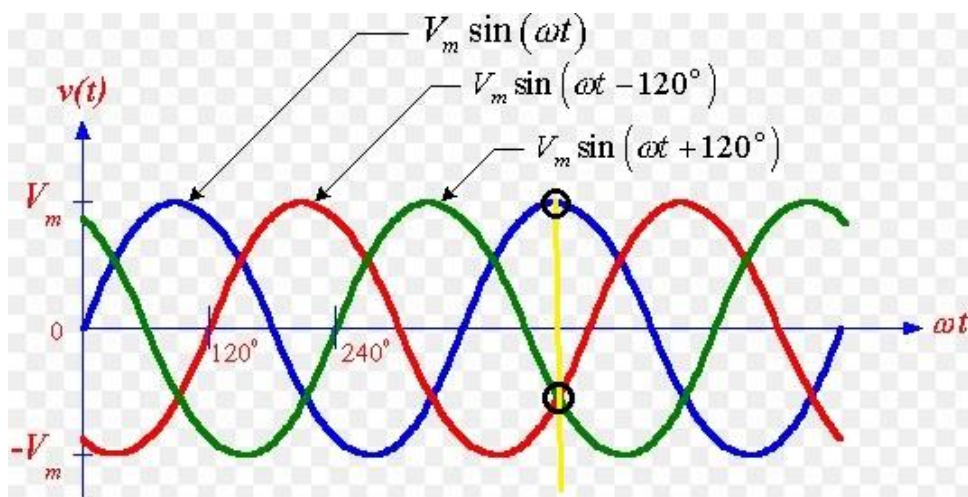


บทที่ 4

ผลการทดลองโดยการศึกษา

4.1 ผลทดลองที่ได้จากการออกแบบ

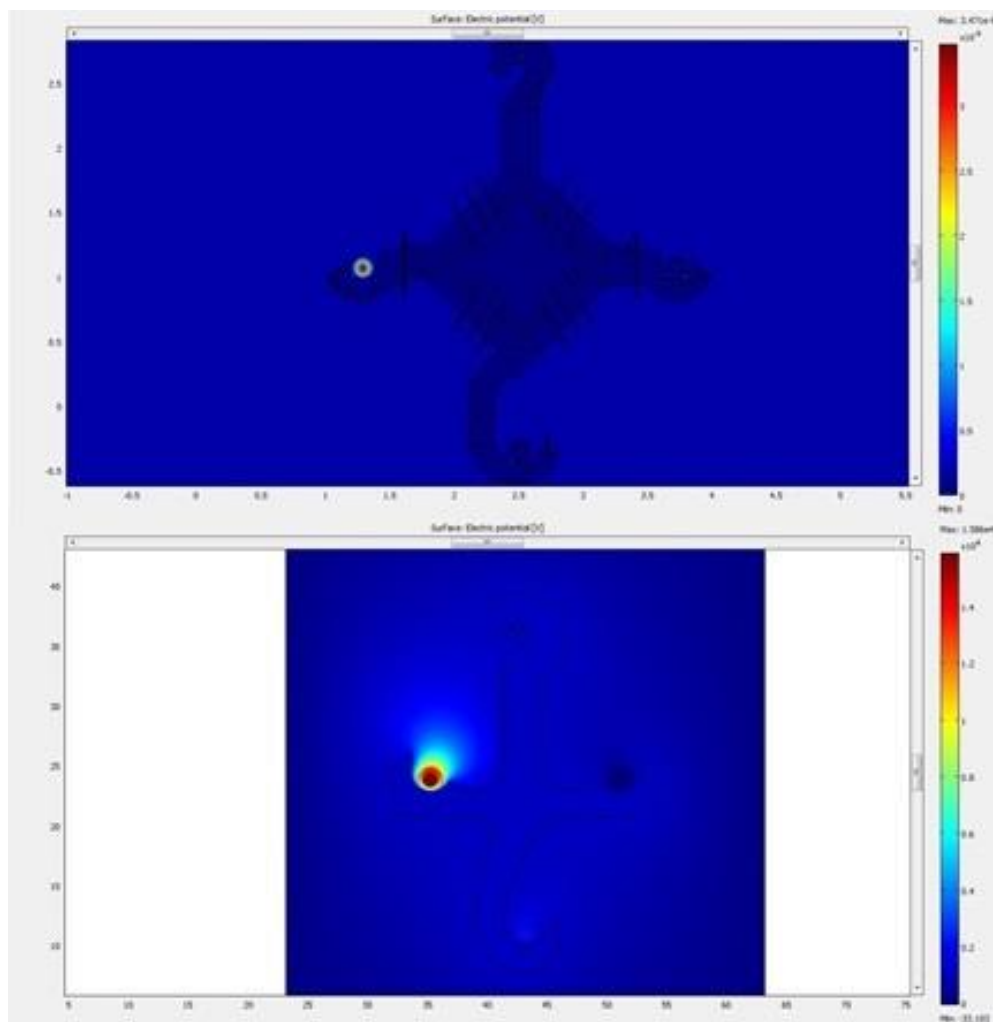
ผู้จัดทำโครงการงานโดยการศึกษาผลของความเครียดของสนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นบนเคเบิลสเปเซอร์ที่ใช้งาน โดยการใช้ซอฟต์แวร์ที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์ระเบียบไฟในต์อิลิเมนต์เพื่อเปรียบเทียบผลของความเครียดสนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้น โดยการจำลองการป้อนแรงดันไฟฟ้าให้กับสายเคเบิลอากาศในลักษณะของรูปคลื่นแรงดันไฟฟ้าตามภาพที่ 4.1



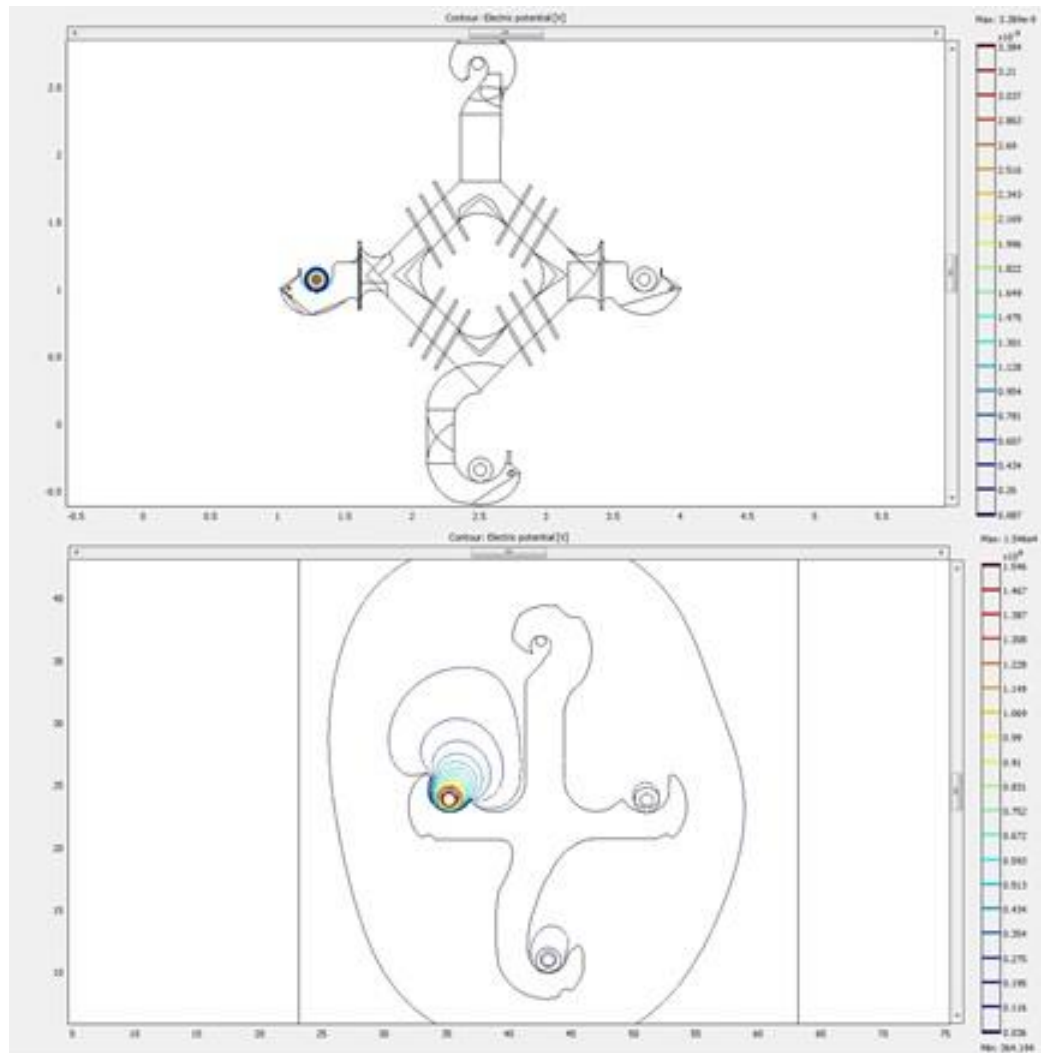
ภาพที่ 4.1 การป้อนแรงดันไฟฟ้าตามลักษณะรูปคลื่นแรงดันไฟฟ้าแบบ Sine wave

4.1.1 การศึกษาโดยการจ่ายแรงดันไฟฟ้าสูงสุดในระบบที่เฟส A, B และ C ตามลำดับ ในระบบ 22 kV และ 33 kV ให้กับสายเคเบิลอากาศขนาด 50 ตร.มม. บนเคเบิลสเปเซอร์ทั้ง 2 แบบ

