วารสารวิชาการและวิจัย มทร.พระนคร ฉบับพิเศษ
การประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 5

การแก้ปัญหาการคำนวณค่าพารามิเตอร์สายส่งไฟฟ้าแรงสูงโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์

Solving Parameters Calculation of Transmission Line with Computer Program

วันไชย คำเสน[1*] และ ปณิฐิ แสนจิตร[2]

[1]ผู้ช่วยศาสตราจารย์ [2]อาจารย์ สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา จังหวัดลำปาง 52000

บทคัดย่อ

บทความนี้เป็นการนำเสนอการแก้ปัญหาการคำนวณค่าพารามิเตอร์สายส่งไฟฟ้าโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ ซึ่งค่าพารามิเตอร์สายส่งไฟฟ้าเป็นสิ่งสำคัญในการคำนวณหาค่าแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า กำลังไฟฟ้า และค่าอื่นๆ ในระบบไฟฟ้า โปรแกรมคำนวณค่าพารามิเตอร์สายส่งไฟฟ้าเขียนขึ้นโดยใช้โปรแกรมเดลไฟ ในรูปแบบกราฟิกเพื่อให้ง่ายต่อการใช้งาน โปรแกรมที่จัดทำขึ้นสามารถคำนวณค่าความต้านทาน ค่าความเหนี่ยวนำ และค่าความจุของสายส่งไฟฟ้า ทั้งระบบสายส่งไฟฟ้า 1 เฟสและ 3 เฟสในวงจรเดี่ยวและวงจรคู่ ผลการทดสอบจากการคำนวณด้วยโปรแกรมคำนวณค่าพารามิเตอร์สายส่งไฟฟ้าที่จัดทำขึ้นเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการคำนวณด้วยมือมีความถูกต้อง 100 เปอร์เซ็นต์

Abstract

This paper presents the method to solve the transmission line parameters calculation problem with computer program. The transmission line parameters are an important of power system which calculates the voltage, current, power and other. Transmission line parameters program is programmed with Delphi in graphical user interface. This program can calculated the resistance, inductance and capacitance of single and three phase transmission line. To verify the performance of the proposed program, the results are compared with the manual method. The results show that the program method is able to obtained 100 percent accuracy

คำสำคัญ : ค่าพารามิเตอร์สายส่งไฟฟ้า โปรแกรมคอมพิวเตอร์

Keywords : Transmission Line Parameters, Computer Program

[*]*ผู้นิพนธ์ประสานงานไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ wanchai_kh@rmutl.ac.th โทร. 0 5434 2547-8 ต่อ 158*

