

การออกแบบและพัฒนาโปรแกรมคำนวณค่าความเข้มสนามแม่เหล็กของสายส่ง และสายจำหน่ายแรงสูง

Design and Development of Calculation Program for Magnetic Fields Intensity of High Voltage Transmission and Distribution Lines

ประภาพรณ เคลือบวัฒนรัตน์^{1*}

¹ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์ กรุงเทพฯ 10160

บทคัดย่อ

บทความนี้เป็นกรนำเสนอโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นสำหรับการคำนวณค่าความเข้มสนามแม่เหล็กของสายส่งและสายจำหน่ายแรงสูง พัฒนาโดยใช้โปรแกรม Microsoft Visual Basic และจัดทำฐานข้อมูลเพื่อเก็บค่าพิกัดกระแสสูงสุด ค่าความสูงและระยะห่างของสายไฟฟ้าโดยใช้โปรแกรม Microsoft Access โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นมานี้สามารถคำนวณค่าความเข้มสนามแม่เหล็กของสายส่งและสายจำหน่ายแรงสูงตามมาตรฐานที่ใช้งานของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคได้ 2 มาตรฐาน คือ ระบบสายจำหน่ายไฟฟ้าแรงสูง 22 kV วงจรเดี่ยวหนึ่งตัวนำ ระบบสายส่งแรงสูง 115 kV วงจรเดี่ยวหนึ่งตัวนำ ซึ่งสามารถเลือกรูปแบบโครงสร้างของระบบไฟฟ้าที่ต้องการคำนวณได้ พร้อมทั้งสามารถเลือกชนิดและขนาดของสายไฟฟ้าจากรายการที่กำหนดไว้ในฐานข้อมูลเพื่อให้สอดคล้องกับรูปแบบโครงสร้างของระบบไฟฟ้าที่จะทำการคำนวณ และแสดงผลการคำนวณค่าความเข้มสนามแม่เหล็กของสายส่งและสายจำหน่ายแรงสูงในระบบไฟฟ้า ผ่านทางหน้าจอคอมพิวเตอร์ได้ โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นนี้ส่งผลให้การคำนวณค่าความเข้มสนามแม่เหล็กของสายส่งและสายจำหน่ายแรงสูงสามารถทำได้อย่างรวดเร็ว และเป็นประโยชน์สำหรับการนำข้อมูลค่าความเข้มสนามแม่เหล็กที่ได้จากการคำนวณไปใช้ในการวิเคราะห์ผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นต่ออุปกรณ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ต่าง ๆ ได้

Abstract

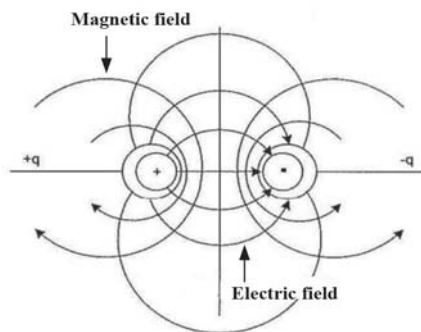
This paper presents a program developed for calculating magnetic field intensity of high voltage transmission line and high voltage distribution lines. This program was developed with Microsoft Visual Basic and Microsoft Access program was used to store the database of the peak ratings current, height and space of transmission lines. The developed program was able to calculate magnetic field intensity of high voltage transmission line and high voltage distribution lines according to 2 standards of Provincial Electricity (PEA): "A 22 kV Single Conductor Circuit High Voltage Distribution System" and "115 kV Single Conductor Circuit High Voltage Transmission System". The program was able to select structure of the electrical system to be calculated, as well as types and specification of Transmission line from the stored database that corresponded with the structure. The calculated output waveforms were displayed on computer monitor. Results from the developed program enable more convenient and faster calculations of magnetic field intensity of high voltage transmission line and high voltage distribution lines, and are useful for analysis of possible impacts on electric and electronic devices.

คำสำคัญ : ความเข้มสนามแม่เหล็ก สายส่ง สายจำหน่าย

Keywords : Magnetic Field Intensity, Transmission Line, Distribution Lines

1. บทนำ

ปัจจุบันความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้ามีปริมาณสูงขึ้นเนื่องจากจำนวนประชากรที่เพิ่มมากขึ้นประกอบกับความเจริญก้าวหน้าทางเทคโนโลยีที่เพิ่มขึ้น โหลดส่วนใหญ่ของผู้ใช้ไฟจึงเป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าแสงสว่าง เครื่องใช้ไฟฟ้า คอมพิวเตอร์และอุปกรณ์สื่อสาร ซึ่งจัดเป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีความไวสูง ในขณะเดียวกันพื้นที่สำหรับการก่อสร้างอาคารและที่อยู่อาศัยก็มีจำนวนจำกัด ทำให้อาคารบ้านเรือนที่อยู่อาศัยในปัจจุบัน มีลักษณะเป็นอาคารสูง อาคารชุดที่อยู่เรียงรายรวมกันเป็นแถว ๆ ดังนั้น การขยายระบบส่งจ่ายไฟฟ้าแรงสูงและระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงสูง จึงทำให้บริเวณสำหรับการก่อสร้างเสาส่งและแนวสายส่งแนวสายจำหน่ายของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ไปยังโหลดของผู้ใช้ไฟอยู่ใกล้กับอาคาร สิ่งปลูกสร้าง และแหล่งชุมชนมากขึ้น ซึ่งจะมีผลทำให้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ อุปกรณ์สื่อสาร หรืออุปกรณ์คอมพิวเตอร์ต่าง ๆ ที่อยู่ในตัวอาคาร มีโอกาสได้รับผลกระทบจากสัญญาณรบกวนที่เกิดจากสนามแม่เหล็กไฟฟ้าจากสายส่งจ่ายไฟฟ้าแรงสูงและสายจำหน่ายไฟฟ้าแรงสูงได้ง่าย เนื่องจากตัวนำในสายส่งจ่ายไฟฟ้าแรงสูงใด ๆ ก็ตามที่มีความต่างศักย์ไฟฟ้าจะทำให้เกิดสนามไฟฟ้า (Electric field) และเมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านตัวนำนั้น จะทำให้เกิดสนามแม่เหล็ก (Magnetic Field) เกิดขึ้นรอบ ๆ ตัวนำ ซึ่งจะมีทิศทางตั้งฉากกับสนามไฟฟ้าเสมอ ดังรูปที่ 1 ลักษณะสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นรอบตัวนำ 2 เส้นที่มีความต่างศักย์และมีกระแสไหลผ่าน



รูปที่ 1 ลักษณะของสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็ก รอบตัวนำ 2 เส้น

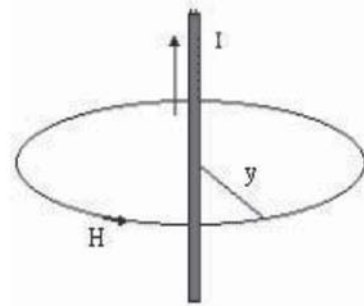
IEEE Std 644-1994 ได้แสดงถึงรายละเอียดของเครื่องวัดค่าความเข้มสนามแม่เหล็กไฟฟ้าจากสายส่งไฟฟ้าแรงสูงสามารถแบ่งออกได้ตามเทคนิคของการทำงานได้เป็น 2 ชนิด คือ ชนิด Free – Body Meter และชนิด Ground-Reference-type Meter ซึ่งหลักการทำงานของเครื่องวัดค่าความเข้มสนามไฟฟ้าจะอาศัยการเคลื่อนที่ของประจุไฟฟ้าที่สะสมอยู่บนตัวเซ็นเซอร์ ซึ่งทำจากโลหะสองส่วนตรงกลางกันด้วยฉนวน ทำให้มีกระแสไฟฟ้าเกิดขึ้นระหว่างโลหะทั้งสอง ในปัจจุบันการวัดค่าความเข้มของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าสามารถใช้ Gauss Meter วัดค่าสนามแม่เหล็กไฟฟ้าออกมาได้ โดยมีหน่วยวัดเป็นเกาส์ ซึ่ง Gauss Meter แต่ละรุ่นจะใช้งานแตกต่างกันตามระดับความเข้มสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่วัดได้ แตกต่างกันในราคาและความแม่นยำ

Govindarajan B. Iyyuni and Stephen A. Sebo (1990) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับสนามแม่เหล็กและพัฒนาโปรแกรมการคำนวณค่าสนามแม่เหล็กของสายส่งไฟฟ้าแรงสูง โดยใช้ IBM PC-XT สามารถคำนวณสนามไฟฟ้า 2 มิติ

