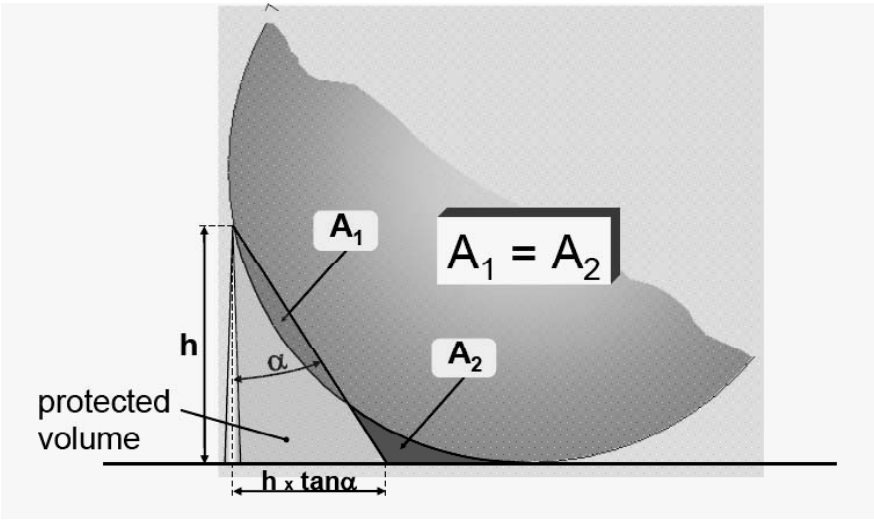
1. example











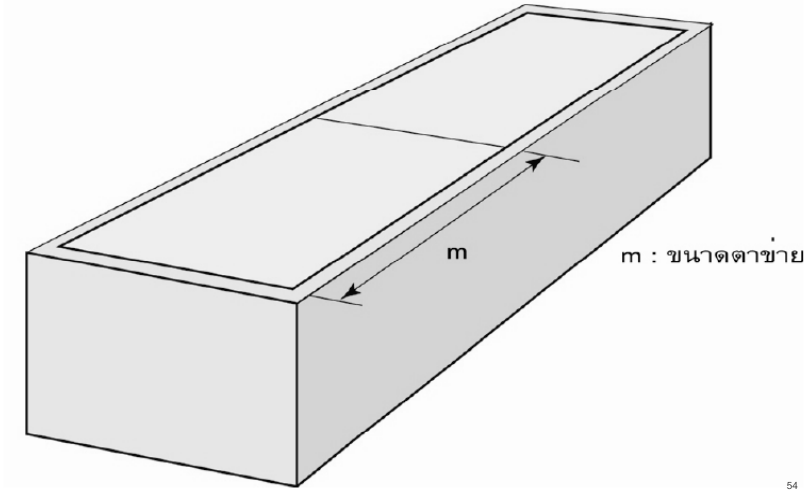
ค) วิธีตาข่าย

- ตัวนำล่อฟ้า ตัวนำบนหลังคา ต้องติดตั้งในลักษณะที่ล้อมรอบขอบของหลังคา ระบบตัวนำล่อฟ้าจะสมบูรณ์ได้หากมีการเพิ่มตัวนำล่อฟ้าขวางแนวหลังคาเพื่อให้จัดเรียงเป็นตาข่ายสำหรับความกว้างของตาข่ายแต่ละด้านต้องเป็นไปตามตารางที่ 2.1.2

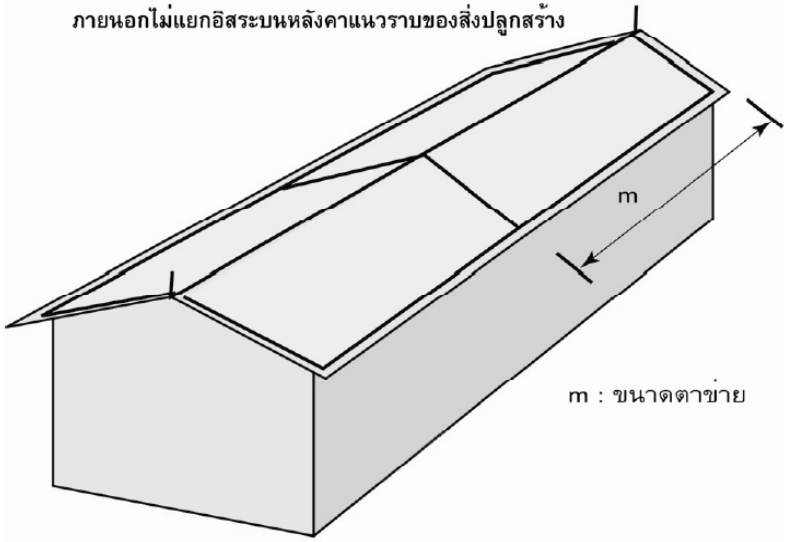
ตารางที่ 2.1.2 การจัดวางตำแหน่งตัวนำล่อฟ้าตามระดับการการป้องกัน

ระดับป้องกัน	ค่ากระแสยอดต่ำสุด kA	วิธีป้องกัน		
		รูปแบบกรง	ระยะห่างกรง ตาข่าย R (ม.)	ขนาดตาข่าย (ม.)
1	2.9	ดูกราฟ	20	5
2	5.4		30	10
3	10.1		45	15
4	15.7		60	20

ตัวอย่างการออกแบบตัวนำล่อฟ้าของระบบป้องกันฟ้าผ่าภายนอกไม่แยกอิสระบนหลังคาแนวราบของสิ่งปลูกสร้าง

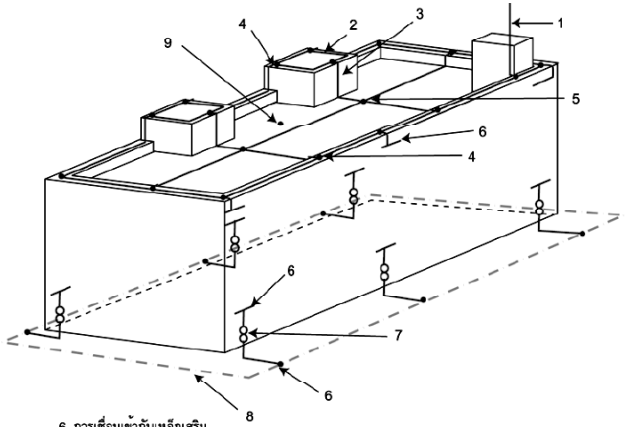


ตัวอย่างการออกแบบตัวนำล่อฟ้าของระบบป้องกันฟ้าผ่าภายนอกไม่แยกอิสระบนหลังคาแนวราบของสิ่งปลูกสร้าง