1. บทนำ

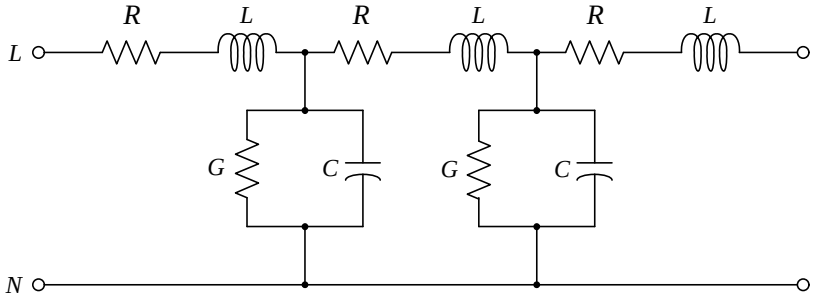
สายส่งไฟฟ้าหรือสายตัวนำไฟฟ้าเป็นองค์ประกอบหลักอย่างหนึ่งในระบบไฟฟ้ากำลัง ในการส่งกำลังไฟฟ้าไปสู่โหลด ซึ่งความสามารถในการส่งและจ่ายกำลังไฟฟ้าของสายส่งนั้น จะขึ้นอยู่กับพารามิเตอร์ของสายส่งไฟฟ้าคือ ความต้านทาน (Resistance) ความเหนี่ยวนำ (Inductance) ความจุ (Capacitance) และความนำไฟฟ้า (Conductance) ซึ่งค่าพารามิเตอร์เหล่านี้เป็นสิ่งสำคัญต่อการนำไปใช้ในการคำนวณหาค่าอื่นๆ ในสายส่งไฟฟ้า เช่น ค่าแรงดันไฟฟ้า ค่ากระแสไฟฟ้าและค่ากำลังไฟฟ้าเป็นต้น หากคำนวณค่าพารามิเตอร์ในส่วนนี้ผิด จะทำให้ค่าอื่นๆ ที่คำนวณต่อจากนี้เกิดความไม่ถูกต้อง การคำนวณค่าพารามิเตอร์ของสายส่งไฟฟ้าสามารถกระทำได้ 2 วิธีคือ การคำนวณด้วยมือโดยใช้เครื่องคำนวณหรือเครื่องคิดเลขช่วยในการคำนวณ และการคำนวณโดยใช้โปรแกรมในการช่วยคำนวณ โดยวิธีแรกนั้นจะมีความยุ่งยากและเกิดข้อผิดพลาดจากการคำนวณนั้นมีมาก อีกทั้งยังใช้เวลาในการคำนวณมาก ส่วนวิธีที่สองเป็นการนำเอาโปรแกรมทางด้านคอมพิวเตอร์เข้ามาช่วยในการคำนวณเพียงแค่ผู้ใช้ใส่ข้อมูลพื้นฐานลงในโปรแกรม ทำให้ได้คำตอบอย่างรวดเร็ว แม่นยำ เกิดข้อผิดพลาดน้อยและใช้เวลาน้อย ซึ่ง Hadi Saadat (2542) ใช้โปรแกรม Matlab ในการคำนวณ ผลที่ได้มีความถูกต้อง แต่การใส่ข้อมูลพื้นฐานลงในโปรแกรมไม่สามารถเปลี่ยนหน่วยไปสู่หน่วยต่างๆ ได้ และที่สำคัญหากผู้ใช้งานต้องการใช้โปรแกรมนี้ในการคำนวณต้องทำการติดตั้งโปรแกรม Matlab ก่อนจึงจะใช้งานได้ ทำให้ไม่สามารถใช้งานได้ทั่วไป เช่นเดียวกับสมศักดิ์ ล้อพรหม (2543) ที่คำนวณค่าพารามิเตอร์สายส่งโดยโปรแกรม Mathcad ซึ่งโปรแกรมนี้ต้องทำการติดตั้งโปรแกรม Mathcad ก่อนจึงจะใช้งานได้ จึงมีการใช้โปรแกรมอื่นคำนวณค่าทางไฟฟ้าที่ไม่ต้องติดตั้งโปรแกรมและสามารถใช้งานได้ทั่วไป โดยใช้โปรแกรมเดลไฟ (Delphi) ในการเขียนโปรแกรมในรูปแบบกราฟิกเพื่อให้ง่ายต่อการใช้งาน เช่น การออกแบบวงจรไฟฟ้าสำหรับเครื่องเชื่อมไฟฟ้าและมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ (ปณิธิ แสนจิตร และวันไชย คำเสน; 2552, 2553) โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับออกแบบระบบไฟฟ้าอาคารชุด (ปณิธิ แสนจิตร และศรศักดิ์ โชติเวทย์เมธากุล, 2554) และโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับคำนวณแรงดันตกในระบบไฟฟ้า (ปณิฐิ แสนจิตร และอำนาจ ผัดวัง, 2555) ซึ่งผู้ใช้งานสามารถเปิดโปรแกรมใช้งานได้โดยตรง ไม่ต้องติดตั้งโปรแกรม

ดังนั้นงานวิจัยนี้ได้ออกแบบและสร้างโปรแกรมคำนวณค่าพารามิเตอร์ของสายส่งไฟฟ้าที่เขียนด้วยโปรแกรมเดลไฟ ในรูปแบบกราฟิกเพื่อให้ง่ายต่อการใช้งาน เพื่อแก้ปัญหาการคำนวณค่าพารามิเตอร์สายส่งไฟฟ้าโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ โปรแกรมที่จัดทำขึ้นสามารถคำนวณค่าความต้านทาน ค่าความเหนี่ยวนำ และค่าความจุของสายส่งไฟฟ้า ทั้งระบบสายส่งไฟฟ้า 1 เฟสและ 3 เฟสในวงจรเดี่ยวและวงจรคู่

