

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

- ณรงค์ ทองฉิม พงศ์ภัทร อะสีติรัตน์ และสำรวย สังข์สะอาด. การพัฒนาออกแบบสร้างเครื่องนับฟ้าผ่าซ้ำ. สัมมนาเชิงวิชาการเรื่อง "วิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูงและอีเอ็มซี" 21-22 พฤศจิกายน 2543 ศูนย์เชี่ยวชาญพิเศษเฉพาะด้านเทคโนโลยีไฟฟ้ากำลัง คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2543.
- ธวัชชัย พิเชิตชัยกุล. การพัฒนาเครื่องนับฟ้าผ่าแบบซีเกอร์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2534.
- พงศ์ภัทร อะสีติรัตน์. การพัฒนาเครื่องนับฟ้าผ่าซ้ำ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2540.
- ภูวนารถ ชุณหพราน. โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยออกแบบระบบป้องกันฟ้าผ่าของอาคารทั่วไป. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2543.
- มงคล ทองสงคราม. สนามแม่เหล็กไฟฟ้า. กรุงเทพฯ: วี.เจ.พรินติ้ง, 2541.
- สำรวย สังข์สะอาด. วิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูง. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์, 2547.

ภาษาอังกฤษ

- Anderson, R.B.; Van NieKerk, H.R.; Prentice, S.A.; Mackerras, D. Improved lightning flash counters. *Electra* 66. (October 1979):85-98.
- Cummins, K.L. Lightning Information for use in Power Systems Analysis: How much more do we need to know?. *Transmission and Distribution Conference and Exhibition 2002. Asia Pacific. IEEE/PES Volume 1.* (6-10 Oct. 2002):529 – 533.
- Fedoseev, S.A.; Fedoseev, A.S. Tropical lightning stroke data collected and analyzed by computer based lightning detecting station. *Electromagnetic Compatibility, 2001. EMC. 2001 IEEE International Symposium on Volume 2.* (13-17 Aug 2001):845 – 848.
- Ihlefeld, C.M. Accurate Lightning Location System. MM-G2-A, (321) 867-6747 Dynacs Engineering Co., Inc. (P.J. Medelius and H.J. Simpson), 2001.
- Medelius, P.J. System Locates Lightning Strikes to Within Meters. formerly of I-NET, Inc. for Kennedy Space Center. For further information access the Technical Support Package (TSP), 2001.

Misakian, M. ELF electric and magnetic field measurement methods.

Electromagnetic Compatibility. 1993 IEEE International Symposium on 9-13 Aug.
(1993):150 - 155.

Supatra Bhumiwat. The first year of lightning location in Thailand. **Asian Conference on Electrical Discharge 8.** Bangkok, Thailand. (1996):607-1 - 607-6.

Uman, M.A. **The Lightning Discharge.** San Diego, CA: Academic Press, 1987.

Uman, M.A. Natural lightning. **Industry Applications.** IEEE Transactions on Volume 30.
Issue 3 (May-June 1994):785 - 790.

Wilson, C.T.R. On some determinations of the sign and magnitude of electric discharges in lightning flashes. **Proc. Roy. Soc. A92(1916):** 555-574.