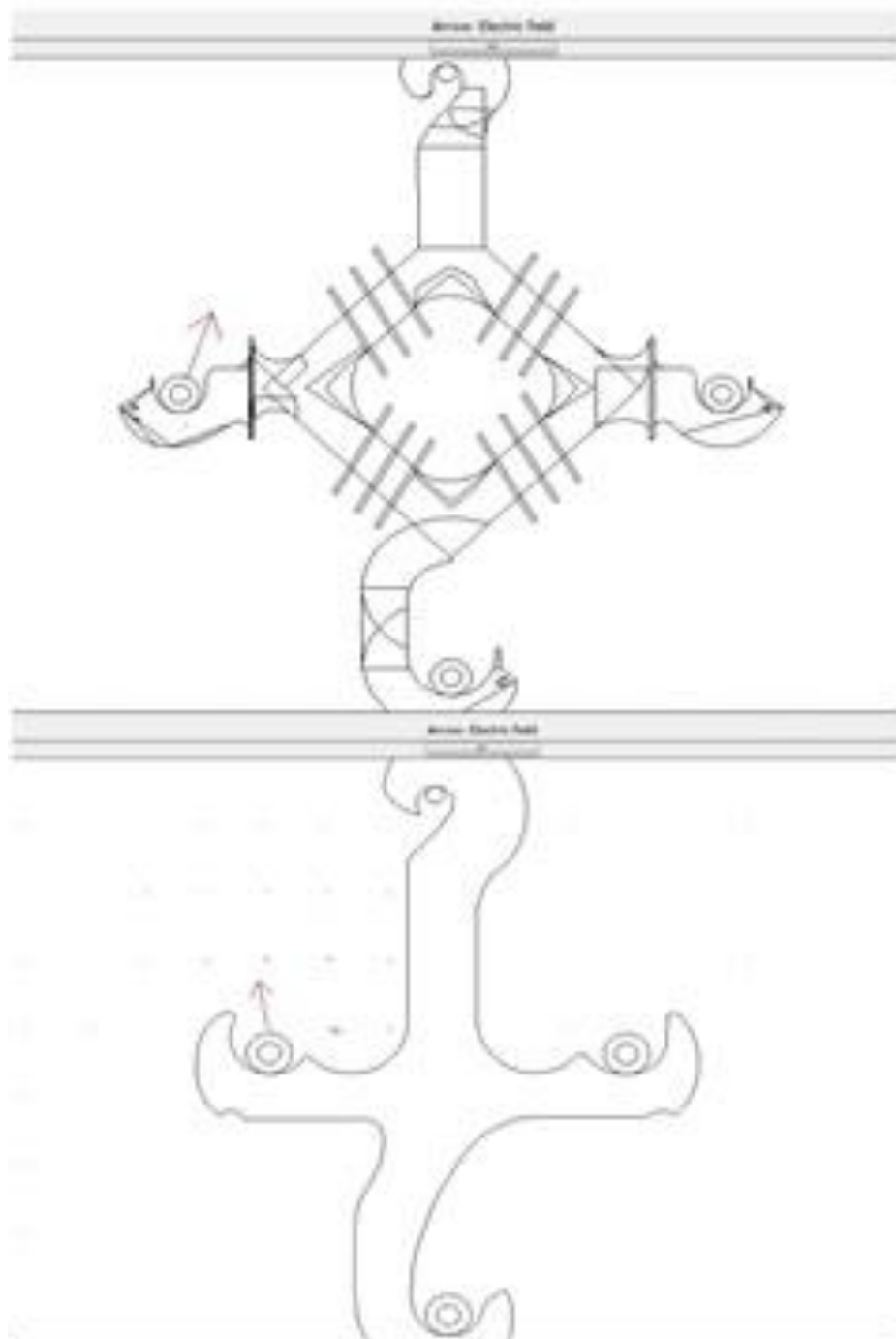
เงื่อนไขที่ 1 คือ ให้เฟส A มีศักย์ไฟฟ้าที่แรงดันใช้งานในระบบ และให้เฟส B, C มีศักย์ไฟฟ้าที่ 0 V โดยแสดงให้เห็นรูปแบบผลของสนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้น เส้นศักย์ของสนามไฟฟ้า และทิศทางของสนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้น ดังแสดงให้เห็นในภาพที่ 4.2 , 4.3 และภาพที่ 4.4 ตามลำดับ



ภาพที่ 4.2 สนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นที่ตำแหน่งเฟส A

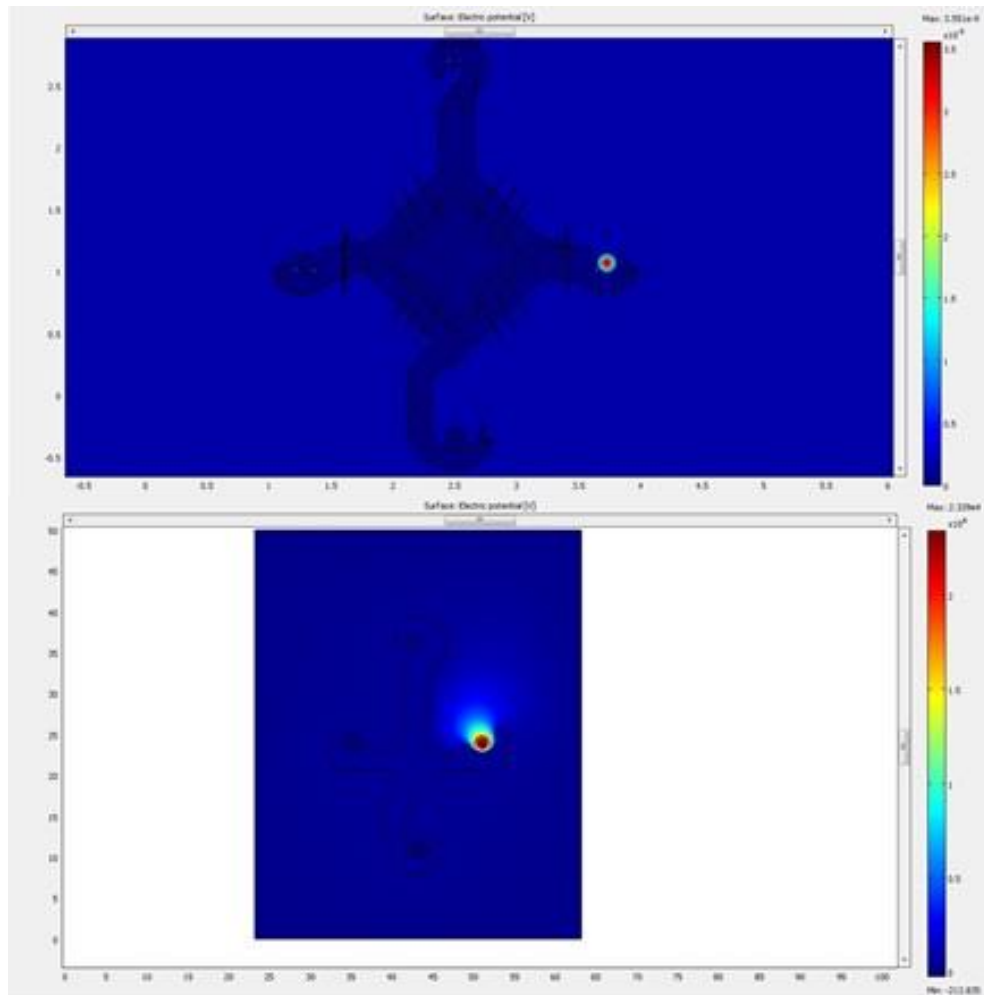


ภาพที่ 4.3 เส้นศักย์สนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นที่ตำแหน่งเฟส A

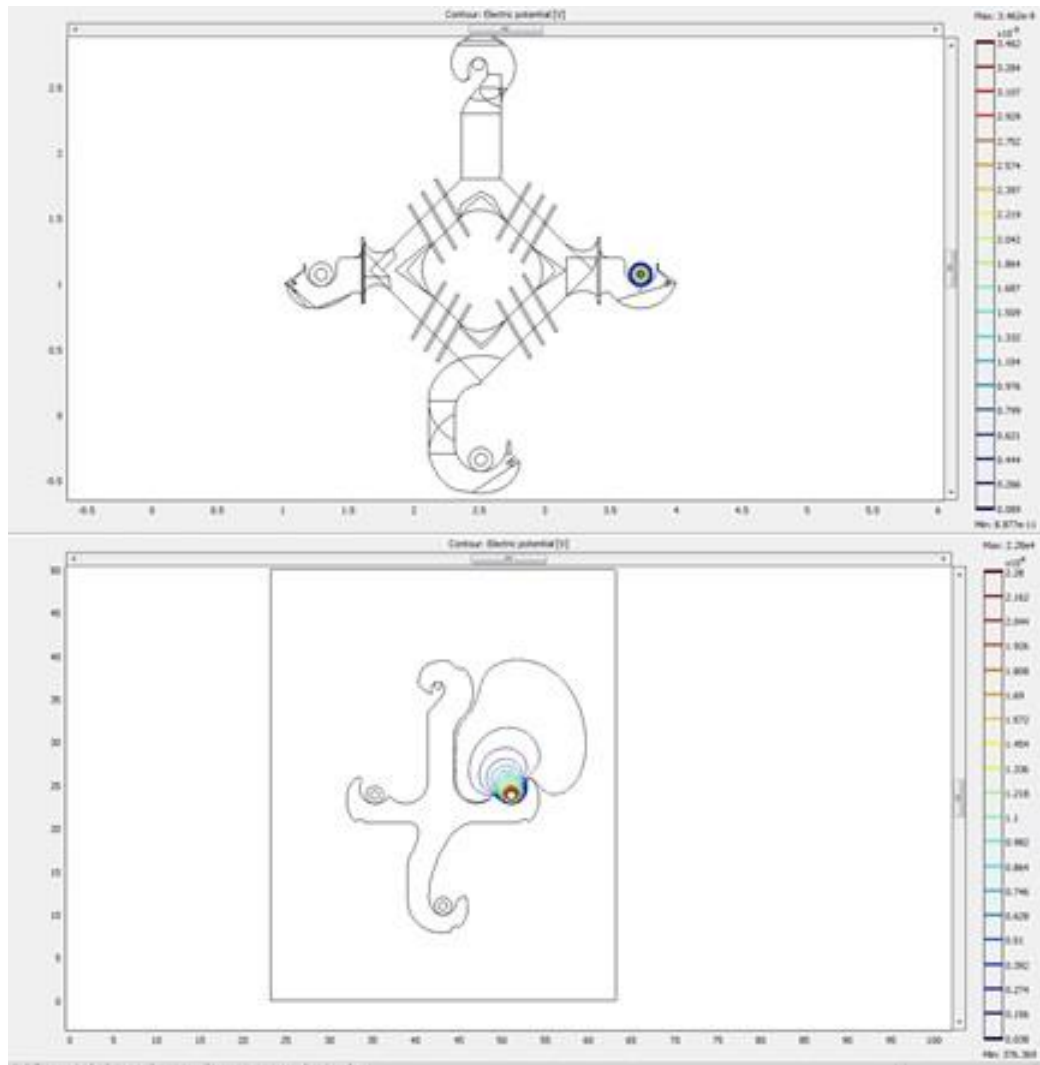


ภาพที่ 4.4 ทิศทางของสนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นเฟส A