2. วิธีการทดลอง

2.1 พารามิเตอร์สายส่งกำลังไฟฟ้า

พารามิเตอร์ของสายตัวนำไฟฟ้า เป็นคุณสมบัติของสายตัวนำไฟฟ้าที่มีค่าคงที่ ประกอบด้วย ความต้านทาน (Resistance: R) ค่าความเหนี่ยวนำ (Inductance: L) ค่าความจุ (Capacitance: C) และค่าความนำไฟฟ้า (Conductance: G) ซึ่งค่าต่างๆ เหล่านี้มีผลต่อแรงดันไฟฟ้า และกระแสไฟฟ้าในระบบส่งและระบบจ่ายกำลังไฟฟ้า สามารถเขียนวงจรเทียบเคียงของสายส่งไฟฟ้าดังรูปที่ 1 เมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านสายตัวนำดังกล่าวจะทำให้เกิดสนามแม่เหล็ก (Magnetic Field) บริเวณรอบๆ ส่งผลให้สายตัวนำไฟฟ้า สร้างความเหนี่ยวนำ และเกิดสนามไฟฟ้า (Electric Field) ระหว่างสายตัวนำไฟฟ้า ส่งผลให้เกิดค่าความจุขึ้นที่สายตัวนำไฟฟ้า สำหรับค่าความนำไฟฟ้า เป็นผลอันเนื่องมาจากกระแสไฟฟ้ารั่วไหลที่ฉนวนลูกถ้วยสู่เสาโครงเหล็กและพื้นดิน (ชัด อินทะสี, 2540; มงคล ทองสงคราม, 2543.)



รูปที่ 1 วงจรเทียบเคียงของสายส่งกำลังไฟฟ้า

2.2 สายส่งกำลังไฟฟ้า 1 เฟส

พารามิเตอร์ของสายตัวนำไฟฟ้า 1 เฟส ประกอบด้วย ความต้านทาน ค่าความเหนี่ยวนำ ค่าความจุ และค่าความนำไฟฟ้า ซึ่งความต้านทานของสายตัวนำไฟฟ้า จะใช้สายตัวนำไฟฟ้าเดี่ยวรูปทรงกระบอกหาค่าความต้านทานไฟฟ้ากระแสตรง (R_{dc}) ดังสมการที่ 1

$$R_{dc} = \frac{\rho \ell}{A} \quad \Omega \tag{1}$$

โดยที่ ρ คือ ความต้านทานจำเพาะของสายตัวนำไฟฟ้า มีหน่วยเป็นโอห์ม – เมตร (Ω-m)

ℓ คือ ความยาวของสายตัวนำไฟฟ้า มีหน่วยเป็นเมตร (m)

A คือ พื้นที่หน้าตัดของสายตัวนำไฟฟ้า มีหน่วยเป็นตารางเมตร (m^2)

เมื่อกระแสไฟฟ้าไหลผ่านสายตัวนำไฟฟ้า จะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นรอบๆ สายส่ง จะทำให้เกิดค่าความเหนี่ยวนำขึ้น ซึ่งค่าความเหนี่ยวนำของสายตัวนำจะเกิดจากฟลักซ์แม่เหล็ก 2 ส่วน คือ ฟลักซ์แม่เหล็กภายในสายตัวนำไฟฟ้า และฟลักซ์แม่เหล็กภายนอกสายตัวนำไฟฟ้า จะได้ค่าความเหนี่ยวนำของสายตัวนำไฟฟ้า 1 เฟส ตัวนำเดี่ยว (L) คือ

$$L = 4 \times 10^{-7} \ln \frac{D}{GMR} \quad \text{H/m} \tag{2}$$

โดยที่ D และ GMR คือ ระยะห่างระหว่างสายตัวนำไฟฟ้า และรัศมีเฉลี่ยเชิงเรขาคณิต (Geometric Mean Radius: GMR) ของสายตัวนำไฟฟ้า และต้องเป็นหน่วยเดียวกัน

เมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลเข้าไปยังสายตัวนำไฟฟ้า ทำให้เกิดประจุไฟฟ้าเส้นหนึ่ง และส่งสนามไฟฟ้าไปยังสายตัวนำไฟฟ้าอีกเส้น เปรียบเหมือนกับสายตัวนำไฟฟ้าทั้งสองได้รับการอัดประจุไฟฟ้าจึงทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าระหว่างสายตัวนำไฟฟ้า และค่าความจุไฟฟ้าขึ้น สามารถหาค่าได้ดังสมการที่ 3

$$C_n = \frac{2\pi\varepsilon_0}{\ln\left(\frac{D}{r}\right)} \quad \text{F/m} \tag{3}$$