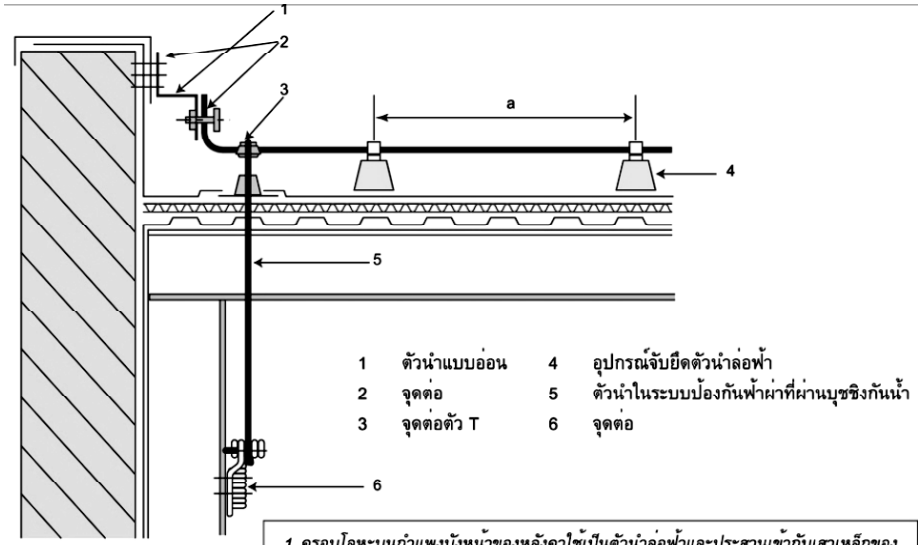
ขนาดของตาข่ายต้องเป็นไปตามตารางที่ 2.1.2

การใช้เหล็กเสริมเป็นส่วนประกอบโดยธรรมชาติ



1 ตัวนำล่อฟ้า
2 ตัวนำล่อฟ้าแนวราบ
3 ตัวนำลงดิน
4 จุดต่อรูป
5 จุดต่อรูปกากบาท
6 การเชื่อมเข้ากับเหล็กเสริม
7 จุดทดสอบ
8 รากสายดินแบบ ข.- รากสายดินวงแหวน
9 หลังคาราบพร้อมสิ่งติดตั้งบนหลังคา

เหล็กเสริมของสิ่งปลูกสร้างต้องปฏิบัติตามข้อกำหนดที่ 1.3
ขนาดของระบบป้องกันฟ้าผ่าต้องเลือกตามระดับการป้องกัน

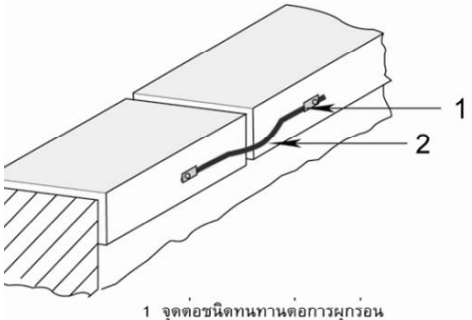


1	ตัวนำแบบอ่อน	4	อุปกรณ์จับยึดตัวนำล่อฟ้า
2	จุดต่อ	5	ตัวนำในระบบป้องกันฟ้าผ่าที่ผ่านบุชชิงกันน้ำ
3	จุดต่อตัว T	6	จุดต่อ

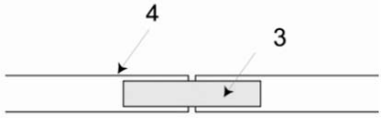
1. ครอบโลหะบนกำแพงบังหน้าของหลังคาใช้เป็นตัวนำล่อฟ้าและประสานเข้ากับเสาเหล็กของสิ่งปลูกสร้าง (Girder) ซึ่งใช้เป็นตัวนำลงดินโดยธรรมชาติของระบบป้องกันฟ้าผ่าได้

2. ระยะที่เหมาะสมของ a คือ 0.8 ถึง 1.5 เมตร

การประสานจุดต่อของครอบโลหะบนกำแพงบังหน้าของหลังคา



1 จุดต่อชนิดทนทานต่อการผุกร่อน
2 ตัวนำแบบอ่อน
3 จุดต่อเหลื่อมระหว่างแผ่น
4 โลหะครอบกำแพงบังหน้า



การประสานส่วนที่ครอบโลหะโดยใช้ตัวนำแบบอ่อนชนิดทนทานต่อการผุกร่อน แต่ละข้างต้องเหลื่อมกันอย่างน้อย 100 ตร.ซม. โดยอนุญาตให้ใช้สีที่เคลือบหนา 0.5 มม. หรือ พีวีซีหนา 1 มม. ได้

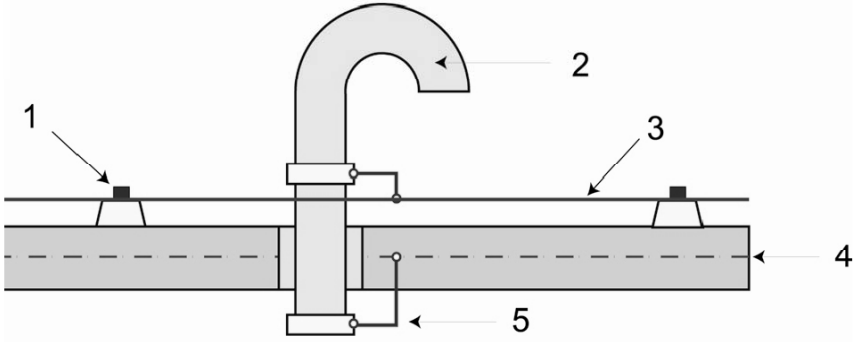
ตารางที่ 2.1.5-1 ความหนาต่ำสุดของแผ่นโลหะหรือท่อโลหะในระบบตัวนำล่อฟ้า

ระดับป้องกัน	วัสดุ	ความหนา T(มม.)	ความหนา t (มม.)
1 ถึง 4	เหล็ก	4	0.5
	ทองแดง	5	0.5
	อลูมิเนียม	7	1

แผ่นโลหะที่สามารถป้องกันฟ้าผ่าทะลุหรือไม่เกิดปัญหาเรื่องความร้อนสูงบางจุดต้องมีความหนาไม่น้อยกว่าค่า **T**

แผ่นโลหะที่ไม่จำเป็นต้องป้องกันฟ้าผ่าทะลุหรือกันการเกิดความร้อนสูงบางจุดต้องมีความหนาไม่น้อยกว่าค่า **t**

การประสานแท่งตัวนำล่อฟ้าโดยธรรมชาติเข้ากับตัวนำล่อฟ้าและระบบการประสานให้ศักย์เท่ากันของสิ่งปลูกสร้าง ในกรณีนี้ประสานเข้ากับเหล็กเสริมของสิ่งปลูกสร้าง



1 จุดยึดตัวนำล่อฟ้า
2 ท่อโลหะ
3 ตัวนำล่อฟ้าแนวราบบนหลังคา
4 เหล็กเสริมในคอนกรีต
5 ตัวนำประสาน

2. ตัวนำลงดิน (Down Conductor/Down Lead)

- ควรใช้สายตัวนำที่มีการนำไฟฟ้าได้ดี ทนต่อการหลอมละลาย เช่น สายไฟ THW, สายทองแดงเปลือย, สายเหล็ก หรือสายตัวนำอื่นๆ ขนาดพื้นที่หน้าตัดไม่น้อยกว่า 70 มม.

