

## การประเมินจำนวนเหตุการณ์การเกิดแรงดันตกชั่วขณะจาก Line Fault Performance Parameter ในสถานีไฟฟ้าตรึง ระดับแรงดัน 33kV โดยใช้โปรแกรม DigSILENT

นางสาวพศธร จันทร์เงิน<sup>1,2</sup>, นายทวีพล ชีวะเสริช<sup>1,3</sup>, นายอภิศักดิ์ สิงห์สาธิต<sup>1,4</sup>

<sup>1</sup>แผนกวิเคราะห์คุณภาพไฟฟ้า

<sup>2</sup>การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค เขต 1 (ภาคเหนือ) จ.เชียงใหม่ pasasorn.jan@pea.co.th

<sup>3</sup>การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค เขต 2 (ภาคใต้) จ.นครศรีธรรมราช tavipol.che@pea.co.th

<sup>4</sup>การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค เขต 1 (ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ) จ.อุดรธานี apisak.sin@pea.co.th

### บทคัดย่อ ( Abstract )

ปัจจุบัน PEA มีสถานีไฟฟ้าที่รองรับการจ่ายแรงดันไฟฟ้าหลายสถานี ทำให้ต้องมีการดูแลบำรุงรักษาวจรสายป้อนในระบบจำหน่ายเป็นระยะทางไกล ต้องใช้พนักงานและเวลาในการปฏิบัติงานเป็นจำนวนมาก แต่ไม่สามารถลดผลกระทบจากเหตุการณ์แรงดันตกชั่วขณะได้ ดังนั้นบทความนี้จะทำการศึกษา การประเมินจำนวนเหตุการณ์แรงดันตกชั่วขณะ (NOS) ในสถานีไฟฟ้าตรึง ระดับแรงดัน 33 kV จาก การคำนวณหา Line fault Performance (LFP) และ พื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากแรงดันตกชั่วขณะ (AOV) เพื่อประเมินและวางแผนการบำรุงรักษาระบบจำหน่าย และสามารถลดค่าใช้จ่ายในการปฏิบัติงานของพนักงานเป็นจำนวนเงิน 1.8 ล้านบาท/ปี โดยใช้ระยะเวลาที่สั้นลง แต่เพิ่มประสิทธิภาพในการดูแลระบบจำหน่ายได้มากขึ้น โดยจะทำการบำรุงรักษาที่สถานีไฟฟ้าตรึงวงจรที่ 1 ของ Incoming1 และวงจรที่ 9 ของ Incoming 2 เป็นลำดับแรก

**คำสำคัญ** – คุณภาพไฟฟ้า; แรงดันตกชั่วขณะ (Voltage Sag), เส้นโค้ง ITIC , พื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากแรงดันตกชั่วขณะ (Area of vulnerability : AOV) , Number of sags (NOS)

### 1. บทนำ (Introduction)

ตามมาตรฐานสากล IEC และ IEEE ให้ความหมายของคุณภาพไฟฟ้า คือ คุณลักษณะกระแส แรงดันและความถี่ของแหล่งจ่ายไฟฟ้าในสภาวะไม่ปกติที่ทำให้อุปกรณ์ไฟฟ้ามีการทำงานผิดพลาดหรือเกิดความเสียหาย ความผิดปกติที่เกิดขึ้นในระบบไฟฟ้ามีหลายลักษณะ ซึ่งอาจมาจากปรากฏการณ์

ธรรมชาติ เช่น พายุ ความผิดพลาดในระบบส่งกำลังของแหล่งจ่ายไฟฟ้าหลัก การทำงานของอุปกรณ์ประเภทสวิตชิง (Switching) การทำงานของอุปกรณ์ที่ไม่เป็นเชิงเส้น (Non-linear Load) การต่อกราวด์ (Grounding) ในระบบไม่ถูกต้อง เป็นต้น เมื่อเกิดปัญหาเกี่ยวกับคุณภาพไฟฟ้าขึ้นย่อมทำให้ลักษณะของรูปคลื่น แรงดัน กระแส ตลอดจนความถี่ของระบบไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งปัญหาต่างๆ ที่เกิดขึ้นเรียกรวมว่า “มลภาวะทางไฟฟ้า (Electrical Pollution)” ซึ่งสามารถสรุปได้เป็น 4 ลักษณะ คือ ภาวะชั่วครู่ (Transient) การเปลี่ยนแปลงแรงดันช่วงระยะสั้น (Short duration voltage variation) การเปลี่ยนแปลงแรงดันช่วงระยะยาว (Long duration voltage variation) และความผิดเพี้ยนรูปคลื่น (Waveform distortion) ซึ่งปัญหาแรงดันตกชั่วขณะ (Voltage sag) เป็นปัญหาทางด้านคุณภาพไฟฟ้า ที่เกิดขึ้นบ่อยครั้งที่สุดในระบบไฟฟ้าทั้งนี้สาเหตุหลักที่ทำให้เกิดแรงดันตกชั่วขณะก็คือ การเกิดการลัดวงจรแบบต่างๆในระบบไฟฟ้าแรงดันตกชั่วขณะเป็นความผิดปกติที่เกิดขึ้นกับแรงดันชนิดที่มีช่วงเวลาสั้นโดยมีมาตรฐาน IEEE std. 1159-2019 ได้ให้คำนิยามไว้ว่า เป็นการลดลงของแรงดันในช่วงเวลา 0.5 ไซเคิลถึง 1 นาที ด้วยค่าแรงดันระหว่าง 10% ถึง 90% ของแรงดันปกติ ซึ่งแรงดันตกชั่วขณะจะส่งผลกระทบต่ออุปกรณ์ที่มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของแรงดัน เช่น การหยุดทำงานของชุดขับเคลื่อนปรับความเร็วมอเตอร์ (VSD) เครื่องคอมพิวเตอร์ อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ควบคุมและอื่นๆ

ดังนั้นบทความนี้จะกล่าวถึงการศึกษาผลกระทบต่อผู้ใช้ไฟฟ้า โดยจำลองการลัดวงจรที่ระบบจำหน่าย 33 kV ในสถานี

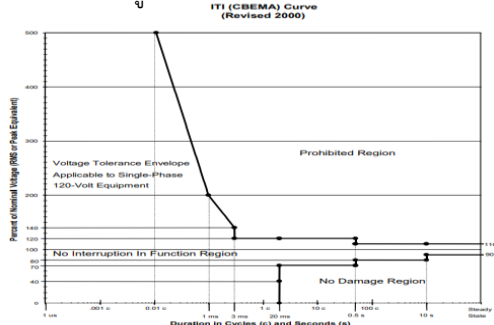
ไฟฟ้าตรงเพื่อหาพื้นที่ขอบเขตที่ได้รับผลกระทบจากแรงดันตกชั่วขณะและจำนวนเหตุการณ์ที่ได้รับผลกระทบจากแรงดันตกชั่วขณะ ซึ่งสามารถนำมาใช้ในการวางแผนการบำรุงรักษาระบบจำหน่ายตามความรุนแรงในการเกิดการลัดวงจรของสถานีไฟฟ้าตรงได้

## 2. การประยุกต์ใช้วิธีการระบุตำแหน่งความผิดปกติ (Application of method of fault position)

วิธีการระบุตำแหน่งความผิดพลาดเป็นวิธีที่ถูกนำมาใช้ในการประเมินหาจำนวนเหตุการณ์การเกิดแรงดันตกชั่วขณะโดยการจำลองการลัดวงจรแบบต่างๆในระบบไฟฟ้าซึ่งการลัดวงจรเป็นหนึ่งในสาเหตุหลักที่จะทำให้เกิดแรงดันตกชั่วขณะ โดยพิจารณาตามการลัดวงจรแต่ละประเภท โดยจะแสดงถึงขนาดแรงดันตกเหลือเมื่อเกิดเหตุการณ์แรงดันตกชั่วขณะ และใช้สถิติการลัดวงจรในระบบไฟฟ้ามาใช้ในการประเมินจำนวนเหตุการณ์การเกิดแรงดันตกชั่วขณะ [1]

## 3. พื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากแรงดันตกชั่วขณะ (Area of vulnerability : AOV)

พื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากแรงดันตกชั่วขณะถูกนำมาใช้เพื่อช่วยประเมินความเป็นไปได้ของอุปกรณ์ที่ไวต่อการเปลี่ยนแปลงแรงดันตกชั่วขณะ ที่ยังสามารถทำงานได้เป็นปกติ [2] อ้างอิงตามมาตรฐานเส้นโค้ง ITIC ซึ่งเป็นมาตรฐานที่ใช้อธิบายความทนทานต่อการเกิดเหตุการณ์ผิดปกติทางไฟฟ้าของอุปกรณ์ไฟฟ้า โดยอธิบายผ่านขนาดแรงดันซึ่งแทนอยู่ในแกน Y และระยะเวลาการเกิดเหตุการณ์แทนอยู่ในแกน X โดยเส้นโค้งนี้จะแบ่งพื้นที่เป็น 3 บริเวณ ได้แก่บริเวณที่อุปกรณ์สามารถทำงานได้เป็นปกติ บริเวณที่ส่งผลกระทบต่ออุปกรณ์ทำให้อุปกรณ์เสียหาย และบริเวณที่ส่งผลกระทบต่ออุปกรณ์ทำให้อุปกรณ์หยุดการทำงาน ซึ่งบริเวณที่อุปกรณ์จะหยุดทำงานเนื่องจากแรงดันตกชั่วขณะจะต้องมีขนาดแรงดันต่ำกว่า 0.7 เพอร์เซ็นต์ ในช่วงเวลา 20 ms ขึ้นไป



รูปที่ 1 แสดง ITIC Curve

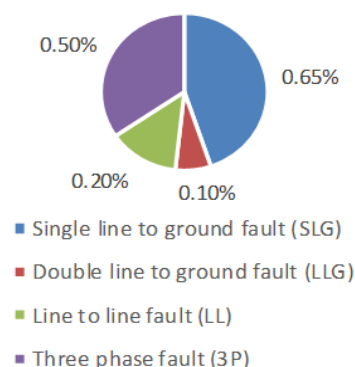
การระบุพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากแรงดันตกชั่วขณะจะมีขั้นตอนดังนี้

1. จำลองการลัดวงจรประเภทต่างๆที่ระบบจำหน่าย 33 kV เช่น Single line to ground fault, 3Phase fault เป็นต้น ด้วยโปรแกรม DigSILENT
2. เปลี่ยนตำแหน่งการลัดวงจรตามระยะทางจากสถานีไฟฟ้าจนเกิดแรงดันตกชั่วขณะเท่ากับ 0.7 pu. (L-N) ที่ด้านแรงต่ำ ระยะทางที่ได้จะเรียกว่า พื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากแรงดันตกชั่วขณะ (AOV)

## 4. การประเมินจำนวนเหตุการณ์การเกิดแรงดันตกชั่วขณะ (Number of sags : NOS)

การประเมินจำนวนเหตุการณ์การเกิดแรงดันตกชั่วขณะที่มีสาเหตุมาจากความผิดปกติในระบบจำหน่ายจะสามารถคำนวณได้ตามขั้นตอน [1] ดังนี้

1. ระบุตำแหน่งของพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากแรงดันตกชั่วขณะ (AOV) จากการจำลองระบบไฟฟ้าด้วยโปรแกรม DigSILENT
2. คำนวณหา Line Fault Performance (LFP) จากสถิติการลัดวงจรรายปีของสถานีไฟฟ้าตรง และความยาวสายทั้งหมดในแต่ละวงจร (สมการที่ 1) โดยการคำนวณต้องคำนึงเปอร์เซ็นต์สถิติการเกิดการลัดวงจรแต่ละประเภทรวมด้วย



รูปที่ 2 แสดงเปอร์เซ็นต์สถิติการเกิดการลัดวงจรแต่ละประเภท

$$LFP = \frac{\text{Fault Rate}}{\text{Total Circuit - km}} \quad (1)$$

เมื่อ LFP คือ โอกาสการเกิดการลัดวงจรตลอดทั้งความยาวสาย (fault/km/year)

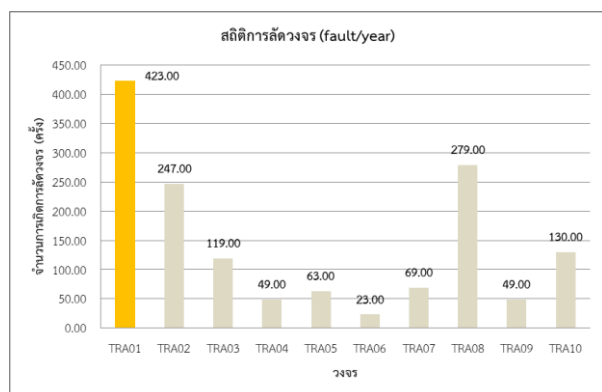
Fault Rate คือ สถิติการเกิดการลัดวงจรในแต่ละวงจร (event/year)