โดยที่ ε_0 และ r คือ ค่าความซาบซึมได้ของสนามไฟฟ้าของอากาศ และรัศมีสายตัวนำไฟฟ้าและที่สำคัญ D กับ r ต้องเป็นหน่วยเดียวกัน

2.3 สายส่งกำลังไฟฟ้า 3 เฟส

ระบบไฟฟ้า 3 เฟส ซึ่งประกอบด้วยสายตัวนำไฟฟ้า 3 เส้น แต่ละเส้นมีรัศมีเท่ากับ r ถ้ากระแสไฟฟ้าที่ไหลในสายตัวนำไฟฟ้าทั้ง 3 เฟสอยู่ในสภาพสมดุล ค่าความเหนี่ยวนำในสายตัวนำไฟฟ้าแต่ละเส้นต่อเฟสที่วางตัวตามรูปที่ 2 สามารถหาค่าได้ตามสมการที่ 4

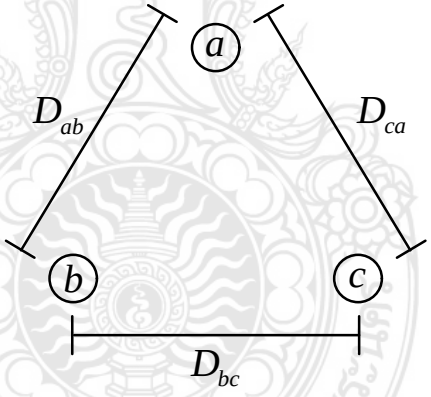
$$L = 2\times10^{-7}\ln\frac{D_m}{GMR} \quad \text{H/m} \tag{4}$$

ส่วนการหาค่าความจุไฟฟ้าของสายตัวนำไฟฟ้า 3 เฟส สามารถหาค่าได้ดังสมการที่ 5

$$C_n = \frac{2\pi\varepsilon_0}{\ln\left(\frac{D_m}{r}\right)} \quad \text{F/m} \tag{5}$$

โดยที่ D_m คือ ระยะห่างเทียบเคียงสายตัวนำไฟฟ้า 3 เฟส สามารถหาได้จาก

$$D_m = \sqrt[3]{D_{ab}D_{bc}D_{ca}} \tag{6}$$



รูปที่ 2 การวางสายตัวนำไฟฟ้า 3 เฟส

2.4 สายตัวนำร่วม (Bundle Conductor)

ในการส่งแรงดันไฟฟ้าระดับสูงและระดับสูงพิเศษ (345 kV หรือสูงกว่า) แทนที่จะใช้สายตัวนำไฟฟ้าขนาดใหญ่ 1 เส้น ต่อเฟส จะใช้สายตัวนำไฟฟ้าที่เป็นสายย่อย 2 เส้น หรือมากกว่าแทน สายส่งประเภทนี้เรียกว่า “สายตัวนำไฟฟ้าร่วม” เพื่อส่งกำลังไฟฟ้าได้มากขึ้น และลดค่าความสูญเสียในสายส่ง เนื่องจากโครงสร้างในการวางตัวของสายตัวนำไฟฟ้าย่อย (Sub Conductor) ในแต่ละเฟสของสายตัวนำไฟฟ้าร่วมแตกต่างจากสายตัวนำไฟฟ้าเดี่ยว ดังนั้น การหาค่า L และ C ของสายส่งประเภทนี้จึงต้องคำนึงถึง GMD (Geometric Mean Distance) ร่วมระหว่างเฟสที่วัดจากจุดศูนย์กลางของกลุ่มสายตัวนำไฟฟ้า(D_m) และ GMD ร่วมระหว่างสายตัวนำไฟฟ้าย่อยของแต่ละเฟส (D_b) ค่า D_b ที่ใช้ในการหาค่า L (กำหนดให้เป็น D_{bl}) และค่า D_b ที่ใช้ในการหาค่า C (กำหนดให้เป็น D_{bc}) ทำให้ค่าความเหนี่ยวนำที่ได้จากกรณีของสายตัวนำไฟฟ้าร่วมเป็นความเหนี่ยวนำเฉลี่ย (L_a) หาได้จาก

