

โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับการออกแบบระบบป้องกันฟ้าผ่าและป้องกัน
เสิร์จสำหรับระบบโฟโตโวลตาอิก

A COMPUTER PROGRAM FOR DESIGNING OF LIGHTNING AND
SURGE PROTECTION FOR PHOTOVOLTAIC SYSTEMS

ทรงพล อัฐรัตน์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ปีการศึกษา 2555
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับการออกแบบระบบป้องกันฟ้าผ่าและป้องกัน
เส้นรั้งสำหรับระบบไฟโตโวลตาอิก

ทรงพล อัฐรัตน์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ปีการศึกษา 2555

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

หัวข้อวิทยานิพนธ์	โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับการออกแบบระบบป้องกันฟ้าผ่าและป้องกันเสิร์จสำหรับระบบไฟโตโวลตาอิก
ชื่อ - นามสกุล	นายทรงพล อัฐรัตน์
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สมชัย หิริญวโรดม, Ph.D.
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	อาจารย์บุญยง ปลั่งกลาง, Dr.-Ing.
ปีการศึกษา	2555

บทคัดย่อ

พลังงานหมุนเวียนจากระบบไฟโตโวลตาอิก เป็นพลังงานที่สะอาดปราศจากมลพิษ และเป็นพลังงานที่มีศักยภาพสูง ซึ่งในปัจจุบันในประเทศไทยมีกำลังการผลิตติดตั้งรวมประมาณ 2,500 เมกกะวัตต์ และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ระบบไฟโตโวลตาอิกนั้น จำเป็นต้องติดตั้งในที่โล่งแจ้ง เพื่อให้สามารถเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้าได้มากที่สุด ดังนั้นจึงมีความเสี่ยงที่จะได้รับอันตรายจากการถูกฟ้าผ่า แต่ระบบไฟโตโวลตาอิกส่วนใหญ่ที่ติดตั้งในประเทศไทยนั้นไม่มีการออกแบบติดตั้งระบบป้องกันฟ้าผ่า ซึ่งแม้ว่าบางระบบไฟโตโวลตาอิก มีการติดตั้งการป้องกันระบบป้องกันฟ้าผ่า แต่ระบบป้องกันฟ้าผ่าที่ถูกออกแบบก็จะแตกต่างกันออกไป ขึ้นอยู่กับประสบการณ์ของผู้ออกแบบ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ จึงนำเสนอการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ช่วยประเมินความเสี่ยงอันตรายจากการถูกฟ้าผ่า และออกแบบการติดตั้งระบบป้องกันฟ้าผ่า และการป้องกันเสิร์จในระบบไฟโตโวลตาอิก โดยยึดตามมาตรฐาน IEC 62305-3 และมาตรฐานการป้องกันฟ้าผ่าภาค 3 วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย โดยโปรแกรมจะทำการประเมินว่าระบบไฟโตโวลตาอิกที่พิจารณาจำเป็นต้องมีการติดตั้งระบบป้องกันฟ้าผ่าหรือไม่ ถ้าจำเป็น โปรแกรมคอมพิวเตอร์สามารถให้ผลลัพธ์เป็นจำนวนและตำแหน่งติดตั้งที่เหมาะสมของติดตั้งตัวนำล่อฟ้า และขนาดที่เหมาะสมของอุปกรณ์ป้องกันเสิร์จในระบบไฟโตโวลตาอิก ซึ่งทำให้การออกแบบมีความสะดวกรวดเร็วและเป็นมาตรฐานเดียวกัน

โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นได้นำตัวอย่างข้อมูลจริงไปทดลองออกแบบระบบป้องกันฟ้าผ่าให้กับระบบไฟโตโวลตาอิก และทวนสอบผลการออกแบบกับโปรแกรมเขียนแบบ 3 มิติ เพื่อตรวจสอบพื้นที่ป้องกันฟ้าผ่าตามหลักการของวิธีมุมป้องกันและวิธีทรงกลมกลิ้ง ผลจากโปรแกรมแสดงค่าเป็นที่ยอมรับได้ตามมาตรฐานที่กล่าวถึงข้างต้น

คำสำคัญ: วัสดุเหล็กแม่พิมพ์พลาสติก ความหยาบผิว การสึกหรอคมตัดของมีดกัด

Thesis Title	A Computer Program for Designing of Lightning and Surge Protection for Photovoltaic Systems
Name - Surname	Mr. Songpol Ittarat
Program	Electrical Engineering
Thesis Advisor	Assistant Professor Somchai Hirunvarodom, Ph.D.
Thesis Co-advisor	Mr. Boonyang Plangklang, Dr.-Ing.
Academic Year	2012

ABSTRACT

Renewable energy from PV system is a clean pollution and has high potential in Thailand. At present, the total cumulative installed capacity is 2500 MW approximately and it is dramatically increasing. PV systems need to be really installed in outdoor area to convert solar energy to electrical energy with more efficiency. Accordingly, the system has a risk to be hit by lightning strike. Nevertheless, almost PV systems installed in Thailand do not have an appropriate lightning protection system. Although some PV systems have already designed to protect from lightning, it is quite different design that is based on the each designer experience.

This thesis proposes the computer program to assess the risk of lightning strike and design the appropriate lightning and surge protection in PV systems based on IEC 62305 standard and the standard of Engineering Institute of Thailand for lightning protection part 3. The program can assess the risk of lightning strike of PV system that it is neither requirement to protect or not. If it is required, the computer program can give the results of the suitable number and position of lightning rod installation and suitable sizing for surge protective devices. This makes the very convenience for designing based on the same standard.

The developed program was repeatedly tested with the sample of actual PV system installed and verifies the results for designing with 3D drawing program by using both method of protective angle and rolling sphere. The results from the developed program show that they are accepted based on the standard mentioned above.

Keywords: lightning risk assessment, lightning protection in PV system, computer program for lightning protection design

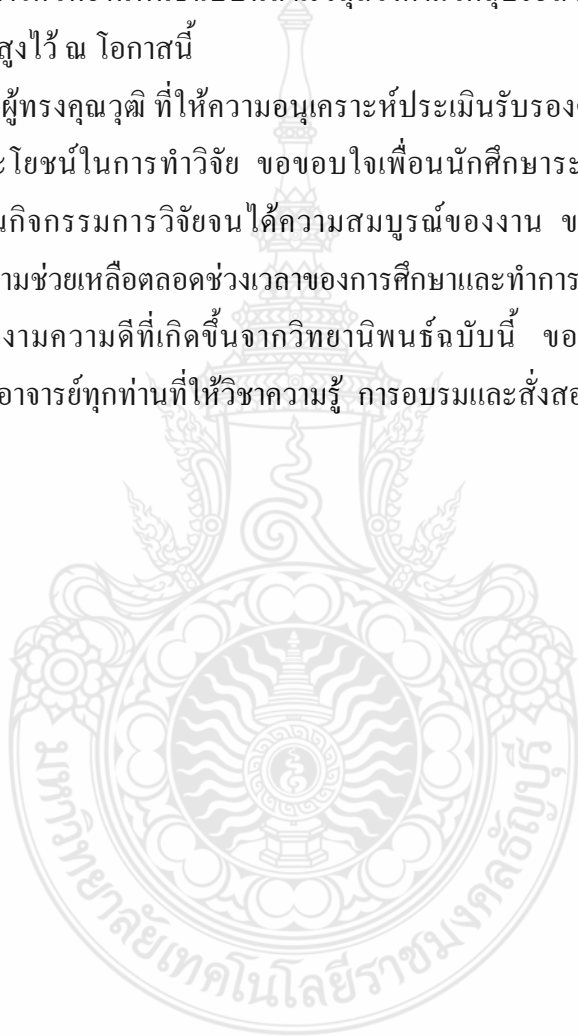
กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีนั้น จึงต้องขอขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษา วิทยานิพนธ์ทั้งสองท่าน ได้แก่ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สมชัย หิรัญวโรดม และ ดร. บุญยัง ปลั่งกลาง เป็นอย่างยิ่ง ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษา การวางแผนที่ดี คำแนะนำและตรวจสอบรวมถึงให้ประสบการณ์ ต่างๆ ที่เป็นแนวทางทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ ซึ่งผู้วิจัยขอกราบ ขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบคุณผู้ทรงคุณวุฒิ ที่ให้ความอนุเคราะห์ประเมินรับรองต้นแบบชิ้นงานวิจัยและให้ คำแนะนำอันเป็นประโยชน์ในการทำวิจัย ขอขอบใจเพื่อนนักศึกษาระดับปริญญาโททุกคนที่ให้ กำลังใจในการดำเนินกิจกรรมการวิจัยจนได้ความสมบูรณ์ของงาน ขอขอบคุณบุคลากรบัณฑิต วิทยาลัยทุกคนที่ให้ความช่วยเหลือตลอดช่วงเวลาของการศึกษาและทำการวิจัย

สุดท้ายขออนุญาตความดีที่เกิดขึ้นจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ขอมอบเพื่อบูชาพระคุณบิดา มารดา ตลอดจนครูบาอาจารย์ทุกท่านที่ให้วิชาความรู้ การอบรมและสั่งสอนและผู้มีพระคุณทุกท่าน

ทรงพล อัฐรัตน์



สารบัญ

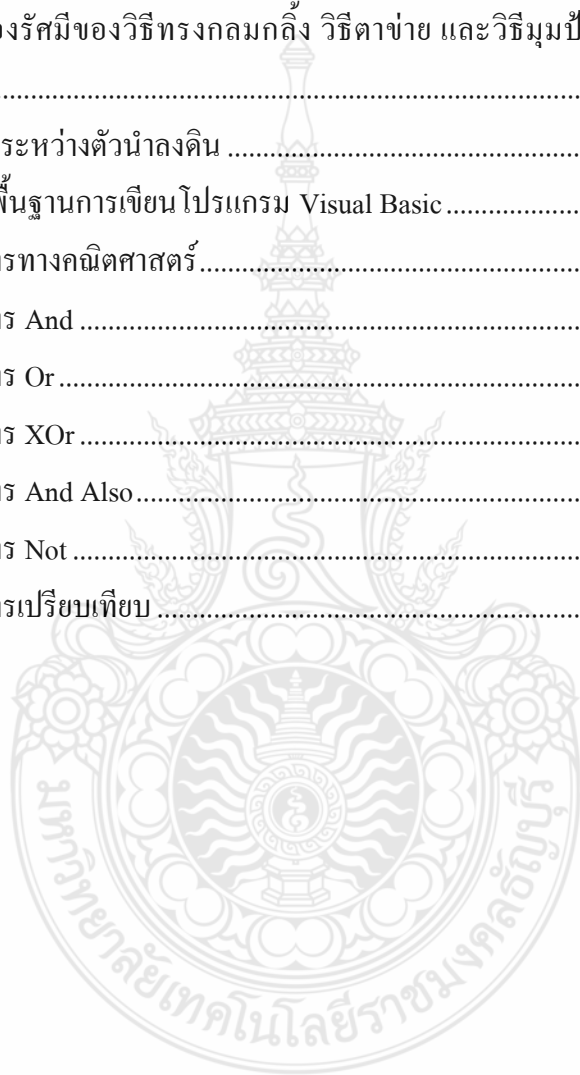
	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ง
กิตติกรรมประกาศ.....	จ
สารบัญ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญภาพ.....	ฌ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	2
1.3 สมมติฐานของการวิจัย.....	2
1.4 ขอบเขตของการวิจัย.....	2
1.5 วิธีการดำเนินงานวิจัย.....	3
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 ปรากฏการณ์และพฤติกรรมของฟ้าผ่า.....	4
2.2 ความเสียหายจากการเกิดฟ้าผ่า.....	8
2.3 การประเมินความเสี่ยงจากการถูกฟ้าผ่าของระบบโพลีโวลตาอิก.....	10
2.4 หลักการป้องกันฟ้าผ่า.....	12
2.5 พิจารณาเลือกระดับการป้องกัน.....	13
2.6 ระบบตัวนำล่อฟ้า.....	14
2.7 ระบบตัวนำลงดิน.....	18
2.8 ระบบมาตรการป้องกันอิมพัลส์แม่เหล็กไฟฟ้าจากฟ้าผ่า.....	18
2.9 ย่านป้องกันฟ้าผ่า.....	19
2.10 อุปกรณ์ป้องกันเสิร์จทางสายตัวนำไฟฟ้าชนิดต่างๆ.....	21
2.11 การเลือกอุปกรณ์ป้องกันแรงดันไฟฟ้าเกิน.....	22
2.12 สรุปผลจากการศึกษาทฤษฎี.....	24

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
3 การออกแบบโปรแกรม	25
3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย	25
3.2 ข้อมูลฟ้าผ่า	25
3.3 หลักการออกแบบระบบป้องกันฟ้าผ่าสำหรับระบบไฟโตโวลตาอิก	26
3.4 ระบบป้องกันเสร็จสำหรับระบบไฟโตโวลตาอิก.....	33
3.5 การเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ด้วย Visual Basic	35
3.6 บทสรุปโปรแกรม.....	45
4 การดำเนินการและการทดสอบวิเคราะห์ผล	46
4.1 การทดสอบและวิเคราะห์ผล.....	46
4.2 บทสรุปโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับการออกแบบระบบป้องกันฟ้าผ่าและป้องกัน เสร็จสำหรับระบบไฟโตโวลตาอิก	68
5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	69
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	69
5.2 ข้อเสนอแนะ	70
รายการอ้างอิง.....	71
ภาคผนวก.....	73
ภาคผนวก ก Code Program Visual Basic.....	74
ภาคผนวก ข Datasheet (SPD, Home, SPD, Building, Plant)	98
ภาคผนวก ค ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่	134
ประวัติผู้เขียน.....	180

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	ค่าที่ใช้ประเมินค่าความถี่ของการเกิดวาทไฟฟ้าที่ยอมรับได้กับสิ่งปลูกสร้าง	11
2.2	ค่าสัมประสิทธิ์ของพื้นที่ที่ติดตั้งระบบไฟโตโวลตาอิก	12
2.3	ค่าประสิทธิภาพของการการป้องกันฟ้าผ่า	13
2.4	ค่าสูงสุดของรัศมีของวิธีทรงกลมกลิ้ง วิธีตาข่าย และวิธีมุมป้องกัน ตามระดับการป้องกัน	15
2.5	ค่าระยะห่างระหว่างตัวนำลงดิน	18
3.1	ชนิดข้อมูลพื้นฐานการเขียนโปรแกรม Visual Basic	39
3.2	ตัวดำเนินการทางคณิตศาสตร์	40
3.3	ตัวดำเนินการ And	41
3.4	ตัวดำเนินการ Or	41
3.5	ตัวดำเนินการ XOr	41
3.6	ตัวดำเนินการ And Also	41
3.7	ตัวดำเนินการ Not	42
3.8	ตัวดำเนินการเปรียบเทียบ	42



สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 การกระจายของประจุภายในเมฆฝนฟ้าคะนอง	5
2.2 แผนที่แสดงการเกิดฟ้าผ่าทั่วโลก	6
2.3 ลักษณะของฟ้าผ่า.....	7
2.4 ลักษณะการเกิดฟ้าผ่าโดยตรง	9
2.5 ลักษณะการเกิดแรงดันสัมผัสจากฟ้าผ่า	10
2.6 ปริมาตรป้องกัน โดยแท่งตัวนำล่อฟ้า	14
2.7 การออกแบบระบบตัวนำล่อฟ้าโดยใช้วิธีมุมป้องกันสำหรับความสูงต่างๆ	15
2.8 ค่ามุมป้องกันที่ใช้ในการออกแบบ	16
2.9 บริเวณป้องกัน โดยวิธีทรงกลมกลิ้ง.....	16
2.10 การวางตัวนำล่อฟ้าโดยวิธีตาข่าย	17
2.11 การจัดวางทั่วไปขององค์ประกอบแบบต่างๆของตัวนำล่อฟ้า	17
2.12 หลักการทั่วไปสำหรับการแบ่งเป็นย่านป้องกันฟ้าผ่า	19
2.13 คลื่นทดสอบอุปกรณ์ป้องกันเสร็จด้วยกระแสอิมพัลส์ 10/350 μ s และ 8/20 μ s	20
2.14 การแบ่งประเภทแรงดันไฟฟ้าเกินตามความสัมพันธ์ทางคานวน โดยควบคุมแรงดันแต่ ละประเภทการติดตั้ง.....	21
2.15 กระแสฟ้าผ่าที่กระจายไปตามระบบต่างๆ	22
3.1 จำนวน Thunderstorm Day, T_d เฉลี่ยใน 1 ปี.....	26
3.2 เงามของตัวนำล่อฟ้าที่พาดไปด้านหลัง.....	27
3.3 เงามของตัวนำล่อฟ้าที่พาดไปด้านหลังและต้องไม่บังเงาแผงด้านหลัง.....	27
3.4 หลักการออกแบบด้วยมุมป้องกันและวิธีทรงกลมกลิ้ง	28
3.5 ระยะ p และ t ที่ต้องอยู่ในแนวป้องกัน	28
3.6 การหาค่าระยะป้องกัน a	29
3.7 การออกแบบระบบป้องกันฟ้าผ่าโดยวิธีทรงกลมกลิ้ง	30
3.8 ระยะล่อล้าของทรงกลิ้ง.....	30
3.9 การคำนวณค่าระยะล่อล้าของทรงกลิ้ง	31
3.10 Flow Chart การทำงานของโปรแกรมออกแบบติดตั้งระบบป้องกันฟ้าผ่าสำหรับ ระบบไฟโตโวลตาอิก	32

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
3.11 การติดตั้งเสิร์ฟเวอร์ของระบบโฟโตโวลตาอิกแบบบ้านอยู่อาศัย	33
3.12 การติดตั้งเสิร์ฟเวอร์ของระบบโฟโตโวลตาอิกแบบอาคารสูง.....	34
3.13 การติดตั้งเสิร์ฟเวอร์ของระบบโฟโตโวลตาอิกแบบโรงไฟฟ้า.....	35
3.14 หน้าต่างโปรแกรม Microsoft Visual Studio 2010.....	36
3.15 การสร้าง New Project โปรแกรม Microsoft Visual Studio 2010	37
3.16 หน้าจอพื้นฐานโปรแกรม Microsoft Visual Studio 2010.....	38
4.1 ระบบที่ใช้ทดสอบโปรแกรม ณ อำเภอท่ายาง จังหวัดเพชรบุรี ขนาด 25 กิโลวัตต์สูงสุด	47
4.2 หน้าจอหลักการใช้งานโปรแกรมของการทดลองที่ 1.....	47
4.3 การคำนวณค่าความถี่ของการเกิดวาทฟ้าผ่าตรงกับสิ่งปลูกสร้าง (N_d) และการคำนวณ ค่าความถี่ของการเกิดวาทฟ้าผ่าที่ยอมรับได้กับสิ่งปลูกสร้าง (N_c) ของการทดลองที่ 1.	48
4.4 เลือกระดับการป้องกันและจำนวนแท่งตัวนำล่อฟ้าที่จะติดตั้งสูงสุดของการทดลองที่ 1	49
4.5 ผลการออกแบบจากโปรแกรมแบบ Plant.....	50
4.6 แบบสามมิติที่ใช้ตรวจสอบการออกแบบ แบบ Plant	51
4.7 หน้าจอหลักการใช้งานโปรแกรมของการทดลองที่ 2.....	52
4.8 การคำนวณค่าความถี่ของการเกิดวาทฟ้าผ่าตรงกับสิ่งปลูกสร้าง (N_d) และการคำนวณ ค่าความถี่ของการเกิดวาทฟ้าผ่าที่ยอมรับได้กับสิ่งปลูกสร้าง (N_c) ของการทดลองที่ 2.	53
4.9 เลือกระดับการป้องกันและจำนวนแท่งตัวนำล่อฟ้าที่จะติดตั้งสูงสุดของการทดลองที่ 2	54
4.10 ผลการออกแบบจากโปรแกรมแบบ BIPV ของการทดลองที่ 2.....	55
4.11 ตำแหน่งที่ติดตั้งตัวนำล่อฟ้าแบบ BIPV ของการทดลองที่ 2.....	56
4.12 แบบสามมิติที่ใช้ตรวจสอบการออกแบบ BIPV ของการทดลองที่ 2.....	56
4.13 แบบอาคารตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบโปรแกรม	57
4.14 หน้าจอหลักการใช้งานโปรแกรมของการทดลองที่ 3.....	58
4.15 การคำนวณค่าความถี่ของการเกิดวาทฟ้าผ่าตรงกับสิ่งปลูกสร้าง (N_d) และการคำนวณ ค่าความถี่ของการเกิดวาทฟ้าผ่าที่ยอมรับได้กับสิ่งปลูกสร้าง (N_c) ของการทดลองที่ 3.	58
4.16 เลือกระดับการป้องกันและจำนวนแท่งตัวนำล่อฟ้าที่จะติดตั้งสูงสุดของการทดลองที่ 3	59
4.17 ผลการออกแบบจากโปรแกรมแบบ BIPV ของการทดลองที่ 3.....	60
4.18 ตำแหน่งที่ติดตั้งตัวนำล่อฟ้าแบบ BIPV ของการทดลองที่ 3.....	61

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.19 แบบสามมิติที่ใช้ตรวจสอบการออกแบบ BIPV ของการทดลองที่ 3.....	61
4.20 แบบบ้านพักอาศัยตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบโปรแกรม	62
4.21 หน้าจอหลักการใช้งานโปรแกรมของการทดลองที่ 4.....	63
4.22 การคำนวณค่าความถี่ของการเกิดควาไฟฟ้าตรงกับสิ่งปลูกสร้าง (N_d) และการคำนวณ ค่าความถี่ของการเกิดควาไฟฟ้าที่ยอมรับได้กับสิ่งปลูกสร้าง (N_c)ของการทดลองที่ 4	64
4.23 หน้าจอหลักการใช้งานตัวโปรแกรมออกแบบระบบป้องกันเสิร์จ	65
4.24 หน้าจอของตัวโปรแกรมการติดตั้งเสิร์จในระบบโฟโตโวลตาอิกแบบ Plant.....	66
4.25 หน้าจอแสดงผลการติดตั้งเสิร์จในระบบโฟโตโวลตาอิกแบบ Plant	67
4.26 Specification เสิร์จในระบบโฟโตโวลตาอิกแบบ Plant.....	67



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

สถานการณ์ปัจจุบันพลังงานเป็นปัจจัยสำคัญในการตอบสนองความต้องการพื้นฐานของมนุษย์ อีกทั้งยังเป็นปัจจัยหลักในภาคธุรกิจและภาคอุตสาหกรรม นอกจากนี้การเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วของประชากรและการเติบโตทางเศรษฐกิจ ยังส่งผลให้อัตราการใช้พลังงานของโลกเพิ่มขึ้นตามไปด้วย จึงเป็นสาเหตุที่ทำให้แหล่งพลังงานฟอสซิล อาทิ แก๊สธรรมชาติ ถ่านหิน น้ำมัน มีปริมาณลดลงเรื่อยๆ โดยเฉพาะน้ำมันมีแนวโน้มว่าจะหมดลงภายในไม่กี่สิบปีข้างหน้า ด้วยเหตุนี้รัฐบาลจึงมีนโยบายเร่งหาพลังงานทดแทนที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยและมีปริมาณมากเพียงพอต่อความต้องการ

พลังงานทดแทนจากแสงอาทิตย์ จึงถือเป็นอีกทางเลือกหนึ่ง ซึ่งเป็นพลังงานที่สะอาดปราศจากมลพิษ และเป็นพลังงานที่มีศักยภาพสูง ซึ่งในปัจจุบันในประเทศไทยมีกำลังการผลิตติดตั้งรวมมากกว่า 2,500 เมกกะวัตต์ [1] และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เพื่อนำมาใช้ทดแทนพลังงานหลักที่ขาดแคลนในปัจจุบัน

ระบบโฟโตโวลตาอิก (Photovoltaic System) นั้น จำเป็นต้องติดตั้งในที่โล่งแจ้งเพื่อให้สามารถเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้าได้มากที่สุด ดังนั้นจึงมีความเสี่ยงที่จะได้รับอันตรายจากการถูกฟ้าผ่า แต่ระบบโฟโตโวลตาอิกส่วนใหญ่ที่ติดตั้งในประเทศไทยนั้น ในปัจจุบันส่วนมากไม่มีการออกแบบติดตั้งระบบป้องกันฟ้าผ่า โดยผู้ออกแบบไม่ได้คำนึงถึงระบบป้องกันฟ้าผ่าสำหรับระบบโฟโตโวลตาอิก หรือถ้ามีการออกแบบระบบป้องกันฟ้าผ่าก็มีผลลัพธ์ที่แตกต่างกันออกไปประสบการณ์ของผู้ออกแบบแต่ละคน ดังนั้นจึงได้นำเอาคอมพิวเตอร์มาช่วยในการออกแบบระบบป้องกันฟ้าผ่า โดยยึดตามมาตรฐาน IEC 62305-3 และมาตรฐานการป้องกันฟ้าผ่า ภาค 3 ความเสียหายทางกายภาพต่อสิ่งปลูกสร้างและอันตรายต่อชีวิต วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ (วสท.) จะทำให้การออกแบบมีความสะดวกรวดเร็วและเป็นมาตรฐานเดียวกัน

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ จึงนำเสนอการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยประเมินความเสี่ยงอันตรายจากการถูกฟ้าผ่าและออกแบบการติดตั้งระบบป้องกันฟ้าผ่าและการป้องกันเสิร์จในระบบโฟโตโวลตาอิก ซึ่งสามารถคำนวณหาจำนวนและตำแหน่งติดตั้งที่เหมาะสมในการติดตั้งตัวนำล่อฟ้า (Air Terminal) ตำแหน่งติดตั้งและขนาดอุปกรณ์ป้องกันเสิร์จในระบบโฟโตโวลตาอิก ซึ่งจะช่วยให้นักวิจัยเข้าใจถึงหลักการวิธีประเมินความเสี่ยงอันตรายจากการถูกฟ้าผ่าและออกแบบติดตั้งระบบ

ป้องกันฟ้าผ่าและการป้องกันเสิร์จของระบบไฟโตโวลตาอิก และการวิจัยนี้จะทำให้ทราบว่าบริเวณที่ติดตั้งระบบไฟโตโวลตาอิก ควรจะมีระบบป้องกันฟ้าผ่าหรือไม่ เพื่อลดการสูญเสียที่เกิดจากฟ้าผ่า ระบบไฟโตโวลตาอิกทั้งทางตรงและทางอ้อม

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 ศึกษาวิธีการประเมินความเสี่ยงอันตรายจากการถูกฟ้าผ่าในการติดตั้งสำหรับระบบไฟโตโวลตาอิก

1.2.2 ศึกษาการออกแบบระบบป้องกันฟ้าผ่าและระบบป้องกันเสิร์จให้เหมาะสมสำหรับการติดตั้งระบบไฟโตโวลตาอิก

1.2.3 ออกแบบระบบป้องกันฟ้าผ่าและเสิร์จให้เป็นไปตามมาตรฐาน IEC 62305-3 และมาตรฐานการป้องกันฟ้าผ่า ภาค 3 ความเสียหายทางกายภาพต่อสิ่งปลูกสร้างและอันตรายต่อชีวิต วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ (วสท.) เพื่อให้มีความสะดวกรวดเร็วยิ่งขึ้น

1.3 สมมติฐานของการวิจัย

เนื่องด้วยการติดตั้งระบบไฟโตโวลตาอิก จำเป็นต้องติดตั้งในที่โล่งแจ้งเพื่อให้สามารถผลิตพลังงานได้อย่างเต็มที่ ซึ่งพื้นที่ในประเทศไทยนั้น มีลักษณะภูมิอากาศแบบร้อนชื้นและมีมรสุมโดยมีจำนวนวันพายุฝนฟ้าคะนองต่อปี (Thunderstorm Day, T_d) ช่วงตั้งแต่ 50-120 วันต่อปี ดังนั้นระบบไฟโตโวลตาอิกจึงมีความเสี่ยงจากความเสียหายที่เกิดจากฟ้าผ่าทั้งทางตรงและทางอ้อม

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

1.4.1 ออกแบบวิธีการประเมินความเสี่ยงประเมินความเสี่ยงอันตรายจากการถูกฟ้าผ่าในการติดตั้งระบบไฟโตโวลตาอิก

1.4.2 ออกแบบการติดตั้งระบบป้องกันฟ้าผ่าและระบบป้องกันเสิร์จให้เหมาะสมสำหรับระบบไฟโตโวลตาอิก

1.4.3 ออกแบบและพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์

1.4.4 วิเคราะห์ผลจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่เขียนและประสิทธิภาพของการทำงานของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ พร้อมทั้งนำไปทวนสอบด้วยโปรแกรมเขียนแบบ 3 มิติ โดยตัวอย่างกับระบบไฟโตโวลตาอิกที่ติดตั้งจริง

1.5 วิธีการดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยนี้ ได้ทำการเสนอวิธีการประเมินความเสี่ยงอันตรายจากการถูกฟ้าผ่าและโปรแกรมการออกแบบระบบป้องกันฟ้าผ่าและเสิร์จสำหรับระบบโฟโตโวลตาอิก เพื่อให้เป็นไปตามมาตรฐาน IEC 62305-3 และมาตรฐานการป้องกันฟ้าผ่า ภาค 3 ความเสียหายทางกายภาพต่อสิ่งปลูกสร้างและอันตรายต่อชีวิต วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ (วสท.)

1.5.1 รวบรวมสถิติจำนวนการเกิดฟ้าผ่าในประเทศไทย

1.5.2 ศึกษาวิธีการ ประเมินความเสี่ยงอันตรายจากการถูกฟ้าผ่า

1.5.3 ศึกษาขั้นตอนการออกแบบระบบป้องกันฟ้าผ่าและเสิร์จ สำหรับระบบโฟโตโวลตาอิก

1.5.4 เขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อใช้ในการออกแบบระบบป้องกันฟ้าผ่าและระบบป้องกันเสิร์จสำหรับระบบโฟโตโวลตาอิก

1.5.5 ทดสอบการทำงานให้เป็นไปตามมาตรฐาน IEC 62305-3 และมาตรฐานการป้องกันฟ้าผ่า ภาค 3 ความเสียหายทางกายภาพต่อสิ่งปลูกสร้างและอันตรายต่อชีวิต วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ (วสท.)

1.5.6 สรุปผลและจัดทำรูปเล่ม

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.6.1 สามารถประเมินความเสี่ยงอันตรายที่เกิดจากการถูกฟ้าผ่าและออกแบบระบบป้องกันฟ้าผ่าและระบบป้องกันเสิร์จได้แม้ไม่มีความชำนาญและช่วยลดระยะเวลาในการออกแบบเพื่อใช้กับระบบโฟโตโวลตาอิก

1.6.2 เป็นเครื่องมือช่วยในการประเมินความเสี่ยงอันตรายที่เกิดจากการถูกฟ้าผ่าและออกแบบระบบป้องกันฟ้าผ่าและระบบป้องกันเสิร์จได้

บทที่ 2

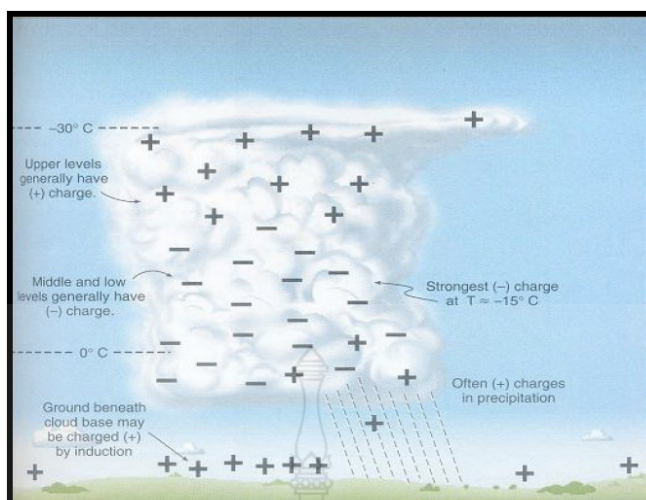
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ปฏิกิริยาและพฤติกรรมของฟ้าผ่า

ฟ้าผ่าเป็นปรากฏการณ์ธรรมชาติเป็นผลของการเกิดดีสชาร์จของประจุไฟฟ้าในก้อนเมฆ (Cloud charges) [2] การสะสมประจุในก้อนเมฆมีปริมาณมากทำให้ก้อนเมฆมีศักย์ไฟฟ้าสูงตั้งแต่ 10 เมกะโวลต์ถึง 100 เมกะโวลต์ และเกิดการดีสชาร์จระหว่างก้อนเมฆกับพื้นโลกเป็นวาบฟ้าผ่า (Ground Flash) หรือระหว่างก้อนเมฆกับก้อนเมฆหรือภายในก้อนเมฆเดียวกันเป็นฟ้าแลบ (Air Discharge) ฟ้าผ่าและฟ้าแลบมีโอกาสเกิดขึ้นพร้อมกันการปลดปล่อยประจุไฟฟ้าในอากาศซึ่งอาจเกิดร่วมกับปรากฏการณ์อื่นๆ อาทิ ฝนฟ้าคะนองพายุฝุ่นและภูเขาไฟระเบิดอย่างไรก็ดีฟ้าผ่าที่เกี่ยวข้องกับคนส่วนใหญ่เกิดจากการปลดปล่อยประจุไฟฟ้าออกจากเมฆฝนฟ้าคะนอง (Thunder Cloud) หรือที่นักอุตุนิยมวิทยาเรียกว่าเมฆคิวมูโลนิมบัส (Cumulonimbus) [3]

2.1.1 กระบวนการการเกิดฟ้าผ่า

เมฆฝนฟ้าคะนองมีลักษณะเป็นก้อนขนาดใหญ่มีประจุสะสมที่ระดับความสูง 1.5-10 กิโลเมตร ภายในก้อนเมฆมีการไหลเวียนของกระแสอากาศอย่างรวดเร็วและรุนแรงทำให้หยดน้ำและก้อนน้ำแข็งในเมฆเสียดสีกันจนเกิดประจุไฟฟ้า โดยกลุ่มประจุบวกมักจะอยู่บริเวณยอดเมฆส่วนประจุลบจะอยู่บริเวณฐานเมฆซึ่งประจุลบที่บริเวณฐานเมฆอาจจะเหนี่ยวนำให้พื้นผิวของโลกที่อยู่ใต้เงาของก้อนเมฆมีประจุเป็นบวกและหยาดน้ำฝนมักมีประจุเป็นบวก จุดเริ่มต้นของฟ้าผ่าส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นที่กลุ่มประจุลบบริเวณฐานก้อนเมฆใกล้พื้นโลกเมื่อความเครียดสนามไฟฟ้ามีค่าถึงจุดวิกฤต (E_c) ในก้อนเมฆประมาณ 10 kV/cm (ในบรรยากาศที่ระดับพื้นโลก $E_c \approx 30$ kV/cm) จะเกิดการไอออไนเซชันลักษณะของประจุภายในและรอบก้อนเมฆ ดังภาพที่ 2.1



ภาพที่ 2.1 การกระจายของประจุภายในเมฆฝนฟ้าคะนอง [3]

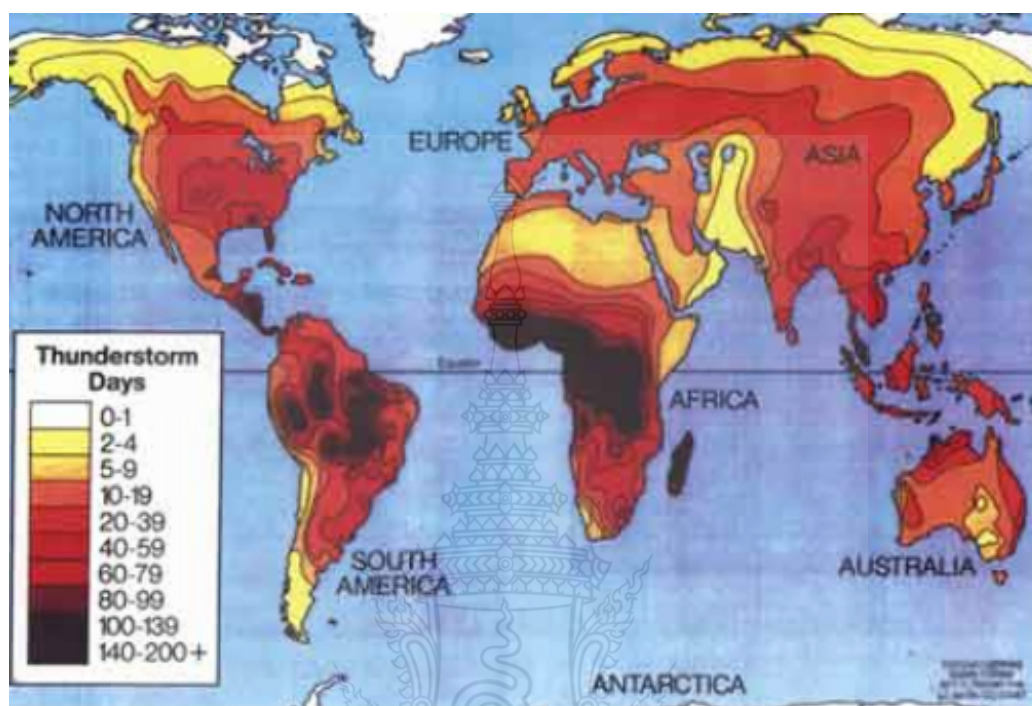
เมื่อมีการสะสมประจุมากพอจนทำให้อากาศเกิดการไอออไนเซชันโดยประจุจะมีการเคลื่อนที่เป็นลักษณะหัวนำร่อง (Leader) ที่มีทิศทางลงสู่พื้นโลกในลักษณะจังหวะก้าว (Stepped Leader) โดยกระแสแต่ละช่วงก้าวจะมีค่าเฉลี่ยประมาณ 50 เมตร มีการแตกตัวออกไปในทิศทางที่ไปได้ง่ายที่สุด ซึ่งแต่ละช่วงก้าวจะมีการหยุดเป็นระยะเวลาประมาณ 10-50 ไมโครวินาทีก่อนที่จะก้าวต่อไป

เมื่อกระแสช่วงก้าวเคลื่อนที่ลงมาใกล้พื้นโลกจะเกิดการเหนี่ยวนำประจุจากพื้นโลก อาทิ จากสิ่งปลูกสร้างต้นไม้เป็นต้นให้เกิดการไอออไนเซชันสตรีมเมอร์ (Streamer) ที่มีความยาวเฉลี่ย 20 เมตรวิ่งเข้าหาหัวนำร่องเมื่อกระแสทั้งสองพบกันประจุลบจะเคลื่อนที่ลงสู่พื้นโลกและจะมีประจุบวกไหลสวนทางขึ้นไปตามทางที่ประจุลบเคลื่อนที่ลงมาเกิดเป็นลำฟ้าผ่า (Main Stroke) มีแสงสว่างจ้าจากพื้นโลกวิ่งไปหาก้อนเมฆด้วยความเร็วสูงประมาณ 50×10^3 กิโลเมตร/วินาที ดังนั้นการเคลื่อนที่ของประจุในลำฟ้าผ่าก็คือกระแสฟ้าผ่า

ระยะสุดท้ายที่หัวนำร่องกระโดดเข้าหากระแสสตรีมเมอร์เรียกว่าระยะฟ้าผ่า (Striking Distance) ซึ่งมีระยะเฉลี่ยประมาณ 50 เมตร

สถานะที่อำนวยการให้เกิดฟ้าผ่านี้ จึงมีไม่เท่ากันทุกแห่งบนโลก แผนที่การเกิดฟ้าผ่าทั่วโลก ดังภาพที่ 2.2 ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1995 และ 1997 ตามลำดับ จะเห็นได้อย่างชัดเจนว่า ฟ้าผ่าส่วนมากจะเกิดเหนือภาคพื้นทวีปโดยเฉพาะแถบทรอปิกเป็นส่วนใหญ่ อาทิ ที่ฟลอริดาจะมีกระแสพายุจากฝั่งมหาสมุทรแอตแลนติก และจากอ่าวเม็กซิโกมาปะทะกันบีบดันให้อากาศพุ่งขึ้นในแนวตั้ง จนเกิด

ภาวะอันนวยต่อการเกิดฟ้าผ่าดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น ตัวเลขในแผนผังบอกอัตราจำนวนฟ้าผ่าที่เกิดในพื้นที่ 1 ตารางกิโลเมตรต่อปี



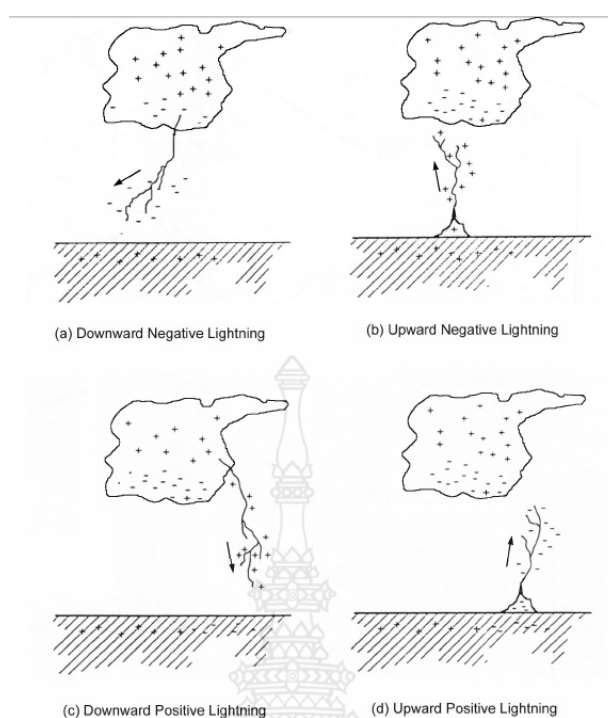
ภาพที่ 2.2 แผนที่แสดงการเกิดฟ้าผ่าทั่วโลก [4]

2.1.2 ลักษณะของการเกิดฟ้าผ่า

ลักษณะของฟ้าผ่าจะแบ่งได้เป็น 4 ประเภท คือ

- 1) ฟ้าผ่าที่เกิดขึ้นภายในก้อนเมฆ (Intra-Cloud Discharge)
- 2) ฟ้าผ่าที่เกิดขึ้นระหว่างก้อนเมฆ (Cloud-to-Cloud Discharge)
- 3) ฟ้าผ่าที่เกิดขึ้นระหว่างก้อนเมฆกับอากาศ (Cloud-to-Air Discharge)
- 4) ฟ้าผ่าที่เกิดขึ้นระหว่างก้อนเมฆกับพื้นดิน (Cloud-to-Ground Discharge)

มากกว่าร้อยละ 50 ของการเกิดฟ้าผ่าจะเกิดขึ้นภายในก้อนเมฆ มีเพียงส่วนน้อยที่เกิดขึ้นระหว่างก้อนเมฆ ส่วนในกรณีของฟ้าผ่าที่เกิดขึ้นระหว่างก้อนเมฆกับพื้นดินสามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ประเภท [5] ดังแสดงในภาพที่ 2.3



ภาพที่ 2.3 ลักษณะของฟ้าผ่า [5]

มากกว่าร้อยละ 90 ของฟ้าผ่าที่เกิดขึ้นระหว่างก้อนเมฆกับพื้นดินจะอยู่ในประเภทที่ 1 (ฟ้าผ่าลงที่เกิดจาก ห้วนนำร่องฟ้าผ่าประจุลบในก้อนเมฆ) ส่วนในประเภทที่ 3 (ฟ้าผ่าลงที่เกิดจากห้วนนำร่องฟ้าผ่าประจุบวกในก้อนเมฆ) จะมีเพียงโอกาสเกิดขึ้นเพียง ร้อยละ 5 ส่วนในประเภทที่ 2 และ 4 (ฟ้าผ่าขึ้น) จะพบได้ยาก ซึ่งสามารถพบได้บริเวณยอดของภูเขาหรืออาคารสูง สำหรับในการออกแบบระบบป้องกันฟ้าผ่า เราจะพิจารณาเฉพาะฟ้าผ่าลง

2.1.3 ฟ้าผ่าลงชนิดที่มีประจุลบ (Negative leader, Cloud-to-Ground)

คุณสมบัติของห้วนนำร่องฟ้าผ่าที่มีประจุลบ (Negative Leader) [5]

- 1) เวลาในการเคลื่อนที่ของห้วนนำร่องฟ้าผ่าในแต่ละช่วงมีค่า $1 \mu\text{s}$
- 2) ความยาวของห้วนนำร่องฟ้าผ่าประมาณ $10 - 150 \text{ m}$ หรือเฉลี่ยที่ 50 m [6]
- 3) เวลาหยุดพักในแต่ละช่วงก้าวของห้วนนำร่องฟ้าผ่าประมาณ $20 - 50 \mu\text{s}$
- 4) ความเร็วของห้วนนำร่องฟ้าผ่าประมาณ $2 \times 10^5 \text{ m.s}^{-1}$
- 5) ค่าเฉลี่ยของกระแสห้วนนำร่องฟ้าผ่าประมาณ $100 - 1,000 \text{ A}$
- 6) ก่อให้เกิดแขนงของลำฟ้าผ่า
- 7) ค่าความแตกต่างของแรงดันไฟฟ้าระหว่างห้วนนำร่องฟ้าผ่ากับพื้นดินเกินกว่า 10^7 V

คุณสมบัติของสตรีมเมอร์ (Streamer) หรือลำฟ้าผ่าย้อนกลับ (Return Stroke) [5]

- 1) มีความเร็วประมาณ $1/3$ ของความเร็วแสงที่บริเวณพื้นโลกและจะลดลงเมื่อเข้าใกล้กับก้อนเมฆ
 - 2) จะใช้เวลาในการเดินทางจากพื้นโลกถึงก้อนเมฆอยู่ในช่วง $100 \mu\text{s}$
 - 3) เวลาจากจุดเริ่มต้นจนถึงค่าสูงสุดมีค่าประมาณ $2 - 3 \text{ ms}$
 - 4) อุณหภูมิมีค่าประมาณ 300000 K
 - 5) จำนวนครั้งของลำฟ้าผ่าย้อนกลับ จะอยู่ในช่วง $1 - 30$ ครั้ง เฉลี่ยที่ประมาณ 4 ครั้ง
- สำหรับในกรณีของฟ้าผ่าลงชนิดที่มีประจุบวกจะมีข้อแตกต่างจากฟ้าผ่าลงชนิดที่มีประจุลบ คือ
- 1) กระแสหัวนำร่องฟ้าผ่าของฟ้าผ่าลงชนิดที่มีประจุบวกจะมีค่าสูงกว่า ซึ่งมีค่าประมาณ $200 - 300 \text{ kA}$
 - 2) ฟ้าผ่าลงชนิดที่มีประจุบวกจะเป็นลำฟ้าผ่าเดียว

2.2 ความเสียหายจากการเกิดฟ้าผ่า

ความเสียหายที่เกิดจากการเกิดฟ้าผ่าส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตและสิ่งปลูกสร้างรวมถึงความเสียหายต่อระบบไฟฟ้าและอุปกรณ์ต่าง โดยความเสียหายและอันตรายที่เกิดขึ้นสามารถแยกออกได้เป็น 3 ประเภทดังนี้ [2]

2.2.1 ความร้อน

เป็นผลทำให้เกิดความเสียหายจากการเกิดเพลิงไหม้เนื่องจากกระแสฟ้าผ่าเมื่อเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อนมีอุณหภูมิสูงถึง $30,000$ องศาเคลวิน (Kelvin : K) ซึ่งอุณหภูมิที่สูงขนาดนี้ย่อมทำให้เกิดเพลิงไหม้แก่สิ่งที่ถูกฟ้าผ่า

2.2.2 แรงบิดทางกลหรือแรงระเบิด

เป็นผลทำให้สิ่งที่ถูกฟ้าผ่าเกิดการระเบิดพังทลายเสียหายได้ อาทิ กรณีที่เกิดฟ้าผ่าลงบนวัสดุฉนวนกระแสฟ้าผ่าจะวิ่งไปตามแนวที่มีความต้านทานน้อยที่สุดซึ่งถ้ามีความชื้นอยู่ในวัสดุนั้นหรือความชื้นจะเปลี่ยนเป็นไอเกิดความดันซึ่งทำให้เกิดการระเบิด

2.2.3 ผลทางไฟฟ้า

ผลจากกระแสฟ้าผ่าทำให้เกิดแรงดันเกินเสิร์จในรูปของคลื่นเดินทาง (Traveling Wave) ในระบบไฟฟ้าวิ่งไปตามสายไฟเข้าสู่อุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าทำให้เกิดความเสียหายและทำให้เกิดคลื่น

แม่เหล็กไฟฟ้ากระจายออกไปรบกวนระบบสื่อสาร ทำให้เกิดแรงดันเหนี่ยวนำในระบบไฟฟ้า ซึ่งผลทางไฟฟ้านี้ทำให้เกิดอันตราย ดังนี้

1) การรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Interference, EMI)

กระแสฟ้าผ่าทำให้เกิดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแผ่กระจายออกไปรบกวนระบบสื่อสาร ก่อให้เกิดความเสียหายแก่อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีความไวต่อสนามแม่เหล็กไฟฟ้าทำให้เกิดแรงดันเหนี่ยวนำจากสนามแม่เหล็กไฟฟ้าขึ้นในตัวนำถ้าแรงดันสูงมากพออาจทำให้เกิดการสปาร์กได้

2) แรงดันสปาร์กด้านข้าง

ถ้ากระแสฟ้าผ่า (t) i ที่มีความเหนี่ยวนำ L และมีค่าความต้านทานของดิน R_e จะทำให้เกิดแรงดันตกคร่อมความเหนี่ยวนำและความต้านทานซึ่งคำนวณได้จากสมการที่ 2.1

$$\Delta U = R_e i_{(t)} + L \frac{di(t)}{dt} \quad (2.1)$$

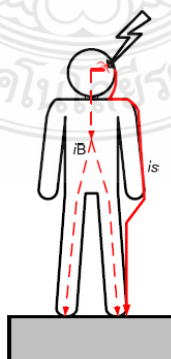
ถ้าหากความต้านทานรากสายดินหรือความเหนี่ยวนำของสายตัวนำลงดินมีค่าสูงจะทำให้ความต่างศักย์ไฟฟ้า ΔU มีค่าสูงถ้ามีค่ามากพอจะทำให้เกิดสปาร์กด้านข้างหรือกระโดดเข้าหาส่วนที่ต่อลงดินอย่างดีซึ่งการสปาร์กด้านข้างนี้อาจทำให้เกิดเพลิงไหม้ได้

3) แรงดันเกินในระบบแรงต่ำ

แรงดันเกินในระบบแรงต่ำอาจเกิดขึ้นในระบบจำหน่ายแรงต่ำได้ส่งผลให้อุปกรณ์ไฟฟ้าภายในอาคารเกิดความเสียหายจากระดับแรงดันเกินได้

4) อันตรายจากฟ้าผ่าที่เกิดขึ้นต่อคนโดยตรง (Direct Strike)

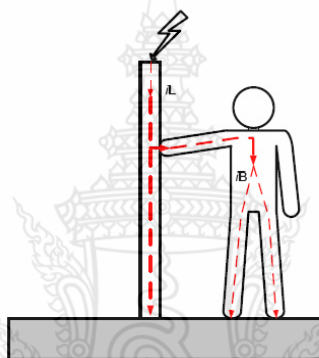
ลักษณะอาคารสิ่งปลูกสร้างสูงต้นไม้สูงหรือการยืนอยู่บริเวณที่โล่งแจ้งอาจทำให้เกิดอันตรายจากจากฟ้าผ่าได้โดยการในฟ้าผ่าเข้าโดยตรงหรือการอยู่บริเวณใกล้ก็สามารถเกิดการสปาร์ก (Spark) ข้ามมาเกิดอันตรายได้ ดังภาพที่ 2.4



ภาพที่ 2.4 ลักษณะการเกิดฟ้าผ่าโดยตรง [7]

5) อันตรายจากแรงดันช่วงก้าวและแรงดันสัมผัส

ผลที่เกิดจากฟ้าผ่าทางอ้อม อาจจะทำให้เกิดอันตรายได้ ซึ่งเป็นผลมาจากการที่กระแสฟ้าผ่าไหลลงสู่ดินซึ่งมีความต้านทาน กระแสฟ้าผ่ามีการแพร่กระจายออกไปในดิน จะทำให้เกิดความต่างศักย์ระหว่างสองจุดบนพื้นดิน โดยที่สองจุดนั้นมีระยะห่างเท่ากับช่วงก้าว ทำให้เกิดความต่างศักย์ระหว่างเท้าทั้งสองข้างในขณะที่ก้าวเดิน กรณีของคนจะคิดเท่ากับ 1 เมตร หรือระหว่างเท้าหน้ากับเท้าหลังของสัตว์ เรียกว่า “แรงดันช่วงก้าว (Step Voltage)” ส่วน “แรงดันสัมผัส (Touch Voltage)” คือความต่างศักย์ระหว่างตัวนำหรือโครงสร้างที่กระแสไหลผ่านลงสู่รากสายดิน ที่คนมีโอกาสสัมผัส เทียบกับดินที่ยืนอยู่ ทำให้มีกระแสไหลผ่านร่างกายเกินขีดกระแสอันตราย ดังภาพที่ 2.5



ภาพที่ 2.5 ลักษณะการเกิดแรงดันสัมผัสจากฟ้าผ่า [7]

2.3 การประเมินความเสี่ยงจากการถูกฟ้าผ่าของระบบโฟโตโวลตาอิก

ได้มีการศึกษาเกี่ยวกับการประเมินความเสี่ยงจากการถูกฟ้าผ่าของระบบโฟโตโวลตาอิก [8] เพื่อใช้ประเมินว่าสมควรติดตั้งระบบป้องกันฟ้าผ่าหรือไม่ โดยประเมินจากสองตัวแปรหลักคือ

- 1) ค่าความถี่ของการเกิดวาบฟ้าผ่าที่ยอมรับได้กับสิ่งปลูกสร้าง N_c
- 2) ค่าความถี่ของการเกิดวาบฟ้าผ่าโดยตรงกับสิ่งปลูกสร้าง N_d

โดยถ้า $N_c \geq N_d$ หมายถึง ระบบไม่จำเป็นต้องติดตั้งระบบป้องกันฟ้าผ่าแต่ถ้า $N_c < N_d$ หมายถึง ระบบจำเป็นต้องติดตั้งระบบป้องกันฟ้าผ่า

2.3.1 การประเมินค่าความถี่ของการเกิดวาบฟ้าผ่าที่ยอมรับได้กับสิ่งปลูกสร้าง N_c

N_c เป็นตัวเลขที่แสดงถึงค่าความถี่ของการเกิดวาบฟ้าผ่าที่ยอมรับได้กับสิ่งปลูกสร้าง โดยสามารถคำนวณตามสมการที่ 2.2 [8] โดยค่า A, B, C เป็นไปตามตารางที่ 2.1 [8]

$$N_c = A \times B \times C \times D \quad (2.2)$$

ตารางที่ 2.1 ค่าที่ใช้ประเมินค่าความถี่ของการเกิดวาทไฟฟ้าที่ยอมรับได้กับสิ่งปลูกสร้าง [8]

เงินลงทุนของระบบ	A
ต่ำ (น้อยกว่า 100,000 บาท)	1.0
ปานกลาง (100,000 - 2,000,000 บาท)	0.1
สูง (มากกว่า 2,000,000 บาท)	0.01
มูลค่าของอุปกรณ์อื่นๆ ที่จะเสียหาย	B
ต่ำ (น้อยกว่า 100,000 บาท)	1.0
ปานกลาง (100,000 - 2,000,000 บาท)	0.1
สูง (มากกว่า 2,000,000 บาท)	0.01
ความต้องการใช้พลังงานจากระบบ	C
ยอมหยุดได้มากกว่า 1 อาทิตย์	1.0
ยอมหยุดได้ไม่เกิน 1 อาทิตย์	0.1
ยอมหยุดได้ไม่เกิน 1 วัน	0.01
ความเสียหายอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง	D
ต่ำ	1.0
ปานกลาง	0.5
สูง	0.1
สูงมาก	0.01

2.3.2 การประเมินความถี่ของการเกิดวาทไฟฟ้าโดยตรงกับสิ่งปลูกสร้าง N_d

N_d คือ ความถี่ของการเกิดวาทไฟฟ้าโดยตรงกับสิ่งปลูกสร้าง โดยสามารถคำนวณได้ตามสมการที่ 2.3 [8]

$$N_d = N_g \times A_e \times C_e \times 10^{-6} \quad (2.3)$$

โดยที่ค่า N_g คือ ค่าเฉลี่ยของจำนวนครั้งการเกิดฟ้าผ่าต่อปีในพื้นที่นั้นๆ โดยสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.4 [9]

$$N_g = 0.01 \times T_d^{1.25} \quad (2.4)$$

โดยค่า T_d คือ จำนวนวันที่มีฝนฟ้าคะนองต่อปี
 A_c คือ พื้นที่รับฟ้าผ่าสมมูลของสิ่งปลูกสร้างพิจารณาจำนวนได้จากสมการที่ 2.5 [9]

$$A_c = LW + H(L+W) + 9\pi H^2 \quad (2.5)$$

โดย L คือ ความยาวของระบบไฟโตโวลตาอิก
 W คือ ความกว้างของระบบไฟโตโวลตาอิก
 H คือ ความสูงของระบบไฟโตโวลตาอิก
 C_c คือ สัมประสิทธิ์ของพื้นที่ที่ติดตั้งระบบมีค่าดังตารางที่ 2.2 [9]

ตารางที่ 2.2 ค่าสัมประสิทธิ์ของพื้นที่ที่ติดตั้งระบบไฟโตโวลตาอิก

ลักษณะพื้นที่	C_c
มีต้นไม้หรืออาคารที่สูงเท่ากันหรือสูงกว่าอยู่รอบๆ	0.25
มีต้นไม้หรืออาคารที่ต่ำกว่าอยู่รอบๆ	0.5
ไม่มีต้นไม้หรืออาคารอยู่ในระยะ 3 เท่าของความสูง	1
อยู่บนยอดเขา	2

2.4 หลักการป้องกันฟ้าผ่า

การป้องกันฟ้าผ่า คือ การป้องกันมิให้เกิดอันตรายต่อสิ่งก่อสร้างและบุคคล อันตรายนี้อยู่ในรูปของความร้อน แรงแกล และผลทางไฟฟ้า การป้องกันฟ้าผ่าสามารถทำได้โดยการจัดหาเส้นทางที่มีความต้านทานต่ำๆ ให้ฟ้าผ่าลงมาสู่ดิน โดยไม่เกิดอันตราย

การป้องกันฟ้าผ่าสามารถทำได้ในทุก ๆ กรณีที่จะเกิดฟ้าผ่าและก่อให้เกิดความเสียหายในการออกแบบระบบป้องกันฟ้าผ่าจะต้องคำนึงถึงหลักทางเศรษฐศาสตร์เป็นสำคัญ อาทิ ถ้าติดตั้งระบบป้องกันฟ้าผ่าในพื้นที่ที่ไม่มีประวัติการถูกฟ้าผ่ามาเป็นเวลาสิบๆ ปี หรือติดตั้งระบบป้องกันฟ้าผ่าให้กับสิ่งก่อสร้างที่มีมูลค่าต่ำกว่าระบบป้องกันฟ้าผ่าก็เป็น การป้องกันที่ไม่คุ้มค่ากับการลงทุน ดังนั้นการพิจารณาว่าควรจะติดตั้งระบบป้องกันฟ้าผ่าหรือไม่ และติดตั้งให้มีประสิทธิภาพสูงมากเท่าไรต้อง

พิจารณาจากหลายตัวแปร อาทิ สถิติการเกิดฟ้าผ่าในบริเวณนั้นๆ (Thunderstorm days) มูลค่าของสิ่งก่อสร้าง เป็นต้น

ราคาค่าติดตั้งระบบป้องกันฟ้าผ่าจะขึ้นอยู่กับ 2 ปัจจัย คือ ความเที่ยงตรงหรือความถูกต้องของระบบป้องกันฟ้าผ่าและวัสดุที่นำมาใช้ ซึ่งอาจจะเป็น ทองแดง อลูมิเนียม หรือเหล็กกันสนิม

ข้อมูลของความเสียหายที่เกิดจากฟ้าผ่าเป็นข้อมูลที่หาได้ยาก โดยมากจะได้มาจากบริษัทประกันภัยหรือองค์กรของรัฐในประเทศที่อยู่ในเขตที่มีโอกาสเกิดฟ้าผ่าปานกลาง เบี้ยประกันอุบัติเหตุจากฟ้าผ่าจะมีราคาต่ำกว่าค่าติดตั้งระบบป้องกันฟ้าผ่า

2.5 พิจารณาเลือกระดับการป้องกัน

จุดประสงค์ของการเลือกระดับการป้องกันคือ เพื่อลดความเสี่ยงจากความเสียหายอันเนื่องมาจากฟ้าผ่า ความเสี่ยงของอาคารแต่ละชนิดจะถูกพิจารณาจาก ความถี่ของการเกิดวาบฟ้าผ่าตรงลงอาคารนั้นต่อปี (The Annual Frequency of Lightning Flashes to The Structure, N_d) ซึ่งแสดงถึงความน่าจะเป็นของความเสียหายที่จะเกิดขึ้น โดยความเสียหายนี้ขึ้นกับตัวแปรหลายอย่าง อาทิ การใช้งานของพื้นที่ที่ป้องกัน วัสดุที่ใช้ในการก่อสร้าง

เมื่อพิจารณาเลือกระดับความเสียหายสูงสุดที่ยอมรับได้แล้ว ก็สามารถประมาณค่าความถี่สูงสุดของการเกิดวาบฟ้าผ่าที่ยอมรับได้ต่อปี (The Maximum Accepted Value of Annual Frequency Lightning Flashes, N_c) จากนั้นก็จะพิจารณาเลือกระดับการป้องกันที่เหมาะสมจากค่า N_d และ N_c โดยระดับการป้องกันจะแบ่งได้เป็น 4 ระดับ คือ 1, 2, 3 และ 4 ซึ่งระดับการป้องกันที่ 1 จะมีความปลอดภัยสูงสุด โดยประสิทธิภาพของการป้องกันในแต่ละระดับแสดงไว้ดังตารางที่ 2.3 ประสิทธิภาพนี้คิดจากโอกาสที่ฟ้าผ่าจะผ่าลงระบบป้องกันฟ้าผ่าต่างๆ โดยไม่ผ่าลงโครงสร้างหรืออาคาร

ตารางที่ 2.3 ค่าประสิทธิภาพของการการป้องกันฟ้าผ่า [10]

ระดับการป้องกัน	ประสิทธิภาพ
1	0.98
2	0.95
3	0.90
4	0.80

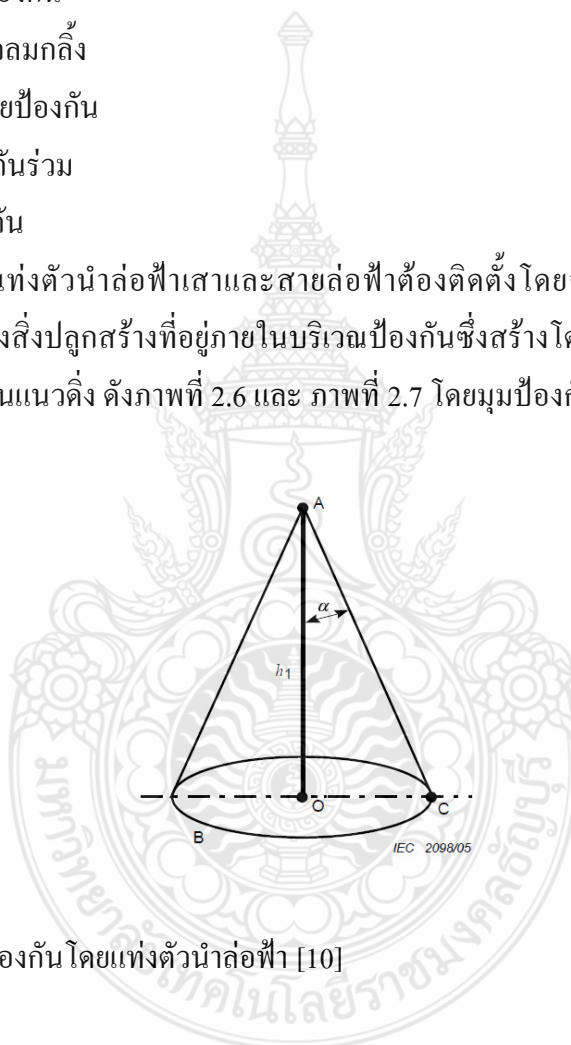
2.6 ระบบตัวนำล่อฟ้า

กรณีที่มีโอกาสเกิดฟ้าผ่าสูง การออกแบบระบบตัวนำล่อฟ้ามีจุดประสงค์ให้ฟ้าผ่าลงมายังจุดที่เราต้องการ ซึ่งมีระยะที่อาจทำให้เกิดฟ้าผ่าได้คือ ระยะฟ้าผ่า (Striking distance “ r ”) ซึ่งวัดจากปลายของหัวนำร่องฟ้าผ่ามายังโครงสร้างในแนวทรงกลมรัศมี r หลักการในการออกแบบระบบป้องกันฟ้าผ่ามีอยู่ 4 วิธี [9]

- 1) วิธีมุมป้องกัน
- 2) วิธีทรงกลมกลิ้ง
- 3) วิธีตาข่ายป้องกัน
- 4) วิธีป้องกันร่วม

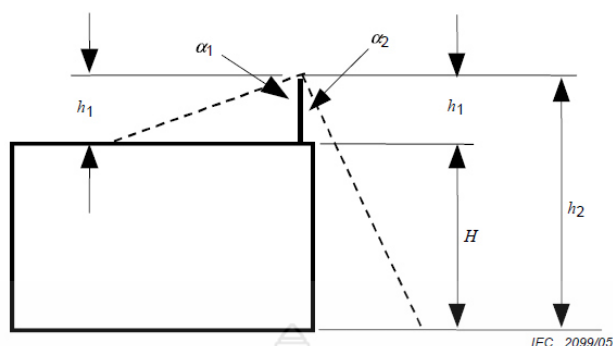
2.6.1 วิธีมุมป้องกัน

การติดตั้งแท่งตัวนำล่อฟ้าเสาและสายล่อฟ้าต้องติดตั้งโดยจัดตำแหน่งให้ตัวนำล่อฟ้าครอบคลุมทุกส่วนของสิ่งปลูกสร้างที่อยู่ภายในบริเวณป้องกันซึ่งสร้างโดยมุมป้องกัน α (องศา) ที่ฉายไปทุกทิศทุกทางในแนวตั้ง ดังภาพที่ 2.6 และ ภาพที่ 2.7 โดยมุมป้องกันกำหนดไว้ในตารางที่ 2.4 และภาพที่ 2.8



ภาพที่ 2.6 ปริมาตรป้องกันโดยแท่งตัวนำล่อฟ้า [10]

โดยที่	A	คือ	จุดยอดของแท่งตัวนำล่อฟ้า
	B	คือ	ระนาบอ้างอิง
	OC	คือ	รัศมีของการป้องกัน
	h_1	คือ	ความสูงของแท่งตัวนำล่อฟ้าเหนือระนาบอ้างอิงของบริเวณป้องกัน
	α	คือ	มุมป้องกัน (องศา)



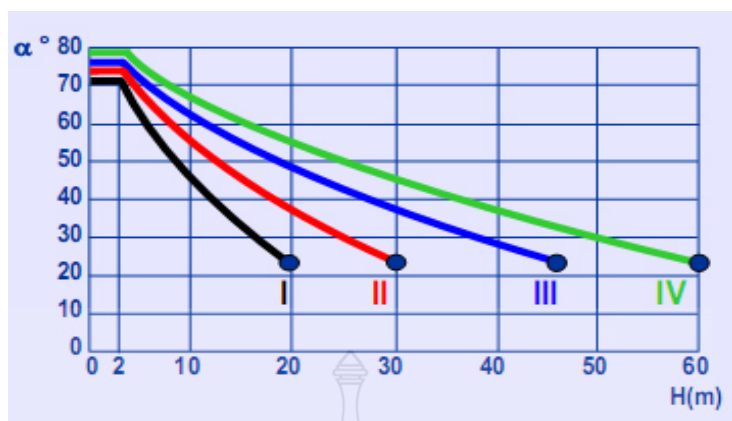
ภาพที่ 2.7 การออกแบบระบบตัวนำล่อฟ้าโดยใช้วิธีมุมป้องกันสำหรับความสูงต่างๆ [10]

- h_1 คือ ความสูงทางกายภาพของแท่งตัวนำล่อฟ้าในแนวดิ่ง
- α_1 คือ มุมป้องกันตามความสูงของแท่งตัวนำล่อฟ้า h_1 ซึ่งเป็นความสูงเหนือพื้นผิวหลังคาที่จะป้องกัน
- α_2 คือ มุมป้องกันตามความสูงของแท่งตัวนำล่อฟ้า $h_2 = h_1 + H$ โดยที่พื้นเป็นระนาบอ้างอิง

