

การพัฒนาแอปพลิเคชันสำหรับระบุตำแหน่งการเกิดความผิดปกติ ในระบบจำหน่ายแรงสูง

Mobile Application Development for Locating Identification of High Voltage Distribution Line Fault

Received : October 20, 2023

Revised : November 22, 2023

Accepted : November 29, 2023

ชมพู่ ทรัพย์ปทุมสิน, วศ.ด. (Chompoo Suppatoomsin, Ph.D.)^{1*}

ศุภกฤษ ธนเอกพงษ์, วศ.บ. (Suphakit Thanaekkapong, B.Eng)²

สุรีพร มีหอม, วศ.ด. (Sureeporn Meehom, Ph.D.)³

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์: งานวิจัยนี้นำเสนอการพัฒนาแอปพลิเคชันบนอุปกรณ์เคลื่อนที่สำหรับระบุตำแหน่งการเกิดฟอลต์ในสายส่งไฟฟ้าแรงสูง

วิธีการวิจัย: ทำการพัฒนาแอปพลิเคชันเพื่อระบุตำแหน่งฟอลต์ในสายส่งแรงสูง 22 kV กรณีศึกษา สถานีไฟฟ้าดำนขุนทด จังหวัดนครราชสีมา ตั้งแต่ช่วงหมู่บ้านพันชนะ ต.พันชนะ อ.ดำนขุนทด จ.นครราชสีมา จนถึงหมู่บ้านห้วยยายจิว ต.ห้วยยายจิว อ.เทพสถิต จ.ชัยภูมิ ประมาณ 37 กิโลเมตร โดยระบบที่พัฒนาได้ทำการหาค่าตำแหน่งของการเกิดการลัดวงจรจากการคำนวณหาค่าอิมพีแดนซ์ที่ได้จากค่ากระแสและแรงดันขณะที่เกิดการลัดวงจรและนำข้อมูลที่ได้นี้คำนวณไว้ในฐานข้อมูลของแอปพลิเคชันที่พัฒนาขึ้น โดยเมื่อเกิดการลัดวงจร นำข้อมูลที่ได้จากอุปกรณ์ recloser ซึ่งระบุประเภทของการเกิดการลัดวงจรและกระแสลัดวงจรที่เกิดขึ้นป้อนลงในแอปพลิเคชัน แล้วแอปพลิเคชันจะทำการตรวจสอบข้อมูล เปรียบเทียบฐานข้อมูล แล้วแสดงผลเป็นพิกัดจุดละติจูด และลองติจูด เพื่อให้เจ้าหน้าที่ได้ไปตรวจสอบที่ตำแหน่งที่แสดงผลได้หาตำแหน่งกระแสลัดวงจรผ่านแอปพลิเคชันในอุปกรณ์เคลื่อนที่

ผลการวิจัย: ผลการทดสอบระบบพบว่า แอปพลิเคชันที่พัฒนาขึ้นนี้สามารถนำมาใช้งานได้จริง มีความผิดพลาดเฉลี่ยรวมประมาณร้อยละ 2.19

คำสำคัญ: กระแสลัดวงจร, สายส่งไฟฟ้าแรงสูง, แอปพลิเคชันสำหรับระบุตำแหน่งการเกิดความผิดปกติ

¹ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยวงษ์ชวลิตกุล

(Assistant Professor, Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Vongchavalitkul University)

²วิศวกรไฟฟ้า การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค จังหวัดนครราชสีมา

(Electrical Engineer, Provincial Electricity Authority, Nakhon Ratchasima Province)

³อาจารย์ประจำสาขาวิชาการจัดการงานวิศวกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยวงษ์ชวลิตกุล

(Lecturer, Department of Engineering Management, Faculty of Engineering, Vongchavalitkul University)

*ผู้เขียนหลัก (Corresponding author)

E-mail: chompoo_sup@vu.ac.th

Abstract

Objective: This research proposed the development of a mobile application to locate faults in 22 kV high voltage transmission lines.

Methods: A case study at Dan Khun Thot Substation, Nakhon Ratchasima province, along 37 kilometers distance from Phanchana Village, Dan Khun Thot District, Nakhon Ratchasima province to Huay Yai Jiw Village, Thap Sathit District, Chaiyaphum province was used for the development. This system developed to locate faults by calculated impedance from current and voltage at the time of the short circuit, then collected this impedance to database of application. While the short circuit occurs, PEA officer entered recording data from recloser, which specify fault types and fault current to application. The application checked and compared data to database, then displayed results as latitude and longitude coordinates for PEA officer.

Results: The testing results have shown that the developed application is practical, with an average overall error rate of approximately 2.19 percent.

Keywords: Circuit Faults, High Voltage Transmission Lines, Fault Locating Application

1. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ประเทศไทยในปัจจุบันได้ใช้สายส่งไฟฟ้าแรงสูงในการส่งจ่ายไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายไปยังผู้ใช้ไฟฟ้า ตั้งแต่ผู้ใช้ไฟฟ้ารายย่อยทั่วไป จนถึงกลุ่มอุตสาหกรรมต่าง ๆ และจากการใช้ไฟฟ้าที่เพิ่มมากขึ้นในระยะหลายสิบปีที่ผ่านมา ทำให้จำนวนของสายส่งไฟฟ้าแรงสูงในประเทศไทยมีจำนวนสายส่งและระยะความยาวของสายส่งเพิ่มขึ้นมาก ปัญหาที่มักเกิดขึ้นกับสายส่งไฟฟ้าเหล่านี้คือ การเกิดฟอลต์ (fault) หรือ ความผิดปกติในสายส่งเนื่องจากหลายสาเหตุเช่น พายุสายส่ง การลัดวงจรของสายส่ง เป็นต้น ปัญหาที่เกิดขึ้นนี้ทำให้ผู้ใช้ไฟฟ้าได้รับผลกระทบด้านต่าง ๆ ทั้งทางอุตสาหกรรม เครื่องจักรและอุปกรณ์ไฟฟ้าในโรงงานเสียหาย หรือชำรุด ทำให้กระบวนการผลิตต่าง ๆ ในภาคอุตสาหกรรมต้องหยุดชะงัก ทางด้าน

ศูนย์ข้อมูลต่าง ๆ ทางด้านภาคธุรกิจไม่สามารถดำเนินกิจกรรมต่าง ๆ ได้ เหล่านี้จึงส่งผลกระทบต่อเศรษฐกิจในภาพรวมของประเทศได้รับความเสียหายได้ ดังนั้นคุณภาพทางไฟฟ้าจึงมีความสำคัญในการพัฒนาเศรษฐกิจของประเทศ การแก้ไขปัญหาความผิดปกติที่เกิดขึ้นที่สายส่งไฟฟ้าแรงสูงได้อย่างรวดเร็วจึงมีความจำเป็นอย่างมากในการลดอัตราความเสียหายที่เกิดขึ้นจากการเกิดฟอลต์ในสายส่งไฟฟ้าแรงสูง