ในการลดโอกาสเกิดประกายอันตราย ให้จัดตัวนำลงดินในลักษณะจากจุดฟ้าผ่าลงดินถึงดินดังนี้

ก)มีทางไหลของกระแสไฟฟ้าขนานกันหลายชุด

ข)ความยาวของเส้นทางไหลของกระแสให้สั้นที่สุด

ค)ควรทำการประสานให้ศักย์เท่ากันในทุกๆจุดที่จำเป็น

<u>หมายเหตุ</u> การประสานให้ศักย์เท่ากันควรทำที่ระดับพื้นและที่ทุก ๆ ความสูง 20 ม. ต้องจัดให้ตัวนำลงดินมีความต่อเนื่องโดยตรงกับตัวนำในระบบตัวนำล่อฟ้ามากที่สุดที่เป็นไปได้

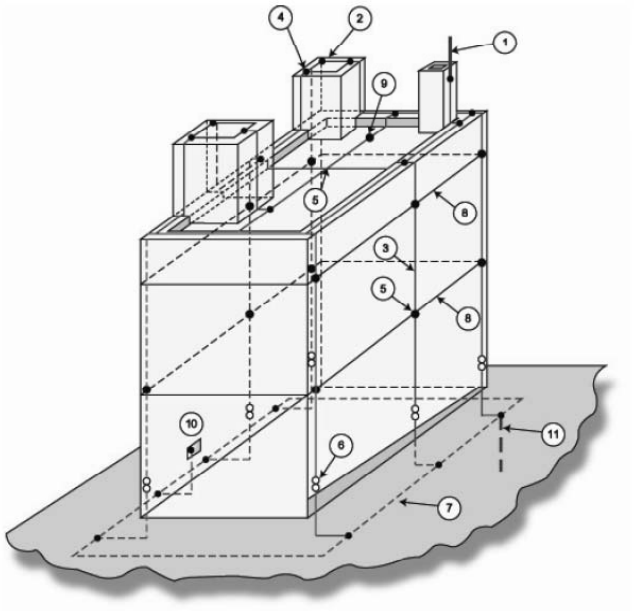
ตัวนำลงดิน

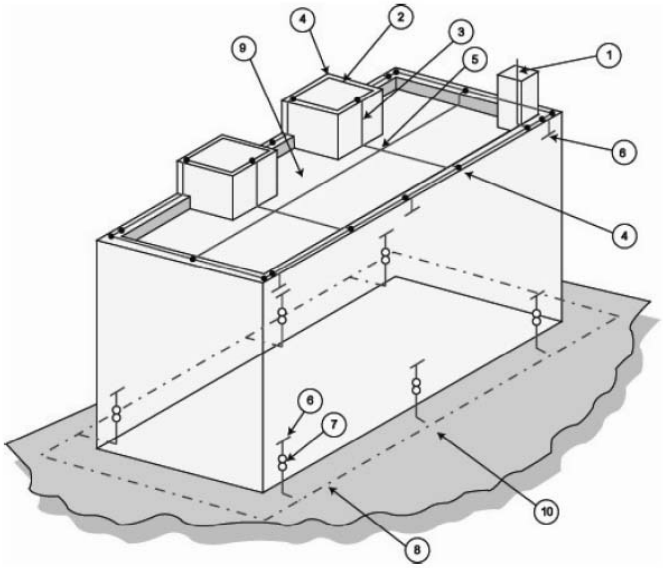
การประสานศักย์ควรทำที่ระดับพื้นและที่ทุกความสูง 10-20 เมตร

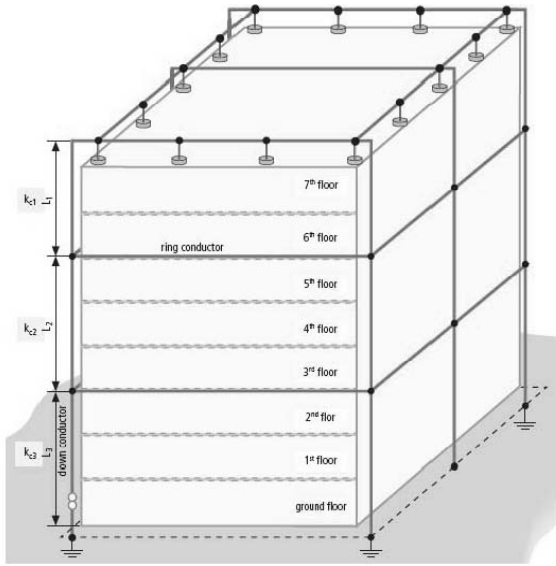
เพื่อลดค่า L ลง

$$V = L\frac{di}{dt}$$

ลดความเสี่ยงจากการเกิด Flash







ตารางที่ 2.2.3 ระยะเฉลี่ยระหว่างตัวลงดินตามระดับการป้องกัน

ระดับป้องกัน	ระยะเฉลี่ย(ม.)
1	10
2	15
3	20
4	25

2.1 ตำแหน่งตัวนำลงดินของระบบป้องกันฟ้าผ่าภายนอกแยกอิสระ

ระบบป้องกันฟ้าผ่าที่มีการต่อกับโครงสร้างตัวนำและต่อกับระบบประสานให้ศักย์เท่ากันที่ระดับพื้นดินเท่านั้น นิยามให้เป็น

"ระบบตัวนำลงดินแยกอิสระ"

3. แท่งกราวนด์ฟ้าผ่า (Lightning Ground)

- การทำกราวนด์แบบกราวนด์ลึก (Vertical ground rod electrode)
- การทำกราวนด์แบบสามเหลี่ยม (DELTA)
- การทำกราวนด์แบบแท่งกราวนด์เดี่ยว (Single ground rod electrode) หรือ กราวนด์ลึก
- การทำกราวนด์แบบแผ่น (Ground Plate)
- การทำกราวนด์แบบแท่งขนาน (Multiple ground rod electrode)
- การทำกราวนด์แบบตาราง (Ground Grid)
- การทำกราวนด์แบบเคมี (Chemical Ground)
- การทำกราวนด์แบบแนวนอน (Horizontal Ground)
- การทำกราวนด์แบบวงแหวน (Ground Ring)

การจัดระบบการต่อลงดินในสภาพทั่วไป

การจัดการระบบรากสายดินมี 2 แบบ

การจัดระบบรากสายดินแบบ ก.

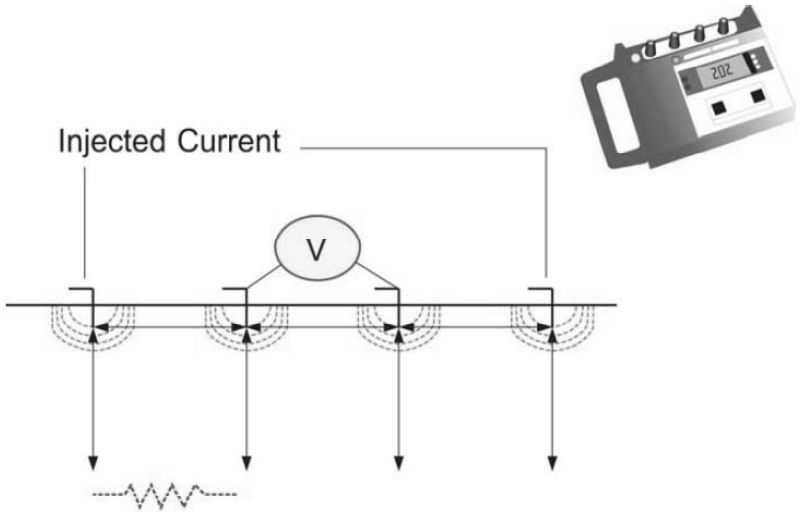
- **การจัดระบบนี้ประกอบด้วยรากสายดินแนวรัศมีหรือแนวดิ่ง ตัวนำลงดินแต่ละเส้นต้องต่อเข้ากับรากสายดินที่แยกอิสระอย่างน้อย 1 ชุด ซึ่งอาจจะเป็นรากสายดินแนวรัศมีหรือแนวดิ่ง (หรือแนวเอียง)**

การจัดระบบรากสายดินแบบ ข.