Total Circuit-km คือ ความยาวสายทั้งหมดในแต่ละวงจร (km)  
คำนวณหาจำนวนเหตุการณ์การเกิดแรงดันตกชั่วขณะดังสมการที่ 2

$$NOS = AOV \times LFP \quad (2)$$

เมื่อ NOS คือ จำนวนเหตุการณ์การเกิดแรงดันตกชั่วขณะ (event/year)

AOV คือ พื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากแรงดันตกชั่วขณะ (km)



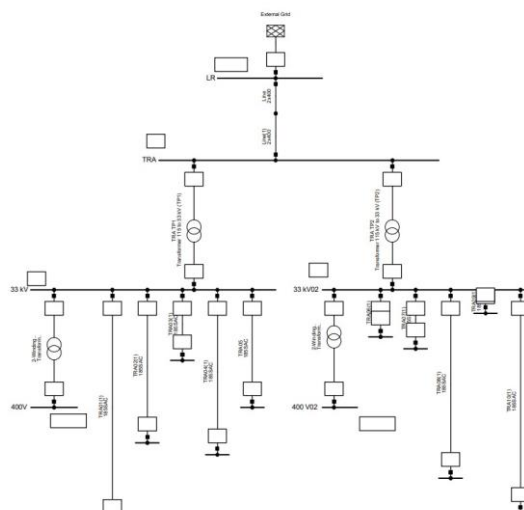
รูปที่ 3 สถิติการเกิดการลัดวงจรเดือนกรกฎาคมปี 2563 ถึงเดือนกรกฎาคม ปี2564 (event/year)

fault type	Prob %	Fault rate fault/year	total circuit-km circuit-km	LFP. fault/km/year	AOV. circuit-km	NOS. events
SPG	0.65	274.95	209.28	1.314	3.77	4.95
PPG	0.10	42.30	209.28	0.202	25.11	5.08
PP	0.20	84.60	209.28	0.404	25.11	10.15
3P	0.05	21.15	209.28	0.101	25.11	2.54
	1.00	423.00		2.021		22.72

ตารางที่ 1 แสดงตัวอย่างการคำนวณหา LFP. และ NOS. ของสถานไฟฟ้าต่ง วงจรที่ 1 ตามสถิติการเกิดการลัดวงจร รูปที่3

จากตารางที่ 1 จะได้ตำแหน่งของ AOV มีค่าเท่ากับ 3.77 วงจร-กิโลเมตรเมื่อทำการจำลองการลัดวงจรแบบ SLG ด้วยโปรแกรม DigSILENT จากนั้นทำการคำนวณหา LFP. โดยใช้  $\text{fault rate/total circuit-km}$  เท่ากับ  $274.95/209.28 = 1.314$  (fault/km/year) (ในปี ถ้าพิจารณาในช่วงระยะทาง 10 กิโลเมตรจะเกิด SLG จำนวน 13.14 ครั้ง หรือ 14 ครั้ง) จากนั้นคำนวณหา จำนวนเหตุการณ์การเกิดแรงดันตกชั่วขณะ (NOS) จาก AOV คูณด้วย LFP มีค่าเท่ากับ  $3.77 \times 1.314 = 4.95$  ครั้ง ส่งผลทำให้เกิดแรงดันตกชั่วขณะที่ทำให้เครื่องจักรหยุด 5 ครั้ง ดังนั้นสรุปได้ว่าสถานไฟฟ้าต่งวงจรที่1 มีจำนวนเหตุการณ์การเกิดแรงดันตกชั่วขณะทั้งหมดทำให้เครื่องจักรหยุด 23 ครั้ง และคำนวณแบบเดียวกัน ในวงจรที่2 ถึง วงจรที่ 10