สำหรับงานวิจัยเกี่ยวกับการระบุตำแหน่งการเกิดฟอลต์มีดังนี้ Herraiz et al., (2007) ได้ศึกษาการระบุตำแหน่งการเกิดฟอลต์ที่สายส่งไฟฟ้าด้วยโปรแกรม Matlab นอกจากนี้ Hung et al., (2012) ได้นำเสนอการระบุตำแหน่งฟอลต์ในสายไฟฟ้าแรงสูงด้วยอุปกรณ์วัดสนามแม่เหล็กไฟฟ้าจากค่ากระแสทรานส์เซียน Shekar (2014),

Agbesi and Okai (2016) และ Chisom et al., (2014) ได้นำเสนอการหาตำแหน่งฟอลต์ในสายไฟฟ้าแรงสูงด้วยระบบโกลบอลสำหรับการสื่อสารผ่านโทรศัพท์มือถือ (Global System for Mobile communications: GSM) และไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยการเฝ้าสังเกตความเสียหายที่จะเกิดขึ้นที่หม้อแปลงไฟฟ้าจากการเปรียบเทียบระหว่างแรงดันอินพุตและเอาต์พุตของหม้อแปลง เมื่อพบปัญหาแล้วทำการส่งสัญญาณไปยังเจ้าหน้าที่ผู้ดูแลผ่านข้อความ SMS โบนัส ทรงวิจิตร และฉัตรชัย ศุภพิทักษ์สกุล (2556) ได้นำเสนอการระบุตำแหน่งความผิดปกติในระบบ 115 kV ของสถานีไฟฟ้าลาลูกกาในรูปแบบพิกัดทางภูมิศาสตร์ UTM (Universal Transverse Mercator) โดยเป็นค่าพิกัดที่มีค่า X และค่า Y ใช้เป็นข้อมูลในโปรแกรม GIS (Geographic Information System) ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคสำหรับค้นหาตำแหน่งที่เกิดความผิดปกติโดยใช้สถานที่หลักตามข้อมูลจากโปรแกรม GIS ซึ่งอยู่บริเวณใกล้เคียงกับตำแหน่งผิดปกติ ตามพิกัดของสายไฟทุก 1 กิโลเมตร จากสถานีไฟฟ้าลาลูกกาจนถึงบริษัทบางกอกกล๊าส ซึ่งแม้จะช่วยลดเวลาในการเริ่มค้นหาตำแหน่งผิดปกติ แต่ก็ยังทำให้เสียเวลาในช่วงการค้นหาละเอียดในระยะ 1 กิโลเมตร และ เอกภพ ดวงจันทร์ และฉัตรชัย ศุภพิทักษ์สกุล (2558) ได้นำเสนอการระบุตำแหน่งความผิดปกติในระบบ 22 kV กรณีศึกษา วงจรที่ 3 สถานีไฟฟ้าบางปะอิน 3 ในรูปแบบพิกัดทางภูมิศาสตร์ โดยการใช้โปรแกรม DigSILENT จำลองหาค่ากระแสความผิดปกติตามความยาวของสายไฟบนหัวเสาไฟฟ้าจากหน้าสถานีไฟฟ้าบางปะอิน 3 จนถึงหัวเสาไฟฟ้าร้านอาหารครัวสุนทร รวมระยะทางทั้งสิ้น 10 กิโลเมตร แล้วนำค่ากระแสผิดปกติที่ได้จากการจำลองมาระบุพิกัดบนแผนที่

ทางภูมิศาสตร์ และนำเอาค่าพิกัดภูมิศาสตร์ที่ได้มานั้นประยุกต์ใช้ร่วมกับโปรแกรม GIS เพื่อช่วยค้นหาตำแหน่งที่เกิดความผิดปกติ ซึ่งสามารถหาตำแหน่งการเกิดฟอลต์ได้ละเอียดยิ่งขึ้น

แต่อย่างไรก็ดีสำหรับในพื้นที่ห่างไกล พื้นที่ชนบท ที่มีระยะห่างจากสถานีไฟฟ้าย่อยเกิน 10 กิโลเมตรขึ้นไป การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคได้ติดตั้งอุปกรณ์ recloser เพื่อบันทึกข้อมูลการเกิดกระแสลัดวงจรโดยอุปกรณ์นี้บอกข้อมูลแค่ประเภทของการเกิดการลัดวงจร และค่ากระแสลัดวงจรที่เกิดขึ้นในแต่ละสายส่งเท่านั้น ไม่ได้บอกตำแหน่งที่เกิดการลัดวงจร ซึ่งเมื่อเกิดการลัดวงจรขึ้นเจ้าหน้าที่การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคจะทำการค้นหาจุดที่เกิดการลัดวงจรไปตามสายส่งตั้งแต่จุดที่ติดตั้ง recloser ไปเพื่อค้นหาจุดที่เกิดการลัดวงจร เพื่อแก้ไขปัญหาความผิดปกติที่เกิดขึ้นที่สายส่งไฟฟ้าแรงสูงได้อย่างรวดเร็ว รวมทั้งปัจจุบันความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีได้เข้ามามีบทบาทในทุกด้านมากขึ้น และมีแอปพลิเคชันบนอุปกรณ์เคลื่อนที่ที่ทุกคนสามารถพกติดตัวได้ คณะผู้วิจัยจึงสนใจการพัฒนาแอปพลิเคชันบนอุปกรณ์เคลื่อนที่สำหรับระบุตำแหน่งการเกิดฟอลต์ในสายส่งไฟฟ้าแรงสูงสำหรับให้เจ้าหน้าที่ที่รับผิดชอบในการแก้ไขปัญหาการเกิดฟอลต์ในสายส่งไฟฟ้าแรงสูง ได้ทำงานได้อย่างรวดเร็วและแม่นยำมากขึ้น และเพื่อให้เจ้าหน้าที่สามารถระบุตำแหน่งการเกิดการลัดวงจรได้เร็วขึ้น งานวิจัยนี้จึงได้ทำการพัฒนาแอปพลิเคชันเพื่อระบุตำแหน่งฟอลต์ในสายส่งแรงสูง 22 kV กรณีศึกษา สถานีไฟฟ้าด่านขุนทด จังหวัดนครราชสีมา ตั้งแต่ช่วงหมู่บ้านพันชนะ ต.พันชนะ อ.ด่านขุนทด จ.นครราชสีมา จนถึงหมู่บ้านห้วยยายจิว ต.ห้วยยายจิว อ.เทพสถิต จ.ชัยภูมิ รวมระยะทางประมาณ 37 กิโลเมตร โดยการทำตำแหน่งกระแส

ลัดวงจรใช้วิธีการบันทึกค่ากระแสและแรงดันไฟฟ้าขณะเกิดการลัดวงจรของรีเลย์กระแสเกิน หรือ recloser ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค อ.ด่านขุนทด จ.นครราชสีมา ตามระยะของสายส่งแรงสูง 22 kV เพื่อหาตำแหน่งการเกิดการลัดวงจร แล้วแสดงผลผ่านแอปพลิเคชันในอุปกรณ์เคลื่อนที่แสดงตำแหน่งที่เกิดการลัดวงจร เพื่อให้เจ้าหน้าที่ที่รับผิดชอบในการดูแลเสถียรภาพของระบบไฟฟ้าในสายส่งแรงสูง 22 kV ได้เข้าไปดำเนินการแก้ไขฟอลต์ที่เกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็วและแม่นยำ