- **การจัดระบบรากสายดินแบบนี้ ประกอบด้วยตัวนำวงแหวนด้านนอกของสิ่งปลูกสร้างซึ่งสัมผัสดินอย่างน้อย 80 % ของความยาวตัวนำทั้งหมด หรือรากสายดินฐานรากซึ่งประกอบเป็นโครงตาข่าย**

ระบบป้องกันฟ้าผ่าควรใช้ระบบโครงสร้างรากสายดินแบบร่วมชุดเดียวและเหมาะสำหรับทุกวัตถุประสงค์ (เช่น ระบบป้องกันฟ้าผ่า ระบบไฟฟ้าแรงต่ำ หรือระบบสื่อสาร เป็นต้น)

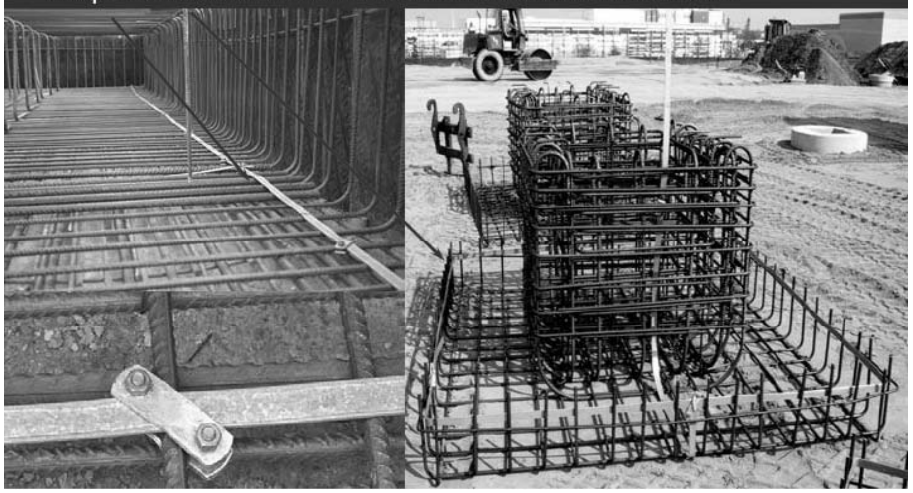
Test joint with disconnecting sleeve



3. แท่งกราวนด์ฟ้าผ่า (Lightning Ground)

- ใช้โครงสร้างและสาธารณูปโภคของอาคาร(Building Structures Ground) ในการเป็นกราวนด์ให้กับระบบก็สามารถทำได้เช่นกัน ซึ่งคุณสมบัติหลักข้อแรกๆ ของระบบกราวนด์ที่ดีก็คือ ควรมีค่า คตท ดินของแท่งกราวนด์ที่ต่ำ เช่น ใกล้เคียงศูนย์โอห์มเป็นต้น ซึ่งการที่ระบบกราวนด์มีค่า คตท ดินของแท่งกราวนด์ที่ต่ำ จะทำให้ระบบไฟฟ้าที่ต่อกราวนด์ไปใช้งานมีความปลอดภัยและมีเสถียรภาพที่ดีไปด้วย ดังนั้นระบบกราวน์ที่ดีควรคำนึงถึงคุณสมบัติในข้อนี้เป็นลำดับแรกๆ

Strap conductor for the connection between the reinforcement



Earthing of the steel buttress

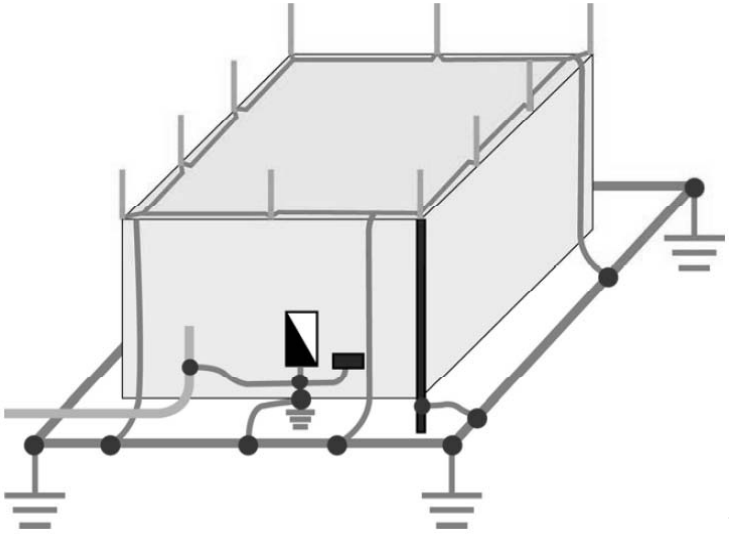
หมายเหตุ

1. เนื่องจากเหล็กในคอนกรีตมีศักย์ไฟฟ้ากัลวานิกเท่ากับทองแดงในดิน ดังนั้นจึงแนะนำให้ใช้ตัวนำทองแดงฝังดิน

2. สำหรับระบบที่มีทางเดินสายสั้น รากสายดินวงแหวนของเสาจานสายอากาศและสิ่งปลูกสร้างอาจประสานเข้าหากันด้วยการเพิ่มรากสายดิน

สำหรับสิ่งปลูกสร้างที่มีระบบอิเล็กทรอนิกส์ หรือมีความเสี่ยงในการเกิดอัคคีภัยสูง ควรจัดระบบรากสายดินแบบ ข.