$$L_a = 2\times10^{-7}\ln\frac{D_m}{D_{bl}} \quad \text{H/m} \tag{7}$$

ส่วนความจุไฟฟ้าถึงสายนิวทรัลของสายตัวนำไฟฟ้าร่วมหาค่าได้ดังนี้

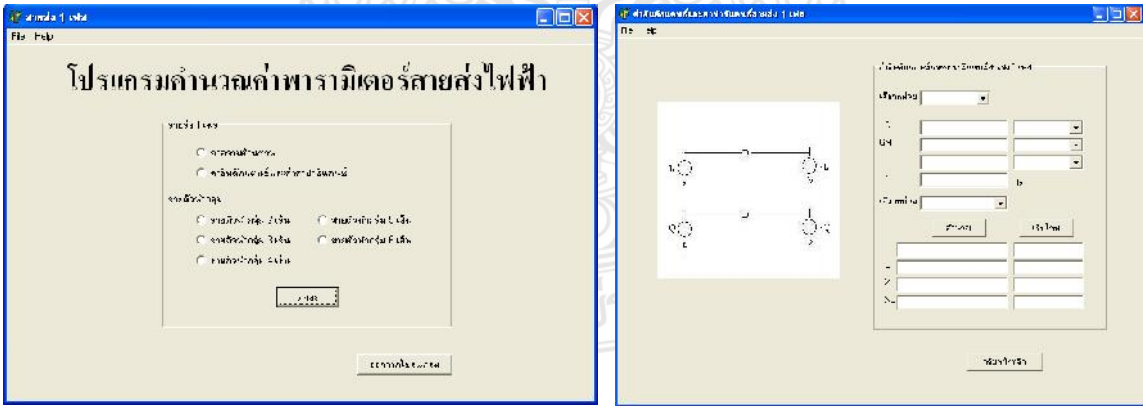
$$C_n = \frac{2\pi\times8.85\times10^{-12}}{\ln\left(\frac{D_m}{D_{bc}}\right)} \quad \text{F/m} \tag{8}$$

2.5 ความเหนี่ยวนำและความจุไฟฟ้าของสายส่ง 3 เฟสวงจรคู่ (Double Circuit)

สายส่งกำลังไฟฟ้าวงจรคู่จะเป็นวงจรขนานกันที่อยู่บนโครงเสาส่งต้นเดียวกัน การจัดวางตำแหน่งนั้นจะมีลักษณะที่แตกต่างกันออกไปไม่มีลักษณะเฉพาะที่ตายตัว ทั้งในแนวตั้งและแนวนอน การคำนวณหาค่าความเหนี่ยวนำและค่าความจุไฟฟ้า คล้ายกับการหาค่าในระบบไฟฟ้า 3 เฟส หากการวางสายตัวนำไฟฟ้าเป็นสายตัวนำไฟฟ้าร่วม ก็นำลักษณะของสายตัวนำไฟฟ้าร่วมมาคำนวณด้วย

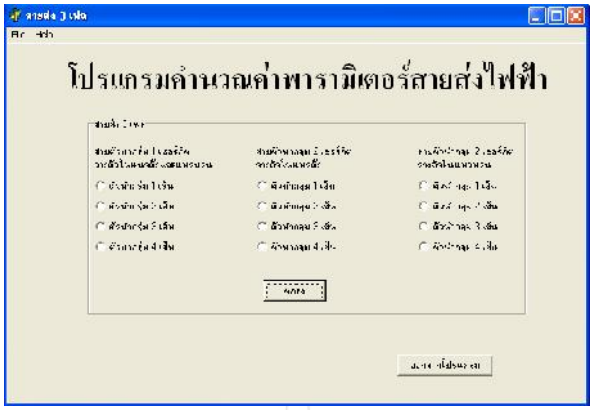
2.6 การคำนวณค่าพารามิเตอร์สายส่งไฟฟ้าโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์