2. วัตถุประสงค์การวิจัย

2.1 เพื่อศึกษาการระบุตำแหน่งฟอลต์ในสายส่งไฟฟ้าแรงสูง

2.2 เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของแอปพลิเคชันระบุตำแหน่งการเกิดฟอลต์ในสายส่งไฟฟ้าแรงสูง

2.3 เพื่อพัฒนาแอปพลิเคชันระบุตำแหน่งการเกิดฟอลต์ในสายส่งไฟฟ้าแรงสูง

3. ขอบเขตของการวิจัย

3.1 สร้างแอปพลิเคชันระบุตำแหน่งการเกิดฟอลต์ในสายส่งไฟฟ้าแรงสูง

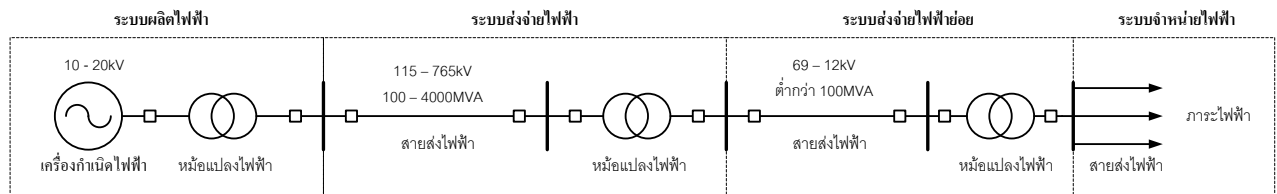
3.2 แอปพลิเคชันที่สร้างขึ้นใช้ในการระบุตำแหน่งฟอลต์ในสายส่งแรงสูง 22 kV กรณีศึกษาสถานีไฟฟ้าด่านขุนทด จังหวัดนครราชสีมา ตั้งแต่ช่วงหมู่บ้านพันชนะ ต.พันชนะ อ.ด่านขุนทด จ.นครราชสีมา จนถึงหมู่บ้านห้วยยายจิ๋ว ต.ห้วยยายจิ๋ว อ.เทพสถิต จ.ชัยภูมิ รวมระยะทางประมาณ 37 กิโลเมตร

3.3 แอปพลิเคชันที่สร้างขึ้นใช้การหาตำแหน่งกระแสลัดวงจรจากการบันทึกค่ากระแสและแรงดันไฟฟ้าขณะเกิดการลัดวงจรของรีเลย์กระแสเกิน ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค อ.ด่านขุนทด จ.นครราชสีมา ตามระยะของสายส่งแรงสูง 22 kV

3.4 ข้อมูลที่ใช้ในการทดสอบระบบเป็นข้อมูลจากการเกิดฟอลต์ในสายส่งแรงสูงที่เกิดขึ้นจริงตามระยะของสายส่งแรงสูง 22 kV ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค อ.ด่านขุนทด จ.นครราชสีมา รวมระยะทางประมาณ 37 กิโลเมตร

4. แนวคิด ทฤษฎี และสมมติฐานงานวิจัย

ระบบไฟฟ้ากำลัง (ประสิทธิ์ พิทยพัฒน์, 2545) คือระบบเครือข่ายของการเชื่อมต่ออุปกรณ์ต่าง ๆ ซึ่งถูกออกแบบมาเพื่อเปลี่ยนพลังงานต่อเนื่องรูปแบบอื่นที่ไม่ใช่รูปแบบของพลังงานไฟฟ้า ให้เป็นรูปแบบของพลังงานไฟฟ้า แล้วทำการส่งพลังงานไฟฟ้าไปยังพื้นที่ใช้งาน และเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าให้เหมาะสมกับการใช้งาน ส่วนประกอบของระบบไฟฟ้ากำลังสามารถเขียนแสดงได้ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ส่วนประกอบของระบบไฟฟ้ากำลัง

ระบบไฟฟ้ากำลังที่ดีต้องมีความคงตัวของขนาดและความถี่ของแรงดันไฟฟ้า และมีความคงรูปคลื่นสัญญาณให้คล้ายรูปคลื่นไซน์มากที่สุด โดยเกณฑ์ที่ใช้วัดความเสถียรภาพของระบบไฟฟ้าคือ ตัวบ่งชี้ประสิทธิภาพ (performance indices) ดังนี้

1) การคุมค่าแรงดัน (voltage regulation: VR) เป็นค่าความคลาดเคลื่อนของขนาดแรงดันไฟฟ้าในขณะที่ภาระไฟฟ้า (load) มีค่าสูงที่สุด เป็นค่าร้อยละ ค่า VR มาตรฐานของระบบไฟฟ้ากำลังมีค่าเท่ากับ 5%

2) การคุมค่าความถี่ (frequency regulation) เป็นค่าร้อยละของความถี่ที่เปลี่ยนแปลงไปจากค่าความถี่ปกติ (50Hz, 60Hz)

3) ปริมาณรวมฮาร์โมนิก (harmonics content) เป็นค่าเปรียบเทียบกับฮาร์โมนิกส์อื่น ๆ เทียบกับฮาร์โมนิกส์ที่ 1 ของรูปคลื่นสัญญาณไฟฟ้า

ความผิดปกติหรือฟอลต์ของระบบไฟฟ้ากำลัง (fault) คือความผิดปกติที่เกิดขึ้นในระบบไฟฟ้ากำลัง ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้ระบบไฟฟ้ากำลังไม่มีเสถียรภาพ และทำให้เกิดความเสียหายกับระบบ ซึ่งชนิดของฟอลต์ของระบบไฟฟ้าแบ่งได้ดังต่อไปนี้

1) การลัดวงจร (short circuit) ระหว่างเฟสต่อเฟส หรือเฟสกับดิน มีสาเหตุเนื่องมาจากการเสื่อมของฉนวนไฟฟ้า อุปกรณ์พังระหว่างใช้งานหรืออุบัติเหตุ และเกิดจากปรากฏการณ์ธรรมชาติ เช่น พายุ

2) การเกิดภาวะแรงดันสูง (over voltage) มีสาเหตุเนื่องมาจากอุปกรณ์ควบคุมแรงดัน ไฟฟ้าผิดปกติ ฟิวส์ หรือสวิตชิงเลิร์จ (switching surge)

3) การเกิดความถี่ต่ำ (under frequency) มีสาเหตุมาจากการผลิตกำลังไฟฟ้าที่ได้ไม่เพียงพอ กับโหลด

4) การเกิดการผิดจังหวะ (out of step) เนื่องมาจากระบบสายส่งไม่แข็งแรงพอ หรือเกิดการลัดวงจรที่ไม่สามารถถูกกำจัดออกไปอย่างทันทั่วทั้ง ทำให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าในจุดต่างๆ ไม่สามารถทำงานประสานกันได้