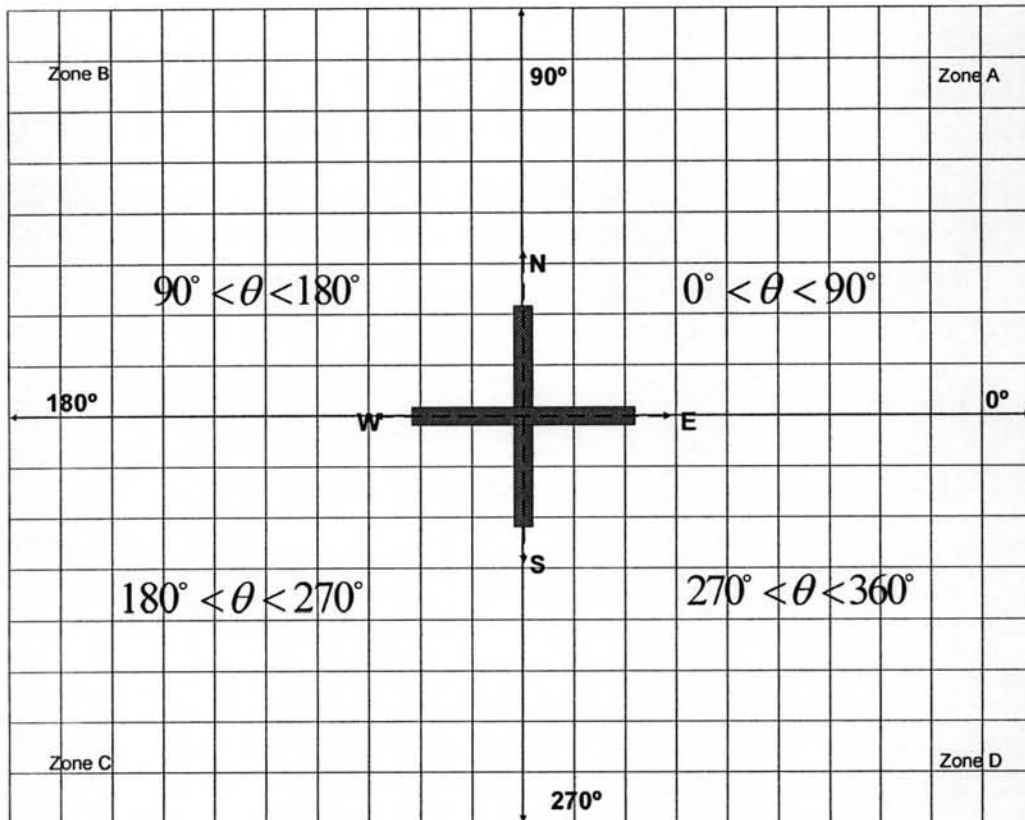
Wilson, C.T.R. Investigations on lightning discharges and on the electric field of thunderstorms. **Phil. Trans. R. Soc. A221(1920):** 73.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก.
วิธีการคำนวณ

การคำนวณหาค่ากระแส

การคำนวณหาค่ากระแสฟ้าผ่าที่ใช้ในการเปรียบเทียบกับผลการทดสอบ มีขั้นตอนในการคำนวณดังนี้ กำหนดพื้นที่ทดสอบออกเป็น 4 ส่วนได้แก่ Zone A, Zone B, Zone C และ Zone D ตามรูปที่ ก.1



รูปที่ ก.1 การแบ่งพื้นที่ทดสอบเป็น 4 ส่วน

เพื่อแยกแยะผลของทิศทางของสนามแม่เหล็กที่แพร่กระจายออกมาจากลัมฟ้าผ่าวิเคราะห์ตามทิศทางและกฎมือขวา เพื่อกำหนดเครื่องหมายในการคำนวณจากสมการ

$$e = N \frac{d\Phi}{dt} \quad (\text{ก.1})$$

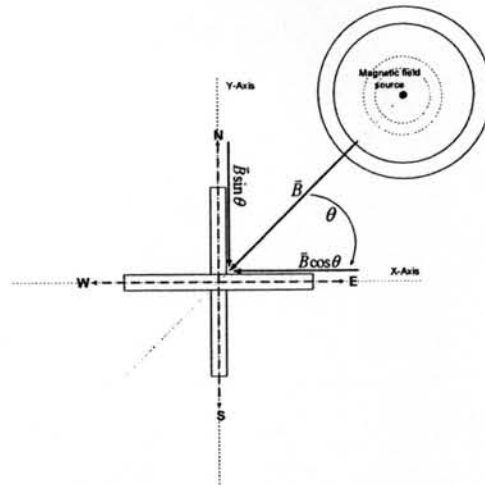
$$\Phi = BA \cos \theta \quad (\text{ก.2})$$

$$e = N \frac{d(BA \cos \theta)}{dt} \quad (\text{ก.3})$$

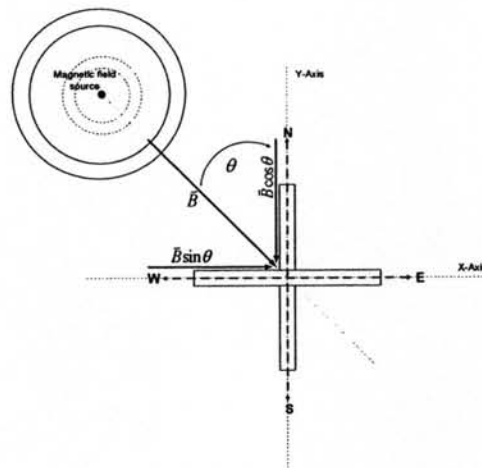
เมื่อ

N คือ จำนวนขดลวด (รอบ)