## 5. แผนผังระบบไฟฟ้าของสถานไฟฟ้าต่ง



รูปที่ 4 แสดงแผนผังจำลองระบบไฟฟ้าในสถานไฟฟ้าต่ง ในโปรแกรม DigSILENT

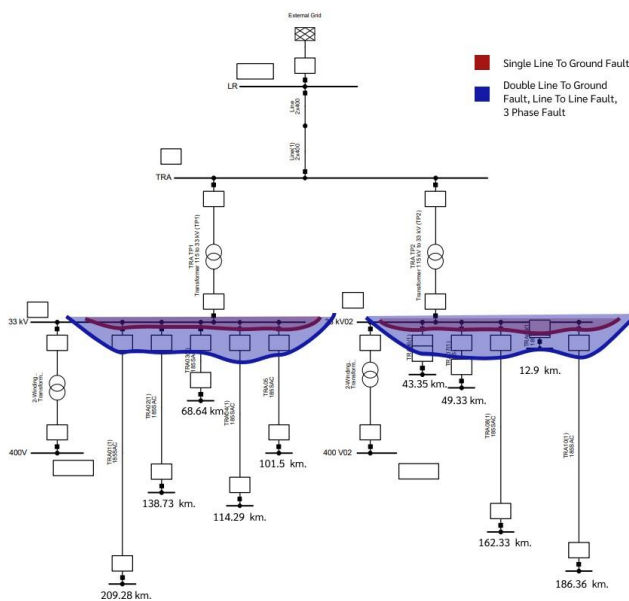
สถานไฟฟ้าต่งรับแรงดันระบบ 115 kV ผ่านสายส่งมาจากสถานไฟฟ้าลุ่มรา และ จำหน่ายแรงดันระบบ 33 kV ไปยังผู้ใช้ไฟฟ้าผ่านสายป้อนจำนวน 10 สายป้อน โดยเหตุการณ์ปัญหาคุณภาพไฟฟ้าที่เกิดขึ้นมักจะเกิดขึ้นผ่านระบบสายส่ง หรือระบบจำหน่ายเป็นประจำ โดยในบทความนี้จะพิจารณาเกี่ยวกับการเกิดการลัดวงจรภายในสายป้อนของสถานไฟฟ้าต่งที่ส่งผลเกิดแรงดันตกชั่วขณะทางฝั่งผู้ใช้ไฟฟ้าที่รับไฟฟ้าจากระบบจำหน่ายของสถานไฟฟ้าต่ง

### 5.1 พื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากแรงดันตกชั่วขณะ (Area of vulnerability : AOV) ของสถานไฟฟ้าต่งในระบบจำหน่าย 33 kV

Feeder	Length of Line (km)	AOV (km.)	
		SLG	3P
TRA01	209.42	3.77	25.11
TRA02	138.73	3.88	24.97
TRA03	68.64	3.78	26.08
TRA04	114.29	4.00	25.14
TRA05	101.50	4.06	25.38
TRA06	43.35	3.69	25.14
TRA07	49.33	3.95	25.65
TRA08	162.33	3.90	25.16
TRA09	12.90	3.87	12.90
TRA10	186.36	3.73	25.16

ตารางที่ 2 แสดงระยะความยาวสายทั้งหมดและตำแหน่งพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากแรงดันตกชั่วขณะ(AOV) เมื่อเกิดการลัดวงจรแบบ SLG และ 3P ในระบบจำหน่ายของสถานไฟฟ้าต่ง

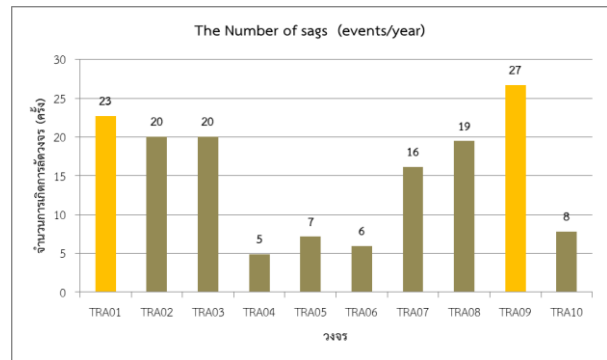
พื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากแรงดันตกชั่วขณะจะแตกต่างกันไปตามการเกิดการลัดวงจร เช่นเมื่อเกิดการลัดวงจรแบบ Single Line to Ground สามารถระบุพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบ (AOV) โดยทำการปรับเปลี่ยนระยะทางของการเกิดการลัดวงจร เพื่อหาตำแหน่งของแรงดันที่มีค่า 0.7 pu ซึ่งแสดงในพื้นที่สีแดง ระยะทางสูงสุดอยู่ที่ 4.06 กิโลเมตรในวงจรที่ 5 และเมื่อเกิดการลัดวงจรแบบ 3Phase faultขอบเขตพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบ (AOV) อยู่ในพื้นที่สีน้ำเงินระยะทางสูงสุดอยู่ที่ 26.08 กิโลเมตรในวงจรที่ 3 เมื่อเกิดการลัดวงจรในพื้นที่ AOV ดังกล่าว ส่งผลทำให้เครื่องจักรหยุดการทำงาน กระบวนการผลิตของลูกค้าหยุดชะงัก เกิดความมูลค่าความเสียหาย และเกิดข้อร้องเรียนในด้านคุณภาพไฟฟ้าตามมา แสดงดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 แสดงพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากแรงดันตกชั่วขณะ(AOV) ในระบบจำหน่ายของสถานีไฟฟ้าตรัง ในแต่ละวงจร

