



การวิเคราะห์ระบบป้องกันฟ้าผ่าสำหรับระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบน ภาคพื้นดินที่กระแสฟ้าผ่าทางตรงขนาด 5 kA 10 kA และ 20 kA

Analysis of Lightning Protection for Ground-Mounted Photovoltaic Farm of Direct Lightning Current Size 5 kA 10 kA and 20 kA

วิสูตร อ้วนฉัตรสกุล^{1*} และกฤษณ์ชนม์ ภูมิภิตติพิชญ์²

¹ การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคอำเภอหนองแค

69 หมู่ที่ 11 ตำบลหนองไช้ อำเภอหนองแค จังหวัดสระบุรี 18140

² ห้องปฏิบัติการวิจัยระบบไฟฟ้ากำลังและพลังงาน ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ถนนรังสิต-นครนายก ต.รังสิต อ.ธัญบุรี จ.ปทุมธานี 12100

Witsarut Assawachatsakul^{1*} and Krischonme Bhumkittipich²

¹ Provincial Electricity Authority Nongkhae,

69 Moo 11 Nong Khai Nam, Nong Khae, Saraburi, Thailand, 18140

² Energy and Power System Laboratory, Department of Electrical Engineering,

Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Rangsit - NakhonNayok Road,
Rangsit, Thanyaburi, Pathum Thani, Thailand, 12110

*ผู้รับผิดชอบบทความ : witsarut_a@mail.rmutt.ac.th เบอร์โทรศัพท์ : 0-3638-1093

Received: 5 April 2019, Revised: 13 May 2019, Accepted: 23 May 2019

บทคัดย่อ

บทความนี้เป็นการวิเคราะห์ผลกระทบของค่าแรงดันและค่ากระแสฟ้าผ่าสูงสุดในกรณีของการเกิดเหตุการณ์ฟ้าผ่าในระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนพื้นดินขนาดกำลังการผลิตไม่เกิน 10 MW โดยมีออกแบบของระบบผลิตไฟฟ้าโดยมีการติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันฟ้าชนิด 1 เฟส และ 3 เฟส ในตำแหน่งต่างๆ และจำลองเหตุการณ์การเกิดฟ้าผ่าทางตรงรูปคลื่นฟ้าผ่าทางตรง ขนาด 10/350 μ s ที่พิกัดกระแสฟ้าผ่าใน 3 ระดับ คือ 5 kA 10 kA และ 20 kA ซึ่งเป็นระดับไม่เกินค่าพิกัดกระแสฟ้าผ่าของประเทศไทย โดยการใช้โปรแกรม PSCAD เวอร์ชัน 4.6 ในการสร้างแบบจำลองและวิเคราะห์ผลจากกราฟรูปคลื่นแรงดันและกระแสไฟฟ้าสูงสุดในกรณีของการเกิดฟ้าผ่าลงสายไฟฟ้าซึ่งได้กำหนดจุดด้าน DC บริเวณแผงโซลาร์เซลล์ ถึง อินเวอร์เตอร์ และจุดที่ 2 ด้าน AC บริเวณสายไฟเฟส B ก่อนเข้าหม้อแปลง และทำการเปรียบเทียบผลกระทบของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ก่อนและหลังการติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันฟ้าผ่า ซึ่งผลการเปรียบเทียบค่าระดับแรงดันไฟฟ้าสูงสุดหลังการออกแบบติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันฟ้าผ่าแล้วนั้น ในกรณีฟ้าผ่าทางตรงด้าน DC มีค่าแรงดันไฟฟ้าในระบบ DC ลดลงเท่ากับ 0.77 kV 0.55 kV และ 0.12 kV ตามลำดับ แรงดันในระบบ AC มีค่าลดลงเหลือ 0.41 kV กรณีฟ้าผ่าทางตรงด้าน AC มีค่าแรงดันไฟฟ้าในระบบ DC มีค่าคงที่เท่ากับ 0.96 kV และแรงดันในระบบ AC มีค่าลดลงเท่ากับ -2.40 kV -4.50 kV -8.66 kV ตามลำดับ จากการออกแบบและวิเคราะห์ผลสามารถนำไปใช้เป็นแนวทางการออกแบบการป้องกันฟ้าผ่าในระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนภาคพื้นดินได้

คำสำคัญ ฟ้าผ่า ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ป้องกันฟ้าผ่า

Abstract

This article analyzes the impact of maximum voltage and maximum current in the event of a lightning incident in the solar power generation system installed on the ground not more than 10 MW. With the installation protection devices for 1 phase and 3 phase. The simulating the direct lightning at waveform, 10/350 μ s, which the lightning current in 3 levels is 5 kA, 10 kA and 20 kA, which is not more than the lightning current value of Thailand. By using the PSCAD version 4.6 program to create a model and analyze the results from the waveform graph for maximum voltage and maximum current, which defines the DC side points of the solar cells to the inverter and Point 2 on the DC and AC. The results of the comparison of the maximum voltage level after the

design of the lightning protection device is installed. In the case of direct lightning, the DC side has a voltage drop in the DC system equal to 0.77 kV 0.55 kV and 0.12 kV, respectively. The voltage in the AC system is reduced to 0.41 kV in the case of direct lightning on the AC side with the voltage in the system. DC has a constant value of 0.96 kV and the voltage in the AC system is reduced by -2.40 kV -4.50 kV -8.66 kV, respectively. The design and analysis of results can be used as a guideline for the lightning protection system in solar power generation located on the ground.

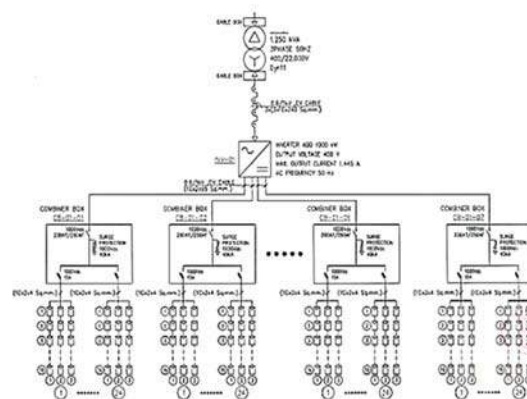
Keywords: lightning, system for solar power generation, lightning protection.

1. บทนำ

ปัจจุบันประเทศไทยมีการสนับสนุนการผลิตไฟฟ้าจากแหล่งผลิตพลังงานทดแทนเนื่องจากนำมาใช้ทดแทนวัตถุดิบประเภทเชื้อเพลิง ซึ่งมีแนวโน้มลดลงเรื่อยๆ โดยรัฐบาลได้กำหนดแผนการพัฒนากำลังการผลิตพลังงานทางเลือกตามเป้าหมายที่กำหนด 25% ใน 10 ปี ตั้งแต่ พ.ศ. 2555-2564 [1] และเป้าหมายตามแผนพัฒนากำลังการผลิตพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก พ.ศ. 2558 - 2579 (AEDP2015) ได้กำหนดการเพิ่มสัดส่วนการใช้พลังงานทดแทนทั้งในรูปแบบพลังงานไฟฟ้า ความร้อน และเชื้อเพลิงชีวภาพ เป็นร้อยละ 30 ของการใช้พลังงานขั้นสุดท้ายใน ปี 2579 จะเทียบเท่ากับการลดใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลได้ราว 39,388 ktoe ซึ่งประเมิน เป็นมูลค่าการลดใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลได้ 590,820 ล้านบาท ดังนั้นจึงทำให้การผลิตไฟฟ้าโดยแหล่งกำเนิดจากจากธรรมชาติ เช่น พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม พลังงานน้ำ เข้ามามีบทบาทสำคัญสำหรับในพื้นที่ภาคกลางแหล่งผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์เป็นที่นิยมมากเนื่องจากนโยบายของรัฐบาลที่มีการสนับสนุนเกี่ยวกับการลงทุนธุรกิจด้านการใช้พลังงานทดแทนนั้น จึงทำให้เป็นที่สนใจของภาคประชาชนและนักธุรกิจในภาคอุตสาหกรรมที่หันมาติดตั้งการใช้แผงโซลาร์เซลล์เพื่อวัตถุประสงค์ในการลดอัตราค่าไฟฟ้าหรือเพื่อการจัดจำหน่ายพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้กับการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค เมื่อมองในด้านปัญหาของการเกิดฟ้าผ่าลงแผงโซลาร์เซลล์ในช่วงฤดูฝนนั้นนับได้ว่ายังเป็นปัญหาสำคัญที่ยังเกิดขึ้นได้บ่อยในประเทศไทยมีลักษณะของฟ้าผ่าแบบชั่วพลที่ค่ากระแสฟ้าผ่าขนาด 20 kA [2] ส่งผลให้อุปกรณ์ในระบบการผลิตเกิดความเสียหายทำกระบวนการผลิตพลังงานไฟฟ้าลดลงหรือไม่สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้เลย ดังนั้นในงานบทความนี้จึงเป็นการจำลองเหตุการณ์ฟ้าผ่าในระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อวิเคราะห์ผลของค่ากระแสฟ้าผ่า และแรงดันไฟฟ้าสูงสุดที่เกิดขึ้นในระบบ โดยการใช้ข้อมูลการศึกษาจากบริษัทแห่งหนึ่งในพื้นที่จังหวัดสระบุรี สำหรับเหตุการณ์ฟ้าผ่าในจังหวัดสระบุรีได้รวบรวมข้อมูลไว้โดยศูนย์ภูมิอากาศ กรมอุตุนิยมวิทยา [3]

2. ทฤษฎีและวิธีการดำเนินการวิจัย

บทความนี้ได้เลือกการจำลองกรณีการเกิดเหตุการณ์ฟ้าผ่าในระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ของแผงโซลาร์เซลล์ในกลุ่มของอินเวอร์เตอร์ตัวที่ 1 แผงโซลาร์เซลล์ ชนิด Thin Film มีอัตราการผลิตค่าพลังงานไฟฟ้าขนาด 125 W จำนวนติดตั้งแผงทั้งสิ้น 8,064 แผง การจัดเรียงของแผงจำนวน 16 Module/ String อัตรากำลังการผลิต 2,000 W/String โดยในแต่ละ Section ของ PV Model จะประกอบด้วยแผง P จำนวน 16 Module 72 String รวม 1,152 แผง ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 แบบแผนผังทางไฟฟ้าของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ [4]