B คือ ความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็ก (Magnetic flux density; Tesla: T)

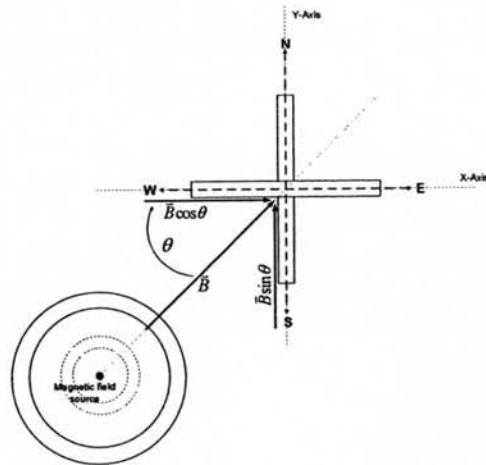
 Φ คือ ฟลักซ์แม่เหล็ก (Magnetic flux; Webers: Wb)A คือ พื้นที่ตั้งฉากกับสนามแม่เหล็ก (m^2)

Zone A

ที่ $\theta = 0^\circ$ จะได้ $\cos \theta = 1$ ที่ $0^\circ < \theta < 90^\circ$ จะได้ $1 > \cos \theta > 0$ 

Zone B

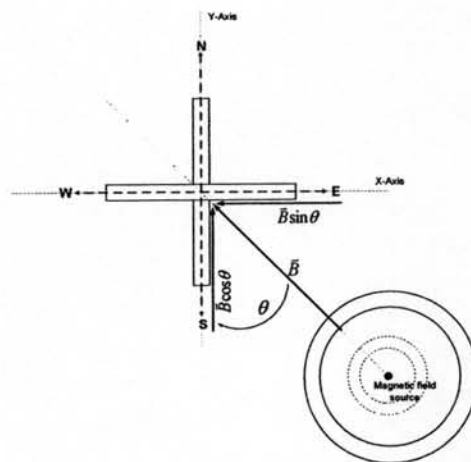
ที่ $\theta = 90^\circ$ จะได้ $\cos \theta = 0$ ที่ $90^\circ < \theta < 180^\circ$ จะได้ $0 > \cos \theta > -1$



Zone C

ที่ $\theta = 180^\circ$ จะได้ $\cos \theta = -1$

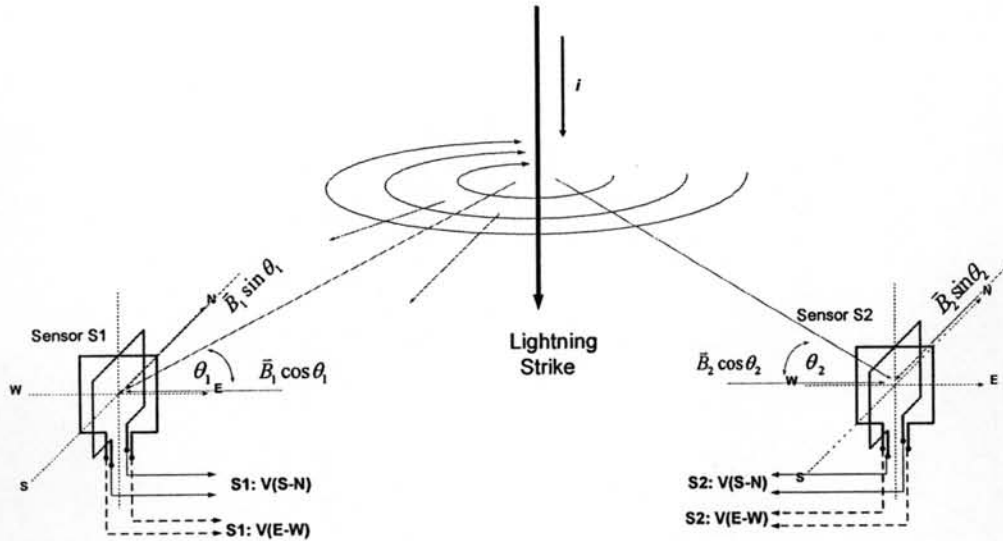
ที่ $180^\circ < \theta < 270^\circ$ จะได้ $-1 < \cos \theta < 0$



Zone D

ที่ $\theta = 270^\circ$ จะได้ $\cos \theta = 0$

ที่ $270^\circ < \theta < 360^\circ$ จะได้ $0 < \cos \theta < 1$



รูปที่ ก.2 แสดงการแพร่กระจายของสนามแม่เหล็ก

จากการแบ่งโซนทั้ง 4 ทิศทางเมื่อทำการปรับมุมของเซ็นเซอร์จาก $0^\circ - 360^\circ$ จะได้ขนาดแรงดันเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นที่ปลายขดลวดของเซ็นเซอร์ในแนวของทิศเหนือ-ใต้ N-S (แทนด้วยแกน Y) และทิศตะวันออก-ตะวันตก E-W (แทนด้วยแกน X) เป็นดังนี้

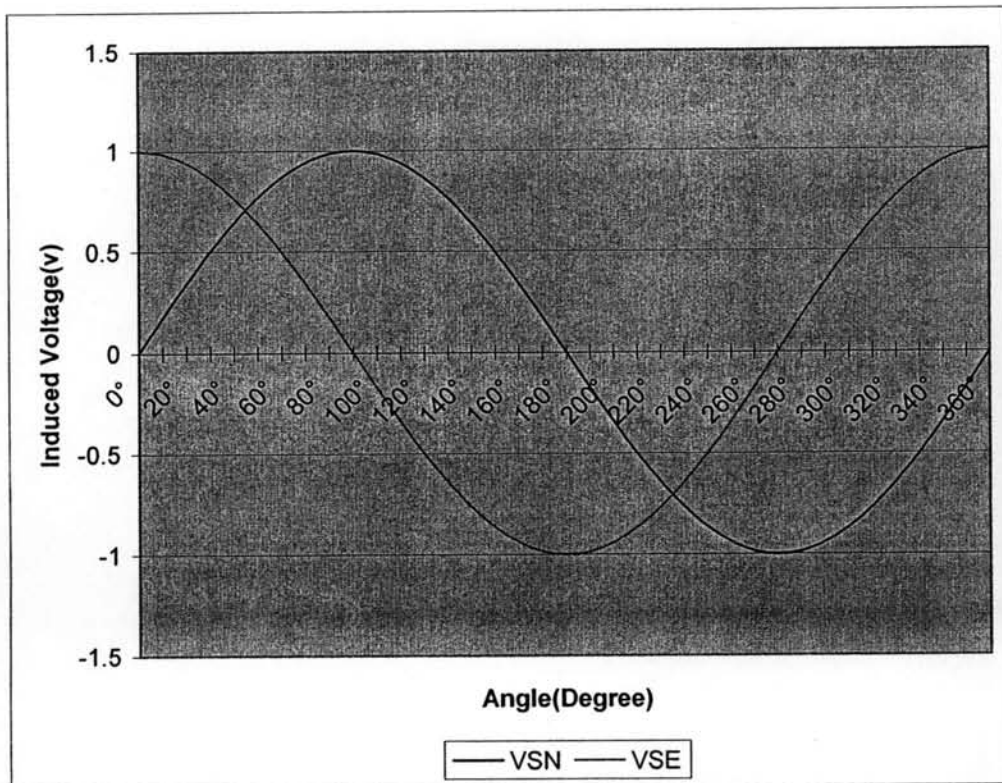
$$eSN = -NBA \frac{d \sin \theta}{dt} \quad (ก.4)$$

$$eSN = -NBA \cos \theta$$

$$eSE = -NBA \frac{d \cos \theta}{dt} \quad (ก.5)$$

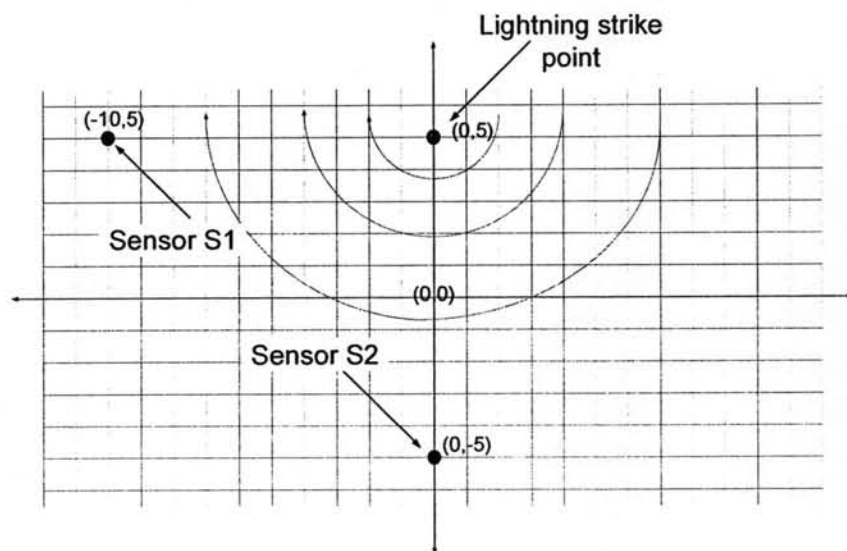
$$eSE = NBA \sin \theta$$

จากความสัมพันธ์ที่กล่าวมา จะสามารถหาค่าแรงดันเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นที่เซ็นเซอร์ S1 และ S2 ได้จากสมการที่ (ก.4) และ (ก.5) และสามารถเขียนความสัมพันธ์ระหว่างค่าของ Induced voltage ที่เกิดกับค่าของมุมตั้งฉากที่เปลี่ยนไป เมื่อขนาดและระยะห่างของกระแสฟ้าผ่าคงที่ได้ตามกราฟในรูปที่ ก.3



รูปที่ ก.3 Induced voltages VS Angle

จากสมมติฐานตามทฤษฎีที่กำหนดไว้ในขั้นต้น ร่วมกับข้อกำหนดและข้อมูลต่างๆเมื่อ กำหนดให้ S1 และ S2 อยู่ที่ตำแหน่ง $(-10,5)$ กับ $(0,-5)$ ตามลำดับ และตำแหน่งลำฟ้าผ่าอยู่ที่ $(0,5)$ จากรูปที่ ก.4 เราสามารถคำนวณหาแรงดันเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นที่เซ็นเซอร์ S1 และ S2 ได้ดังนี้



รูปที่ ก.4 แสดงตำแหน่งของเซ็นเซอร์และลำฟ้าผ่า

ที่ตำแหน่ง S1 อยู่ใน Zone A จะได้

$$\begin{aligned}
 eS1N &= -NBA \frac{d \cos \theta}{dt} \\
 eS1N &= NBA \sin \theta \\
 \theta = 0^\circ &\Rightarrow \sin \theta = 0 \\
 \therefore eS1N &= 0
 \end{aligned}
 \tag{n.6}$$

และ

$$\begin{aligned}
 eS1E &= -NBA \frac{d \sin \theta}{dt} \\
 eS1E &= -NBA \cos \theta \\
 \theta = 0^\circ &\Rightarrow \cos \theta = 1 \\
 \therefore eS1E &= -NBA
 \end{aligned}
 \tag{n.7}$$