การคำนวณค่าพารามิเตอร์สายส่งไฟฟ้าโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์เขียนขึ้นโดยใช้โปรแกรมเดลไฟในรูปแบบกราฟิกเพื่อให้ง่ายต่อการใช้งาน ซึ่งโปรแกรมเดลไฟประกอบด้วยเครื่องมือชนิดต่างๆ ที่ช่วยให้การเขียนโปรแกรมทำได้สะดวก จัดเป็นเครื่องมือเขียนโปรแกรมชนิดการทำโปรแกรมด้วยภาพ (Visual Programming) และสามารถสร้างแอพพลิเคชันได้อย่างรวดเร็ว (Rapid Application Development) (สัจจะ จรัสรุ่งรวีวร และจักรพงษ์ สุขประเสริฐ, 2546) โปรแกรมคำนวณค่าพารามิเตอร์สายส่งไฟฟ้า แบ่งออกเป็น 2 กลุ่มคือ 1) การคำนวณค่าพารามิเตอร์สายส่งไฟฟ้า 1 เฟส ผู้ใช้สามารถเลือกคำนวณค่าพารามิเตอร์ทั้งสายตัวนำเดี่ยวและตัวนำกลุ่ม แสดงในรูปที่ 3

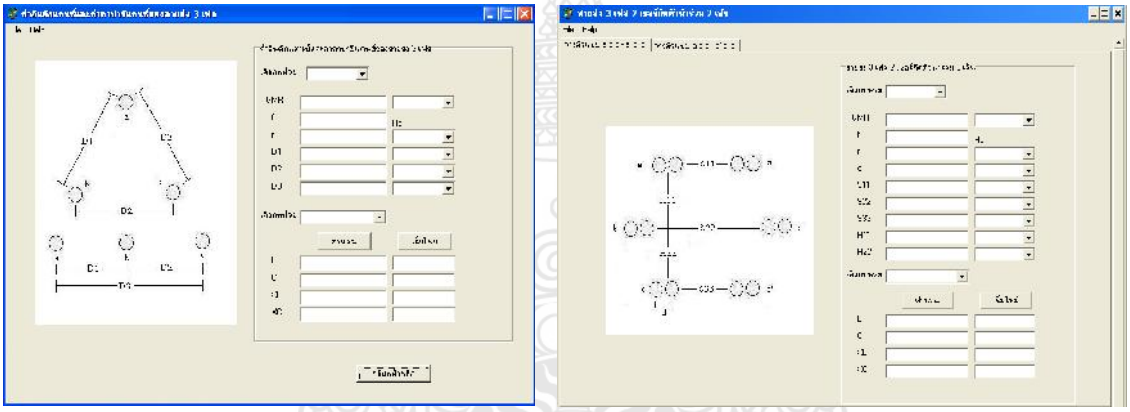


รูปที่ 3 หน้าต่างคำนวณค่าพารามิเตอร์สายส่งไฟฟ้า 1 เฟส

การคำนวณค่าพารามิเตอร์สายส่งไฟฟ้า 3 เฟส ซึ่งผู้ใช้สามารถเลือกคำนวณค่าพารามิเตอร์ทั้งสายตัวนำไฟฟ้าเดี่ยว สายตัวนำไฟฟ้ากลุ่ม 1 วงจร หรือ 2 วงจร ดังแสดงในรูปที่ 4-5