และพารามิเตอร์ของสนามแม่เหล็กที่บริเวณสายส่งไฟฟ้าแรงสูงได้

$$dH = \frac{1}{4\pi} \frac{Idl \sin \theta}{r^2} \quad (1)$$

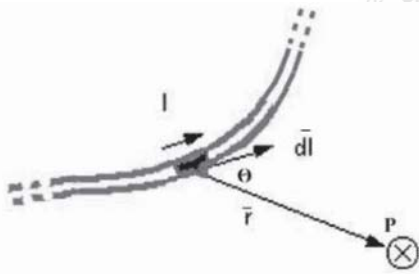
Kaune and Zaffanella (1992) ได้วิเคราะห์สนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นในสายส่งกำลังไฟฟ้าโดยได้เปรียบเทียบระยะทางในตำแหน่งที่สนใจกับช่องว่างของตัวนำเฟสในสาย



รูปที่ 3 ความเข้มสนามแม่เหล็กที่ระยะ y

Jean-Baptiste Biot and Félix Savart ได้อธิบายไว้ว่าสนามแม่เหล็ก ณ จุดใดที่ห่างออกจากแหล่งกำเนิดสนามแม่เหล็กที่มีกระแสไฟฟ้าหรือประจุไฟฟ้าเคลื่อนที่อยู่ โดยระบุได้ทั้งขนาดและทิศทางของสนามแม่เหล็กซึ่งเป็นปริมาณเวกเตอร์แสดงดังรูปที่ 2

จากรูปที่ 3 การคำนวณค่าสนามแม่เหล็กที่เกิดจากสายส่งไฟฟ้าแรงสูงได้พิจารณาจากความเข้มสนามแม่เหล็ก H ซึ่งมีความสัมพันธ์กับค่ากระแสไฟฟ้า I และระยะห่างจากสายไฟฟ้าไปยังจุดที่พิจารณา



รูปที่ 2 สนามแม่เหล็กที่เกิดจากกระแส I ไหลในตัวนำยาว dl

$$H = \frac{I}{2\pi y} \quad (2)$$

จากรูปที่ 2 ถ้าแบ่งเส้นลวดออกเป็นส่วนเล็ก ๆ ขนาด dl โดยที่ dl เป็นปริมาณเวกเตอร์มีทิศเดียวกันกับทิศการไหลของกระแสไฟฟ้า I สนามแม่เหล็กที่เกิดจากกระแสไหลผ่านตัวนำ dl ที่จุด P มีค่าน้อย ๆ เท่ากับ dB ซึ่งมีทิศตั้งฉากกับ dl เสมอ ขนาดของ dH จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับขนาดของกระแส และแปรผกผันกับระยะห่างระหว่างจุด P กับ dl(r) แปรผันโดยตรงกับ sin θ เมื่อ θ คือ มุมระหว่าง dl กับ ทิศของ r เขียนเป็นสมการได้ ดังนี้

เมื่อ H คือ ค่าสนามแม่เหล็กที่เกิดจากสายตัวนำ มีหน่วยเป็น A/m

I คือ กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านในสายตัวนำ มีหน่วยเป็น A

y คือ ระยะห่างจากสายไฟฟ้าตามแนวแกน y

การคำนวณค่าสนามแม่เหล็กที่เกิดจากสายส่งไฟฟ้าแรงสูงหลายเฟส (A,B,...) วางขนานกัน จะอาศัยกฎของ Bio-Savart เพื่อหาความเข้มสนามแม่เหล็ก (H) ณ จุด P (x,y) ใด ๆ บนพื้นดินได้ ดังนี้

$$\bar{H}_A = \frac{\bar{I}_A \times r_A}{2\pi r_A^2} = \frac{I_A}{2\pi r_A} \cdot \bar{\Phi}_A \quad A / m \quad (3)$$

เมื่อ \bar{H}_A คือ ความเข้มสนามแม่เหล็กที่เกิดจากสายไฟความเพส A มีหน่วยเป็น A/m

\bar{I}_A คือ กระแสไฟฟ้าที่ไหลในสายไฟความเพส A

r_A คือ ระยะทางจากสายไฟความเพส A ไปยังจุด P(x,y) มีหน่วยเป็น m

$\bar{\Phi}$ คือ Unit vector ในทิศ r_A

ผลรวมความเข้มสนามแม่เหล็กที่เกิดจากสายไฟความเพส A,B,...คือ

$$\bar{H}_A = \sum_{i=1}^n \frac{I_i}{2\pi r_i} \cdot \bar{\Phi}_i \quad \text{A / m} \quad (4)$$

เมื่อ i คือ สายไฟความเพส A,B,...

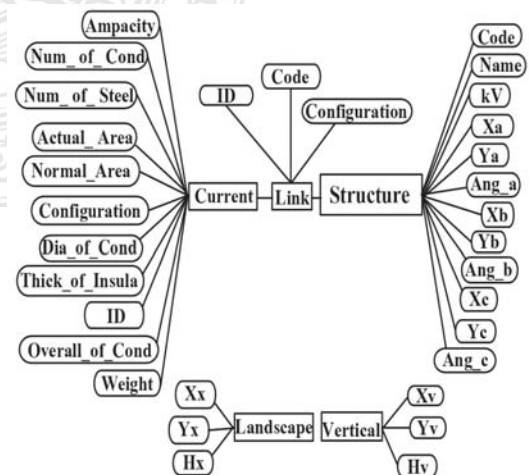
2. วิธีการทดลอง

2.1 การออกแบบโปรแกรม

2.1.1 การออกแบบและจัดสร้างฐานข้อมูล

โปรแกรมคำนวณความเข้มสนามแม่เหล็กของสายส่งไฟฟ้าแรงสูงและสายจำหน่ายไฟฟ้าแรงสูง มีค่าพารามิเตอร์ของโครงสร้างเสาไฟฟ้าอยู่ 2 มาตรฐาน คือ สายส่งไฟฟ้าแรงสูง 115 kV แบบวงจรเดี่ยวหนึ่งตัวนำ สายจำหน่ายไฟฟ้าแรงสูง 22 kV แบบวงจรเดี่ยวหนึ่งตัวนำ จะถูกจัดเก็บในฐานข้อมูลซึ่งได้ทำการออกแบบและจัดสร้างโดยใช้โปรแกรม Microsoft Access โดยแบ่งโครงสร้างฐานข้อมูลออกเป็น 5 ส่วน คือ ส่วนที่ 1 ชื่อ Current เป็นส่วนที่จัดเก็บข้อมูลต่าง ๆ ของสายไฟฟ้า เช่น ขนาดและชนิดของสาย พิกัดกระแสสูงสุด พื้นที่หน้าตัด พื้นที่หน้าตัดใช้งานจริง จำนวนแกนเหล็ก จำนวนสายตัวนำ เส้นผ่านศูนย์กลางของตัวนำความหนาของฉนวน รวมถึงน้ำหนักของ

สายไฟฟ้า เป็นต้น ส่วนที่ 2 ชื่อ Structure เป็นส่วนที่จัดเก็บข้อมูลพิกัดตำแหน่งของสายไฟฟ้าเพส A, เพส B และเพส C ตามมาตรฐานที่ใช้งานของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค เช่น ระดับแรงดัน ระยะของสายไฟแต่ละเพสที่ห่างจากกึ่งกลางเสา ระยะของสายไฟแต่ละเพสที่สูงจากพื้นดิน มุมของกระแสในแต่ละเพส ส่วนที่ 3 ชื่อ Link เป็นส่วนที่จัดเก็บโครงสร้างและขนาดสายไฟฟ้าที่ใช้งาน เช่น ชื่อโครงสร้างระบบ ขนาด และชนิดของสายไฟ ส่วนที่ 4 ชื่อ Landscape เป็นส่วนที่จัดเก็บข้อมูลผลการคำนวณความเข้มสนามแม่เหล็กในแนวระดับ ได้แก่ ระยะพิกัดแนวระดับ (X) ระยะพิกัดแนวตั้ง (Y) และความเข้มสนามแม่เหล็ก โดยข้อมูลในส่วนนี้จะเปลี่ยนแปลงทุกครั้งที่มีการคำนวณและส่วนสุดท้ายส่วนที่ 5 ชื่อ Vertical เป็นส่วนที่จัดเก็บข้อมูลผลการคำนวณความเข้มสนามแม่เหล็กในแนวตั้ง ได้แก่ ระยะพิกัดแนวระดับ (X) ระยะพิกัดแนวตั้ง (Y) และความเข้มสนามแม่เหล็ก โดยข้อมูลในส่วนนี้จะเปลี่ยนแปลงทุกครั้งที่มีการคำนวณเช่นเดียวกับส่วนที่ 4 โดยแต่ละส่วนจะมีรายละเอียดและเขตข้อมูลดังรูปที่ 4