## 5.2 การประเมินจำนวนเหตุการณ์การเกิดแรงดันตกชั่วขณะ (Number of sags : NOS) ทางด้านฝั่งผู้ใช้ไฟฟ้าในสถานีไฟฟ้าตรัง

จากข้อมูลเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้องของ กฟต.2 พบค่าสถิติการเกิดการลัดวงจรในสายป้อนของสถานีไฟฟ้าตรังทำให้เกิดเหตุการณ์แรงดันตกชั่วขณะที่เกิดจากการลัดวงจรประเภทต่างๆ ในระบบจำหน่าย ส่งผลกระทบต่อผู้ใช้ไฟฟ้า ทำให้เครื่องจักร กระบวนการผลิตหยุดชะงัก จากรูปที่ 3 แสดงสถิติการลัดวงจรของสถานีไฟฟ้าตรัง สามารถคำนวณได้ตามสมการที่ (1) และนำมาคำนวณจำนวนเหตุการณ์การเกิดแรงดันตกชั่วขณะได้จากสมการที่ (2) และแสดงจำนวนเหตุการณ์แรงดันตกชั่วขณะที่เกิดจากการลัดวงจรของสถานีไฟฟ้าตรังในเดือนกรกฎาคม 2563 ถึงเดือนกรกฎาคม 2564 ได้ดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 จำนวนเหตุการณ์ที่เกิดแรงดันตกชั่วขณะภายในระบบจำหน่ายของสถานีไฟฟ้าตรัง ส่งผลกระทบต่อผู้ใช้ไฟฟ้า

จากรูปที่ 5 และ 6 สามารถสรุปได้ว่า TRA Incoming 1 พบสถิติการลัดวงจร ในวงจรที่ 1 จำนวน 423 ครั้ง ส่งผลกระทบต่อผู้ใช้ไฟฟ้าจำนวน 23 ครั้ง และ TRA Incoming 2 พบสถิติการลัดวงจร ในวงจรที่ 9 จำนวน 49 ครั้ง ส่งผลกระทบต่อผู้ใช้ไฟฟ้าจำนวน 27 ครั้ง

หากทำการวางแผนการบำรุงรักษาระบบจำหน่ายของสถานีไฟฟ้าตรัง TRA Incoming 1 ในวงจรที่ 1 ภายในระยะทาง 25.11 กิโลเมตร สามารถลดโอกาสในการเกิดเหตุการณ์แรงดันตกชั่วขณะได้ 30% และ TRA Incoming 2 ในวงจรที่ 9 ภายในระยะทาง 12.90 กิโลเมตร สามารถลดโอกาสในการเกิดเหตุการณ์แรงดันตกชั่วขณะได้ 100% เนื่องจากการตรวจสอบตลอดความยาวของวงจรที่ 9 หลังจากนั้นควรตรวจสอบและบำรุงรักษาวงจรที่ TRA02, TRA03, TRA08, TRA07, TRA10, TRA05, TRA06 และ TRA04 ตามลำดับ ด้วยระยะทางจากตารางที่ 2

## 5.3 การประเมินผลทางด้านเศรษฐศาสตร์

การตรวจสอบระบบจำหน่ายของสถานีไฟฟ้าหรือเรียกว่า Patrolling ใน 1 ชุดงานจะมีพนักงานช่างจำนวน 3 คนภายใน 1 วัน สามารถทำการตรวจสอบระบบจำหน่ายได้ระยะทาง 25 กิโลเมตร