วิธีมุมป้องกันเหมาะสำหรับสิ่งปลูกสร้างอย่างง่ายหรือส่วนเล็กๆของสิ่งปลูกสร้างขนาดใหญ่วิธีนี้ไม่เหมาะสมกับสิ่งปลูกสร้างที่มีความสูงมากกว่ารัศมีของทรงกลมกึ่งซึ่งจะสัมพันธ์กับระดับการป้องกันของระบบป้องกันฟ้าผ่า

ตารางที่ 2.4 ค่าสูงสุดของรัศมีของวิธีทรงกลมกึ่ง วิธีดาข่าย และวิธีมุมป้องกัน ตามระดับการป้องกัน [9]

ระดับการป้องกัน	วิธีป้องกัน			
	กระแสสูงสุด (kA)	วิธีทรงกลมกึ่ง รัศมี r (เมตร)	ขนาดดาข่าย m (เมตร)	มุมป้องกัน α (องศา)
1	2.9	20	5	ดูกราฟด้านล่าง
2	5.4	30	10	
3	10.1	45	15	
4	15.7	60	20	

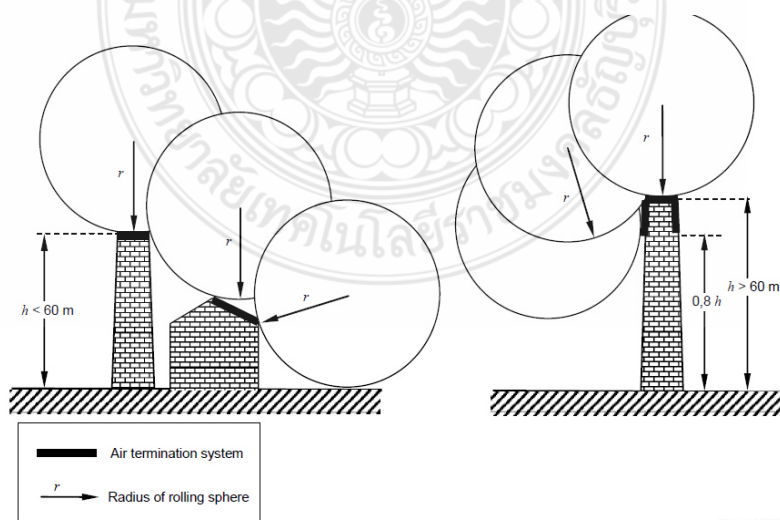


ภาพที่ 2.8 ค่ามุมป้องกันที่ใช้ในการออกแบบ [10]

2.6.2 วิธีทรงกลมกลิ้ง

หลักการทรงกลมกลิ้งใช้เพื่อระบุบริเวณป้องกันหรือพื้นที่สิ่งปลูกสร้างที่มีความซับซ้อนที่ไม่เหมาะสมจะใช้วิธีมุมป้องกันโดยมีรัศมี (r) เท่ากับระยะฟ้าผ่าซึ่งระยะรัศมีเลือกตามระดับป้องกันตามตารางที่ 2.4

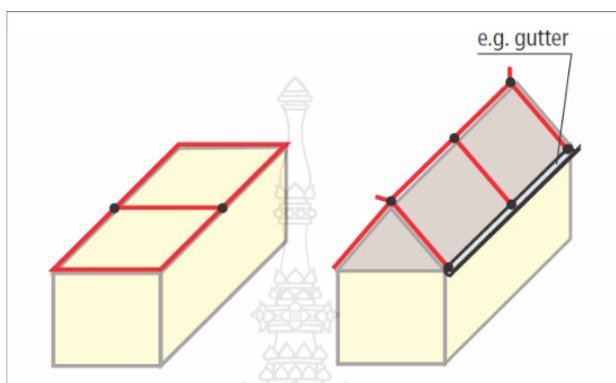
จากภาพที่ 2.9 แสดงการประยุกต์ใช้วิธีทรงกลมกลิ้งโดยทรงกลมจะกลิ้งด้านบนและรอบบริเวณสิ่งปลูกสร้างถึงพื้นดินสัมผัสสิ่งปลูกสร้างหรือโครงสร้างถาวรที่อยู่เหนือพื้นดินเมื่อทรงกลมสัมผัสกับสิ่งปลูกสร้างที่จุดใดหมายความว่าจุดนั้นต้องทำการติดตั้งตัวนำล่อฟ้าเพิ่มเติมบริเวณป้องกันฟ้าผ่าของระบบคือบริเวณที่ทรงกลมกลิ้งไม่สามารถผ่านเข้าไปในย่านนั้นระดับการป้องกันฟ้าผ่าจะลดลงเมื่อขนาดของทรงกลมมีรัศมีที่เล็กลง



ภาพที่ 2.9 บริเวณป้องกันโดยวิธีทรงกลมกลิ้ง [10]

2.6.3 วิธีตาข่าย

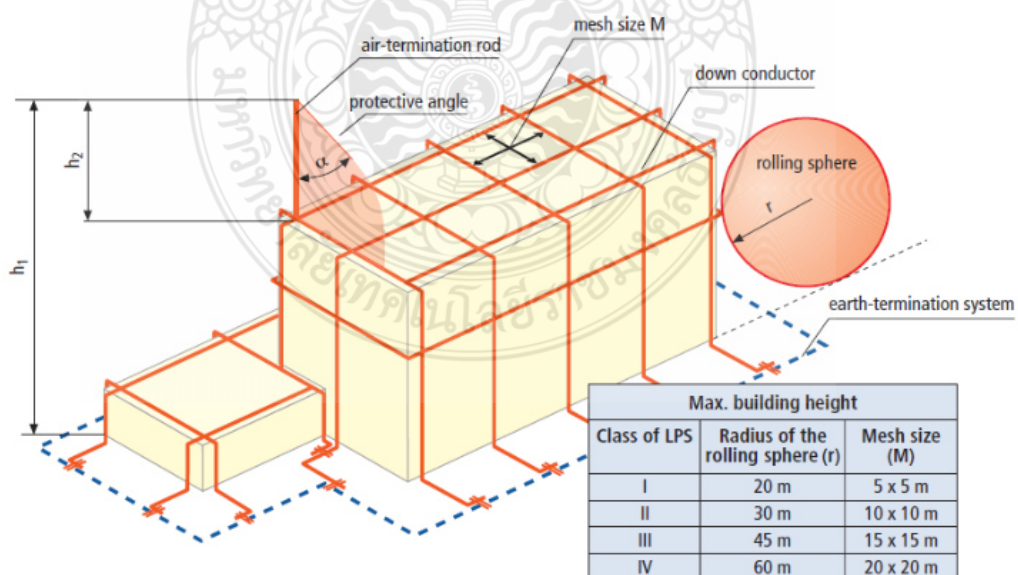
ตัวนำล่อฟ้าตัวนำบนหลังคาต้องติดตั้งในลักษณะที่ล้อมรอบขอบของหลังคา ระบบตัวนำล่อฟ้าจะสมบูรณ์ได้หากมีการเพิ่มตัวนำล่อฟ้าขวางแนวหลังคาเพื่อให้จัดเรียงเป็นตาข่ายสำหรับความกว้างของตาข่ายระยะ m ดังภาพที่ 2.10 ซึ่งแต่ละด้านต้องปฏิบัติตามตารางที่ 2.4



ภาพที่ 2.10 การวางตัวนำล่อฟ้าโดยวิธีตาข่าย [11]

2.6.4 วิธีป้องกันร่วม

ซึ่งเป็นวิธีที่ปัจจุบันนิยมใช้มากที่สุด คือเป็นการออกแบบวางตัวนำล่อฟ้าทั้ง 3 วิธีสามารถใช้ร่วมกันได้ตามความเหมาะสมของพื้นที่การป้องกัน ดังภาพที่ 2.11



ภาพที่ 2.11 การจัดวางทั่วไปขององค์ประกอบแบบต่างๆของตัวนำล่อฟ้า [11]

2.7 ระบบตัวนำลงดิน [11]

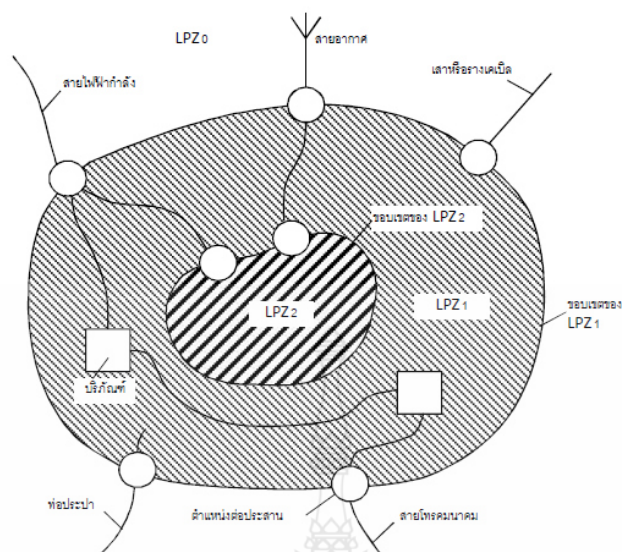
การเลือกจำนวนและตำแหน่งของตัวนำลงดินควรคำนึงถึงความจริงว่า ถ้ากระแสฟ้าผ่าถูกแบ่งไหลในตัวนำลงดินหลายๆ เส้น จะทำให้ความเสี่ยงในการเกิดวาทฟ้าผ่าสู่ด้านข้างและการรบกวนทางสนามแม่เหล็กภายในสิ่งปลูกสร้างลดลง ดังนั้นตัวนำลงดินควรวางให้กระจายอย่างสม่ำเสมอตามเส้นสิ่งปลูกสร้างและให้มีลักษณะสมมาตรกันเท่าที่เป็นไปได้ ตามตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 ค่าระยะห่างระหว่างตัวนำลงดิน [9]

ระดับการป้องกัน	ระยะห่าง (เมตร)
1	10
2	10
3	15
4	20

2.8 ระบบมาตรการป้องกันอิมพัลส์แม่เหล็กไฟฟ้าจากฟ้าผ่า [12]

การป้องกันอิมพัลส์แม่เหล็กไฟฟ้าจากฟ้าผ่าอาศัยพื้นฐานของแนวคิดของย่านป้องกันฟ้าผ่า คือ ปริมาตรที่มีระบบที่ต้องการป้องกันต้องแบ่งออกเป็นย่านป้องกันฟ้าผ่า Lighting Protection Zone (LPZ) โดยย่านป้องกันฟ้าผ่าเหล่านี้ โดยทฤษฎีจะถูกกำหนดปริมาตรของที่ว่างซึ่งระดับความรุนแรงของอิมพัลส์แม่เหล็กไฟฟ้าจากฟ้าผ่าจะสอดคล้องกับความคงทนของระบบภายในที่อยู่ในส่วนที่ปิดล้อม ดังภาพที่ 2.12



ภาพที่ 2.12 หลักการทั่วไปสำหรับการแบ่งเป็นย่านป้องกันฟ้าผ่า [12]

2.9 ย่านป้องกันฟ้าผ่า [12]

จากมาตรฐาน IEC 62305-1 ได้กำหนดย่านการป้องกันฟ้าผ่า ออกเป็นย่านต่างๆ ซึ่งในแต่ละย่านการป้องกันจะมีการต่อประสาน เพื่อเป็นการลดทอนศักย์ไฟฟ้าในแต่ละย่านการป้องกัน การกำหนดย่านการป้องกันต่างๆ จะเป็นประโยชน์ต่อการออกแบบและการเลือกใช้อุปกรณ์ป้องกันเสร็จให้เหมาะสมกับขนาดของเสร็จที่ผ่านเข้ามาอุปกรณ์ไฟฟ้าที่จะป้องกัน การแบ่งย่านป้องกันหรือโซนการป้องกันนั้นแบ่งออกเป็น โซนดังนี้

2.9.1 ย่านด้านนอก (Outer Zone)

ย่านป้องกันฟ้าผ่า 0 คือ ย่านที่มีอันตรายเนื่องจากสนามแม่เหล็กไฟฟ้าจากฟ้าผ่าโดยตรง และที่ระบบภายในอาจได้รับกระแสเสร็จฟ้าผ่าทั้งหมดหรือบางส่วน โดยย่านป้องกันฟ้าผ่า 0 แบ่งย่อยออกเป็น

ย่านป้องกันฟ้าผ่า 0_A คือ ย่านที่มีอันตรายเนื่องจากวาบฟ้าผ่าโดยตรง และได้รับสนามแม่เหล็กไฟฟ้าจากฟ้าผ่าทั้งหมด ระบบภายในอาจได้รับกระแสเสร็จฟ้าผ่าทั้งหมด

ย่านป้องกันฟ้าผ่า 0_B คือ ย่านที่มีการป้องกันวาบฟ้าผ่าโดยตรง แต่เป็นที่ซึ่งมีอันตรายจากสนามแม่เหล็กไฟฟ้าจากฟ้าผ่าทั้งหมด ระบบภายในอาจได้รับกระแสเสร็จฟ้าผ่าบางส่วน

2.9.2 ย่านด้านใน Inner Zone (ย่านที่มีการป้องกันจากฟ้าผ่าโดยตรง)

ย่านป้องกันฟ้าผ่า 1 คือ ย่านที่กระแสเสิร์จถูกจำกัดโดยการแบ่งกระแสและโดยอุปกรณ์ป้องกันเสิร์จที่ขอบเขตของย่าน นอกจากนี้ ตัวกำบังประิภูมิอาจลดทอนสนามแม่เหล็กไฟฟ้าจากฟ้าผ่าลง

ย่านป้องกันฟ้าผ่า 2 ขึ้นไป คือ ย่านที่กระแสเสิร์จอาจถูกจำกัด ต่อไปอีกโดยการแบ่งกระแสและโดยอุปกรณ์ป้องกันเสิร์จที่ติดตั้งเพิ่มเติมที่ขอบเขตของย่าน นอกจากนี้ การกำบังประิภูมิเพิ่มเติมอาจใช้ลดทอนสนามแม่เหล็กไฟฟ้าจากฟ้าผ่าต่อไปอีก

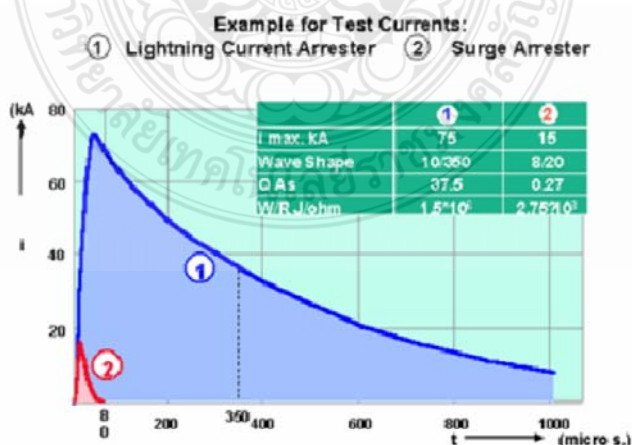
อุปกรณ์ป้องกันเสิร์จในอาคาร มีไว้เพื่อลดทอนหรือจัดกระแสไฟฟ้าหรือแรงดันไฟฟ้าเกินชั่วคราว ตามมาตรฐาน IEC มีการแบ่งประเภทของอุปกรณ์ป้องกันเสิร์จตามลักษณะการทดสอบ โดยจำลองคลื่นอิมพัลส์ในรูปกระแสและแรงดัน อุปกรณ์ป้องกันเสิร์จจะแบ่งเป็น 2 ประเภท ตามลักษณะการใช้งานคือ อุปกรณ์ป้องกันเสิร์จทางด้านไฟฟ้ากำลังและด้านไฟฟ้าสื่อสาร และแบ่งตามย่านการติดตั้งใช้งานได้เป็น 2 ชนิด คือ

6) Lightning Current Arrester คุณสมบัติมีความสามารถ Discharge กระแสฟ้าผ่าบางส่วนที่มีขนาดพลังงานมาก โดยมีตัวมันเองหรืออุปกรณ์ป้องกันเสิร์จตัวอื่นๆ ไม่ได้รับความเสียหาย ตำแหน่งติดตั้งอยู่ระหว่างย่าน LPZ0_B กับ LPZ0₁ จะถูกทดสอบด้วยกระแสอิมพัลส์ 10/350 μ s

7) Surge Arrester คุณสมบัติเพื่อจำกัดแรงดันไฟฟ้าเกิน เพื่อไม่ให้เกินค่าที่ทำให้ความเสียหายกับอุปกรณ์ในอาคาร ตำแหน่งติดตั้งจะอยู่หลังย่าน LPZ0₁ ลงมาจะถูกทดสอบด้วยกระแสอิมพัลส์ 8/20 μ s และแรงดันอิมพัลส์ 1.25/50 μ s

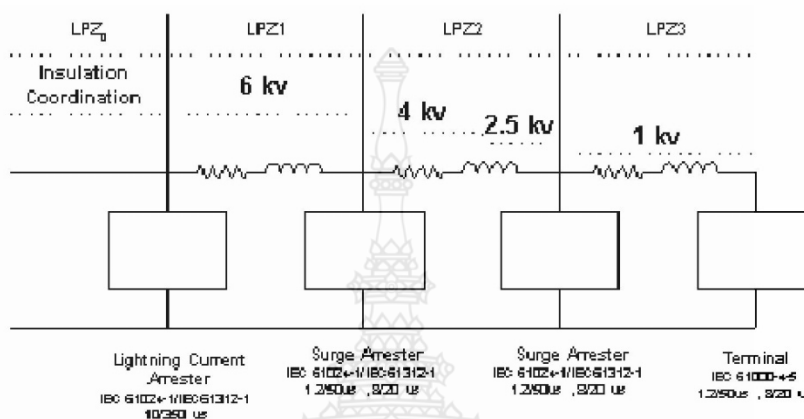
ความแตกต่างของรูปคลื่นทดสอบอุปกรณ์ป้องกันเสิร์จทั้ง 2 ชนิด แสดงได้ดังภาพที่

2.13



ภาพที่ 2.13 คลื่นทดสอบอุปกรณ์ป้องกันเสิร์จด้วยกระแสอิมพัลส์ 10/350 μ s และ 8/20 μ s [13]

ตามมาตรฐาน IEC 60664-1 ได้ระบุว่า ในแต่ละย่านการป้องกันฉนวนของอุปกรณ์ป้องกัน จะทนแรงดันไฟฟ้าเกินในภาวะชั่วคราวได้ในระดับกี่ kV อาทิ ในย่าน LPZ₁ ฉนวนของอุปกรณ์จะทนได้ 6 kV และลดลงตามลำดับย่าน ดังนั้นการเลือกอุปกรณ์ป้องกันเสร็จสำหรับแต่ละย่าน จึงควรเลือกให้จำกัดค่าแรงดันไม่ให้เกิดค่าที่กำหนดตามมาตรฐานดังกล่าวแสดงในภาพที่ 2.14



ภาพที่ 2.14 การแบ่งประเภทแรงดันไฟฟ้าเกินตามความสัมพันธ์ทางฉนวน โดยควบคุมแรงดันแต่ละประเภทการติดตั้ง [13]

2.10 อุปกรณ์ป้องกันเสร็จทางสายตัวนำไฟฟ้าชนิดต่างๆ

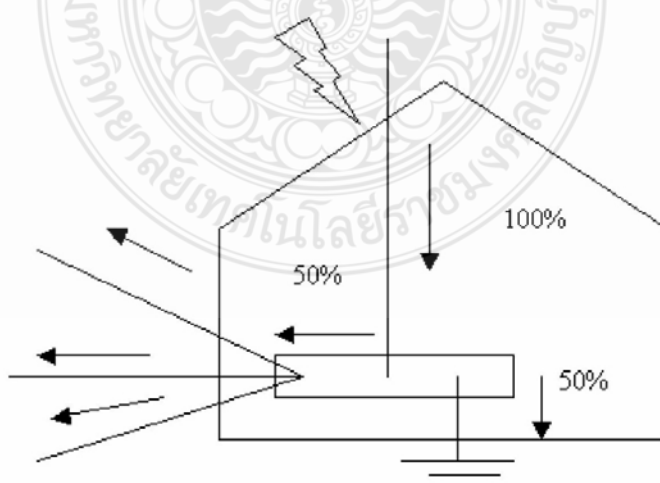
1) Air Spark Gap เป็นอุปกรณ์ป้องกันเสร็จแบบ Lightning Current Arresters จะติดตั้งที่ตำแหน่งหน้าตู้เมนเซอร์กิตเบรกเกอร์ โดยคุณสมบัติการทำงานของอุปกรณ์เสร็จดังกล่าวต้องมีความสามารถรับกระแสฟ้าผ่าบางส่วนจากย่าน LPZ₀ และ LPZ₁ และมีความสามารถดับอาร์คซึ่งเกิดจาก Main Follow Current ของระบบด้วย และลดแรงดันเกินที่เกิดจากเสร็จให้เหลือน้อย จนกระทั่งอุปกรณ์ป้องกันเสร็จตัวถัดไปสามารถทนต่อแรงดันเสร็จได้และไม่เกิดความเสียหาย ซึ่งในขณะที่ป้องกันเสร็จดังกล่าวทำงาน จะมีกระแสบางส่วนจากระบบไฟฟ้าไหลลงดิน ซึ่งถ้าปล่อยให้ไหลเป็นเวลานาน จะทำให้เกิดการลัดวงจรที่มีพลังงานมากและเซอร์กิตเบรกเกอร์อาจจะทริปได้ ดังนั้นการออกแบบที่ดีจึงจำเป็นต้องควบคุม Spark Gap ให้สามารถดับอาร์คได้ระดับหนึ่ง หรือต้องคิดฟิวส์ป้องกันที่ตำแหน่งหน้าอุปกรณ์ป้องกันเสร็จดังกล่าว

2) MOV (Metal Oxide Varistor) จะติดตั้งที่ตำแหน่งหน้าตู้เมนเซอร์กิตเบรกเกอร์ หรือแผงเมนช้อยไฟฟ้า เป็นอุปกรณ์ป้องกันเสิร์จแบบ Over Voltage Arrester ประกอบด้วย Zine-Oxide-Varister ทำหน้าที่จำกัดแรงดันไฟฟ้าเกินไม่ให้เกิดค่าที่อุปกรณ์ป้องกันเสิร์จตัวถัดไปทนได้ หรือเกินค่าที่อุปกรณ์ทนได้ จะติดตั้งในย่าน LPZO₁ และ LPZO₂ และในกรณี เมื่อมีการเสื่อมของ ZnO จะมีกระแสรั่วไหลผ่านอุปกรณ์ป้องกันเสิร์จดังกล่าวลงสู่ดิน หรือในกรณีที่ไม่ได้ติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันเสิร์จแบบ Lighting Current Arresters เมื่อเกิดเสิร์จเข้ามาจนทำให้เกิด Overload ขึ้นที่ ZnO จากทั้ง 2 กรณีข้างต้น อุปกรณ์ป้องกันเสิร์จดังกล่าวจะต้องมี Thermal Disconnection Switch เพื่อทำให้ที่ตัดออกจากระบบ บางครั้งมีการออกแบบให้เป็นชนิด Plug-in Module หรือมี Free-Contact เพื่อส่งสัญญาณบอกสถานะแสดงว่าอุปกรณ์ป้องกันเสิร์จต้องทำการเปลี่ยนได้แล้ว

8) อุปกรณ์ป้องกันเสิร์จแบบ Hybrid Solid Stage Device โดยทั่วไปจะประกอบด้วย Ziner Diode, Gas Tube และ อาจจะมี Filter รวมอยู่ด้วย โดยจะติดตั้งอยู่ที่หน้าอุปกรณ์ต่างๆ อาทิ อุปกรณ์คอมพิวเตอร์หรืออุปกรณ์สื่อสาร [13]

2.11 การเลือกอุปกรณ์ป้องกันแรงดันไฟฟ้าเกิน

การเลือกอุปกรณ์ป้องกันแรงดันไฟฟ้าเกินทางสายไฟ พิจารณาตามมาตรฐาน IEC 1312-1 โดยกำหนดกระแสฟ้าผ่าสูงสุดมีค่าถึง 200 kA ที่รูปคลื่น 10/350 μ s ตามมาตรฐาน IEC 1024-1 ได้มีการแสดงให้เห็นว่าเมื่อมีฟ้าผ่าต่อสิ่งปลูกสร้าง กระแสฟ้าผ่า ร้อยละ 50 จะกระจายจากระบบลงดิน ส่วนที่เหลือจะกระจายเข้าสู่ระบบต่างๆ ในอาคาร อาทิ ระบบไฟฟ้า, ระบบคอมพิวเตอร์หรือระบบสื่อสาร ดังภาพที่ 2.15



ภาพที่ 2.15 กระแสฟ้าผ่าที่กระจายไฟตามระบบต่างๆ [13]

เมื่อพิจารณาในระบบไฟฟ้าในโรงงานอุตสาหกรรมและอาคารสำนักงานต่างๆ จะมีการต่อลงดินเป็นแบบระบบ TN-C-S ดังนั้นโอกาสกระแสฟ้าผ่าสูงสุดที่จะไหลเข้าสู่ภายในตัวอาคารแต่ละเฟสจะมีค่าเท่ากับ 100 kA/3 เท่ากับ 33 kA และเนื่องจากได้มีการศึกษากรณีดังกล่าวข้างต้น โดย Professor Perter Hasse โดยได้ทำการทดลองจำลองการเกิดเหตุการณ์ขึ้นจริง โดยมีการกำหนดค่าความต้านทานของจุดต่อลงดินมีค่าต่างๆ กันไป ตามภาพที่ 2.15 และพบว่ากระแสฟ้าผ่ามีโอกาสเข้าสู่ระบบมากกว่าร้อยละ 50 ของกระแสฟ้าผ่า ดังนั้นการเลือกใช้ Lighting Current Arresters เพื่อใช้สำหรับติดตั้งป้องกันแรงดันไฟฟ้าเกินทางสายไฟจากภายนอกอาคารก่อนเข้าสู่เมนไฟฟ้า สำหรับโอกาสที่เกิดฟ้าผ่ารุนแรง อาจเลือกขนาดไม่น้อยกว่า 50 kA, 10/350 μ s ต่อเฟส และที่ตำแหน่งแผงเมนไฟฟ้าย่อยอาจจะเลือกใช้ Surge Arrester ที่มีขนาดไม่น้อยกว่า 20 kA, 8/20 μ s ต่อเฟส เป็นอย่างต่ำ ทั้งนี้ในทางปฏิบัติการเลือกอุปกรณ์ป้องกันดังกล่าว ต้องมีการคำนึงถึงความสำคัญของอุปกรณ์ที่ต้องการจะป้องกัน อาจเพิ่มขนาดของอุปกรณ์ป้องกัน kA ต่างๆ โดยพิจารณาทางด้านการลงทุนด้วย การเลือกใช้ อุปกรณ์ป้องกันแรงดันไฟฟ้าจากภายนอกอาคารและทางสายสัญญาณจำเป็นต้องทราบรายละเอียดข้อกำหนดของอุปกรณ์ป้อง และความปลอดภัยของอุปกรณ์ที่ถูกป้องกันตามทีออกแบบไว้ โดยมีข้อพิจารณาดังนี้คือ [13]

Nominal Voltage คือ ค่าแรงดันระบบ อาทิ 120 V, 230 VAC เป็นต้น

Rate Voltage คือ ค่าแรงดันสูงสุดต่อเนื่องก่อนที่ตัวอุปกรณ์ป้องกันฯ จะมีการทำงาน อาทิ 250 V, 275 V เป็นต้น

Nominal Discharge Current คือ ค่ากระแสทดสอบรูปคลื่น 8/20 μ s ที่ไหลผ่านตัวอุปกรณ์ป้องกันฯ ที่ตัวมันเองไม่ได้รับความเสียหาย อาทิ 25 kA, 40 kA เป็นต้น

Lighting Impulse Current คือ ความสามารถของอุปกรณ์ป้องกันฯ ดิสชาร์จกระแสอิมพัลส์ทดสอบรูปคลื่น 10/350 μ s ที่ตัวมันเองไม่ได้รับความเสียหาย อาทิ 60 kA, 75 kA, 100 kA เป็นต้น

Protection Level Up คือ ค่าแรงดันที่หลังจากอุปกรณ์ป้องกันฯ ที่มีการทำงาน อาทิ ≤ 2.5 KV, ≤ 4 KV เป็นต้น

Postpones Time คือ ค่าการตอบสนองการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันฯ อาทิ ≤ 25 NS, ≤ 100 μ S เป็นต้น

ส่วนอุปกรณ์ป้องกันแรงดันไฟฟ้าเกินทางสายสัญญาณจากภายนอกอาคาร ต้องมีการพิจารณาถึงข้อกำหนด ดังนี้

แรงดันของระบบ อาทิ 5, 12, 24, 48, 60 และ 100 Vdc กระแสของสัญญาณ 10 และ 100 mA ช่วงความถี่ VHF, UHF และ Microwave พิกัดการส่งสำหรับสายสัญญาณดิจิทัล 2 bit/sec ค่าความต้านทานของสาย 2.2 Ω [13]

2.12 สรุปผลจากการศึกษาทฤษฎี

จากการศึกษาทฤษฎีการออกแบบระบบป้องกันฟ้าผ่าและระบบป้องกันเสิร์จข้างต้นสามารถนำข้อมูลเหล่านี้ไปเป็นแนวทางในการออกแบบโปรแกรมสำหรับการออกแบบระบบป้องกันฟ้าผ่าและป้องกันเสิร์จสำหรับระบบโฟโตโวลตาอิก ทั้งนี้ผู้ออกแบบโปรแกรมได้ออกแบบให้เป็นไปตามมาตรฐาน IEC 62305-3 และมาตรฐานการป้องกันฟ้าผ่า ภาค 3 ความเสียหายทางกายภาพต่อสิ่งปลูกสร้างและอันตรายต่อชีวิต วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ (วสท.) พร้อมทั้งนำไปทดสอบด้วยโปรแกรมเขียนแบบ 3 มิติ โดยตัวอย่างกับระบบโฟโตโวลตาอิกที่ติดตั้งจริงที่



บทที่ 3

การออกแบบโปรแกรม

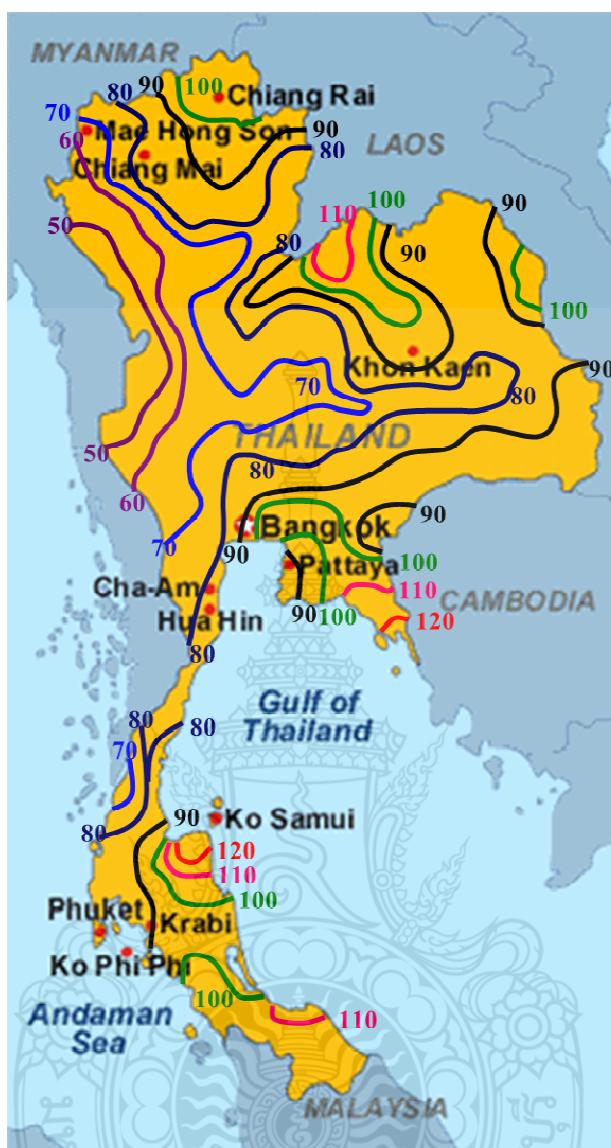
บทนี้จะกล่าวถึงการออกแบบโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในการการประเมินความเสี่ยงอันตรายจากการถูกฟ้าผ่าและการออกแบบระบบป้องกันฟ้าผ่า ซึ่งจะยึดตามมาตรฐาน IEC 62305-3 และมาตรฐานการป้องกันฟ้าผ่า ภาค 3 ความเสียหายทางกายภาพต่อสิ่งปลูกสร้างและอันตรายต่อชีวิต วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ (วสท.) ซึ่งเป็นมาตรฐานที่ยอมรับกันแพร่หลายรวมทั้งประเทศไทย การออกแบบโปรแกรมจะเน้นความสะดวกในการป้อนข้อมูล โดยพัฒนาโปรแกรมจะใช้ภาษา Visual Basic ในการพัฒนาโปรแกรม และนำค่าที่ได้จากโปรแกรมการออกแบบไปทวนสอบผลการออกแบบด้วยโปรแกรมเขียนแบบสามมิติ พบว่าผลของการออกแบบโดยโปรแกรมเป็นไปตามมาตรฐาน

3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

- 3.1.1 รวบรวมสถิติจำนวนการเกิดฟ้าผ่าในประเทศไทย
- 3.1.2 ศึกษาวิธีการ ประเมินความเสี่ยงอันตรายจากการถูกฟ้าผ่า
- 3.1.3 ศึกษาการออกแบบระบบป้องกันฟ้าผ่าและเสิร์จ สำหรับระบบไฟโตโวลตาอิก
- 3.1.4 เขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อใช้ในออกแบบระบบป้องกันฟ้าผ่าและระบบป้องกัน
- 3.1.5 เสิร์จ สำหรับระบบไฟโตโวลตาอิก
- 3.1.6 ทดสอบการทำงานให้เป็นไปตามมาตรฐาน IEC 62305-3 และมาตรฐานการป้องกันฟ้าผ่า
- 3.1.7 ภาค 3 ความเสียหายทางกายภาพต่อสิ่งปลูกสร้างและอันตรายต่อชีวิต วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ (วสท.)
- 3.1.8 สรุปผลและจัดทำรูปเล่ม

3.2 ข้อมูลฟ้าผ่า [14]

ข้อมูลฟ้าผ่าที่ง่ายที่สุด และนำมาใช้เป็นเวลานานแล้ว คือ จำนวนวันที่ได้ยินเสียงฟ้าร้อง ใน 1 ปี (Thunderstorm Day, T_d) เต็มที่ ซึ่งพื้นที่ในประเทศไทยนั้น มีลักษณะภูมิอากาศแบบร้อนชื้น และมีมรสุม โดยมีจำนวนวันพายุฝนฟ้าคะนองต่อปี (Thunderstorm Day, T_d) ช่วงตั้งแต่ 50-120 วันต่อปี ตามแผนที่ที่มีเส้นที่ลากผ่านบริเวณที่มี T_d เท่ากัน (Isokeraunic Map) ซึ่งรวบรวมได้จากข้อมูลของกรมอุตุนิยมวิทยา ดังภาพที่ 3.1



ภาพที่ 3.1 จำนวน Thunderstorm Day, T_d เฉลี่ยใน 1 ปี [14]

3.3 หลักการออกแบบระบบป้องกันฟ้าผ่าสำหรับระบบไฟโตโวลตาอิก

โดยประยุกต์ใช้คอมพิวเตอร์เขียนเป็นโปรแกรมช่วยเพื่อใช้ตัดสินใจว่า

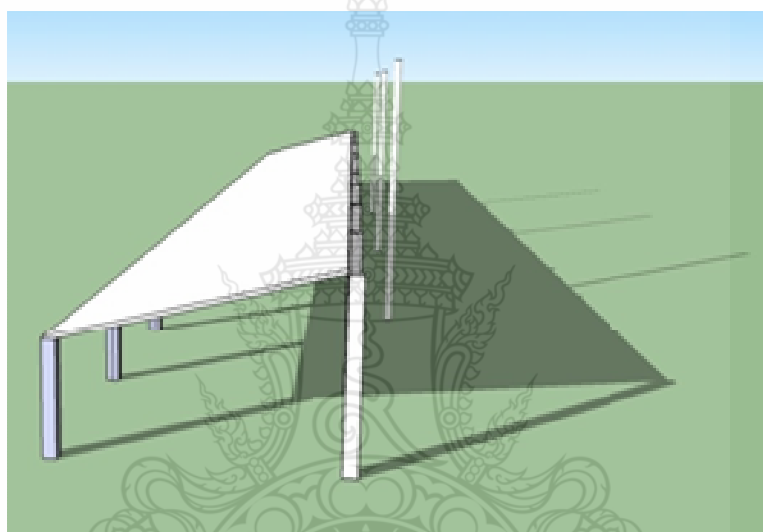
3.3.1 ประเมินความเสี่ยงจากการถูกฟ้าผ่าของระบบไฟโตโวลตาอิกว่าควรจะมีการติดตั้งหรือไม่ โดยประเมินจากค่า 2 ตัวแปรหลัก

- 1) ค่าความถี่ของการเกิดวาบฟ้าผ่าที่ยอมรับได้กับสิ่งปลูกสร้าง N_c
- 2) ค่าความถี่ของการเกิดวาบฟ้าผ่าโดยตรงกับสิ่งปลูกสร้าง N_d

โดยถ้า	$N_c \geq N_d$	หมายถึง ระบบไม่จำเป็นต้องติดตั้งระบบป้องกันฟ้าผ่า
แต่ถ้า	$N_c \leq N_d$	หมายถึง ระบบจำเป็นต้องติดตั้งระบบป้องกันฟ้าผ่า

3.2.2 ออกแบบระบบป้องกันฟ้าผ่าในระบบโฟโตโวลตาอิก

แนวคิดในการออกแบบระบบป้องกันฟ้าผ่าในระบบโฟโตโวลตาอิก จะพิจารณาเรื่ององเงาเป็นหลัก ดังนั้นควรติดตั้งตัวนำล่อฟ้าอยู่ด้านหน้าด้านหลังของแผงโฟโตโวลตาอิก และไม่ให้อ่างน้ำจมน้ำบังแผงโฟโตโวลตาอิกของ อาร์เรย์อื่นที่อยู่ด้านหลังแผงโฟโตโวลตาอิก ดังภาพที่ 3.2 และภาพที่ 3.3

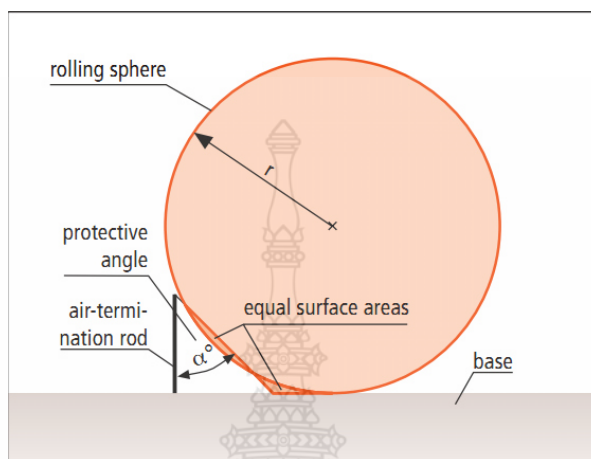


ภาพที่ 3.2 เงาของตัวนำล่อฟ้าที่พาดไปด้านหลัง



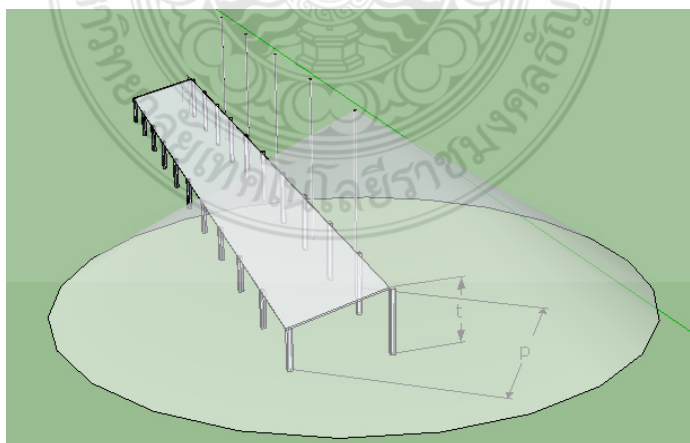
ภาพที่ 3.3 เงาของตัวนำล่อฟ้าที่พาดไปด้านหลังและต้องไม่บังเงาแผงด้านหลัง

ในการออกแบบระบบป้องกันฟ้าผ่าในระบบไฟโตโวลตาอิกนั้น จะทำการออกแบบโดยประยุกต์ใช้วิธีการมุมป้องกันและวิธีทรงกลมกลิ้งทั้งสองวิธีในการออกแบบ ดังภาพที่ 3.4 พื้นที่ที่ได้รับการป้องกันจากการถูกฟ้าผ่าคือพื้นที่ที่อยู่ภายใต้มุมป้องกันและภายใต้ทรงกลมกลิ้ง



ภาพที่ 3.4 หลักการออกแบบด้วยมุมป้องกันและวิธีทรงกลมกลิ้ง [11]

วิธีมุมป้องกัน ในการออกแบบนั้นจะทำการออกแบบจำนวนต้นและความสูงของตัวนำล่อฟ้าให้ระบบไฟโตโวลตาอิกทั้งหมดอยู่ในเขตป้องกัน โดยกำหนดให้ตัวนำล่อฟ้าทั้งหมดติดตั้งอยู่ด้านหลังแผงไฟโตโวลตาอิกเพื่อไม่ให้เกิดเงาพาดลงบนแผงไฟโตโวลตาอิก แล้วพิจารณาระยะที่ไกลที่สุด (p) และความสูงของระบบไฟโตโวลตาอิก (t) ให้อยู่ในเขตป้องกัน ดังภาพที่ 3.5



ภาพที่ 3.5 ระยะ p และ t ที่ต้องอยู่ในแนวป้องกัน

โดยระยะ p คำนวณได้จากสมการที่ 3.1 ดังนี้

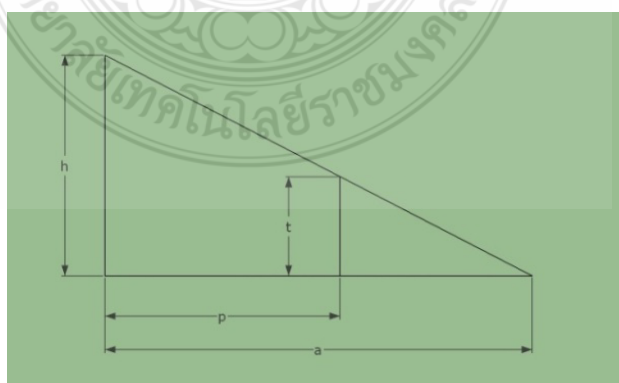
$$p = \sqrt{\left(\frac{1}{n+1}\right)^2 + (w+s)^2} \quad (3.1)$$

- l คือ ความยาวของพื้นที่ติดตั้งระบบโฟโตโวลตาอิก
- n คือ จำนวนต้นของตัวนำล่อฟ้า
- w คือ ความกว้างของพื้นที่ติดตั้งระบบโฟโตโวลตาอิก
- s คือ ระยะห่างความปลอดภัยระหว่างระบบกับเสาตัวนำล่อฟ้า
- p คือ ระยะป้องกันของระบบโฟโตโวลตาอิก

เพื่อให้การออกแบบระบบป้องกันฟ้าผ่าครอบคลุมความสูง t และระยะ p ดังภาพที่ 3.6 ต้องเลือกใช้ตัวนำล่อฟ้าที่มีระยะป้องกันมากกว่าหรือเท่ากับ a ซึ่งจากกฎของสามเหลี่ยมคล้ายสามารถหาค่า a ได้จากสมการที่ 3.2

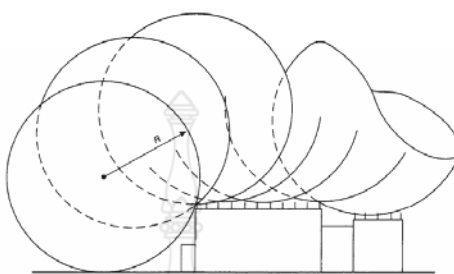
$$a \geq \frac{h \times p}{h-t} \quad (3.2)$$

- h คือ ความสูงของแท่งตัวนำล่อฟ้า
- t คือ ความสูงของระบบโฟโตโวลตาอิกด้านที่สูงที่สุด
- p คือ ระยะป้องกันของระบบโฟโตโวลตาอิก
- a คือ ระยะป้องกันที่ไกลที่สุด



ภาพที่ 3.6 การหาค่าระยะป้องกัน a

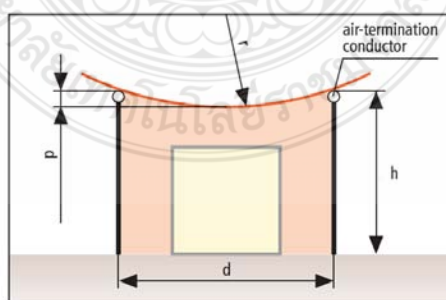
วิธีทรงกลมกลิ้ง ในการออกแบบโดยหลักการในการป้องกัน ทำให้โดยพิจารณาทรงกลมกลิ้ง โดยใช้ทรงกลมกลิ้งไปบนพื้นที่ที่ต้องการป้องกันฟ้าผ่า ถ้าผิวทรงกลมสัมผัสพื้นที่ใด หมายความว่าบริเวณดังกล่าวมีโอกาสที่จะถูกฟ้าผ่าได้ พื้นที่นั้นจะต้องพิจารณาคิดตั้งตัวนำล่อฟ้า ตัวอย่างตามภาพที่ 3.7



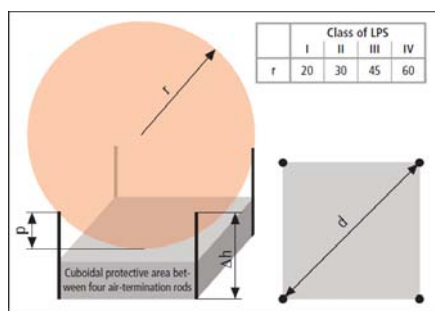
ภาพที่ 3.7 การออกแบบระบบป้องกันฟ้าผ่าโดยวิธีทรงกลมกลิ้ง [11]

เมื่อใช้วิธีทรงกลมกลิ้งพิจารณากับแบบของสิ่งปลูกสร้าง ควรพิจารณาสิ่งปลูกสร้างในทุกทิศทางเพื่อให้แน่ใจว่าไม่มีส่วนของสิ่งปลูกสร้างยื่นออกไปสู่ย่านที่ไม่มีการป้องกัน จุดหนึ่งอาจจะมีมองข้ามไปถ้าพิจารณาเพียงด้านหน้า ด้านข้าง และด้านบนของแบบ ปริมาณการป้องกันที่เกิดโดยตัวนำระบบป้องกันฟ้าผ่า คือปริมาณที่ไม่ถูกล่วงล้ำโดยทรงกลมกลิ้ง เมื่อทรงกลมกลิ้งสัมผัสกับตัวนำและใช้กับสิ่งปลูกสร้าง

ในกรณีตัวนำล่อฟ้าแนวระดับ 2 เส้นขนานกันวางเหนือระนาบอ้างอิงตามแนวระดับ ตามภาพที่ 3.8 และภาพที่ 3.9 ระยะล่งล้ำ p ระยะทรงกลมกลิ้งที่ต่ำกว่าระดับของตัวนำในปริมาณระหว่างตัวนำทั้งสอง สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 3.3



ภาพที่ 3.8 ระยะล่งล้ำของทรงกลิ้ง [11]

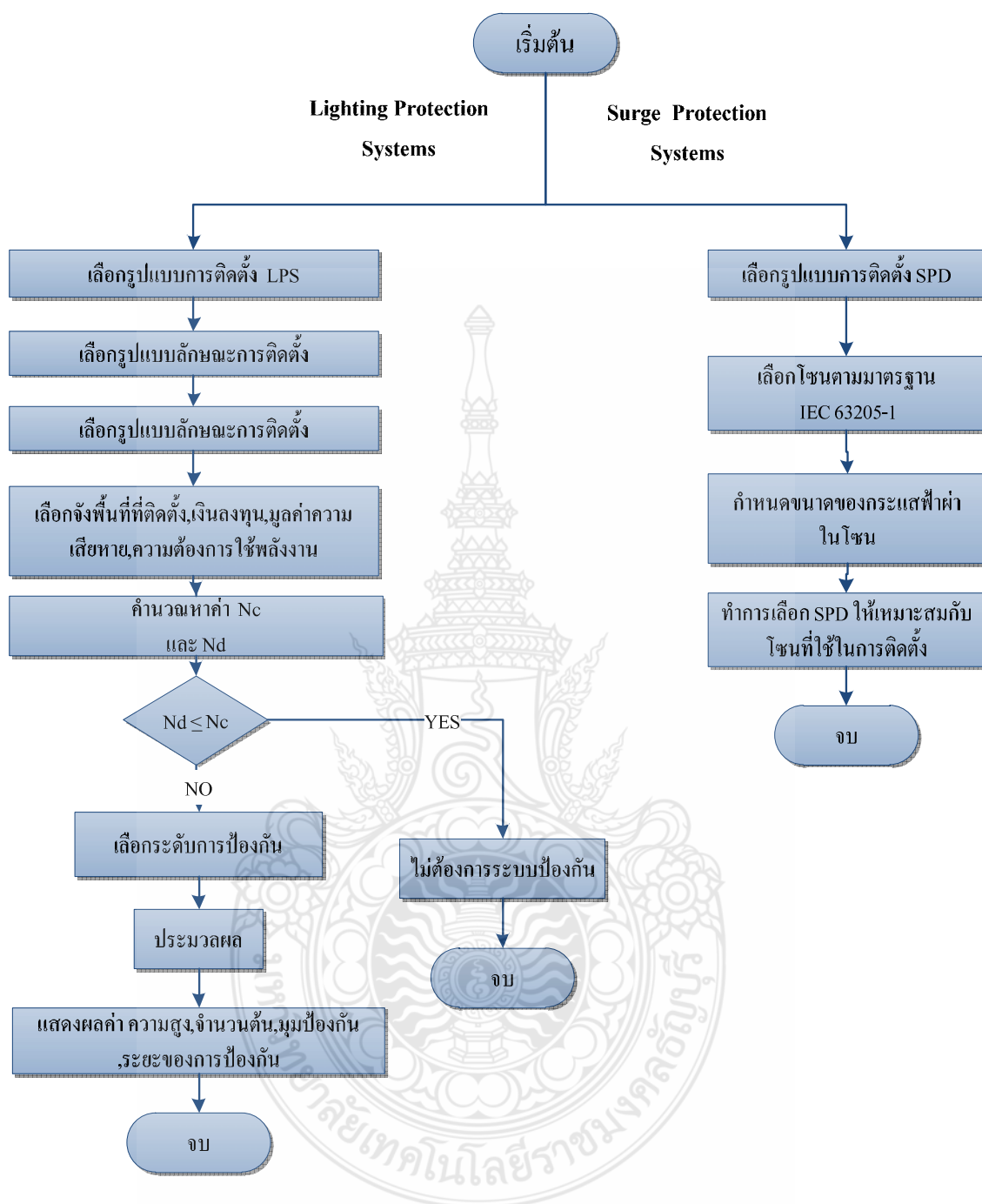


ภาพที่ 3.9 การคำนวณค่าระยะลวงล่างของทรงกลม [11]

$$p = r - \left[r^2 - (d/2)^2 \right]^{1/2} \quad (3.3)$$

- r คือ รัศมีทรงกลมกลิ้ง
 d คือ ระยะห่างระหว่างแท่งตัวนำล่อฟ้าทั้งสองจุด
 p คือ ระยะลวงล่างของวัตถุ

โดยกำหนดค่า h และหาค่า d ที่ทำให้ p ไม่มีค่ามากจนสัมผัสกับวัตถุที่ต้องการป้องกัน ซึ่งการทำงานของโปรแกรมการออกแบบระบบป้องกันฟ้าผ่าและป้องกันเสิร์จในระบบไฟโตโวลตาอิกนั้น โดยโปรแกรมจะเริ่มให้ผู้ใช้กรอกข้อมูลสถานที่ติดตั้ง (จังหวัด) พื้นที่ที่ติดตั้ง (กว้าง x ยาว x สูง) , มูลค่าของเงินลงทุนทั้งระบบ, มูลค่าความเสียหายของอุปกรณ์และความต้องการการใช้พลังงานจากระบบ แล้วโปรแกรมจะทำการคำนวณหาค่าความถี่ของการเกิดฟ้าผ่าที่ระบบยอมรับได้ (N_c) และ ค่าความถี่ของการเกิดฟ้าผ่าโดยตรงกับระบบ (N_d) เพื่อประเมินว่าควรมีการติดตั้งระบบป้องกันฟ้าผ่าหรือไม่ ถ้าประเมินแล้วว่าต้องการให้ระบบไฟโตโวลตาอิกมีการติดตั้งนั้น โปรแกรมก็จะให้ผู้ใช้งานเลือกระบบการป้องกันฟ้าผ่า (Class) และความสูงด้านสูงที่สุดของระบบไฟโตโวลตาอิก และ โปรแกรมก็จะทำการคำนวณตาม Flow Chart ดังภาพที่ 3.10



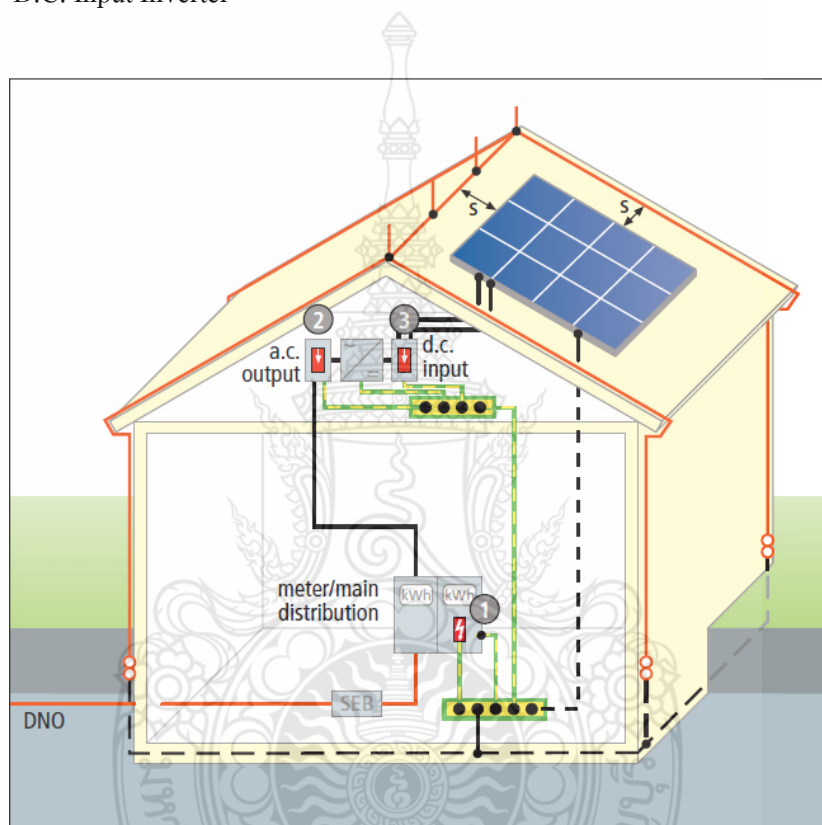
ภาพที่ 3.10 Flow Chart การทำงานของโปรแกรมออกแบบติดตั้งระบบป้องกันฟ้าผ่าสำหรับระบบโฟโตโวลตาอิก

3.4 ระบบป้องกันเสิร์จสำหรับระบบโฟโตโวลตาอิก

ระบบป้องกันเสิร์จสำหรับระบบโฟโตโวลตาอิก แบ่งออกเป็น 3 ลักษณะการติดตั้ง คือ

3.4.1 บ้านอยู่อาศัย แบ่งออกเป็น 3 ส่วน ดังภาพที่ 3.11

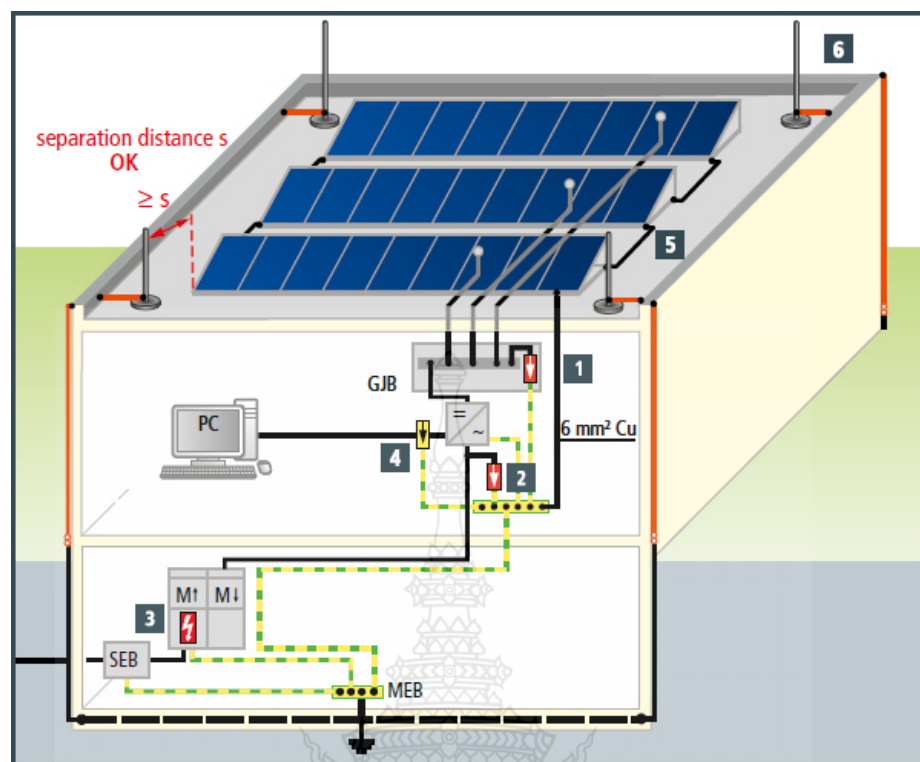
- 1) L.V. Supply
- 2) A.C. Output of Inverter
- 3) D.C. Input Inverter



ภาพที่ 3.11 การติดตั้งเสิร์จของระบบ โฟโต โวลตาอิกแบบบ้านอยู่อาศัย [11]

3.4.2 อาคารสูง แบ่งออกเป็น 4 ส่วน ดังภาพที่ 3.12

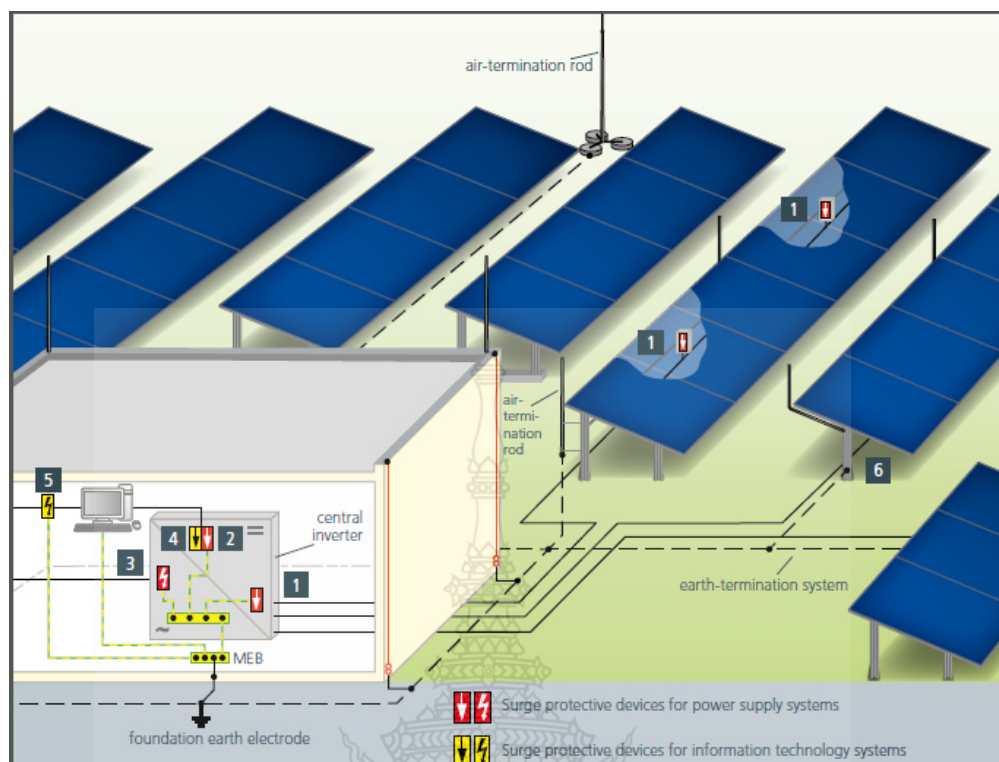
- 1) D.C. Side (PV Modules)
- 2) A.C. Side (Inverter)
- 3) A.C. Side (Power Supply)
- 4) Data Interface



ภาพที่ 3.12 การติดตั้งเสร็จของระบบโฟโตโวลตาอิกแบบอาคารสูง [11]

3.4.3 โรงไฟฟ้า แบ่งออกเป็น 4 ส่วน ดังภาพที่ 3.13

- 1) D.C. Input of The Inverter
- 2) A.C. Side (Inverter)
- 3) A.C. Side
- 4) Data Interface



ภาพที่ 3.13 การติดตั้งเสร็จของระบบโฟโตโวลตาอิกแบบโรงไฟฟ้า [11]

3.5 การเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ด้วย Visual Basic

การเขียนโปรแกรมด้วย ภาษา Visual Basic ถือเป็นโปรแกรมภาษาคอมพิวเตอร์ตัวหนึ่ง มีความสามารถในการทำงานที่คล้ายกับภาษาคอมพิวเตอร์อื่นๆ อาทิ C, Pascal, C++, C# แต่แตกต่างกันตรงที่ภาษาจาวถูกคิดค้นขึ้นมาเพื่อให้ใช้งานได้ในระบบปฏิบัติการใดๆ ก็ได้ ไม่ว่าจะเป็น DOS, Windows95, Windows XP, Linux หรือ UNIX และในปัจจุบันยังสามารถใช้งานได้ใอุปกรณ์ไร้สายได้อีกด้วย

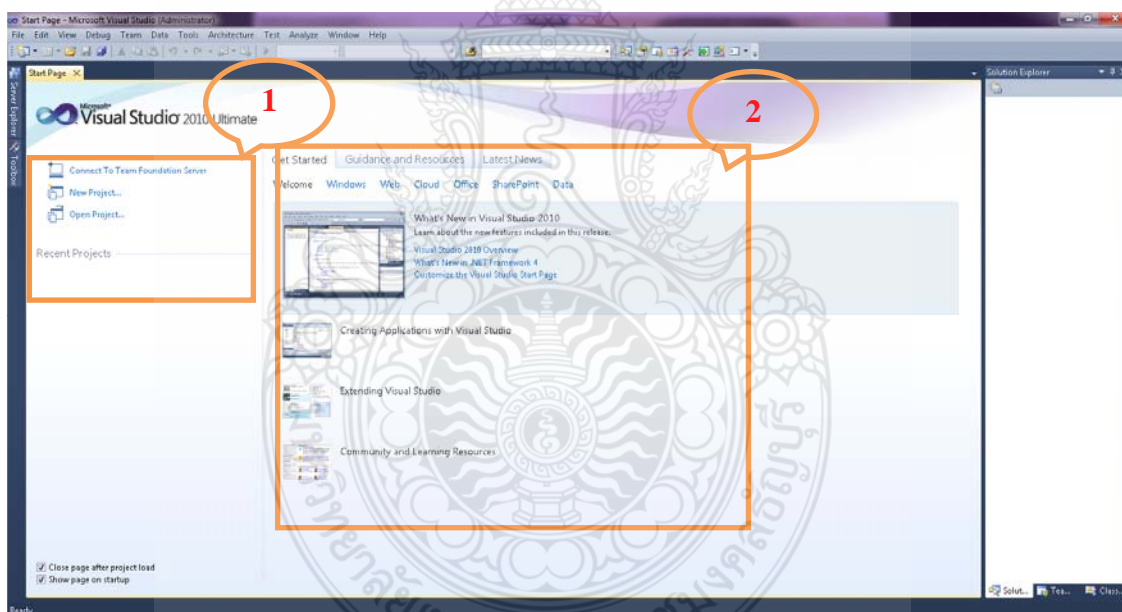
Visual Basic หรือ VB เป็นภาษาโปรแกรมแบบ GUI สร้างโดยบริษัทไมโครซอฟท์ ภาษานี้เป็นหนึ่งในภาษาโปรแกรมยอดนิยมสำหรับโปรแกรมที่ใช้ในด้านธุรกิจ ภาษานี้พัฒนามาจากภาษาเบสิก และยังสามารถพัฒนาต่อเป็นภาษา VB.NET อีกด้วย วิชาเว็บสติกสนับสนุน Rapid Application Development (RAD) ทั้งด้านการพัฒนาโปรแกรมประยุกต์แบบ Graphical User Interface (GUI) , การเข้าถึงฐานข้อมูลโดยใช้การเชื่อมต่อแบบ หรือ ADO และการสร้าง ActiveX Control จุดเด่นอีกอย่างหนึ่งของวิชาเว็บสติกคือนักเขียนโปรแกรมสามารถนำโปรแกรมประยุกต์หลายๆ โปรแกรมมา

รวมกันในโปรแกรมเดียว และยังสามารถประยุกต์ใช้คอมพิวเตอร์ของวิซวลเบสิกที่มีเตรียมไว้ให้แล้วได้อีกด้วย

ข้อดีของภาษาวิซวลเบสิก

- 1) Simple คือต่อการเขียนโปรแกรม เนื่องจากไม่มีตัวแปรพอยน์เตอร์ และมีกลไกในการจัดการกับหน่วยความจำโดยอัตโนมัติ
- 2) Plate form independent สามารถนำไปทำงานบนระบบปฏิบัติการอื่นได้ โดยคุณสมบัตินี้เรียกว่า “Write Once Run Anywhere”
- 3) Object Oriented Programming เป็นการเขียนโปรแกรมเชิงวัตถุ
- 4) Dynamic สามารถปรับเปลี่ยนเพิ่มเติมไลบรารีต่างได้ง่าย

3.5.1 หน้าต่างโปรแกรม Microsoft Visual Studio 2010



ภาพที่ 3.14 หน้าต่างโปรแกรม Microsoft Visual Studio 2010

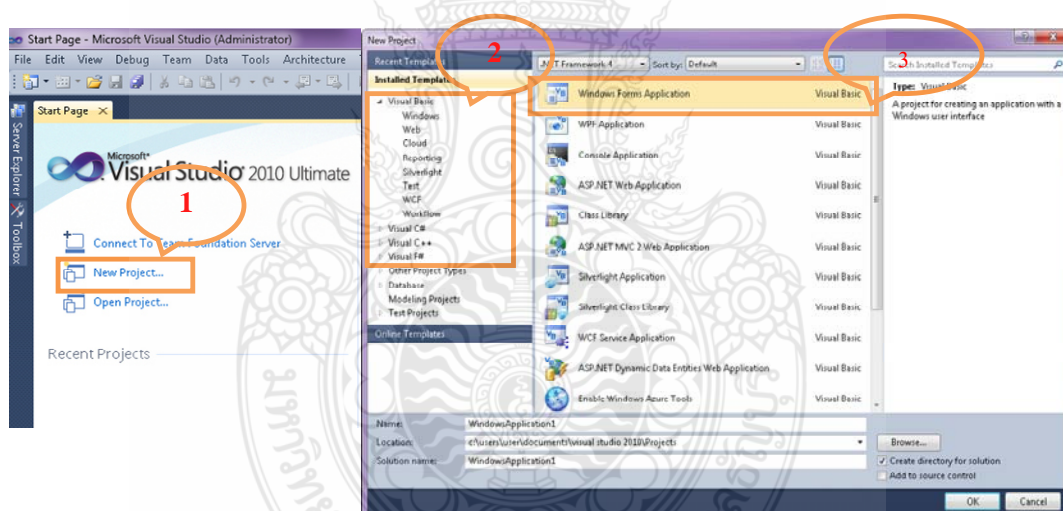
จากภาพที่ 3.13 ประกอบด้วยส่วนต่างๆ ดังนี้

- 1) Recent Projects เป็นส่วนที่ใช้แสดงรายการโปรเจกต์ที่เราได้เคยสร้าง สามารถเริ่มโปรเจกต์เหล่านี้ หรือสามารถสร้างโปรเจกต์ใหม่ได้ที่นี่
- 2) Getting Started แสดงเอกสารแนะนำการใช้งาน Visual Studio ขึ้นเริ่มต้น

3.5.2 การสร้างโปรเจกต์ (Create Project)