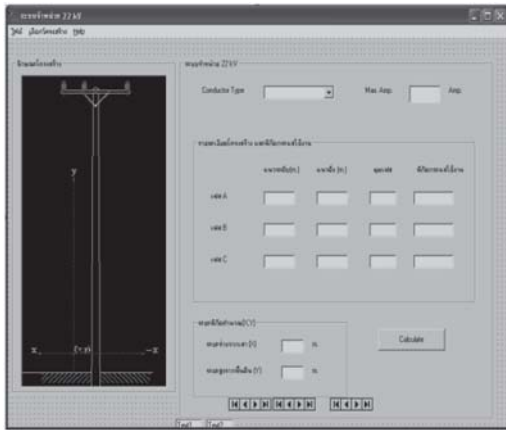
รูปที่ 4 แสดง E-R Diagram

2.1.2 การออกแบบโปรแกรมการประมวลผล

ผล

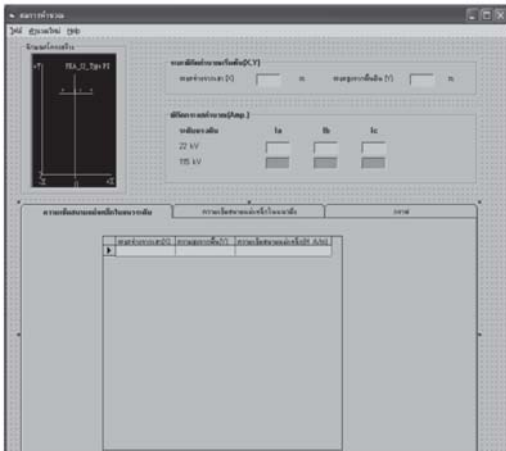
การออกแบบโปรแกรมการประมวลผลดำเนินการสร้างและออกแบบโดยโปรแกรม Microsoft Visual Basic ซึ่งประกอบด้วย หน้าต่างทำงาน (Form) ที่สำคัญอยู่ 2 หน้าต่าง คือ

1. หน้าต่างรับค่า ใช้สำหรับรับค่าต่าง ๆ จากผู้ใช้งาน และใช้สำหรับรับค่าจากฐานข้อมูล และคำนวณโดยใช้สมการตามทฤษฎีของ Biot-Savart ดังรูปที่ 5



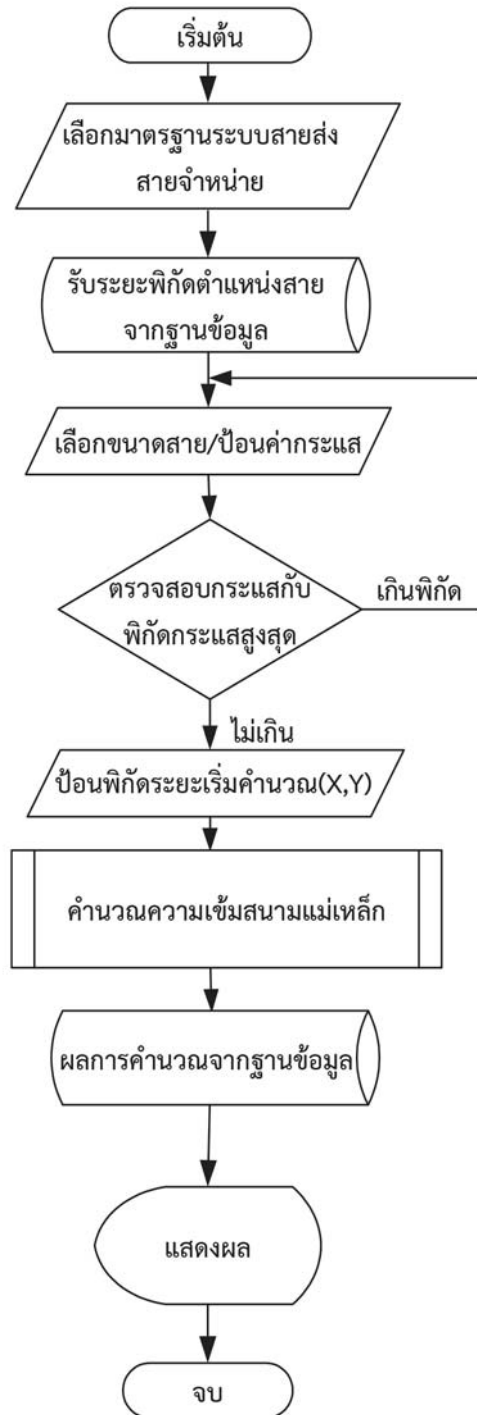
รูปที่ 5 แสดงหน้าต่างการรับค่า

2. หน้าต่างการแสดงผล เป็นการแสดงผลของการคำนวณในรูปแบบของตารางและกราฟ



รูปที่ 6 แสดงหน้าต่างการแสดงผล

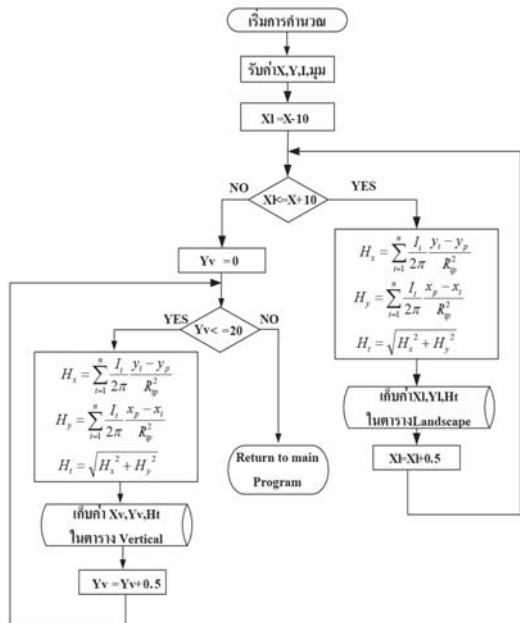
2.2 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม



รูปที่ 7 แผนภาพแสดงขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมคำนวณค่าความเข้มสนามแม่เหล็ก

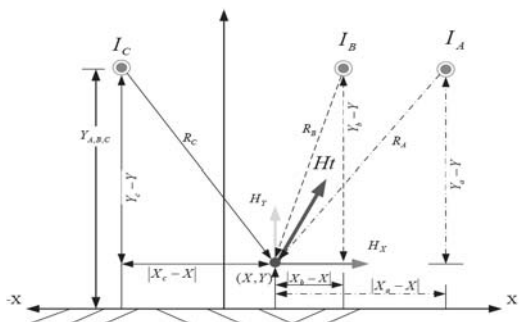
2.3 การคำนวณความเข้มสนามแม่เหล็กของ โปรแกรม

สมการและขั้นตอนการคำนวณที่ใช้ในการคำนวณค่าความเข้มสนามแม่เหล็กที่ใช้ในโปรแกรมเป็นไปตามทฤษฎีของ Biot-Savart ดังรูปที่ 9



รูปที่ 8 แผนภาพแสดงขั้นตอนการคำนวณของโปรแกรมคำนวณสนามแม่เหล็ก

ระบบสายจำหน่ายแรงสูง 22 kV วงจรเดี่ยวหนึ่งตัวนำ มีโครงสร้างและสมการการคำนวณค่าความเข้มสนามแม่เหล็ก ดังนี้



รูปที่ 9 ความเข้มสนามแม่เหล็กของสายตัวนำระบบจำหน่ายแรงสูง 22kV ที่มีความยาวอนันต์

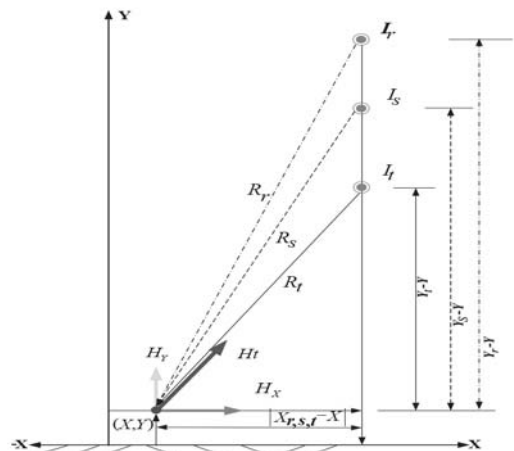
$$H_{X_r} = \frac{I_a \cos\theta_a (Y_a - Y)}{2\pi \left(\sqrt{(Y_a - Y)^2 + (X_a - X)^2} \right)^2} + \frac{I_b \cos\theta_b (Y_b - Y)}{2\pi \left(\sqrt{(Y_b - Y)^2 + (X_b - X)^2} \right)^2} + \frac{I_c \cos\theta_c (Y_c - Y)}{2\pi \left(\sqrt{(Y_c - Y)^2 + (X_c - X)^2} \right)^2}$$