ระบบการป้องการฟ้าผ่าภายใน

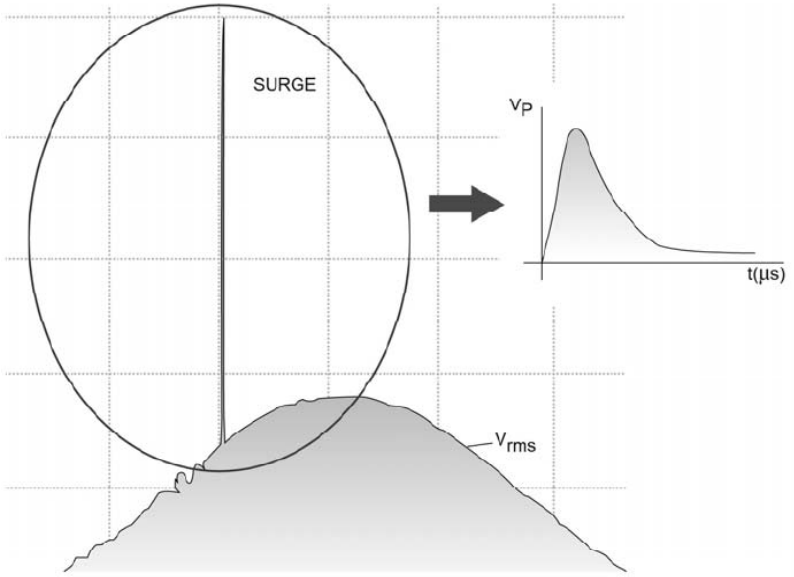


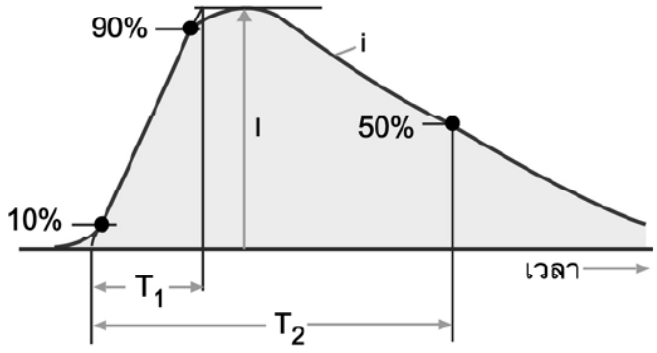
ลำฟ้าผ่าช่วงเวลาสั้น

ลำฟ้าผ่าซึ่งมีเวลาจนถึงครึ่งหนึ่งของค่ากระแสฟ้าผ่า

ในส่วนหางคลื่นน้อยกว่า 1 มิลลิวินาที

1 มิลลิวินาที เท่ากับ 1000 ไมโครวินาที





I = กระแสค่ายอด

T_1 = ช่วงเวลาหน้าคลื่น

T_2 = ช่วงเวลาถึงครึ่งหนึ่งของกระแสค่ายอด

ลำฟ้าผ่าช่วงเวลายาว

ลำฟ้าผ่าซึ่งมีเวลานับจากเวลาที่ 10 % ของค่าด้านหน้าคลื่น

จนถึงเวลาที่ 10 % ของค่าทางด้านหางคลื่น

มากกว่า 10 มิลลิวินาที และ น้อยกว่า 1 วินาที

แหล่งกำเนิดการรบกวน

1. แหล่งกำเนิดการรบกวนจากกระแสฟ้าผ่า
2. ค่าพารามิเตอร์ของกระแสฟ้าผ่า

1. แหล่งกำเนิดการรบกวนจากฟ้าผ่า

กระแสฟ้าผ่าทำให้เกิดการรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าซึ่งการบกวนต่อบริภัณฑ์ไฟฟ้าบริภัณฑ์เล็กทรอนิกส์เรียกว่า การคัปปลิง

2. ค่าพารามิเตอร์ของกระแสฟ้าผ่า

การจำลองค่ากระแสวาบฟ้าผ่าในแต่ละครั้ง ให้ถือว่ากระแสฟ้าผ่าประกอบไปด้วยลำฟ้าผ่าดังนี้

- ลำฟ้าผ่าบวก หรือ ลำฟ้าผ่าลบลำแรก
- ลำฟ้าผ่าลบครั้งต่อมา
- ลำฟ้าผ่าบวกหรือลบช่วงเวลายาว

ค่าพารามิเตอร์ของกระแสฟ้าผ่าลำแรก

ค่าพารามิเตอร์ของกระแส (ดูรูปที่ 1.3-1)	ระดับการป้องกัน		
	1	2	3-4
กระแสค่ายอด I กิโลแอมแปร์ (kA)	200	150	100
ช่วงเวลาหน้าคลื่น T_1 ไมโครวินาที (μs)	10	10	10
เวลาถึงครึ่งหนึ่งของค่ายอด T_2 ไมโครวินาที (μs) (หมายเหตุ 1)	350	350	350
ประจุของลำฟ้าผ่าช่วงสั้น Q_s (หมายเหตุ 2) คูลอมบ์ (C)	100	75	50
พลังงานจำเพาะ W/R (หมายเหตุ 3) เมกกะจูล/โอห์ม (MJ/Ω)	10	5.6	2.5

หมายเหตุ

1) เวลาถึงครึ่งหนึ่งของค่ายอด หมายถึง เวลาตั้งแต่เริ่มต้นจนกระทั่งค่ายอดลดลงเหลือครึ่งหนึ่ง

2) เนื่องจากส่วนใหญ่ของประจุทั้งหมด Q_s จะอยู่ในลำฟ้าผ่าลำแรก ดังนั้นประจุของลำฟ้าผ่าช่วงเวลาสั้นทั้งหมดให้ถือว่ามีค่าเท่ากับค่าตามตาราง

3) เนื่องจากส่วนใหญ่พลังงานจำเพาะ W/R จะอยู่ในลำฟ้าผ่าลำแรก ดังนั้นพลังงานจำเพาะของลำฟ้าผ่าช่วงเวลาสั้นทั้งหมดให้ถือว่ามีค่าเท่ากับค่าตามตาราง

กระแสค่ายอดเป็นพารามิเตอร์มีนัยสำคัญ กล่าวคือ เป็นค่าที่ทำให้เกิดแรงดันตกคร่อมอิมพีแดนซ์ของหลักดิน หรือ วัตถุ ซึ่งทำให้เกิดความต่างศักย์ ระหว่างวัตถุกับสิ่งแวดล้อม

ประจุที่เกิดจากกระแสอิมพัลส์ และกระแสไหลต่อเนื่อง เป็นพารามิเตอร์ที่มีนัยสำคัญทางความเสียหายที่ทำให้โลหะเกิดการเผาไหม้ที่เกิดจากการอาร์ก

ค่าพลังงานเฉพาะเป็นพารามิเตอร์ที่มีนัยสำคัญสำหรับการเกิดความร้อนจากกระแสฟ้าผ่าไหลผ่านตัวนำ ขณะเดียวกันมีผลทางกลขึ้นจากแรงแม่เหล็กไฟฟ้า

ค่าอัตราการเพิ่มขอหน้าคลื่น เป็นพารามิเตอร์ที่มีนัยสำคัญ สำหรับการเกิดแรงดันเหนี่ยวนำในวงรอบตัวนำที่อยู่ใกล้ลำฟ้าผ่าทำให้เกิดกระแสไหลในวงกลม การถ่ายเทประจุของฟ้าผ่าหลายลำเป็นสาเหตุที่สำคัญในการให้ระบบดิจิตอลทำงานผิดพลาด หรือเกิดความเสียหาย

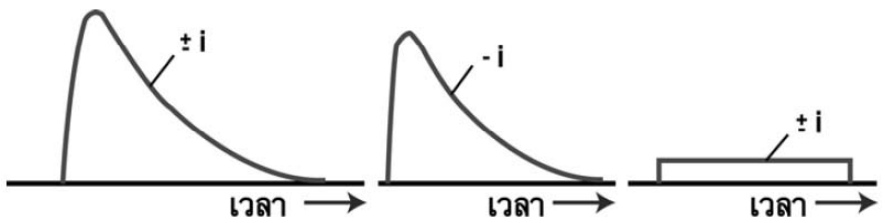
ค่าพารามิเตอร์ของกระแสฟ้าผ่าของลำฟ้าผ่าลำต่อมา

ค่าพารามิเตอร์ของกระแส (ดูรูปที่ 1.3-1)	ระดับการป้องกัน		
	1	2	3-4
กระแสค่ายอด I กิโลแอมแปร์ (kA)	50	37.5	25
ช่วงเลาหน้าคลื่น T_1 ไมโครวินาที (μs)	0.25	0.25	0.25
เวลาถึงครึ่งหนึ่งของค่ายอด T_2 ไมโครวินาที (μs)	100	100	100
ความชันเฉลี่ย I/T_1 กิโลแอมป์/ไมโครวินาที (kA/μs)	200	150	100