เราสามารถสร้างได้ตามภาพที่ 3.15 ดังนี้

- 1) คลิก New Project
- 2) เลือกภาษา Visual Basic
- 3) เลือกประเภทของโปรแกรมที่จะสร้าง
 1. Windows Forms Application เป็นต้นแบบที่ใช้สำหรับการสร้างโปรแกรมเพื่อทำงานบนวินโดวส์
 2. Console Application เป็นต้นแบบที่ใช้สร้างโปรแกรมที่ทำงานบน DOS การทำงานจะเป็นแบบพิมพ์คำสั่ง (Commands Line)
 3. Class Library เป็นต้นแบบที่ใช้สร้างคลาส โดยเราสามารถสร้างคลาสส่วนตัวไว้เรียกใช้งานโปรแกรมที่เขียนขึ้นได้
4. ให้เลือกการสร้างโปรแกรมประเภท Windows Forms Application แล้วตั้งชื่อ



ภาพที่ 3.15 การสร้าง New Project โปรแกรม Microsoft Visual Studio 2010



ภาพที่ 3.16 หน้าจอพื้นฐานโปรแกรม Microsoft Visual Studio 2010

จากภาพที่ 3.16 มีส่วนประกอบดังต่อไปนี้

- 1) เมนูบาร์ (Menu Bar) เป็นเมนูหลักที่เก็บคำสั่งควบคุมการทำงานของ Visual Basic โดยจัดเป็นกลุ่มแยกตามประเภทของการใช้งาน
- 2) ทูลบาร์ (Toolbar) เก็บเฉพาะคำสั่งบางคำสั่งที่มักจะใช้งานบ่อยๆ คำสั่งจะเป็นปุ่มที่สามารถเรียกใช้งานได้อย่างรวดเร็ว
- 3) หน้าต่างแสดงโปรเจกต์ (Solution Explorer) เป็นหน้าต่างแสดงรายการของไอเท็ม ที่มีอยู่ในโปรเจกต์ทั้งหมด อาทิ รายละเอียดของไฟล์ โมดูล เป็นต้น
- 4) หน้าต่างคุณสมบัติ (Properties Windows) เป็นหน้าต่างแสดงคุณสมบัติของคอนโทรลที่เลือกใช้อยู่ในขณะนั้น โดยเราสามารถกำหนดหรือเขียนโค้ดเพิ่มเติมก็ได้
- 5) ฟอร์ม (Form)
- 6) แสดงข้อความผิดพลาดของโปรแกรม (Error List)
- 7) ทูลบ็อก (Toolbox) เป็นส่วนที่ใช้ในการแสดงคอนโทรลต่างๆ ที่นำมาวางบนฟอร์ม แต่เนื่องจากคอนโทรลมีจำนวนมาก ดังนั้น จึงได้มีการแบ่งออกเป็นกลุ่มๆ โดยแต่ละกลุ่มจะแยกด้วยแท็บ

3.5.3 ตัวแปร ค่าคงที่ และชนิดของข้อมูล

1) ตัวแปรและการประกาศตัวแปร

ใน Visual Basic การประกาศตัวแปรจะเริ่มต้นต้นด้วยคำว่า Dim ตามด้วยชื่อตัวแปร และประเภทของข้อมูลที่เก็บในตัวแปร โดยมีรูปแบบดังนี้

Dim <ชื่อตัวแปร> [As Type]

โดยคำว่า As Type จะเป็นการบอกว่าเป็นข้อมูลชนิดใด อาทิ Integer ใช้สำหรับเก็บตัวเลข และ String ใช้สำหรับเก็บข้อความ เป็นต้น

2) ชนิดของข้อมูล

ในการเขียนโปรแกรม Visual Basic มีชนิดของข้อมูลพื้นฐานดังตาราง 3.1

ตารางที่ 3.1 ชนิดข้อมูลพื้นฐานการเขียนโปรแกรม Visual Basic

ชนิดของข้อมูล	ขนาด (ไบต์)	คำอธิบาย
Boolean	2	เก็บค่าเป็นบูลีน หรือลอจิกเป็นค่า “จริง” หรือ “เท็จ”
Char	2	เก็บรหัส Unicode ของตัวอักษร
Short	2	เก็บเลขจำนวนเต็มระหว่างค่า -32,768 ถึง 32,768
Integer	4	เก็บเลขจำนวนเต็มขนาด 4 ไบต์ แบบคิดเครื่องหมาย
UInteger	4	เก็บเลขจำนวนเต็มขนาด 4 ไบต์ แบบไม่คิดเครื่องหมาย
Long	8	เก็บเลขจำนวนเต็มขนาด 8 ไบต์ แบบคิดเครื่องหมาย
ULong	8	เก็บเลขจำนวนเต็มขนาด 8 ไบต์ แบบไม่คิดเครื่องหมาย
Single	4	เก็บเลขทศนิยมความละเอียดต่ำ
Double	8	เก็บเลขทศนิยมความละเอียดสูง
Decimal	16	เก็บเลขทศนิยมขนาดใหญ่มาก
String	2 ไบต์ต่อตัวอักษร	เก็บข้อความที่เป็นชุดตัวอักษร
Date	8	เก็บข้อมูลเกี่ยวกับวัน,เดือน,ปี
Object	4	เก็บออบเจกต์ของข้อมูลใดๆ

3) ค่าคงที่

ค่าคงที่มีไว้สำหรับเก็บค่าที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงตลอดช่วงเวลาที่โปรแกรมทำงานอยู่ ซึ่งถ้าในโปรแกรมมีการใช้คำสั่งให้เปลี่ยนค่าคงที่ Visual Basic จะแสดงข้อผิดพลาดออกมา โดยมีรูปแบบดังนี้

[Private / Public] Const <ชื่อค่าคงที่> [As Type] = <ค่าที่กำหนดให้คงที่>

3.5.4 ตัวดำเนินการ

สำหรับตัวดำเนินการ Visual Basic สามารถแบ่งออกเป็นประเภทใหญ่ๆ ดังนี้

1) ตัวดำเนินการทางคณิตศาสตร์

ตัวดำเนินการที่เกี่ยวข้องกับการคำนวณทางคณิตศาสตร์ ดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 ตัวดำเนินการทางคณิตศาสตร์

สัญลักษณ์	การกระทำ	ตัวอย่าง	ผลลัพธ์
+	การบวก	2 + 4	6
-	การลบ	4 - 2	2
*	การคูณ	4 * 2	8
/	การหาร	5 / 2	2.5
\	การหารแบบจำนวนเต็ม	5 \ 3	1
Mod	การหาเศษ	10 Mod 3	1
^	การยกกำลัง	2 ^ 4	16

2) ตัวดำเนินการทางตรรกะ

ตัวดำเนินการประเภทนี้จําแนกข้อมูลสองค่ามากระทำทางตรรกะต่อกัน แล้วทำให้ผลลัพธ์เป็นค่าจริง (True) หรือ (False) โดยตัวดำเนินการและตารางการดำเนินการต่างๆ จะเป็นดังตารางที่ 3.3 ถึง ตารางที่ 3.7

ตารางที่ 3.3 ตัวดำเนินการ And

A	B	A and B
True	True	True
True	False	False
False	True	False
False	False	False

ตารางที่ 3.4 ตัวดำเนินการ Or

A	B	A Or B
True	True	True
True	False	True
False	True	True
False	False	False

ตารางที่ 3.5 ตัวดำเนินการ XOr

A	B	A Xor B
True	True	False
True	False	True
False	True	True
False	False	False

ตารางที่ 3.6 ตัวดำเนินการ And Also

A	B	A and Also B
True	True	True
True	False	False
False	ไม่ตรวจสอบ	False
True	ไม่ตรวจสอบ	True
False	True	True
False	False	False

ตารางที่ 3.7 ตัวดำเนินการ Not

A	Not A
True	False
False	True

3) ตัวดำเนินการเกี่ยวกับข้อมูลสตริง

ตัวดำเนินการกลุ่มนี้เป็นตัวดำเนินการที่ใช้เชื่อมข้อความ (String) กับข้อความเข้าด้วยกัน หรือข้อความกับตัวเลข ประกอบด้วยตัวดำเนินการดังนี้

+ ใช้เชื่อมข้อความกับข้อความ

ใช้เชื่อมข้อความกับตัวเลข

4) ตัวดำเนินการเปรียบเทียบ

ตัวดำเนินการประเภทนี้จะใช้เปรียบเทียบค่า 2 ค่า โดยมีผลลัพธ์เป็น True หรือ False อย่างใดอย่างหนึ่งเท่านั้น ตัวดำเนินการและตัวอย่างการใช้งานเป็นดังตารางที่ 3.8

ตารางที่ 3.8 ตัวดำเนินการเปรียบเทียบ

สัญลักษณ์ตัวดำเนินการ	ความหมาย	ตัวอย่างการใช้งาน	ผลลัพธ์
=	เท่ากับ	A = B	False
<>	ไม่เท่ากับ	A <> B	True
<	น้อยกว่า	A < B	True
>	มากกว่า	A > B	False
<=	น้อยกว่าหรือเท่ากับ	A <= B	True
>=	มากกว่าหรือเท่ากับ	A >= B	False

3.5.5 ประโยคคำสั่ง (Statement)

Statement หรือประโยคคำสั่ง หมายถึงคำสั่งในโปรแกรมที่เขียนขึ้น เพื่อใช้ในการควบคุมการทำงานของโปรแกรม โดยสามารถแบ่งออกเป็น 3 ประเภทใหญ่ๆ คือ

1) ประโยคกำหนดค่า (Assignment Statement)

ประโยคกำหนดค่า คือการเขียนคำสั่งป้อนค่าหรือใส่ค่าให้กับตัวแปรด้วยนิพจน์ต่างๆ ตัวดำเนินการหลักที่ใช้ในประโยคที่ใช้กำหนดค่าของ Visual Basic คือเครื่องหมาย “=”

2) ประโยคเงื่อนไข (Condition Statement)

ประโยคเงื่อนไข จะเป็นประโยคคำสั่งในการสร้างเงื่อนไข เพื่อใช้ในการตัดสินใจตามเงื่อนไขที่ได้กำหนดไว้ ประโยคคำสั่งประเภทนี้ แบ่งออกเป็น 2 คำสั่ง คือ

1. คำสั่ง If-Then-Else เป็นคำสั่งตรวจสอบเงื่อนไขหลังคำว่า If ถ้าเงื่อนไขเป็นจริง (True) โปรแกรมจะทำงานตามคำสั่งที่อยู่หลังคำว่า Then แต่ถ้าเงื่อนไขเป็นเท็จ (False) โปรแกรมจะทำตามคำสั่งหลังคำว่า Else จนถึงคำว่า End If ซึ่งมีรูปแบบดังนี้

รูปแบบ

If <นิพจน์ที่เป็น Boolean>

Then ชุดคำสั่งที่เป็นสำหรับนิพจน์ที่เป็นจริง

Else ชุดคำสั่งสำหรับนิพจน์ที่เป็นเท็จ

End If

2. คำสั่ง Select Case สำหรับการเขียนโปรแกรมที่มีการเลือกทำหลายทิศทาง การนำคำสั่ง If มาซ้อนกันนั้น อาจจะไม่สะดวก ถ้าหากเป็นการเลือกทำหลายทางเลือก ดึงเลือกจากเส้นทางการทำงานของโปรแกรมจากค่าเชิงนิพจน์ที่กำหนด จะใช้คำสั่ง Select Case ซึ่งมีรูปแบบคำสั่งดังนี้

รูปแบบ

Select Case <นิพจน์ >

Case <ค่าของนิพจน์กลุ่มแรก>

‘คำสั่งที่ทำงานเมื่อนิพจน์ตรงกับค่าในกลุ่มแรก

Case <ค่าของนิพจน์กลุ่มสอง>

‘คำสั่งที่ทำงานเมื่อนิพจน์ตรงกับค่าในกลุ่มสอง

Case Else

‘คำสั่งเมื่อไม่ตรงกับกรณีไหนเลย

End Select

3) คำสั่งทำงานซ้ำ

ในการเขียนโปรแกรมบางครั้งต้องการให้โปรแกรมทำคำสั่งเดิมๆ หลายๆ ครั้ง หรือให้ทำงานซ้ำๆ ตามจำนวนครั้งที่แน่นอน หรือให้ทำซ้ำจนกว่าจะได้เงื่อนไขตามที่ต้องการ จำใช้คำสั่งสำหรับการทำซ้ำ จะมีคำสั่งดังต่อไปนี้

1. คำสั่ง For – Next คำสั่งนี้จะเป็นการทำงาน โดยมีตัวแปรตัวหนึ่งนับจำนวนครั้งที่จะทำซ้ำ โดยกำหนดให้ตัวแปรมีค่าเท่ากับ <ค่าเริ่มต้น> และเมื่อทำงานมาถึงบรรทัด Next <ชื่อตัว

แปร> ก็ทำการเพิ่มค่าตัวแปรนั้นขึ้นไปครั้งละเท่ากับค่าที่อยู่หลังคำว่า Stop ทำซ้ำจนกว่าค่าของตัวแปรจะมีค่ามากกว่า <ค่าสุดท้าย> ที่กำหนดไว้ หรือถ้าพบคำสั่ง Exit For ก่อน ก็จะหลุดออกจากลูปทันที

รูปแบบ

For <ชื่อตัวแปร> = <ค่าเริ่มต้น> To <ค่าสุดท้าย> [Step <ค่าที่เพิ่มขึ้นของตัวแปร>

‘ชุดคำสั่งที่ต้องการให้ทำซ้ำ

[Exit For]

Next <ชื่อตัวแปร>

2. คำสั่ง Do – Loop คำสั่งนี้จะให้โปรแกรมทำงานซ้ำ โดยจำนวนครั้งที่ทำงานซ้ำจะขึ้นอยู่กับเงื่อนไขหลังคำว่า While หรือ Until โดยมีรูปแบบคำสั่งเป็นดังนี้

รูปแบบ

Do {While | Until} <เงื่อนไข>

‘ชุดคำสั่งที่ต้องการทำซ้ำ

[Exit Do]

Loop

รูปแบบ

Do

‘ชุดคำสั่งที่ต้องการทำซ้ำ

[Exit Do]

Loop {While | Until} <เงื่อนไข>

การทำซ้ำในรูปแบบแรกจะเป็นการตรวจสอบเงื่อนไขก่อนเข้าสู่ลูป ส่วนการทำซ้ำรูปแบบที่สองจะตรวจสอบเงื่อนไขหลังจากการเข้าสู่ลูปไปแล้วหนึ่งครั้ง การตรวจสอบเงื่อนไขจะมีอยู่สองลักษณะคือ แบบ White ทำซ้ำขณะเงื่อนไขเป็นจริง และแบบ Unit ทำซ้ำจนกว่าเงื่อนไขจะเป็นจริง

3. คำสั่ง White คำสั่งนี้จะใช้สำหรับทำซ้ำโดยจะตรวจสอบเงื่อนไขก่อนเข้าสู่ลูป คล้ายกับการทำซ้ำแบบ For แต่การทำซ้ำแบบ For นั้นต้องทราบค่าเริ่มต้นของการเข้าสู่ลูป แต่ถ้าหากไม่ทราบค่าเริ่มต้นและต้องการตรวจสอบเงื่อนไขเท่านั้น สามารถนำการทำซ้ำแบบ White มาใช้ได้ โดยมีรูปแบบคำสั่งดังนี้

รูปแบบ

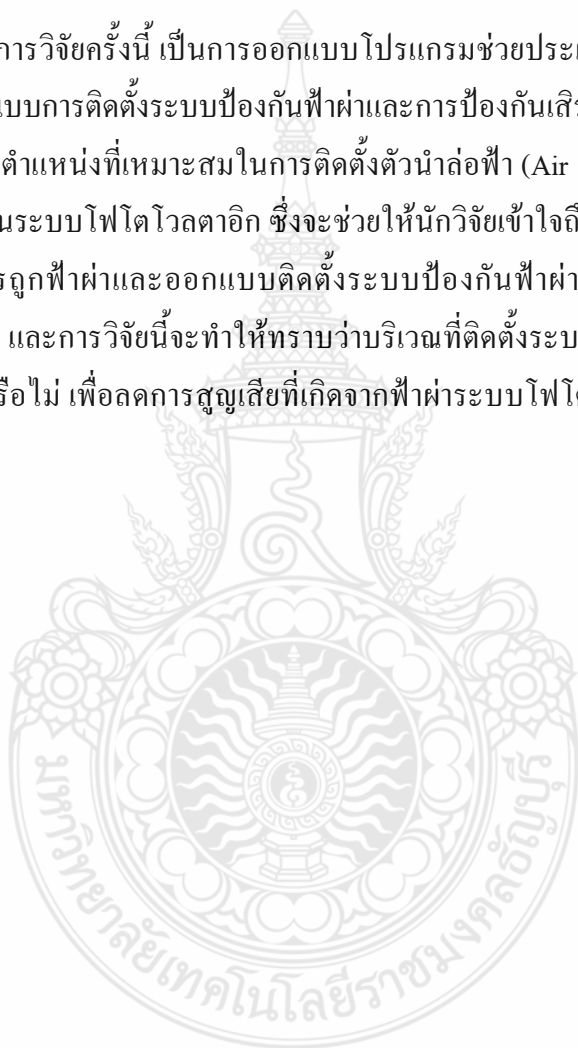
White <เงื่อนไข>

‘ชุดคำสั่ง

End White

3.6 บทสรุปโปรแกรม

การดำเนินการวิจัยครั้งนี้ เป็นการออกแบบโปรแกรมช่วยประเมินความเสี่ยงอันตรายจากการถูกฟ้าผ่าและออกแบบการติดตั้งระบบป้องกันฟ้าผ่าและการป้องกันเสิร์จในระบบไฟโตโวลตาอิก ซึ่งสามารถกำหนดหาตำแหน่งที่เหมาะสมในการติดตั้งตัวนำล่อฟ้า (Air Terminal) ตำแหน่งติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันเสิร์จในระบบไฟโตโวลตาอิก ซึ่งจะช่วยให้นักวิจัยเข้าใจถึงหลักการวิธีประเมินความเสี่ยงอันตรายจากการถูกฟ้าผ่าและออกแบบติดตั้งระบบป้องกันฟ้าผ่าและการป้องกันเสิร์จของระบบไฟโตโวลตาอิก และการวิจัยนี้จะทำให้ทราบว่าบริเวณที่ติดตั้งระบบไฟโตโวลตาอิก ควรจะมีระบบป้องกันฟ้าผ่าหรือไม่ เพื่อลดการสูญเสียที่เกิดจากฟ้าผ่าระบบไฟโตโวลตาอิกทั้งทางตรงและทางอ้อม



บทที่ 4

การดำเนินการและการทดสอบวิเคราะห์ผล

หลังจากการศึกษาวิธีการประเมินความเสี่ยงอันตรายจากการถูกฟ้าผ่าและการออกแบบระบบป้องกันฟ้าผ่าและเสิร์จสำหรับระบบไฟโตโวลตาอิก พร้อมทั้งได้เขียนโปรแกรมในบทที่ 3 จากนั้นผู้ทำวิจัยจึงได้ดำเนินการหาวิธีทดสอบโปรแกรมที่ได้ออกแบบ โดยการทดสอบโปรแกรมที่ออกแบบนั้น ผู้ทำวิจัยได้ทำการทดสอบผลที่ได้จากโปรแกรมนำไปทดสอบด้วยโปรแกรมเขียนแบบ 3 มิติ

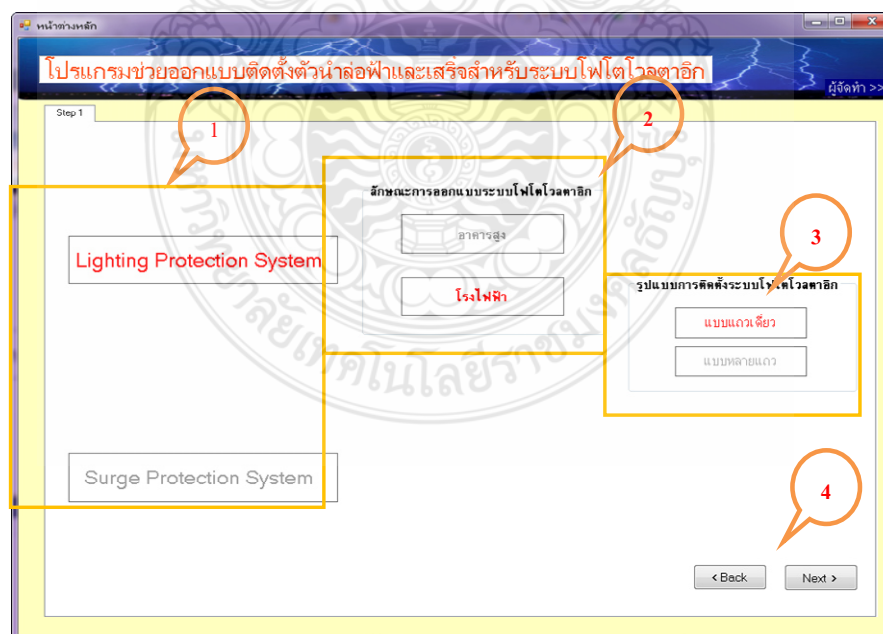
4.1 การทดสอบและวิเคราะห์ผล

การทดลองที่ 1 โดยได้นำข้อมูลจากการติดตั้งจริงที่ อำเภอท่ายาง จังหวัดเพชรบุรี ขนาด 25 กิโลวัตต์สูงสุด มาทดสอบการใช้งานโปรแกรมการออกแบบ ดังภาพที่ 4.1 ซึ่งติดตั้งระบบไฟโตโวลตาอิก กว้าง 6 เมตร ยาว 60 เมตร และติดตั้งสูงจากพื้นดิน 4 เมตร บนพื้นที่ 360 ตารางเมตร โดยระบบไฟโตโวลตาอิก มีการเชื่อมต่อกับระบบของไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคเพื่อขายกระแสไฟฟ้าคืนให้การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค โดยมีการประเมินความเสี่ยงการถูกฟ้าผ่ามีรายละเอียดดังนี้ เงินลงทุนในการติดตั้งระบบไฟโตโวลตาอิกโดยประมาณ 2.5 ล้านบาท มูลค่าอุปกรณ์อื่นๆ ที่จะเสียหายมีค่าปานกลาง ระบบไฟโตโวลตาอิกมีการจำหน่ายกระแสไฟฟ้าให้กับ กฟภ. ดังนั้นไม่สามารถหยุดงานได้ และความเสียหายอื่น ๆ มีค่าต่ำ ดังนั้นสามารถคำนวณค่าความถี่ของการเกิดฟ้าผ่าที่ยอมรับได้ของระบบ (N_c) ได้เท่ากับ 1×10^{-5} ครั้งต่อปี และจังหวัดเพชรบุรี มีค่าจำนวนครั้งของวาบฟ้าผ่าต่อพื้นที่เท่ากับ 6.68 ตารางกิโลเมตรต่อปี ซึ่งสามารถคำนวณค่าความถี่ของการเกิดฟ้าผ่าโดยตรงกับระบบ (N_d) ได้เท่ากับ 0.015 ครั้งต่อปี จะเห็นได้ว่าค่าความถี่ของการเกิดฟ้าผ่าโดยตรงกับระบบ (N_d) มีค่ามากกว่าค่าความถี่ของการเกิดฟ้าผ่าที่ยอมรับได้ของระบบ (N_c) ดังนั้นระบบดังกล่าวมีความจำเป็นต้องติดตั้งตัวนำล่อฟ้า ตามภาพที่ 4.3



ภาพที่ 4.1 ระบบที่ใช้ทดสอบโปรแกรม ณ อำเภอยาง จังหวัดเพชรบุรี ขนาด 25 กิโลวัตต์สูงสุด

การใช้งานโปรแกรม



ภาพที่ 4.2 หน้าจอหลักการใช้งานโปรแกรมของการทดลองที่ 1

ตามภาพที่ 4.2

- 1) เลือกประเภทการออกแบบ
- 2) เลือกประเภทการออกแบบติดตั้ง
- 3) รูปแบบการติดตั้ง
- 4) กดปุ่มถัดไป

ภาพที่ 4.3 การคำนวณค่าความถี่ของการเกิดวาบฟ้าผ่าตรงกับสิ่งปลูกสร้าง (N_d) และการคำนวณค่าความถี่ของการเกิดวาบฟ้าผ่าที่ยอมรับได้กับสิ่งปลูกสร้าง (N_c) ของการทดลองที่ 1

ตามภาพที่ 4.3

- 1) กำหนดค่าความถี่ของการเกิดวาบฟ้าผ่าตรงกับสิ่งปลูกสร้าง
 1. เลือกจังหวัดที่ทำการติดตั้ง
 2. ลักษณะพื้นที่ที่ทำการติดตั้ง
 3. ความกว้างของระบบไฟโตโวลตาอิกที่ติดตั้ง
 4. ความยาวของระบบไฟโตโวลตาอิกที่ติดตั้ง
 5. ความสูงของระบบไฟโตโวลตาอิกที่ติดตั้ง

- 2) คำนวณหาค่าความถี่ของการเกิดวาบฟ้าผ่าที่ยอมรับได้กับสิ่งปลูกสร้าง
 1. เงินลงทุนติดตั้งแผงโฟโตโวลตาอิก
 2. มูลค่าความเสียหายอื่นๆที่จะเสียหาย อาทิ อินเวอร์เตอร์,ระบบสื่อสาร
 3. ความต้องการใช้พลังงานจากระบบ
 4. ความเสียหายอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง
- 3) ค่าการคำนวณค่าความถี่ของการเกิดวาบฟ้าผ่าที่ยอมรับได้กับสิ่งปลูกสร้าง (N_c) แสดงค่าการคำนวณค่าความถี่ของการเกิดวาบฟ้าผ่าตรงกับสิ่งปลูกสร้าง (N_d)
 1. กดปุ่มถัดไป

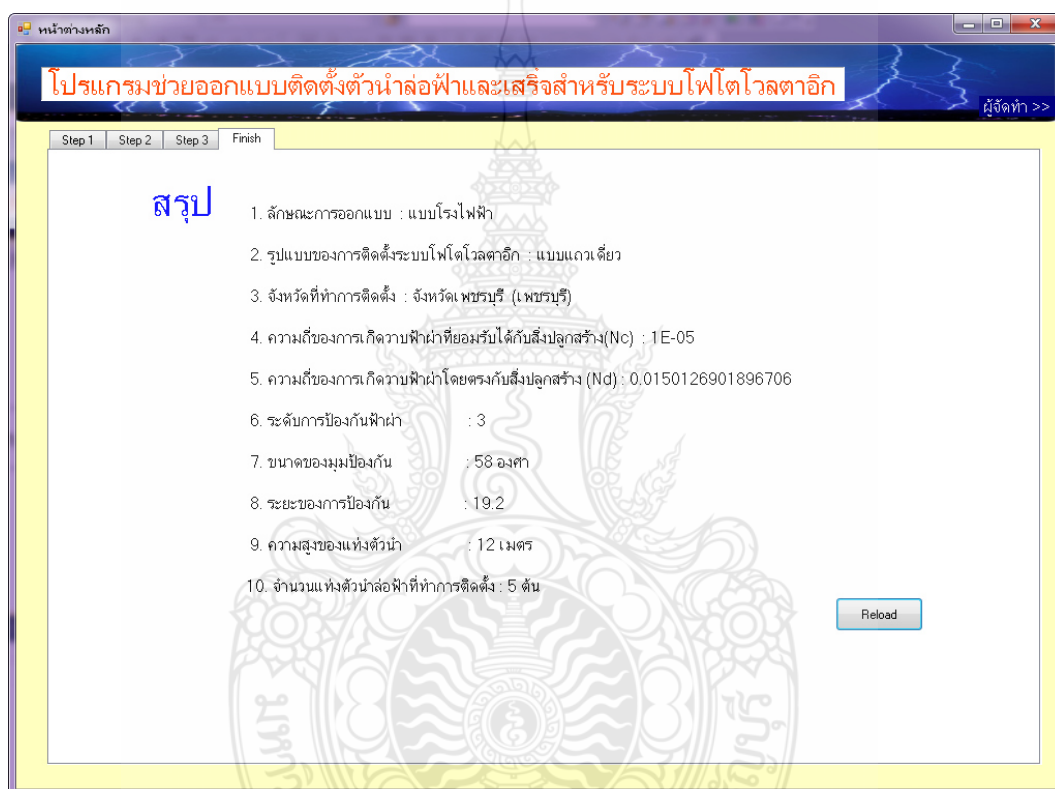
ภาพที่ 4.4 เลือกระดับการป้องกันและจำนวนแท่งตัวนำล่อฟ้าที่จะติดตั้งสูงสุด

ตามภาพที่ 4.4

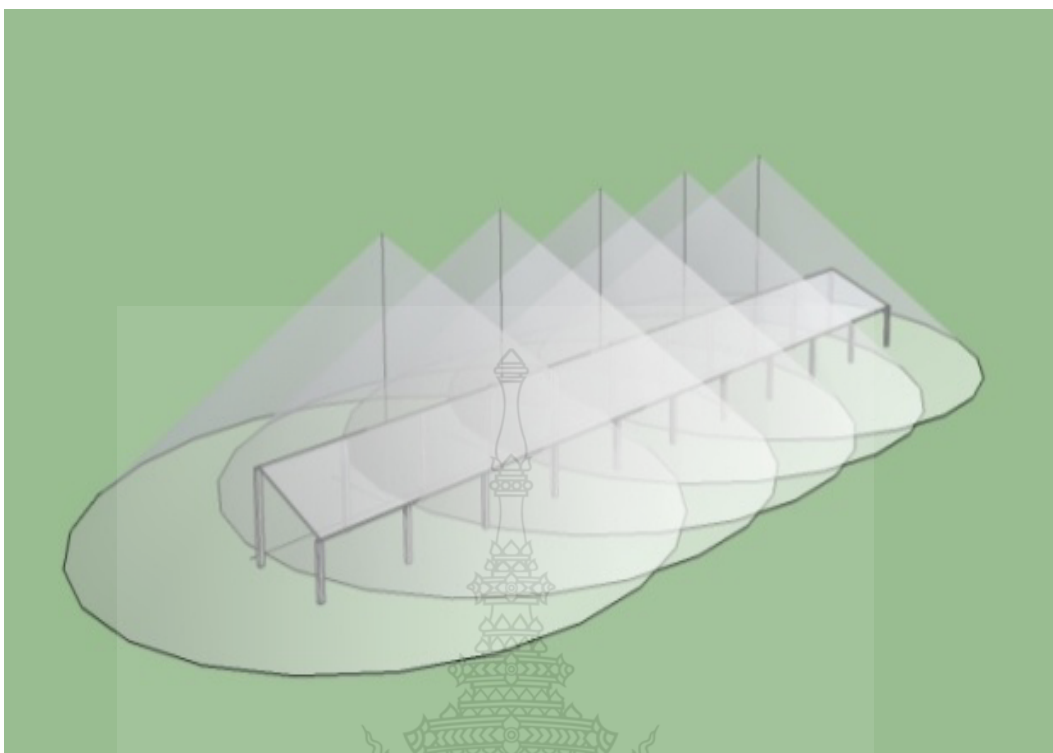
- 1) เลือกข้อมูลตั้งต้น
 1. เลือกระดับการป้องกัน
 2. จำนวนแท่งตัวนำล่อฟ้าติดตั้งสูงสุด
 3. ความสูงของแท่งตัวนำล่อฟ้าสูงสุด
 4. ระยะห่างระหว่างแท่งตัวนำล่อฟ้ากับแผงโฟโตโวลตาอิก

2) กดปุ่มถัดไป

จากผลลัพธ์การออกแบบของโปรแกรมได้ว่าต้องติดตั้งตัวนำล่อฟ้าสูง 12 เมตร จำนวน 5 ต้น แต่ละต้นมีมุมป้องกัน 58 องศา มีรัศมี 19.20 เมตร และแต่ละต้นห่างกัน 10 เมตร ดังภาพที่ 4.5 จากข้อมูลดังกล่าวนำมาทวนสอบด้วยโปรแกรมเขียนแบบสามมิติตามหลักการวิธีมุมป้องกันและวิธีทรงกลมกลิ้ง เพื่อตรวจสอบพื้นที่ที่ได้รับการป้องกันจากตัวนำล่อฟ้าพบว่าแผนระบบโฟโตโวลตาอิกทั้งหมดอยู่ในเขตป้องกันดังภาพที่ 4.6

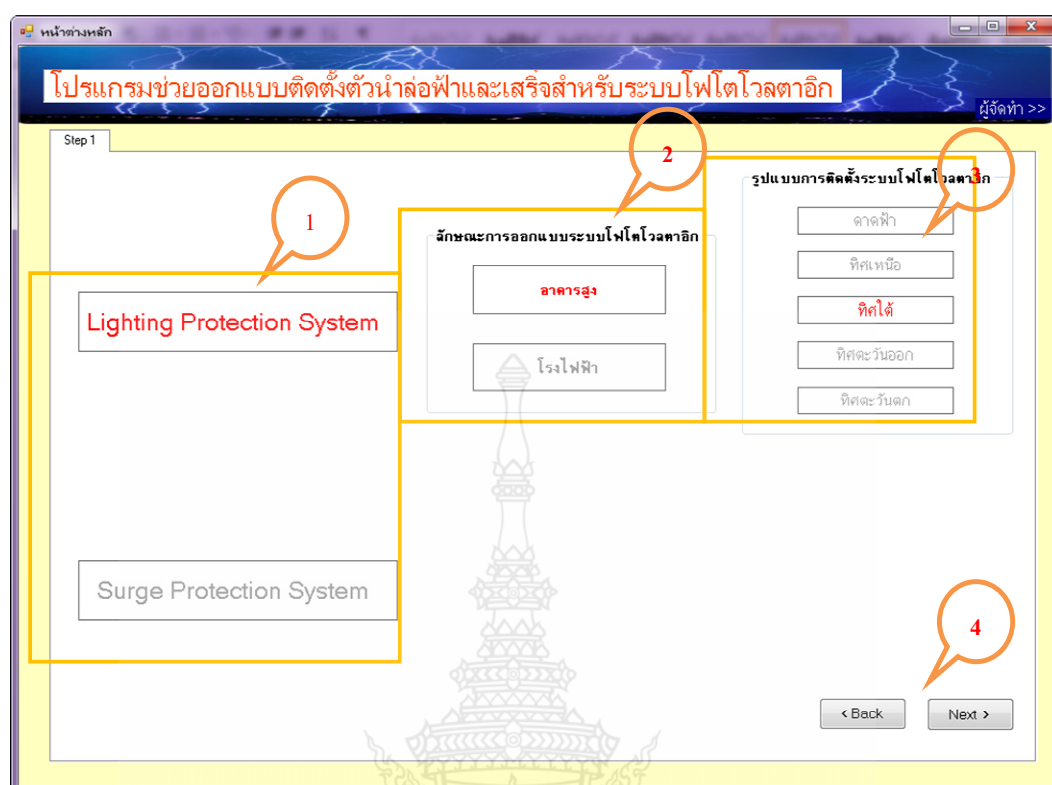


ภาพที่ 4.5 ผลการออกแบบจากโปรแกรมแบบ Plant



ภาพที่ 4.6 แบบสามมิติที่ใช้ตรวจสอบการออกแบบ แบบ Plant

การทดลองที่ 2 ได้ทำการทดลองออกแบบการติดตั้งตัวนำล่อฟ้ากับอาคารตัวอย่างที่ติดตั้งระบบโฟโตโวลตาอิกแบบบูรณาการร่วมกับอาคาร (Building Integrated Photovoltaic: BIPV) ขนาด 100 กิโลวัตต์สูงสุด ที่ติดตั้งที่ อำเภอเมือง จังหวัดปทุมธานี โดยอาคารมีความกว้าง 30 เมตร ยาว 30 เมตร สูง 100 เมตร ติดตั้งทางด้านทิศใต้ของตัวอาคาร โดยติดตั้งแผงโฟโตโวลตาอิกแทนหน้าต่างกระจกในทุกชั้น ซึ่งยื่นออกมาจากตัวอาคาร 1 เมตร ติดตั้งตลอดความกว้างของตึก โดยมีการประเมินความเสี่ยงการถูกฟ้าผ่ามีรายละเอียด ดังนี้ ใช้เงินลงทุนติดตั้งระบบโฟโตโวลตาอิกโดยประมาณ 10 ล้านบาท มูลค่าของอุปกรณ์อื่นที่จะเสียหายมีค่าสูง ระบบสามารถหยุดได้ไม่เกิน 1 อาทิตย์ และค่าความเสียหายอื่นมีค่าต่ำ ดังนั้นสามารถคำนวณหาค่าความถี่ของการเกิดฟ้าผ่าที่ยอมรับได้ของระบบ (N_c) ได้เท่ากับ 1×10^5 จังหวัดปทุมธานี มีค่าจำนวนครั้งของวาบฟ้าผ่าต่อพื้นที่เท่ากับ 3.284 ตารางกิโลเมตรต่อปี ซึ่งสามารถคำนวณค่าความถี่ของการเกิดฟ้าผ่าโดยตรงกับระบบ (N_d) ได้เท่ากับ 1.049 ครั้งต่อปี จะเห็นได้ว่าค่าความถี่ของการเกิดฟ้าผ่าโดยตรงกับระบบ (N_d) มีค่ามากกว่าค่าความถี่ของการเกิดฟ้าผ่าที่ยอมรับได้ของระบบ (N_c) ดังนั้นระบบดังกล่าวมีความจำเป็นต้องติดตั้งตัวนำล่อฟ้า ดังภาพที่ 4.8



ภาพที่ 4.7 หน้าจอหลักการใช้งานโปรแกรมของการทดลองที่ 2

ตามภาพที่ 4.7

- 1) เลือกประเภทการออกแบบ
- 2) เลือกประเภทการออกแบบติดตั้ง
- 3) รูปแบบการติดตั้ง
- 4) กดปุ่มถัดไป

โปรแกรมช่วยออกแบบติดตั้งตัวนำล่อฟ้าและเสริมสำหรับระบบไฟโตโวลตาอิก

ผู้จัดทำ >>

Step 1 Step 2

ความถี่ของการเกิดวาตฟ้าโดยตรงกับสิ่งปลูกสร้าง

จังหวัด: จังหวัดปทุมธานี (ปทุมธานี ลกษ.)

ลักษณะพื้นที่: ไม่มีต้นไม้หรืออาคารอยู่ในระยะ 3 เท่าของความสูง

ความกว้างของอาคารที่ติดตั้งระบบ: 30 m.

ความยาวของอาคารที่ติดตั้งระบบ: 30 m.

ความสูงของอาคารที่ติดตั้งระบบ: 100 m.

ความถี่ของการเกิดวาตฟ้าที่ยอมรับได้กับสิ่งปลูกสร้าง

เงินลงทุนของระบบ: สูง (มากกว่า 2,000,000 บาท)

มูลค่าของอุปกรณ์อื่นๆ ที่จะเสียหาย: สูง (มากกว่า 2,000,000 บาท)

ความต้องการใช้พลังงานจากระบบ: ยอมรับได้ไม่เกิน 1 วัตต์

ความเสียหายอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง: ต่ำ

$N_c = 1E-05$

$N_d = 1.04969460733361$

ระบบจำเป็นต้องติดตั้งระบบป้องกันฟ้าผ่า

< Back Next >

ภาพที่ 4.8 การคำนวณค่าความถี่ของการเกิดวาตฟ้าผ่าตรงกับสิ่งปลูกสร้าง (N_d) และการคำนวณค่าความถี่ของการเกิดวาตฟ้าผ่าที่ยอมรับได้กับสิ่งปลูกสร้าง (N_c) ของการทดลองที่ 2

ตามภาพที่ 4.8

- 5) คำนวณหาค่าความถี่ของการเกิดวาตฟ้าผ่าตรงกับสิ่งปลูกสร้าง
 1. เลือกจังหวัดที่ทำการติดตั้ง
 2. ลักษณะพื้นที่ที่ทำการติดตั้ง
 3. ความกว้างของระบบไฟโตโวลตาอิกที่ติดตั้ง
 4. ความยาวของระบบไฟโตโวลตาอิกที่ติดตั้ง
 5. ความสูงของระบบไฟโตโวลตาอิกที่ติดตั้ง
- 6) คำนวณหาค่าความถี่ของการเกิดวาตฟ้าผ่าที่ยอมรับได้กับสิ่งปลูกสร้าง
 1. เงินลงทุนติดตั้งแผงไฟโตโวลตาอิก
 2. มูลค่าความเสียหายอื่นๆ ที่จะเสียหาย อาทิ อินเวอร์เตอร์ ระบบสื่อสาร
 3. ความต้องการใช้พลังงานจากระบบ
 4. ความเสียหายอื่นๆที่เกี่ยวข้อง

7) ค่าการคำนวณค่าความถี่ของการเกิดวาบฟ้าผ่าที่ยอมรับได้กับสิ่งปลูกสร้าง (N_c) ค่าการคำนวณค่าความถี่ของการเกิดวาบฟ้าผ่าตรงกับสิ่งปลูกสร้าง (N_d)

8) กดปุ่มถัดไป

ภาพที่ 4.9 เลือกระดับการป้องกันและจำนวนแท่งตัวนำล่อฟ้าที่จะติดตั้งสูงสุด

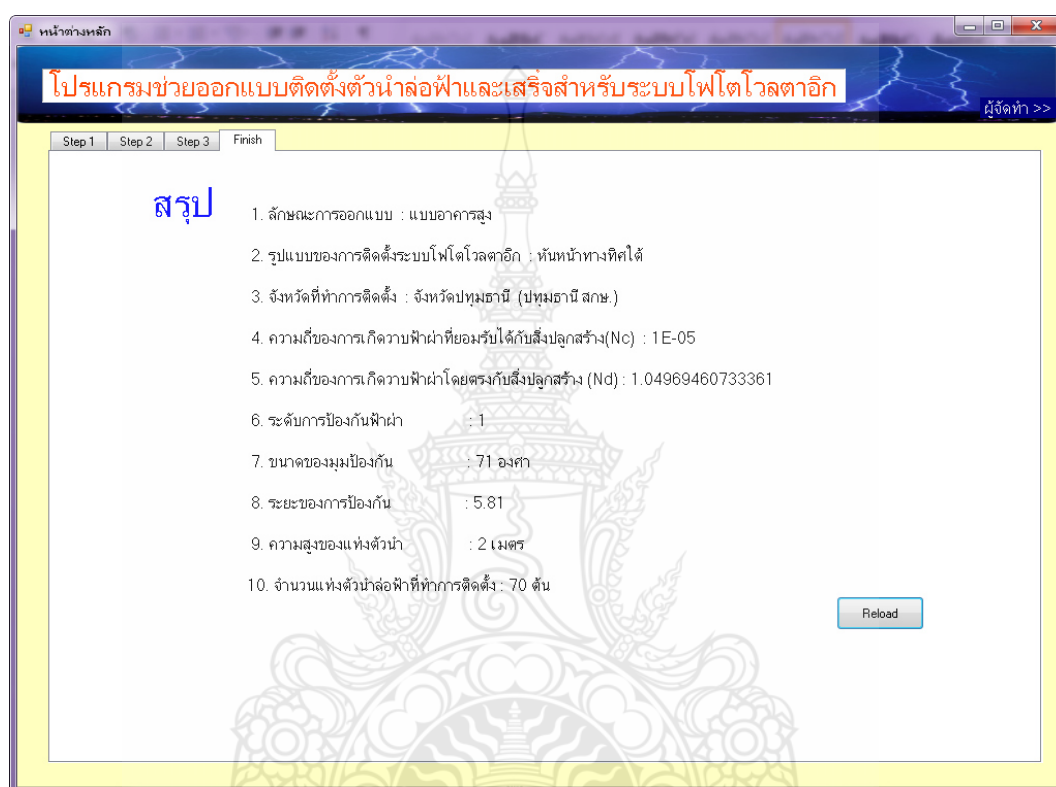
ตามภาพที่ 4.9

9) เลือกข้อมูลตั้งต้น

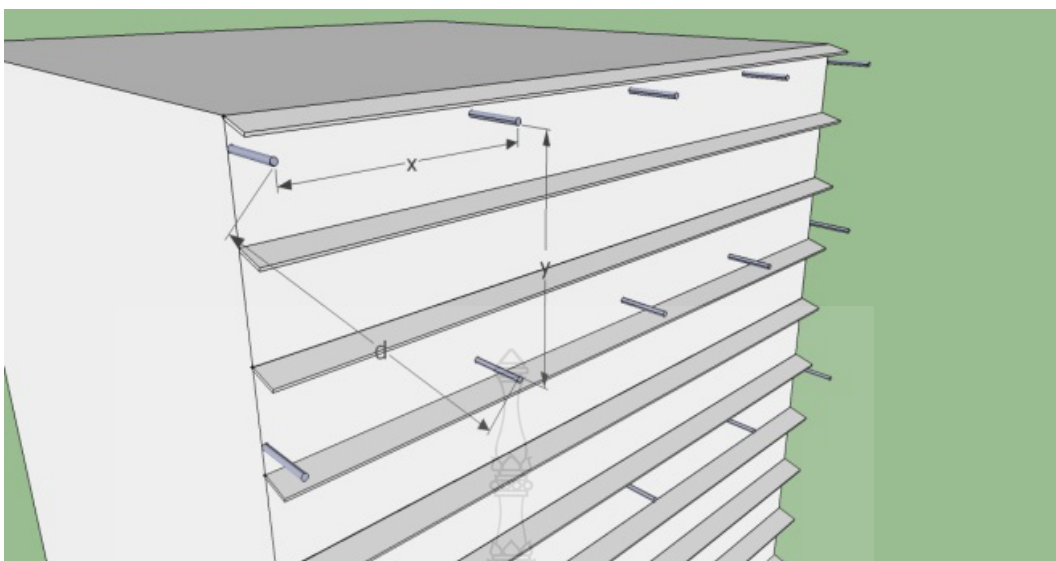
1. เลือกระดับการป้องกัน
2. จำนวนแท่งตัวนำล่อฟ้าติดตั้งสูงสุด
3. ความสูงของแท่งตัวนำล่อฟ้าสูงสุด
4. ระยะห่างระหว่างแท่งตัวนำล่อฟ้ากับแผงไฟโตโวลตาอิก

10) กดปุ่มถัดไป

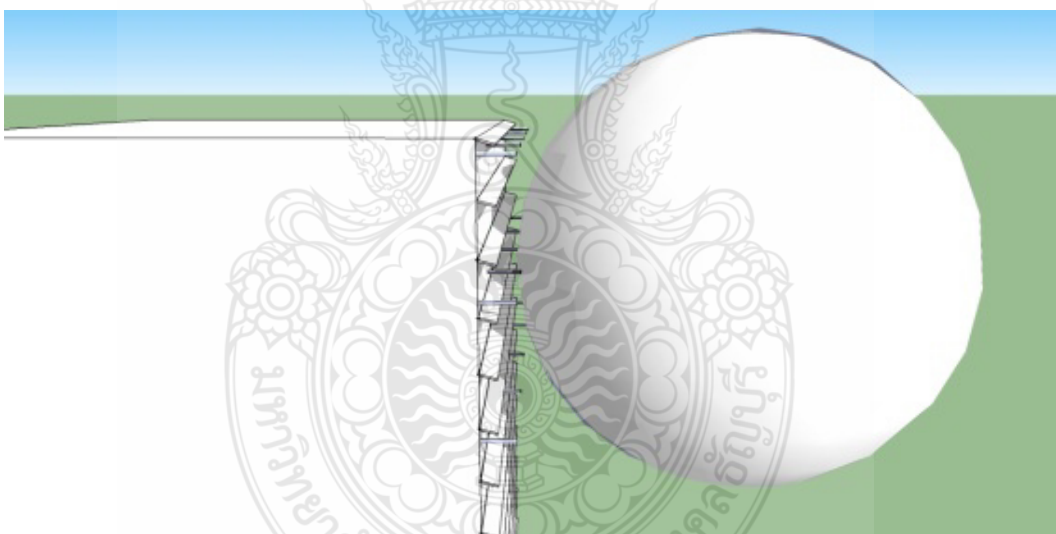
จากผลลัพธ์การออกแบบของโปรแกรม ดังภาพที่ 4.10 ได้ว่าต้องติดตั้งตัวนำล่อฟ้าสูง 2 เมตร จำนวน 70 ต้น แต่ละต้นมีมุมป้องกัน 71 ซึ่งจากข้อมูลดังกล่าวนำมาทวนสอบด้วยโปรแกรมเขียนแบบสามมิติตามหลักการวิธีทรงกลมกลิ้ง เพื่อตรวจสอบพื้นที่ที่ได้รับการป้องกันจากตัวนำล่อฟ้าพบว่าแผงระบบโฟโตโวลตาอิกทั้งหมดอยู่ในเขตป้องกันดังภาพที่ 4.12



ภาพที่ 4.10 ผลการออกแบบจากโปรแกรมแบบ BIPV ของการทดลองที่ 2



ภาพที่ 4.11 ตำแหน่งที่ติดตั้งตัวนำล่อฟ้าแบบ BIPV ของการทดลองที่ 2

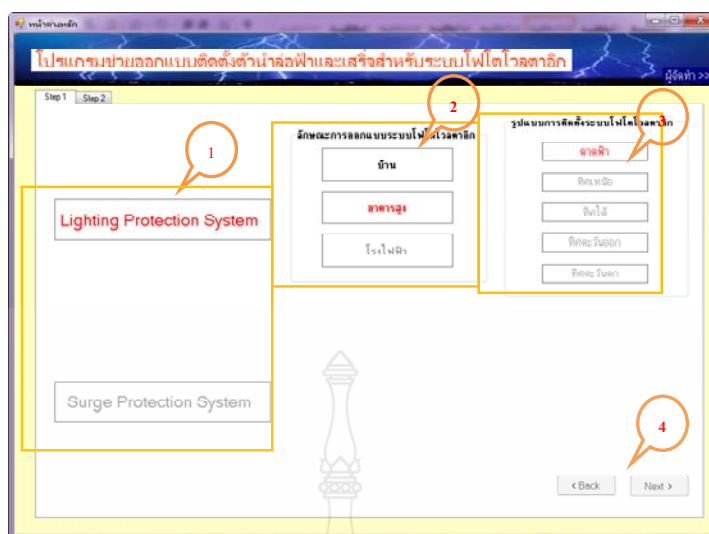


ภาพที่ 4.12 แบบสามมิติที่ใช้ตรวจสอบการออกแบบ BIPV ของการทดลองที่ 2

การทดลองที่ 3 ได้ทำการทดลองออกแบบการติดตั้งตัวนำล่อฟ้ากับอาคารตัวอย่างที่ติดตั้งระบบโฟโตโวลตาอิกแบบบูรณาการร่วมกับอาคาร (Building Integrated Photovoltaic: BIPV) ขนาด 30 กิโลวัตต์สูงสุด ที่ติดตั้งที่ อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา โดยอาคารมีความกว้าง 15 เมตร ยาว 50 เมตร สูง 20 เมตร ดังภาพที่ 4.13 โดยติดตั้งแผงโฟโตโวลตาอิกติดตั้งติดตั้งบนคานฟ้าอาคาร ติดตั้งตลอดความกว้างของอาคาร โดยมีการประเมินความเสี่ยงการถูกฟ้าผ่ามีรายละเอียด ดังนี้ ใช้เงินลงทุนติดตั้งระบบโฟโตโวลตาอิกโดยประมาณ 3 ล้านบาท มูลค่าของอุปกรณ์อื่นที่จะเสียหายมีค่าปานกลาง ระบบสามารถหยุดได้ไม่เกิน 1 อาทิตย์ และค่าความเสียหายอื่นมีค่าต่ำ ดังนั้นสามารถคำนวณหาค่าความถี่ของการเกิดฟ้าผ่าที่ยอมรับได้ของระบบ (N_c) ได้เท่ากับ 0.0001 ครั้งต่อปี จังหวัดนครราชสีมา มีค่าจำนวนครั้งของวาบฟ้าผ่าต่อพื้นที่เท่ากับ 6.82 ตารางกิโลเมตรต่อปี ซึ่งสามารถคำนวณค่าความถี่ของการเกิดฟ้าผ่าโดยตรงกับระบบ (N_d) ได้เท่ากับ 0.1354 ครั้งต่อปี จะเห็นได้ว่าค่าความถี่ของการเกิดฟ้าผ่าโดยตรงกับระบบ (N_d) มีค่ามากกว่าค่าความถี่ของการเกิดฟ้าผ่าที่ยอมรับได้ของระบบ (N_c) ดังนั้นระบบดังกล่าวมีความจำเป็นต้องติดตั้งตัวนำล่อฟ้า ดังภาพที่ 4.15



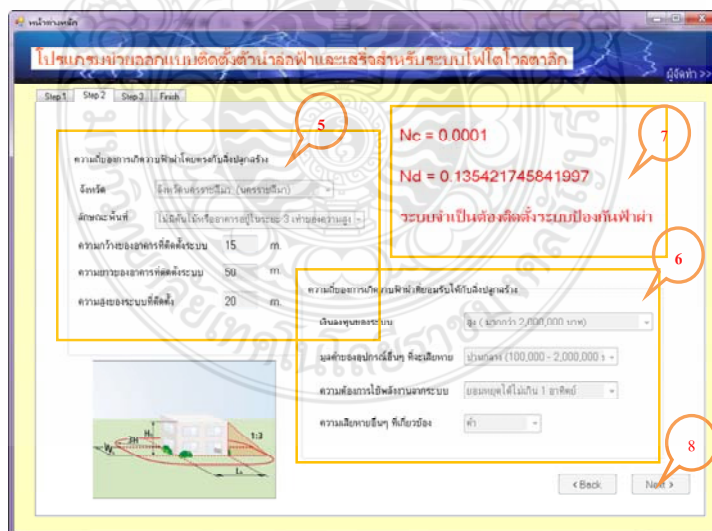
ภาพที่ 4.13 แบบอาคารตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบโปรแกรม



ภาพที่ 4.14 หน้าจอหลักการใช้งาน โปรแกรมของการทดลองที่ 3

ตามภาพที่ 4.14

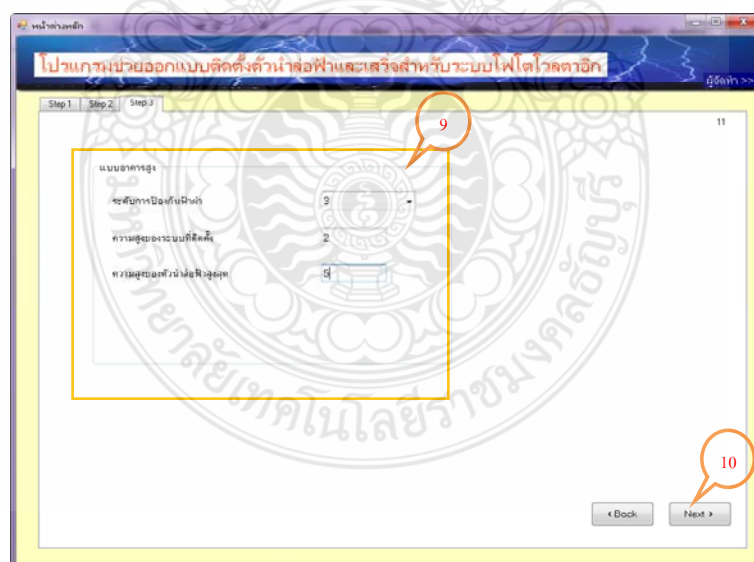
- 1) เลือกประเภทการออกแบบ
- 2) เลือกประเภทการออกแบบติดตั้ง
- 3) รูปแบบการติดตั้ง
- 4) กดปุ่มถัดไป



ภาพที่ 4.15 การคำนวณค่าความถี่ของการเกิดวาวฟ้าผ่าตรงกับสิ่งปลูกสร้าง (N_d) และการคำนวณค่าความถี่ของการเกิดวาวฟ้าผ่าที่ยอมรับได้กับสิ่งปลูกสร้าง (N_c)ของการทดลองที่ 3

ตามภาพที่ 4.15

- 5) คำนวณหาค่าความถี่ของการเกิดวาบฟ้าผ่าตรงกับสิ่งปลูกสร้าง
 1. เลือกจังหวัดที่ทำการติดตั้ง
 2. ลักษณะพื้นที่ที่ทำการติดตั้ง
 3. ความกว้างของระบบไฟโตโวลตาอิกที่ติดตั้ง
 4. ความยาวของระบบไฟโตโวลตาอิกที่ติดตั้ง
 5. ความสูงของระบบไฟโตโวลตาอิกที่ติดตั้ง
- 6) คำนวณหาค่าความถี่ของการเกิดวาบฟ้าผ่าที่ยอมรับได้กับสิ่งปลูกสร้าง
 1. เงินลงทุนติดตั้งแผงไฟโตโวลตาอิก
 2. มูลค่าความเสียหายอื่นๆ ที่จะเสียหาย อาทิ อินเวอร์เตอร์และ ระบบสื่อสาร
 3. ความต้องการใช้พลังงานจากระบบ
 4. ความเสียหายอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง
- 7) ค่าการคำนวณค่าความถี่ของการเกิดวาบฟ้าผ่าที่ยอมรับได้กับสิ่งปลูกสร้าง (N_c) ค่าการคำนวณค่าความถี่ของการเกิดวาบฟ้าผ่าตรงกับสิ่งปลูกสร้าง (N_d)
- 8) กดปุ่มถัดไป



ภาพที่ 4.16 เลือกระดับการป้องกันและจำนวนแท่งตัวนำล่อฟ้าที่จะติดตั้งสูงสุดของการทดลองที่ 3

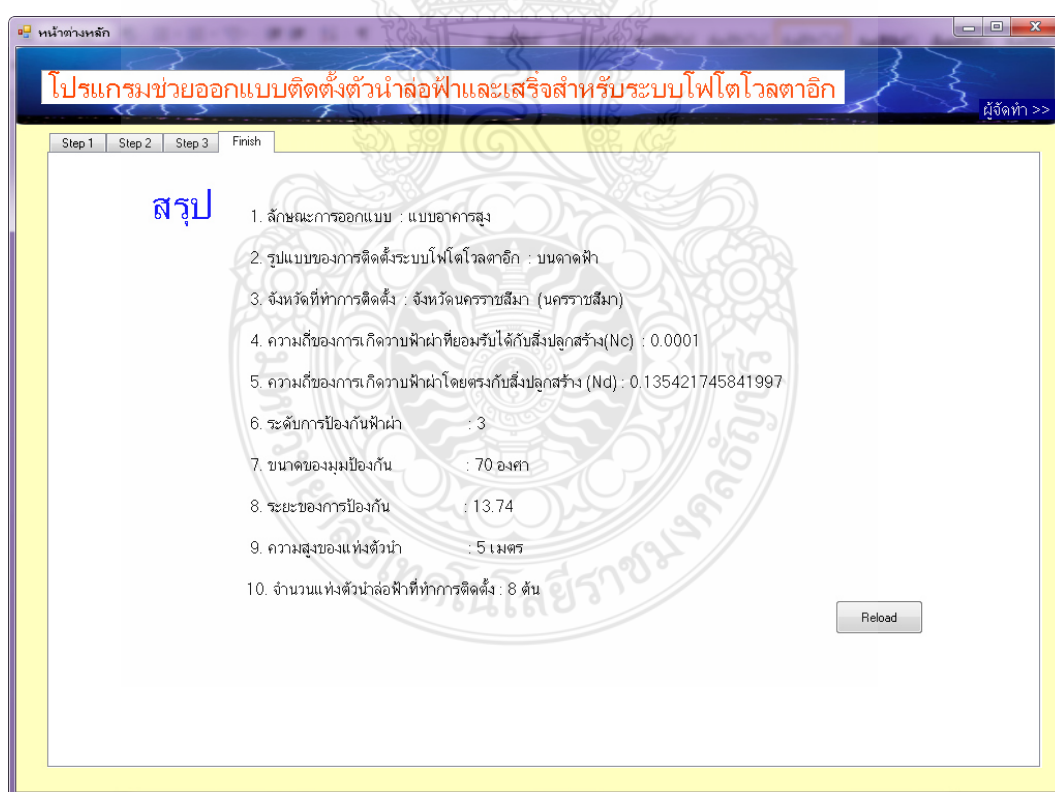
ตามภาพที่ 4.16

9) เลือกข้อมูลตั้งต้น

1. เลือกระดับการป้องกัน
2. จำนวนแท่งตัวนำล่อฟ้าติดตั้งสูงสุด
3. ความสูงของแท่งตัวนำล่อฟ้าสูงสุด
4. ระยะห่างระหว่างแท่งตัวนำล่อฟ้ากับแผงโฟโตโวลตาอิก

10) กดปุ่มถัดไป

จากผลลัพธ์การออกแบบของโปรแกรม ดังภาพที่ 4.17 ได้ว่าต้องติดตั้งตัวนำล่อฟ้าสูง 5 เมตร จำนวน 8 ต้น แต่ละต้นมีมุมป้องกัน 70 องศา ซึ่งจากข้อมูลดังกล่าวนำมาทวนสอบด้วยโปรแกรมเขียนแบบสามมิติตามหลักการวิธีทรงกลมกลิ้ง เพื่อตรวจสอบพื้นที่ที่ได้รับการป้องกันจากตัวนำล่อฟ้าพบว่าแผงระบบโฟโตโวลตาอิกทั้งหมดอยู่ในเขตป้องกันดังภาพที่ 4.18 และภาพที่ 4.19



ภาพที่ 4.17 ผลการออกแบบจากโปรแกรมแบบ BIPV ของการทดลองที่ 3



ภาพที่ 4.18 ตำแหน่งที่ติดตั้งตัวนำล่อฟ้าแบบ BIPV ของการทดลองที่ 3



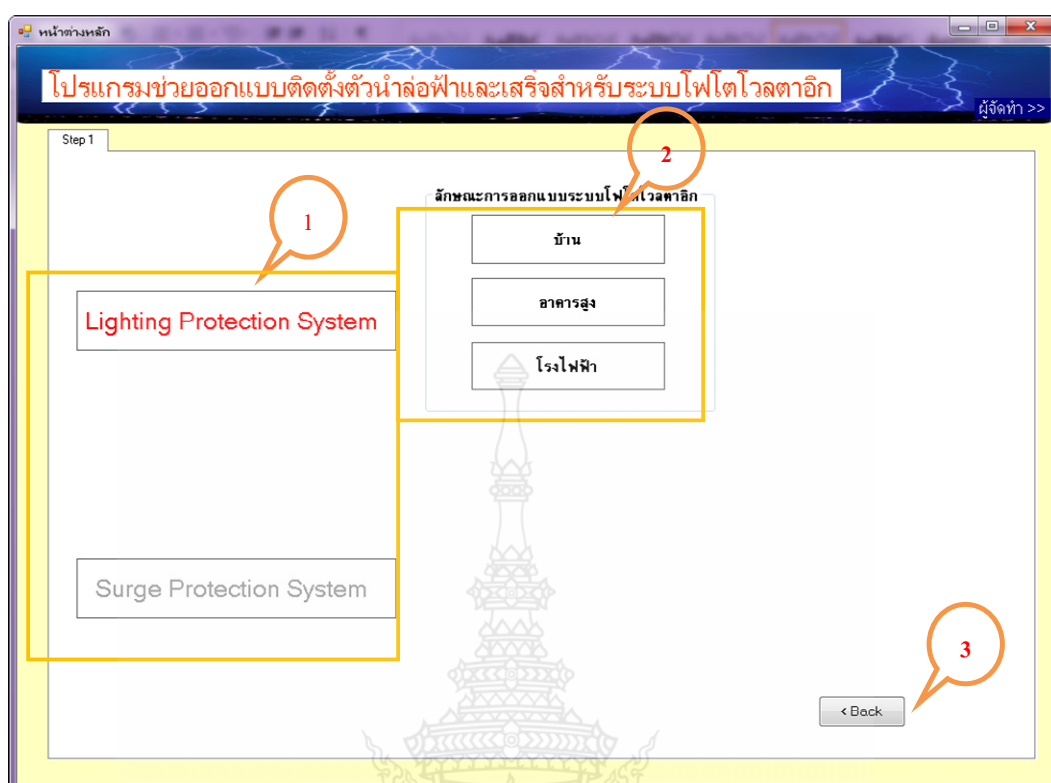
ภาพที่ 4.19 แบบสามมิติที่ใช้ตรวจสอบการออกแบบ BIPV ของการทดลองที่ 3

การทดลองที่ 4 ได้ทำการทดลองออกแบบการติดตั้งตัวนำล่อฟ้ากับอาคารตัวอย่างที่ติดตั้งระบบโฟโตโวลตาอิกแบบบูรณาการร่วมกับบ้านอยู่อาศัย (Home Integrated Photovoltaic: HIPV) ขนาด 5 กิโลวัตต์สูงสุด ที่ติดตั้งที่ อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น โดยบ้านมีความกว้าง 6 เมตร ยาว 10 เมตร สูง 7 เมตร เมตร ดังภาพที่ 4.20 โดยติดตั้งแผงโฟโตโวลตาอิกบนหลังคาบ้านขนาดของแผงที่ติดตั้งกว้าง 3 เมตร ยาว 5 โดยติดตั้งแผงโฟโตโวลตาอิกบนหลังคาบ้าน โดยมีการประเมินความเสี่ยงการถูกฟ้าผ่ามีรายละเอียด ดังนี้ ใช้เงินลงทุนติดตั้งระบบโฟโตโวลตาอิกโดยประมาณ 100,000 บาท

มูลค่าของอุปกรณ์อื่นที่จะเสียหายมีค่าต่ำ ระบบสามารถหยุดได้เกิน 1 อาทิตย์ และค่าความเสียหายอื่นมีค่าต่ำ ดังนั้นสามารถคำนวณหาค่าความถี่ของการเกิดฟ้าผ่าที่ยอมรับได้ของระบบ (N_c) ได้เท่ากับ 0.1 ครั้งต่อปี จังหวัดขอนแก่น มีค่าจำนวนครั้งของวาบฟ้าผ่าต่อพื้นที่เท่ากับ 6.68 ตารางกิโลเมตรต่อปี ซึ่งสามารถคำนวณค่าความถี่ของการเกิดฟ้าผ่าโดยตรงกับระบบ (N_d) ได้เท่ากับ 0.00144 ครั้งต่อปี จะเห็นว่าค่าความถี่ของการเกิดฟ้าผ่าโดยตรงกับระบบ (N_d) มีค่าน้อยกว่าค่าความถี่ของการเกิดฟ้าผ่าที่ยอมรับได้ของระบบ (N_c) ดังนั้นระบบดังกล่าวไม่มีความจำเป็นต้องติดตั้งตัวนำล่อฟ้า ดังภาพที่ 4.22



ภาพที่ 4.20 แบบบ้านพักอาศัยตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบโปรแกรม



ภาพที่ 4.21 หน้าจอหลักการใช้งาน โปรแกรมของการทดลองที่ 4

ตามภาพที่ 4.21

- 1) เลือกประเภทการออกแบบ
- 2) เลือกประเภทการออกแบบติดตั้ง
- 3) กดปุ่มถัดไป

โปรแกรมช่วยออกแบบติดตั้งตัวนำล่อฟ้าและเสริมสำหรับระบบไฟโตโวลตาอิก

Step 1 Step 2

ความถี่ของการเกิดวาไฟฟ้าตรงกับสิ่งปลูกสร้าง

จังหวัด จังหวัดขอนแก่น (ขอนแก่น)

ลักษณะพื้นที่ มีต้นไม้หรืออาคารที่สูงเท่ากันหรือสูงกว่าอยู่รอบๆ

ความกว้างของอาคารที่ติดตั้งระบบ 6 m.

ความยาวของอาคารที่ติดตั้งระบบ 10 m.

ความสูงของระบบที่ติดตั้ง 7 m.