$$H_{X_i} = \frac{I_a \sin\theta_a (Y_a - Y)}{2\pi \left(\sqrt{(Y_a - Y)^2 + (X_a - X)^2} \right)^2} + \frac{I_b \sin\theta_b (Y_b - Y)}{2\pi \left(\sqrt{(Y_b - Y)^2 + (X_b - X)^2} \right)^2} + \frac{I_c \sin\theta_c (Y_c - Y)}{2\pi \left(\sqrt{(Y_c - Y)^2 + (X_c - X)^2} \right)^2}$$

$$H_{Y_r} = \frac{I_a \cos\theta_a (X_a - X)}{2\pi \left(\sqrt{(Y_a - Y)^2 + (X_a - X)^2} \right)^2} + \frac{I_b \cos\theta_b (X_b - X)}{2\pi \left(\sqrt{(Y_b - Y)^2 + (X_b - X)^2} \right)^2} + \frac{I_c \cos\theta_c (X_c - X)}{2\pi \left(\sqrt{(Y_c - Y)^2 + (X_c - X)^2} \right)^2}$$

$$H_{Y_i} = \frac{I_a \sin\theta_a (X_a - X)}{2\pi \left(\sqrt{(Y_a - Y)^2 + (X_a - X)^2} \right)^2} + \frac{I_b \sin\theta_b (X_b - X)}{2\pi \left(\sqrt{(Y_b - Y)^2 + (X_b - X)^2} \right)^2} + \frac{I_c \sin\theta_c (X_c - X)}{2\pi \left(\sqrt{(Y_c - Y)^2 + (X_c - X)^2} \right)^2}$$

ระบบสายส่งแรงสูง 115 kV วงจรเดี่ยวหนึ่งตัวนำ มีโครงสร้างและสมการการคำนวณค่าความเข้มสนามแม่เหล็ก ดังนี้



รูปที่ 10 ความเข้มสนามแม่เหล็กของสายตัวนำระบบสายส่ง 115 kV ที่มีความยาวอนันต์

$$H_{X_r} = \frac{I_r \cos\theta_R(Y_r - Y)}{2\pi\left(\sqrt{(Y_r - Y)^2 + (X_r - X)^2}\right)^2} + \frac{I_s \cos\theta_S(Y_s - Y)}{2\pi\left(\sqrt{(Y_s - Y)^2 + (X_s - X)^2}\right)^2}$$

$$+ \frac{I_t \cos\theta_T(Y_t - Y)}{2\pi\left(\sqrt{(Y_t - Y)^2 + (X_t - X)^2}\right)^2}$$

$$H_{X_s} = \frac{I_r \sin\theta_R(Y_r - Y)}{2\pi\left(\sqrt{(Y_r - Y)^2 + (X_r - X)^2}\right)^2} + \frac{I_s \sin\theta_S(Y_s - Y)}{2\pi\left(\sqrt{(Y_s - Y)^2 + (X_s - X)^2}\right)^2}$$

$$+ \frac{I_t \sin\theta_T(Y_t - Y)}{2\pi\left(\sqrt{(Y_t - Y)^2 + (X_t - X)^2}\right)^2}$$

$$H_{X_t} = \frac{I_r \cos\theta_R(X_r - X)}{2\pi\left(\sqrt{(Y_r - Y)^2 + (X_r - X)^2}\right)^2} + \frac{I_s \cos\theta_S(X_s - X)}{2\pi\left(\sqrt{(Y_s - Y)^2 + (X_s - X)^2}\right)^2}$$

$$+ \frac{I_t \cos\theta_T(X_t - X)}{2\pi\left(\sqrt{(Y_t - Y)^2 + (X_t - X)^2}\right)^2}$$

$$H_{Y_r} = \frac{I_r \sin\theta_R(X_r - X)}{2\pi\left(\sqrt{(Y_r - Y)^2 + (X_r - X)^2}\right)^2} + \frac{I_s \sin\theta_S(X_s - X)}{2\pi\left(\sqrt{(Y_s - Y)^2 + (X_s - X)^2}\right)^2}$$

$$+ \frac{I_t \sin\theta_T(X_t - X)}{2\pi\left(\sqrt{(Y_t - Y)^2 + (X_t - X)^2}\right)^2}$$

$$H_X = \sqrt{H_{X_r}^2 + H_{X_s}^2}$$

$$H_Y = \sqrt{(H_{Y_r})^2 + (H_{Y_s})^2}$$

$$H_t = \sqrt{H_X^2 + H_Y^2}$$

- เมื่อ I_a คือ กระแสใช้งานของสายเฟส A (A)
 I_b คือ กระแสใช้งานของสายเฟส B (A)
 I_c คือ กระแสใช้งานของสายเฟส C (A)

- $\cos\theta_A$ คือ มุมของกระแสเฟส A (Degree)
 $\cos\theta_B$ คือ มุมของกระแสเฟส B (Degree)
 $\cos\theta_C$ คือ มุมของกระแสเฟส C (Degree)
 X คือ ระยะพิกัดในแนวระดับของจุดที่คำนวณ (m)
 X_a คือ ระยะห่างจุดกึ่งกลางเสาในแนวระดับของสายเฟส A (m)
 X_b คือ ระยะห่างจุดกึ่งกลางเสาในแนวระดับของสายเฟส B (m)
 X_c คือ ระยะห่างจุดกึ่งกลางเสาในแนวระดับของสายเฟส C (m)
 Y คือ ระยะความสูงของจุดที่คำนวณ (m)
 Y_a คือ ระยะความสูงสายเฟส A (m)
 Y_b คือ ระยะความสูงสายเฟส B (m)
 Y_c คือ ระยะความสูงสายเฟส C (m)
 I_r คือ กระแสใช้งานของสายเฟส R (A)
 I_s คือ กระแสใช้งานของสายเฟส S (A)
 I_t คือ กระแสใช้งานของสายเฟส T (A)
 $\cos\theta_R$ คือ มุมของกระแสเฟส R (Degree)
 $\cos\theta_S$ คือ มุมของกระแสเฟส S (Degree)
 $\cos\theta_T$ คือ มุมของกระแสเฟส T (Degree)
 X คือ ระยะพิกัดในแนวระดับของจุดที่คำนวณ (m)
 X_r คือ ระยะห่างจุดกึ่งกลางเสาในแนวระดับของสายเฟส R (m)
 X_s คือ ระยะห่างจุดกึ่งกลางเสาในแนวระดับของสายเฟส S (m)
 X_t คือ ระยะห่างจุดกึ่งกลางเสาในแนวระดับของสายเฟส T (m)
 Y คือ ระยะความสูงของจุดที่คำนวณ (m)
 Y_r คือ ระยะความสูงสายเฟส R (m)
 Y_s คือ ระยะความสูงสายเฟส S (m)

Y_t	คือ ระยะความสูงสายเฟส T (m)
H_{X_r}	คือ ความเข้มสนามแม่เหล็กในแนวแกน X อันเกิดจากองค์ประกอบกระแสส่วนจริง (A/m)
H_{X_i}	คือ ความเข้มสนามแม่เหล็กในแนวแกน X อันเกิดจากองค์ประกอบกระแสส่วนจินตภาพ
H_{Y_r}	คือ ความเข้มสนามแม่เหล็กในแนวแกน Y อันเกิดจากองค์ประกอบกระแสส่วนจริง (A/m)
H_{Y_i}	คือ ความเข้มสนามแม่เหล็กในแนวแกน Y อันเกิดจากองค์ประกอบกระแสส่วนจินตภาพ (A/m)
H_X	คือ ความเข้มสนามแม่เหล็กในแนวแกน X (A/m)
H_Y	คือ ความเข้มสนามแม่เหล็กในแนวแกน Y (A/m)
H_t	คือ ความเข้มสนามแม่เหล็กรวม (A/m)

3. ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

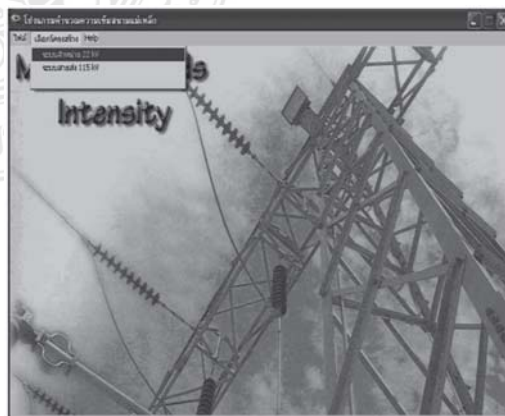
สำหรับการทดสอบได้แบ่งออกเป็น 3 กรณี คือ กรณีที่ 1 ทดสอบด้วยการใช้โปรแกรมคำนวณความเข้มสนามแม่เหล็กของระบบจำหน่ายแรงสูง 22 kV วงจรเดี่ยวหนึ่งตัวนำ เลือกใช้สายไฟขนาด 185A พิกัดกระแสสูงสุดที่ 520 A และเลือกพิกัดกระแสของเฟส A, เฟส B และ เฟส C ที่ 500 A กรณีที่ 2 ทดสอบด้วยการใช้โปรแกรมคำนวณความเข้มสนามแม่เหล็กของระบบสายส่งแรงสูง 115 kV วงจรเดี่ยวหนึ่งตัวนำ เลือกสายไฟขนาด 400A พิกัดกระแสสูงสุดที่ 855 A และเลือกพิกัดกระแสของเฟส A, เฟส B และ เฟส C ที่ 700 A กรณีที่ 3 ทดสอบด้วยการใช้โปรแกรมคำนวณ