ที่ตำแหน่ง S2 อยู่ใน Zone B จะได้

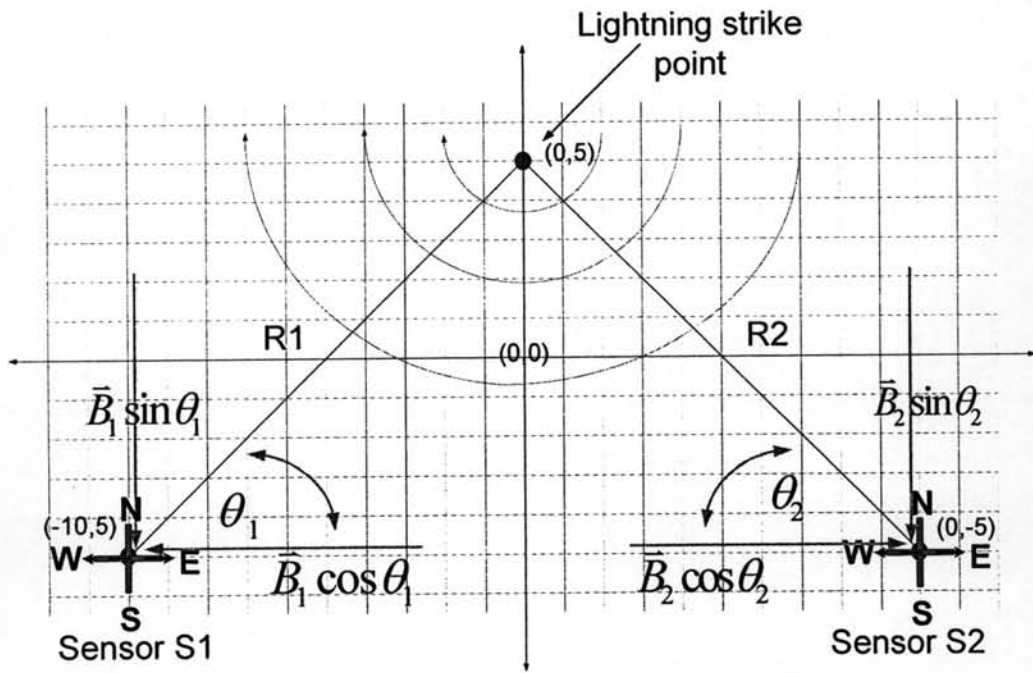
$$\begin{aligned}
 eS2N &= -NBA \frac{d \cos \theta}{dt} \\
 eS2N &= NBA \sin \theta \\
 \theta = 90^\circ &\Rightarrow \sin \theta = 1 \\
 \therefore eS2N &= NBA
 \end{aligned}
 \tag{n.8}$$

และ

$$\begin{aligned}
 eS2E &= -NBA \frac{d \sin \theta}{dt} \\
 eS2E &= -NBA \cos \theta \\
 \theta = 90^\circ &\Rightarrow \cos \theta = 0 \\
 \therefore eS2E &= 0
 \end{aligned}
 \tag{n.9}$$

ฉะนั้นค่าของแรงดันเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นที่ S1 ที่ตำแหน่ง (-10, 5) และ S2 ที่ตำแหน่ง (0,-5) เป็นดังนี้

$$\begin{aligned}
 eS1N &= 0 \\
 eS1E &= -NBA \\
 eS2N &= NBA \\
 eS2E &= 0
 \end{aligned}
 \tag{n.10}$$



รูปที่ ก.5 ภาพแสดงทิศทางของสนามแม่เหล็กต่อพื้นที่หน้าตัดของเซ็นเซอร์ S1 และ S2

และค่าของแรงดันเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นของ S1 และ S2 ที่ตำแหน่งใดๆ เนื่องจากลำกระแสฟ้าผ่าที่มีขนาด (di/dt) ที่เกิดขึ้นที่ตำแหน่งใดๆ และที่มีระยะห่างจากเซ็นเซอร์ตัวที่ 1 (S1) เป็นระยะทาง R_1 และห่างจากเซ็นเซอร์ตัวที่ 2 (S2) เป็นระยะทาง R_2 สามารถคำนวณค่าแรงดันเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นได้ดังนี้

$$eS1N = -NB_1A \frac{d \cos \theta_1}{dt} \quad (\text{ก.10})$$

$$eS1N = NB_1A \sin \theta_1$$

$$eS1E = -NB_1A \frac{d \sin \theta_1}{dt} \quad (\text{ก.11})$$

$$eS1E = -NB_1A \cos \theta_1$$

$$eS2N = -NB_2A \frac{d \cos \theta_2}{dt} \quad (\text{ก.12})$$

$$eS2N = NB_2A \sin \theta_2$$

$$eS2E = -NB_2A \frac{d \sin \theta_2}{dt} \quad (\text{ก.13})$$

$$eS2E = -NB_2A \cos \theta_2$$

แต่ B_1 และ B_2 หาได้จากกฎของบิโอต์-ซาวาร์ต

$$d\vec{H} = \frac{Id\vec{L} \times \hat{a}_R}{4\pi R^2} \quad (\text{ก.14})$$

กรณีกระแสในเส้นลวดตรงซึ่งมีความยาวกึ่งอนันต์ ค่าของมุม $\theta_1 = -90^\circ$ และมุม $\theta_2 = 0^\circ$ (ได้แสดงไว้บนบทที่ 2) จะได้