ความถี่ของการเกิดวาไฟฟ้าที่ยอมรับได้กับสิ่งปลูกสร้าง

เงินลงทุนของระบบ ปานกลาง (100,000 - 2,000,000 บาท)

มูลค่าอุปกรณ์อื่นๆ ที่จะเสียหาย ต่ำ (น้อยกว่า 100,000 บาท)

ความต้องการใช้พลังงานจากระบบ ยอมรับได้มากกว่า 1 อาทิตย์

ความเสียหายอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง ต่ำ

$N_c = 0.1$

$N_d = 0.0035358373525392$

ระบบไม่จำเป็นต้องติดตั้งระบบป้องกันฟ้าผ่า

< Back

ภาพที่ 4.22 การคำนวณค่าความถี่ของการเกิดวาไฟฟ้าตรงกับสิ่งปลูกสร้าง (N_d) และการคำนวณค่าความถี่ของการเกิดวาไฟฟ้าที่ยอมรับได้กับสิ่งปลูกสร้าง (N_c) ของการทดลองที่ 4

ตามภาพที่ 4.8

- 4) คำนวณหาค่าความถี่ของการเกิดวาไฟฟ้าตรงกับสิ่งปลูกสร้าง
 1. เลือกจังหวัดที่ทำการติดตั้ง
 2. ลักษณะพื้นที่ที่ทำการติดตั้ง
 3. ความกว้างของระบบไฟโตโวลตาอิกที่ติดตั้ง
 4. ความยาวของระบบไฟโตโวลตาอิกที่ติดตั้ง
 5. ความสูงของระบบไฟโตโวลตาอิกที่ติดตั้ง
- 5) คำนวณหาค่าความถี่ของการเกิดวาไฟฟ้าที่ยอมรับได้กับสิ่งปลูกสร้าง
 1. เงินลงทุนติดตั้งแผงไฟโตโวลตาอิก
 2. มูลค่าความเสียหายอื่นๆ ที่จะเสียหาย อาทิ อินเวอร์เตอร์, ระบบสื่อสาร
 3. ความต้องการใช้พลังงานจากระบบ

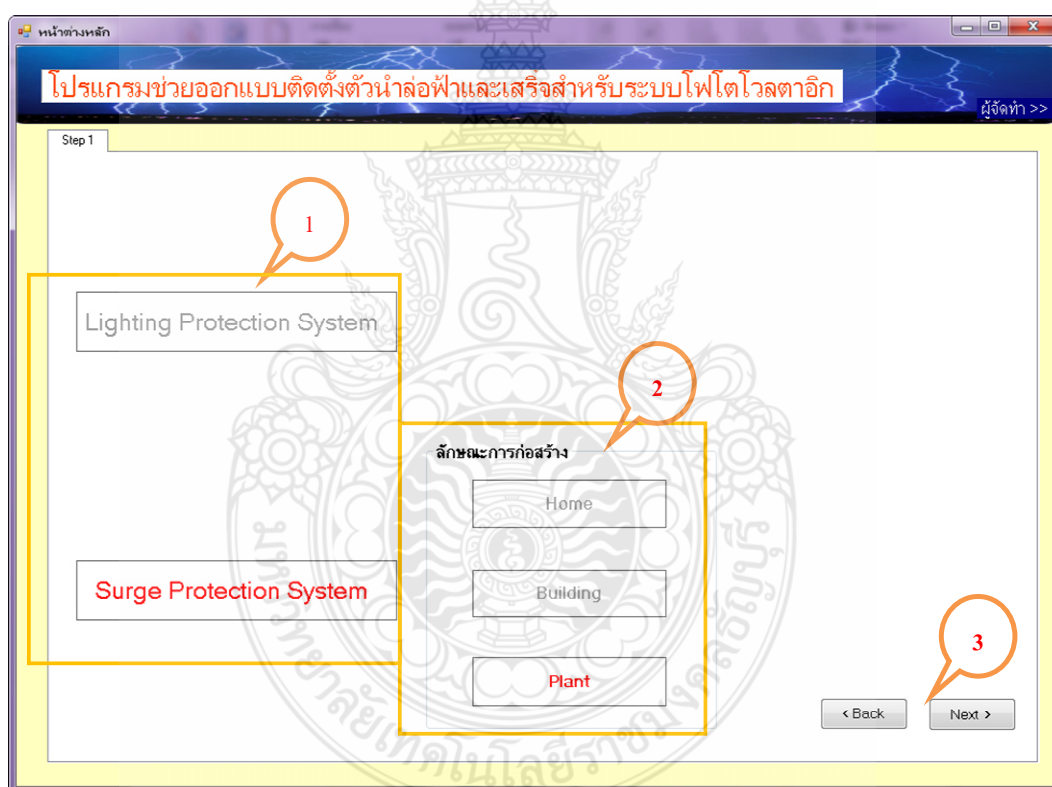
4. ความเสียหายอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง

6) ค่าการคำนวณค่าความถี่ของการเกิดวบฟ้าผ่าที่ยอมรับได้กับสิ่งปลูกสร้าง (N_c) ค่าการคำนวณค่าความถี่ของการเกิดวบฟ้าผ่าตรงกับสิ่งปลูกสร้าง (N_d)

7) กดปุ่มเสร็จสิ้น

จากผลลัพธ์การออกแบบของโปรแกรม ดังภาพที่ 4.22 จะเห็นได้ว่าค่าความถี่ของการเกิดฟ้าผ่าโดยตรงกับระบบ (N_d) มีค่าน้อยกว่าค่าความถี่ของการเกิดฟ้าผ่าที่ยอมรับได้ของระบบ (N_c) ดังนั้นระบบดังกล่าวไม่มีความจำเป็นต้องติดตั้งตัวนำล่อฟ้า

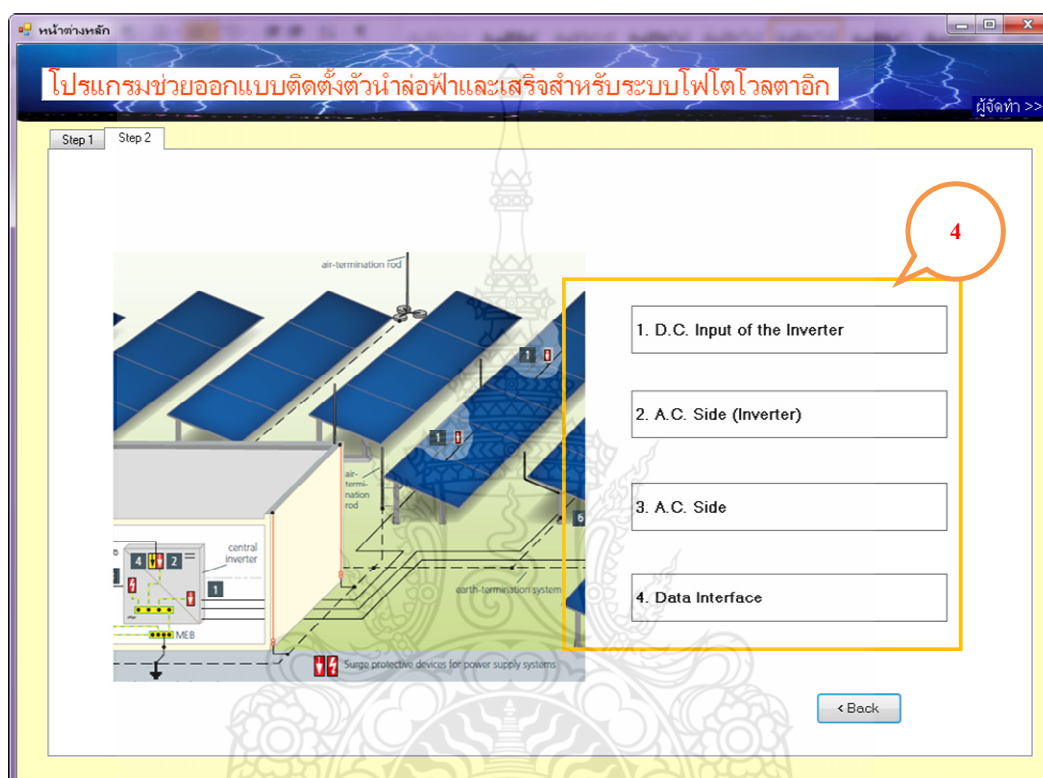
การทดลองที่ 5 ได้ทำการทดสอบการออกแบบการติดตั้งระบบป้องกันเสร็จสำหรับระบบไฟโตโวลตาอิกแบบ Plant ตามภาพที่ 4.23



ภาพที่ 4.23 หน้าจอหลักการใช้งานตัวโปรแกรมออกแบบระบบป้องกันเสร็จ

ตามภาพที่ 4.23

- 1) เลือกประเภทการออกแบบ
- 2) เลือกประเภทการออกแบบติดตั้ง
- 3) กดปุ่มถัดไป

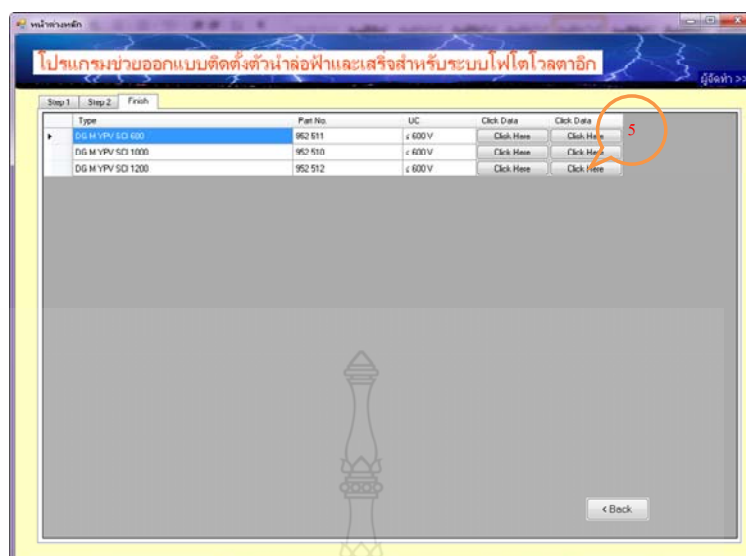


ภาพที่ 4.24 หน้าจอของตัวโปรแกรมการติดตั้งเสร็จในระบบโฟโตโวลตาอิกแบบ Plant

- 4) ดับเบิลคลิกเลือกประเภทการออกแบบติดตั้ง ตามภาพที่ 4.23
 - D.C. Input of Inverter
 - A.C. Side (Inverter)
 - A.C. Side
 - Data Interface

- 5) ดับเบิลคลิกรุ่นที่ต้องการใช้


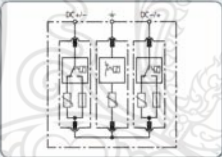
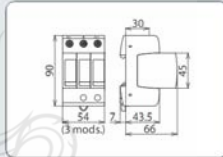
ผลของโปรแกรม โปรแกรมจะแสดงชื่อรุ่น Specification เสร็จในระบบโฟโตโวลตาอิก ตามที่ผู้ใช้เลือก ดังภาพที่ 4.26 และภาพที่ 4.27



ภาพที่ 4.25 หน้าจอแสดงผลการติดตั้งเสร็จในระบบไฟโตโวลตาอิกแบบ Plant

DEHNGuard® modular (Y)PV SCI ... (FM) Red / Line

DEHNGuard M YPV SCI ... Type 2 Surge Arresters for Use in PV Systems

Modular multipole surge arrester with three-step d.c. switching device for use in PV systems

- Prewired modular complete unit for use in photovoltaic systems consisting of a base part and plug-in protection modules
- Combined disconnection and short-circuiting device with safe electrical isolation in the protection module prevents fire damage caused by d.c. switching arcs (patented SCI principle)

Type	DG M YPV SCI 150	DG M YPV SCI 600	DG M YPV SCI 1000	DG M YPV SCI 1200
Part No.	952 513	952 511	952 510	952 512
Conformity with prEN 50526-11	yes	yes	yes	yes
SPD classification according to EN 61643-11	Type 2	Type 2	Type 2	Type 2
SPD classification according to IEC 61643-11-11	Class II	Class II	Class II	Class II
Max. PV voltage (U _{max})	≤ 150 V	≤ 600 V	≤ 1000 V	≤ 1200 V
Short-circuit withstand capacity (I _{scw})	1000 A	1000 A	1000 A	1000 A
Max. continuous operating d.c. voltage (U _c +1DC) → PE (U _c)	75 V	300 V	500 V	600 V
Total discharge current (I _{td})	40 kA	40 kA	40 kA	30 kA
Nominal discharge current (I _{nd})	10 kA	12.5 kA	12.5 kA	12.5 kA
Max. discharge current (I _{md})	20 kA	25 kA	25 kA	25 kA
Voltage protection level (U _v)	≤ 0.8 kV	≤ 2.5 kV	≤ 4 kV	≤ 4.5 kV
Voltage protection level at 5 kA (U _{5k})	≤ 0.6 kV	≤ 2 kV	≤ 3.5 kV	≤ 4 kV
Response time (t _r)	≤ 25 ns	≤ 25 ns	≤ 25 ns	≤ 25 ns
Operating temperature range (T _o)	-40°C...+80°C	-40°C...+80°C	-40°C...+80°C	-40°C...+80°C
Operating state/fault indication	green / red	green / red	green / red	green / red
Number of ports	1	1	1	1
Cross-sectional area (min.)		1.5 mm ² solid/flexible		
Cross-sectional area (max.)		35 mm ² stranded/25 mm ² flexible		
For mounting on		35 mm DIN rail acc. to EN 60715		
Enclosure material		thermoplastic, red, UL 94 V-0		
Place of installation	indoor installation	indoor installation	indoor installation	indoor installation
Degree of protection	IP 20	IP 20	IP 20	IP 20
Capacity	3 modules, DIN 43880	3 modules, DIN 43880	3 modules, DIN 43880	3 modules, DIN 43880
Approvals	UL	UL, CSA	UL, CSA	UL

ภาพที่ 4.26 Specification เสร็จในระบบไฟโตโวลตาอิกแบบ Plant

4.2 บทสรุปโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับการออกแบบระบบป้องกันฟ้าผ่าและป้องกันเสิร์จสำหรับระบบไฟโตโวลตาอิก

จากการทดสอบโปรแกรมออกแบบระบบป้องกันฟ้าผ่าและป้องกันเสิร์จสำหรับระบบไฟโตโวลตาอิก ผู้ทำวิจัยได้นำผลที่ได้จากการออกแบบของโปรแกรม มาทำการทวนสอบโดยนำผลที่ได้จากโปรแกรมไปทำการเขียนแบบด้วยโปรแกรมสามมิติ ตามหลักการของวิธีมุมป้องกันและวิธีทรงกลมกลิ้ง แสดงให้เห็นว่าส่วนประกอบของระบบไฟโตโวลตาอิกทั้งหมดได้รับการป้องกันจากตัวนำล่อฟ้าที่ออกแบบไว้ ดังนั้นจึงแสดงให้เห็นว่าโปรแกรมที่ได้ทำการออกแบบใช้ได้จริงตามวัตถุประสงค์



บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

ระบบโฟโตโวลตาอิกหรือระบบผลิตกำลังไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งเป็นพลังงานที่สะอาดปราศจากมลพิษ และมีศักยภาพสูง ซึ่งในปัจจุบันในประเทศไทยมีกำลังการผลิตติดตั้งรวมมากกว่า 2,500 เมกกะวัตต์ และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เพื่อนำมาใช้ทดแทนพลังงานหลักที่ขาดแคลนในปัจจุบัน

ระบบโฟโตโวลตาอิก เป็นที่ทราบกันดีว่าจำเป็นต้องติดตั้งในที่โล่งแจ้งเพื่อให้สามารถเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้าได้มากที่สุด ดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้ที่จะได้รับอันตรายจากการถูกฟ้าผ่า แต่ระบบโฟโตโวลตาอิกขนาดใหญ่ที่ติดตั้งในประเทศไทยส่วนใหญ่ยังไม่มี การติดตั้งตัวนำล่อฟ้าและผู้ออกแบบไม่ได้คำนึงถึงการศึกษาเกี่ยวกับการป้องกันฟ้าผ่าสำหรับระบบโฟโตโวลตาอิก

งานวิจัยนี้ได้พัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อประเมินความเสี่ยงอันตรายจากการถูกฟ้าผ่า สำหรับระบบโฟโตโวลตาอิก เพื่อช่วยในการตัดสินใจว่าระบบระบบโฟโตโวลตาอิกนั้นมีความ จำเป็นที่ต้องติดตั้งระบบป้องกันฟ้าผ่าหรือไม่ โดยทำการประเมินจากค่าความถี่ของการเกิดวาบฟ้าผ่า ที่ยอมรับได้กับสิ่งปลูกสร้าง (N_c) และค่าความถี่ของการเกิดวาบฟ้าผ่าโดยตรงกับสิ่งปลูกสร้าง (N_d) และถ้าระบบโฟโตโวลตาอิกจำเป็นต้องติดตั้งระบบป้องกันฟ้าผ่า โดยโปรแกรมได้ทำการประยุกต์ใช้ วิธีมุมป้องกันและวิธีทรงกลมกลิ้งในการออกแบบการติดตั้งตัวนำล่อฟ้า โดยทำการคำนวณหาจำนวน แท่งตัวนำล่อฟ้าที่จะต้องติดตั้งในระบบโฟโตโวลตาอิก ซึ่งโปรแกรมคอมพิวเตอร์จะแสดงผลคำตอบ เป็นว่า ระบบมีความจำเป็นต้องติดตั้งระบบป้องกันฟ้าผ่าหรือไม่ บอกจำนวนแท่งตัวนำล่อฟ้า ความ สูงของแท่งตัวนำล่อฟ้า ระยะของการป้องกัน เป็นต้น

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากผลการทดสอบที่ 1 โดยทำการทดลองกับข้อมูลจากการติดตั้งจริงที่ อ.ท่ายาง จ.เพชรบุรี ขนาด 25 กิโลวัตต์สูงสุด ซึ่งติดตั้งระบบโฟโตโวลตาอิก กว้าง 6 เมตร ยาว 60 เมตร และติดตั้งสูงจาก พื้นดิน 4 เมตร บนพื้นที่ 360 ตารางเมตร มาทดสอบการใช้งานโปรแกรม จากผลลัพธ์การออกแบบ ของโปรแกรมได้ว่าต้องติดตั้งตัวนำล่อฟ้าสูง 12 เมตร จำนวน 5 ต้น แต่ละต้นมีมุมป้องกัน 58 องศา มี รัศมี 19.20 เมตร และแต่ละต้นห่างกัน 10 เมตร ซึ่งผลที่ได้จากการออกแบบได้นำไปทวนสอบด้วย

โปรแกรมเขียนแบบสามมิติตามหลักการของวิธีมุมป้องกันและวิธีทรงกลมกลิ้งพบว่าส่วนประกอบของระบบโฟโตโวลตาอิกทั้งหมดได้รับการป้องกันจากตัวนำล่อฟ้าที่ออกแบบไว้

จากผลการทดสอบที่ 2 โดยทำการทดลองออกแบบการติดตั้งตัวนำล่อฟ้ากับอาคารตัวอย่างที่ติดตั้ง ระบบโฟโตโวลตาอิกแบบบูรณาการร่วมกับอาคาร (Building Integrated Photovoltaic: BIPV) ขนาด 100 กิโลวัตต์สูงสุด ที่ติดตั้งที่ อำเภอเมือง จังหวัดปทุมธานี โดยอาคารมีความกว้าง 30 เมตร ยาว 30 เมตร สูง 100 เมตร ติดตั้งทางด้านทิศใต้ โดยติดตั้งแผงโฟโตโวลตาอิกแทนหน้าต่างกระจกในทุกชั้น ซึ่งยื่นออกมาจากตัวอาคาร 1 เมตร ติดตั้งตลอดความกว้างของตึก จากผลลัพธ์การออกแบบของโปรแกรม ได้ว่าต้องติดตั้งตัวนำล่อฟ้าสูง 2 เมตร จำนวน 70 ต้น แต่ละต้นมีมุมป้องกัน 71 และแต่ละต้นห่างกันในแนวแกน X เท่ากับ 6 เมตร และห่างกันในแนวแกน Y เท่ากับ 8 เมตร ซึ่งผลที่ได้จากการออกแบบนำมาทวนสอบด้วยโปรแกรมเขียนแบบสามมิติตามหลักการวิธีทรงกลมกลิ้ง เพื่อตรวจสอบพื้นที่ที่ได้รับการป้องกันจากตัวนำล่อฟ้าพบว่าแผงระบบโฟโตโวลตาอิกทั้งหมดอยู่ในเขตป้องกัน

จากผลการทดสอบที่ 3 ได้ทำการทดลองออกแบบการติดตั้งตัวนำล่อฟ้ากับอาคารตัวอย่างที่ติดตั้ง ระบบโฟโตโวลตาอิกแบบบูรณาการร่วมกับอาคาร (Building Integrated Photovoltaic: BIPV) ขนาด 30 กิโลวัตต์สูงสุด ที่ติดตั้งที่ อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา โดยอาคารมีความกว้าง 15 เมตร ยาว 50 เมตร สูง 20 เมตร เมตร โดยติดตั้งแผงโฟโตโวลตาอิกติดตั้งติดตั้งบนดาดฟ้าอาคาร ติดตั้งตลอดความกว้างของอาคาร จากผลลัพธ์การออกแบบของโปรแกรม ได้ว่าต้องติดตั้งตัวนำล่อฟ้าสูง 5 เมตร จำนวน 8 ต้น แต่ละต้นมีมุมป้องกัน 70 องศา ซึ่งจากข้อมูลดังกล่าวนำมาทวนสอบด้วยโปรแกรมเขียนแบบสามมิติตามหลักการวิธีทรงกลมกลิ้ง เพื่อตรวจสอบพื้นที่ที่ได้รับการป้องกันจากตัวนำล่อฟ้าพบว่าแผงระบบโฟโตโวลตาอิกทั้งหมดอยู่ในเขตป้องกัน

5.2 ข้อเสนอแนะ

ข้อจำกัดของโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้ คือ ระบบป้องกันฟ้าผ่าในตัวโปรแกรมนี้ยังไม่รวมระบบกราวด์ อีกทั้งรูปแบบการติดตั้งระบบโฟโตโวลตาอิกยังไม่ครอบคลุมทุกรูปแบบการติดตั้ง และ โปรแกรมไม่สามารถแสดงผลการทดสอบเป็นรูปสามมิติได้ทันที ต้องนำค่าที่ได้จากการคำนวณของโปรแกรม มาเขียนในโปรแกรมสามมิติอีกทีหนึ่งถึงจะได้ค่า ซึ่งเป็นจุดที่สามารถพัฒนาได้ต่อไปในอนาคต

รายการอ้างอิง

- [1] สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน, กระทรวงพลังงาน, Data on IPP, SPP, VSPP , Available:
<http://www.eppo.go.th/>
- [2] รศ.ดร.สำรวย สังข์สะอาด, วิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูง, กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2528
- [3] บัญชา ชาญบุญสมบัติ, 045 : ฟาผ่า (1) ฟาผ่าเกิดจากอะไร?, 2551, Available:
<http://www.gotoknow.org/blogs/posts/199539>
- [4] National Lightning Safety Institute, World Lightning Map, Available:
http://www.lightningsafety.com/nlsi_info/lightningmaps/worldlightning.html
- [5] Uman, M.A. The Lightning Discharge. United States of America: Academic Press, 1987.
- [6] Berger, K. Methoden und Resultate der Blitzforschung auf dem Monte San Salvator bei Lugano in den Jahren 1963-1971. Bull. Schweiz Elektrotech. Version 63 (1972): 1403-1422
- [7] IEC Std, Protection Against Lightning, Part 1-4. IEC Public No. 62305, Geneva, 2006.
- [8] H.Becker, W.VaaBen.,F.VaBen., M.Bosanac., and I.Katic (2000). Energie,“Lightning and Overvoltage protection for PV System”, The European Commission Directorate-General for Energy and Transport 200, rue de la Loi.
- [9] คณะกรรมการวิชาการสาขาวิศวกรรมไฟฟ้า, วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์. มาตรฐานการป้องกันฟาผ่า ภาค 3 ความเสียหายทางกายภาพ และอันตรายต่อชีวิตจากฟาผ่า. EIT EIT Stadar.2009-53.กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2553
- [10] Hans Slagter & Veiko Raab , *Lightning & Overvoltage Protection*, DEHN + SÖHNE GmbH + Co.KG Head Quarters in Neumarkt / Germany
- [11] DEHN, Lighting and Protection Guide, 2nd Update Edition, DEHN + SÖHNE GmbH + Co.KG Head Quarters in Neumarkt / Germany
- [12] คณะกรรมการสาขาวิศวกรรมไฟฟ้า, วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์. มาตรฐานการป้องกันฟาผ่า ภาค 4 ระบบไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ภายในสิ่งปลูกสร้าง, พิมพ์ครั้งที่ 1. EIT Stadar.2010-53. กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2553

- [13] Hasse, Peter (2000) Overvoltage Protection of low voltage systems. The Institution of Electrical Engineers, London
- [14] แผนกบริการข้อมูลสถิติย้อนหลัง, กรมอุตุนิยมวิทยา, ข้อมูลจำนวนครั้งที่เกิดฟ้าคะนอง (Thunderstorm day), กรุงเทพฯ

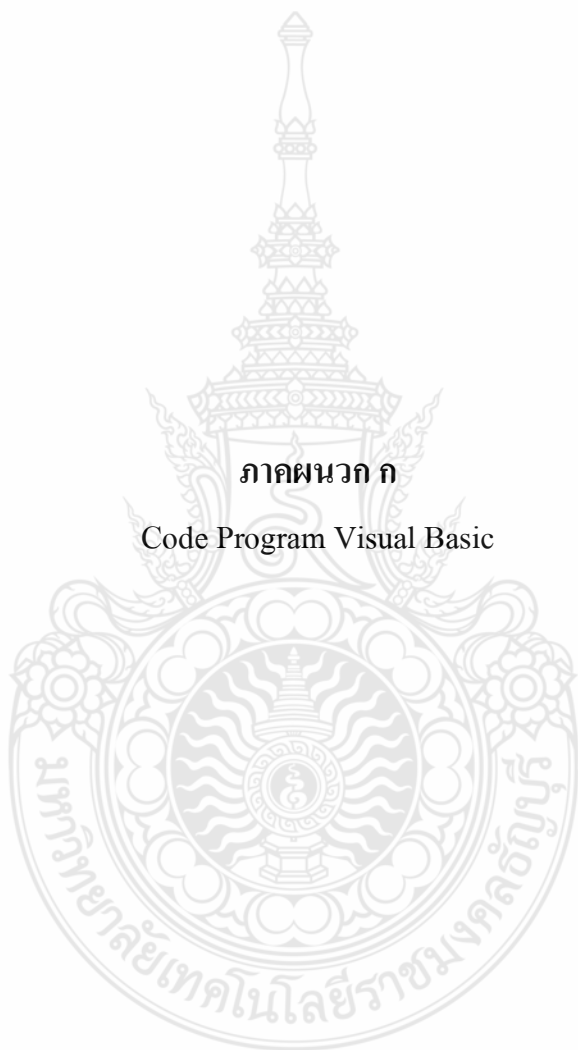




ภาคผนวก

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ภาคผนวก ก
Code Program Visual Basic



Code Program Visual Basic ในการออกแบบ

```

Public Class frmMain

    Dim TempTab1, TempTab2, TempTab3, TempTab4, TempTab5, TempTab6, TempTab7 As
TabPage
    'ตั้งค่า Tab

    Dim checkErr As Boolean
    Dim txtErr As String
    'ตรวจสอบ Error ไม่ให้ทำงานต่อ

    Dim vType As Integer
    Dim vTypeName As String
    Dim vTypeName2 As String
    'ประเภทสิ่งปลูกสร้าง

    Dim spsType, imageloc As String
    'ชื่อรูปภาพ, ที่อยู่รูปภาพ

    Private Sub frmMain_Load(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles MyBase.Load
        TempTab1 = tabc1.TabPages("TabPage1")
        TempTab2 = tabc1.TabPages("TabPage2")
        TempTab3 = tabc1.TabPages("TabPage3")
        TempTab4 = tabc1.TabPages("TabPage4")
        TempTab5 = tabc1.TabPages("TabPage5")
        TempTab6 = tabc1.TabPages("TabPage6")

        tabc1.TabPages.Remove(TabPage2)
        tabc1.TabPages.Remove(TabPage3)
        tabc1.TabPages.Remove(TabPage4)
        tabc1.TabPages.Remove(TabPage5)
        tabc1.TabPages.Remove(TabPage6)

    End Sub

    '
    =====
    =====
    |
    | ' |
    |
    |
    |
    '=====
    =====

    Private Sub lblLps_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles lblLps.Click
        lblSps.Enabled = False
        gbLps.Visible = True
    
```

```

        lblLps.ForeColor = Color.Red
        btnBack1.Visible = True
    End Sub

    Private Sub lblSps_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles lblSps.Click
        lblLps.Enabled = False
        gbSps.Visible = True
        lblSps.ForeColor = Color.Red
        btnBack1.Visible = True
    End Sub

    Private Sub lblLpsB_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles lblLpsB.Click
        lblLpsP.Enabled = False
        gbLpsb.Visible = True
        lblLpsB.ForeColor = Color.Red
    End Sub

    Private Sub lblLpsP_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles lblLpsP.Click
        lblLpsB.Enabled = False
        gbLpsp.Visible = True
        lblLpsP.ForeColor = Color.Red
    End Sub

    Private Sub lblLpsS_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles lblLpsS.Click
        lblLpsM.Enabled = False
        btnNext1.Visible = True
        lblLpsS.ForeColor = Color.Red
        vType = 21
        vType2 = "แบบแถวเดี่ยว"
    End Sub

    Private Sub lblLpsM_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles lblLpsM.Click
        lblLpsS.Enabled = False
        lblLpsM.ForeColor = Color.Red
        btnNext1.Visible = True
        vType = 22
        vType2 = "แบบหลายแถว"
    End Sub

    Private Sub lblSpsH_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles lblSpsH.Click
        spsType = "SPSHome"
        lblSpsH.ForeColor = Color.Red
        lblSpsB.Enabled = False
        lblSpsP.Enabled = False
        btnNext1.Visible = True
        vType = 31
    End Sub

    Private Sub lblSpsB_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles lblSpsB.Click
        spsType = "SPSBuilding"

```

```

        lblSpsB.ForeColor = Color.Red
        lblSpsH.Enabled = False
        lblSpsP.Enabled = False
        btnNext1.Visible = True
        vType = 31
    End Sub

    Private Sub lblSpsP_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles lblSpsP.Click
        spsType = "SPSPlant"
        lblSpsP.ForeColor = Color.Red
        lblSpsH.Enabled = False
        lblSpsB.Enabled = False
        btnNext1.Visible = True
        vType = 31
    End Sub

    Private Sub lblLpsbT_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles lblLpsbT.Click
        lblLpsbT.ForeColor = Color.Red
        lblLpsbN.Enabled = False
        lblLpsbS.Enabled = False
        lblLpsbE.Enabled = False
        lblLpsbW.Enabled = False
        btnNext1.Visible = True
        vType = 11
        vTypeName2 = "บนศาลฟ้า"
    End Sub

    Private Sub lblLpsbN_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles lblLpsbN.Click
        lblLpsbN.ForeColor = Color.Red
        lblLpsbT.Enabled = False
        lblLpsbS.Enabled = False
        lblLpsbE.Enabled = False
        lblLpsbW.Enabled = False
        btnNext1.Visible = True
        vType = 12
        vTypeName2 = "หันหน้าทางทิศเหนือ"
    End Sub

    Private Sub lblLpsbS_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles lblLpsbS.Click
        lblLpsbS.ForeColor = Color.Red
        lblLpsbT.Enabled = False
        lblLpsbN.Enabled = False
        lblLpsbE.Enabled = False
        lblLpsbW.Enabled = False
        btnNext1.Visible = True
        vType = 13
        vTypeName2 = "หันหน้าทางทิศใต้"
    End Sub

    Private Sub lblLpsbE_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles lblLpsbE.Click
        lblLpsbE.ForeColor = Color.Red
        lblLpsbT.Enabled = False

```

```

lblLpsbN.Enabled = False
lblLpsbS.Enabled = False
lblLpsbW.Enabled = False
btnNext1.Visible = True
vType = 14
vTypeName2 = "หันหน้าทางทิศตะวันออก"
End Sub

Private Sub lblLpsbW_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles lblLpsbW.Click
    lblLpsbW.ForeColor = Color.Red
    lblLpsbT.Enabled = False
    lblLpsbN.Enabled = False
    lblLpsbS.Enabled = False
    lblLpsbE.Enabled = False
    btnNext1.Visible = True
    vType = 15
    vTypeName2 = "หันหน้าทางทิศตะวันตก"
End Sub

Private Sub btnBack1_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles btnBack1.Click
    back1step1()
End Sub

Private Sub btnNext1_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles btnNext1.Click
    btnNext1.Enabled = False
    btnBack1.Enabled = False
    If vType > 30 Then
        tabc1.TabPages.Insert(1, TempTab5)

        Dim strPath As String = Environment.CurrentDirectory
        Dim i, CountBackSlash As Integer
        For i = Len(strPath) To 1 Step -1
            If Mid(strPath, i, 1) = "\" Then CountBackSlash = CountBackSlash
+ 1
                If CountBackSlash = 2 Then
                    strPath = Mid(strPath, 1, i)
                    Exit For
                End If
            End If
        Next
        'MsgBox(Application.StartupPath.ToString())
        picSps.Image = Image.FromFile(strPath & "image\" & spsType & ".png")
        picSps.SizeMode = PictureBoxSizeMode.CenterImage

        dispSpsdgv(spsType)
    Else
        If vType < 20 Then
            vTypeName = "แบบอาคารสูง"
            If vType = 11 Then
                lblH.Text = "ความสูงของระบบที่ติดตั้ง"
            End If
        Else
            vTypeName = "แบบโรงไฟฟ้า"
        End If
    End If
End Sub

```

```

        lblW.Text = "ความกว้างของพื้นที่ที่ติดตั้งระบบ"
        lblL.Text = "ความยาวของพื้นที่ที่ติดตั้งระบบ"
        lblH.Text = "ความสูงของพื้นที่ที่ติดตั้งระบบ"
    End If

    tabc1.TabPages.Insert(1, TempTab2)
    dispProvince()
    dispA()
    dispB()
    dispC()
    dispD()
    dispCe()
End If
tabc1.SelectedIndex = 1
End Sub

Sub back1step1()
    tabc1.TabPages.Remove(TabPage1)
    tabc1.TabPages.Remove(TabPage2)

    tabc1.TabPages.Insert(0, TempTab1)
    tabc1.SelectedIndex = 0
    btnBack1.Enabled = True
    lblLps.Enabled = True
    lblSps.Enabled = True
    lblLpsB.Enabled = True
    lblLpsbT.Enabled = True
    lblLpsbN.Enabled = True
    lblLpsbE.Enabled = True
    lblLpsbW.Enabled = True
    lblLpsbS.Enabled = True
    lblLpsP.Enabled = True
    lblLpspS.Enabled = True
    lblLpspM.Enabled = True
    lblSpsH.Enabled = True
    lblSpsB.Enabled = True
    lblSpsP.Enabled = True
    btnNext1.Enabled = True

    gbLps.Visible = False
    gbLpsp.Visible = False
    gbLpsb.Visible = False
    gbSps.Visible = False
    btnBack1.Visible = False
    btnNext1.Visible = False

    lblLps.ForeColor = Color.Black
    lblSps.ForeColor = Color.Black
    lblLpsB.ForeColor = Color.Black
    lblLpsbT.ForeColor = Color.Black
    lblLpsbN.ForeColor = Color.Black
    lblLpsbE.ForeColor = Color.Black
    lblLpsbW.ForeColor = Color.Black
    lblLpsbS.ForeColor = Color.Black
    lblLpsP.ForeColor = Color.Black
    lblLpspS.ForeColor = Color.Black
    lblLpspM.ForeColor = Color.Black

```

```

lblSpsH.ForeColor = Color.Black
lblSpsB.ForeColor = Color.Black
lblSpsP.ForeColor = Color.Black

```

```
End Sub
```

```

=====
=====
'
|
| ' |
|                                     Tab 1
|
|
|
|-----|
=====
=====
'
|
| ' |
|                                     Tab 2
|
|
|
|-----|
=====
=====

```

```
Dim strSql As String
```

```
'คำสั่งเลือกฐานข้อมูล
```

```
Dim DT As System.Data.DataTable
```

```
'คำสั่งนำข้อมูลมาเก็บไว้
```

```
Dim vcmbA, vcmbB, vcmbC, vcmbD As Double
```

```
'(เงินลงทุนระบบ, มูลค่าของอุปกรณ์อื่นๆ ที่จะเสียหาย, ความต้องการใช้พลังงานจากระบบ, ความเสียหายที่เกี่ยวข้อง)
```

```
Dim vcmbProvince, vcmbCe, vtxtL, vtxtW, vtxtH As Double
```

```
'จังหวัด, ลักษณะพื้นที่ที่ตั้ง, ความกว้าง, ความยาว, ความสูง)
```

```
Dim checkloop As Boolean = False
```

```
'เช็คโปรแกรม
```

```
Dim vNc, vNd As Double
```

```
'ค่าที่ Nc = A x B x C x D (เงินลงทุนระบบ, มูลค่าของอุปกรณ์อื่นๆ ที่จะเสียหาย, ความต้องการใช้พลังงานจากระบบ, ความเสียหายที่เกี่ยวข้อง)
```

```
'ค่าที่ Nd = Ng x Ae x Ce x 10(-6) (0.04 x จังหวัด (1.25), L x W + 6 x H (L + W)+ 9 TT x H(2), ลักษณะพื้นที่ที่ตั้ง, 10(-6))
```

```
Private Sub btnNext2_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As System.EventArgs) Handles btnNext2.Click
```

```

'cmbProvince.SelectedIndex = 69
'cmbA.SelectedIndex = 3
'cmbB.SelectedIndex = 3
'cmbC.SelectedIndex = 3
'cmbCe.SelectedIndex = 2
'cmbD.SelectedIndex = 4

checkErr = True
txtErr = "กรุณาเลือก หรือป้อนข้อมูลให้ครบถ้วน"

If cmbProvince.SelectedIndex = 0 Then
    checkErr = False
    txtErr = txtErr & Chr(13) & " - เลือกจังหวัด"
End If
'ตรวจสอบข้อมูลจังหวัด

If cmbCe.SelectedIndex = 0 Then
    checkErr = False
    txtErr = txtErr & Chr(13) & " - เลือกลักษณะพื้นที่"
End If
'ตรวจสอบข้อมูลลักษณะพื้นที่

If Len(txtW.Text) < 1 Or (IsNumeric(txtW.Text) = False) Then
    lblCheckW.Visible = True
    checkErr = False
    txtErr = txtErr & Chr(13) & " - ระบุความกว้าง"
Else
    'If Len(txtL.Text) < 1 Then
    '    lblCheckW.Visible = False
    'Else
    '    If Convert.ToDouble(txtW.Text.ToString()) >
Convert.ToDouble(txtL.Text.ToString()) Then
    '        lblCheckW.Visible = True
    '        checkErr = False
    '        txtErr = txtErr & Chr(13) & " - ความกว้างต้องไม่มากกว่าความยาว"
    '    End If
    'End If
    lblCheckW.Visible = False
End If
'ตรวจสอบข้อมูลความกว้างต้องไม่มากกว่า หรือเท่ากับ ความยาว

If Len(txtL.Text) < 1 Or (IsNumeric(txtL.Text) = False) Then
    lblCheckL.Visible = True
    checkErr = False
    txtErr = txtErr & Chr(13) & " - ระบุความยาว"
Else

    lblCheckL.Visible = False
End If
'ตรวจสอบข้อมูลความยาว

If Len(txtH.Text) < 1 Or (IsNumeric(txtH.Text) = False) Then
    lblCheckH.Visible = True
    checkErr = False
    txtErr = txtErr & Chr(13) & " - ระบุความสูง"
Else

```



```

        lblCheckH.Visible = False
    End If
    'ตรวจสอบข้อมูลความสูง
    If cmbA.SelectedIndex = 0 Then
        checkErr = False
        txtErr = txtErr & Chr(13) & " - เลือกเงินลงทุนของระบบ"
    End If
    'ตรวจสอบข้อมูลเงินลงทุนของระบบ
    If cmbB.SelectedIndex = 0 Then
        checkErr = False
        txtErr = txtErr & Chr(13) & " - เลือกมูลค่าของอุปกรณ์เสียหาย"
    End If
    'ตรวจสอบข้อมูลมูลค่าของอุปกรณ์เสียหาย
    If cmbC.SelectedIndex = 0 Then
        checkErr = False
        txtErr = txtErr & Chr(13) & " - เลือกความต้องการใช้พลังงาน"
    End If
    'ตรวจสอบความต้องการใช้พลังงาน
    If cmbD.SelectedIndex = 0 Then
        checkErr = False
        txtErr = txtErr & Chr(13) & " - เลือกความเสียหายอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง"
    End If
    'ตรวจสอบข้อมูลความเสียหายอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง
    If (checkErr = False) Then
        MsgBox(txtErr)
    Else
        GroupBox1.Text = vTypeName
        vcmbProvince = Convert.ToDouble(cmbProvince.SelectedValue.ToString())
        vcmbCe = Convert.ToDouble(cmbCe.SelectedValue.ToString())
        vtxtL = Convert.ToDouble(txtL.Text.ToString())
        vtxtW = Convert.ToDouble(txtW.Text.ToString())
        vtxtH = Convert.ToDouble(txtH.Text.ToString())
        vNd = (0.04 * (vcmbProvince ^ 1.25)) * ((vtxtL * vtxtW) + 6 * vtxtH *
        (vtxtL + vtxtW) + 9 * 3.1415 * (vtxtH ^ 2)) * vcmbCe * (10 ^ -6)

        vcmbA = Convert.ToDouble(cmbA.SelectedValue.ToString())
        vcmbB = Convert.ToDouble(cmbB.SelectedValue.ToString())
        vcmbC = Convert.ToDouble(cmbC.SelectedValue.ToString())
        vcmbD = Convert.ToDouble(cmbD.SelectedValue.ToString())
        vNc = vcmbA * vcmbB * vcmbC * vcmbD

        If (vNd > vNc) And (checkloop = True) Then
            tabc1.TabPages.Insert(2, TempTab3)
            tabc1.SelectedIndex = 2
            btnNext2.Enabled = False
            btnBack2.Enabled = False
            If (vType < 20) Then
                lblS.Visible = False
                txtS.Visible = False
                lblHpv.Text = "แผงโฟโตโวลตาอิกที่ขึ้นออกจากตัวอาคาร"
                If vType = 11 Then

```

```

        lblHpv.Text = "ความสูงของระบบที่ติดตั้ง"
    End If
Else
    If (vType = 22) Then
        lblS.Visible = False
        txtS.Visible = False
        lblHpv.Text = "แผงไฟโคโวลตาอิกที่ขึ้นออกจากตัวอาคาร"

        lblHpv.Text = "ความสูงของระบบที่ติดตั้ง"
    End If

End If
dispClass()
End If
'GoTo Step3

If vNd <= vNc Then
    lblvNcvNd.Text = "Nc = " & vNc & vbNewLine & vbNewLine
    lblvNcvNd.Text += "Nd = " & vNd & vbNewLine & vbNewLine
    lblvNcvNd.Text += "ระบบไม่จำเป็นต้องติดตั้งระบบป้องกันฟ้าผ่า " & vbNewLine &
vbNewLine
    btnClose.Visible = True
    btnNext2.Visible = False
Else
    lblvNcvNd.Text = "Nc = " & vNc & vbNewLine & vbNewLine
    lblvNcvNd.Text += "Nd = " & vNd & vbNewLine & vbNewLine
    lblvNcvNd.Text += "ระบบจำเป็นต้องติดตั้งระบบป้องกันฟ้าผ่า " & vbNewLine & vbNewLine
    ctrlStep2lock()
End If
checkloop = True
End If

End Sub

Private Sub btnBack2_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles btnBack2.Click
    back2step1()
    ctrlStep2Unlock()
End Sub

Sub dispProvince()
    strSql = "SELECT * FROM tb_province ORDER BY prov_name ASC"

    DT = ConnectAccess(strSql)

    cmbProvince.DataSource = DT
    cmbProvince.DisplayMember = DT.Columns.Item("prov_name").ColumnName()
    cmbProvince.ValueMember = DT.Columns.Item("prov_value").ColumnName()

    Dim dtRow As DataRow = DT.NewRow()
    dtRow(0) = 0
    DT.Rows.InsertAt(dtRow, 0)
    DT.AcceptChanges()
    cmbProvince.SelectedIndex = 0
End Sub

```

```
Sub dispA()  
    strSql = "SELECT * FROM tb_condition WHERE cond_type=1"  
  
    DT = ConnectAccess(strSql)  
    cmbA.DataSource = DT  
    cmbA.DisplayMember = DT.Columns.Item("cond_item").ColumnName()  
    cmbA.ValueMember = DT.Columns.Item("cond_value").ColumnName()  
  
    Dim dtRow As DataRow = DT.NewRow()  
    dtRow(0) = 0  
    DT.Rows.InsertAt(dtRow, 0)  
    DT.AcceptChanges()  
    cmbA.SelectedIndex = 0  
End Sub  
  
Sub dispB()  
    strSql = "SELECT * FROM tb_condition WHERE cond_type=2"  
  
    DT = ConnectAccess(strSql)  
    cmbB.DataSource = DT  
    cmbB.DisplayMember = DT.Columns.Item("cond_item").ColumnName()  
    cmbB.ValueMember = DT.Columns.Item("cond_value").ColumnName()  
  
    Dim dtRow As DataRow = DT.NewRow()  
    dtRow(0) = 0  
    DT.Rows.InsertAt(dtRow, 0)  
    DT.AcceptChanges()  
    cmbB.SelectedIndex = 0  
End Sub  
  
Sub dispC()  
    strSql = "SELECT * FROM tb_condition WHERE cond_type=3"  
  
    DT = ConnectAccess(strSql)  
    cmbC.DataSource = DT  
    cmbC.DisplayMember = DT.Columns.Item("cond_item").ColumnName()  
    cmbC.ValueMember = DT.Columns.Item("cond_value").ColumnName()  
  
    Dim dtRow As DataRow = DT.NewRow()  
    dtRow(0) = 0  
    DT.Rows.InsertAt(dtRow, 0)  
    DT.AcceptChanges()  
    cmbC.SelectedIndex = 0  
End Sub  
  
Sub dispD()  
    strSql = "SELECT * FROM tb_condition WHERE cond_type=4"  
  
    DT = ConnectAccess(strSql)  
    cmbD.DataSource = DT  
    cmbD.DisplayMember = DT.Columns.Item("cond_item").ColumnName()  
    cmbD.ValueMember = DT.Columns.Item("cond_value").ColumnName()  
  
    Dim dtRow As DataRow = DT.NewRow()  
    dtRow(0) = 0  
    DT.Rows.InsertAt(dtRow, 0)  
    DT.AcceptChanges()
```

```

    cmbD.SelectedIndex = 0
End Sub

Sub dispCe()
    strSql = "SELECT * FROM tb_condition WHERE cond_type=5"

    DT = ConnectAccess(strSql)
    cmbCe.DataSource = DT
    cmbCe.DisplayMember = DT.Columns.Item("cond_item").ColumnName()
    cmbCe.ValueMember = DT.Columns.Item("cond_value").ColumnName()

    Dim dtRow As DataRow = DT.NewRow()
    dtRow(0) = 0
    DT.Rows.InsertAt(dtRow, 0)
    DT.AcceptChanges()
    cmbCe.SelectedIndex = 0
End Sub

Sub back2step1()
    tabc1.TabPages.Remove(TabPage2)
    btnBack1.Enabled = True
    btnNext1.Enabled = True
    btnNext1.Visible = False
    If (vType < 20) Then
        lblLpsbT.Enabled = True
        lblLpsbN.Enabled = True
        lblLpsbE.Enabled = True
        lblLpsbW.Enabled = True
        lblLpsbS.Enabled = True
        lblLpsbT.ForeColor = Color.Black
        lblLpsbN.ForeColor = Color.Black
        lblLpsbE.ForeColor = Color.Black
        lblLpsbW.ForeColor = Color.Black
        lblLpsbS.ForeColor = Color.Black
    Else
        lblLpspS.Enabled = True
        lblLpspM.Enabled = True
        lblLpspS.ForeColor = Color.Black
        lblLpspM.ForeColor = Color.Black
    End If
    lblvNcvNd.Text = ""
    txtW.Text = ""
    txtL.Text = ""
    txtH.Text = ""
    txtS.Text = ""
    lblS.Visible = True
    txtS.Visible = True
    checkloop = False
End Sub

Sub ctr1Step2lock()
    cmbProvince.Enabled = False
    cmbCe.Enabled = False
    txtW.ReadOnly = True
    txtL.ReadOnly = True
    txtH.ReadOnly = True
    cmbA.Enabled = False

```



```

txtErr = "กรุณาเลือก หรือป้อนข้อมูลให้ครบถ้วน"

If cmbClass.SelectedIndex = 0 Then
    checkErr = False
    txtErr = txtErr & Chr(13) & " - เลือก Class"
Else
    vClass = cmbClass.SelectedValue
End If
'ตรวจสอบข้อมูล Class

If (Len(txtHpv.Text) < 1) Or (IsNumeric(txtHpv.Text) = False) Then
    checkErr = False
    txtErr = txtErr & Chr(13) & " - ความสูงของระบบไฟโตไวคาอิก"
End If
'ตรวจสอบข้อมูลความสูงของค้ำน้ำล่อฟ้า

If (Len(txtHps.Text) < 1) Or (IsNumeric(txtHps.Text) = False) Then
    checkErr = False
    txtErr = txtErr & Chr(13) & " - ระบุความสูงของแท่งค้ำน้ำล่อฟ้า"
End If
'ตรวจสอบข้อมูลความสูงของระบบ

If (vType = 21) And ((Len(txtS.Text) < 1) Or (IsNumeric(txtS.Text) =
False)) Then
    checkErr = False
    txtErr = txtErr & Chr(13) & " - ระยะห่างระหว่างแท่งค้ำน้ำล่อฟ้ากับอุปกรณ์ (s)"
End If
'ตรวจสอบข้อมูลระยะห่างระหว่างแท่งค้ำน้ำล่อฟ้ากับอุปกรณ์ (s)

'If txtHpv.Text > txtHps.Text Then
'    checkErr = False
'    txtErr = txtErr & Chr(13) & " - ความสูงของระบบไฟโตไวคาอิก จะต้องไม่สูงกว่าความสูงของแท่ง
ค้ำน้ำ"
'End If
'ตรวจสอบข้อมูลความสูงของระบบไฟโตไวคาอิก จะต้องไม่สูงกว่าความสูงของแท่งค้ำน้ำล่อฟ้า"

If (checkErr = False) Then
    MsgBox(txtErr)
Else

    lblSummary.Text = ""
    btnNext3.Enabled = False
    tabc1.TabPages.Insert(3, TempTab4)
    'tabc1.SelectedIndex = 3
    ' Display Answer

    strSql = "SELECT * FROM tb_class WHERE class_id = " & vClass & " AND
height=" & txtHpv.Text
    DT = ConnectAccess(strSql)
    If DT.Rows.Count = 0 Then
        lblSummary.Text = "ไม่มีค่าใน Class"
        tabc1.SelectedIndex = 3
        Exit Sub
    End If
    vAngle = DT.Rows(0)("angle").ToString()

```

```

vDistance = DT.Rows(0)("distance").ToString()
vKi = Convert.ToDouble(DT.Rows(0)("ki"))
vClassfar = Convert.ToDouble(DT.Rows(0)("far"))
vRadius = Convert.ToDouble(DT.Rows(0)("radius"))

vP = txtHps.Text - txtHpv.Text

If (vType < 20) Or (vType = 22) Then 'ABCD (อาคารสูง)

    vd = Math.Round((4 * ((vRadius ^ 2) - ((vRadius - vP) ^ 2))) ^
0.5, 0)
    '1

    vX = Math.Round(vd / Math.Sqrt(2), 0)
    vY = vX
    '2

    vXA = Math.Ceiling(txtW.Text / vX)
    vXC = vXA
    vYA = Math.Ceiling(txtH.Text / vY)
    vYC = vYA
    'ทิศเหนือ และได้

    vXB = Math.Ceiling(txtL.Text / vX)
    vXD = vXB
    vYB = Math.Ceiling(txtH.Text / vY)
    vYD = vYB
    'ทิศตะวันออก และตะวันตก
    '3

    vNA = (vXA + 1) * (vYA + 1)
    vNB = (vXB + 1) * (vYB + 1)
    '4

    vTx = Math.Ceiling(txtW.Text / (vXA + 1))
    vTy = Math.Ceiling(txtH.Text / (vYA + 1))
    '5

    DispSummary()

Else 'T & Multi (Plant) (โรงไฟฟ้า)
    vN = 1

    Do While (vN <= txtHpv.Text)
        vT = Math.Round(Convert.ToDouble(txtH.Text) + 1)

        Do While (vT <= txtHps.Text)
            strSql = "SELECT * FROM tb_class WHERE class_id=" &
vClass & " AND height=" & vT
            DT = ConnectAccess(strSql)
            If DT.Rows.Count = 0 Then
                lblSummary.Text = "ไม่มีค่าใน Class "
                tabc1.SelectedIndex = 3

```



```

        Exit Sub
    End If
    vAngle = DT.Rows(0)("angle").ToString()
    vDistance = DT.Rows(0)("distance").ToString()
    vKi = Convert.ToDouble(DT.Rows(0)("ki"))
    vClassfar = Convert.ToDouble(DT.Rows(0)("far"))
    vRadius = Convert.ToDouble(DT.Rows(0)("radius"))

    vP = Math.Sqrt((vtxtL / (vN + 1)) ^ 2 + ((vtxtW +
txtS.Text) ^ 2))

    vF = Convert.ToDouble(txtL.Text) / vN
    If ((vT * vP) / (vT - vtxtH) < vDistance) Then
        DispSummary()
        Exit Sub
    End If
    vT = vT + 1

Loop

vN = vN + 1
If (vN > txtHpv.Text) Then
    lblSummary.Text = " ไม่สามารถใช้สูตรได้ค่ะ "
    tabc1.SelectedIndex = 3
    Exit Sub
End If

Loop

End If
' ' ' ' 'btnBack3.Enabled = False
' ' ' ' 'lblSummary.Text = " 1. ลักษณะการออกแบบ : " & vTypename &
vbNewLine & vbNewLine
' ' ' ' 'lblSummary.Text += " 2. รูปแบบของการติดตั้งระบบไฟโตโวลตาอิก : " &
vTypename2 & vbNewLine & vbNewLine
' ' ' ' 'lblSummary.Text += " 3. จังหวัดที่ทำการติดตั้ง : " & cmbProvince.Text
& vbNewLine & vbNewLine
' ' ' ' 'lblSummary.Text += " 4. การเกิดวามที่ฟ้าผ่าสามารถยอมรับการหยุดการใช้งานได้ : " &
cmbC.Text & vbNewLine & vbNewLine
' ' ' ' 'lblSummary.Text += " 5. การเกิดวามที่ฟ้าผ่าความเสียหายที่เกี่ยวข้อง : " &
cmbD.Text & vbNewLine & vbNewLine
' ' ' ' 'lblSummary.Text += " 6. ระดับการป้องกันฟ้าผ่า : " &
vClass & vbNewLine & vbNewLine
' ' ' ' 'lblSummary.Text += " 7. ขนาดของมุมป้องกัน : " &
vAngle & " องศา" & vbNewLine & vbNewLine
' ' ' ' 'lblSummary.Text += " 8. ระยะของการป้องกัน : " &
vClass & vbNewLine & vbNewLine
' ' ' ' 'lblSummary.Text += " 9. ความสูงของแท่งตัวนำ : " &
txtHps.Text & " เมตร" & vbNewLine & vbNewLine
' ' ' ' 'lblSummary.Text += "10. จำนวนแท่งตัวนำต่อฟ้าที่ทำการติดตั้ง : "
' ' ' ' 'If vType = 12 Or vType = 13 Then
' ' ' ' '    lblSummary.Text += vNA & " คั่น " & vbNewLine & vbNewLine
' ' ' ' 'ElseIf vType = 14 Or vType = 15 Then
' ' ' ' '    lblSummary.Text += vNB & " คั่น " & vbNewLine & vbNewLine
' ' ' ' 'Else
' ' ' ' '    lblSummary.Text += vN & " คั่น " & vbNewLine & vbNewLine

```



```

        'lblSummary.Text += "           - ต้นน้ำลงดิน           16 ตารางมิลลิเมตร " & vbNewLine &
vbNewLine
        'lblSummary.Text += "           - รากสายดิน           50 ตารางมิลลิเมตร " & vbNewLine &
vbNewLine

        tabc1.SelectedIndex = 3
    End Sub

    Private Sub btnBack3_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles btnBack3.Click
        back3step2()
        ctrl1Step2Unlock()
    End Sub

    Sub back3step2()
        btnNext2.Enabled = True
        btnBack2.Enabled = True
        lblvNcvNd.Text = ""
        txtHpv.Text = ""
        txtHps.Text = ""
        txtS.Text = ""
        lblS.Visible = True
        txtS.Visible = True
        checkloop = False
        tabc1.TabPages.Remove(TabPage3)
        tabc1.SelectedIndex = 1
    End Sub

    Sub dispClass()
        strSql = "SELECT class_id FROM tb_class GROUP BY class_id"

        DT = ConnectAccess(strSql)

        cmbClass.DataSource = DT
        cmbClass.DisplayMember = "Class" &
DT.Columns.Item("class_id").ColumnName()
        cmbClass.ValueMember = DT.Columns.Item("class_id").ColumnName()

        Dim dtRow As DataRow = DT.NewRow()
        dtRow(0) = 0
        DT.Rows.InsertAt(dtRow, 0)
        DT.AcceptChanges()
        cmbClass.SelectedIndex = 0
    End Sub

    Private Sub btnReload_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles btnReload.Click
        tabc1.TabPages.Remove(TabPage4)
        ctrl1Step2Unlock()
        back4step3()
        back3step2()
        back2step1()
        back1step1()
    End Sub

    Sub back4step3()
        btnNext3.Enabled = True

```



```

' lblSpsB.Enabled = True
' lblSpsP.Enabled = True
' btnNext1.Enabled = True
' btnNext2.Enabled = True
' btnNext3.Enabled = True
' lblSpsdata1.Enabled = True
' lblSpsdata2.Enabled = True
' lblSpsdata3.Enabled = True
' lblSpsdata4.Enabled = True

' lblLpsB.Visible = False
' lblLpsbT.Visible = False
' lblLpsbN.Visible = False
' lblLpsbE.Visible = False
' lblLpsbW.Visible = False
' lblLpsbS.Visible = False
' lblLpsP.Visible = False
' lblSpsH.Visible = False
' lblSpsB.Visible = False
' lblSpsP.Visible = False
' btnNext1.Visible = False

' lblLps.ForeColor = Color.Black
' lblSps.ForeColor = Color.Black
' lblLpsB.ForeColor = Color.Black
' lblLpsbT.ForeColor = Color.Black
' lblLpsbN.ForeColor = Color.Black
' lblLpsbE.ForeColor = Color.Black
' lblLpsbW.ForeColor = Color.Black
' lblLpsbS.ForeColor = Color.Black
' lblLpsP.ForeColor = Color.Black
' lblLpsS.ForeColor = Color.Black
' lblLpsM.ForeColor = Color.Black
' lblSpsH.ForeColor = Color.Black
' lblSpsB.ForeColor = Color.Black
' lblSpsP.ForeColor = Color.Black
' lblSpsdata1.ForeColor = Color.Black
' lblSpsdata2.ForeColor = Color.Black
' lblSpsdata3.ForeColor = Color.Black
' lblSpsdata4.ForeColor = Color.Black

' txtW.Text = ""
' txtL.Text = ""
' txtH.Text = ""
' lblvNcvNd.Text = ""
' txtHps.Text = ""
' txtHpv.Text = ""
'End Sub

```

=====

=====


```

        lblSpsdata1.Enabled = False
        lblSpsdata2.Enabled = False
        lblSpsdata3.Enabled = False
        dispSpschild()
    End Sub

    Private Sub btnBack5_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As
System.EventArgs) Handles btnBack5.Click
        back5step1()
    End Sub

    Sub back5step1()
        tabc1.TabPages.Remove(TabPage5)

        btnBack1.Enabled = True
        lblSpsH.Enabled = True
        lblSpsB.Enabled = True
        lblSpsP.Enabled = True
        btnNext1.Enabled = True

        lblSpsH.Visible = True
        lblSpsB.Visible = True
        lblSpsP.Visible = True
        btnNext1.Visible = False

        lblSpsH.ForeColor = Color.Black
        lblSpsB.ForeColor = Color.Black
        lblSpsP.ForeColor = Color.Black

    End Sub

    Sub dispSpschild()
        btnBack5.Enabled = False
        tabc1.TabPages.Insert(2, TempTab6)
        tabc1.SelectedIndex = 2
        strSql = "SELECT id, spsname, spspartno, spsuc FROM tb_surge WHERE
spslevel = " & spstc
        DT = ConnectAccess(strSql)
        DataGridView1.DataSource = DT

        Dim btn As New DataGridViewButtonColumn()
        DataGridView1.Columns.Add(btn)
        btn.HeaderText = "Click Data"
        btn.Text = "Click Here"
        btn.Name = "btn"
        btn.UseColumnTextForButtonValue = True

    End Sub

    Sub dispSpsdgv(ByVal type As String)
        Select Case spsType
            Case "SPSHome"
                spst = 1
            Case "SPSBuilding"
                spst = 2
            Case "SPSPlant"
                spst = 3
        End Select
    End Sub

```


ภาคผนวก ข

Datasheet (SPD. Home, SPD. Building, Plant)



๗.1 Data sheet SPD. Home


Combined SPDs Type 1

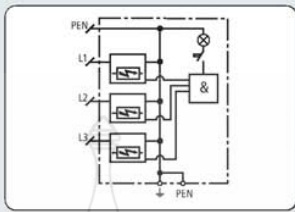
DEHNventil® ZP

DEHNventil ZP TNC

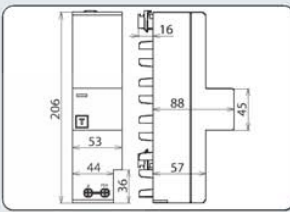
Red Line

Combined SPDs – Type 1





Basic circuit diagram DV ZP TNC 255



Dimension drawing DV ZP TNC 255

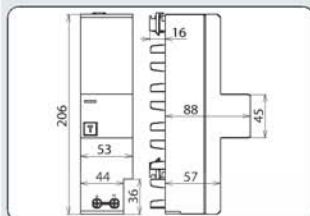
- Combined lightning current and surge arrester based on RADAX Flow spark gap technology
- Quick and easy installation by snapping the arrester onto 40 mm busbar systems
- Capable of protecting terminal equipment

Combined lightning current and surge arrester for TN-C systems for use in primary power systems ("3-0" circuit)

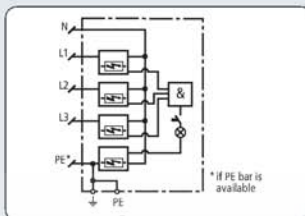
Type	DV ZP TNC 255
Part No.	900 390
SPD according to EN 61643-11	Type 1
SPD according to IEC 61643-1/-11	Class I
Energy coordination with terminal equipment	Type 1 + Type 2
Energy coordination with terminal equipment ($\leq 5\text{m}$)	Type 1 + Type 2 + Type 3
Nominal a.c. voltage (U_n)	230 / 400 V
Max. continuous operating a.c. voltage (U_c)	255 V
Lightning impulse current (10/350 μs) [L1+L2+L3-PEN] (I_{imp})	75 kA
Specific energy [L1+L2+L3-PEN] (W/R)	1.40 MJ/ohms
Lightning impulse current (10/350 μs) [L-PEN] (I_{imp})	25 kA
Specific energy [L-PEN] (W/R)	156.25 kJ/ohms
Nominal discharge current (8/20 μs) (I_n)	25 / 75 kA
Voltage protection level (U_p)	≤ 1.5 kV
Follow current extinguishing capability a.c. (I_c)	25 kA _{ms}
Follow current limitation/Selectivity	no tripping of a 32 A gL/gG fuse up to 25 kA _{ms} (prosp.)
Response time (t_d)	≤ 100 ns
Max. backup fuse up to $I_c = 25$ kA _{ms}	315 A gL/gG
Max. backup fuse for $I_c > 25$ kA _{ms}	200 A gL/gG
Temporary overvoltage (TOV) (U_T)	335 V / 5 sec.
TOV characteristics	withstand
Operating temperature range (T_a)	-40°C ... $+80^\circ\text{C}$
Operating state indication	button with indicator light
Number of ports	1
Cross-sectional area (PEN, \pm)	10-35 mm ² flexible/50 mm ² stranded
For mounting on	40 mm busbar systems
Enclosure material	thermoplastic, red, UL 94 V-0
Place of installation	indoor installation
Degree of protection	IP 20
Capacity	3 modules, DIN 43880
Approvals	VDE

Red/Line

Combined SPDs – Type 1



Dimension drawing DV ZP TT 255



Basic circuit diagram DV ZP TT 255

Combined lightning current and surge arrester for TT and TN-S systems for use in primary power systems ("3+1" circuit)

DEHNventil® ZP

DEHNventil ZP TT



- Combined lightning current and surge arrester based on RADAX Flow spark gap technology
- Quick and easy installation by snapping the arrester onto 40 mm busbar systems
- Capable of protecting terminal equipment

Combined SPDs Type 1

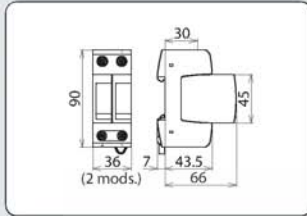
Type	DV ZP TT 255
Part No.	900 391
SPD according to EN 61643-11	Type 1
SPD according to IEC 61643-1/-11	Class I
Energy coordination with terminal equipment	Type 1 + Type 2
Energy coordination with terminal equipment (≤ 5 m)	Type 1 + Type 2 + Type 3
Nominal a.c. voltage (U_n)	230 / 400 V
Max. continuous operating a.c. voltage (U_c)	255 V
Lightning impulse current (10/350 μ s) [L1+L2+L3+N-PE] (I_{imp})	100 kA
Specific energy [L1+L2+L3+N-PE] (W/R)	2.50 MJ/ohms
Lightning impulse current (10/350 μ s) [L-N] (I_{imp})	25 kA
Specific energy [L-N] (W/R)	156.25 kJ/ohms
Lightning impulse current (10/350 μ s) [N-PE] (I_{imp})	100 kA
Specific energy [N-PE] (W/R)	2.50 MJ/ohms
Nominal discharge current (8/20 μ s) (I_n)	25 / 100 kA
Voltage protection level [L-N] (U_p)	≤ 1.5 kV
Voltage protection level [N-PE] (U_p)	≤ 1.5 kV
Follow current extinguishing capability [L-N] a.c. (I_d)	25 kA _{max}
Follow current extinguishing capability [N-PE] a.c. (I_d)	100 A _{max}
Follow current limitation/Selectivity	no tripping of a 32 A gL/gG fuse up to 25 kA _{max} (prosp.)
Response time (t_d)	≤ 100 ns
Max. backup fuse up to $I_k = 25$ kA _{max}	315 A gL/gG
Max. backup fuse for $I_k > 25$ kA _{max}	200 A gL/gG
Temporary overvoltage (TOV) [L-N] (U_t)	335 V / 5 sec
Temporary overvoltage (TOV) [N-PE] (U_t)	1200 V / 200 ms
TOV characteristics	withstand
Operating temperature range (T_a)	-40°C...+80°C
Function monitoring	button with indicator light
Number of ports	1
Cross-sectional area (PE, \pm)	10-35 mm ² flexible/50 mm ² stranded
For mounting on	40 mm busbar systems
Enclosure material	thermoplastic, red, UL 94 V-0
Place of installation	indoor installation
Degree of protection	IP 20
Capacity	3 modules, DIN 43880
Approvals	VDE

Red/Line

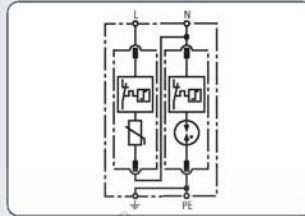
Type 2 Surge Arresters

DEHNgard® modular

DEHNgard M TT 2P ...



Dimension drawing DG M TT 2P ...



Basic circuit diagram DG M TT 2P ...



- Prewired complete unit consisting of a base part and plug-in protection modules
- High discharge capacity due to heavy-duty zinc oxide varistors/spark gaps
- High reliability due to "Thermo Dynamic Control" SPD monitoring device

Modular surge arrester for use in single-phase TT and TN systems ("1+1" circuit)

Type	DG M TT 2P 275	DG M TT 2P 320	DG M TT 2P 385
Part No.	952 110	952 130	952 111
SPD according to EN 61643-11	Type 2	Type 2	Type 2
SPD according to IEC 61643-11/11	Class II	Class II	Class II
Nominal a.c. voltage (U _n)	230 V	230 V	230 V
Max. continuous operating a.c. voltage [L-N] (U _c)	275 V	320 V	385 V
Max. continuous operating a.c. voltage [N-PE] (U _c)	255 V	255 V	255 V
Nominal discharge current (8/20 μs) (I _n)	20 kA	20 kA	20 kA
Max. discharge current (8/20 μs) (I _{max})	40 kA	40 kA	40 kA
Lightning impulse current (10/350 μs) [N-PE] (I _{imp})	12 kA	12 kA	12 kA
Voltage protection level [L-N] (U _p)	≤ 1.25 kV	≤ 1.5 kV	≤ 1.75 kV
Voltage protection level [L-N] at 5 kA (U _{p5})	≤ 1 kV	≤ 1.2 kV	≤ 1.35 kV
Voltage protection level [N-PE] (U _p)	≤ 1.5 kV	≤ 1.5 kV	≤ 1.5 kV
Follow current extinguishing capability [N-PE] (I _e)	100 A _{rms}	100 A _{rms}	100 A _{rms}
Response time [L-N] (t _d)	≤ 25 ns	≤ 25 ns	≤ 25 ns
Response time [N-PE] (t _d)	≤ 100 ns	≤ 100 ns	≤ 100 ns
Max. mains-side overcurrent protection	125 A gL/gG	125 A gL/gG	125 A gL/gG
Short-circuit withstand capability for max. mains-side overcurrent protection	50 kA _{rms}	25 kA _{rms}	25 kA _{rms}
Temporary overvoltage (TOV) [L-N] (U _T)	335 V / 5 sec.	335 V / 5 sec.	385 V / 5 sec.
Temporary overvoltage (TOV) [N-PE] (U _T)	1200 V / 200 ms	1200 V / 200 ms	1200 V / 200 ms
TOV characteristics	withstand	withstand	withstand
Operating temperature range (T _o)	-40°C...+80°C	-40°C...+80°C	-40°C...+80°C
Operating state/fault indication	green / red	green / red	green / red
Number of ports	1	1	1
Cross-sectional area (min.)	1,5 mm ² solid/flexible	1,5 mm ² solid/flexible	1,5 mm ² solid/flexible
Cross-sectional area (max.)	35 mm ² stranded/25 mm ² flexible	35 mm ² stranded/25 mm ² flexible	35 mm ² stranded/25 mm ² flexible
For mounting on	35 mm DIN rail acc. to EN 60715	35 mm DIN rail acc. to EN 60715	35 mm DIN rail acc. to EN 60715
Enclosure material	thermoplastic, red, UL 94 V-0	thermoplastic, red, UL 94 V-0	thermoplastic, red, UL 94 V-0
Place of installation	indoor installation	indoor installation	indoor installation
Degree of protection	IP 20	IP 20	IP 20
Capacity	2 modules, DIN 43880	2 modules, DIN 43880	2 modules, DIN 43880
Approvals	KEMA, VDE, UL, VdS	KEMA	KEMA

Surge Arresters Type 2

Accessory for DEHNgard® modular

N-PE Spark-Gap-Based Protection Module for DEHNgard M TT ...