5) การเกิดโหลดเกิน (over load) มีสาเหตุมาจากการใช้งานอุปกรณ์ไฟฟ้าเกินกำลัง

6) การสูญเสียซิงโครนิซึม (loss of synchronism)

ฟอลต์ที่เกิดขึ้นมากที่สุดและสร้างความเสียหายมาที่สุดในระบบไฟฟ้ากำลัง คือ การลัดวงจร ซึ่งทำให้เกิดกระแสลัดวงจรที่สูงมากตามลักษณะการลัดวงจร โดยลักษณะการลัดวงจร มีดังนี้ การลัดวงจรแบบสามเฟส (3 phase fault: 3PH) การลัดวงจรแบบสองเฟส (line to line fault: 2L) การลัดวงจรแบบสองเฟสลงกราวด์ (double line to ground fault: 2LG) และการลัดวงจรหนึ่งเฟสลงกราวด์ (line to ground fault: SLG) ในระบบแรงดันที่ต่ำกว่า 115 kV การเกิดการลัดวงจรแบบสามเฟส มีโอกาสเกิดขึ้นได้น้อย สาเหตุอาจมาจากฟ้าผ่า เสาล้ม

ไฟไหม้ได้สายส่ง หรือการที่เจ้าหน้าที่ปฏิบัติงาน ลืมปลดสายกราวด์ออกหลังการปฏิบัติงานเสร็จ การลัดวงจรแบบสองเฟสเกิดขึ้นได้น้อยมาก ซึ่งอาจเกิดจากไฟไหม้ได้สายส่ง เป็นต้น ฟอลต์ส่วนใหญ่เป็นชนิดหนึ่งเฟสลงกราวด์ ซึ่งมีสาเหตุมาจากการเกิดฟ้าผ่า หรืออุปกรณ์เกิดการเสียหายขณะใช้งาน และกระแสลัดวงจรของฟอลต์ชนิดหนึ่งเฟสอาจมีกระแสที่สูงกว่าฟอลต์ชนิดสามเฟสก็ได้ ขึ้นอยู่กับอุปกรณ์ภายในระบบไฟฟ้า เช่นถ้าเกิดการลัดวงจรเกิดขึ้นที่ตำแหน่งที่มีหม้อแปลงที่มีขดลวดต่อแบบเดลต้าอยู่หลายตัว

สำหรับงานวิจัยนี้ คณะผู้วิจัยทำการพัฒนาแอปพลิเคชันบนอุปกรณ์เคลื่อนที่เพื่อระบุตำแหน่งฟอลต์ในสายส่งแรงสูง 22 kV กรณีศึกษาสถานีไฟฟ้าด้านขุนทด จังหวัดนครราชสีมา ตั้งแต่ช่วงหมู่บ้านพันชนะ ต.พันชนะ อ.ด้านขุนทด จ.นครราชสีมา จนถึงหมู่บ้านห้วยยายจิว ต.ห้วยยายจิว อ.เทพสถิต จ.ชัยภูมิ รวมระยะทางประมาณ 37 กิโลเมตร โดยการหาตำแหน่งกระแสลัดวงจรใช้วิธีการบันทึกค่ากระแสและแรงดันไฟฟ้าขณะเกิดการ

ลัดวงจรของรีเลย์กระแสเกิน ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค อ.ด้านขุนทด จ.นครราชสีมา ตามระยะของสายส่งแรงสูง 22 kV เพื่อหาตำแหน่งการเกิด การลัดวงจร แล้วแสดงผลผ่านแอปพลิเคชันในอุปกรณ์เคลื่อนที่แสดงตำแหน่งที่เกิดการลัดวงจร

5. การออกแบบและพัฒนาแอปพลิเคชัน

5.1 การคำนวณหาค่าอิมพีแดนซ์ของสายส่ง

การคำนวณเพื่อหาระยะทางบอกตำแหน่งจุดลัดวงจรในสายส่งขนาดแรงดัน 22kV พิจารณาจากค่าอิมพีแดนซ์ของสายส่งเทียบกับระยะทางกิโลเมตร ซึ่งหาได้ดังสมการที่ 1

$$Z = R + jX \quad (1)$$

โดยค่าพารามิเตอร์ Resistance และ Reactance ของสายส่งหาได้จาก datasheet ของสายเคเบิลอากาศ สำหรับสายจำหน่าย 22kV, 33kV 1 วงจร โดยสายเคเบิลอากาศที่ใช้มีขนาด 185 ตารางมิลลิเมตร ค่าพารามิเตอร์ของสายส่งแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ค่าพารามิเตอร์ของสายส่ง

Sequence พารามิเตอร์	Zero Sequence (ohm/km)	Positive Sequence (ohm/km)	Negative Sequence (ohm/km)
Resistance (R)	0.459960	0.21140	0.21140
Reactance (X)	0.17558	0.224020	0.224020
Impedance (Z)	0.49 $\angle 20.89^\circ$	0.31 $\angle 46.66^\circ$	0.31 $\angle 46.66^\circ$

คำนวณหาค่าอิมพีแดนซ์ของการลัดวงจรแต่ละประเภทได้ดังสมการที่ 2 – 5 ค่าอิมพีแดนซ์ที่คำนวณได้แสดงดังตารางที่ 2

การลัดวงจรแบบสามเฟส

$$Z_{3PH} = Z_1 \quad (2)$$

การลัดวงจรแบบหนึ่งเฟสลงกราวด์

$$Z_{SLG} = Z_1 + Z_2 + Z_0 \quad (3)$$

การลัดวงจรแบบสองเฟส

$$Z_{2L} = Z_1 + Z_2 \quad (4)$$

การลัดวงจรแบบสองเฟสลงกราวด์

$$Z_{2LG} = Z_1 + \frac{Z_2 \times Z_0}{Z_2 + Z_0} \quad (5)$$

ตารางที่ 2 ค่าอิมพีแดนซ์ของการเกิดการลัดวงจรแต่ละประเภท

ชนิดของการเกิดการลัดวงจร	Impedance (ohm/100 m)
3 Phase Fault (3PH)	0.031
Single line to ground fault (SLG)	0.11
Line to line fault (2L)	0.06
Double line to ground fault (2LG)	0.05

คำนวณหาค่ากระแสการลัดวงจรแต่ละประเภทเทียบกับระยะทางได้ดังสมการที่ 6 และเก็บเป็นฐานข้อมูลโดยมี ขนาดกระแส ประเภทของ

