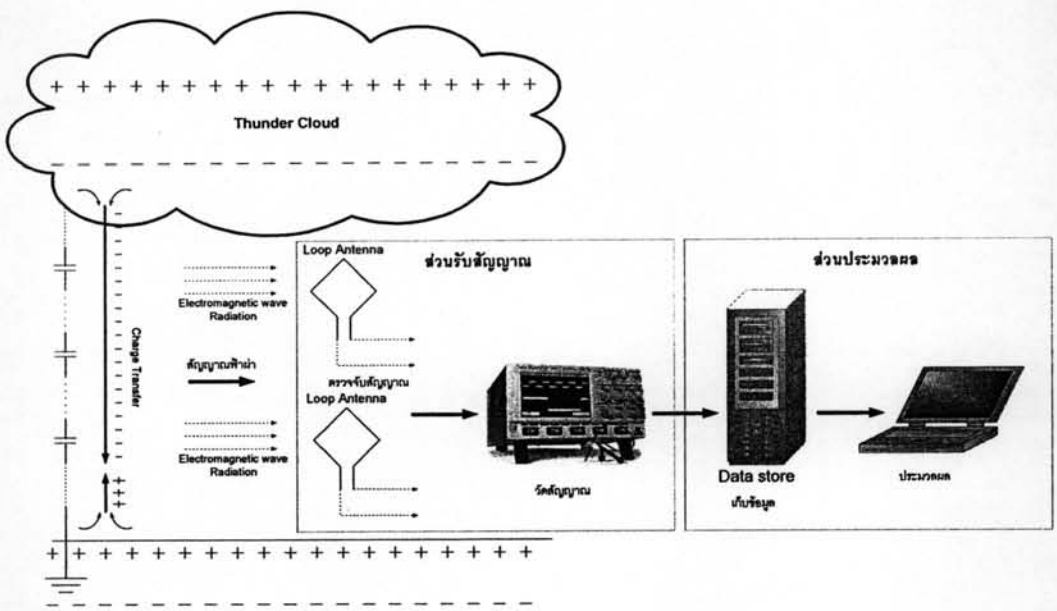
บทที่ 3
การออกแบบและประกอบสร้างระบบตรวจจับฟ้าผ่าโดยการวัดค่าแรงดันเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กไฟฟ้า

บทนี้ จะกล่าวถึงหลักการทำงานและการออกแบบระบบตรวจจับเพื่อประเมินหาขนาดและตำแหน่งของฟ้าผ่าโดยการวัดค่าแรงดันเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กไฟฟ้า โดยจะใช้ความรู้ทางทฤษฎีจากบทที่ 2 ในการออกแบบอุปกรณ์ต่างๆของระบบ ส่วนการทดสอบในห้องปฏิบัติการ ผลการทดสอบ รวมทั้งการวิเคราะห์ผลจะกล่าวถึงในบทที่ 4 ต่อไป

การออกแบบระบบตรวจจับเพื่อหาขนาด และตำแหน่งฟ้าผ่า โดยการวัดค่าแรงดันเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กไฟฟ้านี้สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วนดังนี้

1. การออกแบบส่วนรับสัญญาณ
2. การออกแบบส่วนประมวลผล

องค์ประกอบต่างของระบบตรวจจับเพื่อหาขนาดและตำแหน่งฟ้าผ่าโดยการวัดค่าแรงดันเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กไฟฟ้านี้ สามารถแสดงได้ในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แบบจำลองการทำงานของระบบตรวจจับฟ้าผ่าโดยการวัดค่าแรงดันเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กไฟฟ้า

3.1 หลักการทำงานของระบบ

ลักษณะการทำงานของระบบตรวจจับฟ้าผ่าที่จะทำการออกแบบและประกอบสร้างจะใช้เซ็นเซอร์ 2 จุดในการตรวจจับสัญญาณของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่เกิดจากฟ้าผ่า วางในตำแหน่งพิกัดที่ทราบแน่นอน ตรวจจับความเข้มของสนามแม่เหล็กที่แพร่กระจายออกมาจากลำฟ้าผ่า เมื่อเกิดฟ้าผ่า วัดสัญญาณด้วยเครื่องดิจิตอลออสซิโลสโคปบันทึกค่ายอดข้อมูลที่ได้ และเก็บไว้ในเครื่องคอมพิวเตอร์ เพื่อนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์เพื่อหาขนาดและตำแหน่งของฟ้าผ่า โดยใช้ซอฟแวร์ที่ถูกพัฒนาขึ้นทำหน้าที่คำนวณและประมวลผลของการตรวจจับ โดยจะแสดงค่าของกระแสฟ้าผ่าเป็นค่า di/dt และตำแหน่งของฟ้าผ่าเป็นพิกัดที่อยู่ในระนาบ (x,y)

การทำงานของระบบตรวจจับฟ้าผ่าโดยการวัดค่าแรงดันเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กไฟฟ้า มีขั้นตอนในการทำงานดังนี้

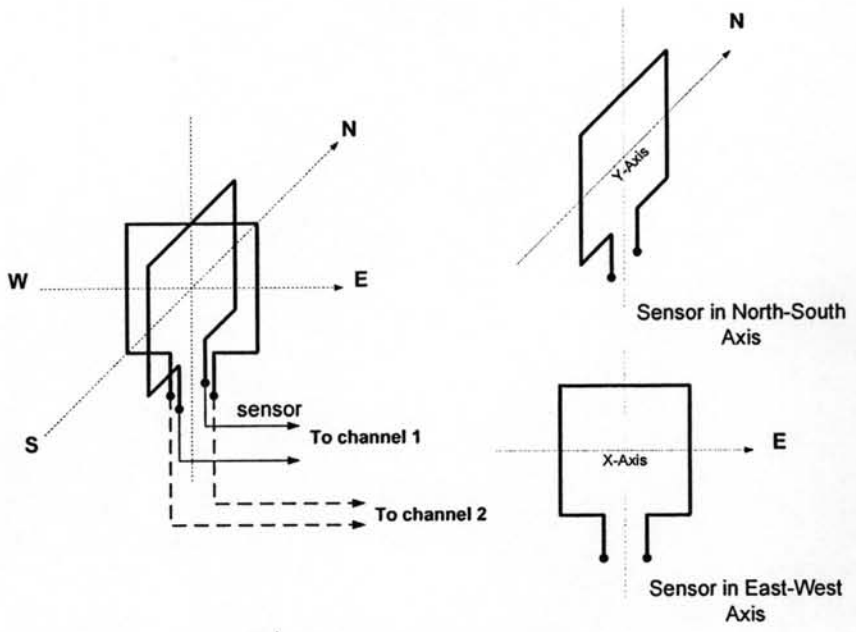
1.เมื่อเกิดฟ้าผ่าที่เป็นแบบฟ้าผ่าระหว่างพื้นดินกับก้อนเมฆ(Cloud-to-ground discharge) ไม่ว่าจะเป็นฟ้าผ่าขึ้น ฟ้าผ่าลง เป็นขั้วบวกหรือลบ กระแสฟ้าผ่า (Lightning Current) และประจุถ่ายเท (Charge Transfer) จะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กไฟฟ้า แผ่กระจายออกโดยรอบลำฟ้าผ่าเป็นวงกว้าง โดยความเข้มของสนามแม่เหล็กขึ้นอยู่กับขนาดของกระแสฟ้าผ่า และจะมีค่าลดลงเรื่อยๆตามระยะทางที่ห่างจากลำฟ้าผ่าออกไปในทุกทิศทาง

2.เมื่อมีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเคลื่อนที่มาตัดผ่านตัวรับสัญญาณที่เป็นสายอากาศแบบบ่วง (Loop Antenna) ในที่นี้เราใช้ขดลวดพันรอบแกนที่เป็นพลาสติกเป็นตัวรับสัญญาณ จะทำให้เกิดแรงดันเหนี่ยวนำและมีกระแสไหลในขดลวดเนื่องจากค่าความเข้มสนามแม่เหล็ก ที่ปลายทั้งสองด้านของขดลวดต่ออยู่กับเครื่องมือสำหรับวัดค่าแรงดันเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้น

3.บันทึกข้อมูลของสัญญาณที่รับได้จากเซ็นเซอร์ในรูปของค่ายอดของแรงดันเหนี่ยวนำที่วัดได้ไว้ในเครื่องคอมพิวเตอร์ โดยแยกเป็นข้อมูลของเซ็นเซอร์แต่ละตัว บันทึกพร้อมค่าเวลาที่เกิดขึ้น แล้วจึงนำข้อมูลที่ได้บันทึกไว้นี้ไปใช้ในการคำนวณหาค่ากระแสและตำแหน่งของฟ้าผ่าและแสดงผลข้อมูลด้วยซอฟต์แวร์ที่ได้เขียนไว้

3.2 ส่วนรับสัญญาณ

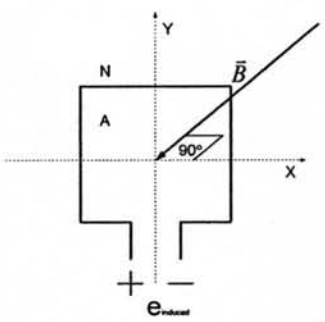
ส่วนรับสัญญาณ ออกแบบเป็นสายอากาศแบบบ่วง (Loop Antenna) ประกอบไปด้วยขดลวดทองแดงที่ใช้เป็นตัวรับสัญญาณพันรอบแกนพลาสติก เพื่อลดผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นหากใช้แกนที่เป็นโลหะ พันขดลวดขวางกันในแนวตั้งฉาก ให้เป็นแนวระนาบ x,y โดยจะใช้อ้างอิงกับแนวของทิศเหนือ-ใต้ (กำหนดให้ทิศเหนือ-ใต้ แทนด้วยแนวแกน y และทิศตะวันออก-ตะวันตก แทนด้วยแนวแกน x) โดยปลายทั้งสองด้านของขดลวดแต่ละขด จะต่อเข้ากับหัวต่อและสายนำสัญญาณ เพื่อส่งต่อไปยังเครื่องมือวัดหรือส่วนเก็บข้อมูลทาง channel 1,2 ตามรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 ส่วนรับสัญญาณของระบบ

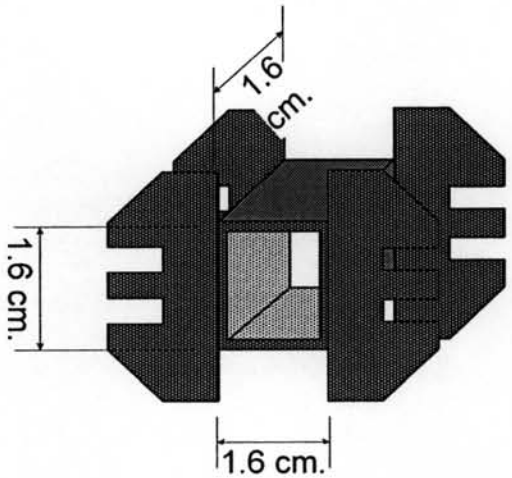
ในบทที่ผ่านมา ได้กล่าวถึงทฤษฎีของแรงดันเหนี่ยวนำ เพื่อใช้ในการวัดค่าสนามแม่เหล็กจากฟ้าผ่า กล่าวคือสนามแม่เหล็กที่แพร่กระจายออกจากลำฟ้าผ่าสามารถวัดได้โดยใช้สายอากาศแบบบ่วง (Loop Antenna) แรงดันเหนี่ยวนำที่สายอากาศแบบบ่วง ที่มีพื้นที่หน้าตัดเท่ากับ A จำนวนรอบเท่ากับ N และวางอยู่ในแนวตั้งฉากกับความเข้มสนามแม่เหล็ก B ที่มีอัตราการเปลี่ยนแปลง $\frac{dB}{dt}$ ตามรูปที่ 3.3 จากสมการที่ (2.3) จะได้เป็น

$$e_{induced} = -NA\frac{dB}{dt} \tag{3.1}$$



รูปที่ 3.3 แสดงมุมตั้งฉากระหว่างสนามแม่เหล็กกับพื้นที่หน้าตัดของขดลวด

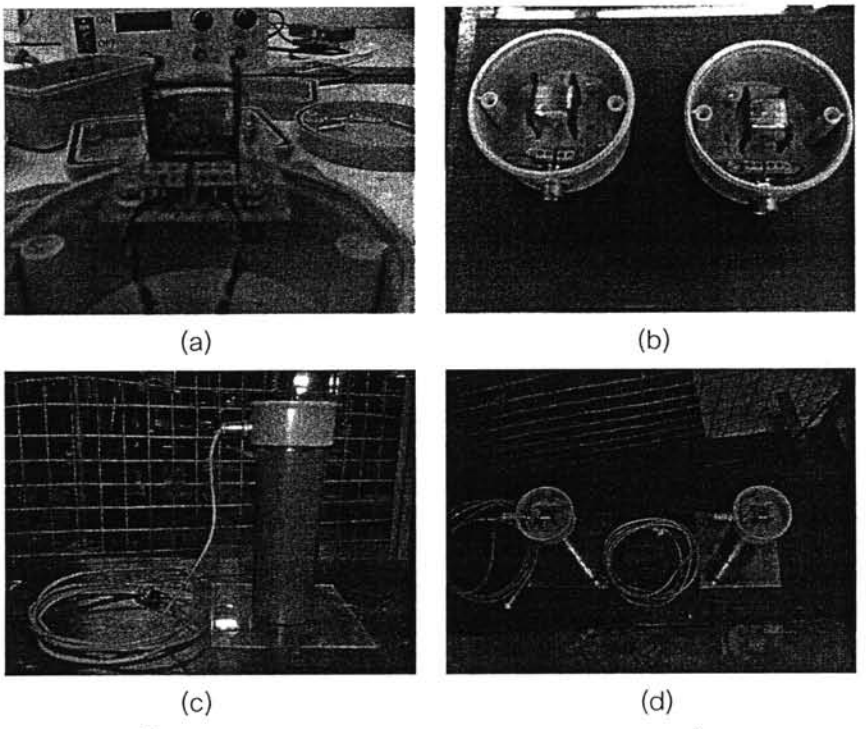
จากสมการที่ (3.1) จะเห็นได้ว่าค่าของแรงดันเหนี่ยวนำ ขึ้นอยู่กับค่าความเข้มสนามแม่เหล็ก จำนวนรอบของขดลวดและขนาดของพื้นที่ตั้งฉาก โดยค่าความเข้มสนามแม่เหล็กนั้นขึ้นอยู่กับขนาดของกระแส (ในที่นี้กระแสหมายถึงกระแสฟ้าผ่า) และระยะห่างจากจุดกำเนิดตามสมการที่ (2.9) ซึ่งเป็นค่าตัวแปรที่เราต้องการทราบ ดังนั้นตัวแปรที่สามารถควบคุมได้ก็คือจำนวนของขดลวด และพื้นที่หน้าตัดของแกนขดลวด ด้วยขอบเขตของงานวิทยานิพนธ์นี้ที่เป็นการทดสอบระบบในห้องปฏิบัติการ จึงได้ออกแบบเซ็นเซอร์ในส่วนรับสัญญาณนี้ในเสกลขนาดเล็กเพื่อให้สอดคล้องกับพื้นที่ที่ใช้ในการทดสอบ โดยแกนขดลวดใช้เป็นแกนสำหรับพันหม้อแปลงทำจากพลาสติก ขนาดกว้าง 1.6 ซ.ม. ยาว 1.6 ซ.ม. ลึก 1.6 ซ.ม. ดังนั้นในแนวเหนือ-ใต้ และแนวตะวันออก-ตะวันตก มีพื้นที่หน้าตัดเท่ากับ 2.56 ตารางเซนติเมตร บากร่องสำหรับพันขดลวดขวางกันตามรูปที่ 3.3-3.4



รูปที่ 3.4 ภาพแสดงมิติของแกนพลาสติก

รูปที่ 3.5 ลักษณะของเซ็นเซอร์เมื่อพันขดลวดรอบแกนพลาสติก

นำปลายทั้ง 2 ด้านของขดลวดในแต่ละแกนต่อเข้ากับขั้วปลายสายแยกเป็น Ch1 และ Ch2 ต่อกับหัวต่อสายแบบ 4 ช่องเพื่อต่อเข้าสายนำสัญญาณ โดยให้ปลายขดลวดขาเข้าเป็นขั้วบวก และปลายขดลวดขาออกเป็นขั้วลบ ติดตั้งลงในกล่องทรงกระบอก ทำสัญลักษณ์บอกทิศเหนือ-ใต้ ตะวันออก-ตะวันตก ของแนวแกนขดลวดทั้ง 2 ขดสำหรับบอกทิศทางเวลาทดสอบ ติดกล่องที่บรรจุเซ็นเซอร์อยู่ภายในบนแท่งพีวีซี ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 6 ซ.ม. สูง 20 ซ.ม. ด้านล่างของแท่งพีวีซี ติดกับแผ่นปรับมุมของเซ็นเซอร์เป็นองศา ตามรูปที่ 3.6 สำหรับการทดสอบ



รูปที่ 3.6 (a) การต่อขั้วปลายแยกสายกับขดลวด (b) การวางขดลวดติดตั้งภายในกล่อง (c)-(d) การติดตั้งกล่องเซ็นเซอร์บนฐานกระบอก พีวีซี สำหรับปรับมุมในการทดสอบ

3.3 ส่วนประมวลผล

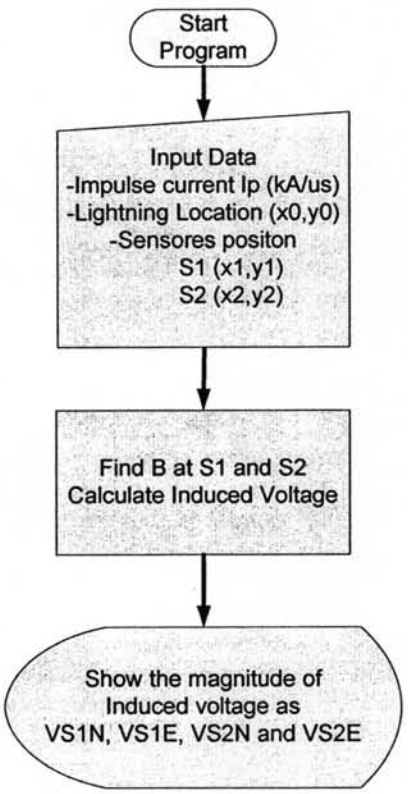
ในส่วนการประมวลผลนี้ เป็นการเขียนโปรแกรมเพื่อใช้ในการคำนวณหาขนาดของกระแสขั้วและพิกัดที่เกิดฟ้าผ่า โดยประมวลผลจากข้อมูลที่บันทึกจากการทดสอบ แบ่งเป็นข้อมูลที่เป็นค่ายอดของรูปคลื่นแรงดันเหนี่ยวนำ ที่เกิดจากกระแสฟ้าผ่า และข้อมูลที่เป็นตำแหน่งของเซ็นเซอร์และลำฟ้าผ่าในพื้นที่ทดสอบ โดยใช้โปรแกรม Visual Basic ในการเขียนโปรแกรมคำนวณ และแสดงผล โดยแบ่งโปรแกรมออกเป็น 2 ส่วนคือ

3.3.1 โปรแกรมคำนวณค่าแรงดันเหนี่ยวนำ

เป็นโปรแกรมที่ใช้คำนวณหาค่าแรงดันเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นที่เซ็นเซอร์แต่ละตัว เพื่อตรวจสอบสมมติฐานและตั้งเป็นค่าสำหรับเปรียบเทียบกับค่าที่วัดได้จากการทดสอบ โดยมีค่าที่ต้องกำหนดดังนี้

1. ขนาดของกระแสฟ้าผ่า (Lightning Current: $\frac{di}{dt}$ kA/μs)
2. ขนาด และขอบเขตของพื้นที่ ในการตรวจจับ
3. ตำแหน่งของฟ้าผ่า ในระบบพิกัด (x,y) ให้เป็นจุด $P(x_0,y_0)$
4. ตำแหน่งของเซ็นเซอร์ S1 และ S2 ในระบบพิกัด (x,y) ให้เป็นจุด S1 (x_1,y_1) และ จุด S2 (x_2,y_2)

ค่าที่ได้จะเป็นค่า VS1N, VS1E, VS2N และค่า VS2E ซึ่งเป็นค่าของแรงดันเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นจากเซ็นเซอร์แต่ละตัวในแนวแกน X หรือในทิศเหนือ-ใต้ และในแนวแกน Y หรือในทิศตะวันออก-ตะวันตก เนื่องจากขนาดของกระแสฟ้าผ่าที่ตำแหน่งต่างๆ ในขนาดพื้นที่ทดสอบที่กำหนด ขั้นตอนในการทำงานของโปรแกรมได้แสดงไว้ในรูปที่ 3.7 ส่วนวิธีการคำนวณและการวิธีการใช้โปรแกรมได้แสดงไว้ในภาคผนวก ก.

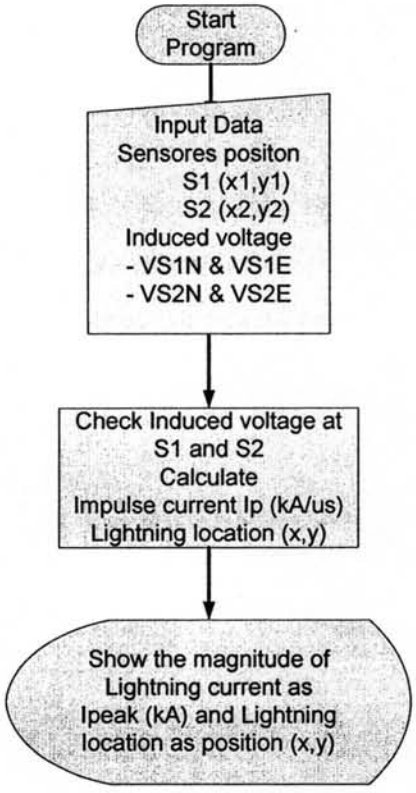


รูปที่ 3.7 แสดงขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมหาค่าแรงดันเหนี่ยวนำ

3.3.2 โปรแกรมคำนวณขนาด และตำแหน่งฟ้าผ่า

เป็นโปรแกรมที่ใช้คำนวณหาขนาด และตำแหน่งของฟ้าผ่า เพื่อใช้ในการประมวลผลข้อมูลที่ได้จากการทดสอบ ค่าที่นำไปใช้ในการคำนวณคือค่ายอดของรูปคลื่นแรงดันเหนี่ยวนำที่วัดได้จากเซ็นเซอร์ S1 และ S2 แทนด้วย VS1N, VS1E, VS2N และ VS2E ตามลำดับ และตำแหน่งของเซ็นเซอร์ทั้งสองจุดในระบบพิกัด (x, y) ใช้เป็นค่าที่ป้อนให้กับโปรแกรม

ค่าที่คำนวณได้จะเป็นขนาดของกระแสฟ้าผ่า $\frac{di}{dt}$ kA/μs และตำแหน่งของฟ้าผ่าแสดงเป็นตำแหน่งในระบบพิกัด (x, y) ในขนาดพื้นที่ที่กำหนด ขั้นตอนในการทำงานของโปรแกรมได้แสดงไว้ในรูปที่ 3.8 ส่วนวิธีการคำนวณและการวิธีการใช้โปรแกรมได้แสดงไว้ในภาคผนวก ก.

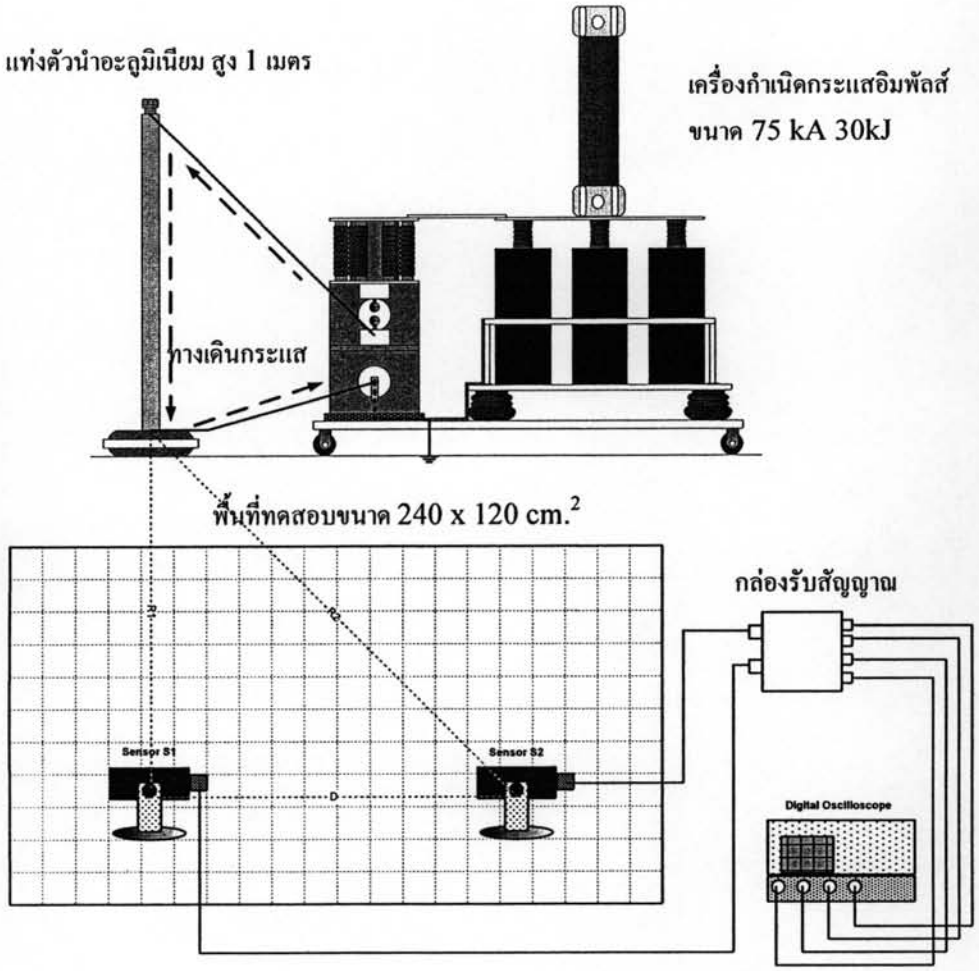


รูปที่ 3.8 แสดงขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมหาขนาด และตำแหน่งฟ้าผ่า

3.4 การเตรียมอุปกรณ์สำหรับการทดสอบ

การทดสอบทั้งหมดเป็นการทดสอบในห้องปฏิบัติการ ส่วนรับสัญญาณที่ได้ออกแบบเป็นสายอากาศแบบบ่วง (Loop antenna) ใช้ขดลวดทองแดงพันรอบแกนพลาสติก วางขวางกันแนวตั้งฉาก ทดสอบการวัดแรงดันเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กไฟฟ้า จากเครื่องกำเนิดกระแสอิมพัลส์ 75 kA 30 kJ สร้างรูปคลื่นมาตรฐาน 8/20 จำลองรูปคลื่นฟ้าผ่าในธรรมชาติ มีขั้นตอนในการทดสอบดังนี้

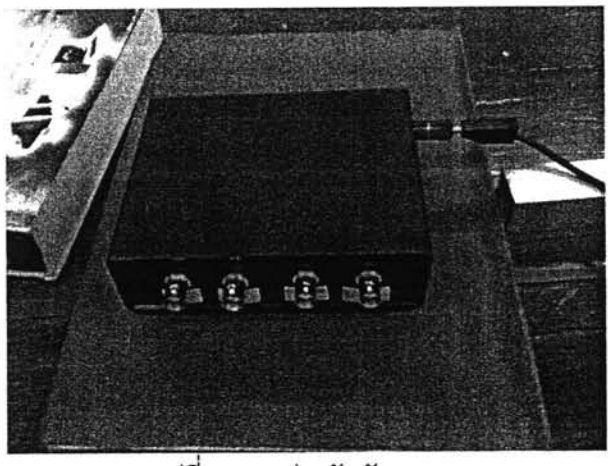
1) จัดเตรียมวงจรเครื่องกำเนิดกระแสอิมพัส์ 75 kA 30 kJ สำหรับรูปคลื่น 8/20 ใช้โรกอปสกี้คอยล์ (Rogowski coil) ในการวัดสัญญาณและรูปคลื่นของกระแสอิมพัลส์ เตรียมพื้นที่ทดสอบขนาด 240 x 120 $cm.^2$ สำหรับกำหนดพิกัด และตำแหน่ง ของเซ็นเซอร์ และฟ้าผ่า
2) นำแท่งอะลูมิเนียมสูง 1 เมตร มีขั้วต่อหัวท้ายสำหรับนำกระแสอิมพัลส์(แทนลำฟ้าผ่า) มาวางบนฐานไม้ในพื้นที่ทดสอบ ต่อแผ่นทองแดงเข้ากับเครื่องกำเนิดกระแสอิมพัส์ จากแกปกับขั้วต่อบนแท่งอะลูมิเนียม และต่อแผ่นทองแดงจากขั้วต่อด้านล่างของแท่งอะลูมิเนียมต่อเข้ากับส่วนกราวด์ของเครื่องกำเนิด
3) วางเซ็นเซอร์บนฐานที่เป็นท่อ พีวีซี บนพื้นที่ทดสอบ ต่อสายนำสัญญาณจากเซ็นเซอร์เข้ากับเครื่องวัดสัญญาณแบบดิจิตอล(Digital Oscilloscope) ต่อสายนำสัญญาณจากโรกอปสกี้คอยล์เข้ากับหัวแปลงสัญญาณ และต่อเข้ากับเครื่องวัดสัญญาณแบบดิจิตอล
4) ป้อนแรงแรงดันอัดประจุให้สัมพันธ์กับกระแสที่ต้องการ โดยสร้างแรงดันทดสอบที่ 5 kA แบ่งเป็นขั้วบวกและขั้วลบ จากนั้นปรับค่ามุมและตำแหน่งของเซ็นเซอร์ ทำการวัดค่าและบันทึกผลตำแหน่งละ 3 ครั้ง