รูปที่ 4 หน้าต่างคำนวณค่าพารามิเตอร์สายส่งไฟฟ้า 3 เฟส

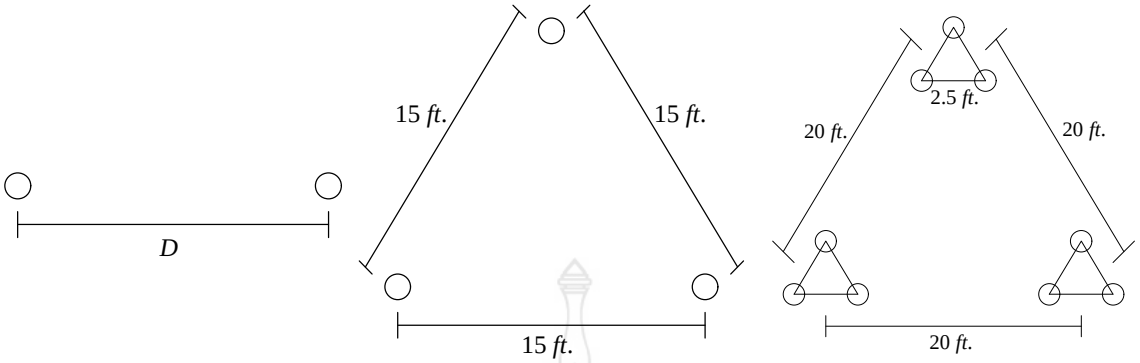


ก) 1 วงจร ข) 2 วงจร

รูปที่ 5 หน้าต่างคำนวณค่าพารามิเตอร์สายส่งไฟฟ้า 3 เฟส 1 วงจรและ 2 วงจร

3. ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

การทดสอบผลการคำนวณจากโปรแกรมคำนวณค่าพารามิเตอร์สายส่งไฟฟ้าที่ได้จัดทำขึ้น โดยการเปรียบเทียบผลกับ Hadi Saadat (2542) และการคำนวณด้วยมือ เพื่อยืนยันความถูกต้องของการคำนวณ โดยใช้ค่าพารามิเตอร์ของสายตัวนำไฟฟ้าตามมาตรฐานและวางสายตัวนำไฟฟ้าแสดงในรูปที่ 6 ซึ่งรูปที่ 6(ก) เป็นการวางสายตัวนำไฟฟ้า 1 เฟส รูปที่ 6(ข) การวางสายตัวนำไฟฟ้า 3 เฟส 1 เส้นต่อเฟส และรูปที่ 6(ค) การวางสายตัวนำไฟฟ้า 3 เฟส 3 เส้นต่อเฟส ผลการทดสอบดังแสดงในตารางที่ 1 - 3 แสดงให้เห็นว่า ผลจากการคำนวณจากโปรแกรมคำนวณค่าพารามิเตอร์สายส่งไฟฟ้าที่ได้จัดทำขึ้นมีความถูกต้อง สามารถเปลี่ยนหน่วยของค่าพารามิเตอร์ได้ มีการใช้งานสะดวก และสามารถเข้าใจง่าย



ก) สายตัวนำไฟฟ้า 1 เฟส ข) สายตัวนำไฟฟ้า 3 เฟส 1 เส้นต่อเฟส ค) สายตัวนำไฟฟ้า 3 เฟส 3 เส้นต่อเฟส

รูปที่ 6 การวางสายตัวนำไฟฟ้า

ตารางที่ 1 การคำนวณหาค่าความเหนี่ยวนำและค่าความจุของสายตัวนำไฟฟ้า 1 เฟส

ชนิดสายตัวนำ	ระยะห่าง D (ft.)	ค่าพารามิเตอร์	Hadi Saadat (2542)	คำนวณด้วยมือ	คำนวณด้วยโปรแกรมที่ทำขึ้นเอง
MATIN	15	L (H/m)	1.149×10^{-6}	1.149×10^{-6}	1.149×10^{-6}
		C (F/m)	1.005×10^{-11}	1.005×10^{-11}	1.005×10^{-11}
BITTERN	20	L (H/m)	1.221×10^{-6}	1.221×10^{-6}	1.221×10^{-6}
		C (F/m)	9.46×10^{-12}	9.46×10^{-12}	9.46×10^{-12}
BLUEJAY	30	L (H/m)	1.316×10^{-6}	1.316×10^{-6}	1.316×10^{-6}
		C (F/m)	8.757×10^{-12}	8.757×10^{-12}	8.757×10^{-12}

ตารางที่ 2 การคำนวณหาค่าความเหนี่ยวนำและค่าความจุของสายตัวนำไฟฟ้า 3 เฟส จำนวน 1 เส้นต่อเฟส

ชนิดสายตัวนำ	ค่าพารามิเตอร์	Hadi Saadat (2542)	คำนวณด้วยมือ	คำนวณด้วยโปรแกรมที่ทำขึ้นเอง
ORTOLAN	L (H/m)	1.1849×10^{-6}	1.1849×10^{-6}	1.1840×10^{-6}
	C (F/m)	9.8000×10^{-12}	9.7650×10^{-12}	9.7650×10^{-12}
CARDINAL	L (H/m)	1.1839×10^{-6}	1.1839×10^{-6}	1.1830×10^{-6}
	C (F/m)	9.7000×10^{-12}	9.7431×10^{-12}	9.7430×10^{-12}
RAIL	L (H/m)	1.1931×10^{-6}	1.1930×10^{-6}	1.1930×10^{-6}
	C (F/m)	9.7000×10^{-12}	9.6980×10^{-12}	9.6900×10^{-12}