ฟอลต์ และพิกัดทุกระยะ 100 เมตรเพื่อลดค่าความคลาดเคลื่อนของพิกัดที่เกิดจุดลัดวงจร เทียบกับพิกัดเส้นละติจูด และลองจิจูด เก็บไว้ในฐานข้อมูลดังตารางที่ 3

$$I_f = \frac{V_f}{\sqrt{3} \times Z_f} \quad (6)$$

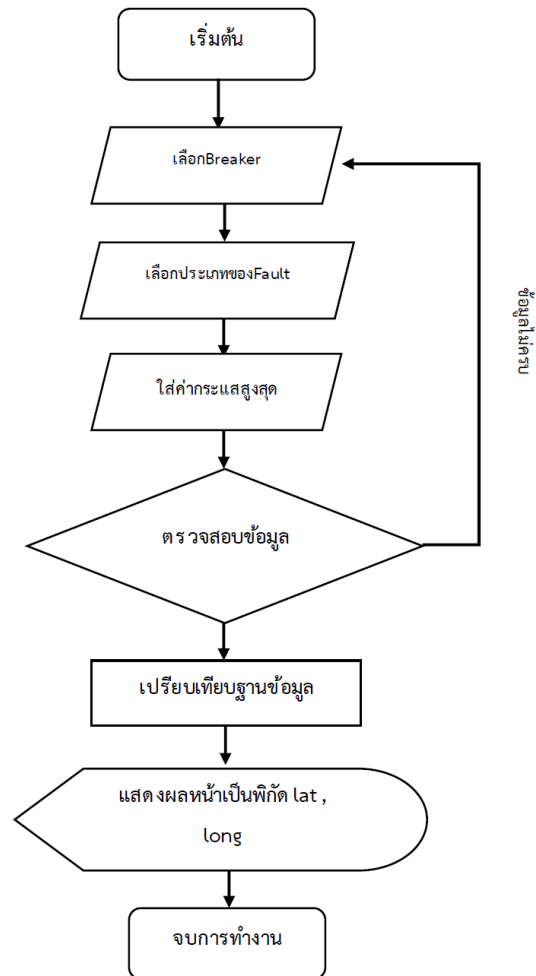
ตารางที่ 3 การเปรียบเทียบค่ากระแสลัดวงจรกับระยะทาง

กระแสลัดวงจร (A)					ระยะทาง	
3PH	2LG	2L	SLG	วงจร 0.1 กม.	ละติจูด	ลองจิจูด
412338	255317	206169	114621	1	15.2340500000000	101.731046000000
206169	127659	103084	57310	2	15.2349510020149	101.731175200313
137446	85106	68723	38207	3	15.2367078582106	101.731444964372
103084	63829	51542	28655	4	15.2373526716194	101.730815217259
82468	51063	41234	22924	5	15.2379595789006	101.73012942609
68723	42553	34361	19103	6	15.2387132189317	101.729624396262
58905	36474	29453	16374	7	15.2394792871447	101.729127701477
51542	31915	25771	14328	8	15.2403161465465	101.72860979050
45815	28369	22908	12736	9	15.2410806344006	101.728282442244
41234	25532	20617	11462	10	15.2419322277407	101.728008687036
37485	23211	18743	10420	11	15.2427530088324	101.727630448251
34361	21276	17181	9552	12	15.2434928222904	101.727104972911
31718	19640	15859	8817	13	15.2440978345945	101.726434286081
29453	18237	14726	8187	14	15.2443926990343	101.725556725609
27489	17021	13745	7641	15	15.2445757732410	101.724643282882
25771	15957	12886	7164	16	15.2446342450384	101.723720661601
24255	15019	12128	6742	17	15.2445860668465	101.722788533075

5.2 การออกแบบการทำงานของ แอปพลิเคชัน

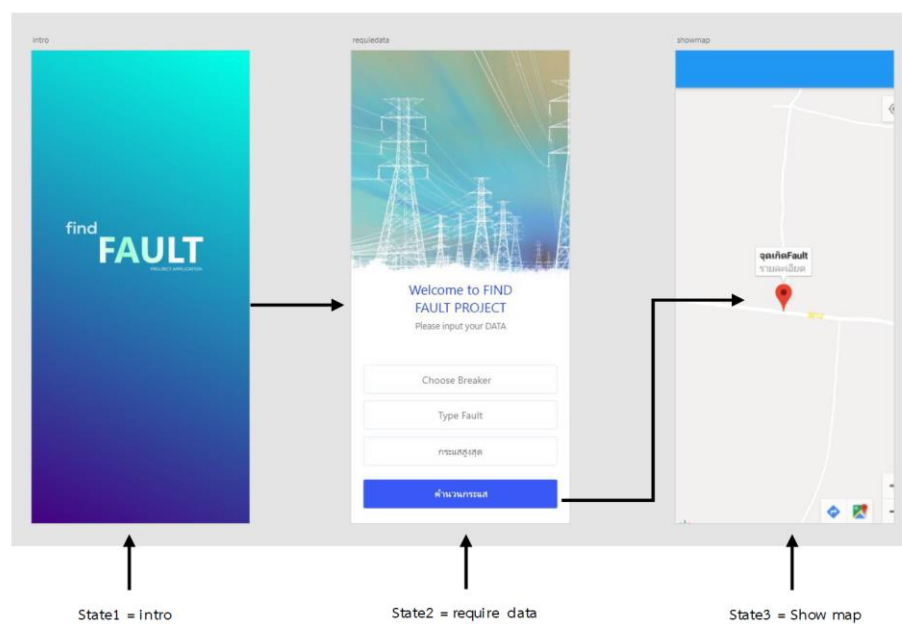
การออกแบบขั้นตอนการทำงานของแอปพลิเคชัน ต้องวางแผนการทำงานโดยเขียนแผนผังการทำงานของระบบ แล้วจึงออกแบบ UI หรือ User Interface โดยใช้โปรแกรม Adobe XD ในการออกแบบหน้าตาของแอปพลิเคชัน แล้วจึงนำไปโค้ดในโปรแกรม VScode มาทำการทำงานอีกครั้ง แผนผังขั้นตอนการทำงานของระบบแสดงดังรูปที่ 2 โดยขั้นตอนการทำงาน เมื่อเจ้าหน้าที่

พบว่าเกิดการลัดวงจร เจ้าหน้าที่จะอ่านข้อมูลที่อุปกรณ์ recloser ซึ่งระบุประเภทของการเกิดการลัดวงจรและกระแสลัดวงจรที่เกิดขึ้นในสายส่งทั้ง 3 สาย แล้วเจ้าหน้าที่ต้องนำข้อมูลที่ได้นี้มาป้อนในแอปพลิเคชัน โดยระบุว่าเกิดการลัดวงจรที่ recloser ไหน เลือกประเภทของการเกิดการลัดวงจร และใส่ค่ากระแสสูงสุดที่เกิดขึ้น แล้วแอปพลิเคชันจะทำการตรวจสอบข้อมูล เปรียบเทียบฐานข้อมูล แล้วแสดงผลเป็นพิกัดจุดละติจูด และลองจิจูด เพื่อให้เจ้าหน้าที่ได้ไปตรวจสอบที่ตำแหน่งที่แสดงผลได้