ความเข้มสนามแม่เหล็กของระบบจำหน่ายแรงสูง 22 kV วงจรเดี่ยวหนึ่งตัวนำ และเปรียบเทียบผลการคำนวณค่าความเข้มสนามแม่เหล็กที่ได้ด้วยผลที่ได้จากการทดสอบด้วยวิธีการวัดค่าความหนาแน่นสนามแม่เหล็กของระบบจำหน่ายแรงสูง 22 kV วงจรเดี่ยวหนึ่งตัวนำ ด้วยเครื่องมือวัดความหนาแน่นสนามแม่เหล็กมือถือ Handheld ยี่ห้อ DIGICON EMF-827 และวัดกระแสใช้งานด้วย Clamp-on meter ยี่ห้อ HIOKI รุ่น 3282 โดยมีขั้นตอนการทดสอบ ดังนี้

3.1 ขั้นตอนการทดสอบด้วยการใช้โปรแกรมคำนวณความเข้มสนามแม่เหล็กของระบบจำหน่ายแรงสูง 22 kV วงจรเดี่ยวหนึ่งตัวนำ

3.1.1 เรียกใช้โปรแกรมคำนวณความเข้มสนามแม่เหล็ก

3.1.2 เลือกรูปแบบโครงสร้างของระบบไฟฟ้าที่จะทำการทดสอบได้จากหน้าต่างโปรแกรมเลือกโครงสร้าง ดังรูปที่ 11 สำหรับการทดสอบนี้สามารถเลือกระบบจำหน่ายแรงสูง 22 kV



รูปที่ 11 หน้าต่างโปรแกรมสำหรับเลือกโครงสร้างระบบไฟฟ้าเพื่อทำการทดสอบ

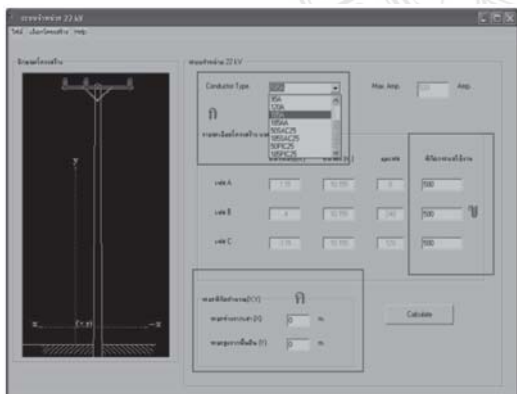
3.1.3 เมื่อปรากฏหน้าต่างการรับค่าสำหรับการคำนวณ ดังรูปที่ 5 ให้เลือกข้อมูลและบันทึกค่าเพื่อการคำนวณ ดังนี้

1. เลือกชนิดและขนาดของสายไฟจากรายการที่กำหนดไว้ให้ โดยเลือกขนาดสายไฟที่ 185A ดังรูปที่ 12 (กรอบ ก)

2. บันทึกค่าพิกัดกระแสใช้งาน ทั้งนี้ค่าที่บันทึกจะต้องไม่เกินค่าพิกัดกระแสสูงสุดของสายไฟที่ระบุไว้ด้านบนของหน้าต่าง ในที่นี้สายไฟขนาด 185A มีพิกัดกระแสสูงสุด 520 A จึงเลือกพิกัดกระแสที่ใช้ในการคำนวณเฟส A 500 A เฟส B 500 A และ เฟส C 500 A ดังรูปที่ 12 (กรอบ ข)

3. ระบุตำแหน่งพิกัด (X,Y) โดยเริ่มคำนวณตำแหน่งโคนเสาไฟ (0,0) รูปที่ 12 (กรอบ ค) โดยจะทำการคำนวณ 3 ลักษณะ คือ 1. ตำแหน่งโคนเสาไฟพิกัด (0,0) 2. เปลี่ยนแปลงตำแหน่งพิกัดในแนวระดับ (X) คงที่ตำแหน่งพิกัดในแนวตั้ง (Y) 3. เปลี่ยนแปลงตำแหน่งพิกัดในแนวตั้ง (Y) คงที่ตำแหน่งพิกัดในแนวระดับ (X)

3.1.4 กดปุ่ม “Calculate” เพื่อเริ่มการคำนวณ



รูปที่ 12 หน้าต่างการบันทึกข้อมูลสำหรับการคำนวณความเข้มสนามแม่เหล็กของระบบจำหน่ายแรงสูง 22 kV วงจรเดี่ยวหนึ่งตัวนำ

3.2 ขั้นตอนการทดสอบด้วยการใช้โปรแกรมคำนวณความเข้มสนามแม่เหล็กของระบบสายส่งไฟฟ้าแรงสูง 115 kV วงจรเดี่ยวหนึ่งตัวนำ

3.2.1 เรียกใช้โปรแกรมคำนวณความเข้มสนามแม่เหล็ก

3.2.2 เลือกรูปแบบโครงสร้างของระบบไฟฟ้าที่จะทำการทดสอบได้จากหน้าต่างโปรแกรมเลือกโครงสร้าง ดังรูปที่ 11 สำหรับการทดสอบนี้สามารถเลือกระบบสายส่งไฟฟ้าแรงสูง 115 kV

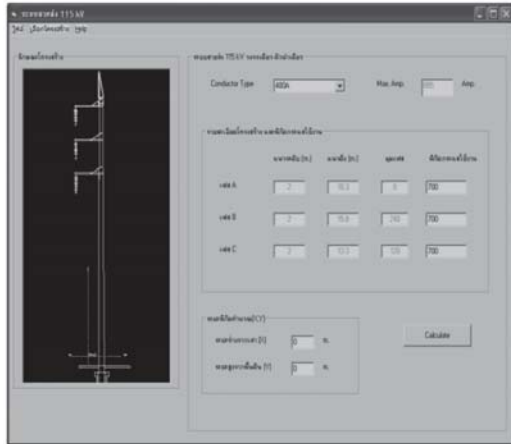
3.2.3 เมื่อปรากฏหน้าต่างการรับค่าสำหรับการคำนวณ ดังรูปที่ 5 ให้เลือกข้อมูลและบันทึกค่าเพื่อการคำนวณ ดังนี้

3.2.3.1 เลือกชนิดและขนาดของสายไฟจากรายการที่กำหนดไว้ให้ โดยเลือกขนาดสายไฟที่ 400A ดังรูปที่ 13

3.2.3.2 บันทึกค่าพิกัดกระแสใช้งาน ทั้งนี้ค่าที่บันทึกจะต้องไม่เกินค่าพิกัดกระแสสูงสุดของสายไฟที่ระบุไว้ด้านบนของหน้าต่าง ในที่นี้สายไฟขนาด 400A มีพิกัดกระแสสูงสุด 855 A จึงเลือกพิกัดกระแสที่ใช้ในการคำนวณเฟส A 700 A เฟส B 700 A และ เฟส C 700 A ดังรูปที่ 13

3.2.3.3 ระบุตำแหน่งพิกัด (X,Y) โดยเริ่มคำนวณตำแหน่งโคนเสาไฟ (0,0) รูปที่ 13 โดยจะทำการคำนวณ 3 ลักษณะ คือ 1. ตำแหน่งโคนเสาไฟพิกัด (0,0) 2. เปลี่ยนแปลงตำแหน่งพิกัดในแนวระดับ (X) คงที่ตำแหน่งพิกัดในแนวตั้ง (Y) 3. เปลี่ยนแปลงตำแหน่งพิกัดในแนวตั้ง (Y) คงที่ตำแหน่งพิกัดในแนวระดับ (X)

3.2.4 กดปุ่ม “Calculate” เพื่อเริ่มการคำนวณ



รูปที่ 13 หน้าต่างการบันทึกข้อมูลสำหรับการคำนวณความเข้มสนามแม่เหล็กของระบบส่งไฟฟ้าแรงสูง 115 kV วงจรเดี่ยวหนึ่งตัวนำ

3.3 ขั้นตอนการทดสอบด้วยการใช้โปรแกรม

คำนวณความเข้มสนามแม่เหล็กของระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงสูง 22 kV วงจรเดี่ยวหนึ่งตัวนำและเปรียบเทียบผลการคำนวณค่าความเข้มสนามแม่เหล็กที่ได้ด้วยผลที่ได้จากการทดสอบด้วยวิธีการวัดค่าความหนาแน่นสนามแม่เหล็กของระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงสูง 22 kV วงจรเดี่ยวหนึ่งตัวนำ

3.3.1 ทำการวัดค่ากระแสไฟฟ้าใช้งานจริงของสายไฟฟ้าเฟส A เฟส B และเฟส C ด้วยเครื่องมือวัดกระแสไฟฟ้ากระแสสลับ Clamp-on meter ยี่ห้อ HIOKI รุ่น 3282

3.3.2 ทำการวัดค่าความหนาแน่นสนามแม่เหล็กด้วยเครื่องมือวัดความหนาแน่นสนามแม่เหล็กมือถือ Handheld ยี่ห้อ DIGICON EMF-827 ทำการวัดที่ระดับความสูง 8 เมตร

ที่ระยะตามแนวแกน X ที่ระยะ -2,-1, 0, 1, 2,3,4,5 ทำการวัดจุดละ 3 ครั้งแล้วบันทึกผลซึ่งผลดังกล่าวมีหน่วยเป็นไมโครเทสลา (mT)

3.3.3 คำนวณเปลี่ยนค่าเส้นแรงแม่เหล็กเป็นค่าความเข้มสนามแม่เหล็ก โดยที่ 1 ไมโครเทสลา (mT) เท่ากับ 0.8 แอมป์/เมตร (A/m)

3.3.4 คำนวณค่าความเข้มสนามแม่เหล็กด้วยโปรแกรมคำนวณความเข้มสนามแม่เหล็ก โดยทำการคำนวณที่ระยะเดียวกันกับที่ทำการวัดความหนาแน่นสนามแม่เหล็กจริง และกำหนดกระแสไฟฟ้าในแต่ละเฟสด้วยกระแสใช้งานจริงที่วัดได้ คือ กระแสไฟฟ้าใช้งานจริงที่ เฟส A เท่ากับ 206 A เฟส B เท่ากับ 210.3 A เฟส C เท่ากับ 209.2 A

3.4 ผลการทดสอบ

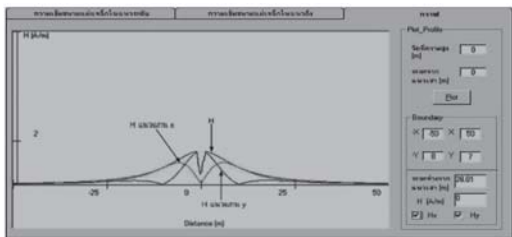
3.4.1 ผลการคำนวณด้วยโปรแกรมคำนวณความเข้มสนามแม่เหล็กในระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงสูง 22 kV วงจรเดี่ยวหนึ่งตัวนำ ดังรูปที่ 14

ระยะ (m)	ความเข้มสนามแม่เหล็ก (A/m)
0.00	0.0000
0.50	0.0000
1.00	0.0000
1.50	0.0000
2.00	0.0000
2.50	0.0000
3.00	0.0000
3.50	0.0000
4.00	0.0000
4.50	0.0000
5.00	0.0000
5.50	0.0000
6.00	0.0000
6.50	0.0000
7.00	0.0000
7.50	0.0000
8.00	0.0000
8.50	0.0000
9.00	0.0000
9.50	0.0000
10.00	0.0000
10.50	0.0000
11.00	0.0000
11.50	0.0000
12.00	0.0000
12.50	0.0000
13.00	0.0000
13.50	0.0000
14.00	0.0000
14.50	0.0000
15.00	0.0000
15.50	0.0000
16.00	0.0000
16.50	0.0000
17.00	0.0000
17.50	0.0000
18.00	0.0000
18.50	0.0000
19.00	0.0000
19.50	0.0000
20.00	0.0000
20.50	0.0000
21.00	0.0000
21.50	0.0000
22.00	0.0000
22.50	0.0000
23.00	0.0000
23.50	0.0000
24.00	0.0000
24.50	0.0000
25.00	0.0000
25.50	0.0000
26.00	0.0000
26.50	0.0000
27.00	0.0000
27.50	0.0000
28.00	0.0000
28.50	0.0000
29.00	0.0000
29.50	0.0000
30.00	0.0000
30.50	0.0000
31.00	0.0000
31.50	0.0000
32.00	0.0000
32.50	0.0000
33.00	0.0000
33.50	0.0000
34.00	0.0000
34.50	0.0000
35.00	0.0000
35.50	0.0000
36.00	0.0000
36.50	0.0000
37.00	0.0000
37.50	0.0000
38.00	0.0000
38.50	0.0000
39.00	0.0000
39.50	0.0000
40.00	0.0000
40.50	0.0000
41.00	0.0000
41.50	0.0000
42.00	0.0000
42.50	0.0000
43.00	0.0000
43.50	0.0000
44.00	0.0000
44.50	0.0000
45.00	0.0000
45.50	0.0000
46.00	0.0000
46.50	0.0000
47.00	0.0000
47.50	0.0000
48.00	0.0000
48.50	0.0000
49.00	0.0000
49.50	0.0000
50.00	0.0000
50.50	0.0000
51.00	0.0000
51.50	0.0000
52.00	0.0000
52.50	0.0000
53.00	0.0000
53.50	0.0000
54.00	0.0000
54.50	0.0000
55.00	0.0000
55.50	0.0000
56.00	0.0000
56.50	0.0000
57.00	0.0000
57.50	0.0000
58.00	0.0000
58.50	0.0000
59.00	0.0000
59.50	0.0000
60.00	0.0000
60.50	0.0000
61.00	0.0000
61.50	0.0000
62.00	0.0000
62.50	0.0000
63.00	0.0000
63.50	0.0000
64.00	0.0000
64.50	0.0000
65.00	0.0000
65.50	0.0000
66.00	0.0000
66.50	0.0000
67.00	0.0000
67.50	0.0000
68.00	0.0000
68.50	0.0000
69.00	0.0000
69.50	0.0000
70.00	0.0000
70.50	0.0000
71.00	0.0000
71.50	0.0000
72.00	0.0000
72.50	0.0000
73.00	0.0000
73.50	0.0000
74.00	0.0000
74.50	0.0000
75.00	0.0000
75.50	0.0000
76.00	0.0000
76.50	0.0000
77.00	0.0000
77.50	0.0000
78.00	0.0000
78.50	0.0000
79.00	0.0000
79.50	0.0000
80.00	0.0000
80.50	0.0000
81.00	0.0000
81.50	0.0000
82.00	0.0000
82.50	0.0000
83.00	0.0000
83.50	0.0000
84.00	0.0000
84.50	0.0000
85.00	0.0000
85.50	0.0000
86.00	0.0000
86.50	0.0000
87.00	0.0000
87.50	0.0000
88.00	0.0000
88.50	0.0000
89.00	0.0000
89.50	0.0000
90.00	0.0000
90.50	0.0000
91.00	0.0000
91.50	0.0000
92.00	0.0000
92.50	0.0000
93.00	0.0000
93.50	0.0000
94.00	0.0000
94.50	0.0000
95.00	0.0000
95.50	0.0000
96.00	0.0000
96.50	0.0000
97.00	0.0000
97.50	0.0000
98.00	0.0000
98.50	0.0000
99.00	0.0000
99.50	0.0000
100.00	0.0000

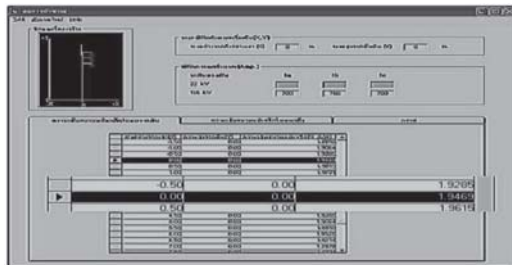
รูปที่ 14 ตารางแสดงผลการคำนวณแสดงความเข้มสนามแม่เหล็กที่พิกัด (0,0) ของระบบจำหน่าย ไฟฟ้าแรงสูง 22 kV มี ค่าเท่ากับ 0.5747 A/m

ตารางที่ 1 สรุปผลการคำนวณความเข้มสนามแม่เหล็กของระบบจำหน่าย 22 kV วงจรเดียวหนึ่งตัวนำ เมื่อเปลี่ยนแปลงพิกัดในแนวระดับ (X) คงที่พิกัดในแนวตั้ง (Y) และเมื่อคงที่พิกัดในแนวระดับ (X) เปลี่ยนแปลงพิกัดในแนวตั้ง (Y)