$$B = \frac{\mu_0 I}{4\pi R} \quad (\text{ก.15})$$

B_1 จะได้

$$B_1 = \frac{\mu_0 I}{4\pi R_1} \quad (\text{ก.16})$$

และ B_2 จะได้

$$B_2 = \frac{\mu_0 I}{4\pi R_2} \quad (\text{ก.17})$$

แทนค่าในสมการจะได้

$$\begin{aligned} eS1N &= NA \frac{\mu_0 I}{4\pi R_1} \sin \theta_1 \\ eS1E &= -NA \frac{\mu_0 I}{4\pi R_1} \cos \theta_1 \\ eS2N &= NA \frac{\mu_0 I}{4\pi R_2} \sin \theta_2 \\ eS2E &= -NA \frac{\mu_0 I}{4\pi R_2} \cos \theta_2 \end{aligned} \quad (\text{ก.18})$$

ภาคผนวก ข
การใช้งานโปรแกรม

โปรแกรมคำนวณค่าแรงดันเหนี่ยวนำ

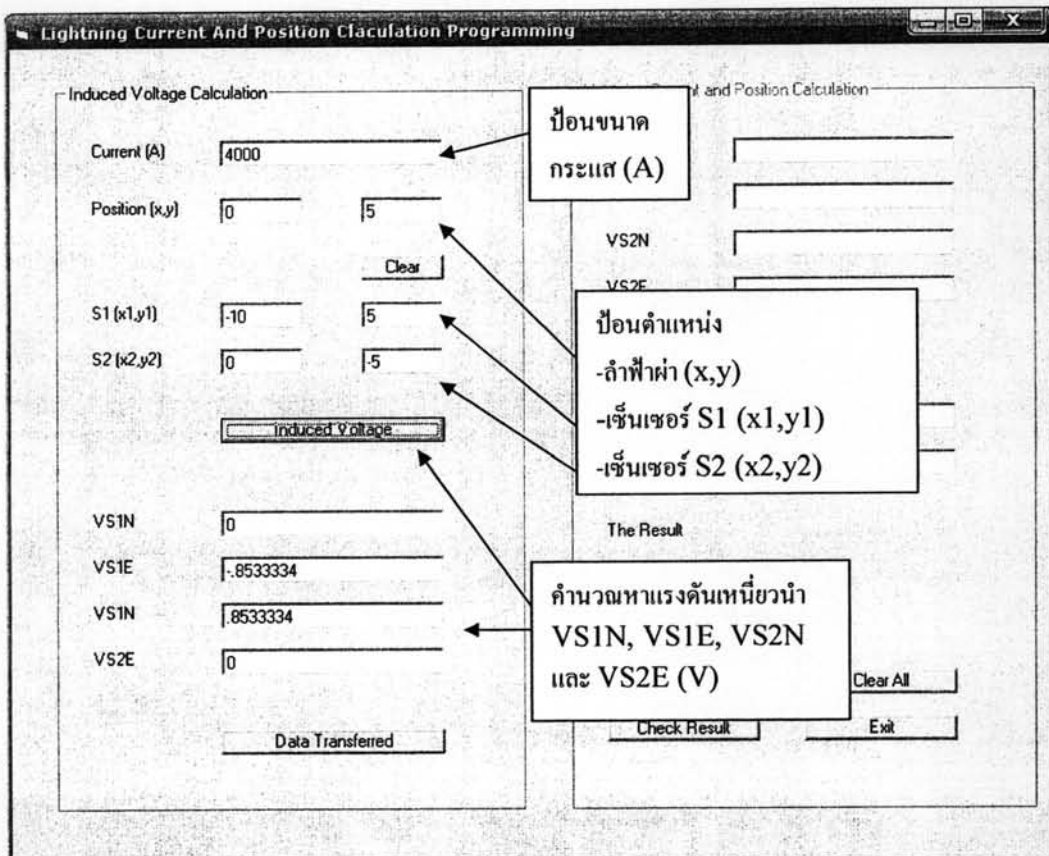
ข้อมูลที่ต้องป้อนได้แก่

ขนาดของกระแสฟ้าผ่า (di/dt)

ตำแหน่งของลํ้าฟ้าผ่า(คงที่) $P(x_0, y_0) = (0, 5)$

ตำแหน่งเซ็นเซอร์ S1 $(x_1, y_1) = (-10, 5)$

ตำแหน่งเซ็นเซอร์ S2 $(x_2, y_2) = (0, -5)$



รูปที่ ข.1 แสดงการป้อนข้อมูลในการใช้โปรแกรมคำนวณค่าแรงดันเหนี่ยวนำ

ค่าที่คำนวณได้จะเป็นขนาดของแรงดันเหนี่ยวนำของเซ็นเซอร์ S1 และ S2

VS1N, VS1E, VS2N และ VS2E

โปรแกรมหาขนาด และตำแหน่งฟ้าผ่า

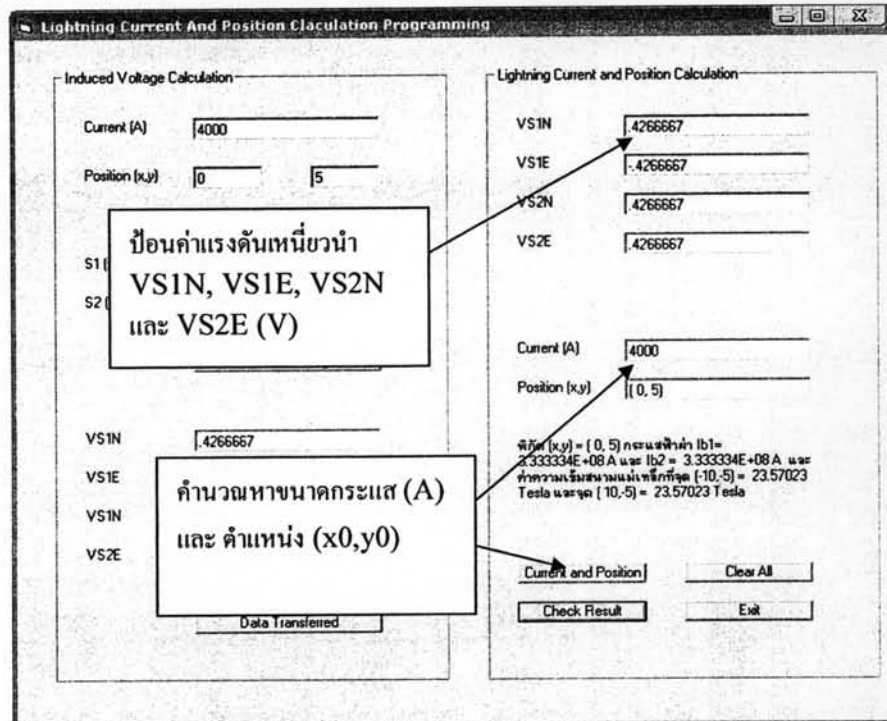
ข้อมูลที่ต้องป้อนได้แก่

ตำแหน่งเซ็นเซอร์ S1 (x_1, y_1) = (-10, 5)

ตำแหน่งเซ็นเซอร์ S2 (x_2, y_2) = (0, -5)

ขนาดของแรงดันเหนี่ยวนำของเซ็นเซอร์ S1 และ S2

VS1N, VS1E VS2N และ VS2E



รูปที่ ข.2 แสดงการป้อนข้อมูลในการใช้โปรแกรมหาขนาด และตำแหน่งฟ้าผ่า

ค่าที่คำนวณได้จะเป็น

ขนาดของกระแสฟ้าผ่า (di/dt)

ตำแหน่งของลำฟ้าผ่า $P(x_0, y_0)$

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายจตุพงษ์ พุทธรักษา เกิดเมื่อวันที่ 7 ตุลาคม พ.ศ. 2523 ที่อำเภอวารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานี สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่นในปีการศึกษา 2545 และเข้ารับการศึกษาคือต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในภาคปลาย ปีการศึกษา 2546