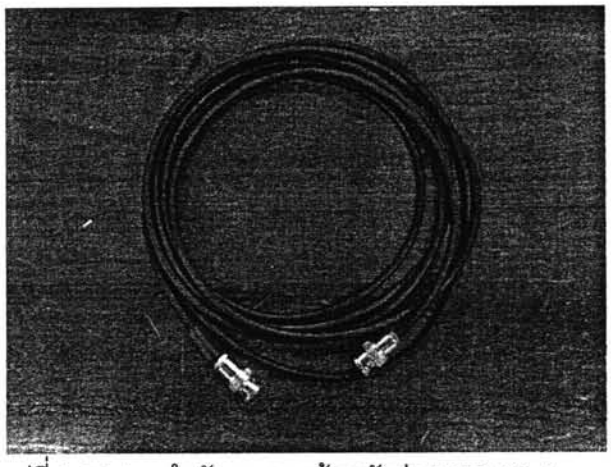
รูปที่ 3.9 แสดงการจัดวางองค์ประกอบและอุปกรณ์สำหรับทดสอบ

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบประกอบไปด้วย

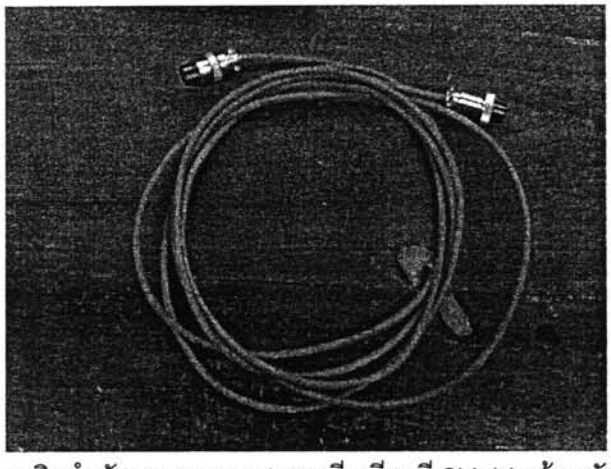
1. กล่องรับสัญญาณ 1 ชุด
2. สายนำสัญญาณ BNC RG-58 ยาว 3 เมตร จำนวน 4 เส้น
3. Digital Oscilloscope Tektronix 4 channel รุ่น TD 3054 B จำนวน 1 เครื่อง
4. Digital Oscilloscope LeCroy 4 chennel รุ่น 9384 M จำนวน 1 เครื่อง
5. Digital Oscilloscope LeCroy 4 chennel รุ่น 6050 Wave Runner จำนวน 1 เครื่อง
6. โรกอฟสกี้คอยล์ (Rogowski coil) พร้อมสายสัญญาณและหัวต่อวัดสัญญาณ 1 ชุด
7. เครื่องกำเนิดกระแสอิมพัลส์ (Impulse current generator) 75 kA 30 kJ 1 เครื่อง



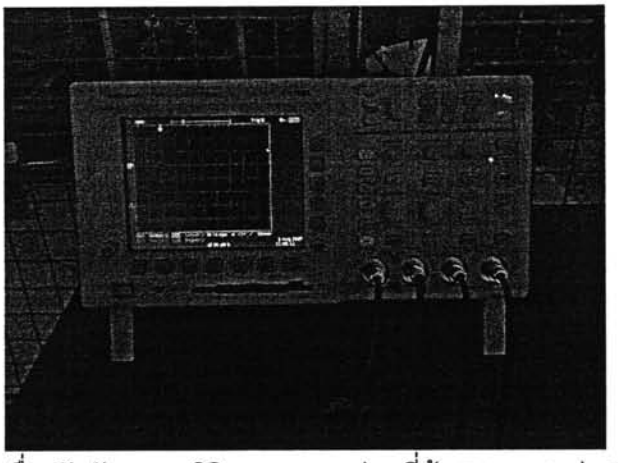
รูปที่ 3.10 กล่องรับสัญญาณ



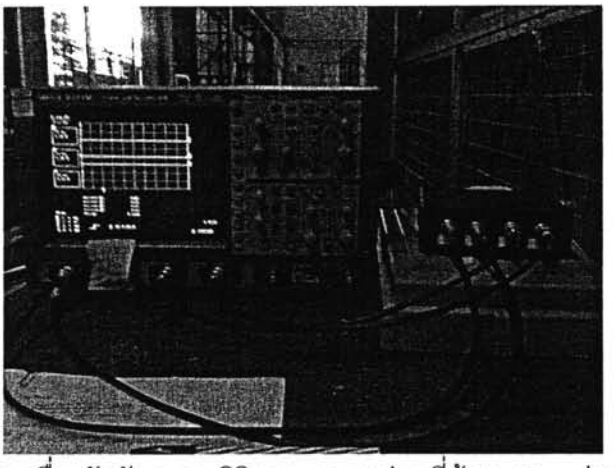
รูปที่ 3.11 สายนำสัญญาณพร้อมหัวต่อ BNC 50 ohm



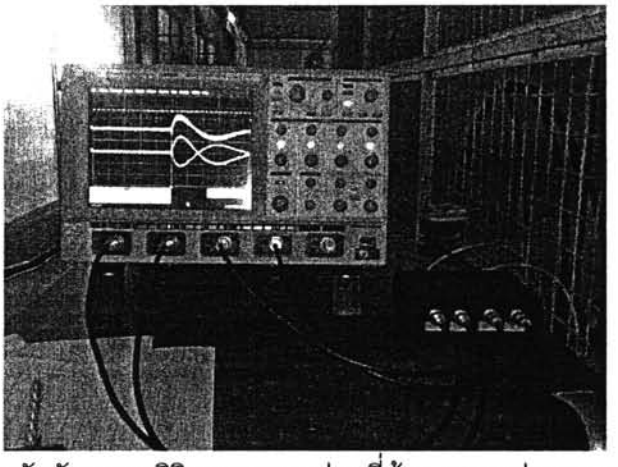
รูปที่ 3.12 สายเคเบิลนำสัญญาณแบบ 4 สายตีเกลียวมี Shield พร้อมหัวต่อแบบ 4 ช่อง



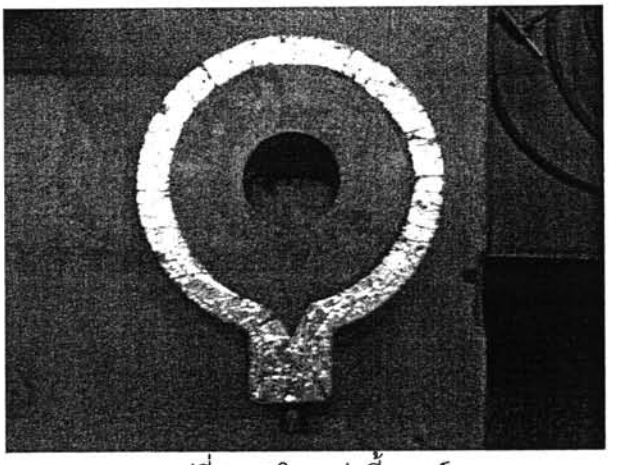
รูปที่ 3.13 เครื่องวัดสัญญาณดิจิตอลแบบ 4 ช่อง ยี่ห้อ Tektronix รุ่น TD 3054 B



รูปที่ 3.14 เครื่องวัดสัญญาณดิจิตอลแบบ 4 ช่อง ยี่ห้อ LeCroy รุ่น 9384 M

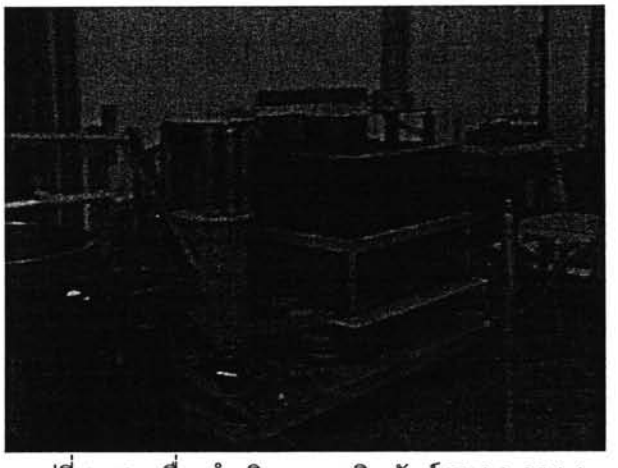


รูปที่ 3.15 เครื่องวัดสัญญาณดิจิตอลแบบ 4 ช่อง ยี่ห้อ LeCroy รุ่น Wave Runner 6050



รูปที่ 3.16 โรกอฟสกี้คอยล์

รูปที่ 3.17 หัวต่อวัดสัญญาณโรกอปสกี้คอยล์



รูปที่ 3.18 เครื่องกำเนิดกระแสอิมพัลส์ 75 kA 30 kJ