รูปที่ 2 แผนผังการทำงานของระบบ

การออกแบบ UI โดยใช้โปรแกรม AdobeXD แสดงดังรูปที่ 3

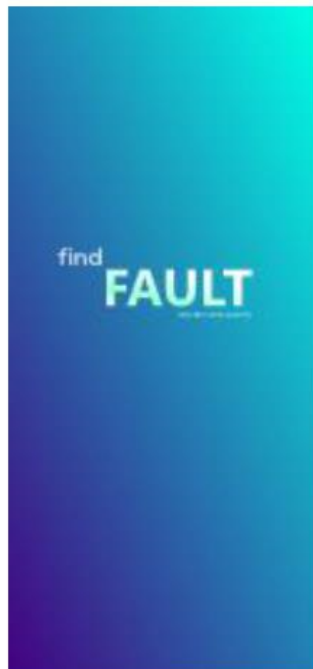


รูปที่ 3 การออกแบบ UI ของแอปพลิเคชัน

รายละเอียดการทำงานของแต่ละสถานะ
มีดังนี้

State 1 : Intro เป็นการทำงานในส่วน
ของการแสดงหน้าจอก่อนการเริ่มทำงานของ

โปรแกรมแสดงดังรูปที่ 4 โดยทำการตั้งเวลาให้
แสดงผลค้างไว้เป็นเวลา 5 วินาที ก่อนที่จะเข้าสู่
Stage ที่ 2



รูปที่ 4 การแสดงการทำงาน State 1

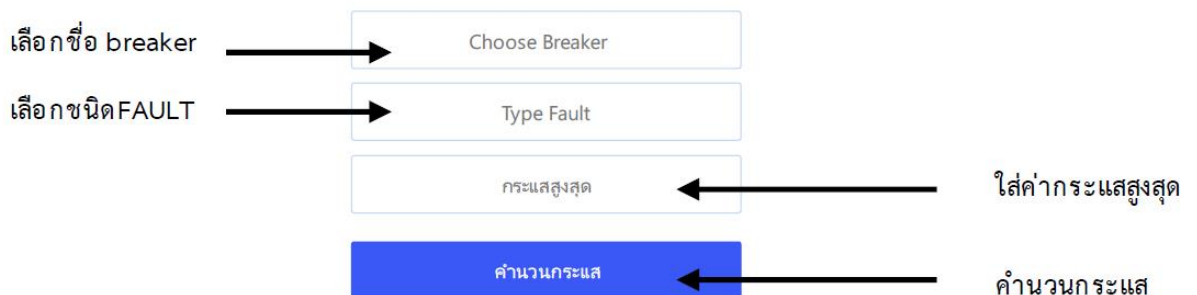
State 2 : Require Data เป็นขั้นตอนที่
ให้ผู้ใช้กรณใส่ข้อมูลในส่วนของ Breaker เป็นการ
เลือกชื่อของอุปกรณ์ป้องกัน Type Fault เป็นการ
ป้อนข้อมูลประเภทของการลัดวงจร และ

ใส่ค่ากระแสสูงสุด โดยต้องใส่ค่ากระแสที่มากที่สุด
ของการอ่านค่าจากอุปกรณ์หน้างาน (recloser)
แสดงดังรูปที่ 5



Welcome to FIND FAULT PROJECT

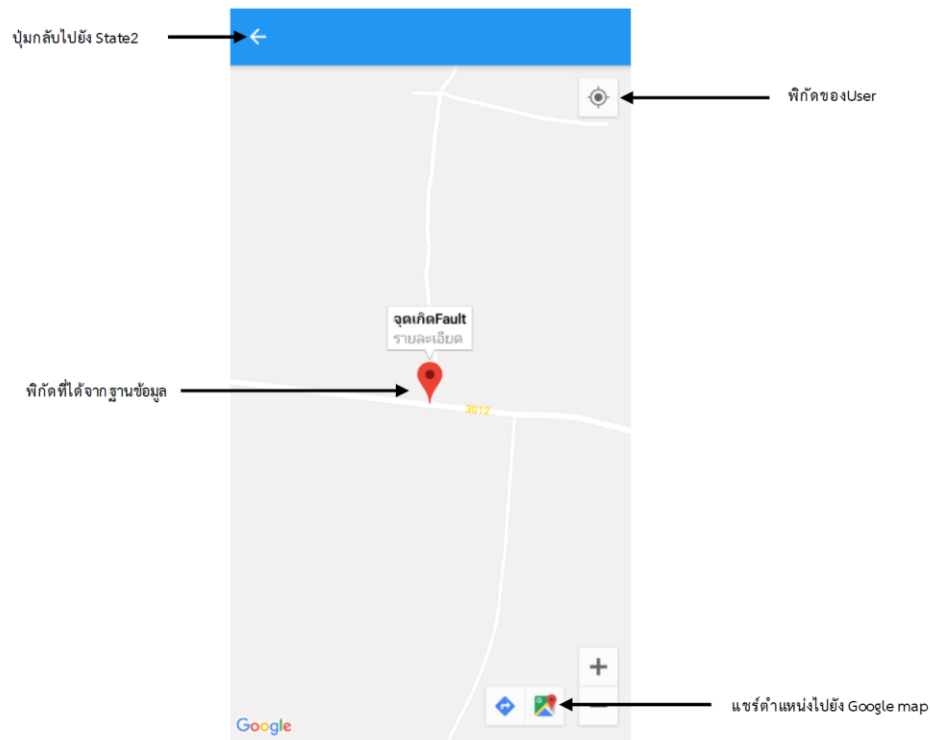
Please input your DATA



รูปที่ 5 การแสดงการทำงาน State 2

State 3 : Show map เป็นขั้นตอนการ
แสดงพิกัดละติจูด และลองติจูด ที่นำมาจาก
ฐานข้อมูลที่เก็บไว้ใน Firestore ซึ่งเป็นค่ากระแสที่
ใกล้เคียงกับค่ากระแสสูงสุดที่ผู้ใช้ใส่ข้อมูล ซึ่งเริ่ม

การนำทางโดยการแชร์พิกัดที่หาได้ไปยังแอป
พลิเคชัน Google map เพื่อให้นำทางไปยังจุดที่
เกิดการลัดวงจร แสดงดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 การแสดงการทำงาน State 3

6. ผลการวิจัยและอภิปรายผล

เมื่อได้ทำการพัฒนาแอปพลิเคชันการค้นหาฟอลต์ (Find Fault Application) ขึ้นมาแล้ว ได้ทำการใช้แอปพลิเคชันในการทดสอบระบบ โดยได้นำข้อมูลเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้องที่เกิดขึ้นจริงในพื้นที่สถานีไฟฟ้าด้านขุนทด จังหวัดนครราชสีมา ตั้งแต่ช่วงหมู่บ้านพันชนะ ต.พันชนะ อ.ด้านขุนทด จ.นครราชสีมา จนถึงหมู่บ้านห้วยยายจิว ต.ห้วยยายจิว อ.เทพสถิต จ.ชัยภูมิ รวมระยะทางประมาณ 37 กิโลเมตร โดยการหาตำแหน่งกระแสลัดวงจรใช้วิธีการบันทึกค่ากระแสและแรงดันไฟฟ้า