จำนวน	พนักงาน	เงินเดือน	ค่าแรง/ชม.	ชม	ค่าแรง
1	พชง.	30,000.00	214.29	7	1,500.00
2	พชง.	30,000.00	214.29	7	1,500.00
3	พชง.	30,000.00	214.29	7	1,500.00
รวมเป็นเงินทั้งสิ้น					4,500.00

ตารางที่ 3 แสดงรายจ่ายในการทำงานตรวจสอบระบบจำหน่าย

		เวลาที่ใช้ ตรวจสอบ (วัน)	คิดเป็นเงิน (บาท)	คิดเป็นเงิน/ปี (บาท)
วงจร กิโลเมตร ทั้งหมด	1087	43	195,660.00	2,347,920.00
วงจร กิโลเมตร AOV 3P	240	10	43,200.00	518,400.00
สามารถลดค่าใช้จ่ายได้/ปี (2,347,920-518,400)			<b>1,829,520.00</b>	

ตารางที่ 4 แสดงการคำนวณค่าใช้จ่ายในการตรวจสอบระบบไฟฟ้าของ  
สถานีตรังทุกวงจร เปรียบเทียบกับการตรวจสอบเฉพาะพื้นที่ AOV

จากตารางที่ 4 พบว่าหากทำการตรวจสอบระบบ  
ไฟฟ้าภายในพื้นที่ AOV จากการคำนวณจำนวนการเกิด  
เหตุการณ์แรงดันตกชั่วขณะ (NOS) สามารถประหยัด  
ค่าใช้จ่ายได้ 1.8 ล้านบาท/ปี และช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของ  
การทำงานให้แก่พนักงานได้

## 6. สรุปผล

หากต้องการวางแผนการตรวจสอบระบบจำหน่าย  
ของสถานีไฟฟ้า และเพิ่มประสิทธิภาพในการปฏิบัติงาน ควร  
พิจารณาจาก จำนวนการเกิดเหตุการณ์แรงดันตกชั่วขณะ  
(NOS) โดยพิจารณาจากสถิติการเกิดการลัดวงจรในสถานี  
ไฟฟ้า (LFP) และการระบุพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากแรงดัน  
ตกชั่วขณะ (AOV) ดังเช่น สถานีไฟฟ้าตรัง ต้องทำการ  
ตรวจสอบและปรับปรุงระบบจำหน่าย 33 kV TRA  
Incoming1 วงจรที่ TRA01 และ TRA Incoming 2 วงจรที่  
TRA09 เป็นลำดับแรก ซึ่งมีค่า NOS สูงสุดของแต่ละ  
Incoming และสามารถลดค่าใช้จ่ายในการปฏิบัติงานของ  
พนักงานเป็นจำนวนเงิน 1.8 ล้านบาท/ปี, สามารถลดจำนวน  
เหตุการณ์แรงดันตกชั่วขณะในระบบจำหน่ายของ PEA. ได้  
ส่งผลทำให้สร้างความสัมพันธ์ที่ดีระหว่างผู้ใช้ไฟฟ้ากับ PEA.

## เอกสารอ้างอิง

- [1] T. Thasananutariya and S. Chatratana ,  
"Stochastic prediction of voltage sags in an industrial  
estate" , Fourtieth IAS Annual Meeting. Conference  
Record of the 2005 Industry Applications  
Conference, 2005., 2005, pp. 1489-1496 Vol. 2
- [2] Roger C. Dugan , Mark F. McGranaghan , Surya  
Santoso & H. Wayne Beaty. “ Electrical Power  
Systems Quality ” , 2 nd Edition , pp.48-49

[3] ณัฐ สงค ร าม. (2563). “The Study of Medium  
Voltage Source Change Effect to Voltage Sag in Low  
Voltage Customer in Distribution System” [Weblog].  
ค้นจาก <https://powerquality.blog/>

[4] วิโรจน์ ธนโชติชัยกุล. (2553). “คุณภาพไฟฟ้าและการ  
ประหยัดพลังงาน,” ใน คู่มือคุณภาพไฟฟ้า ชุดที่ 2. กรุงเทพฯ,  
ประเทศไทย: เอ็มแอนด์อี, pp. 6-11.  
, CA: Academic, 1977, pp. 47-160.