N-PE spark-gap-based protection module for two-pole and four-pole DEHNgard DG M TT ... surge arresters

Type	DG MOD NPE
Part No.	952 050
Max. continuous operating a.c. voltage (U _c)	255 V



Accessory for DEHNgard® modular

Varistor-Based Protection Module

Varistor-based protection module for DEHNgard M ... and DEHNgard S ... surge arresters

Type DG MOD ...	275	320	385
Part No.	952 010	952 013	952 014
Max. continuous operating a.c. voltage (U _c)	275 V	320 V	385 V

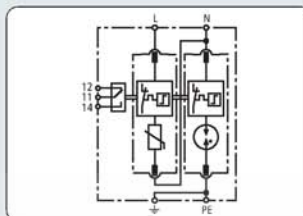


DEHNgard® modular

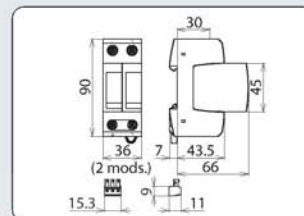
Red Line

DEHNgard M TT 2P ... FM

Type 2 Surge Arresters



Basic circuit diagram DG M TT 2P ... FM



Dimension drawing DG M TT 2P ... FM

- **Prewired complete unit consisting of a base part and plug-in protection modules**
- **High discharge capacity due to heavy-duty zinc oxide varistors/spark gaps**
- **High reliability due to "Thermo Dynamic Control" SPD monitoring device**

Modular surge arrester for use in single-phase TT and TN systems ("1+1" circuit); with floating remote signalling contact

Surge Arresters Type 2

Type	DG M TT 2P 275 FM	DG M TT 2P 320 FM	DG M TT 2P 385 FM
Part No.	952 115	952 135	952 116
SPD according to EN 61643-11	Type 2	Type 2	Type 2
SPD according to IEC 61643-1/-11	Class II	Class II	Class II
Nominal a.c. voltage (U _n)	230 V	230 V	230 V
Max. continuous operating a.c. voltage [L-N] (U _c)	275 V	320 V	385 V
Max. continuous operating a.c. voltage [N-PE] (U _c)	255 V	255 V	255 V
Nominal discharge current (8/20 μs) (I _n)	20 kA	20 kA	20 kA
Max. discharge current (8/20 μs) (I _{max})	40 kA	40 kA	40 kA
Lightning impulse current (10/350 μs) [N-PE] (I _{imp})	12 kA	12 kA	12 kA
Voltage protection level [L-N] (U _p)	≤ 1.25 kV	≤ 1.5 kV	≤ 1.75 kV
Voltage protection level [L-N] at 5 kA (U _{p5})	≤ 1 kV	≤ 1.2 kV	≤ 1.35 kV
Voltage protection level [N-PE] (U _p)	≤ 1.5 kV	≤ 1.5 kV	≤ 1.5 kV
Follow current extinguishing capability [N-PE] (I _{fc})	100 A _{ms}	100 A _{ms}	100 A _{ms}
Response time [L-N] (t _{dr})	≤ 25 ns	≤ 25 ns	≤ 25 ns
Response time [N-PE] (t _{dr})	≤ 100 ns	≤ 100 ns	≤ 100 ns
Max. mains-side overcurrent protection	125 A gL/gG	125 A gL/gG	125 A gL/gG
Short-circuit withstand capability for max. mains-side overcurrent protection	50 kA _{ms}	25 kA _{ms}	25 kA _{ms}
Temporary overvoltage (TOV) [L-N] (U _t)	335 V / 5 sec.	335 V / 5 sec.	385 V / 5 sec.
Temporary overvoltage (TOV) [N-PE] (U _t)	1200 V / 200 ms	1200 V / 200 ms	1200 V / 200 ms
TOV characteristics	withstand	withstand	withstand
Operating temperature range (T _o)	-40°C...+80°C	-40°C...+80°C	-40°C...+80°C
Operating state/fault indication	green / red	green / red	green / red
Number of ports	1	1	1
Cross-sectional area (min.)	1.5 mm ² solid/flexible	1.5 mm ² solid/flexible	1.5 mm ² solid/flexible
Cross-sectional area (max.)	35 mm ² stranded/25 mm ² flexible	35 mm ² stranded/25 mm ² flexible	35 mm ² stranded/25 mm ² flexible
For mounting on	35 mm DIN rail acc. to EN 60715	35 mm DIN rail acc. to EN 60715	35 mm DIN rail acc. to EN 60715
Enclosure material	thermoplastic, red, UL 94 V-0	thermoplastic, red, UL 94 V-0	thermoplastic, red, UL 94 V-0
Place of installation	indoor installation	indoor installation	indoor installation
Degree of protection	IP 20	IP 20	IP 20
Capacity	2 modules, DIN 43880	2 modules, DIN 43880	2 modules, DIN 43880
Approvals	KEMA, VDE, UL, VdS	KEMA	KEMA
Type of remote signalling contact	changeover contact	changeover contact	changeover contact
a.c. switching capacity	250 V/0.5 A	250 V/0.5 A	250 V/0.5 A
d.c. switching capacity	250 V/0.1 A; 125 V/0.2 A; 75 V/0.5 A	250 V/0.1 A; 125 V/0.2 A; 75 V/0.5 A	250 V/0.1 A; 125 V/0.2 A; 75 V/0.5 A
Cross-sectional area for remote signalling terminals	max. 1.5 mm ² solid/flexible	max. 1.5 mm ² solid/flexible	max. 1.5 mm ² solid/flexible

Accessory for DEHNgard® modular

Accessory for DEHNgard® modular

Varistor-Based Protection Module

Varistor-based protection module for DEHNgard M ... and DEHNgard S ... surge arresters



Type DG MOD ...	275	320	385
Part No.	952 010	952 013	952 014
Max. continuous operating a.c. voltage (U _c)	275 V	320 V	385 V



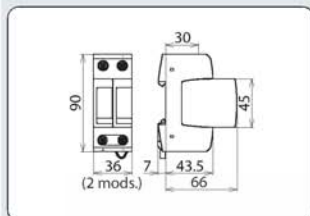
N-PE Spark-Gap-Based Protection Module for DEHNgard M TT ...

N-PE spark-gap-based protection module for two-pole and four-pole DEHNgard DG M TT ... surge arresters

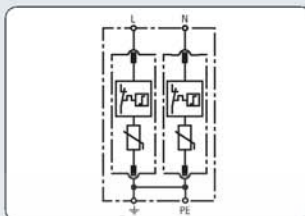
Type	DG MOD NPE
Part No.	952 050
Max. continuous operating a.c. voltage (U _c)	255 V

Red | Line

Type 2 Surge Arresters



Dimension drawing DG M TN ...



Basic circuit diagram DG M TN ...

DEHNgard® modular

DEHNgard M TN ...



- Prewired complete unit consisting of a base part and plug-in protection modules
- High discharge capacity due to heavy-duty zinc oxide varistors/spark gaps
- High reliability due to "Thermo Dynamic Control" SPD monitoring device

Modular surge arrester for use in single-phase TN systems

Type	DG M TN 150	DG M TN 275
Part No.	952 201	952 200
SPD according to EN 61643-11	Type 2	Type 2
SPD according to IEC 61643-1/-11	Class II	Class II
Nominal a.c. voltage (U_n)	120 V	230 V
Max. continuous operating a.c. voltage (U_c)	150 V	275 V
Nominal discharge current (8/20 μ s) (I_n)	15 kA	20 kA
Max. discharge current (8/20 μ s) (I_{max})	40 kA	40 kA
Voltage protection level (U_p)	≤ 0.7 kV	≤ 1.25 kV
Voltage protection level at 5 kA (U_p)	≤ 0.55 kV	≤ 1 kV
Response time (t_d)	≤ 25 ns	≤ 25 ns
Max. mains-side overcurrent protection	125 A gL/gG	125 A gL/gG
Short-circuit withstand capability for max. mains-side overcurrent protection	50 kA _{ms}	50 kA _{ms}
Temporary overvoltage (TOV) (U_T)	175 V / 5 sec. withstand	335 V / 5 sec. withstand
TOV characteristics	withstand	withstand
Operating temperature range (T_A)	-40°C...+80°C	-40°C...+80°C
Operating state/fault indication	green / red	green / red
Number of ports	1	1
Cross-sectional area (min.)	1.5 mm ² solid/flexible	1.5 mm ² solid/flexible
Cross-sectional area (max.)	35 mm ² stranded/25 mm ² flexible	35 mm ² stranded/25 mm ² flexible
For mounting on	35 mm DIN rail acc. to EN 60715	35 mm DIN rail acc. to EN 60715
Enclosure material	thermoplastic, red, UL 94 V-0	thermoplastic, red, UL 94 V-0
Place of installation	indoor installation	indoor installation
Degree of protection	IP 20	IP 20
Capacity	2 modules, DIN 43880	2 modules, DIN 43880
Approvals	KEMA, UL	KEMA, VDE, UL, VdS

Accessory for DEHNgard® modular**Varistor-Based Protection Module**

Varistor-based protection module for DEHNgard M ... and DEHNgard S ... surge arresters

Type DG MOD ...	150	275
Part No.	952 012	952 010
Max. continuous operating a.c. voltage (U_c)	150 V	275 V

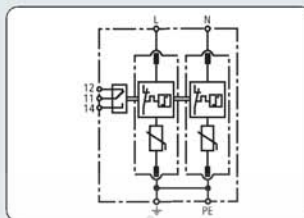


DEHNgard® modular

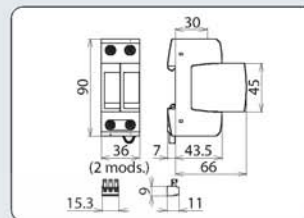
Red / Line

DEHNgard M TN ... FM

Type 2 Surge Arresters



Basic circuit diagram DG M TN ... FM



Dimension drawing DG M TN ... FM

- **Prewired complete unit** consisting of a base part and plug-in protection modules
- **High discharge capacity** due to heavy-duty zinc oxide varistors/spark gaps
- **High reliability** due to "Thermo Dynamic Control" SPD monitoring device

Modular surge arrester for use in single-phase TN systems; with floating remote signalling contact

Surge Arresters Type 2

Type	DG M TN 150 FM	DG M TN 275 FM
Part No.	952 206	952 205
SPD according to EN 61643-11	Type 2	Type 2
SPD according to IEC 61643-1/-11	Class II	Class II
Nominal a.c. voltage (U _n)	120 V	230 V
Max. continuous operating a.c. voltage (U _c)	150 V	275 V
Nominal discharge current (8/20 μs) (I _n)	15 kA	20 kA
Max. discharge current (8/20 μs) (I _{max})	40 kA	40 kA
Voltage protection level (U _p)	≤ 0.7 kV	≤ 1.25 kV
Voltage protection level at 5 kA (U _{p5})	≤ 0.55 kV	≤ 1 kV
Response time (t _d)	≤ 25 ns	≤ 25 ns
Max. mains-side overcurrent protection	125 A gL/gG	125 A gL/gG
Short-circuit withstand capability for max. mains-side overcurrent protection	50 kA _{max}	50 kA _{max}
Temporary overvoltage (TOV) (U _T)	175 V / 5 sec.	335 V / 5 sec.
TOV characteristics	withstand	withstand
Operating temperature range (T _o)	-40°C...+80°C	-40°C...+80°C
Operating state/fault indication	green / red	green / red
Number of ports	1	1
Cross-sectional area (min.)	1.5 mm ² solid/flexible	1.5 mm ² solid/flexible
Cross-sectional area (max.)	35 mm ² stranded/25 mm ² flexible	35 mm ² stranded/25 mm ² flexible
For mounting on	35 mm DIN rail acc. to EN 60715	35 mm DIN rail acc. to EN 60715
Enclosure material	thermoplastic, red, UL 94 V-0	thermoplastic, red, UL 94 V-0
Place of installation	indoor installation	indoor installation
Degree of protection	IP 20	IP 20
Capacity	2 modules, DIN 43880	2 modules, DIN 43880
Approvals	KEMA, UL	KEMA, VDE, UL, VdS
Type of remote signalling contact	changeover contact	changeover contact
a.c. switching capacity	250 V/0.5 A	250 V/0.5 A
d.c. switching capacity	250 V/0.1 A; 125 V/0.2 A; 75 V/0.5 A	250 V/0.1 A; 125 V/0.2 A; 75 V/0.5 A
Cross-sectional area for remote signalling terminals	max. 1.5 mm ² solid/flexible	max. 1.5 mm ² solid/flexible

Accessory for DEHNgard® modular

Varistor-Based Protection Module

Varistor-based protection module for DEHNgard M ... and DEHNgard S ... surge arresters



Type DG MOD ...	150	275
Part No.	952 012	952 010
Max. continuous operating a.c. voltage (U _c)	150 V	275 V

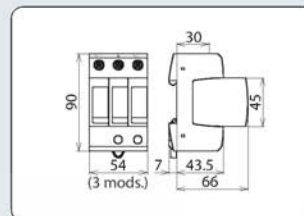
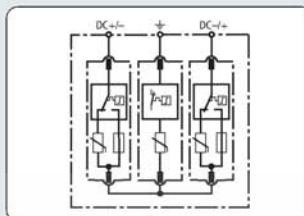


DEHNgard® modular (Y)PV SCI ... (FM)

Red / Line

DEHNgard M YPV SCI ...

Type 2 Surge Arresters for Use in PV Systems



Basic circuit diagram DG M YPV SCI ...

Dimension drawing DG M YPV SCI ...

Modular multipole surge arrester with three-step d.c. switching device for use in PV systems

- **Prewired modular complete unit for use in photovoltaic systems consisting of a base part and plug-in protection modules**
- **Combined disconnection and short-circuiting device with safe electrical isolation in the protection module prevents fire damage caused by d.c. switching arcs (patented SCI principle)**
- **Safe replacement of protection modules without arc formation due to integrated d.c. fuse**

Surge Arresters Type 2

Type	DG M YPV SCI 150	DG M YPV SCI 600	DG M YPV SCI 1000	DG M YPV SCI 1200
Part No.	952 513 <small>NEW</small>	952 511	952 510	952 512
Conformity with prEN 50539-11	yes	yes	yes	yes
SPD classification according to EN 61643-11	Type 2	Type 2	Type 2	Typ 2
SPD classification according to IEC 61643-1/-11	Class II	Class II	Class II	Class II
Max. PV voltage (U _{CPV})	≤ 150 V	≤ 600 V	≤ 1000 V	≤ 1200 V
Short-circuit withstand capacity (I _{SCWPV})	1000 A	1000 A	1000 A	1000 A
Max. continuous operating d.c. voltage [(DC+/DC-) → PE] (U _C)	75 V	300 V	500 V	600 V
Total discharge current (8/20 μs) (I _{total})	40 kA	40 kA	40 kA	30 kA
Nominal discharge current (8/20 μs) [(DC+/DC-) → PE] (I _n)	10 kA	12.5 kA	12.5 kA	12.5 kA
Max. discharge current (8/20 μs) [(DC+/DC-) → PE] (I _{max})	20 kA	25 kA	25 kA	25 kA
Voltage protection level (U _s)	≤ 0.8 kV	≤ 2.5 kV	≤ 4 kV	≤ 4.5 kV
Voltage protection level at 5 kA (U _{s5})	≤ 0.6 kV	≤ 2 kV	≤ 3.5 kV	≤ 4 kV
Response time (t _a)	≤ 25 ns	≤ 25 ns	≤ 25 ns	≤ 25 ns
Operating temperature range (T _o)	-40°C...+80°C	-40°C...+80°C	-40°C...+80°C	-40°C...+80°C
Operating state/fault indication	green / red	green / red	green / red	green / red
Number of ports	1	1	1	1
Cross-sectional area (min.)	1.5 mm ² solid/flexible			
Cross-sectional area (max.)	35 mm ² stranded/25 mm ² flexible			
For mounting on	35 mm DIN rail acc. to EN 60715			
Enclosure material	thermoplastic, red, UL 94 V-0			
Place of installation	indoor installation	indoor installation	indoor installation	indoor installation
Degree of protection	IP 20	IP 20	IP 20	IP 20
Capacity	3 modules, DIN 43880	3 modules, DIN 43880	3 modules, DIN 43880	3 modules, DIN 43880
Approvals	UL	UL, CSA	UL, CSA	UL

Accessory for DEHNgard® modular (Y)PV SCI ... (FM)

Varistor-Based Protection Module for DEHNgard M (Y)PV SCI

Protection module for DEHNgard M (Y)PV SCI ... arresters comprising a varistor connected in parallel with a short-circuiting device with integrated back-up fuse



Type DG MOD PV ...	SCI 75	SCI 300	SCI 500	SCI 600
Part No.	952 055	952 053	952 051	952 054
Max. continuous operating d.c. voltage (U _C)	75 V	300 V	500 V	600 V

Accessory for DEHNgard® modular (Y)PV SCI ... (FM)

Varistor-Based Protection Module for DEHNgard M (Y)PV SCI

Varistor-based protection module for DEHNgard M YPV SCI ... and DEHNgard S PV SCI ... arresters

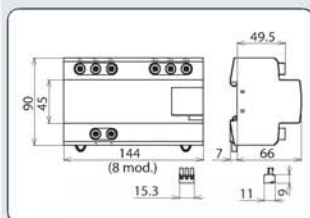


Type DG MOD PV ...	75	300	500	600
Part No.	952 045	952 043	952 041	952 044
Max. continuous operating d.c. voltage (U _C)	75 V	300 V	500 V	600 V

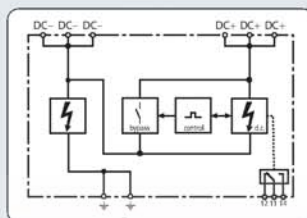


Red/Line

Combined SPDs – Type 1 for PV Systems

DEHNlimit PV 1000 V2 (FM)

Dimension drawing DLM PV 1000 V2 FM



Basic circuit diagram DLM PV 1000 V2 FM

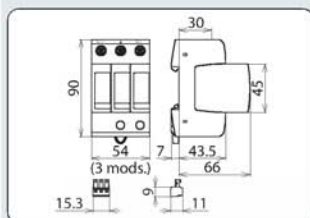


Combined SPDs Type 1

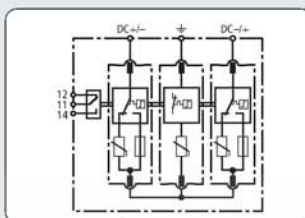
Combined lightning current and surge arrester for photovoltaic power supply systems up to 1000 V d.c.

- Prewired combined lightning current and surge arrester for use in photovoltaic generator circuits
- High lightning current discharge capacity due to approved spark gap technology
- Maximum system availability due to spark gap technology with direct current extinction circuit

Type	DLM PV 1000 V2	DLM PV 1000 V2 FM
Part No.	900 342	900 345
SPD classification according to EN 61643-11	Type 1	Type 1
SPD classification according to IEC 61643-1/-11	Class I	Class I
Max. PV voltage [U _{CPV}] of the PV generator	1000 V	1000 V
Max. continuous operating d.c. voltage (U _{max DC})	1000 V	1000 V
Min. continuous operating d.c. voltage (U _{min DC})	100 V	100 V
Follow current extinguishing capability d.c. (I _{g DC})	100 A	100 A
Nominal discharge current (8/20 μs) (I _n)	25 kA	25 kA
Lightning impulse current (10/350 μs) [DC+ / DC- -> PE] (I _{imp})	50 kA	50 kA
Specific energy [DC+ / DC- -> PE] (W/R)	625.00 kJ/ohms	625.00 kJ/ohms
Lightning impulse current (10/350 μs) [DC+ -> DC-] (I _{imp})	25 kA	25 kA
Specific energy [DC+ -> DC-] (W/R)	156.25 kJ/ohms	156.25 kJ/ohms
Voltage protection level [DC+ -> DC-] (U _p)	≤ 3.3 kV	≤ 3.3 kV
Voltage protection level [(DC+ / DC-) -> PE] (U _p)	≤ 4 kV	≤ 4 kV
Operating current (I _{res})	≤ 5 mA	≤ 5 mA
Response time [DC+ -> DC-] (t _d)	≤ 20 ns	≤ 20 ns
Protective conductor current (I _{ps})	≤ 1 μA	≤ 1 μA
Operating temperature range (T _o)	-40°C...+60°C	-40°C...+60°C
Operating state/fault indication	green / red	green / red
Number of ports	1	1
Cross-sectional area (min.)	1.5 mm ² solid/flexible	1.5 mm ² solid/flexible
Cross-sectional area (max.)	35 mm ² stranded/25 mm ² flexible	35 mm ² stranded/25 mm ² flexible
For mounting on	35 mm DIN rail acc. to EN 60715	35 mm DIN rail acc. to EN 60715
Enclosure material	thermoplastic, red, UL 94 V-0	thermoplastic, red, UL 94 V-0
Place of installation	indoor installation	indoor installation
Degree of protection	IP 20	IP 20
Capacity	8 modules, DIN 43880	8 modules, DIN 43880
Type of remote signalling contact	—	changeover contact
a.c. switching capacity	—	250 V/0.5 A
d.c. switching capacity	—	250 V/0.1 A; 125 V/0.2 A; 75 V/0.5 A
Cross-sectional area for remote signalling terminals	—	max. 1.5 mm ² solid/flexible



Dimension drawing DG M YPV SCI ... FM



Basic circuit diagram DG M YPV SCI ... FM



Modular multipole surge arrester with three-step d.c. switching device for use in PV systems with remote signalling contact for monitoring device (floating changeover contact)

- Prewired modular complete unit for use in photovoltaic systems consisting of a base part and plug-in protection modules
- Combined disconnection and short-circuiting device with safe electrical isolation in the protection module prevents fire damage caused by d.c. switching arcs (patented SCI principle)
- Safe replacement of protection modules without arc formation due to integrated d.c. fuse

Type	DG M YPV SCI 150 FM	DG M YPV SCI 600 FM	DG M YPV SCI 1000 FM	DG M YPV SCI 1200 FM
Part No.	952 518 <small>NEW!</small>	952 516	952 515	952 517
Conformity with prEN 50539-11	yes	yes	yes	yes
SPD classification according to EN 61643-11	Type 2	Type 2	Type 2	Type 2
SPD classification according to IEC 61643-1-11	Class II	Class II	Class II	Class II
Max. PV voltage (U _{CPV})	≤ 150 V	≤ 600 V	≤ 1000 V	≤ 1200 V
Short-circuit withstand capacity (I _{SCWV})	1000 A	1000 A	1000 A	1000 A
Max. continuous operating d.c. voltage [(DC+/DC-) → PE] (U _C)	75 V	300 V	500 V	600 V
Total discharge current (8/20 μs) (I _{total})	40 kA	40 kA	40 kA	30 kA
Nominal discharge current (8/20 μs) [(DC+/DC-) → PE] (I _n)	10 kA	12.5 kA	12.5 kA	12.5 kA
Max. discharge current (8/20 μs) [(DC+/DC-) → PE] (I _{max})	20 kA	25 kA	25 kA	25 kA
Voltage protection level (U _p)	≤ 0.8 kV	≤ 2.5 kV	≤ 4 kV	≤ 4.5 kV
Voltage protection level at 5 kA (U _{p5})	≤ 0.6 kV	≤ 2 kV	≤ 3.5 kV	≤ 4 kV
Response time (t _a)	≤ 25 ns	≤ 25 ns	≤ 25 ns	≤ 25 ns
Operating temperature range (T _o)	-40°C...+80°C	-40°C...+80°C	-40°C...+80°C	-40°C...+80°C
Operating state/fault indication	green / red	green / red	green / red	green / red
Number of ports	1	1	1	1
Cross-sectional area (min.)		1.5 mm ² solid/flexible		
Cross-sectional area (max.)		35 mm ² stranded/25 mm ² flexible		
For mounting on		35 mm DIN rail acc. to EN 60715		
Enclosure material		thermoplastic, red, UL 94 V-0		
Place of installation	indoor installation	indoor installation	indoor installation	indoor installation
Degree of protection	IP 20	IP 20	IP 20	IP 20
Capacity	3 modules, DIN 43880	3 modules, DIN 43880	3 modules, DIN 43880	3 modules, DIN 43880
Approvals	UL	UL, CSA	UL, CSA	UL
Type of remote signalling contact	changeover contact	changeover contact	changeover contact	changeover contact
a.c. switching capacity	250 V/0.5 A	250 V/0.5 A	250 V/0.5 A	250 V/0.5 A
d.c. switching capacity		250 V/0.1 A; 125 V/0.2 A; 75 V/0.5 A		
Cross-sectional area for remote signalling terminals		max. 1.5 mm ² solid/flexible		

Accessory for DEHNgard® modular (Y)PV SCI ... (FM)

Accessory for DEHNgard® modular (Y)PV SCI ... (FM)

Varistor-Based Protection Module for DEHNgard M (Y)PV SCI

Varistor-based protection module for DEHNgard M YPV SCI ... and DEHNgard S PV SCI ... arresters

Type DG MOD PV ...	75	300	500	600
Part No.	952 045	952 043	952 041	952 044
Max. continuous operating d.c. voltage (U _C)	75 V	300 V	500 V	600 V



Varistor-Based Protection Module for DEHNgard M (Y)PV SCI

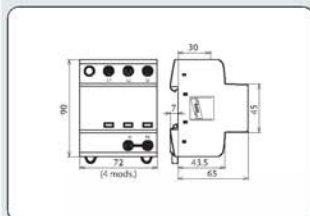
Protection module for DEHNgard M (Y)PV SCI ... arresters comprising a varistor connected in parallel with a short-circuiting device with integrated back-up fuse

Type DG MOD PV ...	SCI 75	SCI 300	SCI 500	SCI 600
Part No.	952 055	952 053	952 051	952 054
Max. continuous operating d.c. voltage (U _C)	75 V	300 V	500 V	600 V

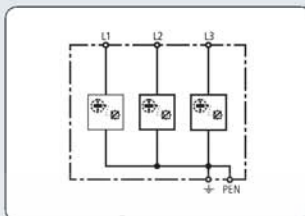


Red | Line

Combined SPDs – Type 1



Dimension drawing DSH TNC 255



Basic circuit diagram DSH TNC 255

Application-optimised prewired combined lightning current and surge arrester for TN-C systems

DEHNshield®

DEHNshield TNC



- Application-optimised prewired spark-gap-based combined lightning current and surge arrester
- Space-saving arrester for compact and simply equipped electrical installations with reduced technical requirements
- Capable of protecting terminal equipment

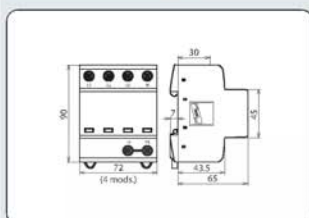
Type	DSH TNC 255
Part No.	941 300
SPD according to EN 61643-11 / IEC 61643-1/-11	Type 1 / Class 1
Energy coordination with terminal equipment	Type 1 + Type 2
Energy coordination with terminal equipment (≤ 5 m)	Type 1 + Type 2 + Type 3
Nominal a.c. voltage (U_n)	230 / 400 V
Max. continuous operating a.c. voltage (U_c)	255 V
Lightning impulse current (10/350 μ s) [L1+L2+L3-PEN] (I_{imp})	37.5 kA
Specific energy [L1+L2+L3-PEN] (W/R)	352.00 kJ/ohms
Lightning impulse current (10/350 μ s) [L-PEN] (I_{imp})	12.5 kA
Specific energy [L-PEN] (W/R)	39.06 kJ/ohms
Nominal discharge current (8/20 μ s) (I_n)	12.5 / 37.5 kA
Voltage protection level (U_p)	≤ 1.5 kV
Follow current extinguishing capability a.c. (I_{cc})	25 kA _{ms}
Follow current limitation/Selectivity	no tripping of a 32 A gL/gG fuse up to 25 kA _{ms} (prosp.)
Response time (t_d)	≤ 100 ns
Max. mains-side overcurrent protection	160 A gL/gG
Temporary overvoltage (TOV) (U_T)	440 V / 5 sec.
TOV characteristics	withstand
Operating temperature range (T_{op})	-40 °C...+80 °C
Operating state/fault indication	green / red
Number of ports	1
Cross-sectional area (L1, L2, L3, PEN) (min.)	1.5 mm ² solid/flexible
Cross-sectional area (L1, L2, L3, PEN) (max.)	35 mm ² stranded/25 mm ² flexible
For mounting on	35 mm DIN rail acc. to EN 60715
Enclosure material	thermoplastic, red, UL 94 V-0
Place of installation	indoor installation
Degree of protection	IP 20
Capacity	4 modules, DIN 43880

Red / Line

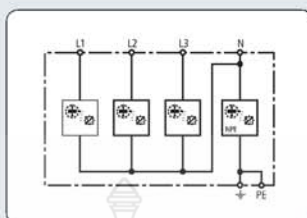
Combined SPDs – Type 1

DEHNshield®

DEHNshield TT



Dimension drawing DSH TT 255



Basic circuit diagram DSH TT 255



Combined SPDs Type 1

Application-optimised prewired combined lightning current and surge arrester for TT and TN-S systems ("3+1" circuit)

- Application-optimised prewired spark-gap-based combined lightning current and surge arrester
- Space-saving arrester for compact and simply equipped electrical installations with reduced technical requirements
- Capable of protecting terminal equipment

Type	DSH TT 255
Part No.	941 310
SPD according to EN 61643-11 / IEC 61643-1/-11	Type 1 / Class I
Energy coordination with terminal equipment	Type 1 + Type 2
Energy coordination with terminal equipment (≤ 5 m)	Type 1 + Type 2 + Type 3
Nominal a.c. voltage (U_n)	230 / 400 V
Max. continuous operating a.c. voltage (U_c)	255 V
Lightning impulse current (10/350 μ s) [L1+L2+L3+N-PE] (I_{total})	50 kA
Specific energy [L1+L2+L3+N-PE] (W/R)	625.00 kJ/ohms
Lightning impulse current (10/350 μ s) [L-N]/[N-PE] (I_{imp})	12.5 / 50 kA
Specific energy [L-N]/[N-PE] (W/R)	39.06 / 625.00 kJ/ohms
Nominal discharge current (8/20 μ s) [L-N]/[N-PE] (I_n)	12.5 / 50 kA
Voltage protection level [L-N]/[N-PE] (U_p)	≤ 1.5 / ≤ 1.5 kV
Follow current extinguishing capability [L-N]/[N-PE] (I_{cc})	25 kA _{ms} / 100 A _{ms}
Follow current limitation/Selectivity	no tripping of a 32 A gL/gG fuse up to 25 kA _{ms} (prosp.)
Response time (t_d)	≤ 100 ns
Max. mains-side overcurrent protection	160 A gL/gG
Temporary overvoltage (TOV) [L-N] (U_T)	440 V / 5 sec.
Temporary overvoltage (TOV) [N-PE] (U_T)	1200 V / 200 ms
TOV characteristics	withstand
Operating temperature range (T_0)	-40 °C...+80 °C
Operating state/fault indication	green / red
Number of ports	1
Cross-sectional area (L1, L2, L3, N, PE, \pm) (min.)	1.5 mm ² solid/flexible
Cross-sectional area (L1, L2, L3, N, PE, \pm) (max.)	35 mm ² stranded/25 mm ² flexible
For mounting on	35 mm DIN rail acc. to EN 60715
Enclosure material	thermoplastic, red, UL 94 V-0
Place of installation	indoor installation
Degree of protection	IP 20
Capacity	4 modules, DIN 43880

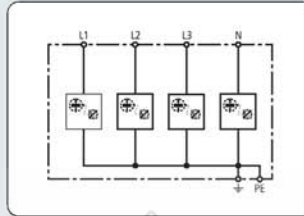
DEHNshield®

Red / Line

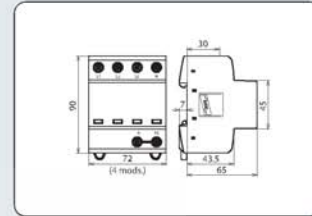
DEHNshield TNS

Combined SPDs – Type 1

Combined SPDs - Type 1



Basic circuit diagram DSH TNS 255



Dimension drawing DSH TNS 255

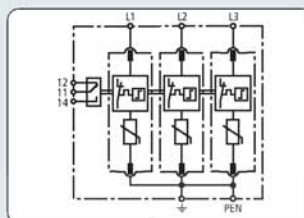
- Application-optimised prewired spark-gap-based combined lightning current and surge arrester
- Space-saving arrester for compact and simply equipped electrical installations with reduced technical requirements
- Capable of protecting terminal equipment

Application-optimised prewired combined lightning current and surge arrester for TN-S systems

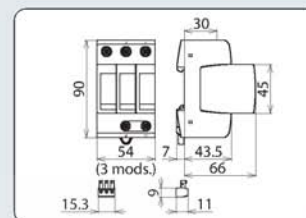
Type	DSH TNS 255
Part No.	941 400
SPD according to EN 61643-11 / IEC 61643-1/-11	Type 1 / Class I
Energy coordination with terminal equipment	Type 1 + Type 2
Energy coordination with terminal equipment (≤ 5 m)	Type 1 + Type 2 + Type 3
Nominal a.c. voltage (U _n)	230 / 400 V
Max. continuous operating a.c. voltage (U _c)	255 V
Lightning impulse current (10/350 μs) [L1+L2+L3+N-PE] (I _{test})	50 kA
Specific energy [L1+L2+L3+N-PE] (W/R)	625.00 kJ/ohms
Lightning impulse current (10/350 μs) [L, N-PE] (I _{imp})	12.5 kA
Specific energy [L,N-PE] (W/R)	39.06 kJ/ohms
Nominal discharge current (8/20 μs) (I _n)	12.5 / 50 kA
Voltage protection level [L-PE]/[N-PE] (U _p)	≤ 1.5 / ≤ 1.5 kV
Follow current extinguishing capability a.c. (I _{cc})	25 kA _{ms}
Follow current limitation/Selectivity	no tripping of a 32 A gL/gG fuse up to 25 kA _{ms} (prosp.)
Response time (t _a)	≤ 100 ns
Max. mains-side overcurrent protection	160 A gL/gG
Temporary overvoltage (TOV) [L-N] (U _T)	440 V / 5 sec.
TOV characteristics	withstand
Operating temperature range (T _U)	-40 °C...+80 °C
Operating state/fault indication	green / red
Number of ports	1
Cross-sectional area (L1, L2, L3, N, PE, ±) (min.)	1.5 mm ² solid/flexible
Cross-sectional area (L1, L2, L3, N, PE, ±) (max.)	35 mm ² stranded/25 mm ² flexible
For mounting on	35 mm DIN rail acc. to EN 60715
Enclosure material	thermoplastic, red, UL 94 V-0
Place of installation	indoor installation
Degree of protection	IP 20
Capacity	4 modules, DIN 43880

DEHNgard® modular**Red Line****DEHNgard M TNC ... FM**

Type 2 Surge Arresters



Basic circuit diagram DG M TNC ... FM



Dimension drawing DG M TNC ... FM

- **Prewired complete unit** consisting of a base part and plug-in protection modules
- **High discharge capacity** due to heavy-duty zinc oxide varistors/spark gaps
- **High reliability** due to "Thermo Dynamic Control" SPD monitoring device

Modular surge arrester for use in TN-C systems; with floating changeover contact

Surge Arresters Type 2

Type	DG M TNC 150 FM	DG M TNC 275 FM	DG M TNC 385 FM	DG M TNC 440 FM
Part No.	952 318	952 305	952 319	952 308
SPD according to EN 61643-11	Type 2	Type 2	Type 2	Type 2
SPD according to IEC 61643-1/-11	Class II	Class II	Class II	Class II
Nominal a.c. voltage (U_n)	120/240 V	230/400 V	230/400 V	400/690 V
Max. continuous operating a.c. voltage (U_c)	150 V	275 V	385 V	440 V
Nominal discharge current (8/20 μ s) (I_n)	15 kA	20 kA	20 kA	20 kA
Max. discharge current (8/20 μ s) (I_{max})	40 kA	40 kA	40 kA	40 kA
Voltage protection level (U_p)	≤ 0.7 kV	≤ 1.25 kV	≤ 1.75 kV	≤ 2 kV
Voltage protection level at 5 kA (U_{p5})	≤ 0.55 kV	≤ 1 kV	≤ 1.35 kV	≤ 1.7 kV
Response time (t_d)	≤ 25 ns	≤ 25 ns	≤ 25 ns	≤ 25 ns
Max. mains-side overcurrent protection	125 A gL/gG	125 A gL/gG	125 A gL/gG	125 A gL/gG
Short-circuit withstand capability for max. mains-side overcurrent protection	50 kA _{rms}	50 kA _{rms}	25 kA _{rms}	25 kA _{rms}
Temporary overvoltage (TOV) (U_T)	175 V / 5 sec.	335 V / 5 sec.	385 V / 5 sec.	580 V / 5 sec.
TOV characteristics	withstand	withstand	withstand	withstand
Operating temperature range (T_u)	-40°C...+80°C	-40°C...+80°C	-40°C...+80°C	-40°C...+80°C
Operating state/fault indication	green / red	green / red	green / red	green / red
Number of ports	1	1	1	1
Cross-sectional area (min.)		1.5 mm ² solid/flexible		
Cross-sectional area (max.)		35 mm ² stranded/25 mm ² flexible		
For mounting on		35 mm DIN rail acc. to EN 60715		
Enclosure material		thermoplastic, red, UL 94 V-0		
Place of installation	indoor installation	Indoor installation	indoor installation	indoor installation
Degree of protection	IP 20	IP 20	IP 20	IP 20
Capacity	3 modules, DIN 43880	3 modules, DIN 43880	3 modules, DIN 43880	3 modules, DIN 43880
Approvals	KEMA, UL	KEMA, VDE, UL, VdS	KEMA, UL	KEMA, UL, VdS
Type of remote signalling contact	changeover contact	changeover contact	changeover contact	changeover contact
a.c. switching capacity	250 V/0.5 A	250 V/0.5 A	250 V/0.5 A	250 V/0.5 A
d.c. switching capacity		250 V/0.1 A; 125 V/0.2 A; 75 V/0.5 A		
Cross-sectional area for remote signalling terminals		max. 1.5 mm ² solid/flexible		

Accessory for DEHNgard® modular**Varistor-Based Protection Module**

Varistor-based protection module for DEHNgard M ... and DEHNgard S ... surge arresters



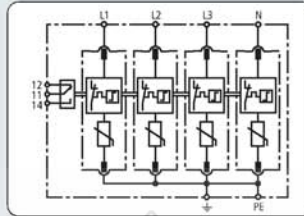
Type DG MOD ...	150	275	385	440
Part No.	952 012	952 010	952 014	952 015
Max. continuous operating a.c. voltage (U_c)	150 V	275 V	385 V	440 V

DEHNgard® modular

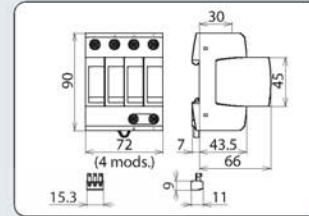
Red Line

DEHNgard M TNS ... FM

Type 2 Surge Arresters



Basic circuit diagram DG M TNS ... FM



Dimension drawing DG M TNS ... FM

- **Prewired complete unit** consisting of a base part and plug-in protection modules
- **High discharge capacity** due to heavy-duty zinc oxide varistors/spark gaps
- **High reliability** due to "Thermo Dynamic Control" SPD monitoring device

Modular surge arrester for use in TN-S systems; with floating changeover contact

Surge Arresters Type 2

Type	DG M TNS 150 FM	DG M TNS 275 FM	DG M TNS 385 FM
Part No.	952 408	952 405	952 409
SPD according to EN 61643-11	Type 2	Type 2	Type 2
SPD according to IEC 61643-1/-11	Class II	Class II	Class II
Nominal a.c. voltage (U _n)	120/240 V	230/400 V	230/400 V
Max. continuous operating a.c. voltage (U _c)	150 V	275 V	385 V
Nominal discharge current (8/20 μs) (I _n)	15 kA	20 kA	20 kA
Max. discharge current (8/20 μs) (I _{max})	40 kA	40 kA	40 kA
Voltage protection level (U _v)	≤ 0.7 kV	≤ 1.25 kV	≤ 1.75 kV
Voltage protection level at 5 kA (U _{v5})	≤ 0.55 kV	≤ 1 kV	≤ 1.35 kV
Response time (t _d)	≤ 25 ns	≤ 25 ns	≤ 25 ns
Max. mains-side overcurrent protection	125 A gL/gG	125 A gL/gG	125 A gL/gG
Short-circuit withstand capability for max. mains-side overcurrent protection	50 kA _{ms}	50 kA _{ms}	25 kA _{ms}
Temporary overvoltage (TOV) (U _t)	175 V / 5 sec.	335 V / 5 sec.	385 V / 5 sec.
TOV characteristics	withstand	withstand	withstand
Operating temperature range (T _o)	-40°C...+80°C	-40°C...+80°C	-40°C...+80°C
Operating state/fault indication	green / red	green / red	green / red
Number of ports	1	1	1
Cross-sectional area (min.)	1.5 mm ² solid/flexible	1.5 mm ² solid/flexible	1.5 mm ² solid/flexible
Cross-sectional area (max.)	35 mm ² stranded/25 mm ² flexible	35 mm ² stranded/25 mm ² flexible	35 mm ² stranded/25 mm ² flexible
For mounting on	35 mm DIN rail acc. to EN 60715	35 mm DIN rail acc. to EN 60715	35 mm DIN rail acc. to EN 60715
Enclosure material	thermoplastic, red, UL 94 V-0	thermoplastic, red, UL 94 V-0	thermoplastic, red, UL 94 V-0
Place of installation	indoor installation	indoor installation	indoor installation
Degree of protection	IP 20	IP 20	IP 20
Capacity	4 modules, DIN 43880	4 modules, DIN 43880	4 modules, DIN 43880
Approvals	KEMA, UL	KEMA, VDE, UL, VdS	KEMA, UL
Type of remote signalling contact	changeover contact	changeover contact	changeover contact
a.c. switching capacity	250 V/0.5 A	250 V/0.5 A	250 V/0.5 A
d.c. switching capacity	250 V/0.1 A; 125 V/0.2 A; 75 V/0.5 A	250 V/0.1 A; 125 V/0.2 A; 75 V/0.5 A	250 V/0.1 A; 125 V/0.2 A; 75 V/0.5 A
Cross-sectional area for remote signalling terminals	max. 1.5 mm ² solid/flexible	max. 1.5 mm ² solid/flexible	max. 1.5 mm ² solid/flexible

Accessory for DEHNgard® modular

Varistor-Based Protection Module

Varistor-based protection module for DEHNgard M ... and DEHNgard S ... surge arresters



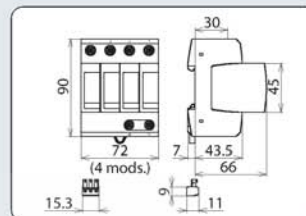
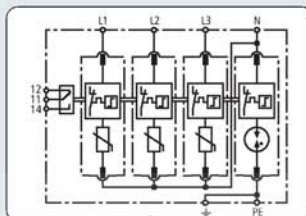
Type DG MOD ...	150	275	385
Part No.	952 012	952 010	952 014
Max. continuous operating a.c. voltage (U _c)	150 V	275 V	385 V

DEHNguard® modular

Red / Line

DEHNguard M TT ... FM

Type 2 Surge Arresters



Basic circuit diagram DG M TT ... FM

Dimension drawing DG M TT ... FM

- **Prewired complete unit consisting of a base part and plug-in protection modules**
- **High discharge capacity due to heavy-duty zinc oxide varistors/spark gaps**
- **High reliability due to "Thermo Dynamic Control" SPD monitoring device**

Modular surge arrester for use in TT and TN-S systems ("3+1" circuit); with floating remote signalling contact

Surge Arresters Type 2

Type	DG M TT 150 FM	DG M TT 275 FM	DG M TT 320 FM	DG M TT 385 FM
Part No.	952 328	952 315	952 325	952 316
SPD according to EN 61643-11	Type 2	Type 2	Type 2	Type 2
SPD according to IEC 61643-1/-11	Class II	Class II	Class II	Class II
Nominal a.c. voltage (U _n)	120/240 V	230/400 V	230/400 V	230/400 V
Max. continuous operating a.c. voltage [L-N] (U _c)	150 V	275 V	320 V	385 V
Max. continuous operating a.c. voltage [N-PE] (U _c)	255 V	255 V	255 V	255 V
Nominal discharge current (8/20 μs) (I _n)	15 kA	20 kA	20 kA	20 kA
Max. discharge current (8/20 μs) (I _{max})	40 kA	40 kA	40 kA	40 kA
Lightning impulse current (10/350 μs) [N-PE] (I _{imp})	12 kA	12 kA	12 kA	12 kA
Voltage protection level [L-N] (U _p)	≤ 0.7 kV	≤ 1.25 kV	≤ 1.5 kV	≤ 1.75 kV
Voltage protection level [L-N] at 5 kA (U _{p5})	≤ 0.55 kV	≤ 1 kV	≤ 1.2 kV	≤ 1.35 kV
Voltage protection level [N-PE] (U _p)	≤ 1.5 kV	≤ 1.5 kV	≤ 1.5 kV	≤ 1.5 kV
Follow current extinguishing capability [N-PE] (I _{fc})	100 A _{ms}	100 A _{ms}	100 A _{ms}	100 A _{ms}
Response time [L-N] (t _{dr})	≤ 25 ns	≤ 25 ns	≤ 25 ns	≤ 25 ns
Response time [N-PE] (t _{dr})	≤ 100 ns	≤ 100 ns	≤ 100 ns	≤ 100 ns
Max. mains-side overcurrent protection	125 A gL/gG	125 A gL/gG	125 A gL/gG	125 A gL/gG
Short-circuit withstand capability for max. mains-side overcurrent protection	50 kA _{ms}	50 kA _{ms}	25 kA _{ms}	25 kA _{ms}
Temporary overvoltage (TOV) [L-N] (U _t)	175 V / 5 sec.	335 V / 5 sec.	335 V / 5 sec.	385 V / 5 sec.
Temporary overvoltage (TOV) [N-PE] (U _t)	1200 V / 200 ms	1200 V / 200 ms	1200 V / 200 ms	1200 V / 200 ms
TOV characteristics	withstand	withstand	withstand	withstand
Operating temperature range (T _o)	-40°C...+80°C	-40°C...+80°C	-40°C...+80°C	-40°C...+80°C
Operating state/fault indication	green / red	green / red	green / red	green / red
Number of ports	1	1	1	1
Cross-sectional area (min.)		1.5 mm ² solid/flexible		
Cross-sectional area (max.)		35 mm ² stranded/25 mm ² flexible		
For mounting on		35 mm DIN rail acc. to EN 60715		
Enclosure material		thermoplastic, red, UL 94 V-0		
Place of installation	indoor installation	indoor installation	indoor installation	indoor installation
Degree of protection	IP 20	IP 20	IP 20	IP 20
Capacity	4 modules, DIN 43880	4 modules, DIN 43880	4 modules, DIN 43880	4 modules, DIN 43880
Approvals	—	KEMA, VDE, UL, Vds	KEMA	KEMA, UL
Type of remote signalling contact	changeover contact	changeover contact	changeover contact	changeover contact
a.c. switching capacity	250 V/0.5 A	250 V/0.5 A	250 V/0.5 A	250 V/0.5 A
d.c. switching capacity		250 V/0.1 A; 125 V/0.2 A; 75 V/0.5 A		
Cross-sectional area for remote signalling terminals		max. 1.5 mm ² solid/flexible		

Accessory for DEHNguard® modular

Accessory for DEHNguard® modular

Varistor-Based Protection Module

Varistor-based protection module for DEHNguard M ... and DEHNguard S ... surge arresters



Type DG MOD ...	150	275	320	385
Part No.	952 012	952 010	952 013	952 014
Max. continuous operating a.c. voltage (U _c)	150 V	275 V	320 V	385 V



N-PE Spark-Gap-Based Protection Module for DEHNguard M TT ...

N-PE spark-gap-based protection module for two-pole and four-pole DEHNguard DG M TT ... surge arresters

Type	DG MOD NPE
Part No.	952 050
Max. continuous operating a.c. voltage (U _c)	255 V

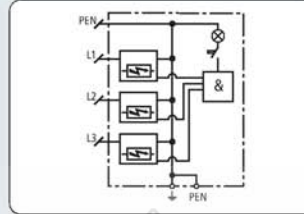
DEHNventil® ZP

Red Line

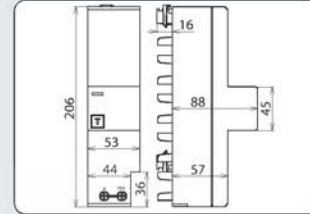
DEHNventil ZP TNC

Combined SPDs – Type 1

Combined SPDs Type 1



Basic circuit diagram DV ZP TNC 255



Dimension drawing DV ZP TNC 255

- Combined lightning current and surge arrester based on RADAX Flow spark gap technology
- Quick and easy installation by snapping the arrester onto 40 mm busbar systems
- Capable of protecting terminal equipment

Combined lightning current and surge arrester for TN-C systems for use in primary power systems ("3-0" circuit)

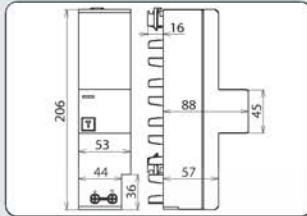
Type	DV ZP TNC 255
Part No.	900 390
SPD according to EN 61643-11	Type 1
SPD according to IEC 61643-1/-11	Class I
Energy coordination with terminal equipment	Type 1 + Type 2
Energy coordination with terminal equipment ($\leq 5\text{m}$)	Type 1 + Type 2 + Type 3
Nominal a.c. voltage (U_n)	230 / 400 V
Max. continuous operating a.c. voltage (U_c)	255 V
Lightning impulse current (10/350 μs) [L1+L2+L3-PEN] (I_{total})	75 kA
Specific energy [L1+L2+L3-PEN] (W/R)	1.40 MJ/ohms
Lightning impulse current (10/350 μs) [L-PEN] (I_{imp})	25 kA
Specific energy [L-PEN] (W/R)	156.25 kJ/ohms
Nominal discharge current (8/20 μs) (I_n)	25 / 75 kA
Voltage protection level (U_p)	$\leq 1.5\text{ kV}$
Follow current extinguishing capability a.c. (I_{fc})	25 kA _{ms}
Follow current limitation/Selectivity	no tripping of a 32 A gL/gG fuse up to 25 kA _{ms} (prosp.)
Response time (t_d)	$\leq 100\text{ ns}$
Max. backup fuse up to $I_{\text{fc}} = 25\text{ kA}_{\text{ms}}$	315 A gL/gG
Max. backup fuse for $I_{\text{fc}} > 25\text{ kA}_{\text{ms}}$	200 A gL/gG
Temporary overvoltage (TOV) (U_T)	335 V / 5 sec.
TOV characteristics	withstand
Operating temperature range (T_{op})	-40°C...+80°C
Operating state indication	button with indicator light
Number of ports	1
Cross-sectional area (PEN, ϕ)	10-35 mm ² flexible/50 mm ² stranded
For mounting on	40 mm busbar systems
Enclosure material	thermoplastic, red, UL 94 V-0
Place of installation	indoor installation
Degree of protection	IP 20
Capacity	3 modules, DIN 43880
Approvals	VDE

Red/Line

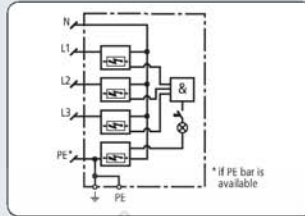
Combined SPDs – Type 1

DEHNventil® ZP

DEHNventil ZP TT



Dimension drawing DV ZP TT 255



Basic circuit diagram DV ZP TT 255



Combined SPDs Type 1

Combined lightning current and surge arrester for TT and TN-S systems for use in primary power systems ("3+1" circuit)

- Combined lightning current and surge arrester based on RADAX Flow spark gap technology
- Quick and easy installation by snapping the arrester onto 40 mm busbar systems
- Capable of protecting terminal equipment

Type	DV ZP TT 255
Part No.	900 391
SPD according to EN 61643-11	Type 1
SPD according to IEC 61643-11-11	Class I
Energy coordination with terminal equipment	Type 1 + Type 2
Energy coordination with terminal equipment (≤ 5m)	Type 1 + Type 2 + Type 3
Nominal a.c. voltage (U _n)	230 / 400 V
Max. continuous operating a.c. voltage (U _c)	255 V
Lightning impulse current (10/350 μs) [L1+L2+L3+N-PE] (I _{imp})	100 kA
Specific energy [L1+L2+L3+N-PE] (W/R)	2.50 MJ/ohms
Lightning impulse current (10/350 μs) [L-N] (I _{imp})	25 kA
Specific energy [L-N] (W/R)	156.25 kJ/ohms
Lightning impulse current (10/350 μs) [N-PE] (I _{imp})	100 kA
Specific energy [N-PE] (W/R)	2.50 MJ/ohms
Nominal discharge current (8/20 μs) (I _n)	25 / 100 kA
Voltage protection level [L-N] (U _p)	≤ 1.5 kV
Voltage protection level [N-PE] (U _p)	≤ 1.5 kV
Follow current extinguishing capability [L-N] a.c. (I _{cc})	25 kA _{max}
Follow current extinguishing capability [N-PE] a.c. (I _{cc})	100 A _{max}
Follow current limitation/Selectivity	no tripping of a 32 A gL/gG fuse up to 25 kA _{max} (prosp.)
Response time (t _d)	≤ 100 ns
Max. backup fuse up to I _k = 25 kA _{max}	315 A gL/gG
Max. backup fuse for I _k > 25 kA _{max}	200 A gL/gG
Temporary overvoltage (TOV) [L-N] (U _t)	335 V / 5 sec
Temporary overvoltage (TOV) [N-PE] (U _t)	1200 V / 200 ms
TOV characteristics	withstand
Operating temperature range (T _o)	-40°C...+80°C
Function monitoring	button with indicator light
Number of ports	1
Cross-sectional area (PE, ±)	10-35 mm ² flexible/50 mm ² stranded
For mounting on	40 mm busbar systems
Enclosure material	thermoplastic, red, UL 94 V-0
Place of installation	indoor installation
Degree of protection	IP 20
Capacity	3 modules, DIN 43880
Approvals	VDE

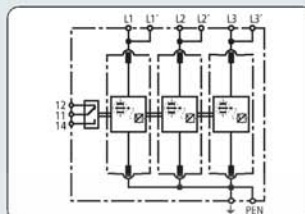
DEHNventil® modular

Red Line

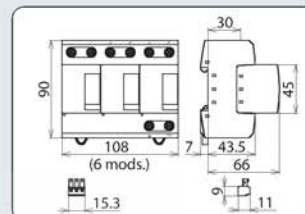
DEHNventil M TNC (FM)

Combined SPDs – Type 1

Combined SPDs Type 1



Basic circuit diagram DV M TNC 255 FM



Dimension drawing DV M TNC 255 (FM)

- **Prewired spark-gap-based combined lightning current and surge arrester consisting of a base part and plug-in protection modules**
- **Maximum system availability due to RADAX Flow follow current limitation**
- **Capable of protecting terminal equipment**

Modular combined lightning current and surge arrester for protecting TN-C systems against surges

Type	DV M TNC 255	DV M TNC 255 FM
Part No.	951 300	951 305
SPD according to EN 61643-11 / IEC 61643-1/-11	Type 1 / Class I	Type 1 / Class I
Energy coordination with terminal equipment	Type 1 + Type 2	Type 1 + Type 2
Energy coordination with terminal equipment (≤ 5m)	Type 1 + Type 2 + Type 3	Type 1 + Type 2 + Type 3
Nominal a.c. voltage (U _n)	230 / 400 V	230 / 400 V
Max. continuous operating a.c. voltage (U _c)	255 V	255 V
Lightning impulse current (10/350 μs) [L1+L2+L3-PEN] (I _{total})	75 kA	75 kA
Specific energy [L1+L2+L3-PEN] (W/R)	1.40 MJ/ohms	1.40 MJ/ohms
Lightning impulse current (10/350 μs) [L-PEN] (I _{imp})	25 kA	25 kA
Specific energy [L-PEN] (W/R)	156.25 kJ/ohms	156.25 kJ/ohms
Nominal discharge current (8/20 μs) (I _n)	25 / 75 kA	25 / 75 kA
Voltage protection level (U _v)	≤ 1.5 kV	≤ 1.5 kV
Follow current extinguishing capability a.c. (I _{fc})	50 kA _{rms}	50 kA _{ms}
Follow current limitation/Selectivity	no tripping of a 20 A gL/gG fuse up to 50 kA _{ms} (prosp.)	no tripping of a 20 A gL/gG fuse up to 50 kA _{ms} (prosp.)
Response time (t _a)	≤ 100 ns	≤ 100 ns
Max. backup fuse (I) up to I _c = 50 kA _{ms}	315 A gL/gG	315 A gL/gG
Max. backup fuse (I) for I _c > 50 kA _{ms}	200 A gL/gG	200 A gL/gG
Max. backup fuse (L-L')	125 A gL/gG	125 A gL/gG
Temporary overvoltage (TOV) (U _t)	440 V / 5 sec.	440 V / 5 sec.
TOV characteristics	withstand	withstand
Operating temperature range [parallel]/[series] (T _{th})	-40°C...+80°C / -40°C...+60°C	-40°C...+80°C / -40°C...+60°C
Operating state/fault indication	green / red	green / red
Number of ports	1	1
Cross-sectional area (L1, L1', L2, L2', L3, L3', PEN, ±) (min.)	10 mm ² solid/flexible	10 mm ² solid/flexible
Cross-sectional area (L1, L2, L3, PEN) (max.)	50 mm ² stranded/35 mm ² flexible	50 mm ² stranded/35 mm ² flexible
Cross-sectional area (L1', L2', L3', ±) (max.)	35 mm ² stranded/25 mm ² flexible	35 mm ² stranded/25 mm ² flexible
For mounting on	35 mm DIN rail acc. to EN 60715	35 mm DIN rail acc. to EN 60715
Enclosure material	thermoplastic, red, UL 94 V-0	thermoplastic, red, UL 94 V-0
Place of installation	indoor installation	indoor installation
Degree of protection	IP 20	IP 20
Capacity	6 modules, DIN 43880	6 modules, DIN 43880
Approvals	KEMA, VDE, UL, VdS	KEMA, VDE, UL, VdS
Type of remote signalling contact	—	changeover contact
a.c. switching capacity	—	250 V/0.5 A
d.c. switching capacity	—	250 V/0.1 A; 125 V/0.2 A; 75 V/0.5 A
Cross-sectional area for remote signalling terminals	—	max. 1.5 mm ² solid/flexible

Accessory for DEHNventil® modular

Spark-Gap-Based Protection Module

Spark-gap-based protection module



Type	DV MOD 255
Part No.	951 001
Max. continuous operating a.c. voltage (U _c)	255 V

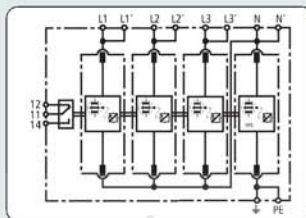
DEHNventil® modular

Red Line

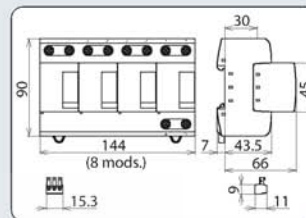
DEHNventil M TT (FM)

Combined SPDs – Type 1

Combined SPDs Type 1



Basic circuit diagram DV M TT 255 FM



Dimension drawing DV M TT 255 (FM)

- **Prewired spark-gap-based combined lightning current and surge arrester consisting of a base part and plug-in protection modules**
- **Maximum system availability due to RADAX Flow follow current limitation**
- **Capable of protecting terminal equipment**

Modular combined lightning current and surge arrester for protecting TT and TN-S systems (*3+1* circuit) against surges

Type	DV M TT 255	DV M TT 255 FM
Part No.	951 310	951 315
SPD according to EN 61643-11 / IEC 61643-1/-11	Type 1 / Class I	Type 1 / Class I
Energy coordination with terminal equipment	Type 1 + Type 2	Type 1 + Type 2
Energy coordination with terminal equipment (≤ 5m)	Type 1 + Type 2 + Type 3	Type 1 + Type 2 + Type 3
Nominal a.c. voltage (U _n)	230 / 400 V	230 / 400 V
Max. continuous operating a.c. voltage (U _c)	255 V	255 V
Lightning impulse current (10/350 μs) [L1+L2+L3+N-PE] (I _{imp})	100 kA	100 kA
Specific energy [L1+L2+L3+N-PE] (W/R)	2.50 MJ/ohms	2.50 MJ/ohms
Lightning impulse current (10/350 μs) [L-N]/[N-PE] (I _{imp})	25 / 100 kA	25 / 100 kA
Specific energy [L-N]/[N-PE] (W/R)	156.25 kJ/ohms / 2.50 MJ/ohms	156.25 kJ/ohms / 2.50 MJ/ohms
Nominal discharge current (8/20 μs) (I _n)	25 / 100 kA	25 / 100 kA
Voltage protection level [L-N]/[N-PE] (U _p)	≤ 1.5 kV / ≤ 1.5 kV	≤ 1.5 kV / ≤ 1.5 kV
Follow current extinguishing capability [L-N]/[N-PE] (I _{cc})	50 kA _{ms} / 100 A _{ms}	50 kA _{ms} / 100 A _{ms}
Follow current limitation/Selectivity	no tripping of a 20 A gL/gG fuse up to 50 kA _{ms} (prosp.)	no tripping of a 20 A gL/gG fuse up to 50 kA _{ms} (prosp.)
Response time (t _a)	≤ 100 ns	≤ 100 ns
Max. backup fuse (I) up to I _c = 50 kA _{ms}	315 A gL/gG	315 A gL/gG
Max. backup fuse (I) for I _c > 50 kA _{ms}	200 A gL/gG	200 A gL/gG
Max. backup fuse (L-L')	125 A gL/gG	125 A gL/gG
Temporary overvoltage (TOV) [L-N] (U _t)	440 V / 5 sec	440 V / 5 sec
Temporary overvoltage (TOV) [N-PE] (U _t)	1200 V / 200 ms	1200 V / 200 ms
TOV characteristics	withstand	withstand
Operating temperature range [parallel]/[series] (T _o)	-40°C...+80°C / -40°C...+60°C	-40°C...+80°C / -40°C...+60°C
Operating state/fault indication	green / red	green / red
Number of ports	1	1
Cross-sectional area (L1, L1', L2, L2', L3, L3', N, N', PE, -) (min.)	10 mm ² solid/flexible	10 mm ² solid/flexible
Cross-sectional area (L1, L2, L3, N, PE) (max.)	50 mm ² stranded/35 mm ² flexible	50 mm ² stranded/35 mm ² flexible
Cross-sectional area (L1', L2', L3', N', -) (max.)	35 mm ² stranded/25 mm ² flexible	35 mm ² stranded/25 mm ² flexible
For mounting on	35 mm DIN rail acc. to EN 60715	35 mm DIN rail acc. to EN 60715
Enclosure material	thermoplastic, red, UL 94 V-0	thermoplastic, red, UL 94 V-0
Place of installation	indoor installation	indoor installation
Degree of protection	IP 20	IP 20
Capacity	8 modules, DIN 43880	8 modules, DIN 43880
Approvals	KEMA, VDE, UL, VdS	KEMA, VDE, UL, VdS
Type of remote signalling contact	—	changeover contact
a.c. switching capacity	—	250 V/0.5 A
d.c. switching capacity	—	250 V/0.1 A; 125 V/0.2 A; 75 V/0.5 A
Cross-sectional area for remote signalling terminals	—	max. 1.5 mm ² solid/flexible

Accessory for DEHNventil® modular

Accessory for DEHNventil® modular

Spark-Gap-Based Protection Module

Spark-gap-based protection module



Type	DV MOD 255
Part No.	951 001
Max. continuous operating a.c. voltage (U _c)	255 V

N-PE Spark-Gap-Base Protection Module

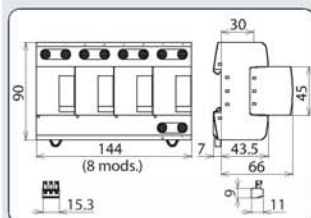
100 kA N-PE spark-gap-base protection module



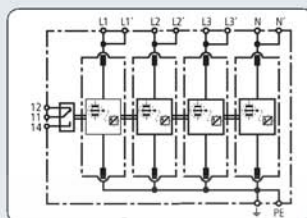
Type	DV MOD NPE 100
Part No.	951 100
Max. continuous operating a.c. voltage (U _c)	255 V

Red/Line

Combined SPDs – Type 1



Dimension drawing DV M TNS 255 (FM)



Basic circuit diagram DV M TNS 255 FM

Modular combined lightning current and surge arrester for protecting TN-S systems against surges

DEHNventil® modular

DEHNventil M TNS (FM)



Combined SPDs Type 1

- Prewired spark-gap-based combined lightning current and surge arrester consisting of a base part and plug-in protection modules
- Maximum system availability due to RADAX Flow follow current limitation
- Capable of protecting terminal equipment

Type	DV M TNS 255	DV M TNS 255 FM
Part No.	951 400	951 405
SPD according to EN 61643-11 / IEC 61643-1/-11	Type 1 / Class 1	Type 1 / Class 1
Energy coordination with terminal equipment	Type 1 + Type 2	Type 1 + Type 2
Energy coordination with terminal equipment ($\leq 5m$)	Type 1 + Type 2 + Type 3	Type 1 + Type 2 + Type 3
Nominal a.c. voltage (U_n)	230 / 400 V	230 / 400 V
Max. continuous operating a.c. voltage (U_c)	255 V	255 V
Lightning impulse current (10/350 μs) [L1+L2+L3+N-PE] (I_{total})	100 kA	100 kA
Specific energy [L1+L2+L3+N-PE] (W/R)	2.50 MJ/ohms	2.50 MJ/ohms
Lightning impulse current (10/350 μs) [L, N-PE] (I_{imp})	25 kA	25 kA
Specific energy [L,N-PE] (W/R)	156.25 kJ/ohms	156.25 kJ/ohms
Nominal discharge current (8/20 μs) (I_n)	25 / 100 kA	25 / 100 kA
Voltage protection level [L-PE]/[N-PE] (U_p)	≤ 1.5 kV / ≤ 1.5 kV	≤ 1.5 kV / ≤ 1.5 kV
Follow current extinguishing capability a.c. (I_{cc})	50 kA _{max}	50 kA _{max}
Follow current limitation/Selectivity	no tripping of a 20 A gL/gG fuse up to 50 kA _{max} (prosp.)	no tripping of a 20 A gL/gG fuse up to 50 kA _{max} (prosp.)
Response time (t_d)	≤ 100 ns	≤ 100 ns
Max. backup fuse (L) up to $I_k = 50$ kA _{max}	315 A gL/gG	315 A gL/gG
Max. backup fuse (L) for $I_k > 50$ kA _{max}	200 A gL/gG	200 A gL/gG
Max. backup fuse (L-L')	125 A gL/gG	125 A gL/gG
Temporary overvoltage (TOV) [L-N] (U_T)	440 V / 5 sec.	440 V / 5 sec.
TOV characteristics	withstand	withstand
Operating temperature range [parallel]/[series] (T_{op})	-40°C...+80°C / -40°C...+60°C	-40°C...+80°C / -40°C...+60°C
Operating state/fault indication	green / red	green / red
Number of ports	1	1
Cross-sectional area (L1, L1', L2, L2', L3, L3', N, N', PE, \pm) (min.)	10 mm ² solid/flexible	10 mm ² solid/flexible
Cross-sectional area (L1, L2, L3, N, PE) (max.)	50 mm ² stranded/35 mm ² flexible	50 mm ² stranded/35 mm ² flexible
Cross-sectional area (L1', L2', L3', N', \pm) (max.)	35 mm ² stranded/25 mm ² flexible	35 mm ² stranded/25 mm ² flexible
For mounting on	35 mm DIN rail acc. to EN 60715	35 mm DIN rail acc. to EN 60715
Enclosure material	thermoplastic, red, UL 94 V-0	thermoplastic, red, UL 94 V-0
Place of installation	indoor installation	indoor installation
Degree of protection	IP 20	IP 20
Capacity	8 modules, DIN 43880	8 modules, DIN 43880
Approvals	KEMA, VDE, UL, VdS	KEMA, VDE, UL, VdS
Type of remote signalling contact	—	changeover contact
a.c. switching capacity	—	250 V/0.5 A
d.c. switching capacity	—	250 V/0.1 A; 125 V/0.2 A; 75 V/0.5 A
Cross-sectional area for remote signalling terminals	—	max. 1.5 mm ² solid/flexible

Accessory for DEHNventil® modular**Spark-Gap-Based Protection Module**

Spark-gap-based protection module

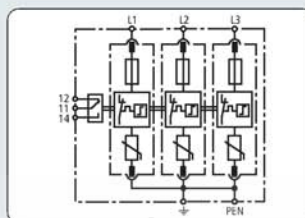
Type	DV MOD 255
Part No.	951 001
Max. continuous operating a.c. voltage (U_c)	255 V



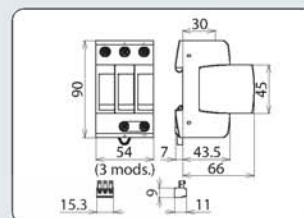
DEHNgard® modular with integrated Backup Fuse

Red / Line
DEHNgard M TNC CI ... (FM)

Type 2 Surge Arresters



Basic circuit diagram DG M TNC CI ... FM



Dimension drawing DG M TNC CI ... FM

- Arrester backup fuse integrated in the protection module
- Prewired complete unit consisting of a base part and plug-in protection modules
- High reliability due to "Thermo Dynamic Control" SPD monitoring device

Modular surge arrester with integrated backup fuses for TN-C systems

Type	DG M TNC CI 275	DG M TNC CI 275 FM
Part No.	952 304	952 309
SPD according to EN 61643-11	Type 2	Type 2
SPD according to IEC 61643-1/-11	Class II	Class II
Nominal a.c. voltage (U_n)	230/400 V	230/400 V
Max. continuous operating a.c. voltage (U_c)	275 V	275 V
Nominal discharge current (8/20 μ s) (I_n)	12.5 kA	12.5 kA
Max. discharge current (8/20 μ s) (I_{max})	25 kA	25 kA
Voltage protection level (U_p)	≤ 1.5 kV	≤ 1.5 kV
Voltage protection level at 5 kA (U_p)	≤ 1 kV	≤ 1 kV
Response time (t_d)	≤ 25 ns	≤ 25 ns
Max. mains-side overcurrent protection	not required	not required
Short-circuit withstand capability	25 kA _{ms}	25 kA _{ms}
Temporary overvoltage (TOV) (U_T)	335 V / 5 sec.	335 V / 5 sec.
TOV characteristics	withstand	withstand
Operating temperature range (T_{op})	-40°C...+80°C	-40°C...+80°C
Operating state/fault indication	green / red	green / red
Number of ports	1	1
Cross-sectional area (min.)	1.5 mm ² solid/flexible	1.5 mm ² solid/flexible
Cross-sectional area (max.)	35 mm ² stranded/25 mm ² flexible	35 mm ² stranded/25 mm ² flexible
For mounting on	35 mm DIN rail acc. to EN 60715	35 mm DIN rail acc. to EN 60715
Enclosure material	thermoplastic, red, UL 94 V-0	thermoplastic, red, UL 94 V-0
Place of installation	indoor installation	indoor installation
Degree of protection	IP 20	IP 20
Capacity	3 modules, DIN 43880	3 modules, DIN 43880
Approvals	KEMA, VDE	KEMA, VDE
Type of remote signalling contact		changeover contact
a.c. switching capacity		250 V/0.5 A
d.c. switching capacity		250 V/0.1 A; 125 V/0.2 A; 75 V/0.5 A
Cross-sectional area for remote signalling terminals		max. 1.5 mm ² solid/flexible

Surge Arresters Type 2

Accessory for DEHNgard® modular with integrated Backup Fuse

Varistor-Based Protection Module for DEHNgard M CI

Protection module for DEHNgard M ... CI.275 arresters comprising a varistor connected in series with the integrated backup fuse



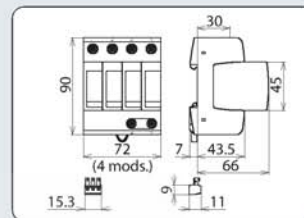
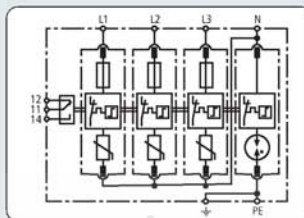
Type	DG MOD CI 275
Part No.	952 020
Max. continuous operating a.c. voltage (U_c)	275 V

DEHNgard® modular with integrated Backup Fuse

Red / Line

DEHNgard M TT CI ... (FM)

Type 2 Surge Arresters



- Arrester backup fuse integrated in the protection module
- Prewired complete unit consisting of a base part and plug-in protection modules
- High reliability due to "Thermo Dynamic Control" SPD monitoring device

Basic circuit diagram DG M TT CI ... FM
Dimension drawing DG M TT CI ... FM
Modular surge arrester with integrated backup fuses for TT and TN-S systems ("3+1" circuits)

Surge Arresters Type 2

Type	DG M TT CI 275	DG M TT CI 275 FM
Part No.	952 322	952 327
SPD according to EN 61643-11	Type 2	Type 2
SPD according to IEC 61643-1/-11	Class II	Class II
Nominal a.c. voltage (U _n)	230/400 V	230/400 V
Max. continuous operating a.c. voltage [L-N] (U _c)	275 V	275 V
Max. continuous operating a.c. voltage [N-PE] (U _c)	255 V	255 V
Nominal discharge current (8/20 μs) [L-N] (I _n)	12.5 kA	12.5 kA
Nominal discharge current (8/20 μs) [N-PE] (I _n)	20 kA	20 kA
Max. discharge current (8/20 μs) [L-N] (I _{max})	25 kA	25 kA
Max. discharge current (8/20 μs) [N-PE] (I _{max})	40 kA	40 kA
Lightning impulse current (10/350 μs) [N-PE] (I _{imp})	12 kA	12 kA
Voltage protection level [L-N] (U _v)	≤ 1.5 kV	≤ 1.5 kV
Voltage protection level [L-N] at 5 kA (U _{v5})	≤ 1 kV	≤ 1 kV
Voltage protection level [N-PE] (U _v)	≤ 1.5 kV	≤ 1.5 kV
Follow current extinguishing capability [N-PE] (I _{fc})	100 A _{max}	100 A _{max}
Response time [L-N] (t _d)	≤ 25 ns	≤ 25 ns
Response time [N-PE] (t _d)	≤ 100 ns	≤ 100 ns
Max. mains-side overcurrent protection	not required	not required
Short-circuit withstand capability	25 kA _{max}	25 kA _{max}
Temporary overvoltage (TOV) [L-N] (U _t)	335 V / 5 sec.	335 V / 5 sec.
Temporary overvoltage (TOV) [N-PE] (U _t)	1200 V / 200 ms	1200 V / 200 ms
TOV characteristics	withstand	withstand
Operating temperature range (T _o)	-40°C...+80°C	-40°C...+80°C
Operating state/fault indication	green / red	green / red
Number of ports	1	1
Cross-sectional area (min.)	1.5 mm ² solid/flexible	1.5 mm ² solid/flexible
Cross-sectional area (max.)	35 mm ² stranded/25 mm ² flexible	35 mm ² stranded/25 mm ² flexible
For mounting on	35 mm DIN rail acc. to EN 60715	35 mm DIN rail acc. to EN 60715
Enclosure material	thermoplastic, red, UL 94 V-0	thermoplastic, red, UL 94 V-0
Place of installation	indoor installation	indoor installation
Degree of protection	IP 20	IP 20
Capacity	4 modules, DIN 43880	4 modules, DIN 43880
Approvals	KEMA, VDE	KEMA, VDE
Type of remote signalling contact	—	changeover contact
a.c. switching capacity	—	250 V/0.5 A
d.c. switching capacity	—	250 V/0.1 A; 125 V/0.2 A; 75 V/0.5 A
Cross-sectional area for remote signalling terminals	—	max. 1.5 mm ² solid/flexible

Accessory for DEHNgard® modular with integrated Backup Fuse

Accessory for DEHNgard® modular with integrated Backup Fuse

Varistor-Based Protection Module for DEHNgard M CI

Protection module for DEHNgard M ... CI 275 arresters comprising a varistor connected in series with the integrated backup fuse



Type	DG MOD CI 275
Part No.	952 020
Max. continuous operating a.c. voltage (U _c)	275 V



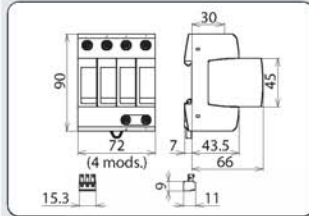
N-PE Spark-Gap-Based Protection Module for DEHNgard M TT ...