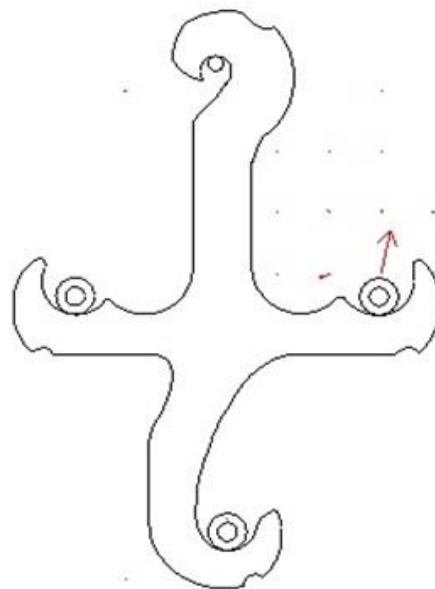
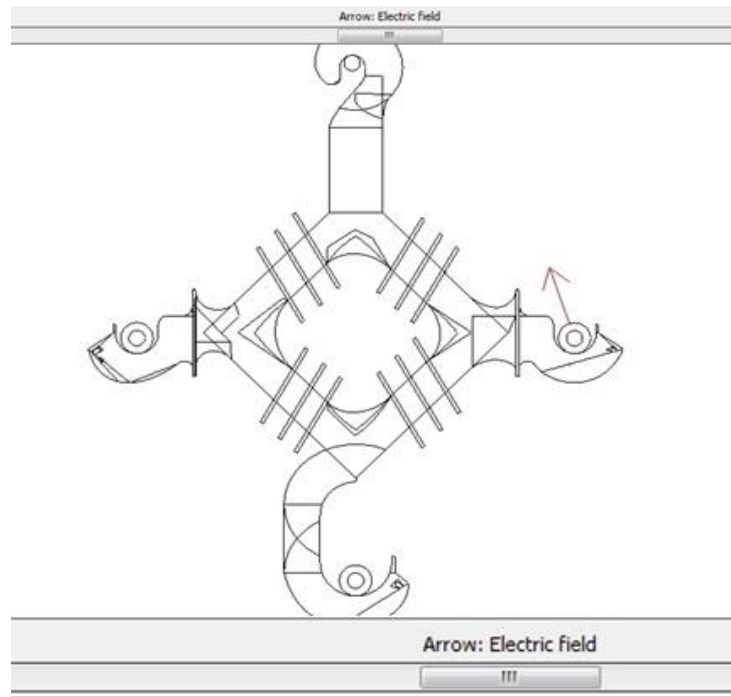
เงื่อนไขที่ 2 คือ ให้เฟส B มีศักย์ไฟฟ้าที่แรงดันใช้งานในระบบ และให้เฟส A, C มีศักย์ไฟฟ้าที่ 0 V โดยแสดงให้เห็นรูปแบบผลของสนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้น เส้นศักย์ของสนามไฟฟ้า และทิศทางของสนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้น ดังแสดงให้เห็นในภาพที่ 4.5, 4.6 และภาพที่ 4.7 ตามลำดับ



ภาพที่ 4.5 สนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นที่ตำแหน่งเฟส B