ตารางที่ 3 การคำนวณหาค่าความเหนี่ยวนำและค่าความจุของสายตัวนำไฟฟ้า 3 เฟส จำนวน 3 เส้นต่อเฟส

ชนิดสายตัวนำ	ค่าพารามิเตอร์	Hadi Saadat (2542)	คำนวณด้วยมือ	คำนวณด้วยโปรแกรมที่ทำขึ้นเอง
ORTOLAN	L (H/m)	6.9140×10^{-7}	6.9141×10^{-7}	6.9140×10^{-7}
	C (F/m)	1.6400×10^{-11}	1.6450×10^{-11}	1.6400×10^{-11}
CARDINAL	L (H/m)	6.9110×10^{-7}	6.9110×10^{-7}	6.9100×10^{-7}
	C (F/m)	1.6400×10^{-11}	1.6420×10^{-11}	1.6420×10^{-11}
RAIL	L (H/m)	6.9410×10^{-7}	6.9410×10^{-7}	6.9410×10^{-7}
	C (F/m)	1.6400×10^{-11}	1.6380×10^{-11}	1.6380×10^{-11}

4. สรุป

โปรแกรมคำนวณค่าพารามิเตอร์สายส่งไฟฟ้า สามารถคำนวณค่าความต้านทาน ค่าความเหนี่ยวนำ และค่าความจุของสายตัวนำไฟฟ้า ทั้งระบบสายส่งไฟฟ้า 1 เฟสและ 3 เฟสในวงจรเดี่ยวและวงจรคู่ ทั้งสายตัวนำไฟฟ้าเดี่ยวและสายตัวนำไฟฟ้ากลุ่ม อีกทั้งสามารถเปลี่ยนหน่วยของค่าพารามิเตอร์ ซึ่งรูปแบบของโปรแกรมแสดงผลแบบกราฟิกเพื่อให้ง่ายต่อการใช้งาน ซึ่งผู้ใช้งานสามารถเปิดโปรแกรมใช้งานได้โดยตรง ไม่ต้องติดตั้งโปรแกรม

5. เอกสารอ้างอิง

Hadi Saadat. 2542. **Power System Analysis**. New York : McGraw-Hill.

มงคล ทองสงคราม. 2543. **การส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า**. กรุงเทพฯ : ห้างหุ้นส่วนจำกัด วี.เจ. พริ้นติ้ง.

ชัด อินทะสี. 2540. **การส่งและจ่ายกำลังไฟฟ้า**. กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดยูเคชั่น.

ปณิธิ แสนจิตร และศรศักดิ์ โชติเวทย์เมธากุล. 2554. **โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับออกแบบระบบไฟฟ้าอาคารชุด**. การประชุมเครือข่ายวิชาการวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 3. หน้า 163-166.

ปณิฐิ แสนจิตร และอำนาจ ผัดวัง. 2555. **โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับคำนวณแรงดันตกในระบบไฟฟ้า**. การประชุมเครือข่ายวิชาการวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 4. หน้า 164-167.

ปณิธิ แสนจิตร และวันไชย คำเสน. 2552. **การออกแบบวงจรไฟฟ้าสำหรับเครื่องเชื่อมไฟฟ้าด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์**. การประชุมสัมมนาวิชาการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลวิชาการ ครั้งที่ 2. เล่มที่ 2. หน้า 551-561.

ปณิธิ แสนจิตร และวันไชย คำเสน. 2553. **การออกแบบวงจรไฟฟ้าสำหรับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์**. การประชุมเครือข่ายวิชาการวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 2. หน้า 457-460.

สัจจะ จรัสรุ่งรวีวร และจักรพงษ์ สุขประเสริฐ. 2546. **เริ่มต้นอย่างมืออาชีพด้วย Delphi 7 ฉบับสมบูรณ์**. นนทบุรี : อินโฟเพรส.

สมศักดิ์ ล้อพรหม. 2543. **การคำนวณค่าพารามิเตอร์สายส่งโดยโปรแกรม Mathcad**. เชียงใหม่. สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตภาคพายัพ.