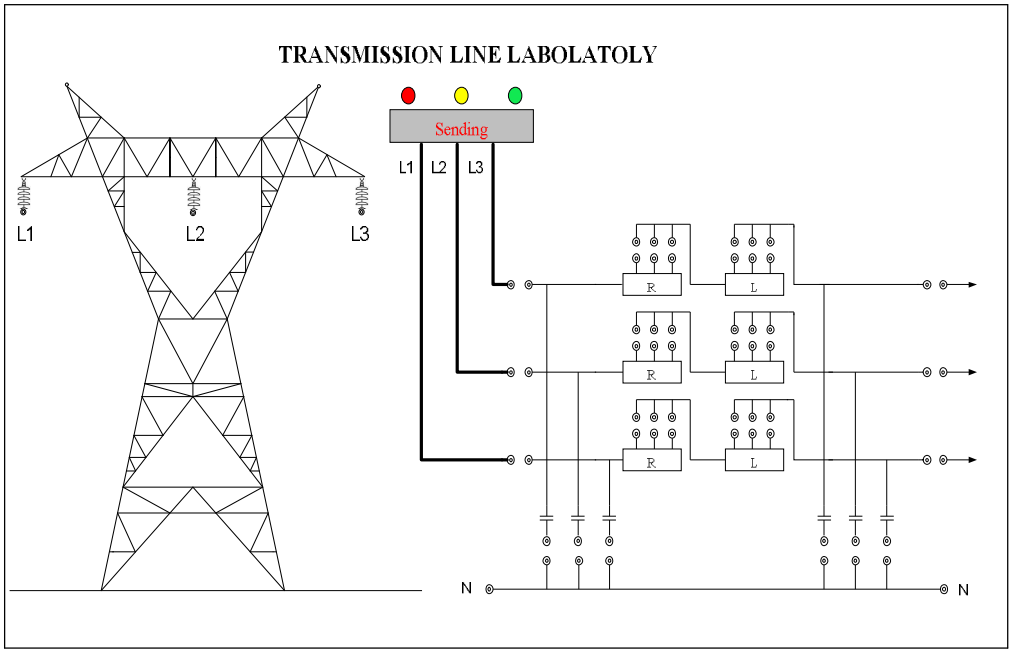
บทที่ 3

การออกแบบและการจำลองโครงงาน

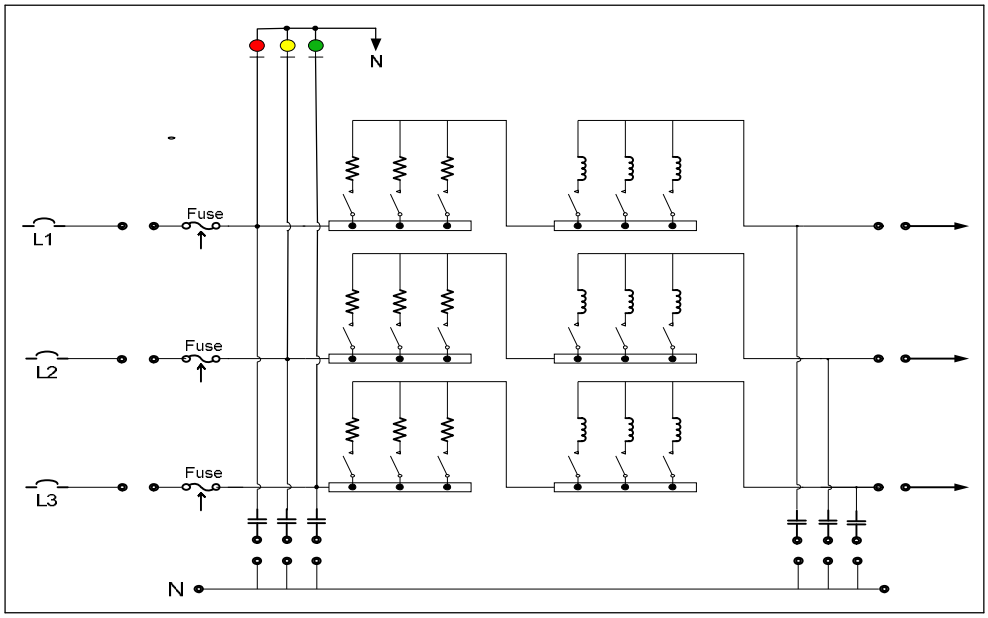
3.1 การออกแบบชุดปฏิบัติสายส่งไฟฟ้ากำลัง

ในการออกแบบชุดปฏิบัติการสายส่งไฟฟ้ากำลังนั้น ผู้จัดทำได้ทำการออกแบบรูปร่างของชุดปฏิบัติการ โดยเน้นเรื่องการมองชุดปฏิบัติการแล้วนึกภาพได้ชัดเจนว่า การทำงานหรือลักษณะการทำงาน การวางสายเฟสของาสายส่งไฟฟ้านั้น เป็นลักษณะอย่างไร ร่วมไปถึงการทำการวัดค่ากระแส- แรงดัน- กำลังงานไฟฟ้า ทั้งต้นทางและปลายทางของสายส่งไฟฟ้ากำลัง ก็สามารถเรียนรู้ด้วยต้นเองด้วยชุดปฏิบัติการชุดนี้ ดังแสดงในภาพที่ 3.1



ภาพที่ 3.1 ชุดปฏิบัติการสายส่งไฟฟ้ากำลัง

ค่าพารามิเตอร์ R L C และโหลด จะเป็นค่าเดียวกันกับที่ใช้ในชุดปฏิบัติการสายส่งไฟฟ้ากำลังที่มีอยู่ในห้องปฏิบัติการไฟฟ้ากำลัง มหาวิทยาลัยศรีปทุม ทั้งนี้ผู้จัดทำยังได้ออกแบบวงจรของชุดปฏิบัติการชุดนี้ไว้คร่าวๆแล้วเพื่อที่จะเอาไปใช้ในโครงงาน 2 ต่อไป ดังแสดงในภาพที่ 3.2



ภาพที่ 3.2 วงจรของชุดปฏิบัติการสายส่งไฟฟ้ากำลัง

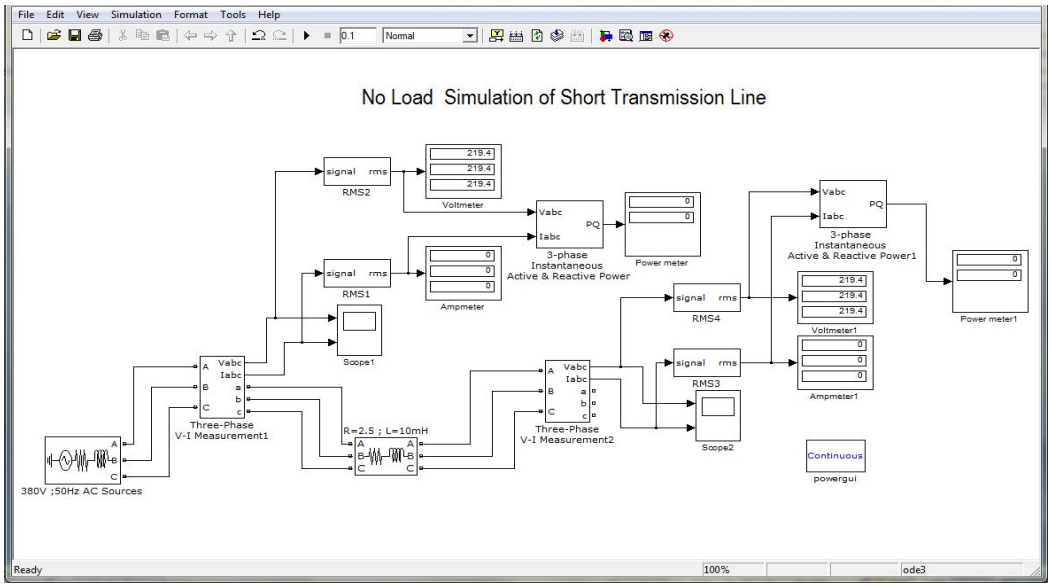
3.2 การจำลองชุดปฏิบัติการสายส่งไฟฟ้ากำลัง

ในการทำชุดปฏิบัติสายส่งไฟฟ้ากำลัง ผู้จัดทำโครงงานได้สร้างแบบจำลองขึ้นเพื่อที่จะศึกษาพฤติกรรมของแรงดันและกระแส โดยการใช้โปรแกรม MATLAB Simulate ในการ Simulate ผู้จัดทำได้จำลองสายส่งใน 2 ระยะ คือสายส่งระยะสั้น และสายส่งระปานกลาง โดยทำการจำลองใน 2 กรณีคือ กรณีมีโหลด และ ไม่มีโหลด เพื่อที่จะได้เห็นพฤติกรรมของกระแสและแรงดันอย่างชัดเจนในกรณีดังกล่าว

3.2.1 การจำลองสายส่งส่งไฟฟ้ากำลังระยะสั้น

สายส่งไฟฟ้ากำลังระยะสั้นซึ่งมีความยาวต่ำกว่า 80 Km หรือแรงไฟฟ้าต่ำกว่า 69 KV โดยทั่วไปสายส่งประเภทนี้จะมีผลจากตัวเก็บประจุต่ำมาก ดังนั้นแบบจำลองของสายส่งจึงประกอบด้วยความต้านทาน และความเหนี่ยวนำของสายส่งไฟฟ้ากำลังเท่านั้น

- **การจำลองสายส่งไฟฟ้ากำลังที่ไม่มีโหลด** ผู้จัดทำโครงงานได้ใช้แหล่งจ่ายแรงดันที่ใช้ในห้องปฏิบัติการไฟฟ้ากำลัง คือ 380 V_{LL} และ ค่าอิมพีแดนซ์ของสายส่งทั้ง 3 เฟส Z = 2.5+j3.14Ω. การจำลองแสดงในภาพที่ 3.3

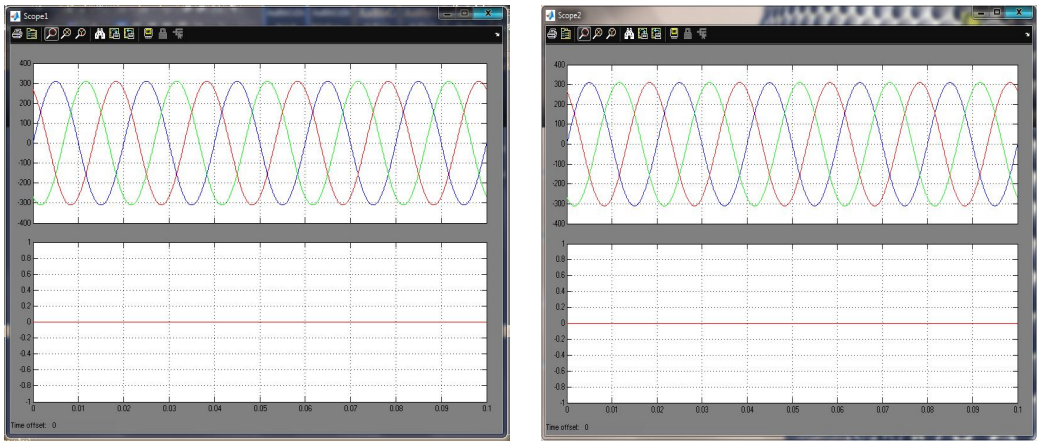


ภาพที่ 3.3 การ Simulate ของสายส่งระยะสั้นขณะไม่มีโหลด

เมื่อทำการรันโปรแกรมเสร็จแล้ว เราก็จะสามารถเห็นพฤติกรรมของกระแสและแรงดันของสายส่งไฟฟ้ากำลังระยะสั้นจากการกราฟภาพที่ 3.4ก และ 3.4ข ตามลำดับ

จากกราฟทั้ง 2 สรุปได้ว่าเมื่อสายส่งไฟฟ้าไม่มีการต่อโหลดที่ปลายทาง กระแสที่ต้นทางและปลายทางจะเป็นศูนย์ และแรงดันปลายทางจะเท่ากับแรงดันจากแหล่งจ่าย หรือต้นทางนั้นเอง จากกราฟเป็น

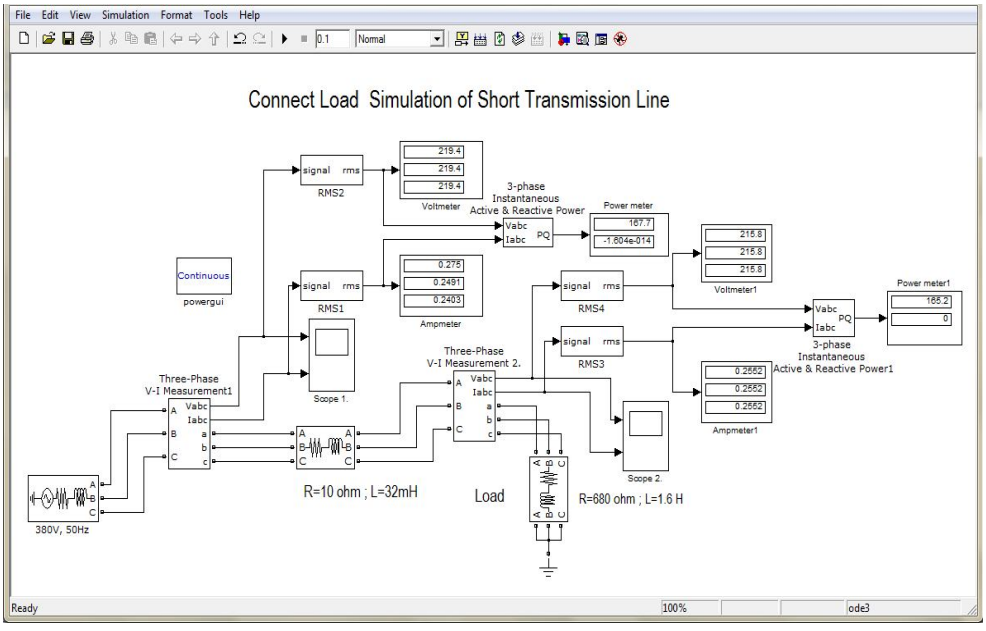
$$V_{rms} = \frac{V_{Peak}}{\sqrt{2}} = \frac{310}{\sqrt{2}} = 219.2 \approx 220\ V_{LN}$$



ก) กราฟแสดงแรงดันและกระแสต้นทางของสายส่ง (ข) กราฟแสดงแรงดันและกระแสปลายทางของสายส่ง

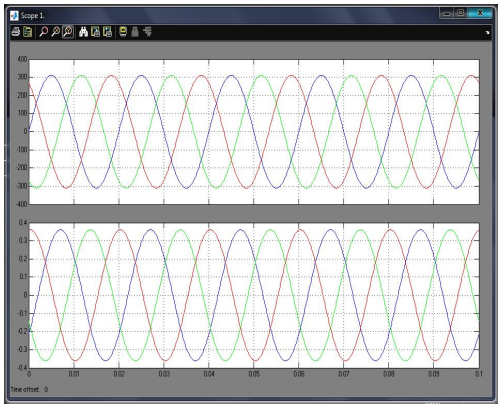
ภาพที่ 3.4 กราฟแสดงแรงดันและกระแสของของสายส่งตามภาพที่ 3.3

- **การจำลองสายส่งไฟฟ้ากำลังขณะรับโหลด** การจำลองชุดปฏิบัติการสายส่งไฟฟ้ากำลังขณะได้รับภาระโหลด ผู้จัดทำได้ใช้ค่าโหลดจากห้องปฏิบัติการไฟฟ้ากำลัง คือ $R = 680\Omega$, $L = 1.6$ H และ ค่าอิมพีแดนซ์ของสายส่งทั้ง 3 เฟสเป็น $Z = 10 + \text{j}10.05\ \Omega/\phi$. การจำลองแสดงในภาพที่ 3.5

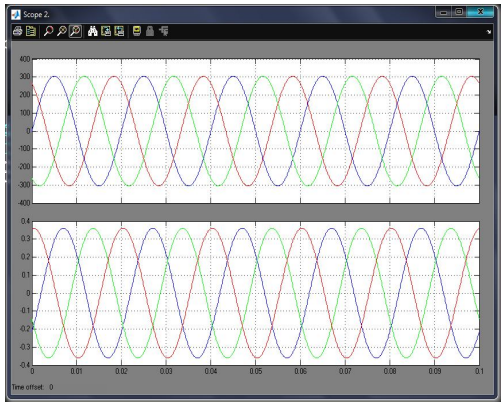


ภาพที่ 3.5 การ Simulate ของสายส่งระยะสั้นขณะรับโหลด

เมื่อทำการรันโปรแกรมเสร็จ จะได้กราฟที่แสดงแรงดันและกระแสของสายส่งไฟฟ้ากำลังระยะสั้นขณะมีภาระโหลด ดังแสดงในภาพที่ 3.6ก และ 3.6ข ตามลำดับ



(ก) เป็นกราฟแสดงแรงดันและกระแสต้นทางของสายส่ง



(ข) เป็นกราฟแสดงแรงดันและกระแสของสายส่ง

ภาพที่ 3.6 กราฟแสดงแรงดันและกระแสของของสายส่งตามภาพที่ 3.5

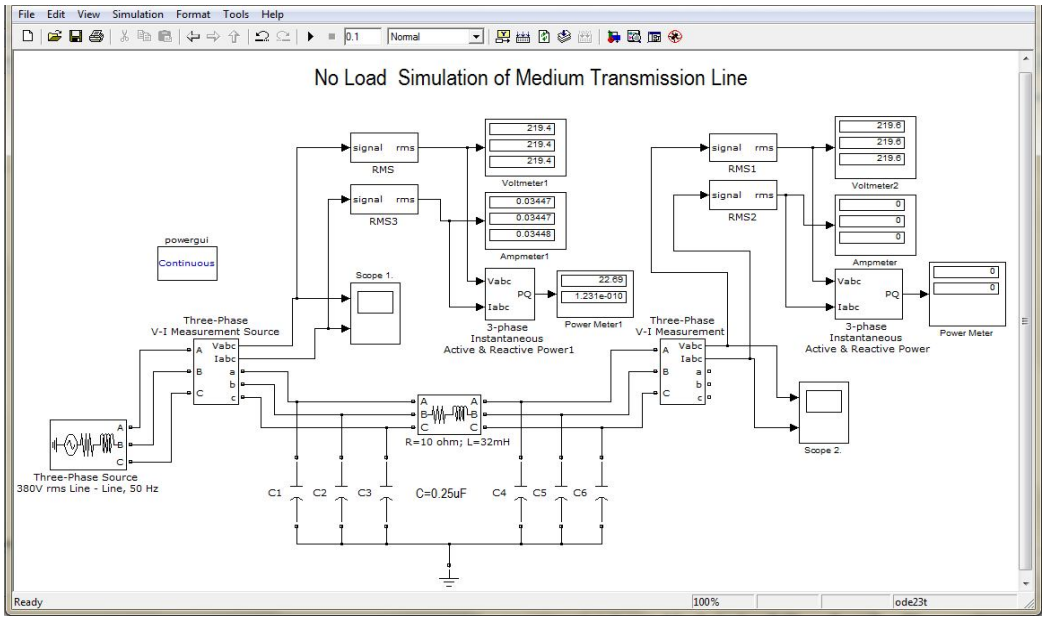
จากกราฟภาพ (ก) อ่านค่าแรงดันและกระแสต้นทางของการจำลองสายส่งไฟฟ้าไฟฟ้ากำลังจาก Scope $V = 310\text{V}_{\text{peak}}$, $I = 0.361\ \text{A}_{\text{peak}}$ ตามลำดับ ดังนั้น ค่าแรงดันและกระแส $I_{rms} = 310/\sqrt{2} = 220\text{V}_{\text{rms,LN}}$; $0.361/\sqrt{2} = 0.255$ A. ตามลำดับ และจากกราฟภาพ (ข) อ่านค่าแรงดันและกระแสปลายทางของการจำลองสายส่งไฟฟ้ากำลังจาก Scope เท่ากับ $V = 305\text{V}_{\text{peak}}$, $I = 0.361$ A. ตามลำดับ ดังนั้นแรงดัน $V_{rms,LN}$ และกระแส I_{rms} มีค่าเท่ากับ $305/\sqrt{2} = 215.66\text{V}_{\text{rms,LN}}$ และ $I = 0.361/\sqrt{2} = 0.255$ A ตามลำดับ

3.2.2 การจำลองสายส่งไฟฟ้ากำลังระยะปานกลาง

สายส่งระยะปานกลางโดยทั่วไปแล้วมีความยาวระหว่าง 80 ถึง 250 กิโลเมตร สำหรับสายส่งประเภทนี้เราจะคำนึงถึงผลของความจุไฟฟ้าต่อขนานเพื่อความถูกต้องโดยจะทำการแบ่งครึ่งความจุไฟฟ้ารวมทั้งหมดของสายส่ง จากนั้นทำเสมือนต่อความจุไฟฟ้าที่แบ่งครึ่งดังกล่าวไว้ที่ปลายแต่ละด้านของสายส่ง ดังนั้นผู้จัดทำจึงได้จำ Simulate เพื่อศึกษาพฤติกรรมของแรงดันและกระแส

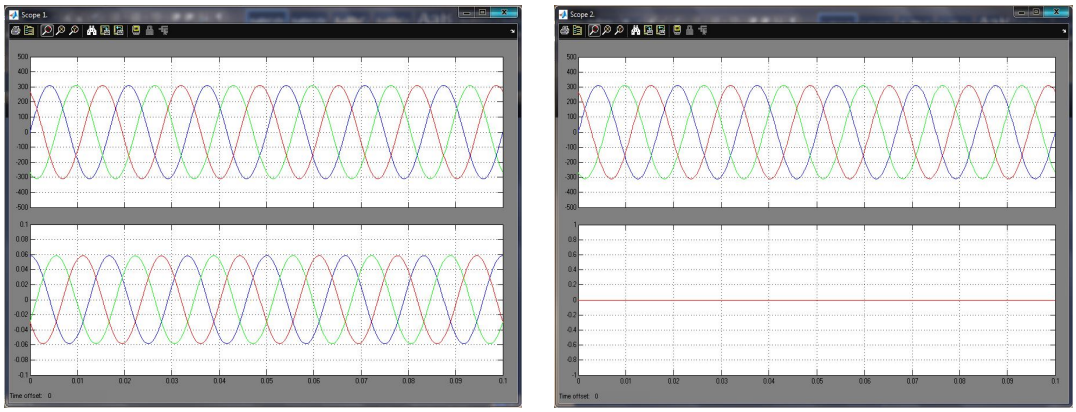
ของสายส่งไฟฟ้ากำลัง โดยทำการ Simulate เหมือนการจำลองสายส่งขณะไม่มีโหลด และมีโหลด และใช้แหล่งจ่ายแรงดันและโหลดเหมือนการจำลองสายส่งระยะสั้น

- **การจำลองสายส่งขณะไม่มีโหลด** การจำลองสายส่งไฟฟ้ากำลังขณะไม่มีการต่อโหลด นี้ กำหนดให้แหล่งจ่ายต้นทางเป็น $380\ V_{LL}$ ค่าอิมพีแดนซ์ของสายส่งทั้ง 3 เฟสเป็น $Z = 10 + j10.05\ \Omega/\phi$. แล้วทำการวัดกระแสและแรงดันทั้งต้นทางและปลายทางของสายส่ง ดังแสดงภาพที่ 3.7



ภาพที่ 3.7 การจำลองสายส่งระยะปานกลางขณะไม่มีโหลด

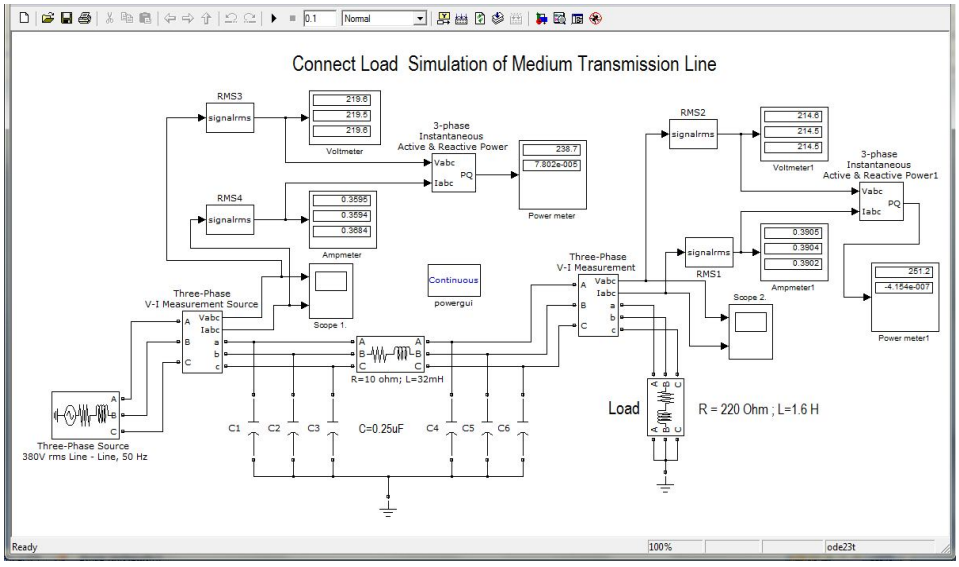
เมื่อโปรแกรมรันเสร็จจะเห็นค่ากระแสและแรงดันจากต้นทางและปลายทาง จาก Scope ในภาพที่ 3.8 ซึ่งจากกราฟภาพ ก. เป็นพฤติกรรมของกระแสและแรงดันจากแหล่งจ่ายหรือต้นทาง ซึ่งแรงดันจากอ่านค่าจาก Scope ก็คือแรงดันจากแหล่งจ่ายนั้นเอง คือ $220\ V_{LN}$ และกระแสอ่านได้เป็น $0.0586_{peak}/\sqrt{2} = 0.0414\ A_{rms}$ และจากกราฟภาพ ข. จะเห็นว่าแรงดันปลายทางจะเท่ากับแรงดันจากต้นทาง หรือแหล่งจ่าย และกระแสปลายทางจะมีค่าเป็น 0 A เมื่อไม่มีการต่อโหลด



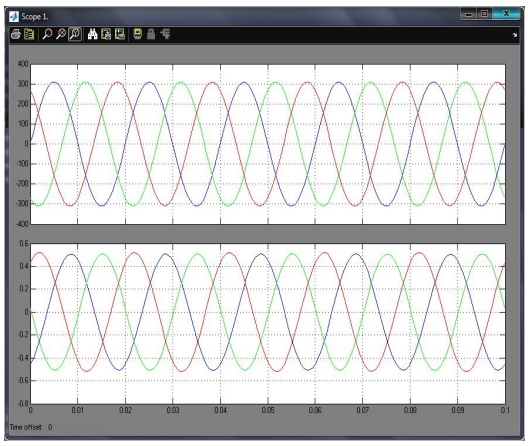
(ก) แรงดันและกระแสต้นทางของสายส่ง (ข) แรงดันและกระแสปลายทางของสายส่ง

ภาพที่ 3.8 กราฟแสดงแรงดันและกระแสของของสายส่งตามภาพที่ 3.7

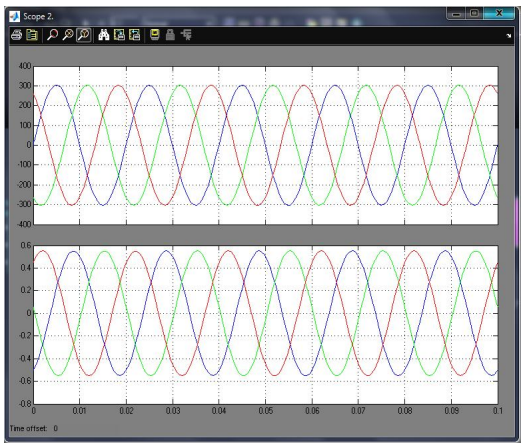
- **การจำลองสายส่งขณะที่มีโหลดต่ออยู่** การ Simulate ขณะที่สายส่งได้ต่อโหลดอยู่ จะใช้ค่าโหลดที่มีอยู่ในห้องปฏิบัติการไฟฟ้ากำลัง ซึ่งเป็นโหลด *R, L* มีค่าเท่ากับ *220* Ohm และ *1.6* H ตามลำดับ อิมพีแดนซ์ของสายส่งทั้ง 3 เฟสและแรงดันจากแหล่งจ่าย หรือแรงดันต้นทางเป็นค่าดังแสดงในภาพที่ 3.9



ภาพที่ 3.9 การจำลองสายส่งไฟฟ้ากำลังขณะต่อโหลด



(ก) เป็นกราฟแสดงแรงดันและกระแสต้นทางของสายส่ง



(ข) เป็นกราฟแสดงแรงดันและกระแสปลายทางของสายส่ง

ภาพที่ 3.10 กราฟแสดงแรงดันและกระแสของของสายส่งตามภาพที่ 3.9

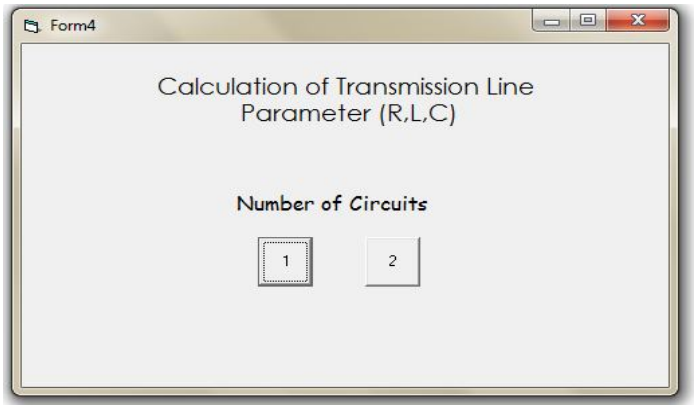
จากกราฟภาพที่ 3.10 (ก) จะเห็นได้ว่าเป็นแรงดันจากแหล่งจ่าย ส่วนกระแสจากแหล่งจ่าย หรือ กระแสต้นทางเป็น $0.52A_{\text{peak}} \div \sqrt{2} = 0.368\text{A}_{\text{rms}}$ เมื่อเปรียบเทียมกับภาพที่ 3.8 (ก) จะเห็นได้ว่ากระแสเมื่อมีการต่อโหลดเกิดขึ้น จะมีค่าเพิ่มขึ้นนั้นเอง และจากภาพ 3.10(ข) แรงดันที่อ่านได้เป็น $302\ \text{V}_{\text{peak}}/\sqrt{2} = 213\text{V}_{\text{rms,LN}}$ เมื่อเปรียบเทียบกับสายส่งที่ไม่มีโหลดจะเห็นได้ชัดว่าสายส่งที่มีการต่อโหลดแรงดันจะลดลงนั้นเอง

3.3 การออกแบบโปรแกรมคำนวณพารามิเตอร์ R LC และค่าตัวแปรคงที่ ABCD

ในหัวข้อนี้เป็นการพูดถึงการใช้โปรแกรมช่วยในการคำนวณค่าพารามิเตอร์ $R\,L\,C$ ของสายส่ง ไฟฟ้ากำลัง ซึ่งเป็นการช่วยในการประหยัดเวลาในการในการคำนวณหาค่าดังกล่าว ซึ่งมีความยุ่งยากซับซ้อนมากน้อยแตกต่างกันไป ในการคำนวณพารามิเตอร์ $R\,L\,C$ ผู้ที่ทำการคำนวณต้องอาศัยความรู้เรื่องสมการเป็นอย่างดี ด้วยเหตุผลนี้ผู้จัดทำจึงได้สร้างโปรแกรมขึ้นมาเพื่อลดปัญหาตรงนั้นออกไป

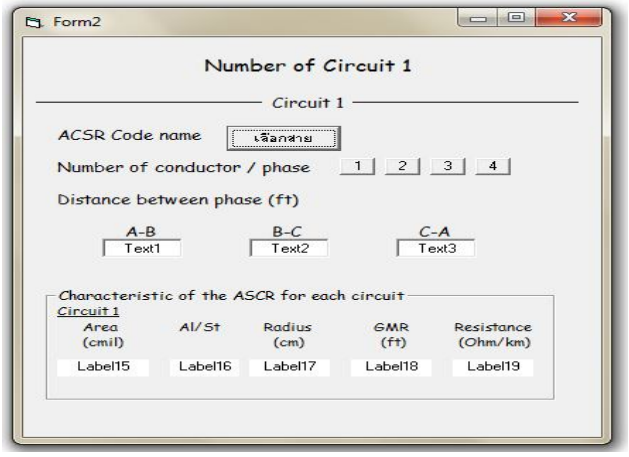
3.3.1 การออกแบบโปรแกรมการคำนวณ

ในที่นี้ผู้จัดทำได้แสดงตัวอย่างการใช้โปรแกรมในการคำนวณ ค่าความเหนี่ยวนำ ความจุไฟฟ้าของสายส่งไฟฟ้ากำลังระยะสั้นและระยะปานกลาง และได้ใช้ตัวอย่างโจทย์จากตำราจากผู้เขียนที่ประสบการณ์มาใช้ในประกอบการคำนวณด้วย



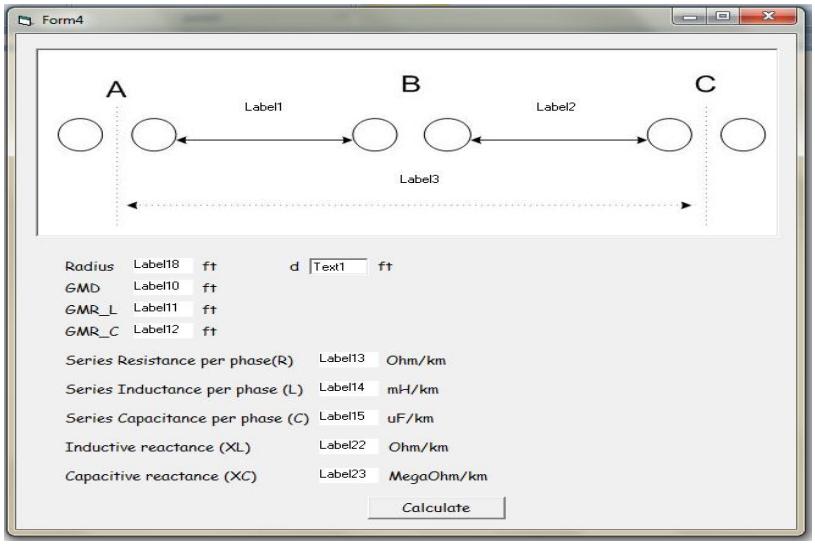
ภาพที่ 3.11 หน้าหลักของโปรแกรมคำนวณ

ภาพที่ 3.11 เป็นการแสดงหน้าต่างโปรแกรมการคำนวณ ซึ่งเป็นการบอกถึงจำนวนของวงจรของสายส่งไฟฟ้ากำลัง ผู้จัดทำได้ทำการออกแบบไว้สองวงจร ปุ่มกดที่ 1 กับ 2 คือจำนวนวงจรที่ออกแบบไว้เมื่อกดปุ่มกดที่ 1 หรือ 2 ก็จะแสดงหน้าต่างการคำนวณของวงจรนั้น ซึ่งจะได้อธิบายในหัวข้อต่อไป



ภาพที่ 3.12 หน้าต่างการคำนวณแบบ 1 วงจร

ในภาพที่ 3.12 เป็นการยกตัวอย่างหน้าต่างการคำนวณพารามิเตอร์ของสายส่งไฟฟ้ากำลัง ซึ่งในหน้าต่างของโปรแกรมจะบอกรายละเอียด เช่น การเลือกชนิดของสายส่งไฟฟ้ากำลัง จำนวนตัวนำต่อเฟส หรือ Bundle ระยะห่างของการวางสายเฟส



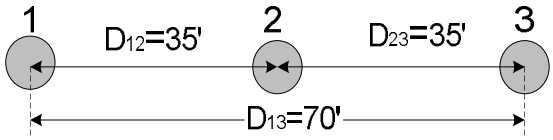
ภาพที่ 3.13 หน้าต่างแสดงผลการคำนวณแบบ 1 วงจร

เมื่อเลือกกดปุ่มที่ 2 จากภาพที่ 3.12 จะแสดงหน้าต่างการแสดงผลการคำนวณของสายไฟฟ้ากำลัง ดังแสดงในภาพที่ 3.13 หน้าต่างนี้จะบอกรายละเอียดเกี่ยวกับการแสดงผลการคำนวณ 1วงจรแบบ Bundle เช่น ระยะห่างของการวางสายเฟส รัศมีตัวนำ ระยะห่างของตัวนำ GMD GMR ค่าความต้านทาน ความเหนี่ยวนำ ความจุไฟฟ้า และค่าริแอคแตนซ์ของสายส่งไฟฟ้ากำลัง เป็นต้น

3.3.2 ตัวอย่างการใช้โปรแกรมการคำนวณ [1]

หัวข้อนี้จะเป็นการยกตัวอย่างการใช้โปรแกรม โดยยกโจทย์ปัญหาจากตำราของผู้มีประสบการณ์มาใช้ในการคำนวณเปรียบเทียบ โดยที่ผู้จัดทำได้กำหนดให้โปรแกรมคำนวณในหน่วยเดียวกันทั้งหมด คือหน่วย เมตร (Ft) ซึ่งผู้จัดทำได้ยกตัวอย่างการคำนวณดังต่อไปนี้

ตัวอย่างที่ 1. สายไฟฟ้า 3 เฟสของระบบแรงดัน 230 kV แต่ละเฟสประกอบด้วยสาย ACSR ขนาด 1,272,000 cmil, 45/7 Bittern ซึ่งจัดเรียงในแนวระนาบดังภาพที่ 4.22 สายไฟฟ้าแต่ละเส้นมีเส้นผ่านศูนย์กลางของตัวนำ 1.345 นิ้วและมีค่า *GMR* 0.5328 นิ้ว จงหาค่าความเหนี่ยวนำและค่าความจุ และค่ารีแอคแตนซ์ทางไฟฟ้าต่อระยะทางกิโลเมตรของสายแต่ละเฟส



ภาพที่ 3.14 สาย 3 เฟส 1 วงจร ตัวนำ 1 เส้น

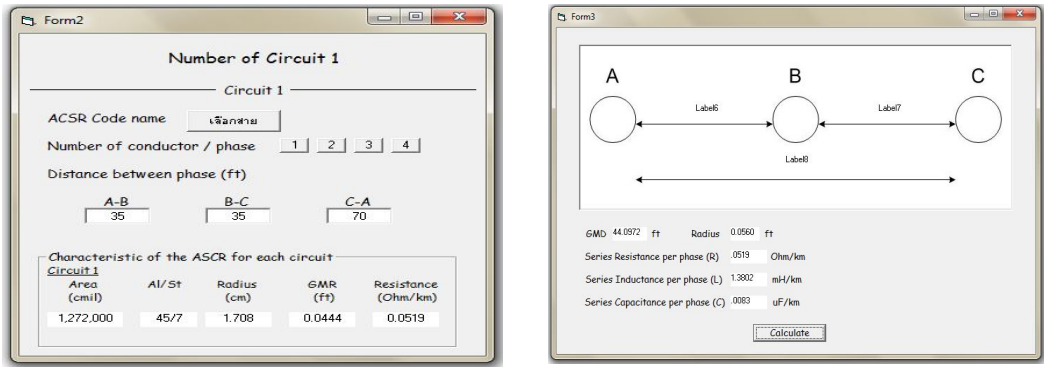
$$\mathrm{r} = \frac{1.345}{2 \times 12} = 0.056 \text{ ft.} \; ; \; \mathrm{GMR_L} = \frac{0.5328}{12} = 0.0444 \text{ ft.}$$

$$GMD = \sqrt[3]{35 \times 35 \times 70} = 44.092 \text{ ft.}$$

$$\therefore Inductance, L = 0.2ln\frac{GMD}{GMR_L} = 0.2ln\frac{44.092}{0.0444} = 1.38 \text{ mH/Km.}$$

$$Capacitance, C = \frac{0.0556}{\ln\frac{\mathrm{GMD}}{\mathrm{r}}} = \frac{0.0556}{\ln\frac{44.092}{0.056}} = 0.0083 \text{ μF/Km.}$$

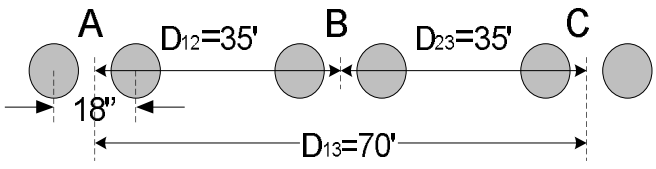
จากตัวอย่างที่ 1. เมื่อใช้โปรแกรมคำนวณจะได้ค่าที่คำตอบออกมาทางหน้าต่างแสดงผลของโปรแกรมดังแสดงในภาพที่ 3.15



(ก) หน้าต่างโปรแกรมเพื่อป้อนข้อมูลของสายส่ง (ข) หน้าต่างโปรแกรมแสดงผลการคำนวณ

ภาพที่ 3.15 หน้าต่างโปรแกรมการคำนวณจากตัวอย่างที่ 1

ตัวอย่างที่ 2. [1] จากตัวอย่างที่ 1.สายไฟฟ้าในตัวอย่างที่ 3.14 ถูกเปลี่ยนเป็นสายควบคู่ขนาน ACSR ขนาด 636,000 cmil, 54/7 Rook จำนวน 2 สาย ซึ่งมีพื้นที่หน้าตัดของอลูมิเนียมรวมเท่ากับสายตัวนำ Bittern ที่ใช้ในตัวอย่างที่ 1. ระยะห่างของสายไฟฟ้าแต่ละเฟสวัดจากจุดกึ่งกลางของสายคู่ขนานมีค่าเดิมดังแสดงในภาพที่ 3.14 เส้นผ่านศูนย์กลางของตัวนำเท่ากับ 0.977 นิ้ว และมีค่า *Ds* 0.3924 นิ้ว ระยะห่างระหว่างสายคู่ขนานเท่ากับ 18 นิ้ว จงหาค่าความเหนี่ยวนำและค่าความจุและค่ารีแอคแตนซ์ ทางไฟฟ้าต่อระยะทางกิโลเมตรของสายแต่ละเฟสและเปรียบเทียบค่าที่ได้กับตัวอย่างที่ 1



ภาพที่ 3.16 สาย 3 เฟส 1 วงจร แบบ Bundle

วิธีทำ

$$r = \frac{0.977''}{2 \times 24} = 0.0407 \text{ ft.} \; ; \; d = \frac{18''}{12} = 1.5 \text{ ft.} \; ; GMD = 44.097 \text{ ft.} \; ; D_s = \frac{0.3924''}{12} = 0.0327 \text{ ft.}$$

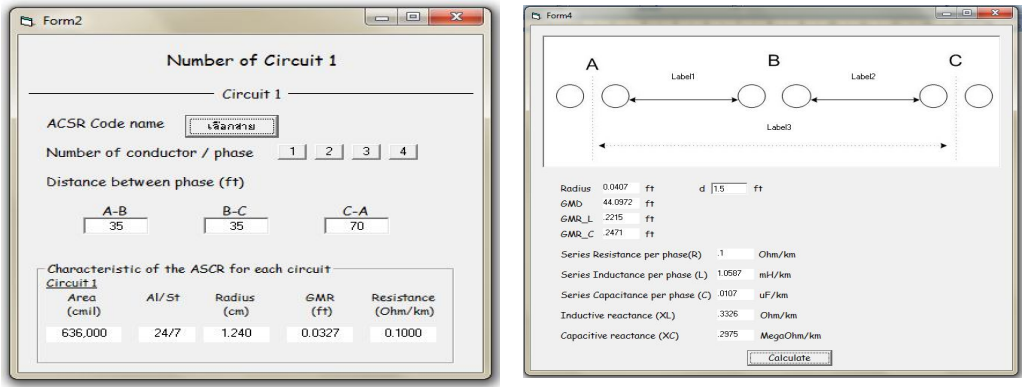
$$GMR_L = \sqrt{\mathrm{d} \times \mathrm{D_s}} = \sqrt{1.5 \times 0.0327} = 0.22147 \text{ ft.}$$

$$GMR_C = \sqrt{1.5 \times 0.0407} = 0.2471 \text{ ft.}$$

$$\therefore Inductance, L = 0.2 \ln \frac{\mathrm{GMD}}{\mathrm{GMR_L}} = 0.2 \ln \frac{44.097}{0.22147} = \mathbf{1.0588 \ mH/Km}.$$

$$Capacitance, C = \frac{0.0556}{\ln \frac{\mathrm{GMD}}{\mathrm{GMR_C}}} = \frac{0.0556}{\ln \frac{44.097}{0.2471}} = \mathbf{0.0107 \quad \mu F/Km}.$$

จากตัวอย่าง 2. เมื่อใช้โปรแกรมคำนวณจะได้จะได้คำตอบที่ต้องการ คำตอบแสดงในหน้าต่างโปรแกรมดังแสดงในภาพที่ 3.17



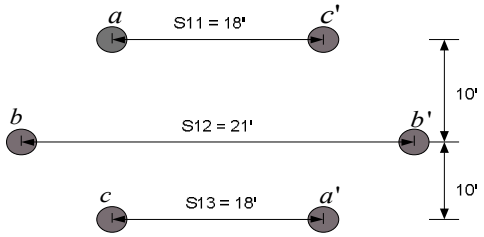
(ก) หน้าต่างโปรแกรมแสดงข้อมูลของสายที่ใช้ในการคำนวณ

(ข) หน้าต่างโปรแกรมแสดงการแสดงผลการคำนวณ

ภาพที่ 3.17 หน้าต่างโปรแกรมการคำนวณจากตัวอย่างที่ 2

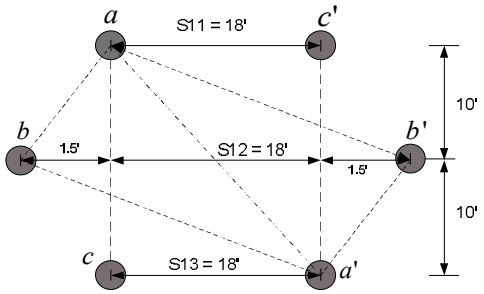
เมื่อเปรียบเทียบกับค่าที่ได้ในตัวอย่างที่ 1 กับตัวอย่างที่ 2.พบว่าความเหนี่ยวนำทางไฟฟ้ามีค่าลดลงเป็น [(1.0588-1.38)/1.38]x100 = 23.3% และค่าความจุทางไฟฟ้ามีค่าเพิ่มขึ้น [(0.0107-0.0083)/0.0083]x100 = 28.9%

ตัวอย่างที่ 3. [3] A 345-KV, 50 Hz double circuit three-phase transposed line is composed of **one ACSR, 3,000,000-cmill 29/7 Ostrich.** Conductor per phase with vertical conductor configuration as show in Figure 3.18. The conductors have a diameter of 0.680 in and GMR or Ds of 0.0229 ft. **Find** the inductance, (*L*) capacitance,(*C*) inductive reactance,(*XL*) and capacitive reactance,(*XC*) per phase per kilometer of the line.



ภาพที่ 3.18 สายส่งไฟฟ้ากำลังแบบ 2 วงจร 1 ตัวนำ

วิธีทำ



$$D_{AB} = \sqrt[4]{D_{ab}D_{ab'}D_{a'b}D_{a'b'}} = \sqrt[4]{10.1 \times 21.9 \times 21.9 \times 10.1} = 14.8724 \text{ ft.}$$

$$D_{BC} = \sqrt[4]{D_{bc}D_{bc'}D_{b'c}D_{b'c'}} = \sqrt[4]{10.1 \times 21.9 \times 10.1 \times 21.9} = 14.8724 \text{ ft.}$$

$$D_{AC} = \sqrt[4]{D_{ac}D_{ac'}D_{a'c}D_{a'c'}} = \sqrt[4]{20 \times 18 \times 18 \times 20} = 18.9736 \text{ ft.}$$

$$\therefore GMD = \sqrt[3]{D_{AB}D_{BC}D_{AC}} = \sqrt[3]{14.8724 \times 14.8724 \times 18.9736} = 16.1301 \text{ ft.}$$

$$D_{SA} = \sqrt{D_S D_{aa'}} = \sqrt{0.0229 \times 26.9072} = 0.7849 \text{ ft.}$$

$$D_{SB} = \sqrt{D_S D_{bb'}} = \sqrt{0.0229 \times 21} = 0.6935 \text{ ft.}$$

$$D_{SC} = \sqrt{D_S D_{cc'}} = \sqrt{0.0229 \times 26.9072} = 0.7849 \text{ ft.}$$

$$\therefore GMR_L = \sqrt[3]{D_{SA} D_{SB} D_{SC}} = \sqrt[3]{0.7849 \times 0.6935 \times 0.7849} = 0.7541 \text{ ft.}$$

$$r = \frac{0.680 \text{ in}}{12 \times 2} = 0.0283 \text{ ft.}$$

$$r_a = \sqrt{r D_{aa'}} = \sqrt{0.0283 \times 26.9027} = 0.8725 \text{ ft.}$$

$$r_b = \sqrt{r D_{bb'}} = \sqrt{0.0283 \times 21} = 0.7710 \text{ ft.}$$

$$r_c = \sqrt{r D_{cc'}} = \sqrt{0.0283 \times 26.9027} = 0.8725 \text{ ft.}$$

$$\therefore GMR_C = \sqrt[3]{r_a r_b r_c} = \sqrt[3]{0.8725 \times 0.8725 \times 0.7710} = 0.8372 \text{ ft.}$$

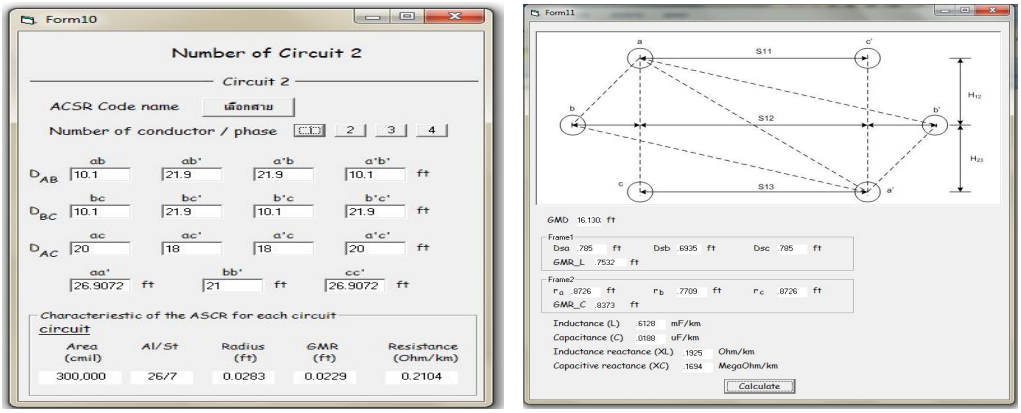
$$\therefore inductance, (L) = 0.2\ln \frac{\text{GMD}}{\text{GMR}_\text{L}} = 0.2\ln \left(\frac{16.1301}{0.7541}\right) = \mathbf{0.6125\ mF/Km}.$$

$$Capacitance, (C) = \frac{0.0556}{\ln \frac{\text{GMD}}{\text{GMR}_\text{C}}} = \frac{0.0556}{\ln \frac{16.1301}{0.8372}} = \mathbf{0.0188\ \mu F/Km}.$$

$$inductive\ reactance, (X_L) = 2\pi \text{fL} = 2\pi \times 50 \times 0.6125 \times 10^{-3} = \mathbf{0.1924\ \Omega/Km}.$$

$$Capacitive\ raactanc, (X_C) = \frac{1}{2\pi \text{fC}} = \frac{1}{2\pi \times 50 \times 0.0188 \times 10^{-6}} = \mathbf{0.1693\ M\Omega/Km}.$$

จากตัวอย่างที่ 3. เมื่อใช้โปรแกรมคำนวณจะได้จะได้คำตอบที่ต้องการ โปรแกรมจะแสดงผลการคำนวณออกทางหน้าต่างโปรแกรมดังแสดงในภาพที่ 3.1



(ก) เป็นการแสดงรายะเอียดและข้อมูลของสายส่ง (ข) เป็นการแสดงผลการคำนวณ

ภาพที่ 3.19 หน้าต่างโปรแกรมการคำนวณจากตัวอย่างที่ 3

จากหน้าต่างโปรแกรมภาพที่ 3.19 (ก) เป็นรายละเอียดของข้อมูลสายส่งไฟฟ้ากำลังเราถือว่าเป็นข้อมูล(Input) เพื่อป้อนค่าให้โปรแกรมคำนวณออกมา สิ่งที่ผู้ใช้โปรแกรมจะต้องทราบก็คือทฤษฎีของสายส่งไฟฟ้ากำลัง เรื่องของวงจรขนานแบบ 3 เฟส ซึ่งมีการสลับสายของสายส่งเพื่อที่จะให้ค่าความเหนี่ยวนำสมดุลกันทุกเฟส ร่วมไปถึงระบบสมการในการแก้ปัญหาเรื่องดังกล่าวด้วย

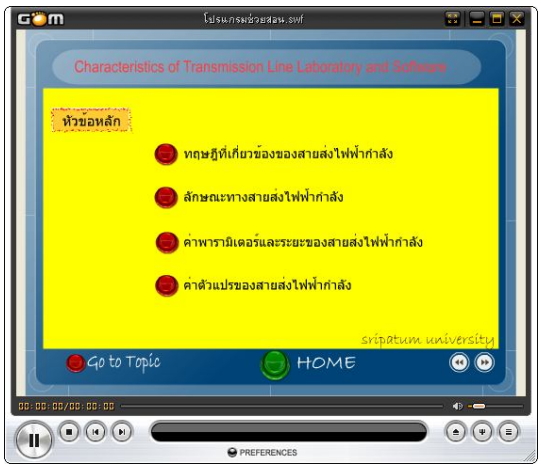
เนื่องจากข้อมูลของสายตัวนำที่แสดงไว้ในตารางคุณสมบัติของสายส่งไฟฟ้ากำลัง ซึ่งใช้ในการแก้ปัญหาในตัวอย่างที่ 1, 2 และ 3 นั้นกำหนดไว้อยู่ในหน่วย นิ้ว หรือ ฟุต ดังนั้นระยะห่างระหว่างตัวนำในตัวอย่างดังกล่าว จึงกำหนดไว้ในหน่วยฟุต ทั้งนี้เพื่อความสะดวกในการคำนวณ

3.4 การออกแบบโปรแกรมช่วยสอน

ในหัวข้อที่ 3.4 จะพูดถึงทฤษฎีการใช้งานของตัวโปรแกรมช่วยสอน ในโครงงานนี้จะใช้โปรแกรมเล่นภาพเคลื่อนไหว Macromedia Flash Player ในงานนำเสนอ เพื่อให้ผู้เรียนได้เห็นภาพการจำลองมากยิ่งขึ้นดังที่กล่าวไปแล้วในตอนต้น หน้าตาของโปรแกรมช่วยสอนได้แสดงไว้ในภาพที่ 3.20

ภาพที่ 3.20 การออกแบบหน้าหลักโปรแกรมช่วยสอน

จากภาพที่ 3.20 หน้าตาของโปรแกรมช่วยสอนจะประกอบไปด้วยหลายเมนู ซึ่งผู้จัดทำได้ทำเมนูเพื่อที่จะให้เข้าถึงทฤษฎี โจทย์ปัญหา แบบทดสอบที่เกี่ยวข้องของสายส่งไฟฟ้ากำลังให้ได้มากที่สุด รวมไปถึงแสดงให้เห็นหลักการทำงาน การออกแบบโครงงานด้วย ซึ่งเมนูที่เห็นบนหน้าจอของโปรแกรมช่วยสอนจะประกอบไปด้วยเมนูคราวๆ คือ หัวข้อหลัก วิดีโอสื่อการสอน สมาชิกภายในกลุ่ม แบบทดสอบหลังเรียนดังแสดงในภาพที่ 2.31



(ก) หัวข้อหลัก

(ข) วิดีโอสื่อการสอน

(ค) สมาชิกภาพในกลุ่ม

(ง) แบบทดสอบหลังเรียน

ภาพที่ 3.21 การออกแบบส่วนต่างๆของโปรแกรมช่วยสอน