จากนั้นนำข้อมูลมาสร้างแบบจำลองของแผงโซลาร์เซลล์ ในโปรแกรม PSCAD โดยในกำหนดข้อมูลในแต่ละ Section ของ PV Model จะประกอบด้วยแผง PV จำนวน 16 Module 72 String รวม 1,152 แผง

2.1 แผงโซลาร์เซลล์ (PV Array)

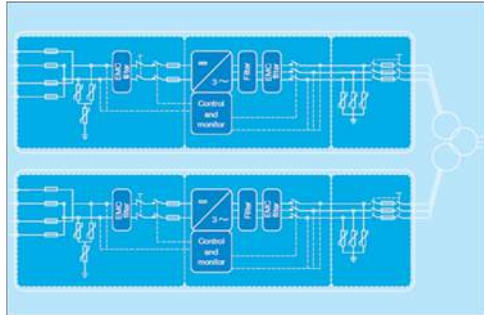
แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่เป็นชนิดอะมอร์ฟัสซิลิคอนหรือชนิดฟิล์มบาง (Thin Film Solar Cell) ซึ่งมีการจัดเรียงของแผงโซลาร์เซลล์ [5] โดยคุณลักษณะทางไฟฟ้าของแผงโซลาร์เซลล์ได้การทดสอบของผลของค่าของกระแสลัดวงจร (Short-circuit current) ค่าแรงดันเปิดวงจร (Open-Circuit Voltage) คำนวณมาจากสมการที่ (1) และ สมการที่ (2)

$$I_{sc} = 0.24 \text{ kA} \quad (1)$$

$$V_{oc} = 0.9952 \text{ kV} \quad (2)$$

2.2 อินเวอร์เตอร์ (Inverter)

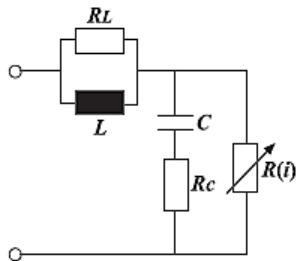
อินเวอร์เตอร์ที่ใช้ในโครงการที่ใช้ในกรณีศึกษาเป็นอินเวอร์เตอร์แบบรวมศูนย์ (Central Inverter) ผลิตภัณฑ์ของ ABB รุ่น PVS800-57-1,000KW-C ขนาด 3 เฟส 400 V ซึ่งเป็นอินเวอร์เตอร์ที่มีผลการทดสอบเป็นไปตามข้อกำหนดการเชื่อมต่อระบบโครงข่ายไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค การสร้างแบบจำลองอินเวอร์เตอร์ชนิด 3 เฟส แบบวงจรปรีดประกอบด้วย 6 IGBT [6],[7] ดังแสดงวงจรในรูปที่ 2



รูปที่ 2 การเชื่อมต่ออินเวอร์เตอร์แบบศูนย์รวม

2.3 กักตักฟ้าผ่า (Lightning Arresters)

บทความนี้ได้ออกแบบอุปกรณ์กักตักฟ้าที่ป้องกันในด้านไฟฟ้ากระแสตรง และ ด้านกระแสสลับที่พิกัดป้องกันกระแสฟ้าผ่า ขนาด 40 kA [8] ซึ่งการออกแบบวงจรอุปกรณ์กักตักฟ้า ดังแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3 วงจรของอุปกรณ์ป้องกันฟ้าผ่า (Surge Arrester) [9]

2.4 ฟ้าผ่า (Lightning)

กรณีฟ้าผ่าทางตรง (Direct Lightning Stroke) ได้ใช้สมการหาค่ากระแสฟ้าผ่าในฟังก์ชันของเวลาตามมาตรฐานของ IEC62305-1 [10] ดังสมการที่ (3)

$$I(t) = \frac{I}{k} \times \frac{(t/T_1)^{10}}{1 + (t/T_1)} \times \exp(-t/T_2) \quad (3)$$

โดยที่รูปคลื่นกระแสฟ้าผ่าขนาด 0.25/100 μ s เลือกใช้ค่า $k = 0.993$ $T_1 = 0.45 \mu$ s และ $T_2 = 143 \mu$ s แทนในสมการที่ (4)

$$I(t) = \frac{I}{0.993} \times \frac{(t/0.45\mu s)^{10}}{1 + (t/0.45\mu s)} \times \exp(-t/143\mu s) \quad (4)$$

โดยที่รูปคลื่นกระแสฟ้าผ่าขนาด 10/350 μ s เลือกใช้ค่า $k = 0.93$, $T_1 = 19 \mu$ s $T_2 = 485 \mu$ s แทนในสมการที่ (5)

$$I(t) = \frac{I}{0.993} \times \frac{(t/0.93\mu s)^{10}}{1 + (t/0.93\mu s)} \times \exp(-t/485\mu s) \quad (5)$$

กรณีฟ้าผ่าทางอ้อม (Indirect Lightning Stroke) เลือกใช้รูปแบบ Wave form ของกระแสฟ้าผ่าในฟังก์ชันของเวลา [11] ดังสมการที่ (6)

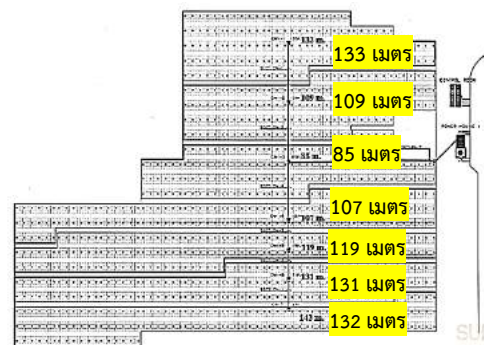
$$I(t) = Ae^{-\alpha t} \sin \omega t \quad (6)$$

โดยที่รูปคลื่นกระแสฟ้าผ่าขนาด 8/20 μ s เลือกใช้ค่า $A = 2.1501$, $\alpha = 6.05 \times 10^4 \mu$ s และ $\omega = 16.75$ kHz แทนในสมการที่ (7)

$$I(t) = 2.1501e^{-6.25 \times 10^4 t} \sin 16.75t \quad (7)$$

2.5 ความต้านทานของสายส่งกำลังไฟฟ้า

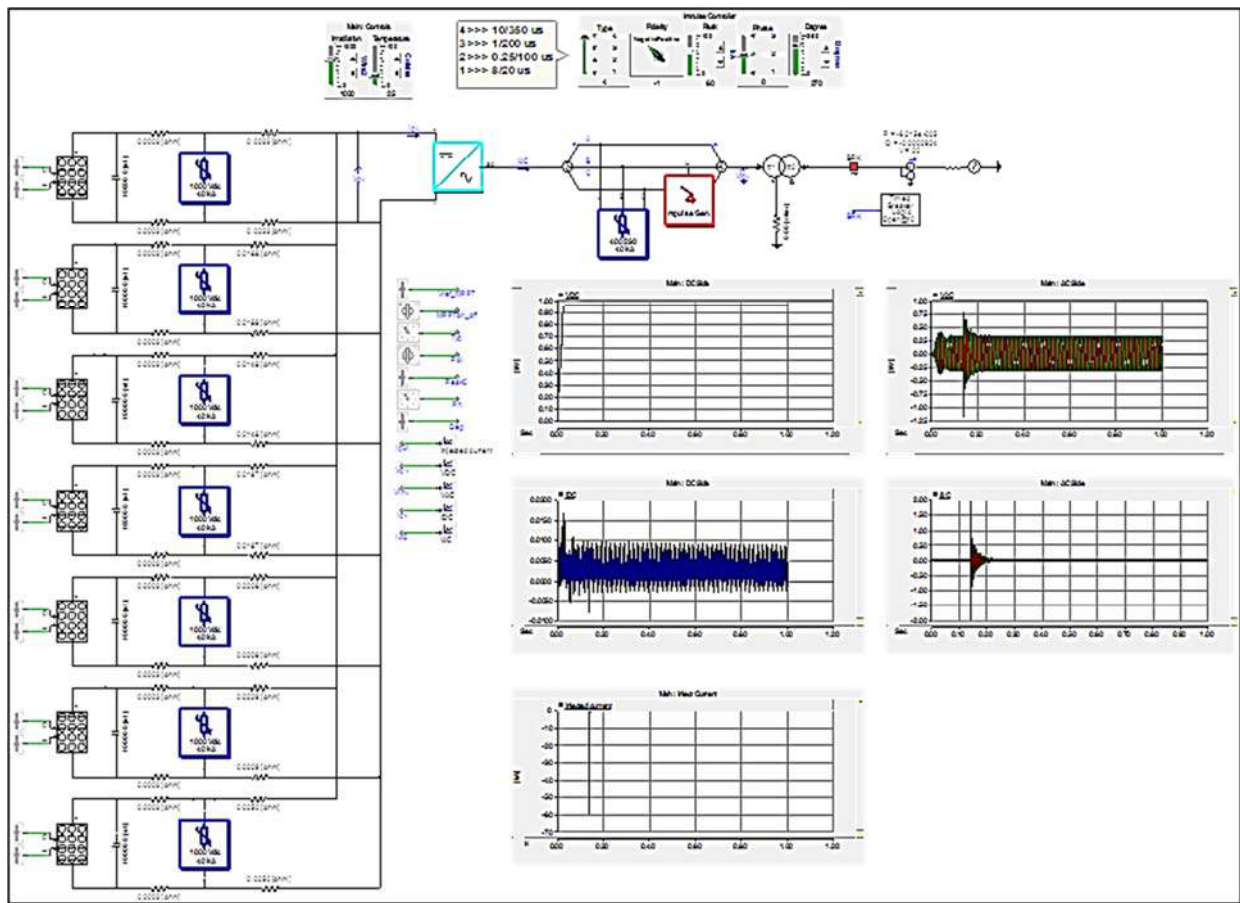
จากข้อมูลของแหล่งผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ทำการศึกษา พบว่าสายไฟที่ใช้เชื่อมต่อระหว่างตู้ Combinerbox ถึง Inverter มีลักษณะเป็นสายตัวนำทองแดง เ็นร้อยท่อฝังดินที่อุณหภูมิ 25 °C ชนิดของสาย 0.6/1 kV XLPE (Cross - linked polyethylene) ขนาด 1C X 2 X 95 sq.mm เส้นผ่านศูนย์กลางของตัวนำขนาด 11.4 mm. ดังนั้นการคำนวณหาความต้านทานของสายไฟที่ในระยะความยาวสายในจุดต่อต่างๆ [12] แสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 4 ระยะความยาวของสายไฟ

และสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (8)

$$R_T = R_{TO} \{1 + \alpha(T - T_O)\} \quad (8)$$



รูปที่ 5 แบบจำลองการเกิดเหตุการณ์ฟ้าผ่าในระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ [14]

เมื่อคำนวณค่าความต้านทานสายไฟฟ้า จากตู้ Combinerbox ถึง Inverter (R1-R7) จาก แผงโซลาร์เซลล์ ถึง Surge Arrester (R8-R14) และความต้านทานของหม้อแปลง ขนาด 1,250 kVA (R15) ดังแสดงค่าในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงค่าความต้านทานของสายไฟฟ้าตามความยาวระยะสายในจุดต่างๆ

ความ ต้านทาน สายไฟ	ระยะสาย (เมตร)	R ที่อุณหภูมิ 20 องศา เซลเซียส	R ที่อุณหภูมิ 25 องศา เซลเซียส
R1	133	0.0229	0.0233
R2	109	0.0188	0.0188
R3	85	0.0146	0.0148
R4	107	0.0184	0.0187
R5	119	0.0205	0.0208
R6	131	0.0255	0.0229
R7	143	0.0246	0.0250
R8-R14	2	0.0069	0.0003
R15	-	0	0

จากนั้นสร้างแบบจำลองของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยโปรแกรม PSCAD [13] ดังแสดงในรูปที่ 5

2.6 ผลกระทบจากฟ้าผ่า

ผลทางความร้อน มีผลทำให้เกิดเพลิงไหม้กับสิ่งที่ถูก
ฟ้าผ่า เนื่องจากเมื่อเกิดฟ้าผ่าจะมีลำแสงจ้าจากฟ้าผ่าโดย
ลำแกมมีเส้นผ่านศูนย์กลางเป็น cm และมีอุณหภูมิสูงถึง
30,000 K สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (9)

$$W = U \int_0^{\infty} i dt = U_{A-K} Q \quad (9)$$

ดังนั้นในการออกแบบระบบสายล่อฟ้า ซึ่งต้องใช้เสา
ล่อฟ้าเป็นตัวล่อหรือรับให้ฟ้าลง และมีสายตัวนำลงดินที่ทำ
หน้าที่เป็นทางนำกระแสฟ้าผ่าให้ลงสู่ดินโดยเร็วที่สุด โดยไม่
ทำให้สายตัวนำลงดินหลอมละลาย หรืออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น
จนเป็นเหตุให้เกิดเพลิงไหม้ นั่นคือ สายตัวนำลงดินจะต้องมี
พื้นที่ภาคตัดขวางขนาดใหญ่ [15]

ผลทางแรงกลบิดหรือแรงกระเบิดมีผลทำให้สิ่งที่ถูกฟ้าผ่าพังทลายลงได้ ลักษณะของแรงกลระเบิดที่เกิดขึ้นนั้นมีสองแบบ คือ แบบหนึ่ง เมื่อกระแสไหลผ่านตัวนำแล้ว ทำให้



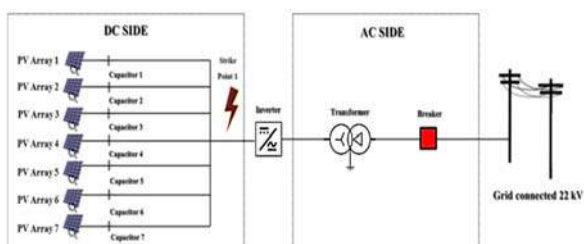
เกิดแรงบิดขึ้นกับตัวนำนั้นเป็นแรงดึงดูดหรือแรงผลัก ขนาดแรงที่เกิดขึ้นจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับกระแสกำลังสองของ i^2 เป็นสัดส่วนกลับระยะห่างระหว่างสายตัวนำทั้งสอง d นั่นคือ แรงที่เกิดขึ้นต่อหน่วยความยาวของตัวนำจะคำนวณได้จากสมการที่ (10)

$$(Fdt)' = \frac{10^{-7}}{d} \int i^2 dt \frac{N \text{ sec}}{m} \quad (10)$$

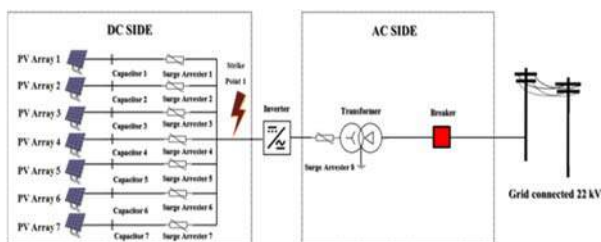
ถ้ากระแสไหลในตัวนำที่เป็นบ่วงหรือวงแหวน จะเกิดแรงทำให้บ่วงนั้นขยายหรือยืดวงกว้างออก ส่วนแรงกลแบบที่สอง เนื่องจากลำฟ้าผ่ามีอุณหภูมิสูงมากทำให้อากาศรอบๆ ลำฟ้าพ่ายขยายตัวออกอย่างรวดเร็ว เป็นผลให้เกิดคลื่นความดันในย่านความเร็วเหนือเสียงแผ่กระจายไปรอบลำฟ้าผ่า เกิดเสียงดังสนั่นหวั่นไหวที่เรียกว่าฟ้าร้องนั่นเอง สำหรับในกรณีที่ฟ้าผ่าลงวัสดุที่เป็นฉนวนไฟฟ้า กระแสจะวิ่งผ่านไปตามแนวที่มีความต้านทานน้อยที่สุดถ้ามีความชื้นอยู่ในวัสดุนั้นจะเปลี่ยนเป็นไอ เกิดความดัน อาจมีผลทำให้ระเบิดได้

3. ผลการวิจัยและอภิปราย

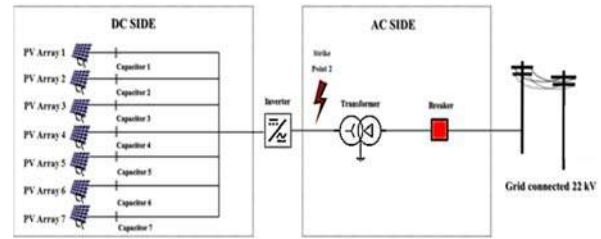
บทความนี้ได้จำลองการเกิดเหตุการณ์การเกิดฟ้าผ่าลงในสายไฟฟ้าในบริเวณ 2 จุด คือ จุดที่ 1 บริเวณสายไฟฟ้าน DC อยู่ช่วงสายไฟจาก แผงโซลาร์เซลล์ ถึง อินเวอร์เตอร์ และจุดที่ 2 ด้าน AC บริเวณสายไฟเฟส B ก่อนเข้าหม้อแปลง ในลักษณะของการเกิดฟ้าผ่าทางตรงรูปคลื่น 10/350 μs ที่ขนาดค่ากระแสฟ้าผ่า 5 10 และ 20 kA ดังแสดงในรูปที่ 6-9 ตามลำดับ



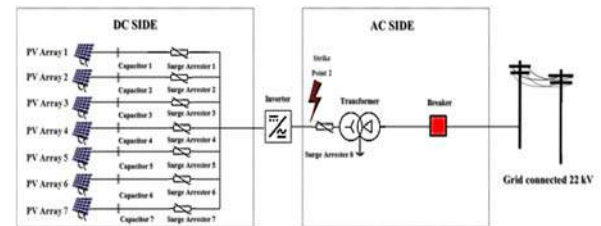
รูปที่ 6 ฟ้าผ่าด้าน DC กรณีไม่มีอุปกรณ์ป้องกันฟ้าผ่า



รูปที่ 7 ฟ้าผ่าด้าน DC กรณีติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันฟ้าผ่า



รูปที่ 8 ฟ้าผ่าด้าน AC กรณีไม่มีอุปกรณ์ป้องกันฟ้าผ่า



รูปที่ 9 ฟ้าผ่าด้าน AC กรณีติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันฟ้าผ่า

3.1. กรณีฟ้าผ่าด้าน DC

ตารางที่ 2 ค่าแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าสูงสุดกรณีฟ้าผ่าด้าน DC

I_{inject} (kA)	ไม่มีระบบป้องกันฟ้าผ่า				มีระบบป้องกันฟ้าผ่า			
	DC		AC		DC		AC	
	V_{max} (kV)	I_{max} (kA)	V_{max} (kV)	I_{max} (kA)	V_{max} (kV)	I_{max} (kA)	V_{max} (kV)	I_{max} (kA)
5	0.82	-1.34	0.93	-2.58	0.77	-0.25	0.41	-0.11
10	0.66	-3.03	1.66	-5.14	0.55	-0.30	0.41	-0.14
20	0.33	-5.12	3.24	-10.43	0.12	-0.71	0.41	-0.17

จากตารางที่ 2 แสดงค่าของแรงดันไฟฟ้าสูงสุดและค่ากระแสไฟฟ้าสูงสุดของการจำลองเหตุการณ์การเกิดฟ้าผ่าด้าน DC

3.2. กรณีฟ้าผ่าด้าน AC

ตารางที่ 3 ค่าแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าสูงสุดกรณีฟ้าผ่าด้าน AC

I_{inject} (kA)	ไม่มีระบบป้องกันฟ้าผ่า				มีระบบป้องกันฟ้าผ่า			
	DC		AC		DC		AC	
	V_{max} (kV)	I_{max} (kA)	V_{max} (kV)	I_{max} (kA)	V_{max} (kV)	I_{max} (kA)	V_{max} (kV)	I_{max} (kA)
5	0.96	0.02	-2.42	4.95	0.96	0.01	-2.40	4.95
10	0.96	0.02	-4.52	9.91	0.96	0.01	-4.50	9.90
20	0.96	0.02	-9.37	19.89	0.96	0.01	-8.66	19.82

จากตารางที่ 3 แสดงค่าของแรงดันไฟฟ้าสูงสุดและค่ากระแสไฟฟ้าสูงสุดของการจำลองเหตุการณ์การเกิดฟ้าผ่าด้าน AC

เมื่อเกิดเหตุการณ์ฟ้าผ่าทางตรงที่รูปคลื่นฟ้าผ่าขนาด 10/350 μs ที่ค่ากระแสฟ้าผ่าขนาด 5 kA 10 kA และ 20 kA ตามลำดับ ในกรณีฟ้าผ่าด้าน DC บริเวณสายส่งช่วงหลังแผง

โซลาร์เซลล์ก่อนเข้าอินเวอร์เตอร์ในกรณีก่อนและหลังการติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันฟ้าผ่า (Surge Arrester) พบว่าค่าแรงดันไฟฟ้าสูงสุด V_{max} ในระบบ DC มีค่าลดลงตามลำดับ และในส่วนของค่าแรงดันในระบบ AC ก่อนและหลังติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันฟ้าผ่า พบว่ามีค่าลดลง เมื่อพิจารณาในของค่ากระแสไฟฟ้าสูงสุดในระบบ I_{max} ในส่วนของระบบ DC มีค่าเพิ่มขึ้น และในส่วนของระบบ AC มีค่าลดลง สำหรับกรณีที่เกิดเหตุการณ์ฟ้าผ่าด้าน AC บริเวณจุดที่ 2 บริเวณช่วงสายส่งก่อนเข้าหม้อแปลงขนาด 1,250 kVA ในกรณีก่อนและหลังติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันฟ้าผ่า พบว่า ค่าแรงดันไฟฟ้าสูงสุด V_{max} ในระบบ DC มีค่าลดลง และในส่วนของระบบ AC มีค่าลดลง เมื่อพิจารณาค่ากระแสไฟฟ้าสูงสุด I_{max} ในระบบ DC พบว่ามีค่าลดลงและในระบบ AC พบว่ามีค่าลดลงเช่นเดียวกัน

4. บทสรุป

จากการจำลองเหตุการณ์การเกิดฟ้าในระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนพื้นดินที่ขนาดอัตรากำลังการผลิตไม่เกิน 10 MW ซึ่งจากการจำลองเหตุการณ์ฟ้าผ่าในระบบด้าน DC พบว่า แรงดันไฟฟ้าสูงสุดของด้าน DC ในกรณีที่ไม่มีอุปกรณ์ป้องกันฟ้าผ่าที่ค่ากระแสฟ้าผ่า 5 kA 10 kA และ 20 kA ตามลำดับ มีค่าแรงดันไฟฟ้าสูงสุดเท่ากับ 0.82 kV 0.66 kV และ 0.33 kV ตามลำดับ เมื่อเทียบกับหลังจากที่ใส่อุปกรณ์ป้องกันฟ้าผ่าแรงดันไฟฟ้าสูงสุดลดลงเหลือ 0.77 kV 0.55 kV และ 0.12 kV หรือคิดเป็น 6.10% 16.67% และ 63.64% ตามลำดับ ตามลำดับ สำหรับแรงดันไฟฟ้าของด้าน AC มีค่าแรงดันไฟฟ้าสูงสุดเท่ากับ 0.93 kV 1.66 kV และ 3.24 kV ตามลำดับ เมื่อเทียบกับหลังจากที่ใส่อุปกรณ์ป้องกันฟ้าผ่าแรงดันไฟฟ้าสูงสุดลดลงเหลือ 0.41 kV หรือคิดเป็น 55.91% 75.30% และ 87.34% ตามลำดับ และในกรณีจำลองเหตุการณ์การเกิดฟ้าผ่าด้าน AC พบว่า แรงดันไฟฟ้าของด้าน DC และ AC ทั้งในกรณีที่ไม่มีติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันและติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันด้วย Surge Arrester ขนาด 40 kA มีค่า แรงดันสูงสุดคงที่เท่ากับ 0.96 kV สำหรับแรงดันในระบบ AC ในกรณีที่ไม่มีอุปกรณ์ป้องกันฟ้าผ่าที่ค่ากระแสฟ้าผ่า 5 kA 10 kA และ 15 kA มีค่าแรงดันสูงสุดเท่ากับ -2.42 kV -4.52 kV และ -9.37 kV ตามลำดับ เมื่อเทียบกับหลังจากที่ใส่อุปกรณ์ป้องกันฟ้าผ่าแรงดันไฟฟ้าสูงสุดมีค่าเท่ากับ -2.40 kV -4.50 kV -8.66 kV หรือคิดเป็น 0.83% 0.44% และ 7.58% ทั้งนี้ในส่วนของคุณค่าแรงดันไฟฟ้าที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงนั้นเนื่องมาจากการรักษาเสถียรภาพแรงดันไฟฟ้าของ Capacitor Bank ขนาด 10,000 μF ที่ติดตั้งอยู่ในระบบนั่นเอง ดังนั้นในการออกแบบระบบป้องกันฟ้าผ่า นอกจากจะเลือกพิกัดของอุปกรณ์ที่เหมาะสมแล้วการวางตำแหน่งของการป้องกันก็มีส่วนสำคัญรวมทั้งการพิจารณา

การทำงานร่วมของอุปกรณ์อื่น เช่น เสาล่อฟ้า การวางระบบกราวด์ดิน เป็นต้น

5. กิตติกรรมประกาศ

ผลการทดลองในบทความนี้สำเร็จลุล่วงได้เป็นอย่างดี เพราะได้รับความอนุเคราะห์ ความช่วยเหลือจากรองศาสตราจารย์ ดร.กฤษณ์ชนม์ ภูมิภักดีพิชญ์ ที่ปรึกษาในการศึกษางานวิจัย ที่ได้ให้คำปรึกษาตลอดจนชี้แนะแนวทางอันเป็นประโยชน์อย่างสูงในการจัดทำวิจัยนี้

ขอขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่ให้การสนับสนุนทุนการศึกษาในครั้งนี้ ขอขอบคุณผู้บังคับบัญชาหัวหน้าแผนกมีเตอร์ และเพื่อนพนักงานการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคอำเภอหนองแค ทุกท่านที่ได้ช่วยเหลือและสนับสนุนการศึกษาทำวิจัยเป็นอย่างดี ขอขอบคุณ บริษัท 17 อัญญวีร์ โฮลดิ้ง จำกัด ที่สนับสนุนข้อมูลแบบผังทางไฟฟ้าแบบผังทางโยธาและรายละเอียดอุปกรณ์ทางไฟฟ้าของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ในพื้นที่จังหวัดสระบุรีให้นำมาใช้เป็นกรณีศึกษาในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ขอขอบคุณกองวิจัย การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ที่ได้สนับสนุนโปรแกรม PSCAD Version 4.6 ขอขอบคุณเพื่อนนักศึกษาระดับปริญญาโท รุ่นที่ 10 คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือแนะนำตลอดช่วงเวลาของการศึกษาและทำการวิจัย

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Ministry of Energy. Alternative Energy Development Plan: AEDP2015. Available from: <http://www.eppo.go.th/index.php/th/plan-policy/tieb/aedp> [Accessed 15th May 2016].
- [2] Klairaug N, Sapho W, Densungnern P. Lightning performance improvement of 22 kV distribution lines. Proceedings of the 48th Kasetsart University Annual Conference; 2010 Feb 3-5; Bangkok, Thailand. 2010. p. 421-428.Thai.
- [3] Thai Meteorological Department. Climate center. Report natural disasters in the country. Available from: <http://climate.tmd.go.th/disaster/content> [Accessed 15th May 2016].
- [4] Solar EPCF Co. Ltd. Power plant 6 MW solar power, Ban Lam 1 project. Unpublished material 2015.Thai.
- [5] Kruengngam D, Chonsen C, Toprasertphon B. Amorphous silicon solar cell. Full research and



- development reports. Dept. of Electrical Engineering, Chulalongkorn University; 1994.Thai.
- [6] Zaini NH, Ab-Kadir MZ, Izadi M, Ahmad NI, Radzi MA, Azis N. On the effect of lightning on a solar photovoltaic system. Proceedings of the 33rd International Conference on Lightning Protection; 2016 Sep 25-30, Estoril, Portugal. 2016. p. 1-4.
- [7] Kalbat A. PSCAD simulation of grid-tied photovoltaic systems and total harmonic distortion analysis. Proceedings of the 3rd International Conference on Electric Power and Energy Conversion Systems; 2013. p. 1-6.
- [8] Jia W, Xiaoqing Z. Double-exponential expression of lightning current waveforms. Proceedings of the 4th Asia - Pacific Conference on Environmental Electromagnetics, 2006. p. 320-323.
- [9] Brito V, Lira RS, Costa EG, Maia JA. A Wide-range model for metal-oxide surge arrester. IEEE Transactions on Power Delivery. 2018 Feb; 33(1):102-109.
- [10] The Engineering Institute of Thailand Under H.M. The King's Patronage (EIT). Lightning protection standards: Part 1 General requirements. Bangkok: Chulalongkorn University Printing House; 2014.Thai.
- [11] Yutthagowith P, Pattanadech N. Improved least-square prony analysis technique for parameter evaluation of lightning impulse voltage and current. IEEE Transactions on Power Delivery. 2016;31(1):271-276.
- [12] Kulworavanichpong T. Power Transmission System. 1st ed, Bangkok; Powerjoe; 2006. p. 40-42.Thai.
- [13] Powered by Manitoba Hydro International Ltd. PSCADTM power systems computer aided design. Available from https://hvdc.ca/uploads/knowledge_base/what_s_new_in_pscad_v4_6_0.pdf [Accessed 15th May 2018].
- [14] Assawachatsakul W. Design guidelines for lightning protection systems for solar power generation systems ground installation in the case of direct lightning. Proceedings of the 41th Electrical Engineering Conference; 2018 Nov 21-23; Ubon Ratchathani. Thailand: 2018. p. 224-227.Thai.
- [15] Sangkasaad S. High Voltage Electrical Engineering. Bangkok: Chulalongkorn University; 2004.Thai.