ค่าพารามิเตอร์ของกระแสฟ้าผ่าของลำฟ้าผ่าช่วงเวลายาว

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

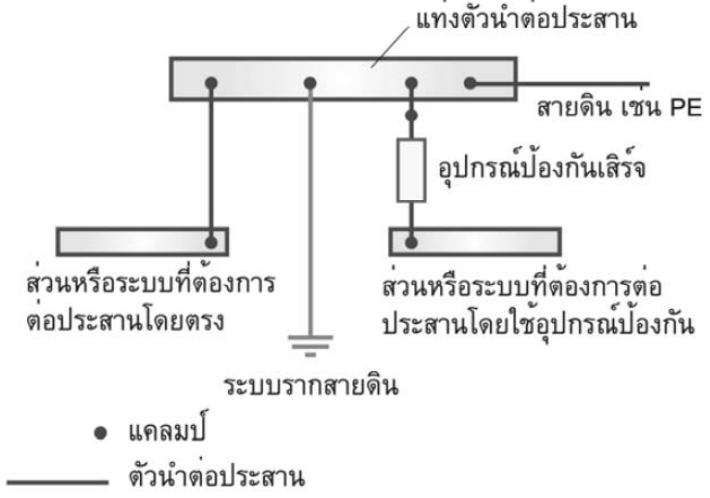
ค่ากระแสเฉลี่ยมีค่าประมาณเท่ากับ Q/T



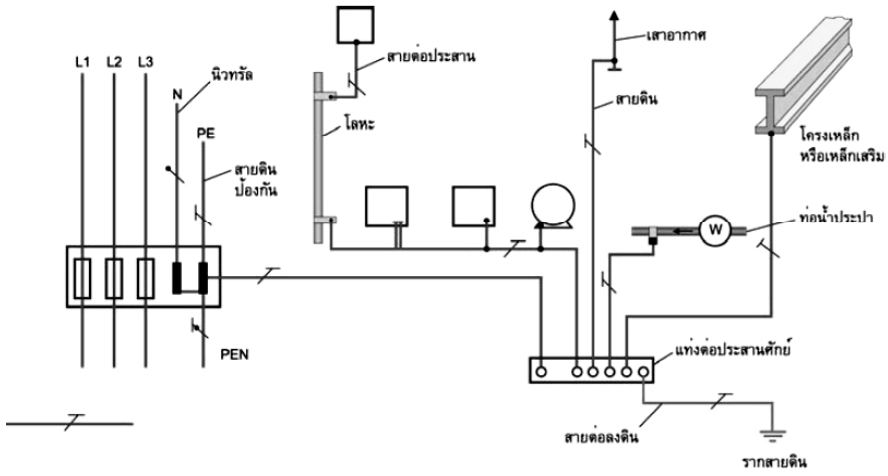
ลำฟ้าผ่าครั้งแรก 200 kA 10/350 μs

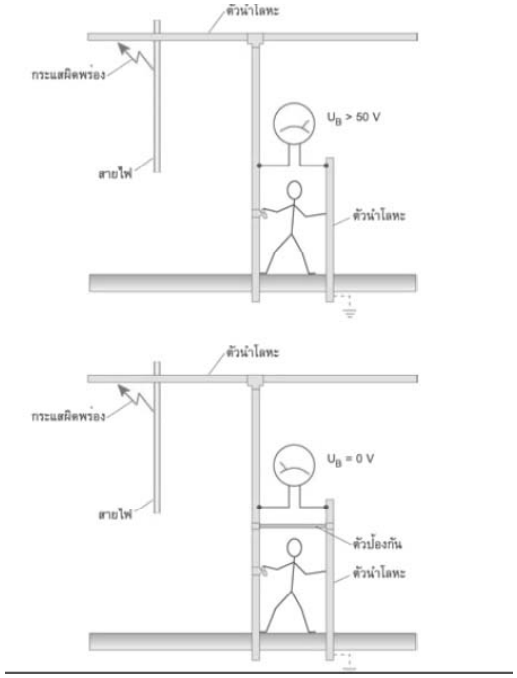
ลำฟ้าผ่าลำต่อมา 50 kA 0.25/100 μs

ลำฟ้าผ่าช่วงเวลายาว 400 A 0.5 s



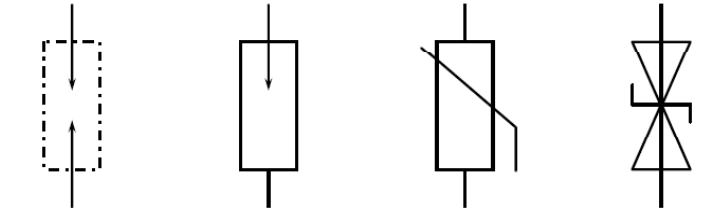
การประสานส่วนตัวนำหรือระบบไฟฟ้าเข้ากับแท่งโลหะต่อประสาน





ข้อกำหนดสำหรับอุปกรณ์ป้องกันเสิร์จ

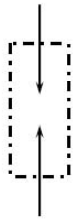
Components



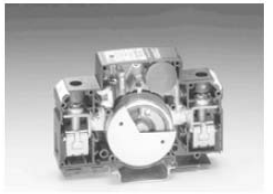
Arc Chopping spark gap | gas-filled surge arrester | MOV | suppressor diode