N-PE spark-gap-based protection module for two-pole and four-pole DEHNgard DG M TT ... surge arresters

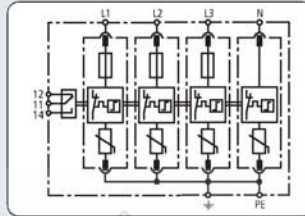
Type	DG MOD NPE
Part No.	952 050
Max. continuous operating a.c. voltage (U _c)	255 V

Type 2 Surge Arresters

DEHNgard M TNS CI ... (FM)



Dimension drawing DG M TNS CI ... FM



Basic circuit diagram DG M TNS CI ... FM



- Arrester backup fuse integrated in the protection module
- Prewired complete unit consisting of a base part and plug-in protection modules
- High reliability due to "Thermo Dynamic Control" SPD monitoring device

Modular surge arrester with integrated backup fuses for TN-S systems

Type	DG M TNS CI 275	DG M TNS CI 275 FM
Part No.	952 401	952 406
SPD according to EN 61643-11	Type 2	Type 2
SPD according to IEC 61643-1/-11	Class II	Class II
Nominal a.c. voltage (U _n)	230/400 V	230/400 V
Max. continuous operating a.c. voltage (U _c)	275 V	275 V
Nominal discharge current (8/20 μs) (I _n)	12.5 kA	12.5 kA
Max. discharge current (8/20 μs) (I _{max})	25 kA	25 kA
Voltage protection level (U _p)	≤ 1.5 kV	≤ 1.5 kV
Voltage protection level at 5 kA (U _{p5})	≤ 1 kV	≤ 1 kV
Response time (t _a)	≤ 25 ns	≤ 25 ns
Max. mains-side overcurrent protection	not required	not required
Short-circuit withstand capability	25 kA _{ms}	25 kA _{ms}
Temporary overvoltage (TOV) (U _T)	335 V / 5 sec. withstand	335 V / 5 sec. withstand
TOV characteristics	withstand	withstand
Operating temperature range (T _o)	-40°C...+80°C	-40°C...+80°C
Operating state/fault indication	green / red	green / red
Number of ports	1	1
Cross-sectional area (min.)	1.5 mm ² solid/flexible	1.5 mm ² solid/flexible
Cross-sectional area (max.)	35 mm ² stranded/25 mm ² flexible	35 mm ² stranded/25 mm ² flexible
For mounting on	35 mm DIN rail acc. to EN 60715	35 mm DIN rail acc. to EN 60715
Enclosure material	thermoplastic, red, UL 94 V-0	thermoplastic, red, UL 94 V-0
Place of installation	indoor installation	indoor installation
Degree of protection	IP 20	IP 20
Capacity	4 modules, DIN 43880	4 modules, DIN 43880
Approvals	KEMA, VDE	KEMA, VDE
Type of remote signalling contact	—	changeover contact
a.c. switching capacity	—	250 V/0.5 A
d.c. switching capacity	—	250 V/0.1 A; 125 V/0.2 A; 75 V/0.5 A
Cross-sectional area for remote signalling terminals	—	max. 1.5 mm ² solid/flexible

Accessory for DEHNgard® modular with integrated Backup Fuse

Varistor-Based Protection Module for N-PE circuits

Varistor-base protection module for DEHNgard M ... and DEHNgard S ...

Type	DG MOD 275
Part No.	952 010
Max. continuous operating a.c. voltage (U _c)	275 V



Accessory for DEHNgard® modular with integrated Backup Fuse

Varistor-Based Protection Module for DEHNgard M CI

Protection module for DEHNgard M ... CI 275 arresters comprising a varistor connected in series with the integrated backup fuse

Type	DG MOD CI 275
Part No.	952 020
Max. continuous operating a.c. voltage (U _c)	275 V

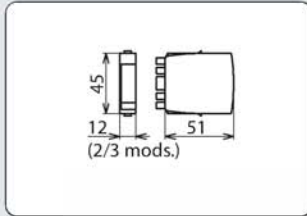


Yellow Line

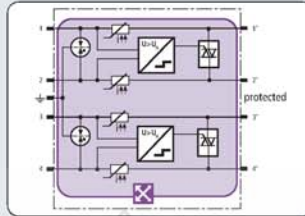
Pluggable DIN Rail Mounted SPDs

BLITZDUCTOR® XTU

BXTU ML4 BD 0-180



Dimension drawing BXTU ML4 BD 0-180



Basic circuit diagram BXTU ML4 BD 0-180



Space-saving combined lightning current and surge arrester module with actiVsense and LifeCheck technology for protecting two pairs of galvanically isolated balanced interfaces with the same or a different operating voltage. Automatically detects the operating voltage of the wanted signal and optimally adapts the voltage protection level to it.

- Universal voltage type with actiVsense technology
- For installation in conformity with the lightning protection zones concept at the boundaries from 0_A – 2 and higher
- With integrated LifeCheck monitoring function

Type	BXTU ML4 BD 0-180
Part No.	920 349
SPD class	TYPE 1 P1
SPD monitoring system	LifeCheck
Operating voltage (U _n)	0 - 180 V
Frequency of the operating voltage (f _{op})	0 - 400 Hz
Max. continuous operating d.c. voltage (U _c)	180 V
Max. continuous operating a.c. voltage (U _c)	127 V
Permissible superimposed signal voltage (U _{signal})	≤ +/- 5 V
Cut-off frequency line-line (U _{signal} , balanced 100 ohms) (f _{cl})	50 MHz
Nominal current at 80° C (corresponds to max. short-circuit current) (I _n)	100 mA
D1 Total lightning impulse current (10/350 μs) (I _{imp})	10 kA
D1 Lightning impulse current (10/350 μs) per line (I _{imp})	2.5 kA
C2 Total nominal discharge current (8/20 μs) (I _n)	20 kA
C2 Nominal discharge current (8/20 μs) per line (I _n)	10 kA
Voltage protection level line-line for I _n C2 (U _p)	see diagram, line C2
Voltage protection level line-line at 1 kV/μs C3 (U _p)	see diagram, line C3
Voltage protection level line-line for I _{imp} D1 (U _p)	≤ U _n + 53 V
Voltage protection level line-PG for C2/C3/D1	≤ 550 V
Series impedance per line	≤ 10 ohms; typically 7.5 ohms
Capacitance line-line (C)	≤ 80 pF
Capacitance line-PG (C)	≤ 16 pF
Operating temperature range	-40°C...+80°C
Degree of protection (with plugged-in protection module)	IP 20
Pluggable into	BXT BAS base part
Earthing via	BXT BAS base part
Enclosure material	polyamide PA 6.6
Colour	yellow
Test standards	IEC 61643-21 / EN 61643-21, UL 497B
SIL classification	SIL1 / SIL2 *)
Approvals	CSA, UL, GOST

*) For more detailed information, please refer to www.dehn.de/en/sil/ and page 210

Accessory for BLITZDUCTOR® XTU

DRC LC M3+

Portable device with LifeCheck sensor for flexible use. Fast and easy testing of LifeCheck-equipped arresters.

Type	DRC LC M3+
Part No.	910 653
Dimensions of storage case	340 x 275 x 83 mm



Accessory for BLITZDUCTOR® XTU

DRC MCM XT

DIN rail mounted device with integrated LifeCheck sensor for condition monitoring of max. 10 LifeCheck-equipped BXTU arresters.

Type	DRC MCM XT
Part No.	910 695
Colour	grey



Accessory for BLITZDUCTOR® XTU

BXT BAS

Base part as a very space-saving, four-pole, universal feed-through terminal for the insertion of a protection module without signal interruption.

Type	BXT BAS
Part No.	920 300
Colour	yellow



For "Accessories for BLITZDUCTOR XTU LifeCheck modules", please also refer to pages 185/206/207/208/368/370.

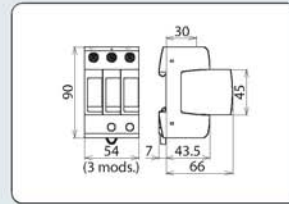
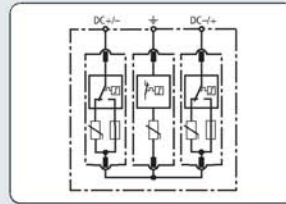
3.3 Data sheet Plant

DEHNgard® modular (Y)PV SCI ... (FM)

Red Line

DEHNgard M YPV SCI ...

Type 2 Surge Arresters for Use in PV Systems



Basic circuit diagram DG M YPV SCI ...

Dimension drawing DG M YPV SCI ...

- Prewired modular complete unit for use in photovoltaic systems consisting of a base part and plug-in protection modules
- Combined disconnection and short-circuiting device with safe electrical isolation in the protection module prevents fire damage caused by d.c. switching arcs (patented SCI principle)
- Safe replacement of protection modules without arc formation due to integrated d.c. fuse

Modular multipole surge arrester with three-step d.c. switching device for use in PV systems

Surge Arresters Type 2

Type	DG M YPV SCI 150	DG M YPV SCI 600	DG M YPV SCI 1000	DG M YPV SCI 1200
Part No.	952 513 ^{NEPV}	952 511	952 510	952 512
Conformity with prEN 50539-11	yes	yes	yes	yes
SPD classification according to EN 61643-11	Type 2	Type 2	Type 2	Typ 2
SPD classification according to IEC 61643-1/-11	Class II	Class II	Class II	Class II
Max. PV voltage (U _{CPV})	≤ 150 V	≤ 600 V	≤ 1000 V	≤ 1200 V
Short-circuit withstand capacity (I _{SC/WV})	1000 A	1000 A	1000 A	1000 A
Max. continuous operating d.c. voltage [(DC+/DC-) -> PE] (U _c)	75 V	300 V	500 V	600 V
Total discharge current (8/20 μs) (I _{total})	40 kA	40 kA	40 kA	30 kA
Nominal discharge current (8/20 μs) [(DC+/DC-) -> PE] (I _n)	10 kA	12.5 kA	12.5 kA	12.5 kA
Max. discharge current (8/20 μs) [(DC+/DC-) -> PE] (I _{max})	20 kA	25 kA	25 kA	25 kA
Voltage protection level (U _n)	≤ 0.8 kV	≤ 2.5 kV	≤ 4 kV	≤ 4.5 kV
Voltage protection level at 5 kA (U ₅)	≤ 0.6 kV	≤ 2 kV	≤ 3.5 kV	≤ 4 kV
Response time (t _d)	≤ 25 ns	≤ 25 ns	≤ 25 ns	≤ 25 ns
Operating temperature range (T _o)	-40°C...+80°C	-40°C...+80°C	-40°C...+80°C	-40°C...+80°C
Operating state/fault indication	green / red	green / red	green / red	green / red
Number of ports	1	1	1	1
Cross-sectional area (min.)		1.5 mm ² solid/flexible		
Cross-sectional area (max.)		35 mm ² stranded/25 mm ² flexible		
For mounting on		35 mm DIN rail acc. to EN 60715		
Enclosure material		thermoplastic, red, UL94 V-0		
Place of installation	indoor installation	indoor installation	indoor installation	indoor installation
Degree of protection	IP 20	IP 20	IP 20	IP 20
Capacity	3 modules, DIN 43880	3 modules, DIN 43880	3 modules, DIN 43880	3 modules, DIN 43880
Approvals	UL	UL, CSA	UL, CSA	UL

Accessory for DEHNgard® modular (Y)PV SCI ... (FM)

Accessory for DEHNgard® modular (Y)PV SCI ... (FM)

Varistor-Based Protection Module for DEHNgard M (Y)PV SCI

Protection module for DEHNgard M (Y)PV SCI ... arresters comprising a varistor connected in parallel with a short-circuiting device with integrated back-up fuse



Type DG MOD PV ...	SCI 75	SCI 300	SCI 500	SCI 600
Part No.	952 055	952 053	952 051	952 054
Max. continuous operating d.c. voltage (U _c)	75 V	300 V	500 V	600 V

Varistor-Based Protection Module for DEHNgard M (Y)PV SCI

Varistor-based protection module for DEHNgard M YPV SCI ... and DEHNgard S PV SCI ... arresters



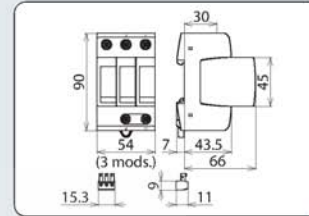
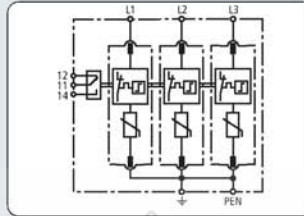
Type DG MOD PV ...	75	300	500	600
Part No.	952 045	952 043	952 041	952 044
Max. continuous operating d.c. voltage (U _c)	75 V	300 V	500 V	600 V

DEHNgard® modular

Red / Line

DEHNgard M TNC ... FM

Type 2 Surge Arresters



Basic circuit diagram DG M TNC ... FM

Dimension drawing DG M TNC ... FM

- **Prewired complete unit** consisting of a base part and plug-in protection modules
- **High discharge capacity** due to heavy-duty zinc oxide varistors/spark gaps
- **High reliability** due to "Thermo Dynamic Control" SPD monitoring device

Modular surge arrester for use in TN-C systems; with floating changeover contact

Surge Arresters Type 2

Type	DG M TNC 150 FM	DG M TNC 275 FM	DG M TNC 385 FM	DG M TNC 440 FM
Part No.	952 318	952 305	952 319	952 308
SPD according to EN 61643-11	Type 2	Type 2	Type 2	Type 2
SPD according to IEC 61643-1/-11	Class II	Class II	Class II	Class II
Nominal a.c. voltage (U _n)	120/240 V	230/400 V	230/400 V	400/690 V
Max. continuous operating a.c. voltage (U _c)	150 V	275 V	385 V	440 V
Nominal discharge current (8/20 μs) (I _n)	15 kA	20 kA	20 kA	20 kA
Max. discharge current (8/20 μs) (I _{max})	40 kA	40 kA	40 kA	40 kA
Voltage protection level (U _v)	≤ 0.7 kV	≤ 1.25 kV	≤ 1.75 kV	≤ 2 kV
Voltage protection level at 5 kA (U _{v5})	≤ 0.55 kV	≤ 1 kV	≤ 1.35 kV	≤ 1.7 kV
Response time (t _d)	≤ 25 ns	≤ 25 ns	≤ 25 ns	≤ 25 ns
Max. mains-side overcurrent protection	125 A gL/gG	125 A gL/gG	125 A gL/gG	125 A gL/gG
Short-circuit withstand capability for max. mains-side overcurrent protection	50 kA _{rms}	50 kA _{rms}	25 kA _{rms}	25 kA _{rms}
Temporary overvoltage (TOV) (U _t)	175 V / 5 sec.	335 V / 5 sec.	385 V / 5 sec.	580 V / 5 sec.
TOV characteristics	withstand	withstand	withstand	withstand
Operating temperature range (T _u)	-40°C...+80°C	-40°C...+80°C	-40°C...+80°C	-40°C...+80°C
Operating state/fault indication	green / red	green / red	green / red	green / red
Number of ports	1	1	1	1
Cross-sectional area (min.)		1.5 mm ² solid/flexible		
Cross-sectional area (max.)		35 mm ² stranded/25 mm ² flexible		
For mounting on		35 mm DIN rail acc. to EN 60715		
Enclosure material		thermoplastic, red, UL 94 V-0		
Place of installation	indoor installation	indoor installation	indoor installation	indoor installation
Degree of protection	IP 20	IP 20	IP 20	IP 20
Capacity	3 modules, DIN 43880	3 modules, DIN 43880	3 modules, DIN 43880	3 modules, DIN 43880
Approvals	KEMA, UL	KEMA, VDE, UL, VdS	KEMA, UL	KEMA, UL, VdS
Type of remote signalling contact	changeover contact	changeover contact	changeover contact	changeover contact
a.c. switching capacity	250 V/0.5 A	250 V/0.5 A	250 V/0.5 A	250 V/0.5 A
d.c. switching capacity		250 V/0.1 A; 125 V/0.2 A; 75 V/0.5 A		
Cross-sectional area for remote signalling terminals		max. 1.5 mm ² solid/flexible		

Accessory for DEHNgard® modular

Varistor-Based Protection Module

Varistor-based protection module for DEHNgard M ... and DEHNgard S ... surge arresters



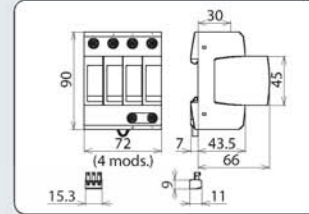
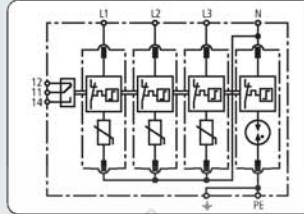
Type DG MOD ...	150	275	385	440
Part No.	952 012	952 010	952 014	952 015
Max. continuous operating a.c. voltage (U _c)	150 V	275 V	385 V	440 V

DEHNguard® modular

Red / Line

DEHNguard M TT ... FM

Type 2 Surge Arresters



Basic circuit diagram DG M TT ... FM

Dimension drawing DG M TT ... FM

- **Prewired complete unit consisting of a base part and plug-in protection modules**
- **High discharge capacity due to heavy-duty zinc oxide varistors/spark gaps**
- **High reliability due to "Thermo Dynamic Control" SPD monitoring device**

Modular surge arrester for use in TT and TN-S systems ("3+1" circuit); with floating remote signalling contact

Surge Arresters Type 2

Type	DG M TT 150 FM	DG M TT 275 FM	DG M TT 320 FM	DG M TT 385 FM
Part No.	952 328	952 315	952 325	952 316
SPD according to EN 61643-11	Type 2	Type 2	Type 2	Type 2
SPD according to IEC 61643-1/-11	Class II	Class II	Class II	Class II
Nominal a.c. voltage (U _n)	120/240 V	230/400 V	230/400 V	230/400 V
Max. continuous operating a.c. voltage [L-N] (U _c)	150 V	275 V	320 V	385 V
Max. continuous operating a.c. voltage [N-PE] (U _c)	255 V	255 V	255 V	255 V
Nominal discharge current (8/20 μs) (I _n)	15 kA	20 kA	20 kA	20 kA
Max. discharge current (8/20 μs) (I _{max})	40 kA	40 kA	40 kA	40 kA
Lightning impulse current (10/350 μs) [N-PE] (I _{imp})	12 kA	12 kA	12 kA	12 kA
Voltage protection level [L-N] (U _p)	≤ 0.7 kV	≤ 1.25 kV	≤ 1.5 kV	≤ 1.75 kV
Voltage protection level [L-N] at 5 kA (U _{p5})	≤ 0.55 kV	≤ 1 kV	≤ 1.2 kV	≤ 1.35 kV
Voltage protection level [N-PE] (U _p)	≤ 1.5 kV	≤ 1.5 kV	≤ 1.5 kV	≤ 1.5 kV
Follow current extinguishing capability [N-PE] (I _{fc})	100 A _{ms}	100 A _{ms}	100 A _{ms}	100 A _{ms}
Response time [L-N] (t _{dr})	≤ 25 ns	≤ 25 ns	≤ 25 ns	≤ 25 ns
Response time [N-PE] (t _{dr})	≤ 100 ns	≤ 100 ns	≤ 100 ns	≤ 100 ns
Max. mains-side overcurrent protection	125 A gL/gG	125 A gL/gG	125 A gL/gG	125 A gL/gG
Short-circuit withstand capability for max. mains-side overcurrent protection	50 kA _{ms}	50 kA _{ms}	25 kA _{ms}	25 kA _{ms}
Temporary overvoltage (TOV) [L-N] (U _t)	175 V / 5 sec.	335 V / 5 sec.	335 V / 5 sec.	385 V / 5 sec.
Temporary overvoltage (TOV) [N-PE] (U _t)	1200 V / 200 ms	1200 V / 200 ms	1200 V / 200 ms	1200 V / 200 ms
TOV characteristics	withstand	withstand	withstand	withstand
Operating temperature range (T _o)	-40°C...+80°C	-40°C...+80°C	-40°C...+80°C	-40°C...+80°C
Operating state/fault indication	green / red	green / red	green / red	green / red
Number of ports	1	1	1	1
Cross-sectional area (min.)		1.5 mm ² solid/flexible		
Cross-sectional area (max.)		35 mm ² stranded/25 mm ² flexible		
For mounting on		35 mm DIN rail acc. to EN 60715		
Enclosure material		thermoplastic, red, UL 94 V-0		
Place of installation	indoor installation	indoor installation	indoor installation	indoor installation
Degree of protection	IP 20	IP 20	IP 20	IP 20
Capacity	4 modules, DIN 43880	4 modules, DIN 43880	4 modules, DIN 43880	4 modules, DIN 43880
Approvals	—	KEMA, VDE, UL, Vds	KEMA	KEMA, UL
Type of remote signalling contact	changeover contact	changeover contact	changeover contact	changeover contact
a.c. switching capacity	250 V/0.5 A	250 V/0.5 A	250 V/0.5 A	250 V/0.5 A
d.c. switching capacity		250 V/0.1 A; 125 V/0.2 A; 75 V/0.5 A		
Cross-sectional area for remote signalling terminals		max. 1.5 mm ² solid/flexible		

Accessory for DEHNguard® modular

Accessory for DEHNguard® modular

Varistor-Based Protection Module

Varistor-based protection module for DEHNguard M ... and DEHNguard S ... surge arresters



Type DG MOD ...	150	275	320	385
Part No.	952 012	952 010	952 013	952 014
Max. continuous operating a.c. voltage (U _c)	150 V	275 V	320 V	385 V



N-PE Spark-Gap-Based Protection Module for DEHNguard M TT ...

N-PE spark-gap-based protection module for two-pole and four-pole DEHNguard DG M TT ... surge arresters

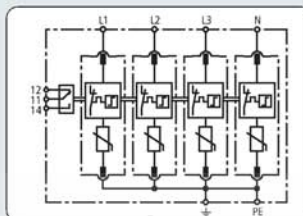
Type	DG MOD NPE
Part No.	952 050
Max. continuous operating a.c. voltage (U _c)	255 V

DEHNgard® modular

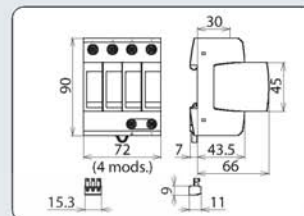
Red Line

DEHNgard M TNS ... FM

Type 2 Surge Arresters



Basic circuit diagram DG M TNS ... FM



Dimension drawing DG M TNS ... FM

- **Prewired complete unit** consisting of a base part and plug-in protection modules
- **High discharge capacity** due to heavy-duty zinc oxide varistors/spark gaps
- **High reliability** due to "Thermo Dynamic Control" SPD monitoring device

Modular surge arrester for use in TN-S systems; with floating changeover contact

Surge Arresters Type 2

Type	DG M TNS 150 FM	DG M TNS 275 FM	DG M TNS 385 FM
Part No.	952 408	952 405	952 409
SPD according to EN 61643-11	Type 2	Type 2	Type 2
SPD according to IEC 61643-1/-11	Class II	Class II	Class II
Nominal a.c. voltage (U _n)	120/240 V	230/400 V	230/400 V
Max. continuous operating a.c. voltage (U _c)	150 V	275 V	385 V
Nominal discharge current (8/20 μs) (I _n)	15 kA	20 kA	20 kA
Max. discharge current (8/20 μs) (I _{max})	40 kA	40 kA	40 kA
Voltage protection level (U _v)	≤ 0.7 kV	≤ 1.25 kV	≤ 1.75 kV
Voltage protection level at 5 kA (U _{v5})	≤ 0.55 kV	≤ 1 kV	≤ 1.35 kV
Response time (t _d)	≤ 25 ns	≤ 25 ns	≤ 25 ns
Max. mains-side overcurrent protection	125 A gL/gG	125 A gL/gG	125 A gL/gG
Short-circuit withstand capability for max. mains-side overcurrent protection	50 kA _{ms}	50 kA _{ms}	25 kA _{ms}
Temporary overvoltage (TOV) (U _t)	175 V / 5 sec.	335 V / 5 sec.	385 V / 5 sec.
TOV characteristics	withstand	withstand	withstand
Operating temperature range (T _o)	-40°C...+80°C	-40°C...+80°C	-40°C...+80°C
Operating state/fault indication	green / red	green / red	green / red
Number of ports	1	1	1
Cross-sectional area (min.)	1.5 mm ² solid/flexible	1.5 mm ² solid/flexible	1.5 mm ² solid/flexible
Cross-sectional area (max.)	35 mm ² stranded/25 mm ² flexible	35 mm ² stranded/25 mm ² flexible	35 mm ² stranded/25 mm ² flexible
For mounting on	35 mm DIN rail acc. to EN 60715	35 mm DIN rail acc. to EN 60715	35 mm DIN rail acc. to EN 60715
Enclosure material	thermoplastic, red, UL 94 V-0	thermoplastic, red, UL 94 V-0	thermoplastic, red, UL 94 V-0
Place of installation	indoor installation	indoor installation	indoor installation
Degree of protection	IP 20	IP 20	IP 20
Capacity	4 modules, DIN 43880	4 modules, DIN 43880	4 modules, DIN 43880
Approvals	KEMA, UL	KEMA, VDE, UL, VdS	KEMA, UL
Type of remote signalling contact	changeover contact	changeover contact	changeover contact
a.c. switching capacity	250 V/0.5 A	250 V/0.5 A	250 V/0.5 A
d.c. switching capacity	250 V/0.1 A; 125 V/0.2 A; 75 V/0.5 A	250 V/0.1 A; 125 V/0.2 A; 75 V/0.5 A	250 V/0.1 A; 125 V/0.2 A; 75 V/0.5 A
Cross-sectional area for remote signalling terminals	max. 1.5 mm ² solid/flexible	max. 1.5 mm ² solid/flexible	max. 1.5 mm ² solid/flexible

Accessory for DEHNgard® modular

Varistor-Based Protection Module

Varistor-based protection module for DEHNgard M ... and DEHNgard S ... surge arresters

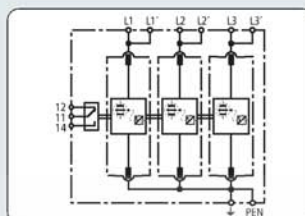


Type DG MOD ...	150	275	385
Part No.	952 012	952 010	952 014
Max. continuous operating a.c. voltage (U _c)	150 V	275 V	385 V

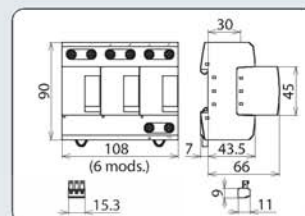
DEHNventil® modular**Red Line****DEHNventil M TNC (FM)**

Combined SPDs – Type 1

Combined SPDs - Type 1



Basic circuit diagram DV M TNC 255 FM



Dimension drawing DV M TNC 255 (FM)

- **Prewired spark-gap-based combined lightning current and surge arrester consisting of a base part and plug-in protection modules**
- **Maximum system availability due to RADAX Flow follow current limitation**
- **Capable of protecting terminal equipment**

Modular combined lightning current and surge arrester for protecting TN-C systems against surges

Type	DV M TNC 255	DV M TNC 255 FM
Part No.	951 300	951 305
SPD according to EN 61643-11 / IEC 61643-1/-11	Type 1 / Class I	Type 1 / Class I
Energy coordination with terminal equipment	Type 1 + Type 2	Type 1 + Type 2
Energy coordination with terminal equipment (≤ 5 m)	Type 1 + Type 2 + Type 3	Type 1 + Type 2 + Type 3
Nominal a.c. voltage (U_n)	230 / 400 V	230 / 400 V
Max. continuous operating a.c. voltage (U_c)	255 V	255 V
Lightning impulse current (10/350 μ s) [L1+L2+L3-PEN] (I_{total})	75 kA	75 kA
Specific energy [L1+L2+L3-PEN] (W/R)	1.40 MJ/ohms	1.40 MJ/ohms
Lightning impulse current (10/350 μ s) [L-PEN] (I_{imp})	25 kA	25 kA
Specific energy [L-PEN] (W/R)	156.25 kJ/ohms	156.25 kJ/ohms
Nominal discharge current (8/20 μ s) (I_n)	25 / 75 kA	25 / 75 kA
Voltage protection level (U_p)	≤ 1.5 kV	≤ 1.5 kV
Follow current extinguishing capability a.c. (I_{fc})	50 kA _{rms}	50 kA _{rms}
Follow current limitation/Selectivity	no tripping of a 20 A gL/gG fuse up to 50 kA _{rms} (prosp.)	no tripping of a 20 A gL/gG fuse up to 50 kA _{rms} (prosp.)
Response time (t_d)	≤ 100 ns	≤ 100 ns
Max. backup fuse (L) up to $I_c = 50$ kA _{rms}	315 A gL/gG	315 A gL/gG
Max. backup fuse (L) for $I_c > 50$ kA _{rms}	200 A gL/gG	200 A gL/gG
Max. backup fuse (L-L')	125 A gL/gG	125 A gL/gG
Temporary overvoltage (TOV) (U_T)	440 V / 5 sec.	440 V / 5 sec.
TOV characteristics	withstand	withstand
Operating temperature range [parallel]/[series] (T_{10})	-40°C...+80°C / -40°C...+60°C	-40°C...+80°C / -40°C...+60°C
Operating state/fault indication	green / red	green / red
Number of ports	1	1
Cross-sectional area (L1, L1', L2, L2', L3, L3', PEN, \pm) (min.)	10 mm ² solid/flexible	10 mm ² solid/flexible
Cross-sectional area (L1, L2, L3, PEN) (max.)	50 mm ² stranded/35 mm ² flexible	50 mm ² stranded/35 mm ² flexible
Cross-sectional area (L1', L2', L3', \pm) (max.)	35 mm ² stranded/25 mm ² flexible	35 mm ² stranded/25 mm ² flexible
For mounting on	35 mm DIN rail acc. to EN 60715	35 mm DIN rail acc. to EN 60715
Enclosure material	thermoplastic, red, UL 94 V-0	thermoplastic, red, UL 94 V-0
Place of installation	indoor installation	indoor installation
Degree of protection	IP 20	IP 20
Capacity	6 modules, DIN 43880	6 modules, DIN 43880
Approvals	KEMA, VDE, UL, VdS	KEMA, VDE, UL, VdS
Type of remote signalling contact	—	changeover contact
a.c. switching capacity	—	250 V/0.5 A
d.c. switching capacity	—	250 V/0.1 A; 125 V/0.2 A; 75 V/0.5 A
Cross-sectional area for remote signalling terminals	—	max. 1.5 mm ² solid/flexible

Accessory for DEHNventil® modular**Spark-Gap-Based Protection Module**

Spark-gap-based protection module



Type	DV MOD 255
Part No.	951 001
Max. continuous operating a.c. voltage (U_c)	255 V

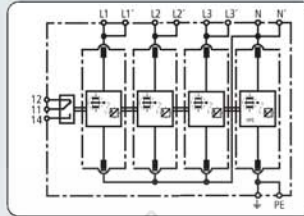
DEHNventil® modular

Red Line

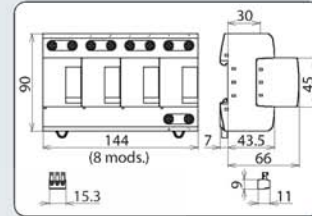
DEHNventil M TT (FM)

Combined SPDs – Type 1

Combined SPDs Type 1



Basic circuit diagram DV M TT 255 FM



Dimension drawing DV M TT 255 (FM)

- **Prewired spark-gap-based combined lightning current and surge arrester consisting of a base part and plug-in protection modules**
- **Maximum system availability due to RADAX Flow follow current limitation**
- **Capable of protecting terminal equipment**

Modular combined lightning current and surge arrester for protecting TT and TN-S systems (*3+1* circuit) against surges

Type	DV M TT 255	DV M TT 255 FM
Part No.	951 310	951 315
SPD according to EN 61643-11 / IEC 61643-1/-11	Type 1 / Class I	Type 1 / Class I
Energy coordination with terminal equipment	Type 1 + Type 2	Type 1 + Type 2
Energy coordination with terminal equipment (≤ 5m)	Type 1 + Type 2 + Type 3	Type 1 + Type 2 + Type 3
Nominal a.c. voltage (U _n)	230 / 400 V	230 / 400 V
Max. continuous operating a.c. voltage (U _c)	255 V	255 V
Lightning impulse current (10/350 μs) [L1+L2+L3+N-PE] (I _{test})	100 kA	100 kA
Specific energy [L1+L2+L3+N-PE] (W/R)	2.50 MJ/ohms	2.50 MJ/ohms
Lightning impulse current (10/350 μs) [L-N]/[N-PE] (I _{imp})	25 / 100 kA	25 / 100 kA
Specific energy [L-N]/[N-PE] (W/R)	156.25 kJ/ohms / 2.50 MJ/ohms	156.25 kJ/ohms / 2.50 MJ/ohms
Nominal discharge current (8/20 μs) (I _n)	25 / 100 kA	25 / 100 kA
Voltage protection level [L-N]/[N-PE] (U _p)	≤ 1.5 kV / ≤ 1.5 kV	≤ 1.5 kV / ≤ 1.5 kV
Follow current extinguishing capability [L-N]/[N-PE] (I _{fc})	50 kA _{ms} / 100 A _{ms}	50 kA _{ms} / 100 A _{ms}
Follow current limitation/Selectivity	no tripping of a 20 A gL/gG fuse up to 50 kA _{ms} (prosp.)	no tripping of a 20 A gL/gG fuse up to 50 kA _{ms} (prosp.)
Response time (t _a)	≤ 100 ns	≤ 100 ns
Max. backup fuse (L) up to I _c = 50 kA _{ms}	315 A gL/gG	315 A gL/gG
Max. backup fuse (L) for I _c > 50 kA _{ms}	200 A gL/gG	200 A gL/gG
Max. backup fuse (L-L')	125 A gL/gG	125 A gL/gG
Temporary overvoltage (TOV) [L-N] (U _t)	440 V / 5 sec	440 V / 5 sec
Temporary overvoltage (TOV) [N-PE] (U _t)	1200 V / 200 ms	1200 V / 200 ms
TOV characteristics	withstand	withstand
Operating temperature range [parallel]/[series] (T _o)	-40°C...+80°C / -40°C...+60°C	-40°C...+80°C / -40°C...+60°C
Operating state/fault indication	green / red	green / red
Number of ports	1	1
Cross-sectional area (L1, L1', L2, L2', L3, L3', N, N', PE, -) (min.)	10 mm ² solid/flexible	10 mm ² solid/flexible
Cross-sectional area (L1, L2, L3, N, PE) (max.)	50 mm ² stranded/35 mm ² flexible	50 mm ² stranded/35 mm ² flexible
Cross-sectional area (L1', L2', L3', N', -) (max.)	35 mm ² stranded/25 mm ² flexible	35 mm ² stranded/25 mm ² flexible
For mounting on	35 mm DIN rail acc. to EN 60715	35 mm DIN rail acc. to EN 60715
Enclosure material	thermoplastic, red, UL 94 V-0	thermoplastic, red, UL 94 V-0
Place of installation	indoor installation	indoor installation
Degree of protection	IP 20	IP 20
Capacity	8 modules, DIN 43880	8 modules, DIN 43880
Approvals	KEMA, VDE, UL, VdS	KEMA, VDE, UL, VdS
Type of remote signalling contact	—	changeover contact
a.c. switching capacity	—	250 V/0.5 A
d.c. switching capacity	—	250 V/0.1 A; 125 V/0.2 A; 75 V/0.5 A
Cross-sectional area for remote signalling terminals	—	max. 1.5 mm ² solid/flexible

Accessory for DEHNventil® modular

Accessory for DEHNventil® modular

Spark-Gap-Based Protection Module

Spark-gap-based protection module



Type	DV MOD 255
Part No.	951 001
Max. continuous operating a.c. voltage (U _c)	255 V

N-PE Spark-Gap-Base Protection Module

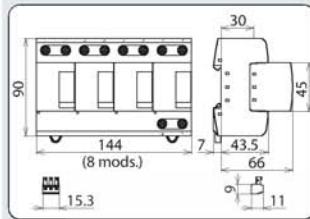
100 kA N-PE spark-gap-base protection module



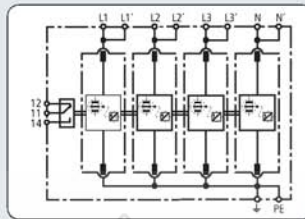
Type	DV MOD NPE 100
Part No.	951 100
Max. continuous operating a.c. voltage (U _c)	255 V

Red/Line

Combined SPDs – Type 1



Dimension drawing DV M TNS 255 (FM)



Basic circuit diagram DV M TNS 255 FM

Modular combined lightning current and surge arrester for protecting TN-S systems against surges

DEHNventil® modular

DEHNventil M TNS (FM)



Combined SPDs Type 1

- Prewired spark-gap-based combined lightning current and surge arrester consisting of a base part and plug-in protection modules
- Maximum system availability due to RADAX Flow follow current limitation
- Capable of protecting terminal equipment

Type	DV M TNS 255	DV M TNS 255 FM
Part No.	951 400	951 405
SPD according to EN 61643-11 / IEC 61643-1/-11	Type 1 / Class 1	Type 1 / Class 1
Energy coordination with terminal equipment	Type 1 + Type 2	Type 1 + Type 2
Energy coordination with terminal equipment (≤ 5 m)	Type 1 + Type 2 + Type 3	Type 1 + Type 2 + Type 3
Nominal a.c. voltage (U_n)	230 / 400 V	230 / 400 V
Max. continuous operating a.c. voltage (U_c)	255 V	255 V
Lightning impulse current (10/350 μ s) [L1+L2+L3+N-PE] (I_{total})	100 kA	100 kA
Specific energy [L1+L2+L3+N-PE] (W/R)	2.50 MJ/ohms	2.50 MJ/ohms
Lightning impulse current (10/350 μ s) [L, N-PE] (I_{imp})	25 kA	25 kA
Specific energy [L, N-PE] (W/R)	156.25 kJ/ohms	156.25 kJ/ohms
Nominal discharge current (8/20 μ s) (I_n)	25 / 100 kA	25 / 100 kA
Voltage protection level [L-PE]/[N-PE] (U_p)	≤ 1.5 kV / ≤ 1.5 kV	≤ 1.5 kV / ≤ 1.5 kV
Follow current extinguishing capability a.c. (I_{fc})	50 kA _{max}	50 kA _{max}
Follow current limitation/Selectivity	no tripping of a 20 A gL/gG fuse up to 50 kA _{max} (prosp.)	no tripping of a 20 A gL/gG fuse up to 50 kA _{max} (prosp.)
Response time (t_d)	≤ 100 ns	≤ 100 ns
Max. backup fuse (L) up to $I_{fc} = 50$ kA _{max}	315 A gL/gG	315 A gL/gG
Max. backup fuse (L) for $I_{fc} > 50$ kA _{max}	200 A gL/gG	200 A gL/gG
Max. backup fuse (L-L')	125 A gL/gG	125 A gL/gG
Temporary overvoltage (TOV) [L-N] (U_T)	440 V / 5 sec.	440 V / 5 sec.
TOV characteristics	withstand	withstand
Operating temperature range [parallel]/[series] (T_{op})	-40°C...+80°C / -40°C...+60°C	-40°C...+80°C / -40°C...+60°C
Operating state/fault indication	green / red	green / red
Number of ports	1	1
Cross-sectional area (L1, L1', L2, L2', L3, L3', N, N', PE, \pm) (min.)	10 mm ² solid/flexible	10 mm ² solid/flexible
Cross-sectional area (L1, L2, L3, N, PE) (max.)	50 mm ² stranded/35 mm ² flexible	50 mm ² stranded/35 mm ² flexible
Cross-sectional area (L1', L2', L3', N', \pm) (max.)	35 mm ² stranded/25 mm ² flexible	35 mm ² stranded/25 mm ² flexible
For mounting on	35 mm DIN rail acc. to EN 60715	35 mm DIN rail acc. to EN 60715
Enclosure material	thermoplastic, red, UL 94 V-0	thermoplastic, red, UL 94 V-0
Place of installation	indoor installation	indoor installation
Degree of protection	IP 20	IP 20
Capacity	8 modules, DIN 43880	8 modules, DIN 43880
Approvals	KEMA, VDE, UL, VdS	KEMA, VDE, UL, VdS
Type of remote signalling contact	—	changeover contact
a.c. switching capacity	—	250 V/0.5 A
d.c. switching capacity	—	250 V/0.1 A; 125 V/0.2 A; 75 V/0.5 A
Cross-sectional area for remote signalling terminals	—	max. 1.5 mm ² solid/flexible

Accessory for DEHNventil® modular**Spark-Gap-Based Protection Module**

Spark-gap-based protection module

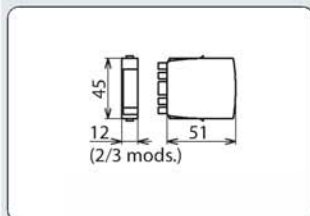
Type	DV MOD 255
Part No.	951 001
Max. continuous operating a.c. voltage (U_c)	255 V



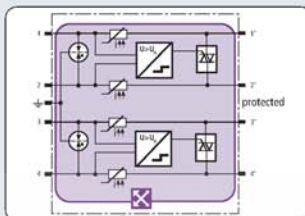
Yellow Line

Pluggable DIN Rail Mounted SPDs

BLITZDUCTOR® XTU
BXTU ML4 BD 0-180



Dimension drawing BXTU ML4 BD 0-180



Basic circuit diagram BXTU ML4 BD 0-180



Space-saving combined lightning current and surge arrester module with actiVsense and LifeCheck technology for protecting two pairs of galvanically isolated balanced interfaces with the same or a different operating voltage. Automatically detects the operating voltage of the wanted signal and optimally adapts the voltage protection level to it.

- Universal voltage type with actiVsense technology
- For installation in conformity with the lightning protection zones concept at the boundaries from 0_A – 2 and higher
- With integrated LifeCheck monitoring function

Type	BXTU ML4 BD 0-180
Part No.	920 349
SPD class	TYPE 1 P1
SPD monitoring system	LifeCheck
Operating voltage (U _n)	0 - 180 V
Frequency of the operating voltage (f _{op})	0 - 400 Hz
Max. continuous operating d.c. voltage (U _c)	180 V
Max. continuous operating a.c. voltage (U _c)	127 V
Permissible superimposed signal voltage (U _{signal})	≤ +/- 5 V
Cut-off frequency line-line (U _{signal} , balanced 100 ohms) (f _{cl})	50 MHz
Nominal current at 80° C (corresponds to max. short-circuit current) (I _n)	100 mA
D1 Total lightning impulse current (10/350 μs) (I _{imp})	10 kA
D1 Lightning impulse current (10/350 μs) per line (I _{imp})	2.5 kA
C2 Total nominal discharge current (8/20 μs) (I _n)	20 kA
C2 Nominal discharge current (8/20 μs) per line (I _n)	10 kA
Voltage protection level line-line for I _n C2 (U _p)	see diagram, line C2
Voltage protection level line-line at 1 kV/μs C3 (U _p)	see diagram, line C3
Voltage protection level line-line for I _{imp} D1 (U _p)	≤ U _n + 53 V
Voltage protection level line-PG for C2/C3/D1	≤ 550 V
Series impedance per line	≤ 10 ohms; typically 7.5 ohms
Capacitance line-line (C)	≤ 80 pF
Capacitance line-PG (C)	≤ 16 pF
Operating temperature range	-40°C...+80°C
Degree of protection (with plugged-in protection module)	IP 20
Pluggable into	BXT BAS base part
Earthing via	BXT BAS base part
Enclosure material	polyamide PA 6.6
Colour	yellow
Test standards	IEC 61643-21 / EN 61643-21, UL 497B
SIL classification	SIL1 / SIL2 *)
Approvals	CSA, UL, GOST

*) For more detailed information, please refer to www.dehn.de/en/sil/ and page 210

Accessory for BLITZDUCTOR® XTU

DRC LC M3+

Portable device with LifeCheck sensor for flexible use. Fast and easy testing of LifeCheck-equipped arresters.

Type	DRC LC M3+
Part No.	910 653
Dimensions of storage case	340 x 275 x 83 mm



Accessory for BLITZDUCTOR® XTU

DRC MCM XT

DIN rail mounted device with integrated LifeCheck sensor for condition monitoring of max. 10 LifeCheck-equipped BXTU arresters.

Type	DRC MCM XT
Part No.	910 695
Colour	grey



Accessory for BLITZDUCTOR® XTU

BXT BAS

Base part as a very space-saving, four-pole, universal feed-through terminal for the insertion of a protection module without signal interruption.

Type	BXT BAS
Part No.	920 300
Colour	yellow



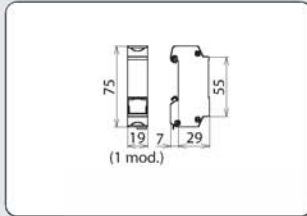
For "Accessories for BLITZDUCTOR XTU LifeCheck modules", please also refer to pages 185/206/207/208/368/370.

Yellow Line

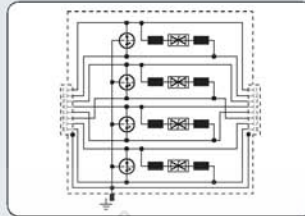
SPDs for RJ Connection

DEHNpatch

DEHNpatch Class E



Dimension drawing DPA CLE



Basic circuit diagram DPA CLE



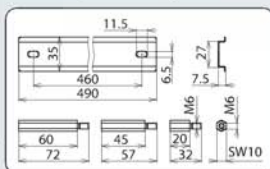
Universal arrester ideally suited for Industrial Ethernet, Power over Ethernet (PoE+ acc. to IEEE 802.3at up to 57 V) and similar applications in structured cabling systems according to class E up to 250 MHz. Protection of all pairs by means of powerful gas discharge tubes and one adapter filter matrix per pair. Fully shielded adapter with sockets for DIN rail mounting.

Accessories: Earthing bracket with flat connector sleeve

- Ideally suited for retrofitting, protection of all lines
- Cat. 6 in the channel (class E)
- Power over Ethernet (PoE+ according to IEEE 802.3at)
- For installation in conformity with the lightning protection zones concept at the boundaries from $0_B - 2$ and higher

Type	DPA M CLE RJ45B 48
Part No.	929 121
SPD class	1+2+3+P
Nominal voltage (U_n)	48 V
Max. continuous operating d.c. voltage (U_c)	48 V
Max. continuous operating a.c. voltage (U_e)	34 V
Max. continuous d.c. voltage pair-pair (PoE) (U_p)	57 V
Nominal current (I_n)	1 A
C2 Nominal discharge current (8/20 μ s) line-line (I_{LL})	150 A
C2 Nominal discharge current (8/20 μ s) line-PG (I_{LP})	2.5 kA
C2 Total nominal discharge current (8/20 μ s) line-PG (I_{LP})	10 kA
C2 Nominal discharge current (8/20 μ s) pair-pair (PoE) (I_{PP})	150 A
Voltage protection level line-line for I_{LL} C2 (U_{LL})	≤ 190 V
Voltage protection level line-PG for I_{LP} C2 (U_{LP})	≤ 600 V
Voltage protection level line-line for I_{LL} C2 (PoE) (U_{LL})	≤ 600 V
Voltage protection level line-line at 1 kV/ μ s C3 (U_{LL})	≤ 180 V
Voltage protection level line-PG at 1 kV/ μ s C3 (U_{LP})	≤ 500 V
Voltage protection level pair-pair at 1 kV/ μ s C3 (PoE) (U_{PP})	≤ 600 V
Insertion loss at 250 MHz	≤ 3 dB
Capacitance line-line (C)	≤ 30 pF
Capacitance line-PG (C)	≤ 25 pF
Operating temperature range	-40°C ... +80°C
Degree of protection	IP 10
For mounting on	35 mm DIN rails acc. to EN 60715
Connection (input/output)	RJ45 socket / RJ45 socket
Pinning	1/2, 3/6, 4/5, 7/8
Earthing via	35 mm DIN rail acc. to EN 60715
Enclosure material	zinc die casting
Colour	bare surface
Test standards	IEC 61643-21 / EN 61643-21
Approvals	CSA, UL, GOST
Accessories	fixing material

Accessory for DEHNpatch



Mounting Set for DEHNpatch

The set comprises a DIN rail for up to 24 DEHNpatch devices and different distance bolts with sliding nuts for installation into data distributors. To save space, the DIN rail can be mounted at the distributor panel or even upstream of the mounting sections in a 19" grid dimension.

Type	MS DPA
Part No.	929 199
Mounting in	19" cabinets

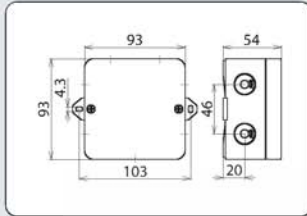


Yellow Line

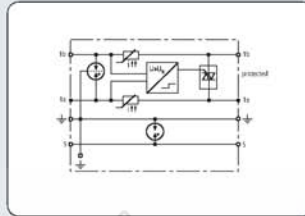
Surface-Mounted SPDs

DEHNbox

DBX U2 KT BD S 0-180



Dimension drawing DBX U2 KT BD S 0-180



Basic circuit diagram DBX U2 KT BD S 0-180



Compact combined lightning current and surge arrester in a surface-mounted plastic enclosure with actiVsense technology for protecting one pair of galvanically isolated balanced interfaces. Direct or indirect shield earthing.

- Universal voltage type with actiVsense technology
- Suitable for wall mounting, IP65
- Installation in conformity with the lightning protection zones concept at the boundaries from 0_A – 2 and higher

Type	DBX U2 KT BD S 0-180
Part No.	922 200
SPD class	TYPE 1 P1
Nominal voltage (U _n)	0 - 180 V
Frequency of the nominal voltage (f _{nom})	0 - 400 Hz
Max. continuous operating d.c. voltage (U _c)	180 V
Permissible superimposed signal voltage (U _{signal})	± +/- 5 V
Cut-off frequency line-line (U _{signal} , balanced 100 ohms) (f _c)	50 MHz
Nominal current at 80°C I _n (according to max. short-circuit current)	100 mA
D1 Total lightning impulse current (10/350 µs) (I _{imp})	9 kA
D1 Lightning impulse current (10/350 µs) per line (I _{imp})	2.5 kA
C2 Total nominal discharge current (8/20 µs) (I _n)	20 kA
C2 Nominal discharge current (8/20 µs) per line (I _n)	10 kA
Voltage protection level line-line for I _n , C2 (U _p)	see diagram, line C2
Voltage protection level line-line at 1 kV/µs C3 (U _p)	see diagram, line C3
Voltage protection level line-line for I _{imp} , D1 (U _p)	≤ UN + 50 V
Voltage protection level line-PG for D1/C2/C3	≤ 550 V
Series impedance per line	≤ 9 ohms; typically 7.9 ohms
Capacitance line-line (C)	≤ 80 pF
Capacitance line-PG (C)	≤ 70 pF
Operating temperature range	-25°C...+40°C
Degree of protection (arrester plugged-in)	IP 65
Dimensions (L x W x H)	93 x 93 x 55 mm
Enclosure material	polycarbonate
Colour	grey
Test standards	IEC 61643-21 / EN 61643-21

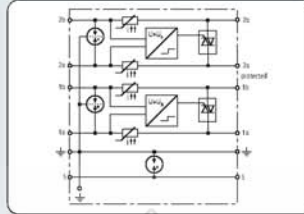
DEHNbox

DBX U4 KT BD S 0-180

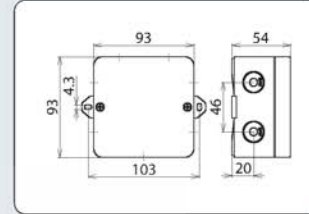
Yellow Line

Surface-Mounted SPDs

NEW



Basic circuit diagram DBX U4 KT BD S 0-180



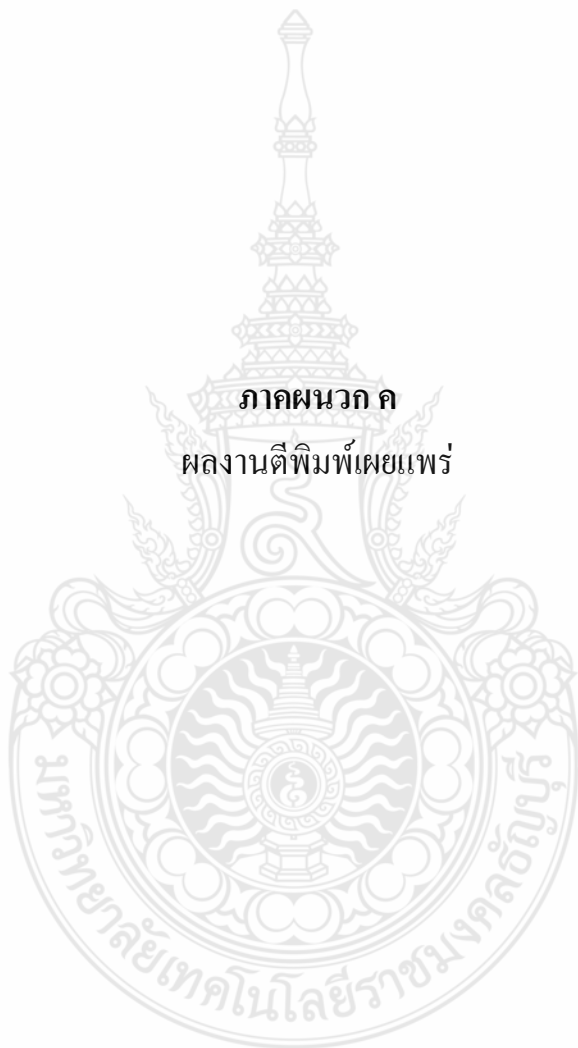
Dimension drawing DBX U4 KT BD S 0-180

- Universal voltage type with actiVsense technology
- Suitable for wall mounting, IP65
- For installation in conformity with the lightning protection zones concept at the boundaries from $0_A - 2$ and higher

Compact combined lightning current and surge arrester in a surface-mounted plastic enclosure with actiVsense technology for protecting two pairs with the same or a different signal voltage of galvanically isolated balanced interfaces. Direct or indirect shield earthing.