ขณะเกิดการลัดวงจรของรีเลย์กระแสเกิน ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค อ.ด้านขุนทด จ.นครราชสีมา ตามระยะของสายส่งแรงสูง 22 kV ดำเนินการตรวจสอบอุปกรณ์หน้างาน (recloser) อ่านค่ากระแสและประเภทของการลัดวงจรจากอุปกรณ์บันทึกค่าประเภท กระแสสูงสุดที่เกิดขึ้น และใช้แอปพลิเคชันคำนวณระยะทางแสดงพิกัดลัดวงจร แล้วทำการบันทึกผลเปรียบเทียบกับระยะทางที่เกิดขึ้นจริง กับระยะทางจากการคำนวณได้ในแอปพลิเคชัน ตารางผลการทดสอบระบบแสดงดังตารางที่ 4 – 7

ตารางที่ 4 ผลการทดสอบระยะทางของการเกิดกระแสลัดวงจรที่เกิดขึ้นจริง เปรียบเทียบกับการคำนวณของแอปพลิเคชันของการเกิดการลัดวงจรแบบ 1 เฟสลงดิน

ที่	ค่ากระแสลัดวงจร (A)					ระยะทาง (กม.)		ความผิดพลาด (เปอร์เซ็นต์)
	I _a	I _b	I _c	I _g	I _{max}	เกิดขึ้นจริง	ค่าจากแอปฯ	
1	323	33	36	322	323	34.5	35.5	2.70
2	37	600	36	549	600	18.3	19.1	2.16
3	37	33	1205	1160	1205	8.4	9.5	2.97
4	2570	32	40	2488	2570	3.7	4.5	2.16
ความผิดพลาดเฉลี่ย								2.50

การหาค่าความผิดพลาด แสดงดังสมการที่ 7

$$\% \text{ Error} = \left| \frac{\text{ค่าที่เกิดขึ้นจริง} - \text{ค่าที่ได้จากแอปฯ}}{\text{ค่าระยะทางทั้งหมด}} \right| \times 100 \quad (7)$$

จากผลการทดสอบแอปพลิเคชันในการหาจุดลัดวงจรประเภทกระแสลัดวงจร 1 เฟสลงดินในระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงสูง เป็นการเก็บค่าจากอุปกรณ์ Recloser รหัสอุปกรณ์ DTA08VR-101 บ้านพันชนะ โดยลำดับที่ 1 ค่ากระแสมากที่สุด 323 A ตำแหน่งที่เกิดขึ้นจริงห่างจากอุปกรณ์ 34.5 กม. และตำแหน่งจากการคำนวณ 35.5 กม. สาเหตุเป็นต้นไม้แตะสายแรงสูง ลำดับที่ 2 มีค่ากระแสมากที่สุด 600 A ตำแหน่งที่เกิดขึ้นจริงห่างจาก

อุปกรณ์ 18.3 กม. และตำแหน่งจากการคำนวณ 19.1 กม. สาเหตุขี้วัวเตะลูกถ้วยแรงสูง ลำดับที่ 3 ค่ากระแสมากที่สุด 1205 A ตำแหน่งที่เกิดขึ้นจริงห่างจากอุปกรณ์ 8.4 กม. และตำแหน่งจากการคำนวณ 9.5 กม. สาเหตุสาย OHGW ขาดแตะสายแรงสูง ลำดับที่ 4 กระแสมากที่สุด 2570 A ตำแหน่งที่เกิดขึ้นจริงห่างจากอุปกรณ์ 3.7 กม. และตำแหน่งจากการคำนวณ 4.5 กม. สาเหตุต้นไม้แตะสายแรงสูง

ตารางที่ 5 ผลการทดสอบระยะทางของการเกิดกระแสลัดวงจรที่เกิดขึ้นจริง เปรียบเทียบกับการคำนวณของแอปพลิเคชันของการเกิดการลัดวงจรแบบ 2 เฟสไม่ลงดิน

ที่	ค่ากระแสลัดวงจร (A)					ระยะทาง (กม.)		ความผิดพลาด (เปอร์เซ็นต์)
	I _a	I _b	I _c	I _g	I _{max}	เกิดขึ้นจริง	ค่าจากแอปฯ	
1	37	549	633	-	633	32.2	32.6	1.08
ความผิดพลาดเฉลี่ย								1.08

จากผลการทดสอบแอปพลิเคชันในการหาจุดลัดวงจรประเภทการลัดวงจรแบบ 2 เฟสไม่ลงดินในระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงสูง โดยเก็บค่าจากอุปกรณ์ Recloser รหัสอุปกรณ์ DTA08VR-101

ลำดับที่ 1 ค่ากระแสมากที่สุด 633 A ตำแหน่งที่เกิดขึ้นจริงห่างจากอุปกรณ์ 32.2 กม. และตำแหน่งจากการคำนวณ 32.6 กม. สาเหตุเป็นลูกถ้วยแขวนชำรุด สายแรงสูงส่วึงแตกกัน

ตารางที่ 6 ผลการทดสอบระยะทางของการเกิดกระแสลัดวงจรที่เกิดขึ้นจริง เปรียบเทียบกับการคำนวณของแอปพลิเคชันของการเกิดการลัดวงจรแบบ 3 เฟส

ที่	ค่ากระแสลัดวงจร (A)					ระยะทาง (กม.)		ความผิดพลาด (เปอร์เซ็นต์)
	I_a	I_b	I_c	I_g	I_{max}	เกิดขึ้นจริง	ค่าจากแอปฯ	
1	1450	1510	1380	-	1510	26.1	27.3	3.24
ความผิดพลาดเฉลี่ย								3.24

จากผลการทดสอบแอปพลิเคชันในการหาจุดลัดวงจรประเภทการลัดวงจรแบบ 3 เฟส ในระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงสูง โดยเก็บค่าจากอุปกรณ์ Recloser รหัสอุปกรณ์ DTA08VR-101 ลำดับที่ 1

ค่ากระแสมากที่สุด 1510 A ตำแหน่งที่เกิดขึ้นจริงห่างจากอุปกรณ์ 26.1 กม. และตำแหน่งจากการคำนวณ 27.3 กม. สาเหตุเป็นเสาแรงสูงล้มจากพายุเข้า

ตารางที่ 7 ผลการทดสอบระยะทางของการเกิดกระแสลัดวงจรที่เกิดขึ้นจริง เปรียบเทียบกับการคำนวณของแอปพลิเคชันของการเกิดการลัดวงจรแบบ 2 เฟสลงดิน

ที่	ค่ากระแสลัดวงจร (A)					ระยะทาง (กม.)		ความผิดพลาด (เปอร์เซ็นต์)
	I_a	I_b	I_c	I_g	I_{max}	เกิดขึ้นจริง	ค่าจากแอปฯ	
1	787	809	36	792	809	31.1	31.6	1.35
2	37	1266	1119	1120	1266	19.5	20.2	1.89
ความผิดพลาดเฉลี่ย								1.62