Components

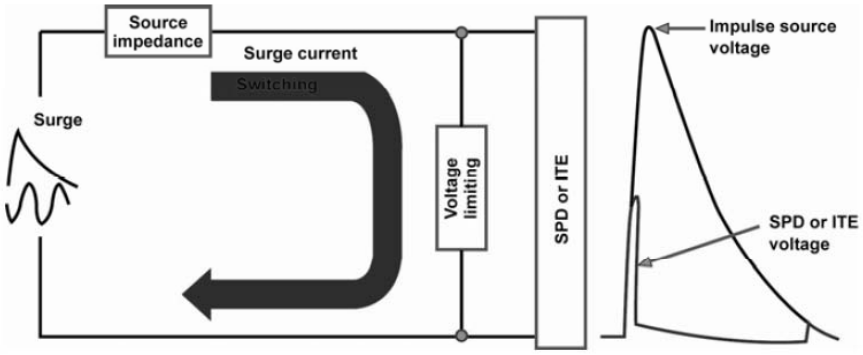
Spark Gap

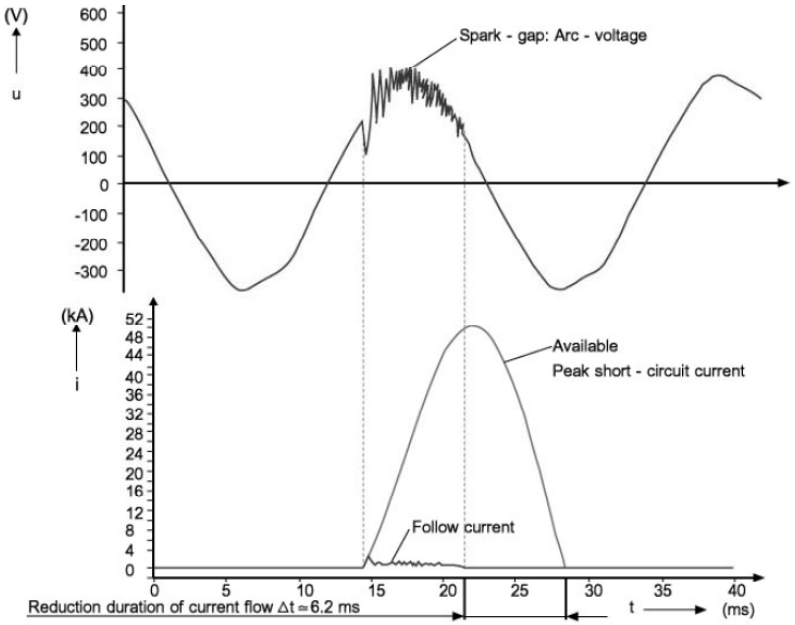


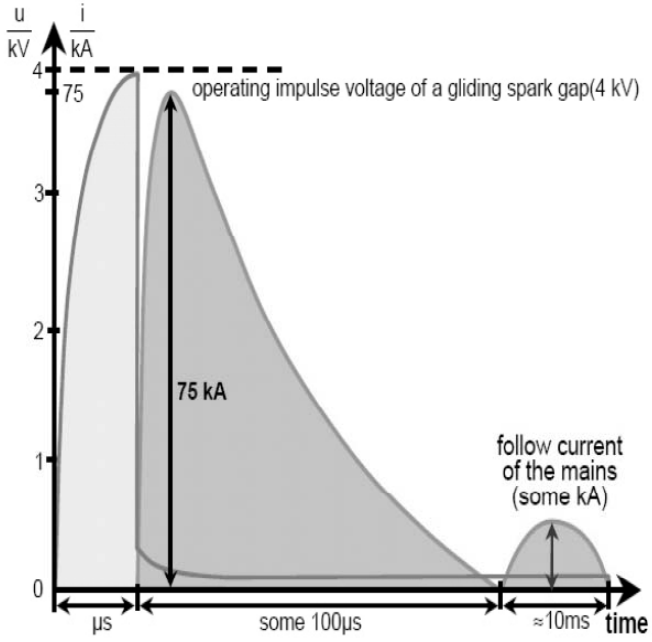
ช่องประกาย



Up to 100kA(10/350)µs

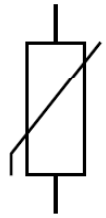




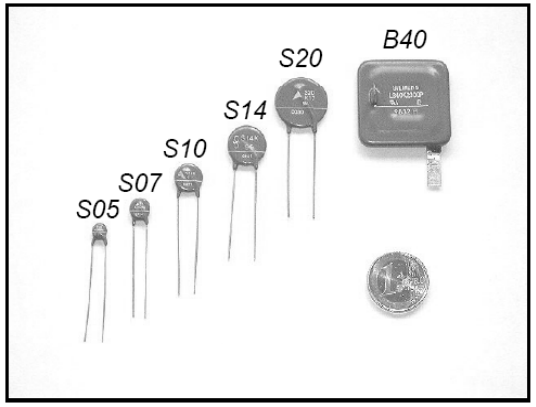


Components

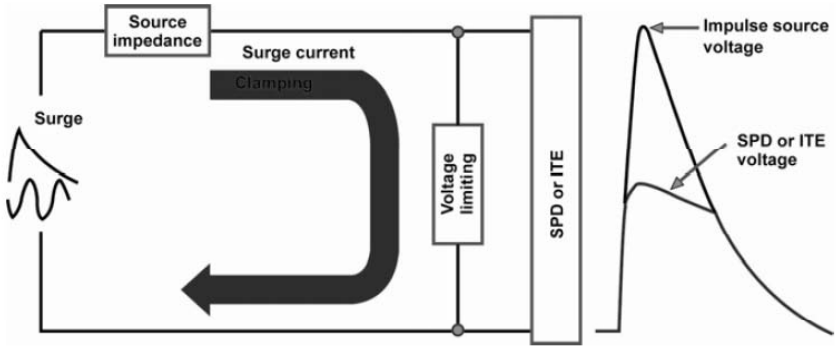
Varistor

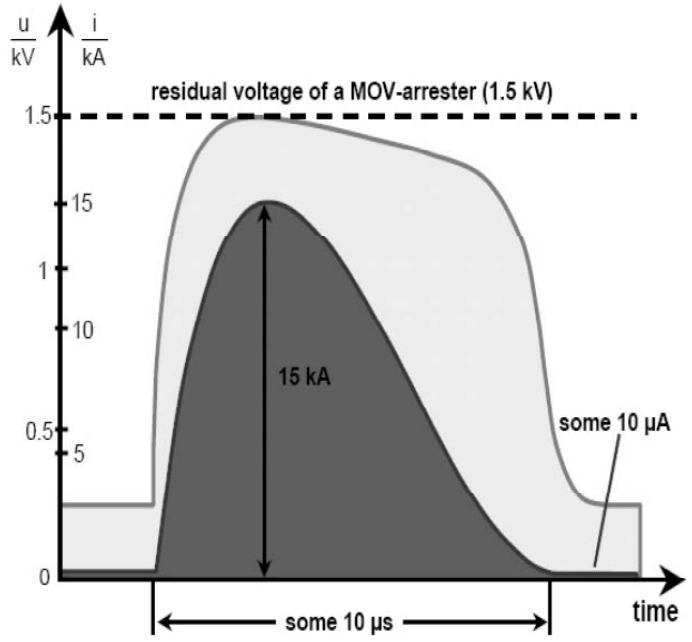


วาริสเตอร์



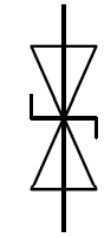
Typically not more than 20kA(8/20)µs or 3kA(10/350)µs



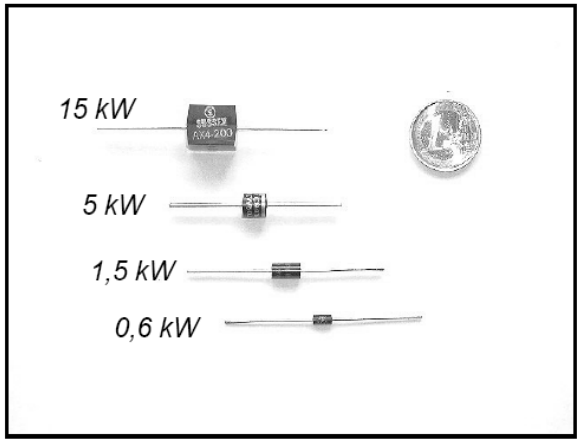


Components

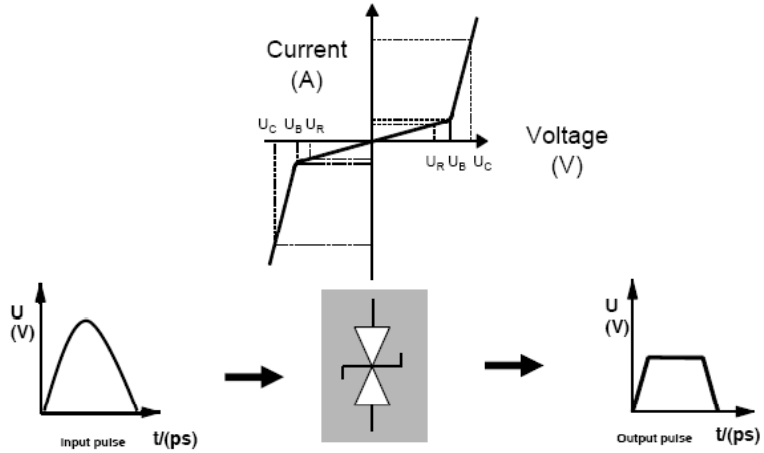
Suppressordiode



ไดโอดขจัด

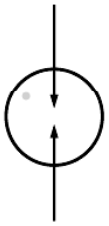


Typically not more than 0,2kA(8/20)µs

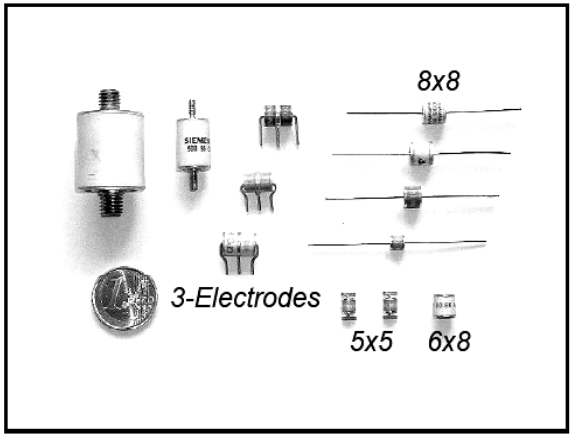


Components

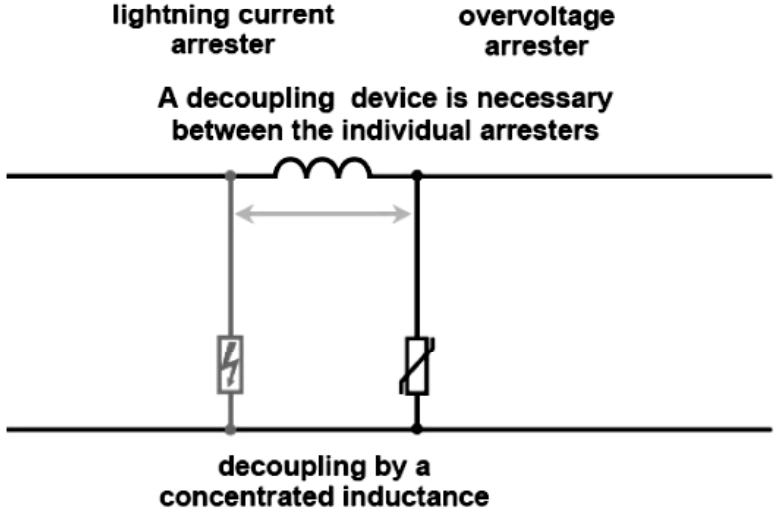
Gasfilled surge arrestor

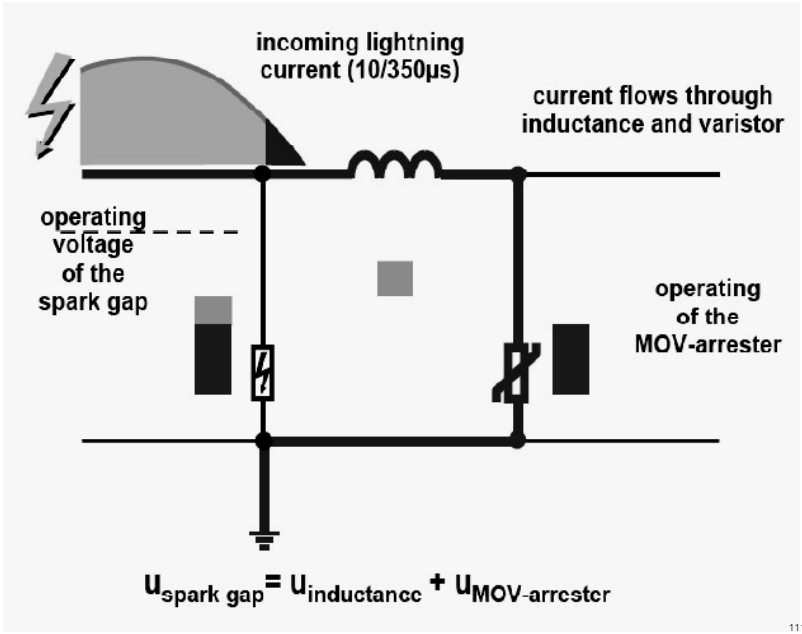


Gas tube

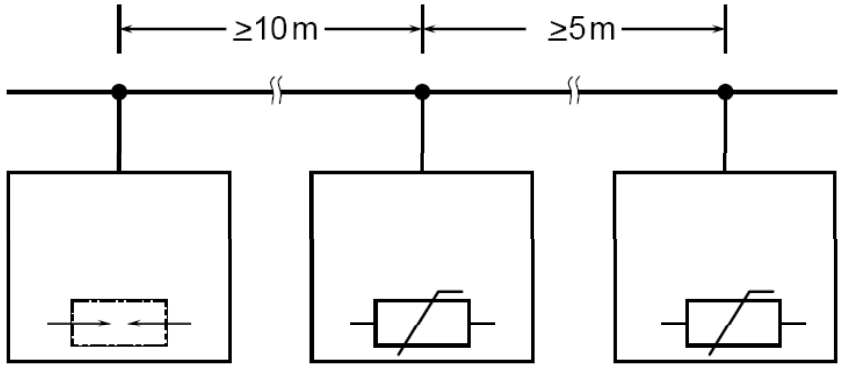


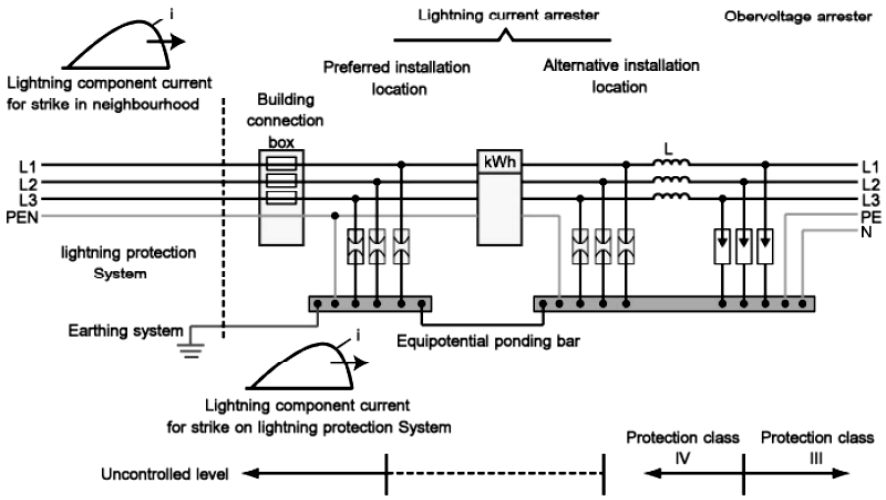
Typically not more than 20kA(8/20)µs or 2,5kA(10/350)µs





การใช้ความยาวของสายไฟฟ้าเป็นชิ้นส่วนแยกการคัปปลิง





การประยุกต์ใช้กับดักกระแสฟ้าผ่าและกับดักแรงดันเกิน