Type	DBX U4 KT BD S 0-180
Part No.	922 400
SPD class	TYPE 1 P1
Nominal voltage (U_n)	0 - 180 V
Frequency of the nominal voltage (f_n)	0 - 400 Hz
Max. continuous operating d.c. voltage (U_c)	180 V
Permissible superimposed signal voltage (U_{signal})	$\leq \pm 5$ V
Cut-off frequency line-line (U_{signal} , balanced 100 ohms) (f_c)	50 MHz
Nominal current at 80°C I (according to max. short-circuit current)	100 mA
D1 Total lightning impulse current (10/350 μ s) (I_{imp})	10 kA
D1 Lightning impulse current (10/350 μ s) per line (I_{imp})	2.5 kA
C2 Total nominal discharge current (8/20 μ s) (I_n)	20 kA
C2 Nominal discharge current (8/20 μ s) per line (I_n)	10 kA
Voltage protection level line-line for I_n C2 (U_p)	see diagram, line C2
Voltage protection level line-line at 1 kV/ μ s C3 (U_p)	see diagram, line C3
Voltage protection level line-line for I_{imp} D1 (U_p)	$\leq U_n + 50$ V
Voltage protection level line-PG for D1/C2/C3	≤ 550 V
Series impedance per line	≤ 9 ohms; typically 7.9 ohms
Capacitance line-line (C)	≤ 80 pF
Capacitance line-PG (C)	≤ 70 pF
Operating temperature range	-25°C...+40°C
Degree of protection (arrester plugged-in)	IP 65
Dimensions (L x W x H)	93 x 93 x 55 mm
Enclosure material	polycarbonate
Colour	grey
Test standards	IEC 61643-21 / EN 61643-21


ภาคผนวก ค
ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่



ค.1 “โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับการออกแบบเพื่อการติดตั้งตัวนำล่อฟ้าในระบบ
โฟโตโวลตาอิก” การประชุมเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 8 2 - 4 พฤษภาคม 2555
โรงแรมตักศิลา จังหวัดมหาสารคาม



8 ผู้รู้ คนในระนาบด้านพลังงานทดแทน

การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 8
The 8th Conference on Energy Network of Thailand; E-NETT 8



คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

พลังงานและนวัตกรรมสีเขียวเพื่ออนาคตอาเซียน
Green Energy and Innovations for ASEAN's Future



วันที่ 2-4 พฤษภาคม 2555 โรงแรมตักศิลา จังหวัดมหาสารคาม



รายชื่อผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาบทความ

รศ.ดร. กุลเชษฐี เพ็ชรทอง	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
รศ.ดร. สุานิตย์ เมธิยานนท์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร
รศ.ดร.ณัฐรี กาศยปนนท์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
รศ.ดร. นรินทร์ วัฒนกุล	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
รศ.ดร.พงษ์เจต พรหมวงศ์	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
รศ.ดร. มานะ อมรกิจปารุง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
รศ.ดร. สมเกียรติ ปรัชญาวารการ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
รศ.ดร. อติศักดิ์ นาดกรณกุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
รศ.ดร. สัมพันธ์ ฤทธิเดช	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
รศ.ดร. สิงห์ทอง พัฒนเศรษฐานนท์	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
รศ.ดร. เสริม จันทร์ฉาย	มหาวิทยาลัยศิลปากร
ผศ.ดร. จินดา เจริญพรพาณิชย์	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ผศ.ดร. กิตติ สถาพรประสาธน์	มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ผศ.ดร. จุฬารภรณ์ เบญจปิยะพร	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ผศ.ดร. ชวลิต ถิ่นวงศ์พิทักษ์	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ผศ.ดร. ธนรัฐ ศรีวีระกุล	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ผศ.ดร. อ่ำไพศักดิ์ ทีบุญมา	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ผศ.ดร. ชัยยงค์ เตชะไพโรจน์	มหาวิทยาลัยศิลปากร
ผศ.ดร. นริส ประทีนทอง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ผศ.ดร. ปรีชา เต็มสุขสวัสดิ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ผศ.ดร. จีรวรรณ เตียรณสุวรรณ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ผศ.ดร. ธนิต สวัสดิ์เสรี	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ผศ. สมบูรณ์ เวชกามา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ผศ.ดร. วันชัย นิมฉวี	มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย
ผศ.ดร. ตักศิระวี วัชรกุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร
ผศ.ดร. ศิริ ดวงพร	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
ผศ.ดร. สมชาย มณีวรรณ	มหาวิทยาลัยนเรศวร
ผศ.ดร. นิพนธ์ เกตุจ้อย	มหาวิทยาลัยนเรศวร
ผศ.ดร. จินดาพร จำรัสเลิศลักษณ์	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ผศ.ดร. เจริญพร เลิศสถิตธนกร	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ผศ.ดร. บพิท บุปผโชติ	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ผศ.ดร. ณัฐพล ภูมิสะอาด	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม



รายชื่อผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาบทความ(ต่อ)

ผศ.ดร. ทรงชัย วิริยะฮาไพวงศ์	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ผศ.ดร. มณีรัตน์ องค์กรวรรณดี	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ผศ.ดร. วรวิวัฒน์ เสงี่ยมวิบูล	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ผศ.ดร. อติศักดิ์ ปัตติยะ	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ผศ.ดร. อนุสรณ์ แสงประจักษ์	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ผศ.ดร. อภินันท์ อรุโสภาณ	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ดร. กันย์ วงศ์เกษม	การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย
ดร. ดาเรศน์ กิตติโยภาส	กรมส่งเสริมการเกษตร และสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย
อ.ดร. ชลิตา เนียมมัญญ์	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
อ.ดร. ชัยยันต์ จันทร์ศิริ	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
อ.ดร. ณรงค์ อึ้งกิมบัวน	มหาวิทยาลัยบูรพา
อ.ดร. เกียรติสิน กาญจนวนิชกุล	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
อ.ดร. จักรมาส เลหาวนิช	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
อ.ดร. ณัฐวุฒิ สุวรรณหา	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
อ.ดร. นเรศ มีโส	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
อ.ดร. นิวัฒน์ อังควิศิษฐพันธ์	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
อ.ดร. นุชิตา สุวแพทย์	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
อ.ดร. พลภุชณ์ จิตดีโต	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
อ.ดร. ละมุล วิเศษ	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
อ.ดร. สุนันทา เลาว์ณยศศิริ	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
อ.ดร. สุพรรณ ยั่งยืน	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
อ.ดร. อรอุมา ลาสุนนท์	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
อ. ปรีชา ศรีประกาศาร	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
อ. ศิริลักษณ์ วงศ์เกษม	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
อ.ดร. วาทีญญ รอดประพัฒน์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก
อ.ดร. กิตติศักดิ์ วิธินันทกิตต์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก
อ.ดร. ระวี พรหมหลวงศรี	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี



สารบัญ (ต่อ)

รหัสบทความ	ชื่อบทความ
RE15	การศึกษาโมเดลกังหันลมผลิตไฟฟ้าขนาด 1.5 MW ด้วยโปรแกรมพลศาสตร์ของไหล <i>พินิจ สังข์ทอง และ วิรัชย์ ไชยรินทร์</i>
RE16	ฟาร์มกังหันลมนอกชายฝั่งทะเลขนาดกำลังการผลิต 150 เมกะวัตต์บริเวณอำเภอปากพนัง จังหวัดนครศรีธรรมราช <i>สมพล ชัยมงคลกานต์, จอมภพ แววศักดิ์ และ ธนศ ไชยชนะ</i>
RE17	โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับการออกแบบเพื่อการติดตั้งตัวนำไฟฟ้าในระบบ ไฟโตโวลตาอิก <i>ทรงพล อัฐวัฒน์, สมชัย หวีงวูไวทม และบุญญ์ ปดิ่งกลาง</i>
RE18	การประเมินทางเทคนิคและทางด้านเศรษฐศาสตร์ของโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตั้งอยู่ กับที่และแบบเคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์ในประเทศไทย <i>ศุภฤทธิ์ แม้นศิริ, นิพนธ์ เกตุจ้อย, วัชรพร เจริญศิริ, ณัฐวุฒิ ชาวตะเภา และ จักรชัย ศิวสัมพันธ์วงศ์</i>
RE19	การลดลงของกำลังไฟฟ้าสูงสุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่เกิดจากความต้านทานภายใน <i>นิพนธ์ เกตุจ้อย, ณัฐวุฒิ ชาวตะเภา, จักรชัย ศิวสัมพันธ์วงศ์ และศุภฤทธิ์ เจริญ</i>
RE20	การศึกษามลกระทบของฝุ่นบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ต่อการผลิตไฟฟ้า <i>มูพงษ์ กอน้อย, ทรายพร วิญญู และนิพนธ์ เกตุจ้อย</i>
RE21	การศึกษาความเป็นไปได้ของโรงไฟฟ้าฟาร์มกังหันลมขนาด 10 MW บริเวณพื้นที่ อ.กระแจะสินธุ์ จ.สงขลา <i>ธนะ จันทวีร์, จอมภพ แววศักดิ์ และ ธนศ ไชยชนะ</i>
RE22	A Robust Optimization Model for DC Optimal Power Flow Considering Wind Power Generation Uncertainty <i>Chanwit Boonchuay, Songklod Saprang, Anuchit Aurairatch, and Weerakorn Ongsakul</i>
RE23	การเพิ่มประสิทธิภาพเครื่องกำเนิดไฟฟ้าโดยใช้ไอเสียมาผลิตน้ำร้อนสำหรับกกกลูกลูกรในฟาร์มสุกร <i>ศุภชัย สมศิริตระกูล และ วัชรพล สันติวิทยากร</i>
RE24	เครื่องจ่ายดองกังหันลมด้วยมอเตอร์กระแสตรงแบบกระตุ้นแยก <i>บัญญัติ ศิววิโรจน์ และ วิรัชย์ ทวีพิสัยนท์</i>
RE25	การประจุพลังงานแบตเตอรี่จากเซลล์แสงอาทิตย์ โดยใช้คอนเวอร์เตอร์แบบบัสหลายชุดที่ควบคุม ด้วยการติดตามกำลังไฟฟ้าสูงสุด <i>ศุภอักษรณ์ ศรีธา, อุเทน คำน่าน, สุศักดิ์ อยู่สวัสดิ์, ยุทธนา ชำสุวรรณ์</i>
RE26	การใช้อากาศร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับเชื้อเพลิงแก๊สในการอบแห้งเฟอร์นิเจอร์ไม้เคลือบ สีเพื่อลดการใช้เชื้อเพลิงแก๊ส <i>สาคร อินทะชัย, นเรศ มีใส และ ศิริพร ศิริอมพรพรณ</i>



การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 8
วันที่ 2-4 พฤษภาคม พ.ศ. 2555 จังหวัดมหาสารคาม

โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับการออกแบบเพื่อการติดตั้งตัวนำล่อฟ้า ในระบบโฟโตโวลตาอิก

Computer Program for Designing of Lightning Rod installation in PV Systems

ทรงพล อัฐรัตน์, สมชัย หิรัญวโรดม และบุญยั้ง ปลั่งกลาง

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ถนนรังสิต-นครนายก ตำบลคลองหก อำเภอธัญบุรี
จังหวัดปทุมธานี 12110 โทร 0-2549-3571 โทรสาร 0-2549-3422 E-mail: songpol_it@hotmail.com

บทคัดย่อ

ระบบผลิตกำลังไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ปัจจุบันได้มีการติดตั้งเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วทั่วโลก ซึ่งปัจจุบันประเทศไทยมีกำลังการติดตั้งรวมมากกว่า 2,300 เมกกะวัตต์ซึ่งระบบโฟโตโวลตาอิกนี้เป็นที่ทราบกันว่าเป็นระบบที่ติดตั้งในที่โล่งแจ้งเพื่อนำแสงอาทิตย์มาเปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้าให้ได้มากที่สุดดังนั้นจึงมีความเสี่ยงที่จะได้รับอันตรายจากการถูกฟ้าผ่า การออกแบบและติดตั้งระบบโฟโตโวลตาอิก จึงจำเป็นต้องคำนึงถึงระบบป้องกันฟ้าผ่าด้วย โดยในบทความนี้ได้นำเสนอการประเมินเชิงวิเคราะห์ความเสี่ยงจากการถูกฟ้าผ่าของระบบโฟโตโวลตาอิก โดยใช้โปรแกรม MATLAB ช่วยออกแบบตัวนำล่อฟ้าของระบบโฟโตโวลตาอิก ในการกำหนดจุดติดตั้งและความสูงของตัวนำล่อฟ้าโดยการประยุกต์ใช้วิธีมุมป้องกันในการออกแบบ โปรแกรมในบทความนี้ได้นำไปทดลองใช้ออกแบบการติดตั้งตัวนำล่อฟ้าสำหรับระบบโฟโตโวลตาอิก ขนาด 25 กิโลวัตต์ซึ่งติดตั้งบนพื้นที่โล่งกลางแจ้ง 360 ตารางเมตร ในจังหวัดเพชรบุรี โดยนำผลการออกแบบไปทวนสอบด้วยโปรแกรม 3D เขียนแบบ พบว่าระบบโฟโตโวลตาอิก ทั้งหมดได้รับการป้องกันจากตัวนำล่อฟ้าที่ออกแบบ

คำหลัก: โปรแกรมออกแบบระบบป้องกันฟ้าผ่า, ป้องกันฟ้าผ่าระบบโฟโตโวลตาอิก, ตัวนำล่อฟ้า

Abstract

Photovoltaic (PV) system has been increasingly installed worldwide. The report of PV systems installed capacity in Thailand has been more 2,300 MW. Due to the fact that PV system technically converts solar radiation into electric power, thus PV systems must be installed at outdoor areas. For this reason, PV systems must have the risk of damage from lightning strike. Therefore; designing and installation of PV system must be concerned with lightning protection system. This paper presents the analytical evaluation of the risk of damage from lightning strike. The MATLAB program was used to design the number of lightning rods that will be installed, position, and height of lightning rod based on protective angle method. This computer program, which to be developed in this work, will be applied to the selected PV system of 25 kW_p installed at 360 square meters outdoor in Phetchaburi province of Thailand. The results from the design are re-checked with another program called "3D", it has been

ENETT8-RE17

1/6



showed that the all both results have the same solutions, this can prove that the developed program is able to be used for lightning protection solution for PV system.

Keywords: Program for designing lightning protection system, Lightning Protection in PV System, Lightning Rod

1. บทนำ

เนื่องจากการติดตั้งระบบไฟโตโวลตาอิกจำเป็นต้องติดตั้งในที่โล่งแจ้งเพื่อให้สามารถผลิตพลังงานได้อย่างเต็มที่ซึ่งพื้นที่ในประเทศไทยนั้น มีลักษณะภูมิอากาศแบบร้อนชื้นและมีมรสุม โดยมีจำนวนวันพายุฝนฟ้าคะนองต่อปี (Thunderstorm day, T_d) ตั้งแต่ 50-120 วันต่อปี [1] ดังนั้นระบบไฟโตโวลตาอิกจึงมีความเสี่ยงจากความเสียหายที่เกิดจากฟ้าผ่าทั้งทางตรงและทางอ้อม โดยในบทความนี้จะกล่าวถึงความเสียหายจากฟ้าผ่าทางตรงระบบป้องกันความเสียหายจากฟ้าผ่าทางตรงมีองค์ประกอบ 3 ส่วนคือ Air Terminal, Down Conductor และ Earth Terminal โดยการออกแบบตำแหน่งและความสูงของ Air Terminal มีผลต่อความสามารถในการป้องกันพื้นที่ทั้งหมดที่ติดตั้งระบบไฟโตโวลตาอิก ซึ่งการออกแบบความสูงและตำแหน่งของ Air Terminal ที่ใช้โดยทั่วไปมีอยู่ 3 วิธีคือ Rolling Sphere Method, Protective Angle Method และ Mesh Method [2]

จากการสำรวจข้อมูลพบว่าโปรแกรมที่ใช้ช่วยออกแบบการติดตั้งตัวนำล่อฟ้าที่ใช้งานในห้องทดลองนั้นมีชื่อว่า SESShield [3] ซึ่งใช้ Rolling Sphere Method ร่วมกับการทำ 3D model เพื่อตรวจสอบว่าตัวนำล่อฟ้าที่ติดตั้งนั้นเพียงพอต่อการป้องกันหรือไม่ ซึ่งโปรแกรมดังกล่าวถูกใช้งานกับการออกแบบสถานีไฟฟ้า และงานวิจัยของภูวนารถ ชุณหปรางค์ [4] ได้ทำการสร้างโปรแกรมช่วยออกแบบระบบป้องกันฟ้าผ่าของอาคารทั่วไปใช้ Rolling Sphere Method และ Le Viet Dung [5] ได้ทำการสร้างโปรแกรมช่วยออกแบบการติดตั้งตัวนำล่อฟ้าเช่นกันและ ใช้ Rolling Sphere Method เพื่อตรวจสอบว่าตัวนำล่อฟ้าที่ติดตั้ง

นั้นเพียงพอต่อการป้องกันหรือไม่ ซึ่งโปรแกรมทั้งสามแบบที่กล่าวมาข้างต้นจำเป็นต้องมีการกำหนดจุดติดตั้งและความสูงของตัวนำล่อฟ้าก่อน

ในบทความนี้จะนำเสนอโปรแกรมช่วยออกแบบจุดติดตั้งและความสูงของตัวนำล่อฟ้าสำหรับใช้กับระบบไฟโตโวลตาอิก โดยผู้ใช้งานสามารถป้อนข้อมูลขนาดของระบบไฟโตโวลตาอิก และข้อมูลอื่นๆ โปรแกรมจะทำการคำนวณ ความสูงและ จำนวน ของตัวนำล่อฟ้า โดยโปรแกรมใช้เทคนิค Protective Angle Method

2. การประเมินความเสี่ยงจากการถูกฟ้าผ่าของระบบไฟโตโวลตาอิก

ได้มีการศึกษาเกี่ยวกับการประเมินความเสี่ยงจากการถูกฟ้าผ่าของระบบไฟโตโวลตาอิก [6] เพื่อใช้ประเมินว่าสมควรติดตั้งระบบป้องกันฟ้าผ่าหรือไม่ โดยประเมินจากสองตัวแปรหลักคือ

1. ค่าความถี่ของการเกิดวามฟ้าผ่าที่ยอมรับได้กับสิ่งปลูกสร้าง N_c
 2. ค่าความถี่ของการเกิดวามฟ้าผ่าโดยตรงกับสิ่งปลูกสร้าง N_d
- โดยถ้า $N_c \geq N_d$ หมายถึงระบบไม่จำเป็นต้องติดตั้งระบบป้องกันฟ้าผ่า แต่ถ้า $N_c \leq N_d$ หมายถึงระบบจำเป็นต้องติดตั้งระบบป้องกันฟ้าผ่า ในบทความนี้จะนำเสนอตัวอย่างการประเมินความเสี่ยงในระบบไฟโตโวลตาอิก 25 กิโลวัตต์ซึ่งติดตั้งใน ณ อำเภอท่าทาง จังหวัดเพชรบุรี โดยการประเมินค่า N_c และ N_d มีรายละเอียดดังนี้



2.1 การประเมินค่า N_c

N_c เป็นตัวเลขที่แสดงถึงค่าความถี่ของการเกิด วาบฟ้าผ่าที่ยอมรับได้กับสิ่งปลูกสร้าง โดยสามารถ คำนวณตามสมการที่ 1 [6] โดยค่า A, B, C เป็นไป ตามตารางที่ 1[6]

$$N_c = A \times B \times C \times D \quad (1)$$

ตารางที่ 1 ตัวแปรที่ใช้ประเมินค่า N_c

เงินลงทุนของระบบ	A
ต่ำ (น้อยกว่า 100,000 บาท)	1.0
ปานกลาง (100,000 – 2,000,000 บาท)	0.1
สูง (มากกว่า 2,000,000 บาท)	0.01
มูลค่าของอุปกรณ์อื่น ๆ ที่จะเสียหาย	B
ต่ำ (น้อยกว่า 100,000 บาท)	1.0
ปานกลาง (100,000 – 2,000,000 บาท)	0.1
สูง (มากกว่า 2,000,000 บาท)	0.01
ความต้องการใช้พลังงานจากระบบ	C
ยอมหยุดได้มากกว่า 1 อาทิตย์	1.0
ยอมหยุดได้ไม่เกิน 1 อาทิตย์	0.1
ยอมหยุดได้ไม่เกิน 1 วัน	0.01
ความเสียหายอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง	D
ต่ำ	1.0
ปานกลาง	0.5
สูง	0.1
สูงมาก	0.01

สำหรับระบบไฟโตโวลตาอิกที่ใช้ในบทความนี้ใช้ เงินลงทุน 2.5 ล้านบาทมูลค่าอุปกรณ์อื่น ๆ ที่จะเสียหายมีค่าปานกลาง ระบบมีการจำหน่ายไฟฟ้า ดังนั้นไม่สามารถหยุดงานได้และความเสียหายอื่น ๆ มี ค่าต่ำ ดังนั้นจึงคำนวณค่า N_c ได้เท่ากับ 0.00001 หรือ 10×10^{-6}

2.2 การประเมินค่า N_d

N_d เป็นตัวเลขที่แสดงถึง ความถี่ของการเกิด วาบฟ้าผ่าโดยตรงกับสิ่งปลูกสร้าง โดยสามารถคำนวณได้ ตามสมการที่ 2[2]

$$N_d = N_g \times A_e \times C_e \times 10^{-6} \quad (2)$$

โดยค่า N_g หมายถึง ค่าเฉลี่ยของจำนวนครั้งการเกิด ฟ้าผ่าต่อปีในพื้นที่นั้นๆ โดยสามารถคำนวณได้จาก สมการที่ 3[2]

$$N_g = 0.04 \times T_d^{1.25} \quad (3)$$

โดยค่า T_d หมายถึงจำนวนวันที่มีฝนฟ้าคะนองต่อปี สำหรับระบบไฟโตโวลตาอิก ในบทความนี้ติดตั้งที่ อำเภอท่ายาง จังหวัดเพชรบุรี ซึ่งมีค่า $T_d = 60$ วันต่อ ปี [7] ดังนั้นจึงคำนวณค่า N_g ได้ 6.68 ครั้งต่อตาราง กิโลเมตรต่อปี

A_e คือ พื้นที่รับฟ้าผ่าสมมูลของสิ่งปลูกสร้างพิจารณา คำนวณได้จากสมการที่ 4[2]

$$A_e = L \cdot W + 6 \cdot H \cdot (L + W) + 9 \cdot T \cdot H^2 \quad (4)$$

โดย L,W,H คือ ความยาว, ความกว้างและ ความสูง ของระบบไฟโตโวลตาอิก ซึ่งระบบตัวอย่างใน บทความนี้คำนวณ A_e ได้เท่ากับ 2,396.38 ตาราง เมตรและค่า C_e หมายถึง สัมประสิทธิ์ของพื้นที่ที่ ติดตั้งระบบมีค่าดังตารางที่ 2 [6]

ตารางที่ 2 สัมประสิทธิ์ของพื้นที่ติดตั้ง

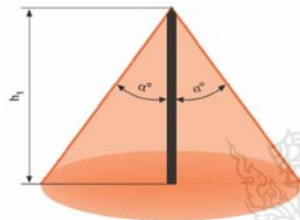
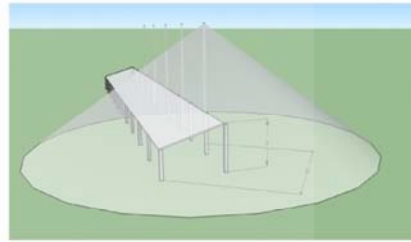
ลักษณะพื้นที่	C_e
มีต้นไม้หรืออาคารที่สูงเท่ากันหรือสูงกว่าอยู่รอบๆ	0.25
มีต้นไม้หรืออาคารที่เตี้ยกว่าอยู่รอบๆ	0.5
ไม่มีต้นไม้หรืออาคารอยู่ในระยะ 3 เท่า ของความสูง	1
อยู่บนยอดเขา	2



จากตารางที่ 2 ค่า C_e ของระบบตัวอย่างในบทความนี้เท่ากับ 1 ดังนั้นจากสมการที่ 2 จะคำนวณค่า N_d ได้เท่ากับ 16.01×10^3 ซึ่งมีค่ามากกว่า N_c ดังนั้นระบบนี้จึงจำเป็นต้องมีการป้องกันฟ้าผ่า

จุดติดตั้งของตัวนำล่อฟ้าจะต้องทำให้แผงระบบโฟโตโวลตาอิก ทั้งหมดอยู่ในเขตป้องกัน โดยพิจารณาระยะไกลที่สุด p และความสูงของระบบระบบโฟโตโวลตาอิก t ให้อยู่ในเขตป้องกัน ดังรูปที่ 3

3. โปรแกรมคอมพิวเตอร์ออกแบบติดตั้งตัวนำป้องกันฟ้าผ่าระบบโฟโตโวลตาอิก
โปรแกรมในบทความนี้ประยุกต์ใช้วิธีการมุมป้องกันในการออกแบบ โดยบริเวณที่อยู่ในรูปกรวยตามรูปที่ 1 ได้รับการป้องกันจากการถูกฟ้าผ่า



รูปที่ 1 หลักการมุมป้องกัน

โดยค่าของมุมป้องกัน α° จะขึ้นอยู่กับความสูง h_1 และระดับชั้นของการป้องกัน (Protection Class)

รูปแบบการติดตั้งตัวนำล่อฟ้าสำหรับระบบโฟโตโวลตาอิก นั้นจะต้องระวังไม่ให้เกิดเงาบังบนแผงระบบโฟโตโวลตาอิก ดังนั้นรูปแบบการติดตั้งจึงต้องติดตั้งด้านหลังของแผงระบบโฟโตโวลตาอิก โดยความสูงต้องไม่สูงจนเงาไปบังแผงระบบโฟโตโวลตาอิก ด้านหลัง ดังรูปที่ 2 และระยะห่างของแต่ละเสาต้องเท่ากัน

รูปที่ 3 ระยะ p และ t ที่ต้องอยู่ในเขตป้องกัน โดยระยะ p คำนวณได้จากสมการที่ 5 ดังนี้

$$p = \sqrt{\left(\frac{l}{n+1}\right)^2 + (w+s)^2} \quad (5)$$

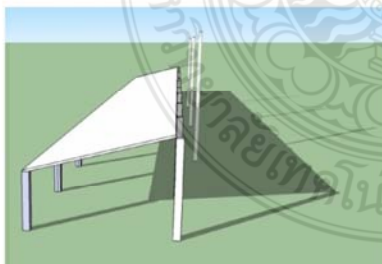
l คือ ความยาวของพื้นที่ติดตั้งระบบโฟโตโวลตาอิก

n คือ จำนวนต้นของตัวนำล่อฟ้า, ต้น

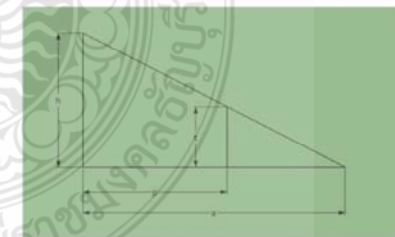
w คือ ความยาวของพื้นที่ติดตั้งระบบโฟโตโวลตาอิก, เมตร

s คือ ระยะห่างเพื่อความปลอดภัยระหว่างระบบกับเสาตัวนำล่อฟ้า, เมตร

p คือ ระยะป้องกันที่ไกลที่สุด, เมตร



รูปที่ 2 เงาของตัวนำล่อฟ้าที่พาดไปด้านหลัง



รูปที่ 4 การหาค่าระยะป้องกัน a

จากรูปที่ 4 เพื่อให้เขตป้องกันครอบคลุมความสูง t และระยะ p ต้องเลือกใช้ตัวนำล่อฟ้าที่มีระยะป้องกัน



มากกว่าหรือเท่ากับ a ซึ่งจากกฎของสามเหลี่ยมคล้าย สามารถหาค่า a ได้จากสมการที่ 6 ดังนี้

$$a \geq \frac{h \times p}{h - t} \tag{6}$$

นำหลักการที่กล่าวมาข้างต้นสร้างโปรแกรมเพื่อช่วยในการออกแบบการติดตั้งตัวนำล่อฟ้าด้วย MATLAB โดยใช้ Flow Chart ดังรูปที่ 5 ดังนี้



รูปที่ 5 Flow Chart ของโปรแกรม

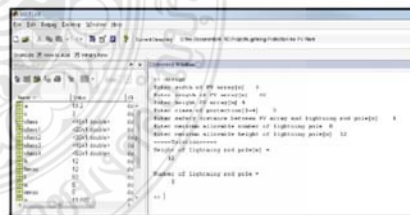
โดยโปรแกรมรับค่าต่างๆจากผู้ใช้งานโปรแกรมจะกำหนดค่าความสูงเริ่มต้นของตัวนำล่อฟ้าเปิดตารางเพื่อรับข้อมูลระยะป้องกัน a และ คำนวณหาค่าตามสมการที่ 6 ถ้ายังไม่สามารถป้องกันระบบได้ทั้งหมดโปรแกรมจะเพิ่มค่าความสูงของตัวนำล่อฟ้าและ/หรือจำนวนต้นของตัวนำล่อฟ้าจนระบบไฟโตโวลตาอิก ทั้งหมดได้รับการป้องกัน

4. การทดลองและผลการทดลอง

ทำการทดสอบการทำงานของโปรแกรมด้วยการออกแบบการติดตั้งตัวนำล่อฟ้าให้กับระบบไฟโตโวลตาอิก แบบเชื่อมต่อสายส่งขนาด 25 กิโลวัตต์ติดตั้งในที่โล่งแจ้ง อำเภอท่ายาง จังหวัดเพชรบุรี พื้นที่ติดตั้งระบบไฟโตโวลตาอิก กว้าง 6 เมตร ยาว 60 เมตร ด้านที่สูงที่สุดของระบบไฟโตโวลตาอิก สูง 4 เมตร ต้องการระดับชั้นการป้องกันที่ 3 ให้ระยะห่างระหว่างตัวนำล่อฟ้ากับอุปกรณ์ในระบบเท่ากับ 1 เมตรและ ไม่ต้องการให้ตัวนำล่อฟ้าสูงเกิน 12 เมตร



รูปที่ 6 ระบบที่ใช้ทดสอบโปรแกรม ณ อำเภอท่ายาง จังหวัดเพชรบุรี

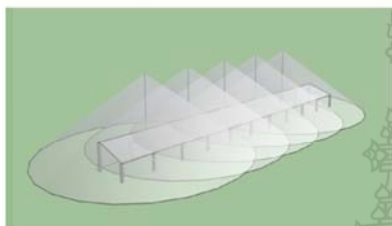


รูปที่ 7 การใช้งานโปรแกรม MATLAB

จากผลลัพธ์การออกแบบของโปรแกรมได้ว่า ต้องติดตั้งตัวนำล่อฟ้าสูง 12 เมตรจำนวน 5 ต้นซึ่งแต่ละต้นจะอยู่ด้านหลังแผงระบบไฟโตโวลตาอิก และแต่ละต้นจะอยู่ห่างกัน 10 เมตร จากข้อมูลดังกล่าวนำมา



ตรวจสอบด้วยโปรแกรมเขียนแบบสามมิติของระบบไฟโตโวลตาอิก และตัวนำล่อฟ้าโดยเขียนพื้นที่ป้องกันตามตารางของวิธี Protective Angle เพื่อตรวจสอบพื้นที่ที่ได้รับการป้องกันจากตัวนำล่อฟ้าพบว่าแผงระบบไฟโตโวลตาอิก ทั้งหมดอยู่ในเขตป้องกันดังรูปที่ 8



รูปที่ 8 แบบสามมิติที่ใช้ตรวจสอบการออกแบบ

5. สรุปผล

ระบบไฟโตโวลตาอิก มักติดตั้งในที่โล่งแจ้งซึ่งมีความเสี่ยงที่จะได้รับความเสียหายจากการถูกฟ้าผ่า บทความนี้ได้นำเสนอวิธีการประเมินความเสี่ยงต่อการถูกฟ้าผ่าและวิธีการตัดสินใจว่าจะติดตั้งระบบป้องกันฟ้าผ่าให้กับระบบไฟโตโวลตาอิก หรือไม่ โดยใช้ระบบตัวอย่างขนาด 25 กิโลวัตต์ซึ่งติดตั้งบนพื้นที่ 360 ตารางเมตร ณ อำเภอท่ายาง จังหวัดเพชรบุรี ซึ่งพบว่าระบบดังกล่าวมีความจำเป็นต้องติดตั้งระบบป้องกันฟ้าผ่า พร้อมทั้งได้นำเสนอโปรแกรมช่วยออกแบบการติดตั้งตัวนำล่อฟ้าด้วย MATLAB ที่ช่วยกำหนดความสูงและจำนวนของตัวนำล่อฟ้าที่จะใช้งาน และได้ทำการทดสอบผลการออกแบบที่ได้จากโปรแกรมด้วยการใช้โปรแกรมเขียนแบบสามมิติของระบบไฟโตโวลตาอิก และตัวนำล่อฟ้าที่ได้จากโปรแกรมออกแบบ โดยเขียนพื้นที่ป้องกันตามตารางของวิธี Protective Angle และตรวจสอบพื้นที่ที่ได้รับการป้องกันจากตัวนำล่อฟ้า พบว่าแผงระบบไฟโตโวลตาอิก ทั้งหมดอยู่ในเขตป้องกันตามที่ออกแบบด้วยโปรแกรมที่นำเสนอ

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] ชัยมงคล คำสุข, ระบบป้องกันและกำจัดฟ้าผ่าของ ท.ศ.ท., วิทยานิพนธ์ ปีการศึกษา 2543 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- [2] สมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์. 2546. มาตรฐานการป้องกันฟ้าผ่าสำหรับสิ่งปลูกสร้าง. มาตรฐาน ว.ส.ท.2003-43.
- [3] SESShield-3D, Graphical Analysis and Design of Lightning Shielding Systems for Complex Geometries, www.sestech.com/Products/SoftUtil/SESShield.htm, accessed on 21st Feb 2011
- [4] ภาวนารท ชูณหปราณ, โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยออกแบบระบบป้องกันฟ้าผ่าของอาคารทั่วไป, วิทยานิพนธ์ ปีการศึกษา 2543, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- [5] Le Viet Dung and K.Petcharaks, Lightning Protection System Design for Substation by using Mast and Matlab, World Academy of Science Engineering and Technology 65 2010.
- [6] H.Becker, W.VaaBen., F.VaBen., M.Bosanac., and I.Katic (2000). Energie, "Lightning and Over voltage protection for PV System", The European Commission Directorate-General for Energy and Transport 200, rue de la Loi.
- [7] กรมอุตุนิยมวิทยา ข้อมูลจำนวนครั้งที่เกิดฟ้าคะนองประจำปี 2554

ก.2 “A COMPUTER PROGRAM FOR EVALUATING THE RISK OF LIGHTNING AND DESIGNING INSTALLATION OF LIGHTNING ROD FOR PHOTOVOLTAIC SYSTEM” 10TH ECO-ENERGY AND MATERIALS SCIENCE AND ENGINEERING SYMPOSIUM 5-8 DECEMBER 2012

SUNEE GRAND HOTEL UBON-RATCHATHANI

10th Eco-Energy and Materials Science and Engineering Symposium

Energy Technology, Environmental and Social Impact, Nanotechnology and Material Technology, Energy Economic and Management, Nuclear Technology, New Technology and Other topics related to energy field.

On December 5-8, 2012
Sunee grand hotel,
Ubon-ratchathani

Organized by



Co-organized by



KEYNOTE SPEAKER

INVITED SPEAKER : IN

ENERGY TECHNOLOGY : ET

ENVIRONMENTAL AND SOCIAL IMPACT : ES

NANOTECHNOLOGY AND MATERIAL TECHNOLOGY : NM

ENERGY ECONOMIC AND MANAGEMENT : EM

NEW ENERGY TECHNOLOGY : NT

10th EMSES 2012**International Scientific Advisory Committee:****General Chair:**

Assoc.Prof.Dr. Namyoot SONGTHANAPITAK RMUTT, Thailand

General Co-Chair:

Prof. Dr. Kiyoshi YOSHIKAWA Kyoto Uni., Japan

Asst.Prof.Dr. Panpetch CHININTORN RMUTT, Thailand

Organizing Chair:

Asst. Prof. Dr. Sommai PIVSA-ART RMUTT, Thailand

Prof. Dr. Takeshi YAO Kyoto Uni., Japan

Organizing Co-Chair:

Prof. Dr. Hideaki OHGAKI Kyoto Uni., Japan

International Scientific Committees:

Prof. Dr. Susumu YOSHIKAWA Kyoto Uni., Japan

Prof. Dr. Phadungsak RATTANADECHO TU, Thailand

Prof. Dr. Shiro SAKA Kyoto Uni., Japan

Prof. Dr. Hitomi OHARA Kyoto Uni., Japan

Prof. Dr.-Ing. Habil Ingo STADLER FH Koeln, Germany

Prof. Dr. Young S. CHAI Korea

Prof. Dr. Nipon TANGTHAM KU, Thailand

Prof. Dr. Masayoshi OKUBO Osaka Uni, Japan

Prof. Dr. Somchai WONGWISES KMUTT, Thailand

Prof. Dr. Nadarajah MITHULANANTHAN UQ, Australia

Prof. Dr. Yukio OGATA Kyoto Uni., Japan

Prof. Dr. Yuichi ANADA Hokkaido Info. Uni., Japan

Prof.Dr. Narongrit SOMBATSOMPOP KMUTT, Thailand

Assoc. Prof. Dr. Bandit FUNGTAMMASAN KMUTT, Thailand

Assoc. Prof. Dr. K. Srinivas REDDY IIT-Madras, India

Assoc. Prof. Dr. David Jan COWAN IUPUI, USA

Assoc. Prof. Dr. Per B ZETTERLUND Australia

Assoc. Prof. Dr. Vijit KINNARES KMUTT, Thailand

Assoc. Prof. Dr. Yoshikazu SUZUKI Japan

Assoc. Prof. Dr. Thawatch KERDCHEUN RMUTI, Thailand

Assoc. Prof. Dr. Wakin PIYARAT SWU, Thailand

Assoc. Prof. Dr. Seiichi KAWAHARA Nakaoga Uni., Japan

Assoc.Prof.Dr. Kawee SRIKULKIT CU, Thailand

Asst. Prof. Dr. Somchai HIRANVAROMDOM RMUTT, Thailand

Asst. Prof. Dr. Wanchai SUBSINGHA RMUTT, Thailand

Asst. Prof. Dr. Thanapong SUWANNASRI KMUTNB, Thailand

Asst. Prof. Dr. Napapom PHUANGPORNPIITAK KU, Thailand

Asst. Prof. Dr.Boonrit PRASARTKAEW RMUTT, Thailand

Asst.Prof.Dr.Supakit SUTTIRUENGWONGSU, Thailand

Asst. Prof. Dr. Vallop PHUPA RMUTP, Thailand

Asst.Prof.Dr.Pramook UNAHALEKHAKA RMUTSB, Thailand

10th EMSES 2012

Dr.Arthit Sode-Yome	EGAT, Thailand
Dr. Sei-ichi AIBA	Japan
Dr. Wirachai ROYNARIN	RMUTT, Thailand
Dr. Yuttana KAMSUWAN	RMUTT, Thailand
Dr. Jakkree SRINONCHAT	RMUTT, Thailand
Dr. Chatchai SOPPAPITAKSAKUL	RMUTT, Thailand
Dr. Pinit SRITHORN	RMUTI, Thailand
Dr. Uthen KAMNAN	RMUTL, Thailand
Dr. Cattariya SUWANNASRI	KMUTNB, Thailand
ASEAN Committee:	
Prof. Dr. Yoyok Wahyu Subroto	UGM, Indonesia
Prof. Dr. Wega TRISUNAYANTI	UGM, Indonesia
Prof. Dr. Tumiran	UGM, Indonesia
Prof. Dr. Jun LI	NYU, Singapore
Prof. Dr. INTHAN	ITB, Indonesia
Prof. Dr. Khamphone NANTHAVONG	NOL, Laos
Prof. Dr. Kampui SOUTHISOMBHAT	NOL, Laos
Prof. Dr. Yew Wei LEONG	NYU, Singapore
Prof. Dr. Nguyen Minh TAN	HU, Vietnam
General Secretary:	
Asst.Prof.Dr.Krischonme BHUMKITTIPICH	RMUTT, Thailand
Dr. Sumonman NIAMLANG	RMUTT, Thailand
Technical Program Chair:	
Asst.Prof.Dr.Krischonme BHUMKITTIPICH	RMUTT, Thailand
Area: Energy Technology(ET)	
Dr. Wirachai ROYNARIN	RMUTT, Thailand
Asst. Prof. Dr.Boonrit PRASARTKAEW	RMUTT, Thailand
Dr. Sathapron THONGWIK	RMUTT, Thailand
Dr. Nathabhat PHANKONG	RMUTT, Thailand
Area: Environmental and Social Impact(ES)	
Dr. Nithiwat CHOOSAKUL	RMUTT, Thailand
Area: Nanotechnology and Materials Science(NM)	
Dr. Sorapong PAVASUPREE	RMUTT, Thailand
Asst. Prof. Dr. Kitipong KIMAPONG	RMUTT, Thailand
Asst. Prof. Dr. Sirichai TORSAKUL	RMUTT, Thailand
Asst. Prof. Dr. Warunee ARIYAWIRIYANANT	RMUTT, Thailand
Area: Energy Economic and Management(EM)	
Assoc.Prof.Dr. Natha KUPTHASTHIEN	RMUTT, Thailand
Dr. Surin NGAEMNGAM	RMUTT, Thailand
Dr. Pimnapat IEMSOMBOON	RMUTT, Thailand
Area: New Energy Technology(NT)	
Dr. Boonyang PLANGKLANG	RMUTT, Thailand
Area: Nuclear Technology(NU)	
Asst.Prof.Dr. Krischonme BHUMKITTIPICH	RMUTT, Thailand

10th EMSES 2012

Exhibition Chair:

Dr. Amnoi REUNGWAREE RMUTT, Thailand
 Dr. Winai CHANPENG RMUTT, Thailand

Local Arrangement Chair

Dr. Sorapong PAVASUPREE RMUTT, Thailand
 Dr. Natee SRISAWAT RMUTT, Thailand

Registration and Finance Chair

Dr. Sumonman NIAMLANG RMUTT, Thailand
 Dr. Supapom THOMSORN RMUTT, Thailand
 Weerapom PIVSA-ART RMUTT, Thailand

Publicity Chair

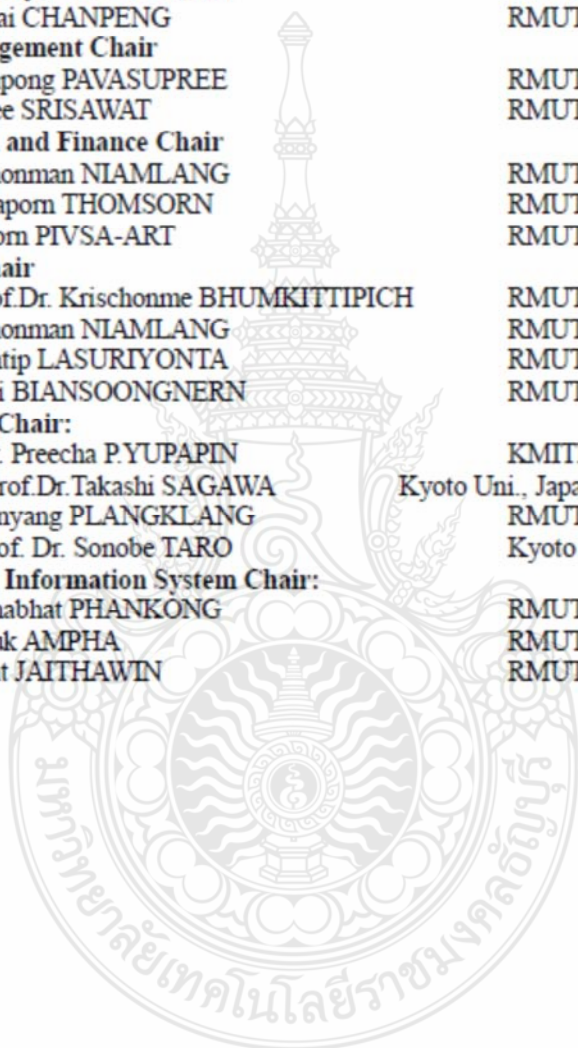
Asst.Prof.Dr. Krischonme BHUMKITTIPICH RMUTT, Thailand
 Dr. Sumonman NIAMLANG RMUTT, Thailand
 Dr. Montip LASURIYONTA RMUTT, Thailand
 Somchai BIANSOONGNERN RMUTT, Thailand

Publication Chair:

Prof. Dr. Preecha P.YUPAPIN KMITL, Thailand
 Assoc.Prof.Dr.Takashi SAGAWA Kyoto Uni., Japan
 Dr. Boonyang PLANGKLANG RMUTT, Thailand
 Asst. Prof. Dr. Sonobe TARO Kyoto Uni., Japan

Website and Information System Chair:

Dr. Nathabhat PHANKONG RMUTT, Thailand
 Phongsuk AMPHA RMUTT, Thailand
 Deachrat JAITHAWIN RMUTT, Thailand



CONTENT

ET32	Monitoring of 120 kWp PV Microgrid System <i>Wasivrot Netisak and Nipon Ketjoy</i>	217
ET33	Design of Real Time Management Unit for Power Battery in PV-Hybrid Power Supplies by Application of Coulomb Counting Method <i>A. Aussawamaykin and B. Plangklang</i>	220
ET34	A Technique of Heat Pipe Filling with R-134a <i>Thanaphol Sukchana, Naris Pratinthong</i>	225
ET35	Effect of Filling Ratios and Adiabatic Length on Thermal Efficiency of Long Heat Pipe Filled with R-134a <i>Thanaphol Sukchana, Chaiyui Jaiboonma</i>	229
ET36	Optimal Distributed Generation Placement and Sizing for Power Loss Reduction Using Particle Swarm Optimization <i>W. Phuangpornpitak and K. Bhunkittipich</i>	234
ET37	A Computer Program for Evaluating the Risk of Lightning and Designing Installation of Lightning Rod for Photovoltaic System <i>S. Ittarat S. Hiranvarodom and B. Plangklang</i>	239
ET38	Speed and Power Control a Slip Energy Recovery Drive Using Voltage-Source PWM Converter with Current Controlled Technique <i>S. Tuynasrirut and V. Kimares</i>	243
ET39	Study of Energy Saving from Elevator Energy Regenerative Unit (EERU) Case Study: RMUTT, Thailand <i>Thanit Phanprayool and Boonyang Plangklang</i>	249
ET41	Experimental Investigation of the Effect of Adiabatic Length on the Efficiency of Thermosyphon Heat Pipe Filled with R-134a <i>Thanaphol Sukchana and Naris Pratinthong</i>	253
ET42	Voltage Control by DQ Frame Technique of SVPWM AC-DC Converter <i>N. Mounghkhum and W. Subsingha</i>	258

A Computer Program for Evaluating the Risk of Lightning and Designing Installation of Lightning Rod for Photovoltaic System

S. Ittarat¹ S. Hiranvarodom² and B. Plangklang³

Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering,
Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Klong 6, Thanyaburi, Pathumthani 12110
E-mail: songpol_it@hotmail.com¹, hiranvarodom@yahoo.com² and pboonyang@gmail.com³

Abstract— Due to the fact that Photovoltaic (PV) systems must be practically installed in outdoor areas for converting solar radiation into electric power. For this reason, PV systems have to face the risk of damage from lightning. Mostly, PV Plants installed in Thailand, they have still not been installed lightning rods appropriately and engineers do not study lightning protection properly for PV systems. Then this paper has been gathering information about lightning protection in PV systems to develop a computer program for making a decision on either need to install lightning protection in PV system or not., the computer program can give a design on how to install lightning rods by using the protective angle method. This proposed computer program is tested by using the information from an existing 25kWp PV system installed at Thayang district, Phetburi province of Thailand. It was found that the existing 25k Wp PV system there faces a risk of damage from lightning strike on average 4.15 times per year and damage costs could be high. Accordingly, the proposed computer program can correctly design for lightning rod installation and verify the results by another 3D drawing program with the same method. From the results showed that all components of an existing PV system mentioned are properly protected by lightning rod. Consequently, the project owner is recommended that the existing PV system should be protected by installation of lightning rod.

Keywords— Program for Designing Lightning Protection System, Lightning Protection in PV System, Lightning Rod

1. INTRODUCTION

Due to the fact that Photovoltaic (PV) systems must be practically installed in outdoor areas for converting solar radiation into electric power. The area in Thailand. The climate is tropical and monsoon. The number of thunderstorm day per year is ranging from 50 to 110 days per year. [1] Therefore photovoltaic systems are risked to damage caused by lightning, directly and indirectly. This article discusses the damage from direct lightning strikes to prevent damage from direct lightning in photovoltaic systems installed in Thailand. Most systems are not installed Lightning rod and designers did not take into account for the study on lightning protection for photovoltaic systems This paper applies the concept of International debate on how to install lightning rod photovoltaic system yes or not. [2] to develop a computer program, and provides instructions on how to install Lightning rod by angle protection method.

From the recent paper showed that the proposed program used to design and install Lightning rod. SESShield [3] proposed program used to design and install the Lightning rod and used to check that it is sufficient to prevent the installation or not, the program has been used to design substations. Phuwanart Choonhapran [4] proposed program to design the lightning protection of buildings. Le Viet Dung [5] proposed program designed to help the Lightning rod installed as well and to check that the installation is adequately protected or not. As the three programs mentioned above are designing the lightning rod

protection to be installed at the height of the lightning rod and the program will make sure that the protection is sufficient or not. Therefore this paper presents the program computer that is used to evaluate the risk of damage in PV system from lightning to decide the need for installation lightning rod and to recommend "how to install lightning rod".

2. EVALUATION THE RISK OF DAMAGE FROM LIGHTNING

It has been study assessing the risk of lightning for photovoltaic system for assess whether or not. For the installed lightning protection system assessment of two main variables.

1. The evaluate the frequency of acceptable lightning strikes of the photovoltaic systems. N_c

2. The evaluate the frequency of direct lightning strikes of the photovoltaic systems. N_d

$N_c \geq N_d$ External lightning protection system not necessary

$N_c \leq N_d$ External lightning protection system is required

2.1 The evaluation the frequency of acceptable lightning strikes of the photovoltaic systems. (N_c)

The factor (N_c) is the accepted frequency of direct lightning strikes which obtained through multiplication of the respective individual factors is calculated as follows equation (1) [2]

$$N_c = A \times B \times C \times D \quad (1)$$

Table 1 Individual factor for determination of the accepted frequency of direct lightning discharge In solar systems N_c [2]

Investment value of the PV Systems	A
Low Investment < 100,000 Bath	1.0
Average Investment 100,000 –2,000,000 Bath	0.1
Hi Investment > 2,000,000 Bath	0.01
Investment value of any equipment also damaged	B
Low Investment < 100,000 Bath	1.0
Average Investment 100,000 –2,000,000 Bath	0.1
Hi Investment > 2,000,000 Bath	0.01
Demands on availability	C
Failure acceptable for several day to weeks	1.0
Failure acceptable to a limited extent for several day to weeks	0.1
Failure not acceptable for several day to weeks	0.01
Other consequential damage (apart form material damage and consequences of the failure)	D
Low	1.0
Moderate	0.5
High	0.1
Very high	0.01

2.2 The evaluation the frequency of direct lightning strikes of the photovoltaic systems. (N_d)

Is calculated as follows equation (2) [6].

$$N_d = N_g \times A_e \times C_e \times 10^{-6} \quad (2)$$

N_g : Average density of the ground flashes per km^2

Is calculated as follows equation (3) [6]

$$N_g = 0.04 \times T_d^{1.25} \quad (3)$$

T_d : thunderstorm days per year

A_e : equivalent collection area

Is calculated as follows equation (4) [6]

$$A_e = L.W + 6.H(L + W) + 9 \pi H^2 \quad (4)$$

- L : The width photovoltaic system installed
- W : The length photovoltaic system installed
- H : The high photovoltaic system installed.

C_e : a coefficient for the consideration of the surroundings of the object Shown in Table 2. [2]

Table 2 coefficient for the consideration of the surroundings of the object [2]

Relative location of the object	C_e
Object in a large area with buildings or trees of the same height or higher	0.25
Object Surrounded by smaller buildings	0.5
Free-standing object on further object within a distance of tree time the height of the free standing object	1
Free-standing object on a mountain peak or brow	2

3. PROPOSED PROGRAM COMPUTER

From method discuss in section 2, we apply to write program computer that used for decision about need of lightning rod. If need, how to install. The program uses protection angle method to design the height and number of lightning rod to make sure all of PV components installed in protection zone. All lightning rods installed in back side of PV array prevent from shading. Then consider the distance (p) and the height of the photovoltaic (t) in region protection as fig.1.

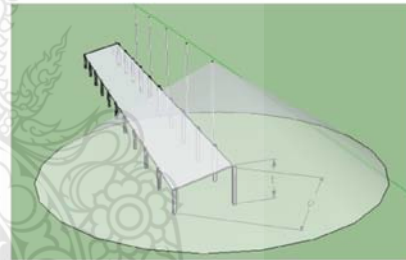


Fig.1, The (P) and (t) Distance in the defensive line.

The distance (p) calculated from equation (5) as follows.

$$p = \sqrt{\left(\frac{l}{n+1}\right)^2 + (w+s)^2} \quad (5)$$

- l : The width photovoltaic system installed
- n : Number of lightning rod
- w : The length photovoltaic system installed
- s : Safety distance.
- p : Distance protection as far as possible.

for Comprehensive protection to the height (t) and (p) in fig.2 [7] must be used Lightning rod to prevent a greater than or equal to (a) The rule of similar triangles to find the value. It is calculated as follows equation 6

$$a \geq \frac{h \times p}{h - t} \quad (6)$$

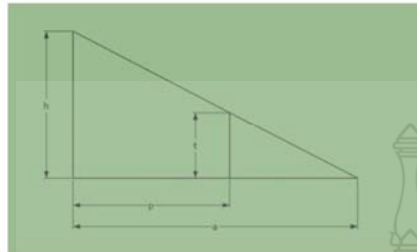


Fig 2, The distance protection a

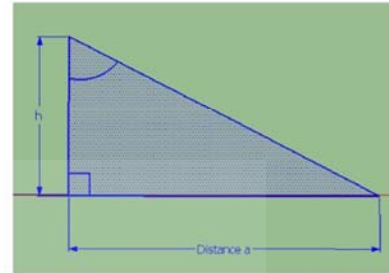


Fig.4, Safety zone in protection angle method

$$a = h \cdot \tan \alpha \quad (7)$$

The proposed program is based on the flow chart as in fig.3.

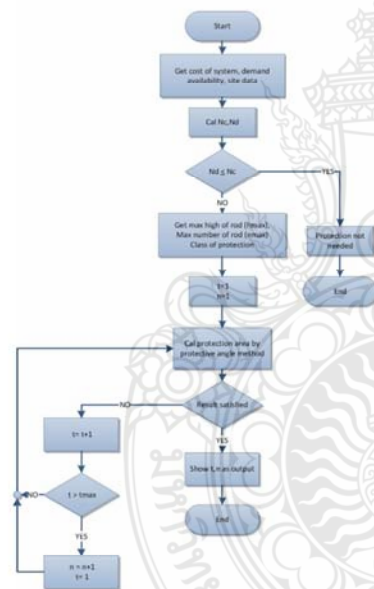


Fig.3, Flow chart of the program

Visual basic is used to implement this program by inputting location of installation, size of system, type of installation, area, and investment cost, then program will calculate (N_c) and (N_d) and decision the need of lightning rod. IF the result show that the systems needs a lightning rod, the program will ask for maximum height and maximum number of lightning rod that system allowed, Program will use protection angle method as fig.4 and calculate protection zone as follows equation (7) for recommend the height and number of lightning rod.

4. EXPERIMENT AND RESULT

This propose program is test by input the data from real installation PV Plant at Thayang Petchaburi Province 25kWp installed in clear area 360 mm² maximum heights from ground 4 m., The system is grid connected investment cost about 2.5 million Baht. Program calculates (N_c) Equal to 10×10^{-6} as fig.5, and (N_d) value is equal to 9.945×10^{-3} as fig.6, N_c less than N_d then the system needs lightning rod.



Fig.5 Calculation of N_d



Fig.6, Calculation of N_c

The proposed program recommends to install lightning rod height 12 m for 5 poles, distance between each pole 10 m. Protection radius of each pole is 19.2 m. Each has a protection 58 degrees and a radius of 19.20 m as fig.7.

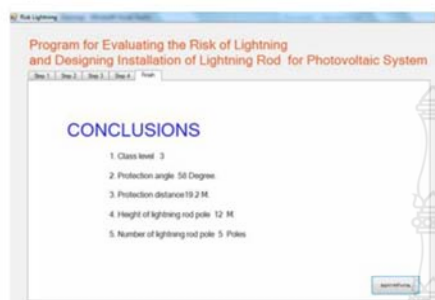


Fig.7, Recommend for lightning rod installation

From recommend of the program to validate the result by using 3D drawing with protection angle method and to check all of PV arrays in protection zone [7], the program results are show in fig.8



Fig.8, validation on result by 3D drawing

5. CONCLUSIONS

This paper presents a new program computer that can be used to evaluate the risk of damage in PV systems from lightning to make decision the need for installation lightning rod, and to recommend how to install lightning rod. By use data from real installation PV plant at Thayang Petchaburi Province 25kWp installed in clear area 360 mm², maximum heights from ground 4 m, investment cost about 2.5 million Baht, the results found that it faces a risk of damage from lightning strike on average 4.15 times per year. The calculate N_c are equal 10×10^{-6} and value N_d Are equal 9.945×10^{-3} The higher the value. N_c to run the program found that the system need to install lightning rod. The program recommend to install lightning rod 12 m, height for 5 poles, each has a protection 58 degrees, and a radius of 19.20 m., to validate the result, 3D drawing with protection angle method is used and the result found that all of PV arrays are in protection zone. Therefore this proposed program

can be used for evaluating and designing the lightning rod protection for PV systems.

REFERENCES

- [1] Thai Meteorological Information on the number of Annual thunderstorm. 2554
- [2] H.Becker, W.VaaBen.,F.VaBen., M.Bosanac., and I.Katic (2000). Energie, "Lightning and Overvoltage protection for PV System", The European Commission Directorate-General for Energy and Transport 200,rue de la Loi.
- [3] SESShield-3D, Graphical Analysis and Design of Lightning Shielding Systems for Complex Geometries, www.sestech.com/Products/SoftUtil/SESShield.htm, accessed on 21st Feb 2011
- [4] Phuanart Choonhapran "A COMPUTER AIDED PROGRAM FOR DESIGNING LIGHTNING PROTECTION SYSTEM FOR COMMON STRUCTURES Thesis 2543 Department of Electrical Engineering. Faculty of Engineering University.
- [5] Le Viet Dung and K.Petcharaks, Lightning Protection System Design for Substation by using Mast and Matlab, World Academy of Science Engineering and Technology 65 2010.
- [6] The Engineering Institute of Thailand under H.M. the King s Patronage. Protection against lightning E.I.T. Standard 2003-43.
- [7] Songpol Ittarat . Somchai Hiranvarodom and Boonyang Plangklag " Computer Program for Designing of Lightning Rod installation in PV Systems" the 8th Conference on Energy Network of thailand: E-NETT 8 2-4 May 2555 Taksila Hotel RE17 p 1-6

ค.3 “โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับประเมินความเสี่ยงอันตรายจากการถูกฟ้าผ่าและ
ออกแบบการติดตั้งตัวนำล่อฟ้าในระบบโฟโตโวลตาอิก” การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า
ครั้งที่ 35 (EECON 35) 12-14 ธันวาคม 2555 โรงแรมรอยัลลิสท์ กอล์ฟคลับ แอนด์ สปา

จ.นครนายก





รายชื่อผู้พิจารณาบทความ
การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้าครั้งที่ 35

Reviewer

Ajalawit Chantaveerod
Akaraphunt Vongkunghae
Akkarat Boonpoonga
Alex Pongpech
Amnat Suksri
Amnoiy Ruengwaree
Amorn Jiraseree-Amornkun
Anuchit Charean
Anupap Meesomboon
Anuwat Jangwanitlert
Anuwat Prasertsit
Aphibal Pruksanubal
Apichai Bhatranand
Apichan Kanjanavapastit
Apinunt Thanachayanont
Apirada Namsang
Apirat Siritaratiwat
Apiwat Lek-Uthai
Arkhom Mounghaodaeng
Arkom Kaewrawang
Arnuphap Dowrueng
Arporn Teeramongkonrasmee
Arthit Sode-Yome
Atcha Kopwittaya
Athikorn Sareephattananon
Atthapol Ngaopitakkul
Banchar Burapattanasiri
Benjamas Panomruttanarug
Bongkarn Hornnan
Bongkoj Sookananta
Boonchai Techaumnat
Boonchuay Supmonchai
Boonlert Suechoey
Boonruk Chipipop
Boonsri Kaewkham-Ai

Organization

Walailak University
Naresuan University
King Mongkut's University of Technology North Bangkok
Dhurakij Pundit University
Khon Kaen University
Rajamangala University of Technology Thanyaburi
Mahanakorn University of Technology
Kasem Bundit University
Khon Kaen University
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Prince of Songkla University
King Mongkut's University of Technology North Bangkok
King Mongkut's University of Technology Thonburi
Udon Thani Rajabhat University
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Civil Aviation Training Center Thailand
Khon Kaen University
Chulalongkorn University
Srinakharinwirot University
Khon Kaen University
National Electronics and Computer Technology Center
Chulalongkorn University
Siam University
National Electronics and Computer Technology Center
Eastern Asia University
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Kasem Bundit University
King Mongkut's University of Technology Thonburi
Dhurakij Pundit University
Ubon Ratchathani University
Chulalongkorn University
Chulalongkorn University
South-East Asia University
King Mongkut's University of Technology Thonburi
Chiang Mai University



Reviewer

Boonyang Plangklang
Boonying Knobnob
Budhapon Sawetsakulanond
Bundit Thipakorn
Bunlung Neammanee
Cattareeya Suwanasri
Chai Chompoo-Inwai
Chainarin Ekkaravardome
Chainarong Klimanee
Chainarong Wisassakwichai
Chairat Pinthong
Chaiwut Chat-Uthai
Chaiyachet Saivichit
Chaiyan Jettanasen
Chaiyaporn Khemapatapan
Chaiyaporn Lothongkam
Chaiyo Thammarat
Chaiyo Thammarat
Chalee Vorakulpipat
Chanchai Thajjiam
Chanchai Dechthummarong
Chanin Wissawinthanon
Channarong Banmongkol
Chanwit Boonchuay
Charin Junlawanit
Charnchai Pluempitwiriyawej
Charturong Tantibundhit
Chatchai Jantaraprim
Chatchai Suppitsakul
Chatchai U-Thaiwasin
Chatchawarn Hansakunbuntheung
Chawasak Rakpenthai
Cherdkul Sopavanit
Chiranut Sa-Ngiamsak
Chirasak Sinsukodomchai

Organization

Rajamangala University of Technology Thanyaburi
Rajamangala University of Technology Thanyaburi
Mahanakorn University of Technology
King Mongkut's University of Technology Thonburi
King Mongkut's University of Technology North Bangkok
King Mongkut's University of Technology North Bangkok
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
King Mongkut's University of Technology North Bangkok
Srinakharinwirot University
Rajamangala University of Technology Krungthep
Naresuan University
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Chulalongkorn University
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Dhurakij Pundit University
Mahanakorn University of Technology
South-East Asia University
South-East Asia University
National Electronics and Computer Technology Center
Srinakharinwirot University
Rajamangala University of Technology Lanna
Chulalongkorn University
Chulalongkorn University
Rajamangala University of Technology Rattanakosin
Rajamangala University of Technology Phra Nakhon
Chulalongkorn University
Thammasat University
Prince of Songkla University
Rajamangala University of Technology Thanyaburi
South-East Asia University
National Electronics and Computer Technology Center
University of Phayao
Chulalongkorn University
Khon Kaen University
South-East Asia University



รายชื่อผู้พิจารณาบทความ
การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้าครั้งที่ 35

Reviewer

Chirdpong Deelertpaiboon
Choochart Haruechaiyasak
Chow Chompoonwai
Chukiet Sodsri
Chumnarn Punyasai
Chutipon Uyaisom
Chuttchaval Jeraputra
Deacha Puangdownreong
Decha Wilairat
Denchai Worasawate
Diew Koolpiruck
Dr.-Eng. Pakorn Ubolkosold
Duang-Arthit Srimoon
Ekachai Leelarasmee
Ekachai Phaisangittisagul
Ekapon Siwapornsathain
Issarachai Ngamroo
Jakkree Srinonchat
Jantana Panyavaraporn
Jasada Kudtongngam
Jeerasuda Koseeyaporn
Jirasak Chanwutitum
Jitkomut Songsiri
Jonglak Pahasa
Jukkrit Tagapanij
Jumpol Polvichai
Kamon Jirasereeamornkul
Kampol Woradit
Kanadit Chetpattananondh
Kanchana Silawarawet
Kanitpong Pengwon
Karel Sterckx
Kasem Utaikaifa
Keattisak Sripimanwat
Keerati Chayakulkheeree

Organization

King Mongkut's University of Technology North Bangkok
National Electronics and Computer Technology Center
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Silpakorn University
National Electronics and Computer Technology Center
Eastern Asia University
Mahidol University
South-East Asia University
Mahidol University
Kasetsart University
King Mongkut's University of Technology Thonburi
Bangkok University
Rangsit University
Chulalongkorn University
Kasetsart University
King Mongkut's University of Technology Thonburi
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Rajamangala University of Technology Thanyaburi
Burapha University
National Electronics and Computer Technology Center
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
King Mongkut's University of Technology North Bangkok
Chulalongkorn University
University of Phayao
Mahanakorn University of Technology
King Mongkut's University of Technology Thonburi
King Mongkut's University of Technology Thonburi
Srinakharinwirot University
Prince of Songkla University
Siam University
Chiang Mai University
Bangkok University
University of the Thai Chamber of Commerce
National Electronics and Computer Technology Center
Sripatum University



Reviewer

Khanittha Kaewdang
Kiattisin Kanjanawanishkul
Kitja Luckamnuyporn
Kittiphong Meesawat
Kittipong Tonmitr
Kittisak Tripipatpornchai
Kittiwann Nimkerdphol
Kobchai Dejhan
Kobsak Sriprapha
Komsan Hongesombut
Komson Daroj
Komson Petcharaks
Kongpan Areerak
Korporn Panyim
Kosin Chamnongthai
Kosol Nithisopa
Kosol Oranpiroj
Krischonme Bhumkittipich
Krisda Yingkayun
Krissada Asavaskulkiet
Krit Angkeaw
Kritchai Witheephanich
Kulyos Audomvongseree
Kunnthphong Srisathit
Kusumal Chalermyanont
Laor Boongasame
La-Or Kovavisaruch
Lunchakorn Wuttisittikulij
Mana Sriyudthsak
Manop Aorpimai
Marut Buranarach
Mitchai Chongcheawchamnan
Monai Krairiks
Mongkol Konghirun
Mongkol Pusayatanont

Organization

Ubon Ratchathani University
Mahasarakham University
Rajamangala University of Technology Phra Nakorn
Khon Kaen University
Khon Kaen University
Rangsit University
Rajamangala University of Technology Thanyaburi
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
National Electronics and Computer Technology Center
Kasetsart University
Ubon Ratchathani University
Chulalongkorn University
Suranaree University of Technology
Mahidol University
King Mongkut's University of Technology Thonburi
Rajamangala University of Technology Phra Nakhon
Rajamangala University of Technology Lanna
Rajamangala University of Technology Thanyaburi
Rajamangala University of Technology Lanna
Mahidol University
King Mongkut's University of Technology North Bangkok
Srinakharinwirot University
Chulalongkorn University
Rajamangala University of Technology Rattanakosin
Prince of Songkla University
Bangkok University
National Electronics and Computer Technology Center
Chulalongkorn University
Chulalongkorn University
Mahanakorn University of Technology
National Electronics and Computer Technology Center
Prince of Songkla University
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
King Mongkut's University of Technology Thonburi
Ubonratchatani University



Reviewer

Monthon Nawong
 Montree Siripruchyanun
 Montri Karnjanadecha
 Montri Somdunyanok
 Naebboon Hoonchareon
 Nalin Sidahao
 Napat Sra-lum
 Nararat Ruangchaijatupon
 Narong Buabthong
 Narong Yoothanom
 Narongdech Keeratipranon
 Natasha Dejdumrong
 Natchpong Hatti
 Nathabhat Phankong
 Nathem Koetsam-Ang
 Nattachote Rugthaicharoencheep
 Nattapong Phanthuna
 Nattapong Swangmuang
 Nattavut Chayavanich
 Nattawoot Suwannata
 Natth Junkrob
 Nattha Jindapetch
 Natthaphob Nimpitiwan
 Natthawuth Somakettarin
 Nimit Boonpirom
 Nipapon Siripon
 Niphath Jantaramin
 Nipont Tangthong
 Nisachon Tangsangiumvisai
 Nit Petcharaks
 Nitipong Panklang
 Nopadol Uchaipichat
 Nopporn Patcharaprakiti
 Nuntiya Chaiyabut
 Nutthaphong Tanthanuch

Organization

Dhurakij Pundit University
 King Mongkut's University of Technology North Bangkok
 Prince of Songkla University
 Siam University
 Chulalongkorn University
 Mahanakorn University of Technology
 King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
 Khon Kaen University
 Thammasat University
 Sripatum University
 Dhurakij Pundit University
 King Mongkut's University of Technology Thonburi
 National Electronics and Computer Technology Center
 Rajamangala University of Technology Thanyaburi
 Kasem Bundit University
 Rajamangala University of Technology Phra Nakhon
 Rajamangala University of Technology Phra Nakhon
 Chiang Mai University
 King Mongkut's University of Technology Thonburi
 Maharakham University
 South-East Asia University
 Prince of Songkla University
 Bangkok University
 Rajamangala University of Technology Thanyaburi
 Sripatum University
 Chiang Mai University
 Naresuan University
 Rajamangala University of Technology Krungthep
 Chulalongkorn University
 Dhurakij Pundit University
 Rajamangala University of Technology Thanyaburi
 Thammasat University
 Rajamangala University of Technology Lanna
 Bangkok University
 Thammasat University



รายชื่อผู้พิจารณาบทความ
การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้าครั้งที่ 35

Reviewer

Opas Chutatape
Paiboon Kiatsookkanatorn
Paisarn Sonthikorn
Paitoon Raklua
Pakorn Kaewtrakulpong
Pakpum Somboon
Panavy Pookaiyaudom
Panus Nattharith
Panuthat Boonpramuk
Parachai Juanuwattanukul
Parnjit Damrongkulkamjorn
Patamaporn Sripadungtham
Pathomthat Chiradeja
Pawee Chaiyaboon
Peerapol Yuvapoositanon
Peerawat Yutthagowith
Peerayot Sanposh
Pennapa Pairodamonchai
Petch Nantivatana
Phaiboon Booppha
Phairote Wouchoum
Phaisan Ngamjanyaporn
Phakkawat Jantree
Phichet Moungnoul
Phongsak Phakamach
Phumin Kirawanich
Pichai Aree
Pinit Thepsatorn
Pipat Prommee
Pished Bunnun
Pisit Liutanakul
Pisit Vanichchanunt
Pisit Wisutmetheekorn
Pisut Raphisak
Piya Warabuntaweasuk

Organization

Rangsit University
Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi
King Mongkut's University of Technology Thonburi
Rajamangala University of Technology Thanyaburi
King Mongkut's University of Technology Thonburi
Bangkok University
Mahanakorn University of Technology
Naresuan University
King Mongkut's University of Technology Thonburi
Sripatum University
Kasetsart University
Kasetsart University
Srinakharinwirot University
Rajamangala University of Technology Thanyaburi
Mahanakorn University of Technology
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Udon Thani Rajabhat University
King Mongkut's University of Technology North Bangkok
Sripatum University
Udon Thani Rajabhat University
Prince of Songkla University
Rangsit University
Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
North Eastern University
Mahidol University
Thammasat University
Srinakharinwirot University
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
National Electronics and Computer Technology Center
King Mongkut's University of Technology North Bangkok
King Mongkut's University of Technology North Bangkok
Mahanakorn University of Technology
Kasetsart University
Bangkok University



รายชื่อผู้พิจารณาบทความ
การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้าครั้งที่ 35

Reviewer	Organization
Pongsatorn Sedtheetorn	Mahidol University
Pongsawat Kotchapoom	Eastern Asia University
Poonlap Lamsrichan	Kasetsart University
Pornchai Phukpattaranont	Prince of Songkla University
Pornrapeepat Bhasaputra	Thammasat University
Prajuab Pawarangkoon	Mahanakorn University of Technology
Pramin Artrit	Khon Kaen University
Pramote Anunvrapong	Rajamangala University of Technology Krungthep
Pramuk Unahalekhaka	Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi
Prapapan Khluabwannarat	South-East Asia University
Prasit Nakonrat	Ubon Ratchathani University
Prasit Teekaput	Chulalongkorn University
Prasopchok Hothongkham	Rajamangala University of Technology Rattanakosin
Prayoot Akkaraekthalin	King Mongkut's University of Technology North Bangkok
Preecha Kocharoen	Sripatum University
Preecha Sakarung	Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi
Rachu Punchalard	Mahanakorn University of Technology
Rangspan Marukatat	Mahidol University
Rardchawadee Silapunt	King Mongkut's University of Technology Thonburi
Rawid Banchuin	Siam University
Rungsimant Sitdhikorn	Mahanakorn University of Technology
Sakchai Thipchakurat	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Sakda Somkun	National Institute of Metrology
Sakorn Po-Ngam	King Mongkut's University of Technology Thonburi
Salitip Sinthusonthishat	Mahanakorn University of Technology
Samphan Phrompichai	Mahanakorn University of Technology
Samroeng Hintamai	Sripatum University
Sanchai Dechanupaprittha	Kasetsart University
Sanchai Rattananon	University of the Thai Chamber of Commerce
Sangsuree Vasupongayya	Prince of Songkla University
Santitham Prom-On	University College London
Sanun Srisuk	Mahanakorn University of Technology
Sanya Khunkhao	Sripatum University
Sanya Mitaim	Thammasat University
Saowapak Thongvigitmanee	National Electronics and Computer Technology Center



รายชื่อผู้พิจารณาบทความ
การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้าครั้งที่ 35

Reviewer

Sarawan Wongs
Sarawuth Chaimool
Sarun Sumriddetchajorn
Sataporn Pornpromlikit
Sawat Bunnjaweht
Seangrawee Buakaew
Sermak Uatrongjit
Singthong Pattanasethanon
Sirichai Dangeam
Siripong Chaysin
Siroj Sirisukprasert
Sirivit Taechajedcadarungsri
Siriwich Tadsuan
Siriya Skolthanasarat
Sisuda CHAITHONGSUK
Sitthidet Vachirasricirikul
Somboon Nuchprayoon
Somboon Sooksatra
Somchai Biansoongnern
Somchai Hiranvarodom
Somchai RATANATHAMMAPHAN
Somchat Jiriwibhakorn
Sommart Sangn-Gern
Somnida Bhatranand
Sompnop Rodamporn
Somporn Seewattanapon
Somying Thainimit
Somyot Kaitwanidvilai
Songklod Sriprang
Songkran Kantawong
Songphol Kanjanachuchai
Songrit Maneewongvatana
Sopon Phumeechanya
Sorawat Chivapreecha
Sorot Auyorn