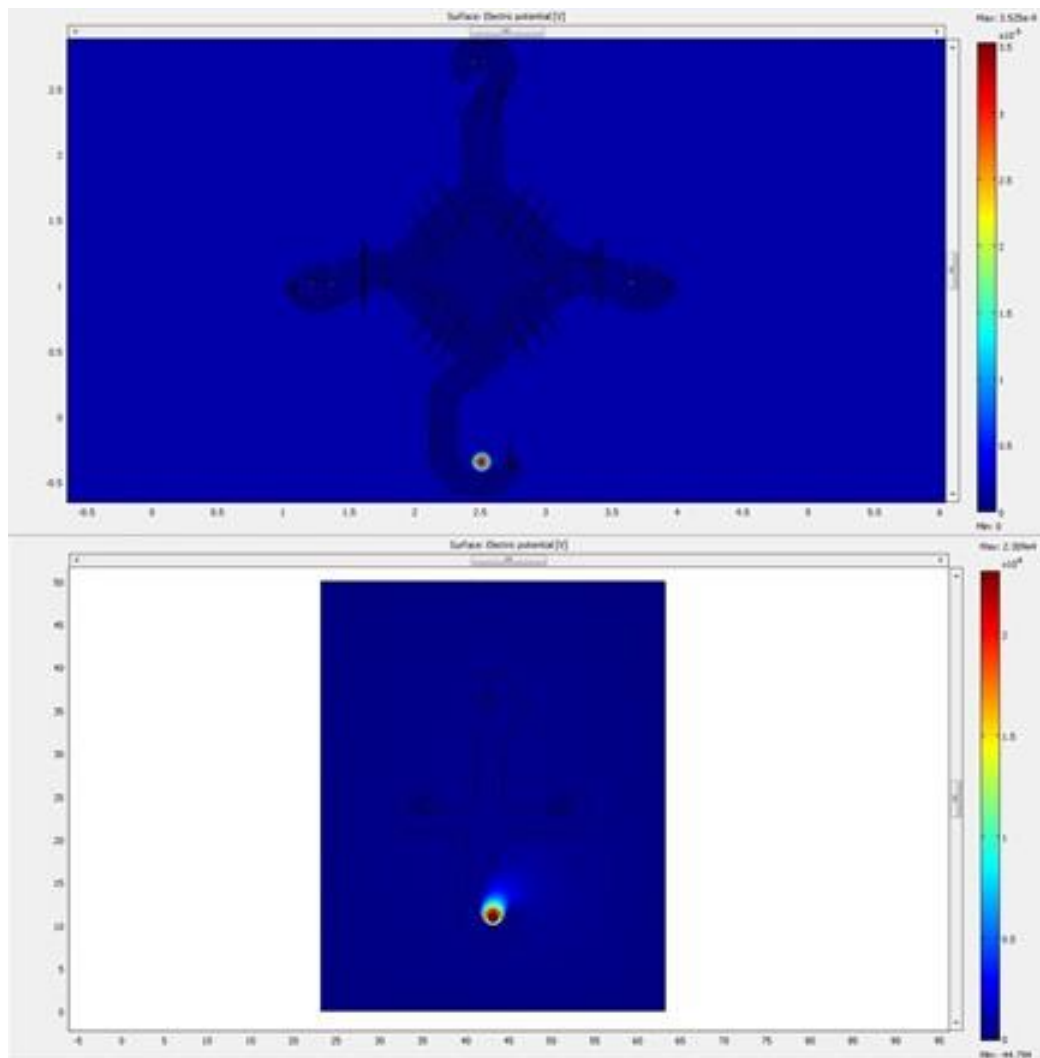


ภาพที่ 4.6 เส้นศักย์ของสนามไฟฟ้าที่ตำแหน่งเฟส B

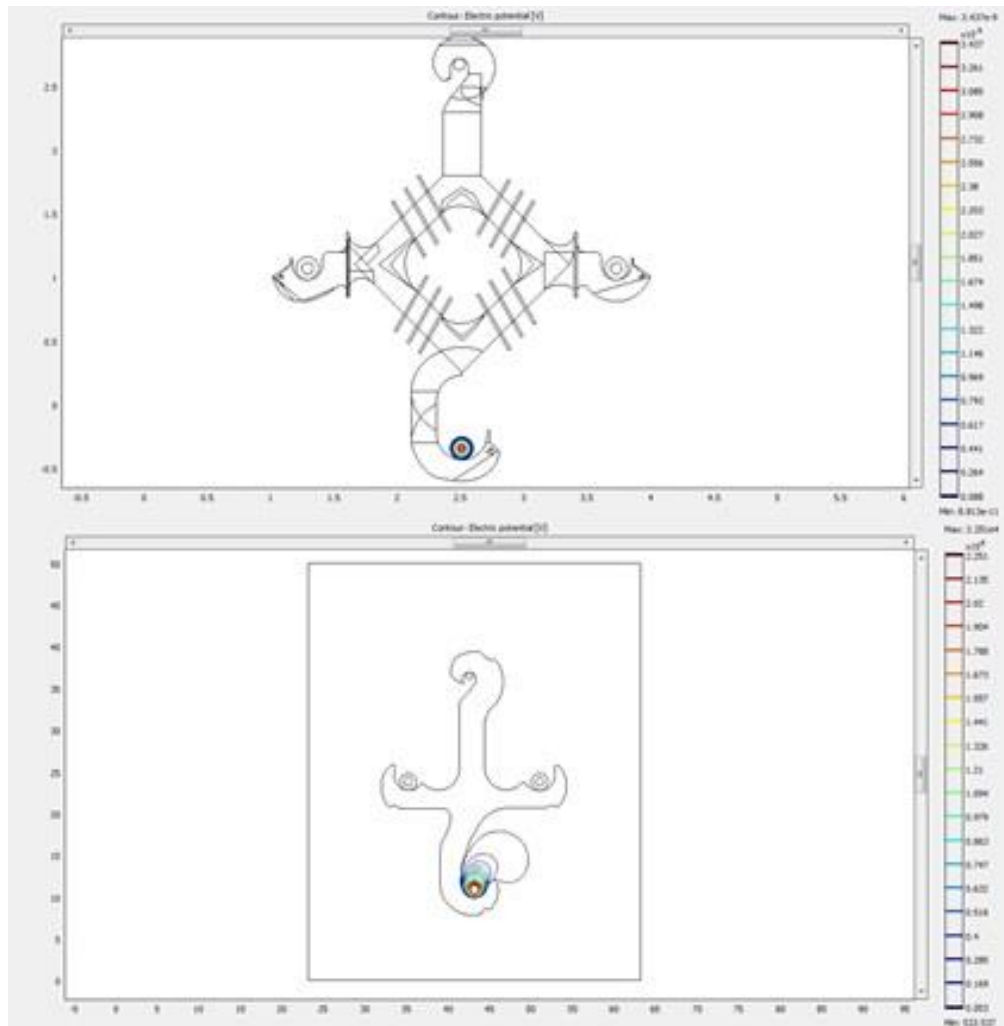


ภาพที่ 4.7 ทิศทางของสนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นเฟส B

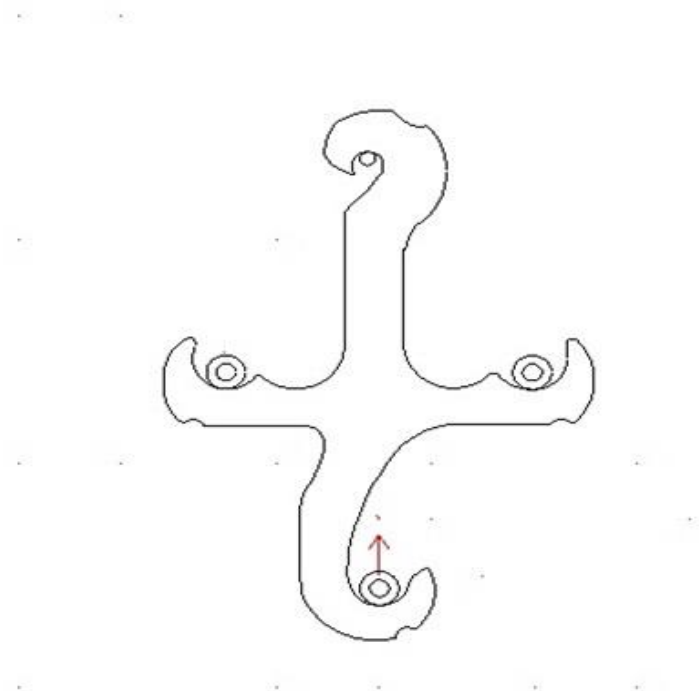
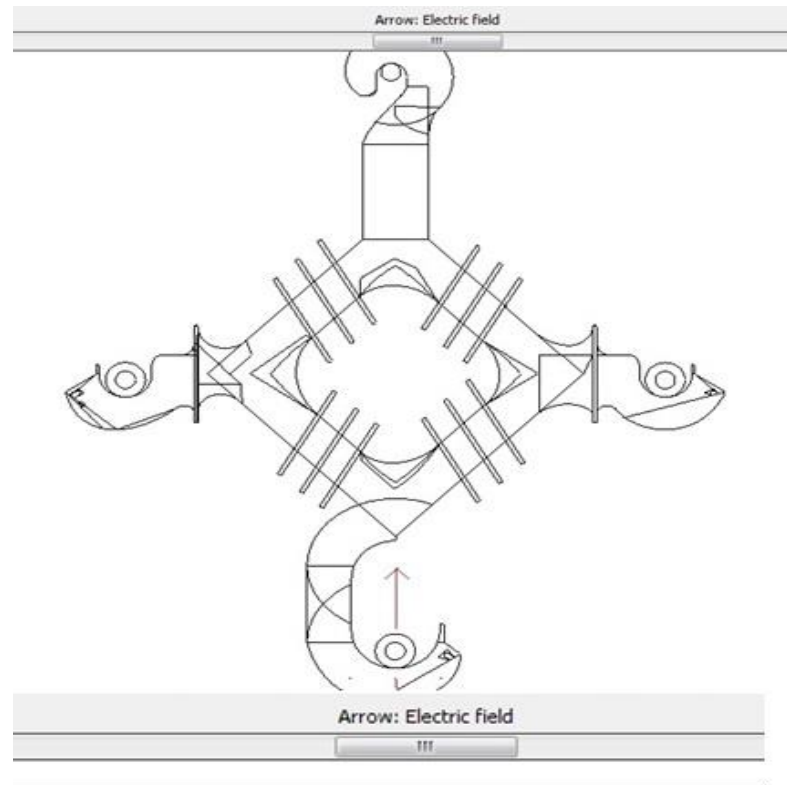
เงื่อนไขที่ 3 คือ ให้เฟส C มีศักย์ไฟฟ้าที่แรงดันใช้งานในระบบ และให้เฟส A, B มีศักย์ไฟฟ้าที่ 0 V โดยแสดงให้เห็นรูปแบบผลของสนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้น เส้นศักย์ของสนามไฟฟ้า และทิศทางของสนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้น ดังแสดงให้เห็นในภาพที่ 4.8 , 4.9 และภาพที่ 4.10 ตามลำดับ



ภาพที่ 4.8 สนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นที่ตำแหน่งเฟส C



ภาพที่ 4.9 เส้นศักย์ของสนามไฟฟ้าที่ตำแหน่งเฟส C



ภาพที่ 4.10 ทิศทางของสนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นเฟส C

ซึ่งค่าสนามไฟฟ้าสูงสุดทั้ง 3 เฟส ในเงื่อนไขข้างต้น แสดงในตารางที่ 4.1 ในระบบแรงดันที่ 22 kV และ 33 kV ที่ใช้กับสายเคเบิลอากาศขนาด 50 ตร.มม. มีรูปแบบของสนามไฟฟ้าและทิศทางของสนามไฟฟ้าคล้ายคลึงกัน แต่ค่าสนามไฟฟ้าสูงสุดในระบบแรงดัน 33 kV จะมีค่ามากกว่าระบบแรงดัน 22 kV

ตารางที่ 4.1 ค่าสนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นทั้ง 3 เฟส ตามลำดับ ในระบบ 22 kV และ 33 kV ของสายเคเบิลอากาศขนาด 50 ตร.มม.

เฟส	ค่าสนามไฟฟ้าของสายเคเบิลอากาศ		ค่าสนามไฟฟ้าบริเวณจุดสัมผัส	
	22 kV (kV/mm)	33 kV (kV/mm)	22 kV (kV/mm)	33 kV (kV/mm)
A	1.979,2.156	3.725,4.788	0.182,0.291	0.324,0.418
B	2.108,2.342	3.652,4.128	0.142,0.235	0.285,0.532
C	1.816,2.251	3.578,4.129	0.156,0.285	0.272,0.482

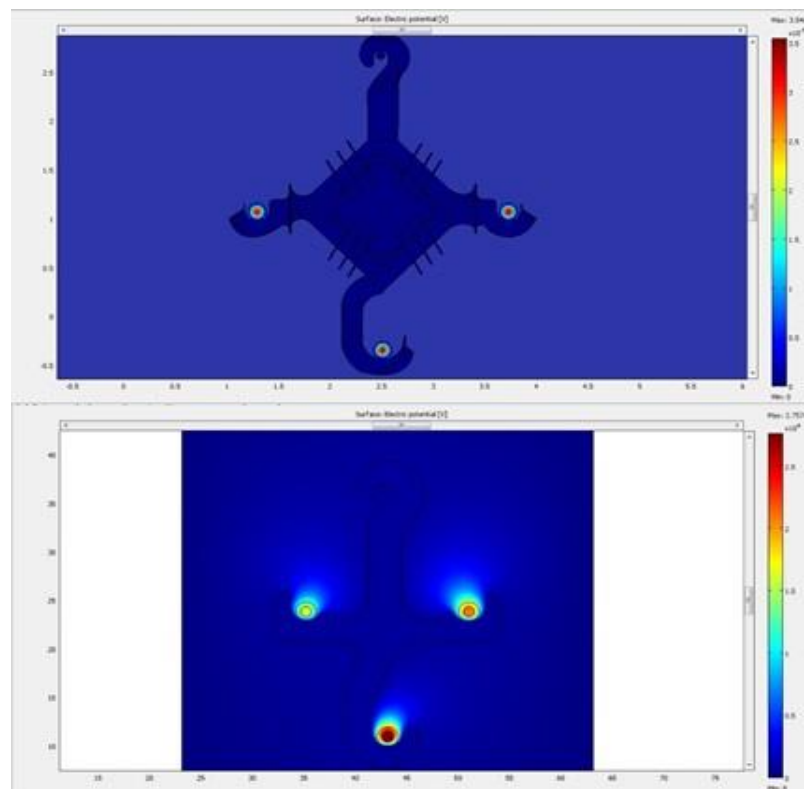
4.1.2 การศึกษาโดยการจ่ายแรงดันไฟฟ้าสูงสุดในระบบที่เฟส A, B และ C ตามลำดับ ในระบบ 22 kV และ 33 kV ให้กับสายเคเบิลอากาศขนาด 185 ตร.มม. บนเคเบิลสเปเซอร์ทั้ง 2 แบบ

โดยใช้เงื่อนไขเดียวกันกับขนาดสายเคเบิลอากาศขนาด 50 ตร.มม. ตามลำดับ ผลที่ได้มีลักษณะของรูปแบบสนามไฟฟ้าและทิศทางของสนามไฟฟ้าคล้ายคลึงกัน แต่ค่าสนามไฟฟ้าจะลดลงมีค่าน้อยกว่าที่ใช้กับสายเคเบิลอากาศขนาด 50 ตร.มม. โดยลักษณะรูปแบบสนามไฟฟ้าจะมีลักษณะในภาพที่ 4.2, 4.5, และ ภาพที่ 4.8 ตามลำดับ ในส่วนของเส้นศักย์ไฟฟ้าจะแสดงให้เห็นในภาพที่ 4.3, 4.6 และ ภาพที่ 4.9 ตามลำดับ และทิศทางของสนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นมีลักษณะที่เหมือนกับภาพที่ 4.4, 4.7 และ ภาพที่ 4.10 ตามลำดับ ดังที่ได้แสดงให้เห็นในการศึกษาที่ใช้แรงดันไฟฟ้าสูงสุดในระบบ 22 kV และ 33 kV ที่ใช้กับขนาดสายเคเบิลอากาศที่มีขนาด 50 ตร.มม. สรุปค่าที่ได้ในตารางที่ 4.2

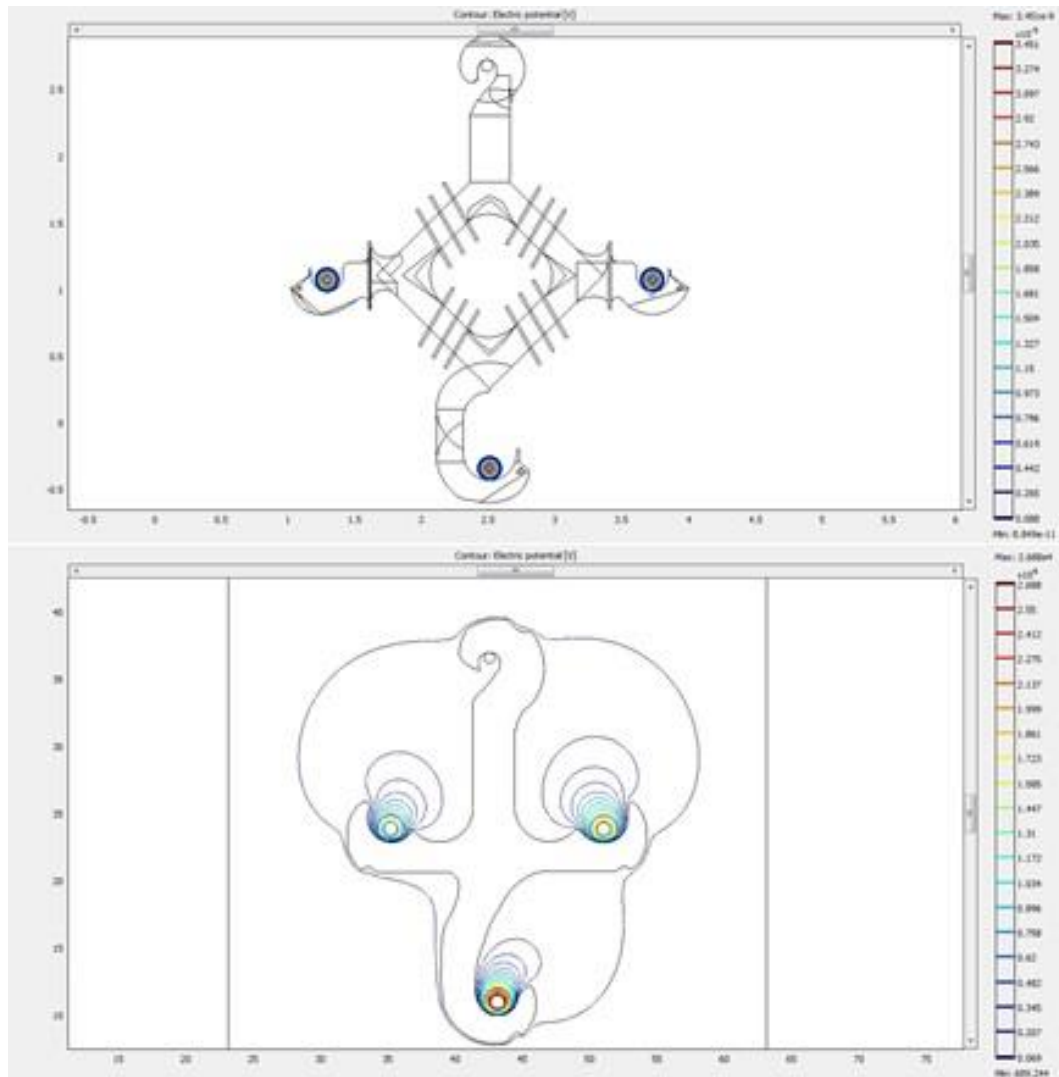
ตารางที่ 4.2 ค่าสนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นทั้ง 3 เฟสตามลำดับ ในระบบ 22 kV และ 33 kV ของสายเคเบิลอากาศขนาด 185 ตร.มม.

เฟส	ค่าสนามไฟฟ้าของสายเคเบิลอากาศ		ค่าสนามไฟฟ้าบริเวณจุดสัมผัส	
	22 kV (kV/mm)	33 kV (kV/mm)	22 kV (kV/mm)	33 kV (kV/mm)
A	1.126,1.635	2.174,3.337	0.302,0.49	0.621,0.859
B	1.279,1.785	2.073,3.034	0.274,0.402	0.598,0.889
C	1.301,1.698	2.092,3.107	0.249,0.379	0.601,0.803

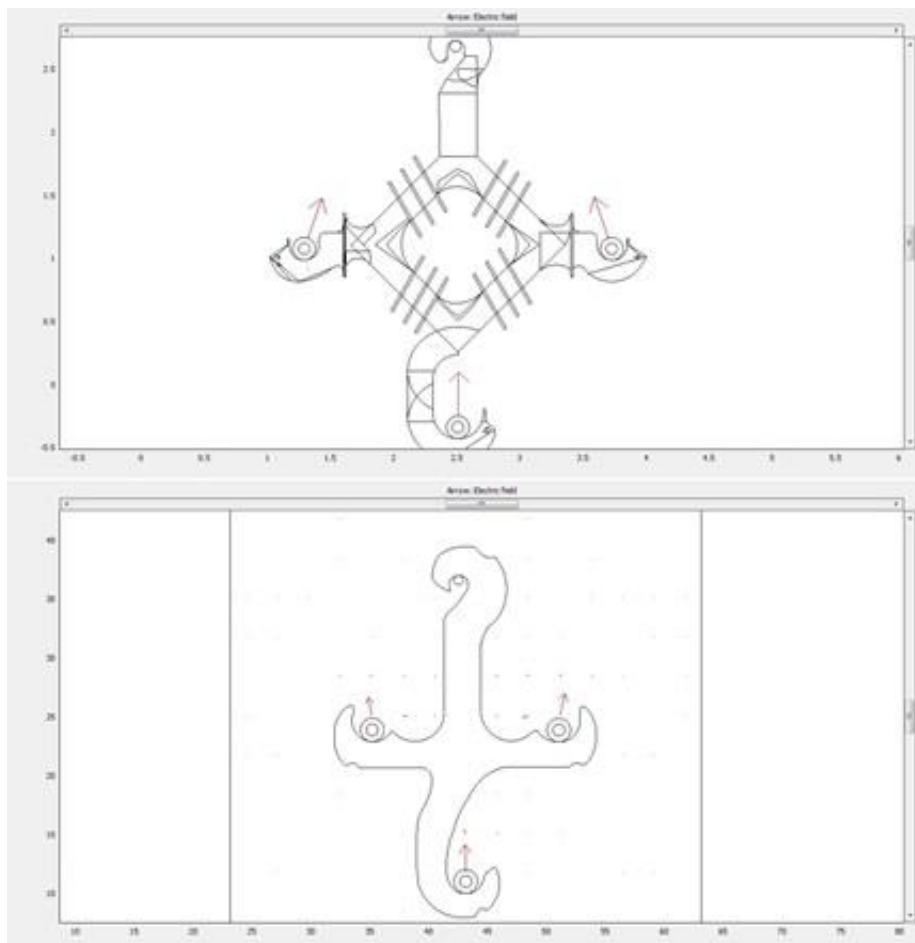
4.1.3 การศึกษาโดยทำการจ่ายแรงดันไฟฟ้าสูงสุดในระบบที่เฟส A, B และ C โดยหลักการใช้งานจริงในระบบส่งจ่ายไฟฟ้า 3 เฟสพร้อมกัน ในแรงดันไฟฟ้า 22 kV และ 33 kV ให้กับสายเคเบิลอากาศขนาด 50 ตร.มม. บนเคเบิลสเปเซอร์ทั้ง 2 แบบ



ภาพที่ 4.11 แสดงรูปแบบผลของสนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นทั้ง 3 เฟส



ภาพที่ 4.12 เส้นศักย์ของสนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นทั้ง 3 เฟส



ภาพที่ 4.13 แสดงทิศทางของสนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นทั้ง 3 เฟส