จากผลการทดสอบแอปพลิเคชันในการหาจุดลัดวงจรประเภทการลัดวงจรแบบ 2 เฟสลงดินในระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงสูง โดยเก็บค่าจากอุปกรณ์ Recloser รหัสอุปกรณ์ DTA08VR-101 ลำดับที่ 1 ค่ากระแสมากที่สุด 809 A ตำแหน่งที่เกิดขึ้นจริงห่างจากอุปกรณ์ 31.1 กม. และตำแหน่ง

จากการคำนวณ 31.6 กม. สาเหตุเป็นต้นไม้หักพาดสายแรงสูง ลำดับที่ 2 มีค่ากระแสมากที่สุด 1266 A ตำแหน่งที่เกิดขึ้นจริงห่างจากอุปกรณ์ 19.5 กม. และตำแหน่งจากการคำนวณ 20.2 กม. สาเหตุเป็นต้นไม้หักพาดสายแรงสูง

7. สรุปและข้อเสนอแนะ

แอปพลิเคชันค้นหาพิกัดใกล้เสี่ยงจุดเกิดการลัดวงจรในระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงสูง ใช้ค่ากระแสและชนิดของการลัดวงจร ที่อ่านได้จากอุปกรณ์ recloser มาคำนวณพิกัดใกล้เสี่ยง โดยการทดสอบแอปพลิเคชัน เป็นการเปรียบเทียบระหว่างระยะทางที่เกิดการลัดวงจรจริง กับระยะทางจากการคำนวณได้ในแอปพลิเคชัน ทั้งนี้ผลการทดสอบแบ่งตามประเภทหรือชนิดของการลัดวงจร โดยประเภทแรกจะเป็นการลัดวงจรแบบหนึ่งเฟสลงกราวด์ มีเหตุการณ์ไฟดับทั้งหมด 4 เหตุการณ์ และมีค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของระยะทางที่เกิดขึ้นมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 2.50%

การลัดวงจรแบบสองเฟส มีเหตุการณ์ไฟดับทั้งหมด 1 เหตุการณ์ และมีค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของระยะทางที่เกิดขึ้นเท่ากับ 1.08% การลัดวงจรแบบนี้มีโอกาสน้อยกว่าเทียบกับฟอลต์ประเภทอื่น

การลัดวงจรแบบสามเฟส มีเหตุการณ์ไฟดับทั้งหมด 1 เหตุการณ์ และมีค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของระยะทางที่เกิดขึ้นเท่ากับ 3.24% การลัดวงจรแบบนี้เป็นการลัดวงจรที่พบน้อยที่สุด เกิดความรุนแรงมากที่สุด โดยสาเหตุที่ทำให้เกิดการลัดวงจร อาจเป็นรถยนต์ชนเสาเสาเข็ม หรือฟ้าผ่าระบบจำหน่ายสายแรงสูง การลัดวงจรแบบสองเฟสลงกราวด์ มีเหตุการณ์ไฟดับทั้งหมด 2 เหตุการณ์ และมีค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของระยะทางที่เกิดขึ้นเฉลี่ยเท่ากับ 1.62% ทั้งนี้ความผิดพลาดเนื่องจากสาเหตุที่ทำให้เกิดการลัดวงจร สภาพแวดล้อม และสภาพอากาศแตกต่างกัน ทำให้ค่าอิมพีแดนซ์ในส่วนนั้น ๆ นอกเหนือจากค่าอิมพีแดนซ์ของสายส่งมีความแตกต่างกันยิ่งขึ้น

ปัญหาและอุปสรรค

1) ฐานข้อมูลมีขนาดใหญ่ ทำให้ใช้เวลาในการจัดเก็บ และอาจทำให้เกิดความผิดพลาดเนื่องจากจำนวนของฐานข้อมูลได้ แนวทางการแก้ปัญหา ควรเขียนโปรแกรมเพิ่มขึ้นมาช่วยในการอัปเดตข้อมูล เพื่อลดเวลาและความผิดพลาดที่เกิดขึ้นได้

2) ค่าอิมพีแดนซ์ภายนอกที่เกิดจากสัตว์ อุปกรณ์ ต้นไม้ หรือสภาพแวดล้อม มีค่าไม่ชัดเจน ทำให้การคำนวณมีความผิดพลาดมาก แนวทางการแก้ปัญหา ควรทำการเก็บข้อมูลที่เกิดขึ้นภายในอนาคตมาคำนวณหาค่าเฉลี่ยของอิมพีแดนซ์ภายนอก

ข้อเสนอแนะในการพัฒนา

1) ควรพัฒนาเพิ่มในส่วนของการส่งข้อมูลไปยังแอปพลิเคชันอื่น ๆ ได้ เช่น Line

2) ควรพัฒนาเพิ่มฐานข้อมูลให้มีมากขึ้น เพื่อให้สามารถใช้งานได้นอกเหนือจากระบบจำหน่ายภายในพื้นที่ได้

3) ควรพัฒนาต่อยอดในการทำระบบในเว็บเซฟเวอร์ เพื่อให้สามารถเก็บข้อมูล และตรวจสอบข้อมูลย้อนหลังได้

8. เอกสารอ้างอิง

1. โบนัส ทรงวิจิตร และฉัตรชัย ศุภพิทักษ์สกุล (2556). การระบุตำแหน่งความผิดปกติพ่วงในระบบ 115 kV ของสถานีไฟฟ้าล้าลูกกาในรูปแบบพิกัดทางภูมิศาสตร์. *EECON* 36, 129-132.
2. ประสิทธิ์ พิทยพัฒน์ (2545). *การป้องกันระบบไฟฟ้ากำลัง*. บริษัทซีเอ็ดบุ๊คเซนเตอร์.
3. เอกภพ ดวงจันทร์ และฉัตรชัย ศุภพิทักษ์สกุล (2558). การระบุตำแหน่งความผิดปกติพ่วงในระบบ 22 kV ในรูปแบบพิกัดทางภูมิศาสตร์. *การประชุมสัมมนาเชิงวิชาการรูปแบบพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทยครั้งที่ 8*, 35-38.
4. Agbesi, I., & Okai, F. A. (2016). Automatic Fault Detection and Location in Power Transmission Lines using GSM Technology. *International Journal of Advance Research in Science and Engineering*, 5(1), 193-207.
5. Chisom, N., Chibuisi, I., Ihekweaba, O., & Clement, I. (2014). Using GSM to Detect Fault in Microcontroller Based Power Transformer. *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology*, 2(8), 271-274.
6. Herraiz, S., Melendez, J., Ribugent, G., Sanchez, J. & Castro, M. (2007). Application for Fault Location in Electrical Power Distribution Systems. *9th International Conference. Electrical Power Quality and Utilisation*. Barcelona.
7. Hung, Q., Zhen, W. and Pong, P. (2012). A Novel Approach for Fault Location of Overhead Transmission Line with Noncontact Magnetic-Field Measurement. *IEEE Transactions on power delivery*, 27(3), 1180 – 1195.
8. Shekar, P. (2014). Transmission Line Fault Detection & Indication through GSM. *International Journal of Recent Advances in Engineering & Technology*, 2(5), 28-30.