ระยะห่างจากเสา (m)	สูงจากพื้น (m)	ความเข้มสนามแม่เหล็ก (A/m)	ระยะห่างจากเสา (m)	สูงจากพื้น (m)	ความเข้มสนามแม่เหล็ก (A/m)
-10.00	0.00	0.7956	0.00	0.00	0.5747
-9.00	0.00	0.8777	0.00	1.00	0.7060
-8.00	0.00	0.9667	0.00	2.00	0.8877
-7.00	0.00	1.0613	0.00	3.00	1.1494
-6.00	0.00	1.1594	0.00	4.00	1.5454
-5.00	0.00	1.2573	0.00	5.00	2.1855
-4.00	0.00	1.3501	0.00	6.00	3.3166
-3.00	0.00	1.4320	0.00	7.00	5.5886
-2.00	0.00	1.4962	0.00	8.00	11.1477
-1.00	0.00	1.3233	0.00	9.00	29.9579
0.00	0.00	0.5747	0.00	10.00	119.894
1.00	0.00	1.3736	0.00	11.00	44.7342
2.00	0.00	1.4944	0.00	12.00	14.5414
3.00	0.00	1.4294	0.00	13.00	6.7698
4.00	0.00	1.3474	0.00	14.00	3.8470
5.00	0.00	1.2549	0.00	15.00	2.4655
6.00	0.00	1.1576	0.00	16.00	1.7102
7.00	0.00	1.0605	0.00	17.00	1.2542
8.00	0.00	0.9668	0.00	18.00	0.9584
9.00	0.00	0.8788	0.00	19.00	0.7558
10.00	0.00	0.7976	0.00	20.00	0.6112



รูปที่ 15 กราฟแสดงความเข้มสนามแม่เหล็กที่กระแสแต่ละเฟสมีขนาด 500 A ของระบบจำหน่ายแรงสูง 22 kV วงจรเดี่ยวหนึ่งตัวนำ

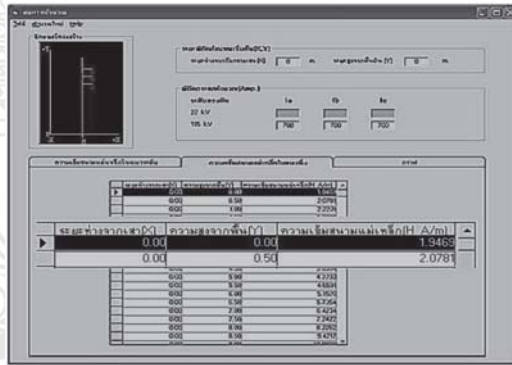


รูปที่ 17 ตารางแสดงผล การคำนวณความเข้มสนามแม่เหล็กที่พิกัด (0,0) และเปลี่ยนแปลงพิกัดในแนวระดับ (X) คงที่พิกัดในแนวตั้ง (Y) ของระบบสายส่งแรงสูง 115 kV วงจรเดี่ยวหนึ่งตัวนำ มีค่าเท่ากับ 1.9469 A/m

3.4.2 ผลการคำนวณด้วยโปรแกรมคำนวณความเข้มสนามแม่เหล็กในระบบสายส่งแรงสูง 115 kV วงจรเดี่ยวหนึ่งตัวนำ ดังรูปที่ 16



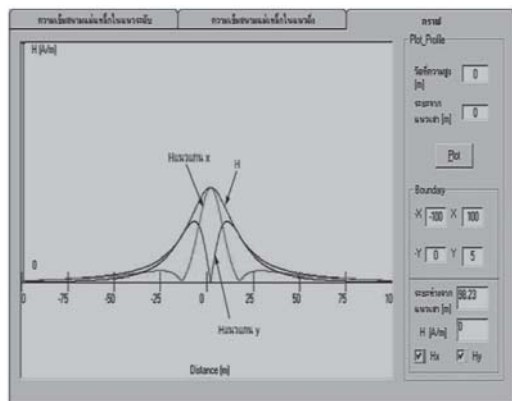
รูปที่ 16 หน้าต่างการบันทึกข้อมูลสำหรับการคำนวณความเข้มสนามแม่เหล็กของระบบสายส่งแรงสูง 115 kV วงจรเดี่ยวหนึ่งตัวนำ



รูปที่ 18 ผลการคำนวณความเข้มสนามแม่เหล็กเมื่อเปลี่ยนแปลงพิกัดในแนวระดับ (X) คงที่พิกัดในแนวตั้ง (Y)

ตารางที่ 2 สรุปผลการคำนวณความเข้มสนามแม่เหล็กของระบบจำหน่าย 115 kV เมื่อเปลี่ยนแปลงพิกัดในแนวระดับ (X) คงที่พิกัดในแนวตั้ง (Y) และเมื่อคงที่พิกัดในแนวระดับ (X) เปลี่ยนแปลงพิกัดในแนวตั้ง (Y)

ระยะห่างจากเสา (m)	สูงจากพื้น (m)	ความเข้มสนามแม่เหล็ก (A/m)	ระยะห่างจากเสา (m)	สูงจากพื้น (m)	ความเข้มสนามแม่เหล็ก (A/m)
-10.00	0.00	1.2280	0.00	0.00	1.9469
-9.00	0.00	1.3065	0.00	1.00	2.2231
-8.00	0.00	1.3877	0.00	2.00	2.5626
-7.00	0.00	1.4706	0.00	3.00	2.9863
-6.00	0.00	1.5539	0.00	4.00	3.5248
-5.00	0.00	1.6360	0.00	5.00	4.2233
-4.00	0.00	1.7147	0.00	6.00	5.1520
-3.00	0.00	1.7878	0.00	7.00	6.4234
-2.00	0.00	1.8525	0.00	8.00	8.2262
-1.00	0.00	1.9064	0.00	9.00	10.8909
0.00	0.00	1.9469	0.00	10.00	15.0176
1.00	0.00	1.9721	0.00	11.00	21.6725
2.00	0.00	1.9806	0.00	12.00	32.2475
3.00	0.00	1.9721	0.00	13.00	45.6364
4.00	0.00	1.9469	0.00	14.00	35.5401
5.00	0.00	1.9064	0.00	15.00	29.5219
6.00	0.00	1.8525	0.00	16.00	39.8561
7.00	0.00	1.7878	0.00	17.00	27.6208
8.00	0.00	1.7147	0.00	18.00	43.7588
9.00	0.00	1.6759	0.00	19.00	40.3584
10.00	0.00	1.5539	0.00	20.00	27.5337

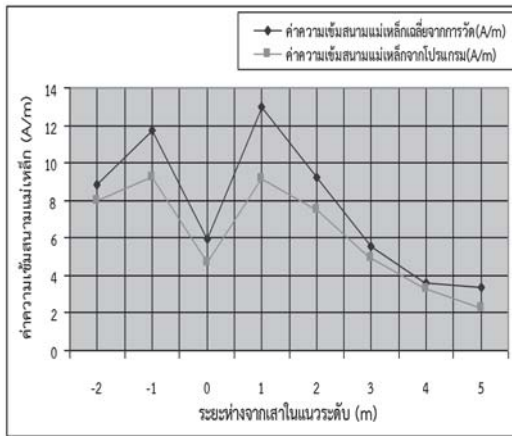


รูปที่ 19 กราฟแสดงความเข้มสนามแม่เหล็กที่กระแสแต่ละเฟสมีขนาด 700 A ของระบบสายส่งแรงสูง 115 kV วงจรเดี่ยวหนึ่งตัวนำ

ตารางที่ 3 เปรียบเทียบผลที่ได้จากการคำนวณค่าความเข้มสนามแม่เหล็กด้วยโปรแกรมคำนวณความเข้มสนามแม่เหล็กกับผลที่ได้จากการวัดค่าความหนาแน่นสนามแม่เหล็กของระบบจำหน่ายแรงสูง 22 kV วงจรเดี่ยวหนึ่งตัวนำ

ห่างจากเสา (m)	สูงจากพื้น (m)	ค่าความเข้มสนามแม่เหล็กเฉลี่ยจากการวัด (A/m)	ค่าความเข้มสนามแม่เหล็กจากโปรแกรม (A/m)	ความแตกต่าง (%)
-2.00	8.00	8.83	8.00	9.34
-1.00	8.00	11.75	9.22	21.53
0.00	8.00	5.95	4.73	20.50
1.00	8.00	12.99	9.14	29.64
2.00	8.00	9.24	7.52	18.61
3.00	8.00	5.52	4.93	10.69
4.00	8.00	3.60	3.25	9.72
5.00	8.00	3.37	2.25	33.23

3.4.3 ผลการเปรียบเทียบผลที่ได้จากการคำนวณค่าความเข้มสนามแม่เหล็กด้วยโปรแกรมคำนวณความเข้มสนามแม่เหล็กกับผลที่ได้จากการวัดค่าความหนาแน่นสนามแม่เหล็กของระบบจำหน่ายแรงสูง 22 kV วงจรเดี่ยวหนึ่งตัวนำที่ระดับความสูง 8 เมตร ที่ระยะ -2,-1, 0, 1, 2, 3, 4, 5 เมตร



รูปที่ 20 กราฟเปรียบเทียบผลที่ได้จากการคำนวณค่าความเข้มสนามแม่เหล็กด้วยโปรแกรมคำนวณความเข้มสนามแม่เหล็กกับผลที่ได้จากการวัด

3.5 วิจารณ์ผลการทดสอบ

จากการทดสอบโปรแกรมที่ออกแบบและพัฒนาขึ้นด้วยวิธีการคำนวณ พบว่า โปรแกรมสามารถใช้งานได้ง่าย ให้ผลการคำนวณที่รวดเร็วและทำให้เข้าใจพฤติกรรมของค่าความเข้มสนามแม่เหล็กไฟฟ้ากับระยะห่างได้เป็นอย่างดี ส่วนการแสดงผลสามารถแสดงเป็นกราฟเส้นสีต่าง ๆ โมเดลคณิตศาสตร์ที่ใช้ในโปรแกรมนั้นอ้างอิงตามมาตรฐานการใช้งานของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ซึ่งเป็นโมเดลที่ได้รับการตรวจสอบอย่างถูกต้องมาแล้ว ดังนั้น สามารถมั่นใจในผลการคำนวณของโปรแกรมได้เป็นอย่างดี สำหรับการเปรียบเทียบผลที่ได้จากการวัด กับผลที่ได้จากการคำนวณด้วยโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นนั้นมีความเข้มสนามแม่เหล็กนั้นมีความแตกต่างกันอยู่ประมาณ $\pm 9-34\%$ ทั้งนี้เนื่องมาจากระดับความเข้มของสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นจริงจะเปลี่ยนแปลงไปตามสภาวะแวดล้อมปัจจุบันในขณะที่ทำการวัด ค่าความผิดพลาดของเครื่องมือวัด อีกทั้งโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นนั้นได้ถูก

ออกแบบบนเงื่อนไขการคำนวณค่าความเข้มสนามแม่เหล็กของสายส่งและสายจำหน่ายไฟฟ้าแรงสูงในบริเวณพื้นที่โล่งแจ้ง จึงทำให้มีขีดจำกัดในเรื่องที่ไม่สามารถคำนวณค่าความเข้มสนามแม่เหล็กในบริเวณที่มีสิ่งกีดขวาง เช่น ต้นไม้ คอนกรีต ซึ่งอาจเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ผลการเปรียบเทียบค่าที่วัดได้กับค่าที่ได้จากการคำนวณด้วยโปรแกรมมีความแตกต่างกันค่อนข้างสูง

4. สรุป

จากผลการคำนวณค่าความเข้มสนามแม่เหล็กโดยใช้โปรแกรมคำนวณค่าความเข้มสนามแม่เหล็กที่พัฒนาขึ้น พบว่า ค่าความเข้มของสนามแม่เหล็กจะแปรผันตรงกับกระแสไฟฟ้าและแปรผกผันกับระยะห่างจากแนวสายส่งและแนวสายจำหน่ายไฟฟ้าแรงสูง ซึ่งระดับความเข้มสนามแม่เหล็กจะมากขึ้น เมื่อมีค่ากระแสไฟฟ้าในและเฟสสูงขึ้น แต่จะมีระดับลดลง เมื่อระยะห่างจากแนวสายส่งและสายจำหน่ายไฟฟ้าแรงสูงเพิ่มมากขึ้น โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นนี้มีขีดจำกัด เนื่องมาจากโปรแกรมนั้นได้ทำการออกแบบและพัฒนาขึ้นบนเงื่อนไขของการคำนวณค่าความเข้มสนามแม่เหล็กของสายส่งและสายจำหน่ายไฟฟ้าแรงสูงในบริเวณพื้นที่โล่งแจ้งเท่านั้น จึงทำให้โปรแกรมไม่สามารถคำนวณค่าความเข้มสนามแม่เหล็กในบริเวณที่มีสิ่งกีดขวางต่าง ๆ หรือบริเวณมีต้นไม้ คอนกรีต ซึ่งสิ่งกีดขวางต่าง ๆ หรือต้นไม้ คอนกรีต เหล่านี้สามารถซึมซับความเข้มสนามแม่เหล็กไว้ได้ส่วนหนึ่ง

โปรแกรมการคำนวณค่าความเข้มสนามแม่เหล็กของสายส่งและสายจำหน่ายไฟฟ้าแรงสูงที่ได้การออกแบบและพัฒนาขึ้นจากโปรแกรม Microsoft Visual Basic เป็นประโยชน์ต่อการ

ทำนายหรือคาดการณ์การเกิดสนามแม่เหล็กจากสายส่งจ่ายไฟฟ้าแรงสูง และสายจำหน่ายไฟฟ้าแรงสูงในระบบ 22 kV วงจรเดียวหนึ่งตัวนำ และ 115 kV วงจรเดียวหนึ่งตัวนำว่าจะเกิดสนามแม่เหล็กออกมาในระดับปริมาณเท่าใด รวมถึงใช้เป็นข้อมูลช่วยในการออกแบบการวางแนวสายส่งและแนวสายจำหน่ายไฟฟ้าแรงสูงได้ โดยเฉพาะในกรณีที่ต้องพิจารณา ในเรื่องของผลกระทบของสนามแม่เหล็กที่มีต่อ มนุษย์อุปกรณ์ไฟฟ้า คอมพิวเตอร์ อุปกรณ์สื่อสาร เครื่องใช้ไฟฟ้าต่าง ๆ รวมถึงต้นไม้ต้นพืชในการเกษตรที่อยู่ภายในบริเวณแนวสายส่งและสายจำหน่ายไฟฟ้าแรงสูง และในการวิเคราะห์ค่าความเข้มสนามแม่เหล็กนั้นยังจำเป็นต้องใช้ข้อมูลจากการวัดมาประกอบกับข้อมูลที่ได้จากการคำนวณด้วย

5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ คุณพิสันต์ จิตต์ปลั่ง วิศวกร ระดับ 6 กองบริการลูกค้า ฝ่ายบริการการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค เขต 3 (ภาคกลาง) จังหวัดนครปฐม ที่เอื้อเฟื้อข้อมูล และสนับสนุนการพัฒนาโปรแกรม คุณสาธิต สายทอง ที่สนับสนุนด้านการวัดและขอขอบคุณผู้เกี่ยวข้องที่ทำให้การสนับสนุนผลงานวิจัยนี้จนสำเร็จลุล่วงด้วยดี

6. เอกสารอ้างอิง

กองฝีกอบกรมการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค. 2544. **มาตรฐานการก่อสร้างระบบจำหน่าย 22-33kv**, ม.ป.ท.
 กองวิศวกรรมไฟฟ้าและเครื่องกลการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค. 2532. **คู่มือการก่อสร้างสายส่งไฟฟ้าแรงสูง 115 กิโลโวลต์**, ม.ป.ท.

ชวลิต ดำรงรัตน์. 2541. **การส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า เล่ม 1**. กรุงเทพฯ: บริษัท ซีเอ็ดดูเคชั่น จำกัด.

พิทักษ์ ปิ่นอนงค์ และ ศิริวัฒน์ โปธิเวชกุล. 2545. การวิเคราะห์สนามแม่เหล็กไฟฟ้าและผลกระทบที่เกิดขึ้นจากสายส่งไฟฟ้าแรงสูง 500 กิโลโวลต์. **การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 23, พ.ศ. 2543**.

ศักดิ์ดา สมกุล และ เทพดินทร์ บริรักษ์อรารินทร์. ม.ป.ท. **ระดับสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กที่ปลอดภัย**. <http://www.nimt.or.th/nimt/upload/linkfile/sys-metrology-1014-110.pdf>

Govindarajan B. Iyyuni and Stephen A Sebo. 1990. **Study of Transmission Line Magnetic Fields**. IEEE.

IEEE Std 644-1994, **IEEE Standard Procedures for Measurement of Power Frequency Electric and Magnetic Fields From AC Power Lines**.

Kaune, W.T., and Zaffanella, L.E. 1992. **Analysis of magnetic fields produced far from electric power lines**. IEEE Transactions on Power Delivery.

LaForest, J.J. 1982. **Transmission Line Reference Book 345 kV and Above**. Electric Power Research Institute, Inc. USA.

William H. Hayt, J.R. 1989. **Engineering Electromagnetics**. Mcgraw-hill International Editions.