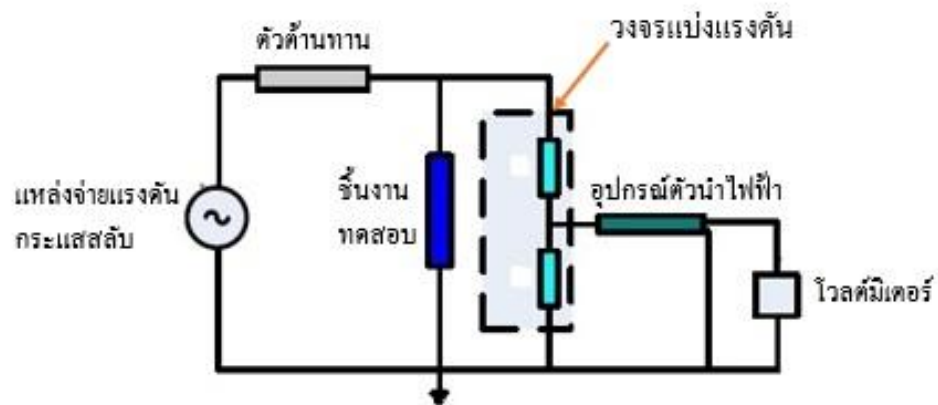
4.1.4 การศึกษาโดยการจ่ายแรงดันไฟฟ้าสูงสุดในระบบที่เฟส A, B และ C โดยหลักการใช้งานจริงในระบบส่งจ่ายไฟฟ้า 3 เฟสพร้อมกัน ในแรงดันไฟฟ้า 22 kV และ 33 kV ให้กับสายเคเบิลอากาศขนาด 185 ตร.มม. บนเคเบิลสเปเซอร์ทั้ง 2 แบบ

โดยใช้เงื่อนไขเดียวกันกับขนาดสายเคเบิลอากาศขนาด 50 ตร.มม. ตามลำดับ ผลที่ได้มีลักษณะของรูปแบบสนามไฟฟ้าและทิศทางของสนามไฟฟ้าคล้ายคลึงกัน โดยลักษณะรูปแบบสนามไฟฟ้าจะมีลักษณะในภาพที่ 4.11 ในส่วนของเส้นศักย์ไฟฟ้าจะแสดงให้เห็นในภาพที่ 4.12 และทิศทางของสนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นมีลักษณะที่เหมือนกับภาพที่ 4.13 ดังที่ได้แสดงให้เห็นในการศึกษาที่ใช้แรงดันไฟฟ้าสูงสุดในระบบ 22 kV และ 33 kV โดยหลักการใช้งานจริงในระบบส่งจ่ายไฟฟ้า 3 เฟสพร้อมกัน ที่ใช้กับขนาดสายเคเบิลอากาศที่มีขนาด 50 ตร.มม. สรุปค่าที่ได้แสดงในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ผลของสนามไฟฟ้าบนเคเบิลสเปเซอร์ที่จ่ายแรงดัน ไฟฟ้าพร้อมกัน 3 เฟส

แรงดัน	ผลสนามไฟฟ้าบนเคเบิลสเปเซอร์ ชนิด HDPE (kV/mm)		ผลสนามไฟฟ้าบนเคเบิลสเปเซอร์ ชนิด Porcelain (kV/mm)	
	50 ตร.มม.	185 ตร.มม.	50 ตร.มม.	185 ตร.มม.
22	0.275	0.198	0.482	0.695
33	0.372	0.298	0.745	0.956

4.2 ผลการศึกษาทดลองความคงทนอยู่ใต้ต่อแรงดันความถี่ต่ำในสถานะผิวแห้งของ เคเบิลสเปเซอร์โดยไม่เกิดการวาวไฟตามผิว



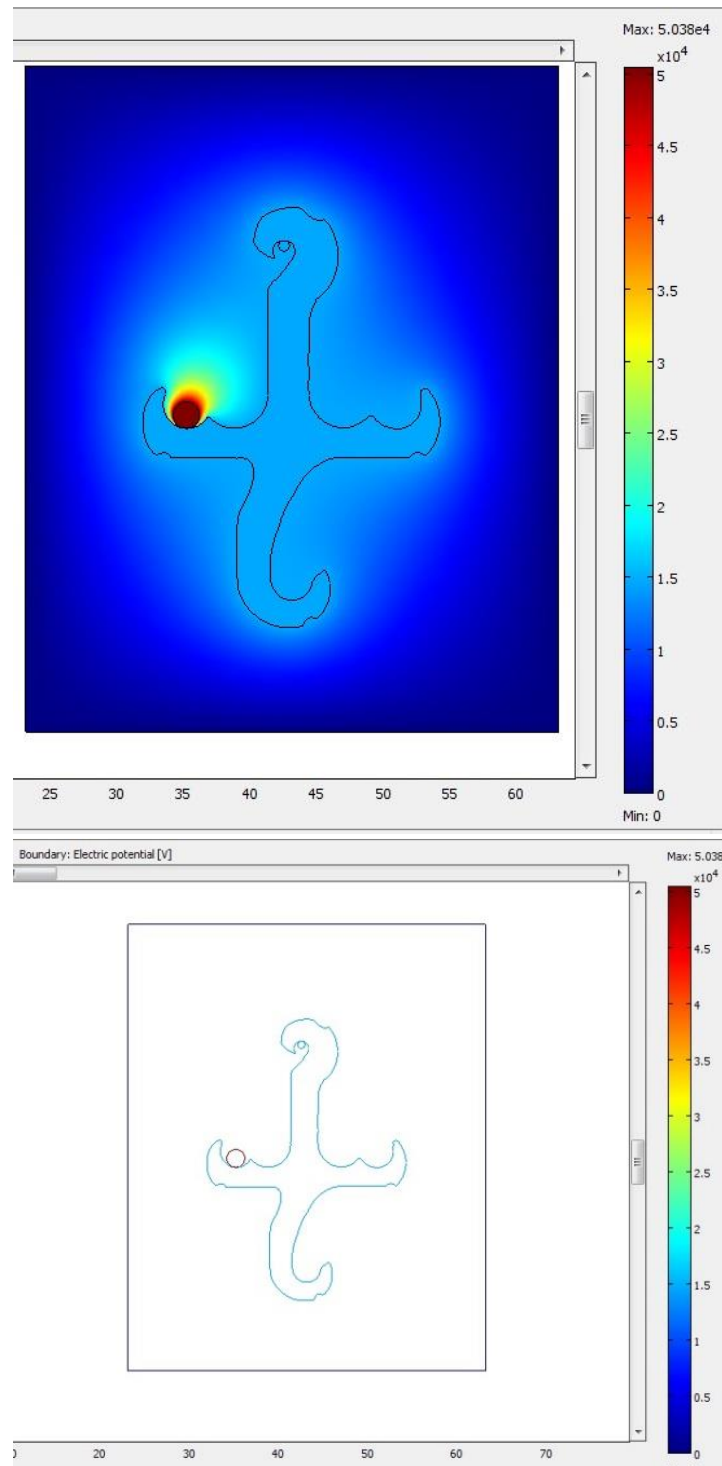
ภาพที่ 4.14 วงจรการทดสอบแรงดันวาวไฟตามผิวความถี่ต่ำสถานะผิวแห้ง

ตารางที่ 4.4 ตัวอย่างการทดสอบแรงดันวาทตามผิวความถี่ต่ำสภาวะผิวแห้ง [2]

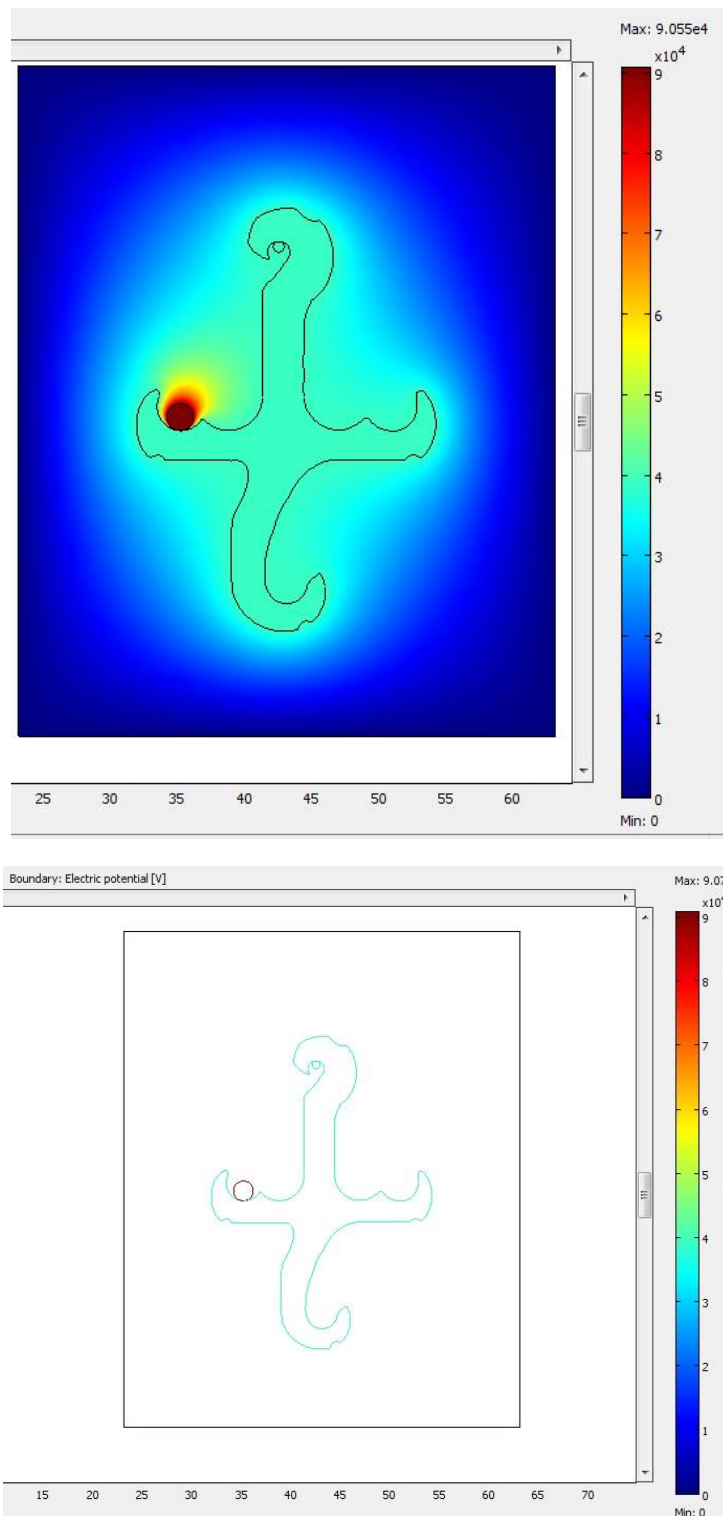
ตัวอย่าง ที่	เฟส ทดสอบ	แรงดันวาท (kV)					
		ชั้นงานทดสอบการเกิดวาทไฟ					ค่าเฉลี่ย
1	A	95.25	96.52	93.12	94.83	94.26	94.80
	B	97.52	96.10	99.22	95.96	96.95	97.15
	C	90.86	96.10	93.55	88.31	95.11	92.79
2	A	92.28	92.13	92.70	93.98	93.13	92.84
	B	91.14	91.85	91.85	91.71	92.70	91.85
	C	98.23	96.53	92.13	95.11	95.25	95.45
สเปกเคเบิลสเปเซอร์ของ การไฟฟ้า ค่าเฉลี่ย		≥ 90					

การศึกษาทดลองในกรณีนี้จะทำการป้อนแรงดันกระแสสลับให้กับเคเบิลสเปเซอร์ชนิดเคลือบเซรามิก โดยกำหนดตำแหน่งเฟสที่ใช้ในการทดสอบดังในบทที่ 3 ภาพที่ 3.13 ตำแหน่งเฟสที่ใช้ในการทดสอบบนเคเบิลสเปเซอร์ โดยการทดสอบให้แรงดันทดสอบเริ่มต้นที่ 90 kV จนไปถึงแรงดันระดับที่เคเบิลสเปเซอร์เกิดการวาทไฟที่ผิวหรือเกินค่าสนามไฟฟ้าวิกฤตของอากาศรอบๆตัวเคเบิลสเปเซอร์ ซึ่งสำหรับอากาศสนามไฟฟ้าจะเริ่มเกิดการดิสชาร์จจะมีค่าประมาณ 30 kV/cm หรือ 3 kV/mm การศึกษาทดสอบนี้เป็นการเปรียบเสมือนการทดสอบแรงดันวาทตามผิวความถี่ต่ำในสภาวะผิวแห้งของการทดสอบของมาตรฐานการไฟฟ้า ซึ่งในการทดสอบในลักษณะนี้จะใช้วงจรในการทดสอบดังภาพที่ 4.14 โดยทำการป้อนแรงดันกระแสสลับให้กับตัวเคเบิลสเปเซอร์ที่ตำแหน่งต่างๆจนกระทั่งมีการเกิดวาทไฟตามผิว ดังนั้นจึงทำการทดสอบโดยวิธีไฟโนลิเมนต์ให้มีลักษณะที่มีการจ่ายแรงดันทดสอบที่เหมือนกัน ภายใต้เงื่อนไขดังนี้

เงื่อนไขที่ 1 ทำการทดสอบความคงทน โดยการป้อนแรงดันระบบ 90 kV ให้กับเคเบิลสเปเซอร์ที่ เฟส A ซึ่งจะเห็นได้ว่า ตัวเคเบิลสเปเซอร์ยังมีความเป็นฉนวนที่ดี เนื่องจากยังมีค่าไม่เกินค่าวิกฤตของสนามไฟฟ้าอากาศที่เริ่มการดิสชาร์จ ดังแสดงในภาพที่ 4.15 และเมื่อทำการป้อนแรงดันเพิ่มขึ้นไปเรื่อยๆจนเกินค่าวิกฤตของสนามไฟฟ้าอากาศรอบตัวเคเบิลสเปเซอร์ ตัวเคเบิลสเปเซอร์ก็เริ่มเสถียรค่าความคงทนของฉนวน และค่าสนามไฟฟ้ารอบๆเคเบิลสเปเซอร์ก็จะมีค่าเกินค่าวิกฤตของสนามไฟฟ้า ดังแสดงให้เห็นในภาพที่ 4.16

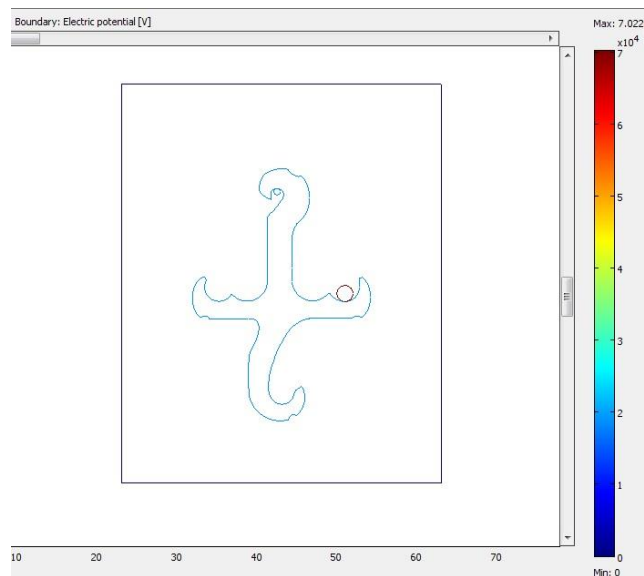
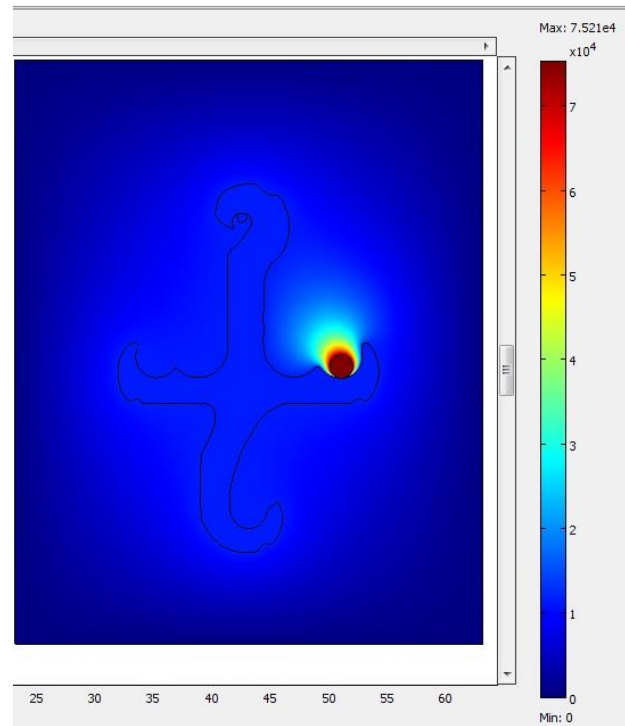


ภาพที่ 4.15 สนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นและที่ผิวของเคเบิลสเปเซอร์ที่แรงดันเริ่มต้น 90 kV เพื่อทดสอบความคงทนของเคเบิลสเปเซอร์ของเฟส A

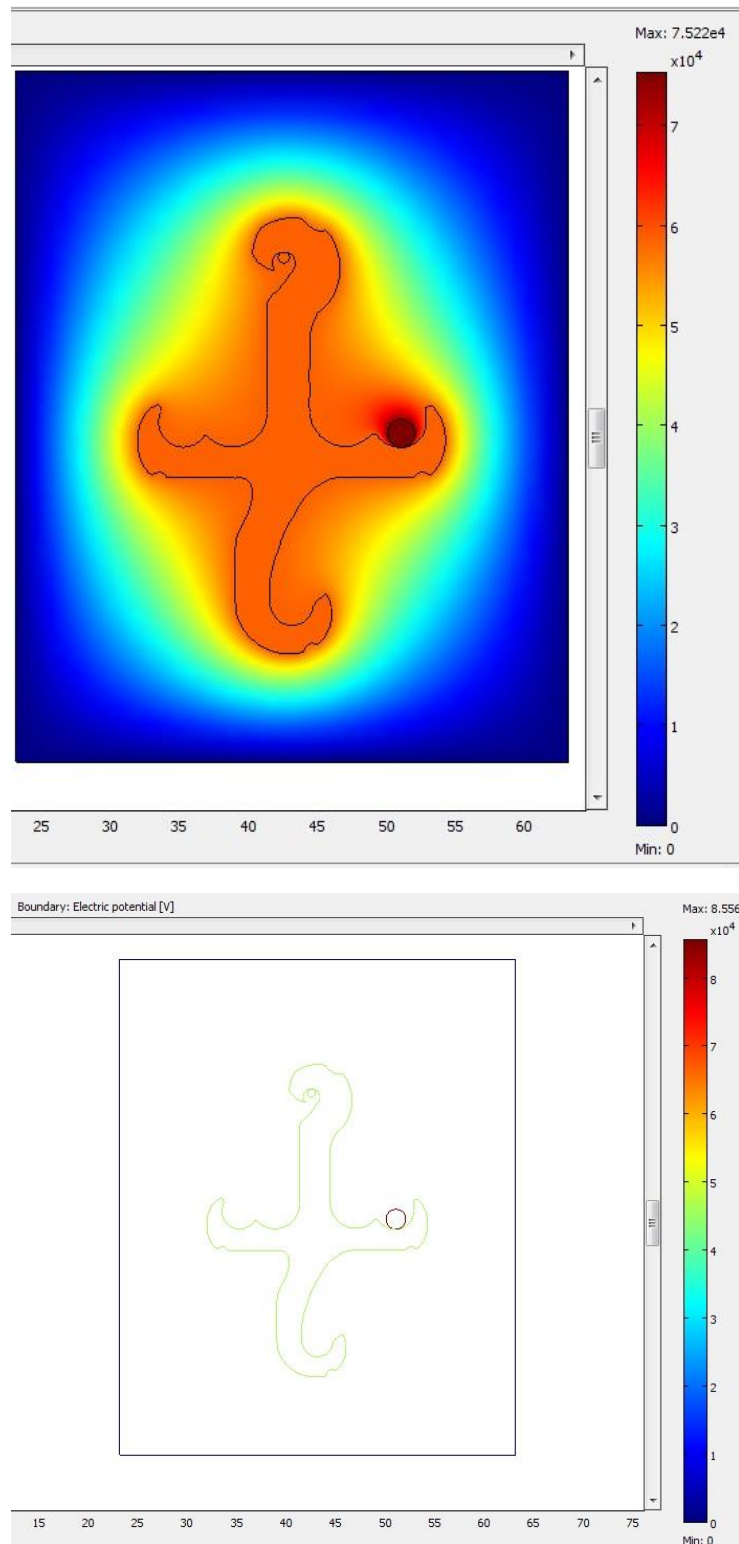


ภาพที่ 4.16 เคมิตสเปเซอร์ที่เริ่มเสียหายของฉนวนและเกิดการวบไฟตามผิว ในตำแหน่งเฟส A

เงื่อนไขที่ 2 โดยทำการทดสอบความคงทนโดยการป้อนแรงดันระบบ 90 kV ให้กับเคเบิลสเปเซอร์ที่ เฟส B โดยทำการทดสอบเหมือนเงื่อนไขของตำแหน่งลักษณะเดียวกันกับเฟส A ดังแสดงให้เห็นในภาพที่ 4.17 และ ภาพที่ 4.18 ตามลำดับ

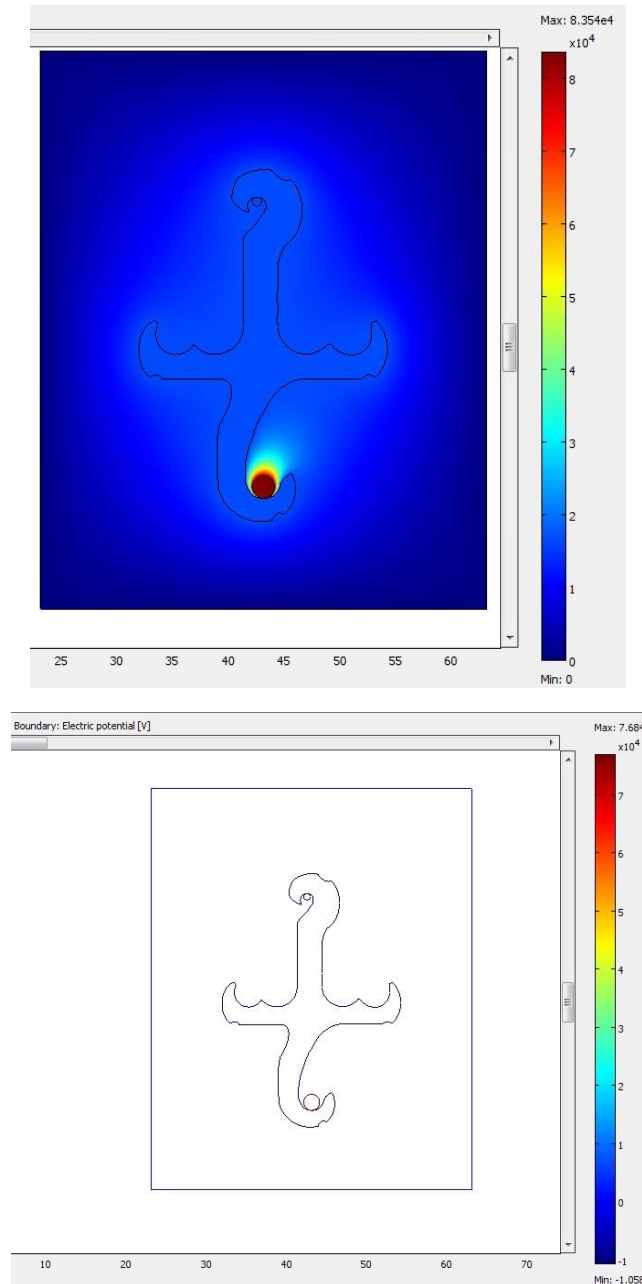


ภาพที่ 4.17 สนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นและที่ผิวของเคเบิลสเปเซอร์ที่แรงดันเริ่มต้น 90 kV เพื่อทดสอบความคงทนของเคเบิลสเปเซอร์ของเฟส B

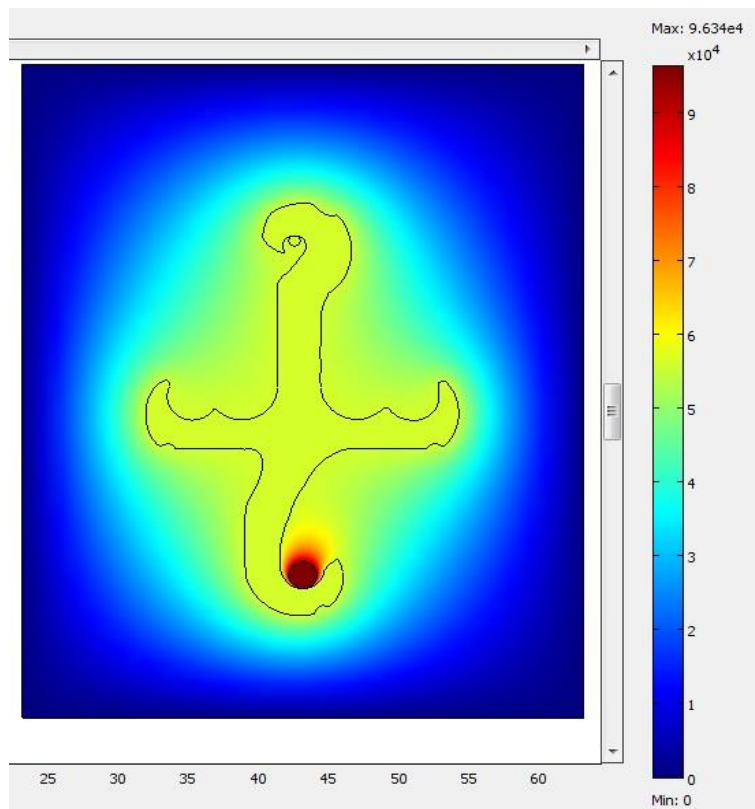


ภาพที่ 4.18 เคเบิลสเปเซอร์ที่เริ่มเสียหายของฉนวนและเกิดการวาบไฟตามผิว ในตำแหน่งเฟส B

เงื่อนไขที่ 3 โดยทำการทดสอบความคงทนโดยการป้อนแรงดันระบบ 90 kV ให้กับเคเบิลสเปเซอร์ที่ เฟส C โดยทำการทดสอบเหมือนเงื่อนไขของตำแหน่งลักษณะเดียวกันกับเฟส A และเฟส B ดังแสดงให้เห็นในภาพที่ 4.19 และ ภาพที่ 4.20 ตามลำดับ



ภาพที่ 4.19 สนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นและที่ผิวของเคเบิลสเปเซอร์ที่แรงดันเริ่มต้น 90 kV เพื่อทดสอบความคงทนของเคเบิลสเปเซอร์ของเฟส C



ภาพที่ 4.20 เกล็ดสเปเซอร์ที่เริ่มเสียหายของฉนวนและเกิดการวางไฟตามผิว ในตำแหน่งเฟส C

ตารางที่ 4.5 ผลการทดสอบความคงทนแรงดันวาทไฟตามผิวของเคเบิลสเปเซอร์

เฟส	แรงดันไฟฟ้าทดสอบสูงสุด	ผลของสนามไฟฟ้า
A	93.7 kV	3.421 kV/mm
B	95.7 kV	5.012 kV/mm
C	96.8 kV	5.765 kV/mm

4.3 สรุปผลทดลองที่ได้จากการศึกษาทดลอง

ความเครียดของสนามไฟฟ้าในเนื้อวัสดุที่เป็นฉนวนที่มีความต่างชนิดกัน โดยที่เป็นวัสดุที่ทำเป็นฉนวนของสายเคเบิลอากาศและเคเบิลสเปเซอร์ เมื่อนำวัสดุเนื้อสารที่มีความต่างชนิดกัน จะมีค่าความเป็นฉนวน และค่าความต้านทานจำเพาะแตกต่างกัน ทำให้ชั้นหรือจุดสัมผัสของฉนวนเกิดสนามไฟฟ้าที่มีการเปลี่ยนแปลง โดยที่วัสดุที่เป็นฉนวนที่มีค่าความเป็นฉนวนต่ำ ถูกนำไปใช้งานร่วมกับวัสดุที่เป็นฉนวนที่มีค่าความเป็นฉนวนสูง จะทำให้เกิดเส้นศักย์ไฟฟ้าหนาแน่นที่บริเวณรอยต่อหรือจุดสัมผัส โดยที่วัสดุที่เป็นฉนวนที่มีค่าความเป็นฉนวนต่ำจะเกิดความเครียดของสนามไฟฟ้าสูง และสามารถทำให้เกิดการคืบสารโดยตรงบริเวณรอยต่อหรือบริเวณจุดสัมผัสได้ โดยที่รูปร่าง ระยะห่างของเฟส และชนิดของเคเบิลสเปเซอร์ที่ใช้งานกับขนาดของสายเคเบิลอากาศที่ไม่เหมาะสมหรือไม่เป็นไปตามมาตรฐานของการไฟฟ้าก็จะมีผลต่อความเครียดของสนามไฟฟ้าบริเวณจุดสัมผัสด้วย