Organization

King Mongkut's University of Technology Thonburi
King Mongkut's University of Technology North Bangkok
National Electronics and Computer Technology Center
Khon Kaen University
Mahanakorn University of Technology
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Chiang Mai University
Mahasarakham University
Rajamangala University of Technology Thanyaburi
Srinakharinwirot University
Kasetsart University
Khon Kaen University
South-East Asia University
National Electronics and Computer Technology Center
Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi
University of Phayao
Chiang Mai University
Rangsit University
Rajamangala University of Technology Thanyaburi
Rajamangala University of Technology Thanyaburi
Chulalongkorn University
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Mahanakorn University of Technology
Mahidol University
Srinakharinwirot University
Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi
Kasetsart University
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Rajamangala University of Technology Rattanakosin
Bangkok University
Chulalongkorn University
King Mongkut's University of Technology Thonburi
Silpakorn University
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Provincial Electricity Authority



Reviewer

Srisak Noyraiphoom
Suchada Sitjongsatoporn
Suchart Yammen
Suchin Trirongjitmoah
Sudchai Boonto
Sumate Naetiladdanon
Suneat Pranonsatit
Supachai Pailboon
Supachai Vorapojpisut
Supachate Innet
Suparek Manitpornsut
Supatana Auethavekiat
Supattana Nirukkanaporn
Supavadee Aramvith
Supawan Pongpitakchai
Supot Sookpotharom
Surachai Chaitusaney
Surachet Kanprachar
Surachoke Thanapitak
Surapan Airphaiboon
Surapong Suwankawin
Suratsavadee Korkua
Suree Pumrin
Suthathip Maneewongvatana
Suthee Rukkaphan
Suwat Pattaramalai
Suwit Kiravittaya
Tanasak Phanprasit
Tanet Wonghong
Tanin Duangjan
Tasanee Chayavanich
Taweepup Apiwattanapong
Teeravisit Laohapensaeng
Thamvarit Singhavilai
Thanadol Pritranan

Organization

Rajamagala University of Technology Phra Nakorn
Mahanakorn University of Technology
Naresuan University
Ubon Ratchathani University
King Mongkut's University of Technology Thonburi
King Mongkut's University of Technology Thonburi
Kasetsart University
Mahidol University
Thammasat University
University of the Thai Chamber of Commerce
University of the Thai Chamber of Commerce
Chulalongkorn University
Rangsit University
Chulalongkorn University
Naresuan University
Bangkok University
Chulalongkorn University
Naresuan University
Mahidol University
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Chulalongkorn University
Walailak University
Chulalongkorn University
King Mongkut's University of Technology Thonburi
Kasem Bundit University
King Mongkut's University of Technology Thonburi
Naresuan University
Bangkok University
Bangkok University
Srinakharinwirot University
King Mongkut's University of Technology Thonburi
National Electronics and Computer Technology Center
Mae Fah Luang University
Mahidol University
Mahidol University



รายชื่อผู้พิจารณาบทความ
การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้าครั้งที่ 35

Reviewer	Organization
Thanakorn Namhormchan	Eastern Asia University
Thanapat Promwattanapakdee	Sripatum University
Thanapong Suwanasri	King Mongkut's University of Technology North Bangkok
Thanathip Sum-Im	Srinakharinwirot University
Thaschagon Onboonuea	Eastern Asia University
Thavatchai Tayjasanant	Chulalongkorn University
Theerapol Muankhaw	Rajamangala University of Technology Thanyaburi
Theerayod Wiangtong	Mahanakorn University of Technology
Theerayut Janjaem	Kasem Bundit University
Theerayuth Chatchanayuenyong	Maharakham University
Thidarat Tawsook	Bangkok University
Thipwan Fangsuwannarak	Suranaree University of Technology
Thumrongrat Amornraksa	King Mongkut's University of Technology Thonburi
Toempong Phetchakul	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Trin Saengsuwan	Kasetsart University
Tuchsanai Ploysuwan	Siam University
Ukrit Mankong	Chiang Mai University
Usana Tuntoolavest	Kasetsart University
Ut Goenchanart	Rangsit University
Uthen Kamnam	Rajamangala University of Technology Lanna
Varathana Arjritth	Srinakharinwirot University
Vech Vivek	King Mongkut's University of Technology North Bangkok
Veerachai Malyavej	Mahanakorn University of Technology
Viboon Chunkag	King Mongkut's University of Technology North Bangkok
Vichai Sae-Li	Eastern Asia University
Vichakorn Hengsrirawat	Sripatum University
Vijit Kinnares	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Virasit Imtawil	Khon Kaen University
Vladimir Buntilov	Mahidol University
Vuttiapon Tarateeraseth	Srinakharinwirot University
Vyapote Supabowornsathian	Siam University
Waleed Mohammad	Bangkok University
Walisa Romsaiyud	Siam University
Wanchai Chankaipol	Sripatum University
Wanchai Chimchavee	University of the Thai Chamber of Commerce



รายชื่อผู้พิจารณาบทความ
การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้าครั้งที่ 35

Reviewer

Wanchai Pijitrojana
Wanchai Subsingha
Wanchak Lenwari
Wanchalerm Pora
Wannarat Suntiamorntut
Warit Wichakool
Watis Leelapatra
Weerapun Rungseevijitprapa
Wekin Piyarat
Werachet Khan-Ngern
Werapon Chiracharit
Wichit Krueasuk
Widhyakorn Asdornwised
Wijitra Petchakit
Wilaiporn Lee
Winyu Sawaengsinkasikit
Wipavan Narksarp
Wisam Patchoo
Wiwat Tippachon
Wongwit Senavongse
Worakarn Wongsachua
Wuthiporn Loetwassana
Wuttipong Kumwilaisak
Wuttiwat Kongrattanaprasert
Yongyut Chonbodeechalermroong
Yongyuth Naras
Yongyuth Permpoontanalarp
Youthana Kulvittit
Yutana Chongjarearn
Yutana Jewajinda
Yuttana Kumsuwan
Yuttapong Jiraksopakun
Yutthana Kanthaphayao

Organization

Thammasat University
Rajamangala University of Technology Thanyaburi
King Mongkut's University of Technology Thonburi
Chulalongkorn University
Prince of Songkla University
Prince of Songkla University
Khon Kaen University
Chulalongkorn University
Srinakharinwirot University
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
King Mongkut's University of Technology Thonburi
Sripatum University
Chulalongkorn University
Walailak University
King Mongkut's University of Technology North Bangkok
Kasem Bundit University
Siam University
Bangkok University
Rajamangala University of Technology Lanna
Srinakharinwirot University
Ubon Ratchathani University
Mahanakorn University of Technology
King Mongkut's University of Technology Thonburi
Rajamangala University of Technology Krungthep
Naresuan University
Siam University
King Mongkut's University of Technology Thonburi
Chulalongkorn University
Dhurakij Pundit University
National Electronics and Computer Technology Center
Chiang Mai University
King Mongkut's University of Technology Thonburi
Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi

สารบัญ

PW061	<p>การวิเคราะห์ปรากฏการณ์ฟ้าผ่าสำหรับระบบท่อส่งปีโคเรียมใต้ดินและแนว ทางการป้องกัน</p> <p>บุญเลิศ โคประคิมฐ์^{1,2} กฤษณ์ชนม์ ภูมิภคพิชญ์ และธนพงศ์ สุวรรณศรี³ ¹บริษัท ท่อส่งปีโคเรียม ไทย จำกัด ²มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ³มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ</p>	251
PW062	<p>โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับประเมินความเสี่ยงอันตรายจากการถูกฟ้าผ่าและ ออกแบบการติดตั้งตัวนำล่อฟ้าในระบบไฟโตโวลตาอิก</p> <p>ทรงพล อธิรัตน์, สมชัย หิรัญโรคม และบุญยัง ปลั่งกลาง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี</p>	255
PW063	<p>A Study of Induced Overvoltage of MEA'69 kV Transmission Line due to Lightning Strokes to Pole and Mid Span</p> <p>ณัฐพงศ์ สุวรรณ โชติ อรุณ ชลิ่งสุทธิ¹ นัฐ โชติ รักไทยเจริญชีพ และอรรด พยอมหอม² ¹มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ²การไฟฟ้านครหลวง</p>	259
PW064	<p>Application of Genetic Algorithms in Voltage Sag State Estimation due to Single Line to Ground Faults of 24 bus Reliability Power System</p> <p>Chamni Jaipradidham¹ and Chatchai U-thaiwasin² ¹Kasem Bundit University ²South-East Asia University</p>	263
PW065	<p>การประยุกต์ใช้ระบบเก็บสะสมพลังงานแบบแคปซิเตอร์ในระบบจำหน่ายเพื่อชะลอ การลงทุนในระยะสั้น</p> <p>ชนิกนันท์ วันณะสุด และกมลสันต์ หงษ์สมบัติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์</p>	267
PW066	<p>การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีประมวลผลภาพร่วมกับเครื่องวัดคุณภาพกำลังไฟฟ้า ประเมินผลความถูกต้องเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าแบบอิเล็กทรอนิกส์</p> <p>อดิศักดิ์ เจริญรุ่งโรจน์¹ อัครชัย สุภพิทักษ์สกุล² และณัฐวุฒิ โสมเกษครินทร์³ ¹การไฟฟ้านครหลวงภูมิภาคเมืองพัทยา ^{2,3}มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี</p>	271

โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับประเมินความเสี่ยงอันตรายจากการถูกฟ้าผ่าและออกแบบการติดตั้งตัวนำล่อฟ้าในระบบโฟโตโวลตาอิก

A Computer Program for Evaluating the Risk of Lightning and Designing Installation of Lightning Rod for Photovoltaic System

ทรงพล อธิรัตน์, สมชัย หิรัญโรดมและบุญยัง ปลั่งกลาง

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ถนนรังสิต-นครนายก ตำบลคลองหก อำเภอธัญบุรี จังหวัดปทุมธานี 12110

โทร 0-2549-3420 โทรสาร 0-2549-3551 E-mail: songpol_it@hotmail.com

บทคัดย่อ

เนื่องด้วยระบบโฟโตโวลตาอิกนั้นจำเป็นต้องติดตั้งในที่สูง เพื่อให้สามารถเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้าได้มากที่สุด ดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้ที่จะได้รับอันตรายจากการถูกฟ้าผ่า แต่ระบบโฟโตโวลตาอิกขนาดใหญ่ที่ติดตั้งในประเทศไทยส่วนมากไม่มีการติดตั้งตัวนำล่อฟ้าและผู้ออกแบบไม่ได้คำนึงถึงการศึกษาก่อนการป้องกันฟ้าผ่าสำหรับระบบโฟโตโวลตาอิก บทความนี้จึงได้รวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับการป้องกันฟ้าผ่าในระบบโฟโตโวลตาอิกแล้วนำมาประยุกต์เป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อตัดสินใจว่าระบบมีความจำเป็นต้องติดตั้งตัวนำล่อฟ้าหรือไม่ และถ้าจำเป็นต้องติดตั้งตัวนำล่อฟ้า จะต้องติดตั้งอย่างไรซึ่งโปรแกรมได้ประยุกต์ใช้วิธีมุมป้องกันในการออกแบบการติดตั้งตัวนำล่อฟ้า โปรแกรมที่นำเสนอนี้ได้นำข้อมูลจริงจากการติดตั้งระบบขนาด 25 kWp มาทดลอง ซึ่งติดตั้งที่ อ.พายาง จ.เพชรบุรี พบว่าในพื้นที่ดังกล่าวระบบมีโอกาสถูกฟ้าผ่าได้เฉลี่ย 4.15 ครั้งต่อปี ประกอบกับความเสียหายที่อาจจะเกิดขึ้นมีค่าสูง ดังนั้นระบบจึงจำเป็นต้องติดตั้งตัวนำล่อฟ้าตามที่โปรแกรมได้ทำการออกแบบให้และผลจากออกแบบได้นำไปทวนสอบด้วยโปรแกรมเขียนแบบสามมิติตามหลักการของวิธีมุมป้องกันพบว่าส่วนประกอบของระบบโฟโตโวลตาอิกทั้งหมดได้รับการป้องกันจากตัวนำล่อฟ้าที่ออกแบบไว้ พร้อมทั้งได้นำเสนอเจ้าของโครงการว่าควรมีการติดตั้งตัวนำล่อฟ้าในระบบ

คำสำคัญ: โปรแกรมออกแบบระบบป้องกันฟ้าผ่า, การป้องกันฟ้าผ่าสำหรับระบบโฟโตโวลตาอิก, ตัวนำล่อฟ้า

Abstract

Due to the fact that Photovoltaic (PV) systems must be practically installed in outdoor areas for converting solar radiation into electric power. For this reason, PV systems have to face the risk of damage from lightning. Mostly, PV Plants installed in Thailand, they

have still not been installed lightning rods appropriately and engineers do not study lightning protection properly for PV systems. Then this paper has been gathering information about lightning protection in PV systems and to develop a computer program for making a decision on either need to install lightning protection in PV system or not. If needed, the computer program can give a design on how to install lightning rods by using the protective angle method. This proposed computer program is tested by using the information from an existing 25kWp PV system installed at Thayang district, Phetchaburi province of Thailand. It was found that the existing 25k Wp PV system there faces a risk of damage from lightning strike on average 4.15 times per year and damage costs could be high. Accordingly, the proposed computer program can correctly design for lightning rod installation and verify the results by another 3D drawing program with the same method. From the results showed that all components of an existing PV system mentioned are properly protected by lightning rod. Consequently, the project owner is recommended that the existing PV system should be protected by installation of lightning rod.

Keywords: Program for Designing Lightning Protection System, Lightning Protection in PV System, Lightning Rod

1. คำนำ

เนื่องจากการติดตั้งระบบโฟโตโวลตาอิกจำเป็นต้องติดตั้งในที่สูงเพื่อให้สามารถผลิตพลังงานได้อย่างเต็มที่ ซึ่งพื้นที่ในประเทศไทยนั้น มีลักษณะภูมิอากาศแบบร้อนชื้นและมีมรสุม โดยมีจำนวนวันพายุฝนฟ้าคะนองต่อปี (Thunderstorm day, T_d) ตั้งแต่ 50-110 วันต่อปี [1] ดังนั้นระบบโฟโตโวลตาอิกจึงมีความเสี่ยงจากความเสียหายที่เกิดจากฟ้าผ่าทั้งทางตรงและทางอ้อม โดยในบทความนี้จะกล่าวถึงความเสียหาย

จากฟ้าผ่าทางตรงระบบป้องกันความเสียหายจากฟ้าผ่าทางตรงในระบบไฟโตโวลตาอิกซึ่งระบบไฟโตโวลตาอิกขนาดใหญ่ที่ติดตั้งในประเทศไทยส่วนมากไม่มีการติดตั้งตัวนำล่อฟ้าและผู้ออกแบบไม่ได้คำนึงถึงการศึกษาก็เกี่ยวกับการป้องกันฟ้าผ่าสำหรับระบบไฟโตโวลตาอิก บทความนี้จึงได้ประยุกต์แนวคิดของต่างประเทศเกี่ยวกับวิธีการพิจารณาว่าจะติดตั้งตัวนำล่อฟ้าในระบบไฟโตโวลตาอิกหรือไม่ [2] มาจัดทำเป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์ซึ่งถูกพัฒนาขึ้นสำหรับงานวิจัยนี้พร้อมทั้งให้คำแนะนำในการติดตั้งตัวนำล่อฟ้าตามวิธีการมูมป้องกัน

จากการสำรวจข้อมูลพบว่าโปรแกรมที่ใช้ช่วยออกแบบการติดตั้งตัวนำล่อฟ้าที่ใช้งานในท้องถณานั้นมีชื่อว่า SESShield [3] ซึ่งใช้เพื่อตรวจสอบว่าตัวนำล่อฟ้าที่ติดตั้งนั้นเพียงพอต่อการป้องกันหรือไม่ ซึ่งโปรแกรมดังกล่าวถูกใช้งานกับการออกแบบสถานีไฟฟ้า และงานวิจัยของภูวนารถ ชูณพรวณ [4] ได้ทำการสร้างโปรแกรมช่วยออกแบบระบบป้องกันฟ้าผ่าของอาคารทั่วไป และ Le Viet Dung [5] ได้ทำการสร้างโปรแกรมช่วยออกแบบการติดตั้งตัวนำล่อฟ้าเช่นกัน โดยใช้เพื่อตรวจสอบว่าตัวนำล่อฟ้าที่ติดตั้งนั้นเพียงพอต่อการป้องกันหรือไม่ ซึ่งโปรแกรมทั้งสามแบบที่กล่าวมาข้างต้นจำเป็นต้องมีการกำหนดจุดติดตั้งและความสูงของตัวนำล่อฟ้าก่อนแล้วโปรแกรมจะทำการวิเคราะห์ให้ว่าเพียงพอหรือไม่

ในบทความนี้จึงนำเสนอโปรแกรมช่วยออกแบบการติดตั้งตัวนำล่อฟ้าในระบบไฟโตโวลตาอิกโดยทำการประเมินความเสี่ยงก่อนว่าจำเป็นต้องติดตั้งหรือไม่และถ้าพบว่าเป็นโปรแกรมจะทำการออกแบบการติดตั้งให้โดยใช้วิธีการมูมป้องกันโดยผู้ใช้งานไม่จำเป็นต้องกำหนดจุดติดตั้งและความสูงของตัวนำล่อฟ้าขึ้นมาเองก่อน

2. การประเมินความเสี่ยงจากการถูกฟ้าผ่าของระบบ

ไฟโตโวลตาอิก

ได้มีการศึกษาเกี่ยวกับการประเมินความเสี่ยงจากการถูกฟ้าผ่าของระบบไฟโตโวลตาอิก เพื่อใช้ประเมินว่าสมควรติดตั้งระบบป้องกันฟ้าผ่าหรือไม่ โดยประเมินจากสองตัวแปรหลักคือ

1. ค่าความถี่ของการเกิดฟ้าผ่าที่ระบบยอมรับได้ N_c
2. ค่าความถี่ของการเกิดฟ้าผ่าโดยตรงกับระบบ N_d

โดยถ้า $N_c \geq N_d$ หมายถึง ระบบยอมรับการเกิดฟ้าผ่าได้มากกว่าความถี่ที่จะเกิดฟ้าผ่า ดังนั้นไม่จำเป็นต้องติดตั้งตัวนำล่อฟ้า

แต่ถ้า $N_c < N_d$ หมายถึง ความถี่ที่จะเกิดฟ้าผ่ามีค่ามากกว่าที่ระบบยอมรับได้ ดังนั้นจำเป็นต้องติดตั้งตัวนำล่อฟ้า

2.1 การประเมินค่าความถี่ของการเกิดฟ้าผ่าที่ยอมรับได้ของระบบไฟโตโวลตาอิก (N_c)

สามารถคำนวณตามสมการที่ 1 โดยค่า A, B, C และ D เป็นไปตามตารางที่ 1 [2] โดยพิจารณาจากมูลค่าของเงินลงทุนทั้งระบบ, มูลค่าความเสียหายของอุปกรณ์และความต้องการใช้พลังงานจากระบบ

$$N_c = A \times B \times C \times D \quad (1)$$

ตารางที่ 1 ตัวแปรที่ใช้ประเมินค่า N_c [2]

เงินลงทุนของระบบ	A
ต่ำ (น้อยกว่า 100,000 บาท)	1.0
ปานกลาง (100,000 – 2,000,000 บาท)	0.1
สูง (มากกว่า 2,000,000 บาท)	0.01
มูลค่าของอุปกรณ์อื่นๆที่จะเสียหาย	B
ต่ำ (น้อยกว่า 100,000 บาท)	1.0
ปานกลาง (100,000 – 2,000,000 บาท)	0.1
สูง (มากกว่า 2,000,000 บาท)	0.01
ความต้องการใช้พลังงานจากระบบ	C
ยอมรับได้มากกว่า 1 อาทิตย์	1.0
ยอมรับได้ไม่เกิน 1 อาทิตย์	0.1
ยอมรับได้ไม่เกิน 1 วัน	0.01
ความเสียหายอื่นๆที่เกี่ยวข้อง	D
ต่ำ	1.0
ปานกลาง	0.5
สูง	0.1
สูงมาก	0.01

2.2 การประเมินค่าความถี่ของการเกิดฟ้าผ่าโดยตรงกับระบบ

ไฟโตโวลตาอิก (N_d)

สามารถคำนวณได้ตามสมการที่ 2 [6]

$$N_d = N_g \times A_c \times C_c \times 10^{-6} \quad (2)$$

โดยค่า N_g หมายถึง ค่าเฉลี่ยของจำนวนครั้งการเกิดฟ้าผ่าต่อปีในพื้นที่นั้นๆ โดยสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 3 [6]

$$N_g = 0.04 \times T_d^{1.25} \quad (3)$$

โดยค่า T_d หมายถึงจำนวนวันที่มีฝนฟ้าคะนองต่อปี

A_c หมายถึง พื้นที่รับฟ้าผ่าสมมูลของสิ่งปลูกสร้างพิจารณาตามได้จากสมการที่ 4 [6]

$$A_c = L.W + 6.H(L + W) + 9\pi H^2 \quad (4)$$

โดย L, W, H คือ ความยาว, ความกว้าง และ ความสูงของระบบไฟโตโวลตาอิก

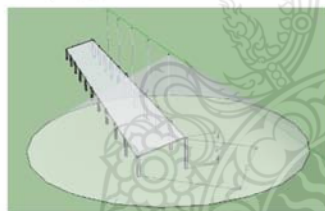
ค่า C_c หมายถึง สัมประสิทธิ์ของพื้นที่ที่ติดตั้งระบบมีค่าดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 สัมประสิทธิ์ของพื้นที่ติดตั้ง [2]

ลักษณะพื้นที่	C_c
มีต้นไม้หรืออาคารที่สูงเท่ากันหรือสูงกว่าอยู่รอบๆ	0.25
มีต้นไม้หรืออาคารที่ต่ำกว่าอยู่รอบๆ	0.5
ไม่มีต้นไม้หรืออาคารอยู่ในระยะ 3 เท่าของความสูง	1
อยู่บนยอดเขา	2

3. โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่นำเสนอและพัฒนาขึ้น

จากวิธีการในข้อ 2 ได้นำมาประยุกต์เป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อใช้ตัดสินใจว่าควรติดตั้งตัวนำไฟฟ้าให้กับระบบไฟโตโวลตาอิกหรือไม่ และถ้าจำเป็นต้องติดตั้งตัวนำไฟฟ้าจะต้องติดตั้งอย่างไร โดยโปรแกรมจะใช้วิธีการมุมป้องกันเพื่อออกแบบจำนวนคันและความสูงของตัวนำไฟฟ้าให้ระบบไฟโตโวลตาอิกทั้งหมดอยู่ในเขตป้องกัน โดยกำหนดให้ตัวนำไฟฟ้าทั้งหมดติดตั้งอยู่ด้านหนึ่งแถวไฟโตโวลตาอิกเพื่อไม่ให้เกิดเงาตกลงบนแผงไฟโตโวลตาอิก แล้วพิจารณาเวลาที่ใกล้ที่สุด (p) และความสูงของระบบไฟโตโวลตาอิก (l) ให้อยู่ในเขตป้องกัน ดังรูป 1 [7]



รูปที่ 1 ระยะ p และ l ที่ต้องอยู่ในแนวป้องกัน

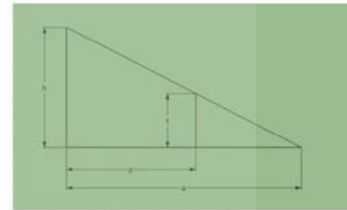
โดยระยะ p คำนวณได้จากสมการที่ 5 ดังนี้

$$p = \sqrt{\left(\frac{l}{n+1}\right)^2 + (w+s)^2} \tag{5}$$

- l หมายถึง ความยาวของพื้นที่ติดตั้งระบบไฟโตโวลตาอิก
- n หมายถึง จำนวนคันของตัวนำไฟฟ้า
- w หมายถึง ความกว้างของพื้นที่ติดตั้งระบบไฟโตโวลตาอิก
- s หมายถึง ระยะห่างความปลอดภัยระหว่างระบบกับเสาตัวนำไฟฟ้า
- p หมายถึง ระยะป้องกันที่ใกล้ที่สุด

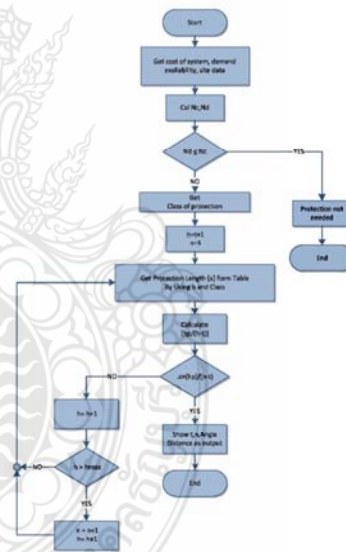
เพื่อให้เขตป้องกันครอบคลุมความสูง และระยะ p ดังรูปที่ 2 [7] ต้องเลือกใช้ตัวนำไฟฟ้าที่มีระยะป้องกันมากกว่าหรือเท่ากับ a ซึ่งจากกฎของสามเหลี่ยมคล้ายสามารถหาค่า a ได้จากสมการที่ 6

$$a \geq \frac{h \times p}{h - t} \tag{6}$$



รูปที่ 2 การหาค่าระยะป้องกัน a

ซึ่งการทำงานของโปรแกรมที่นำเสนอเป็นไปตาม Flow Chart ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 Flow Chart ของโปรแกรม

4. การทดลองและผลการทดลอง

โปรแกรมที่นำเสนอได้นำข้อมูลจากการติดตั้งจริงกับระบบขนาด 25 kWp มาทดลอง ซึ่งติดตั้งที่ อ.ท่ายาง จ.เพชรบุรี บนพื้นที่โล่ง

แจ้ง 360 ตารางเมตร ติดตั้งสูง 4 เมตร เป็นระบบที่เชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคเพื่อขายกระแสไฟฟ้าคืนให้กับการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค เงินลงทุนระบบ 2.5 ล้านบาทมูลค่าอุปกรณ์อื่นๆที่จะเสียหายมีค่าปานกลาง ระบบมีการจำหน่ายไฟฟ้าคืนนั้นไม่สามารถหยุดงานได้และความเสียหายอื่น ๆ มีค่าต่ำ และมีโอกาสที่จะถูกฟ้าผ่าเฉลี่ยปีละ 4.15 ครั้งจำนวนค่า N_c ได้เท่ากับ 10×10^6 และค่า N_d ได้เท่ากับ 9.945×10^3 ทำให้ได้ค่า $N_c < N_d$ จึงจำเป็นต้องติดตั้งตัวนำล่อฟ้าให้กับระบบไฟโตโวลตาอิก โดยโปรแกรมจะทำการออกแบบการติดตั้งตัวนำล่อฟ้าให้โดยให้ค่าตอบเป็นจำนวนต้นและความสูงของตัวนำล่อฟ้า, มุมป้องกันและระยะป้องกันดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 ผลการออกแบบจากโปรแกรม

จากผลลัพธ์การออกแบบของโปรแกรมได้ว่าติดตั้งตัวนำล่อฟ้าสูง 12 เมตรจำนวน 5 ต้น แต่ละต้นมีมุมป้องกัน 58 องศา มีรัศมี 19.20 เมตร และแต่ละต้นห่างกัน 10 เมตร ดังรูปที่ 5 ซึ่งแต่ละต้นจะอยู่ด้านหลังแผงระบบไฟโตโวลตาอิกและแต่ละต้นจะอยู่ห่างกัน 10 เมตร จากข้อมูลดังกล่าวนำมาทวนสอบด้วยโปรแกรมเขียนแบบสามมิติตามหลักการวิธีมุมป้องกัน เพื่อตรวจสอบพื้นที่ที่ได้รับการป้องกันจากตัวนำล่อฟ้าพบว่าแผงระบบไฟโตโวลตาอิกทั้งหมดอยู่ในเขตป้องกันดังรูปที่ 5 [7]



รูปที่ 5 แบบสามมิติที่ใช้ตรวจสอบการออกแบบ

5. สรุปผล

บทความนี้ได้นำเสนอโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้ประเมินความเสี่ยงอันตรายที่จะได้รับจากการถูกฟ้าผ่าในระบบไฟโตโวลตาอิก

เพื่อประเมินว่าจำเป็นต้องติดตั้งตัวนำล่อฟ้าหรือไม่และถ้าจำเป็นต้องติดตั้งอย่างไร โดยได้นำข้อมูลจากการติดตั้งจริงมาทดลองการใช้งานโปรแกรมกับระบบที่มีการติดตั้งที่ อ.ท่าช้าง จ.เพชรบุรี ขนาด 25 kWp บนพื้นที่ 360 ตารางเมตรและติดตั้งสูงจากพื้นดิน 4 เมตร โดยระบบนี้ใช้เงินลงทุน 2.5 ล้านบาท มีโอกาสที่จะถูกฟ้าผ่าเฉลี่ยปีละ 4.15 ครั้งจำนวนค่า N_c ได้เท่ากับ 10×10^6 และค่า N_d ได้เท่ากับ 9.945×10^3 ซึ่งสูงกว่าค่า N_c ดังนั้นระบบดังกล่าวมีความจำเป็นต้องติดตั้งตัวนำล่อฟ้า โดยโปรแกรมได้ทำการออกแบบการติดตั้งตัวนำล่อฟ้าไว้จำนวน 5 ต้นแต่ละต้นสูง 12 เมตรโดยใช้วิธีการมุมป้องกัน โดยแต่ละต้นมีมุมป้องกัน 58 องศา และมีรัศมี 19.20 เมตร จากนั้นได้นำผลการออกแบบไปทวนสอบด้วยโปรแกรมเขียนแบบ 3 มิติโดยประยุกต์หลักการมุมป้องกันเช่นกันพบว่าทุกส่วนของระบบไฟโตโวลตาอิกได้รับการป้องกันจากตัวนำล่อฟ้าที่ออกแบบไว้ พร้อมทั้งได้นำเสนอเจ้าของโครงการว่าควรมีการติดตั้งตัวนำล่อฟ้าในระบบ

เอกสารอ้างอิง

- [1] กรมอุตุนิยมวิทยา ข้อมูลจำนวนครั้งที่เกิดฟ้าคะนองประจำปี 2554
- [2] H.Becker, W.VaaBen.,F.VaBen., M.Bosanac., and I.Katic (2000). Energie, "Lightning and Overvoltage protection for PV System", The European Commission Directorate-General for Energy and Transport 200,rue de la Loi.
- [3] SESShield-3D, Graphical Analysis and Design of Lightning Shielding Systems for Complex Geometries, www.sestech.com/Products/SoftUtil/SESShield.htm, accessed on 21 Feb 2011
- [4] ภูวนารถ สุขหยาพรณ โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยออกแบบระบบป้องกันฟ้าผ่าของอาคารทั่วไป วิทยานิพนธ์ ปริญญา 2543 ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- [5] Le Viet Dung and K.Petcharaks, Lightning Protection System Design for Substation by using Mast and Matlab, World Academy of Science Engineering and Technology 65 2010.
- [6] สมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์. 2546. มาตรฐานการป้องกันฟ้าผ่าสำหรับสิ่งปลูกสร้าง. มาตรฐาน ว.ศ.ท.2003-43.
- [7] ทรงพล อธิรัตน์ สมชัย หิริยิวโรคนและบุญยัง ปลั่งกลาง "โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับการออกแบบเพื่อการติดตั้งตัวนำล่อฟ้าในระบบไฟโตโวลตาอิก" การประชุมเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 8 (ENETT 8) 2-4 พฤษภาคม 2555 โรงแรมดักศิลา จ.มหาสารคาม RE17 หน้า 1-6

ค.4 “การป้องกันฟ้าผ่าโดยตรงสำหรับระบบโฟโตโวลตาอิกแบบบูรณาการร่วมกับอาคาร”
 การประชุมเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 9 8 - 10 พฤษภาคม 2556 โรงแรมชลพฤกษ์
 รีสอร์ท จังหวัดนครนายก

ISBN 978-974-8242-82-8

บทคัดย่อ

การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงาน
 แห่งประเทศไทย ครั้งที่ 9

9th Conference on Energy Network of Thailand

พลังงานสีเขียวเพื่อโลกที่สดใส
 Green Energy Brightens Our World

ณ ชลพฤกษ์ รีสอร์ท อำเภอบ้านนา จังหวัดนครนายก
 8-10 พฤษภาคม 2556

จัดการประชุมโดย
 คณะวิศวกรรมศาสตร์
 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร







ผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาบทความ

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

ศ.ดร. ทนงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์
ผศ.ดร. กอดชรัญ นามสงวน
ผศ.ดร. ศิวะ อัจฉริยวิริยะ

ดร. สถาพร ทองวิค
ดร. สโรชา เจริญวัย
ดร. สรพงษ์ ภาสุปรีย์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

ศ.ดร. สมชาติ โสภณรณฤทธิ
รศ.ดร. สักกมน เทพหัสดิน ณ อยุธยา

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

ผศ. วิศิษฐ์ สีสมาตกุล

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

ดร. เพ็ญญารัตน์ จินดา
ดร. อำนาจ บุญลอย
ดร. ฉัตรชัย นิยมผล

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ดร. ชโลธร ธรรมแท้
ดร. กิรติ สุลักษณ์
ดร. ชีระชาติ พรพิบูลย์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร

รศ.ดร. สมิทธิ์ เอี่ยมสอาด
รศ.ดร. ฐานิตย์ เมธียนานท์
ผศ.ดร. นุภาพ แยมไตรพัฒน์
ผศ.ดร. พรชัย นิเวศน์รังสรรค์
ผศ.ดร. วิชาญ คงเกียรติโพบูลย์
ผศ.ดร. สมชาย ศรีพัฒน์พัฒน์
ผศ.ดร. ศุภเกียรติ ศรีพนมธนากร
ผศ.ดร. ขวัญจิต วงษ์ชารี
ผศ.ดร. สลิลทิพย์ สินธุสนธิชาติ
ผศ.ดร. ประสาน สติย์เรืองศักดิ์
ดร. วาโย ช่างเจริญ
ดร. สมศักดิ์ เพ็ชรกุล
ดร. วิไลลักษณ์ สระมูล
ดร. วิฑิตพล หุยนันท์
อ. กิตติศักดิ์ ยงศิริ
อ. ขวัญชัย หนาแน่น
อ. ปุณยภัทร ภูมิภาค
อ. ไมตรี กระมุกพิจิตร

มหาวิทยาลัยนครสวรรค์

ผศ.ดร. สมชาย มณีวรรณ
ดร. ยงยุทธ ชนบดีเฉลิมรุ่ง
ดร. สิริมาศ เสงวีรัมย์
ดร. สันต์ จันทร์สมศักดิ์
ดร. สุพรรณนิภา วัฒนา
ดร. ศรายุทธ วิทยวุฒิ

มหาวิทยาลัยบูรพา

ดร. มิ่งพนา รังสิโยภาส
ดร. วิชรินทร์ ดงบัง

มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

ผศ.ดร.เจริญพร เลิศสถิตธนกร
ผศ.ดร. ณัฐพล ภูมิสะอาด
ดร. ชีรพัฒน์ ชมภูภา
ดร. โสภา สุวแพทย์
ดร. นิตา ชัยมูล
ดร. มณีรัตน์ องค์กรรัตติ

มหาวิทยาลัยมหิดล

ดร. รุ่ง กิตติพิชัย
ดร. วรศิษฐ์ ตรีทัศน์วินท์
รศ. ศุภชัย นาทะพันธ์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ดร. กฤษณ์ชนม์ ภูมิกิตติพิชญ์
ดร. สมชัย หิรัญวโรตม
ดร. ขวัญชัย จ้อยเจริญ
ดร. วันชัย ทรัพย์สิงห์
ดร. บุญยฤทธิ ประสาทแก้ว
ดร. วารุณี อริยะวิริยะ
ดร. ฉัตรชัย ศุภพิทักษ์กุลนันท์
ดร. บุญยง ปลั่งกลาง
ดร. อำนวย เรืองวาริ

มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา

ดร. โยจิน อึ้งกุล
ดร. ยิ่งรักษ์ อรรถเวชกุล

มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์

รศ.ดร. วัชระ เพิ่มชาติ

มหาวิทยาลัยรามคำแหง
ผศ.ดร. สมพร ธเนศวรณิษฐ์

มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ดร. กิตติ สถาพรประสาธน์

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
ดร. เทพฤทธิ์ ทองชูบ
ดร. กิรติ ชยะกุลศิริ
ดร. วิชชากร เสงศรีธวัช
ดร. ชลธิศ เอี่ยมวรวุฒิกุล
ดร. วริสรา เลิศไพฑูรย์พันธ์
ดร. นิमित บุญภิรมย์
อ. อภิรักษ์ สวัสดิ์กิจ
อ. เฉติญา จันทร์สา

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
ผศ.ดร. ชยุต นันทกุลิต

มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ผศ.ดร. อ่ำไพศักดิ์ ทิบุญมา

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
รศ.ดร. พงษ์เจต พรหมวงศ์
รศ.ดร. ชินรัชย์ เขียรพงษ์
รศ.ดร. จารุวัตร เจริญสุข
รศ.ดร. จำลอง ปราบแก้ว
ผศ.ดร. มนต์ศักดิ์ พิมสาร
ผศ.ดร. ณัฐวุฒิ เตไปวา
ดร. ดอน อิศรากร
ดร. วิชาดา เจษฎารัตนชัย
ดร. กุลนันทน์ เกียรติกิตติพงษ์

คณะกรรมการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
มหาวิทยาลัยทักษิณ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์
มหาวิทยาลัยนเรศวร
มหาวิทยาลัยบูรพา
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
มหาวิทยาลัยมหิดล
มหาวิทยาลัยแม่โจ้
มหาวิทยาลัยรังสิต
มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช
มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง
มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย
มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตต์
มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
มหาวิทยาลัยศรีปทุม
มหาวิทยาลัยศิลปากร

สาขาการจัดการสิ่งแวดล้อม: Environmental Managements (EVM)		
รหัสอ้างอิงบทความ	ชื่อบทความ	หน้า
EVM001	การลดปริมาณก๊าซเรือนกระจกในน้ำมันไฟโรไลซิสที่ได้จากขยะยางรถยนต์ด้วยกระบวนการไฟโรไลซิสเชิงเร่งปฏิกิริยา	854
EVM002	การวิเคราะห์ปริมาณการใช้พลังงานและการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อการผลิตน้ำมันปาล์มดิบ: กรณีศึกษาตัวอย่างสวนปาล์มน้ำมันและโรงสกัดน้ำมันปาล์มของประเทศไทย	860
EVM003	เครื่องวัดและวิเคราะห์ปริมาณฝุ่นละอองขนาดเล็ก PM2.5 และ 10 ในอากาศ	868
EVM004	การบำบัดน้ำเสียจากโรงอาหารโดยกระบวนการโอโซน	876
EVM005	การประเมินคาร์บอนคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของน้ำมันเชื้อเพลิง จากกระบวนการไฟโรไลซิสขยะพลาสติก	883
สาขาลงงานทดแทน: Renewable Energy (RE)		
รหัสอ้างอิงบทความ	ชื่อบทความ	หน้า
RE001	กระบวนการผลิตไฮโดรเจนโบโรไฮโดรคาร์บอนจากไฮโดรเจนบอเรตเพื่อใช้ในการกักเก็บไฮโดรเจนด้วยการดูดซับโดยออสซิลโลกราฟี	890
RE002	โปรตีนเซอร์แก๊สจากแก๊สซีพีเออร์ชนิดเบดดูดซับเหลวไฟโพลิงโดยใช้เชื้อเพลิงแก๊สและซีลเลอร์ร่วมกับไอน้ำ	898
RE003	การศึกษาออกแบบอุโมงค์ลม 3 ทิศทาง สำหรับเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากังหันลมแนวแกนตั้ง	904
RE004	การวิเคราะห์และเปรียบเทียบความเหมาะสมของระบบไฟส่องถนนพลังงานแสงอาทิตย์บนเกาะเต่า	910
RE005	การศึกษาการเชื่อมต่อเซลล์แสงอาทิตย์โดยวิธีการใช้หัวแรงไฟฟ้าในอุตสาหกรรมประกอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์	916
RE006	Experimental Analysis of a Charcoal Downdraft Gasifier and Gasoline with Motorcycle Engine	922
RE007	การศึกษาการเผาไหม้เชื้อเพลิงไม้กระถินสำหรับโรงไฟฟ้าชีวมวลของกองทัพเรือไทย	929
RE008	การพิจารณาผลค่าพลังงานสูญเสียและเพิ่มคุณภาพแรงดันไฟฟ้าของระบบจำหน่ายไฟฟ้าโดยติดตั้ง PV และตัวเก็บประจุในระบบจำหน่ายปฐมภูมิด้วย NSGA-II	936
RE009	ศึกษาอิทธิพลของแผ่นกระจายอากาศความเร็วอากาศและปริมาณอนุภาคที่มีผลต่อการหมุนวนของอนุภาคภายในเตาปฏิกรณ์ฟลูอิดเบดชั้นโรงงานต้นแบบ	942
RE010	การวิเคราะห์กังหันลมแบบแกนตั้ง	949
RE012	การศึกษากระบวนการผลิตแก๊สชีววมวลเพื่อพัฒนาเตาแก๊สชีววมวลแบบ Inverted Updraft Gasifiers	956
RE013	การป้องกันฟ้าผ่าโดยตรงสำหรับระบบไฟโตโวลตาอิกแบบบูรณาการร่วมกับอาคาร	964
RE014	การผลิตก๊าซสังเคราะห์จากกลีเซอรอลด้วยเครื่องปฏิกรณ์พลาสมา	969
RE015	เครื่องจำลองแสงอาทิตย์เทียมสำหรับการทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์	976
RE016	การศึกษาสมรรถนะและมลพิษไอเสียจากการใช้น้ำมันไบโอดีเซลในเครื่องยนต์ดีเซลกำเนิดไฟฟ้า	980
RE017	พื้นที่กำเนิดพลังงานจากเพียโซอิเล็กทริก	988
RE018	การวิเคราะห์การทำงานของเตาหุงต้มแบบเหนียวความร้อนด้วยวงจรถนักรวมตัวเรโซแนนซ์	994
RE019	การออกแบบใบพัดเพียโซอิเล็กทริกเพื่อเก็บเกี่ยวพลังงานจากลม	1000
RE020	คุณลักษณะมลพิษอนุภาคไบโอดีเซลในเครื่องยนต์	1006
RE021	การศึกษาสเปกตรัมของเชื้อเพลิงไบโอดีเซลในระบบหัวฉีดความดันสูง	1012
RE022	ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันของปาล์มโอเลอินกับโพพานอลด้วยคลื่นอัลตราซาวด์	1020
RE023	การเปรียบเทียบระบบการให้ความร้อนในการผลิตไบโอดีเซลด้วยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันจากน้ำมันปาล์ม	1025
RE024	การออกแบบกังหันลมผลิตไฟฟ้าขนาด 10 กิโลวัตต์เข้าสู่ระบบสายส่ง	1032

รหัสบทความ:
RE013

การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 9
8-10 พฤษภาคม 2556 จังหวัดนครนายก

การป้องกันฟ้าผ่าโดยตรงสำหรับระบบโฟโตโวลตาอิกแบบบูรณาการร่วมกับอาคาร Direct Lightning Protection in Building Integrated Photovoltaic System

ทรงพล อธิรัตน์^{*}, สมชัย หิรัญโรดม และ บุญยัง ปลั่งกลาง

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ถนนรังสิต-นครนายก ตำบลคลองหก อำเภอธัญบุรี
จังหวัดปทุมธานี 12110

*ผู้ติดต่อ: songpol_it@hotmail.com

บทคัดย่อ

ระบบโฟโตโวลตาอิกหรือระบบผลิตกำลังไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ เป็นที่ทราบกันดีว่าต้องติดตั้งในที่โล่งแจ้งเพื่อให้สามารถเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้าได้มากที่สุด ดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้ที่จะได้รับอันตรายจากการถูกฟ้าผ่า โดยในบทความนี้ได้นำเสนอการออกแบบติดตั้งตัวนำล่อฟ้าของระบบโฟโตโวลตาอิกแบบบูรณาการร่วมกับอาคาร (Building Integrated Photovoltaic: BIPV) เนื่องด้วยจากข้อจำกัดทางด้านพื้นที่และความก้าวหน้าทางด้านเทคโนโลยีของทางด้านโฟโตโวลตาอิก ทำให้ปัจจุบัน BIPV ได้รับความนิยมกันอย่างแพร่หลาย การออกแบบจะเริ่มต้นจากการประเมินเชิงวิเคราะห์ความเสี่ยงจากการถูกฟ้าผ่าของระบบโฟโตโวลตาอิกแบบ BIPV แล้วใช้วิธีทรงกลมกลิ้งในการออกแบบติดตั้งตัวนำล่อฟ้า โดยได้นำไปทดลองใช้ออกแบบการติดตั้งตัวนำล่อฟ้าสำหรับระบบโฟโตโวลตาอิกแบบ BIPV ขนาด 100 กิโลวัตต์สูงสุด ติดตั้งที่ อำเภอปากเกร็ด จังหวัดนนทบุรี พบว่าในพื้นที่ดังกล่าวระบบมีโอกาสถูกฟ้าผ่าได้เฉลี่ย 3.28 ครั้งต่อปี โดยอาคารมีความกว้าง 30 เมตร ยาว 30 เมตร สูง 100 เมตร ติดตั้งแผงโฟโตโวลตาอิกแทนหน้าต่างกระจกในทุกชั้น และผลจากการออกแบบได้นำไปทดสอบด้วยโปรแกรมเขียนแบบสามมิติตามหลักการของวิธีทรงกลมกลิ้งพบว่าส่วนประกอบของระบบโฟโตโวลตาอิกแบบ BIPV ทั้งหมดได้รับการป้องกันจากตัวนำล่อฟ้าที่ออกแบบไว้

คำหลัก: ระบบโฟโตโวลตาอิกแบบติดตั้งร่วมกับอาคาร , ป้องกันฟ้าผ่าสำหรับระบบโฟโตโวลตาอิก,ตัวนำล่อฟ้า

Abstract

Photovoltaic (PV) system has been increasingly installed worldwide. As PV systems must be practically installed in outdoor areas for converting solar radiation into electric power, therefore PV systems have to face the risk of damage from lightning. This paper presents the design, installation, Lightning protection for Photovoltaic system installed in the Building Integrated Photovoltaic (BIPV). Because of limited space and advanced technology of the photovoltaic , the current BIPV has been widely popular. The lightning protection design considers from the analysis of the risk of damage from lightning strike on BIPV. The rolling sphere method is implemented for in the design, installation of Lightning rod protection. The selected PV system for the design is a 100 kW_p BIPV installed at Amphoe Pak Kret Nonthaburi province. It found that the system has a risk of damage from lightning strike on average 4.15 times per year. The building wide is 30 meters and long 30 meters , high 100 meters , installation PV glass windows on every floor. The selected system is also carried out by 3D drawing program. From the results showed that all components of an existing Building Integrated Photovoltaic mentioned are properly protected by lightning rod using proposed method.

Keywords: Building Integrated Photovoltaic , Lightning Protection in PV System, Lightning Rod

รหัสบทความ:
RE013

การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 9
8-10 พฤษภาคม 2556 จังหวัดนครนายก

1. บทนำ

ระบบโฟโตโวลตาอิกแบบบูรณาการร่วมกับอาคาร (Building Integrated Photovoltaic: BIPV) กำลังได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายเนื่องจากข้อจำกัดทางด้านพื้นที่และความก้าวหน้าทางด้านเทคโนโลยีทางด้านโฟโตโวลตาอิก การติดตั้ง BIPV โดยมากจะติดตั้งกับอาคารสูง และจากการค้นคว้าข้อมูลพบว่าในประเทศไทยมีจำนวนวันพายุฝนฟ้าคะนองต่อปี (Thunderstorm day, Td) ตั้งแต่ 50-120 วันต่อปี [1] ดังนั้นระบบโฟโตโวลตาอิกที่ติดตั้งบนอาคารสูงจึงมีความเสี่ยงจากความเสียหายที่เกิดจากฟ้าผ่าทั้งทางตรงและทางอ้อม โดยในบทความนี้จะกล่าวถึง การป้องกันความเสียหายจากฟ้าผ่าทางตรงในระบบ BIPV

จากงานวิจัยของภูวนารถ ชุณหปราณ [2] ได้ทำการสร้างโปรแกรมช่วยออกแบบระบบป้องกันฟ้าผ่าของอาคารทั่วไปใช้ Rolling Sphere Method สำหรับอาคารสูงไม่เกิน 60 เมตร ซึ่งในกรณีที่กำลังมานั้นอาจจะไม่เพียงพอสำหรับป้องกันอาคารที่ติดตั้งระบบโฟโตโวลตาอิก (BIPV) รวมอยู่ด้วย , ทรงพล อิฐรัตน์ [3] ได้สร้างโปรแกรมประเมินความเสี่ยงอันตรายจากการถูกฟ้าผ่าและการออกแบบติดตั้งตัวนำล่อฟ้าในระบบโฟโตโวลตาอิก โดยใช้หลักการออกแบบด้วยวิธีมุมป้องกัน

การศึกษาเกี่ยวกับการป้องกันฟ้าผ่าโดยตรงในระบบโฟโตโวลตาอิกในประเทศไทยยังมีไม่มากนัก บทความนี้จึงได้นำแนวคิดของต่างประเทศมาประยุกต์ใช้ โดยเริ่มจากประเมินว่าสมควรที่จะติดตั้งระบบป้องกันฟ้าผ่าโดยตรงหรือไม่ โดยพิจารณาจากความเสี่ยงที่จะถูกฟ้าผ่าและ ความเสียหายที่จะเกิดขึ้นหากถูกฟ้าผ่า และใช้วิธีการทรงกลมกลิ้งเพื่อกำหนดความสูงของตัวนำล่อฟ้าและวิธีการติดตั้ง

2. การประเมินความเสี่ยงจากการถูกฟ้าผ่าของระบบโฟโตโวลตาอิก

ได้มีการศึกษาเกี่ยวกับการประเมินความเสี่ยงจากการถูกฟ้าผ่าของระบบโฟโตโวลตาอิก [4] เพื่อใช้ประเมินว่าสมควรติดตั้งระบบป้องกันฟ้าผ่าหรือไม่ โดยประเมินจากสองตัวแปรหลักคือ

1. ค่าความถี่ของการเกิดฟ้าผ่าที่ระบบยอมรับได้ N_c
2. ค่าความถี่ของการเกิดฟ้าผ่าโดยตรงกับระบบ N_d

โดยถ้า $N_c \geq N_d$ หมายถึง ระบบยอมรับการเกิดฟ้าผ่าได้มากกว่าความถี่ที่จะเกิดฟ้าผ่า ดังนั้นไม่จำเป็นต้องติดตั้งตัวนำล่อฟ้า

แต่ถ้า $N_c \leq N_d$ หมายถึง ความถี่ที่จะเกิดฟ้าผ่ามีค่ามากกว่าที่ระบบจะยอมรับได้ ดังนั้นจำเป็นต้องติดตั้งตัวนำล่อฟ้า

2.1 การประเมินค่าความถี่ของการเกิดฟ้าผ่าที่ยอมรับได้ของระบบ N_c

สามารถคำนวณตามสมการที่ 1 โดยค่า A, B, C เป็นไปตามตารางที่ 1 [4]

$$N_c = A \times B \times C \times D \quad (1)$$

ตารางที่ 1 ตัวแปรที่ใช้ประเมินค่า N_c

เงินลงทุนของระบบ	A
ต่ำ (น้อยกว่า 100,000 บาท)	1.0
ปานกลาง (100,000 – 2,000,000 บาท)	0.1
สูง (มากกว่า 2,000,000 บาท)	0.01
มูลค่าของอุปกรณ์อื่นๆที่จะเสียหาย	B
ต่ำ (น้อยกว่า 100,000 บาท)	1.0
ปานกลาง (100,000 – 2,000,000 บาท)	0.1
สูง (มากกว่า 2,000,000 บาท)	0.01
ความต้องการใช้พลังงานจากระบบ	C
ยอมหยุดได้มากกว่า 1 อาทิตย์	1.0
ยอมหยุดได้ไม่เกิน 1 อาทิตย์	0.1
ยอมหยุดได้ไม่เกิน 1 วัน	0.01
ความเสียหายอื่นๆที่เกี่ยวข้อง	D
ต่ำ	1.0
ปานกลาง	0.5
สูง	0.1
สูงมาก	0.01

2.2 การประเมินค่าความถี่ของการเกิดฟ้าผ่าโดยตรงกับระบบ N_d

สามารถคำนวณได้ตามสมการที่ 2 [5]

$$N_d = N_g \times A_e \times C_e \times 10^{-6} \quad (2)$$

โดยค่า N_g หมายถึง ค่าเฉลี่ยของจำนวนครั้งการเกิดฟ้าผ่าต่อปีในพื้นที่นั้นๆ โดยสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 3 [5]

$$N_g = 0.04 \times T_d^{1.25} \quad (3)$$

โดยค่า T_d หมายถึงจำนวนวันที่มีฝนฟ้าคะนองต่อปี

รหัสบทความ:
RE013

การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 9
8-10 พฤษภาคม 2556 จังหวัดนครนายก

Ae คือ พื้นที่รับฟ้าผ่าสมมูลของสิ่งปลูกสร้างพิจารณา
คำนวณได้จากสมการที่ 4 [5]

$$A_e = L \cdot W + 6 \cdot H \cdot (L + W) + 9 \cdot \pi \cdot H^2 \quad (4)$$

โดย L,W,H คือ ความยาว, ความกว้างและ ความสูงของ
อาคารที่ติดตั้งระบบโพลีโวลตาอิก

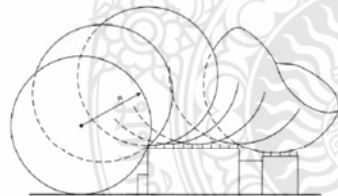
ค่า C_e หมายถึง สัมประสิทธิ์ของพื้นที่ที่ติดตั้งระบบมีค่า
ดังตารางที่ 2 [4]

ตารางที่ 2 สัมประสิทธิ์ของพื้นที่ติดตั้ง

ลักษณะพื้นที่	C _e
มีต้นไม้หรืออาคารที่สูงเท่ากันหรือสูง กว่าอยู่รอบๆ	0.25
มีต้นไม้หรืออาคารที่เตี้ยกว่าอยู่รอบๆ	0.5
ไม่มีต้นไม้หรืออาคารอยู่ในระยะ 3 เท่า ของความสูง	1
อยู่นอเขตเขา	2

**3.การประยุกต์ใช้วิธีทรงกลมกลิ้งช่วยออกแบบตัวนำ
ล่อฟ้า**

ในบทความนี้จะใช้วิธีทรงกลมกลิ้งในการออกแบบ
โดยหลักการในการป้องกัน ทำได้โดยพิจารณาทรงกลม
กลิ้ง โดยใช้ทรงกลมกลิ้งไปบนพื้นที่ที่ต้องการป้องกัน
ฟ้าผ่า ถ้าผิวทรงกลมสัมผัสพื้นที่ใด หมายความว่าบริเวณ
ดังกล่าวมีโอกาสที่จะถูกฟ้าผ่าได้ พื้นที่นั้นจะต้อง
พิจารณาติดตั้งตัวนำล่อฟ้า ตัวอย่างตามรูปที่ 1

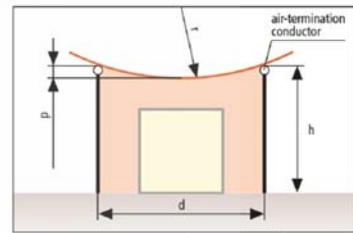


รูปที่ 1 การออกแบบระบบป้องกันฟ้าผ่าโดยวิธี
ทรงกลมกลิ้ง

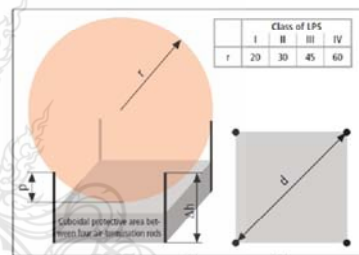
เมื่อใช้วิธีทรงกลมกลิ้งพิจารณากับแบบของสิ่งปลูก
สร้าง ควรพิจารณาสิ่งปลูกสร้างในทุกทิศทางเพื่อให้
แน่ใจว่าไม่มีส่วนใดของสิ่งปลูกสร้างยื่นออกไปสู่ย่านที่ไม่มี
การป้องกัน จุดหนึ่งอาจมองข้ามไปถ้าพิจารณาเพียง
ด้านหน้า, ด้านข้าง และด้านบนของแบบ

ปริมาณการป้องกันที่เกิดโดยตัวนำระบบป้องกัน
ฟ้าผ่า คือปริมาณที่ไม่ถูกล่วงล้ำโดยทรงกลมกลิ้ง เมื่อ
ทรงกลมกลิ้งสัมผัสกับตัวนำและใช้กับสิ่งปลูกสร้าง

ในกรณีตัวนำล่อฟ้าแนวระดับ 2 เส้นขนานกันวาง
เหนือระนาบอ้างอิงตามแนวระดับ ตามรูปที่ 2 และ 3
ระยะลวงล้ำ p ระยะทรงกลมกลิ้งที่ต่ำกว่าระดับของ
ตัวนำในปริมาตรระหว่างตัวนำทั้งสอง สามารถคำนวณได้
จากสมการที่ 5



รูปที่ 2 ระยะลวงล้ำของทรงกลิ้ง [6]



รูปที่ 3 ระยะลวงล้ำของทรงกลิ้ง [6]

$$p = r - [r^2 - (d/2)^2]^{1/2} \quad (5)$$

R คือ รัศมีทรงกลมกลิ้ง

d คือ ระยะห่างระหว่างแท่งตัวนำล่อฟ้าทั้ง
สองจุด

โดยกำหนดค่า h และหาค่า d ที่ทำให้ p ไม่มีค่า
มากจนสัมผัสกับวัตถุที่ต้องการป้องกัน

4. ทดลองออกแบบกับอาคารตัวอย่าง

เพื่อทดสอบแนวคิดดังกล่าว ได้ทำการทดลอง
ออกแบบการติดตั้งตัวนำล่อฟ้ากับอาคารตัวอย่างที่ติดตั้ง
ระบบโพลีโวลตาอิกแบบบูรณาการร่วมกับอาคาร
(Building Integrated Photovoltaic: BIPV) ขนาด 100
กิโลวัตต์สูงสุด ที่ติดตั้งที่ อำเภอปากเกร็ด จังหวัดนนทบุรี
โดยอาคารมีความกว้าง 30 เมตร ยาว 30 เมตรสูง 100

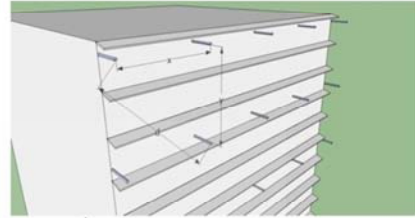
รหัสบทความ: RE013

การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 9
8-10 พฤษภาคม 2556 จังหวัดนครนายก

เมตร ติดตั้งแผงไฟโตโวลตาอิกแทนหน้าต่างกระจกในทุกชั้น ซึ่งยึดออกมาจากตัวอาคาร 1 เมตร ติดตั้งตลอดความกว้างของตึก โดยมีการประเมินความเสี่ยงการถูกฟ้าผ่ามีรายละเอียด ดังนี้ ใช้เงินลงทุนติดตั้งระบบประมาณ 10 ล้านบาท, มูลค่าของอุปกรณ์อื่นที่จะเสียหายมีค่าสูง, ระบบสามารถหยุดได้ไม่เกิน 1 อาทิตย์ และค่าความเสียหายอื่นมีค่าสูง ดังนั้นสามารถคำนวณหาค่าความถี่ของการเกิดฟ้าผ่าที่ยอมรับได้ของระบบ (N_d) ได้เท่ากับ 1×10^6 จังหวัดนนทบุรี มีค่าจำนวนวันที่มีฝนฟ้าคะนองต่อปี (T_d) เท่ากับ 34 วันต่อปี ดังนั้นสามารถคำนวณค่าเฉลี่ยของจำนวนครั้งการเกิดฟ้าผ่าต่อปีในพื้นที่นั้นๆ N_g ได้เท่ากับ 3.284 ตารางกิโลเมตรต่อปี, ค่าพื้นที่รับฟ้าผ่าสมมูลของสิ่งปลูกสร้าง (A_e) ได้เท่ากับ 319,643.34 ตารางกิโลเมตร, ค่าสัมประสิทธิ์ของพื้นที่ที่ติดตั้งระบบ (C_e) ของระบบตัวอย่างในบทความนี้เท่ากับ 1 ดังนั้นคำนวณค่าความถี่ของการเกิดฟ้าผ่าโดยตรงกับระบบ N_d ได้เท่ากับ 1.05 ซึ่งมีค่ามากกว่า ค่าความถี่ของการเกิดฟ้าผ่าที่ระบบยอมรับได้ N_c ดังนั้นระบบนี้จึงจำเป็นต้องมีการป้องกันฟ้าผ่า

ต้องการติดตั้งตัวนำล่อฟ้าสูง 2 เมตรต้องการระดับการป้องกัน Class 1 แทนค่าต่างๆลงในสมการที่ 5 ดังนี้ $p = 1$ เมตร, รัศมี = 20 เมตร คำนวณหาค่า d ได้เท่ากับ 12.49 เมตร ซึ่งหมายความว่าระยะห่างน้อยที่สุดระหว่างตัวนำล่อฟ้าคือ 12.49 เมตร การติดตั้งตัวนำล่อฟ้าจะติดในลักษณะดังรูปที่ 4 และ d จะเป็นระยะในแนวทะแยงมุม ดังรูปที่ 4 ใช้สมการพีทาโกรัสหาค่า x, y ได้เท่ากับ 8.8 เมตร หมายความว่าเราต้องติดตั้งตัวนำล่อฟ้าสูง 2 เมตร ห่างกันไม่เกินกว่า 8 เมตร

ในอาคารตัวอย่างกว้าง 30 เมตร การจัดตัวนำล่อฟ้าที่เหมาะสมจึงเป็นแถวละ 5 ต้น ซึ่งแต่ละต้นห่างกันต้นละ 6 เมตรจึงจะพอดีกับความกว้างของตัวอาคาร และระยะห่างไม่เกิน 8 เมตร ส่วนด้านแนวตั้งของตึกมีความสูง 100 เมตร การจัดตัวนำล่อฟ้าที่เหมาะสมจึงเป็นคอลัมน์ละ 13 ต้น ห่างแต่ละต้นห่างกันต้นละ 8 เมตรจึงจะพอดีกับความสูงของตัวอาคาร และระยะห่างไม่เกิน 8 เมตร

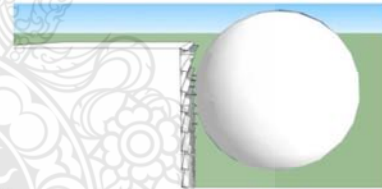


รูปที่ 4 การคำนวณหาค่า d และค่า x, y

5. ตรวจสอบผลการออกแบบ

จากผลการออกแบบในข้อที่ 4 ได้นำมาตรวจสอบผลการออกแบบด้วยโปรแกรมเขียนแบบสามมิติตามหลักการของวิธีทรงกลมกลิ้ง เพื่อตรวจสอบผลการออกแบบ โดยเขียนแบบตามอัตราส่วนจริง ซึ่งใช้ทรงกลมกลิ้ง รัศมี 20 เมตร ระดับการป้องกัน Class 1 กลิ้งไปตามตัวอาคารเพื่อตรวจสอบว่ามีส่วนของแผงไฟโตโวลตาอิกที่ไม่ได้รับการป้องกันหรือไม่

ผลจากการเขียนแบบด้วย 3 มิติ ในการตรวจสอบพบว่า ทรงกลมไม่สามารถกลิ้งไปถึงแผงแผงไฟโตโวลตาอิกได้เนื่องจากติดอยู่ที่ตัวนำล่อฟ้า แสดงถึงความสามารถในการป้องกันอันตรายจากการถูกฟ้าผ่าโดยตรง ตามรูปที่ 5



รูปที่ 5 แบบสามมิติที่ใช้ในการตรวจสอบผลการออกแบบ

6. สรุปผล

บทความนี้ได้นำเสนอการออกแบบระบบป้องกันฟ้าผ่าของระบบไฟโตโวลตาอิกแบบบูรณาการร่วมกับอาคาร (Building Integrated Photovoltaic : BIPV) กำลังได้รับความนิยมอย่างแพร่หลาย เนื่องจากข้อจำกัดทางด้านพื้นที่และความก้าวหน้าทางด้านเทคโนโลยีทางด้านไฟโตโวลตาอิก การติดตั้ง BIPV โดยมากจะติดตั้งกับอาคารสูงแทนหน้าต่างกระจก โดยได้นำเสนอวิธีการประเมินความเสี่ยงต่อการถูกฟ้าผ่าและวิธีการตัดสินใจว่าจะติดตั้งระบบป้องกันฟ้าผ่าให้กับ BIPV หรือไม่ โดยใช้ระบบตัวอย่าง BIPV ขนาด 100 กิโลวัตต์สูงสุด ที่ติดตั้ง

รหัสบทความ:
RE013

การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 9
8-10 พฤษภาคม 2556 จังหวัดนครนายก

ที่ อำเภอปากเกร็ด จังหวัดนนทบุรี โดยอาคารมีความกว้าง 30 เมตร ยาว 30 เมตรสูง 100 เมตร ติดตั้งแผงโฟโตโวลตาอิกแทนหน้าต่างกระจกในทุกชั้น ซึ่งพบว่าระบบดังกล่าวมีความจำเป็นต้องติดตั้งระบบป้องกันฟ้าผ่า พร้อมทั้งได้นำเสนอแนวคิดในการออกแบบติดตั้งตัวนำล่อฟ้าสำหรับ BIPV โดยใช้วิธีทรงกลมกลิ้งในการออกแบบเพื่อติดตั้งตัวนำล่อฟ้า และได้ทำการทดสอบผลการออกแบบที่ได้ ด้วยการใช้โปรแกรมเขียนแบบสามมิติของ BIPV และตัวนำล่อฟ้าที่ได้จากออกแบบ โดยเขียนพื้นที่ป้องกันและตรวจสอบพื้นที่ที่ได้รับการป้องกันจากตัวนำล่อฟ้า พบว่าระบบ BIPV ทั้งหมดอยู่ในเขตป้องกันตามที่ออกแบบนำเสนอ

Update Edition, DEHN + SÖHNE GmbH +
Co.KG Head Quarters in Neumarkt /
Germany

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] กรมอุตุนิยมวิทยา ข้อมูลจำนวนครั้งที่เกิดฟ้าคะนองประจำปี 2554
- [2] ภูวนารถ ชุณหปราณ, “โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยออกแบบระบบป้องกันฟ้าผ่าของอาคารทั่วไป,” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมศาสตร์ไฟฟ้า บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ, 2543.
- [3] ทรงพล อัฐรัตน์ สมชัย หิรัญโรตม และ บุญยัง ปลั่งกลาง, “โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับประเมินความเสี่ยงอันตรายจากการถูกฟ้าผ่าและออกแบบการติดตั้งตัวนำล่อฟ้าในระบบโฟโตโวลตาอิก,” ในการประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้าครั้งที่ 35, มหาวิทยาลัยกรุงเทพและศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ โรงแรมรอยัลฮิลล์ กอล์ฟ รีสอร์ท แอนด์สปา จ.นครนายก, PW62 หน้า 1 6, 12 - 14 ธันวาคม 2555.
- [4] Becker H, VaaBen W, VaBen F, Bosanac M, Katic I. Lightning and Over voltage protection for PV System. The European Commission Directorate-General for Energy and Transport 200; 2000.
- [5] สมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์. มาตรฐานการป้องกันฟ้าผ่าสำหรับสิ่งปลูกสร้าง 2546. มาตรฐานวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย 2003.
- [6] DEHN, Lighting and Protection Guide, 2nd

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	นายทรงพล อัฐรัตน์
วัน เดือน ปีเกิด	15 พฤศจิกายน 2523
ที่อยู่	376/71 หมู่บ้านย่าโมคันทรี่โฮม ต.สุรนารี อ.เมือง จ.นครราชสีมา
การศึกษา	สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยภาคตะวันออกเฉียงเหนือ พ.ศ.2547
ประสบการณ์การทำงาน	
พ.ศ. 2547 – พ.ศ. 2549	วิศวกรโครงการ ที่ บริษัท เพอร์เฟค เอ็นจิเนียริ่ง เซอร์วิส จำกัด
พ.ศ. 2549 – 2551	หัวหน้าส่วนโครงการ ที่ บริษัท โสสุโก้ เซรามิค จำกัด
พ.ศ. 2551 – ปัจจุบัน	วิศวกร ระดับ 5 การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคเขต 3 (ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ) จังหวัดนครราชสีมา

