

บทที่ 4

การทดสอบระบบตรวจจับเพื่อประเมินหาขนาดและตำแหน่งฟ้าผ่าโดยการวัดค่าแรงดันเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กไฟฟ้า

เป้าหมายหลักของการออกแบบสร้างระบบตรวจจับเพื่อประเมินหาขนาดและตำแหน่งฟ้าผ่าโดยการวัดค่าแรงดันเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กไฟฟ้า คือการพัฒนาส่วนประกอบหลักทั้ง 2 ส่วนของระบบให้สามารถทำการตรวจจับและประเมินค่าฟ้าผ่าในห้องปฏิบัติการ ดังนั้นเพื่อตรวจสอบผลการออกแบบ และประกอบสร้างระบบตรวจจับเพื่อประเมินหาขนาดและตำแหน่งฟ้าผ่าโดยการวัดค่าแรงดันเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กไฟฟ้าว่าได้ผลตามที่ตั้งเป้าไว้หรือไม่ จึงต้องมีการทดสอบโดยใช้การวัดสัญญาณฟ้าผ่าจากเครื่องกำเนิดกระแสซิมพัลส์ เพื่อประเมินหาขนาดและตำแหน่ง บนพื้นที่ทดสอบในห้องปฏิบัติการไฟฟ้าแรงสูง ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ซึ่งมีรายละเอียดการทดสอบดังนี้

1. การทดสอบและประเมินผลส่วนรับสัญญาณ
2. การทดสอบและประเมินผลส่วนการประมวลผล

จากขอบเขตในการทำวิทยานิพนธ์เรื่องนี้ ได้กำหนดเงื่อนไขเพื่อที่จะศึกษาความเป็นไปได้ และพัฒนาระบบตรวจจับฟ้าผ่าที่ใช้หลักการของแรงดันเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้า ในการทดสอบจึงกำหนดตัวแปรควบคุมดังต่อไปนี้

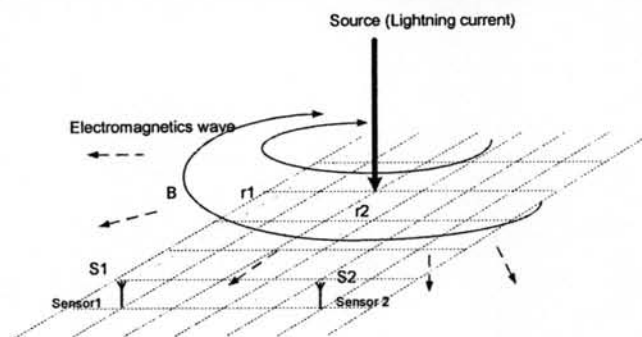
ข้อกำหนดและสมมติฐานในการทดสอบในห้องปฏิบัติการ

1. ฟ้าผ่าที่ใช้ในการทดสอบเป็นฟ้าผ่าเดี่ยว สร้างจากเครื่องกำเนิดกระแสซิมพัลส์ ขนาด 70 kA 30 kJ ที่มีอยู่ในห้องปฏิบัติการไฟฟ้าแรงสูง ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยสร้างกระแสซิมพัลส์ (Impulse Current) รูปคลื่นมาตรฐาน 8/20 ขนาด 5 kA
2. การกำหนดพิกัดตำแหน่งของจุดกำเนิดกระแสฟ้าผ่า และพิกัดตำแหน่งของเซ็นเซอร์ตัวตรวจจับฟ้าผ่าทั้ง 2 จุด กำหนดตำแหน่งเป็นพิกัดบนระนาบ (x,y) โดยกำหนดให้ทิศเหนือ-ใต้ (N-S) คือแนวแกน Y และทิศตะวันออก-ตะวันตก (E-W) คือแนวแกน X
3. ความสูงของลำฟ้าผ่าที่ใช้การทดสอบ ใช้แท่งตัวนำอะลูมิเนียมสูง 1 เมตร โดยต่อผ่านแกนของเครื่องกำเนิดกระแสซิมพัลส์
4. พื้นที่ในการทดสอบ ใช้แผ่นบอร์ดพลาสติกขนาด 120 x 60 ตารางเซนติเมตรจำนวน 2 แผ่นเชื่อมต่อกัน สร้างตารางขนาด 10 x 10 ตารางเซนติเมตร ภายในบอร์ดเพื่อแสดงพิกัดในการบอกตำแหน่งของเซ็นเซอร์ และลำฟ้าผ่า

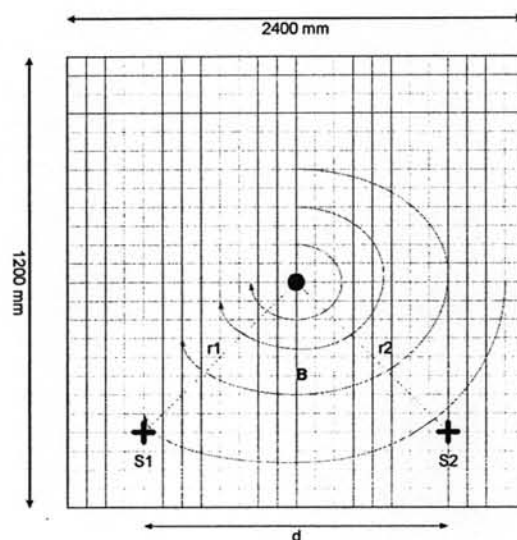
4.1 การทดสอบและประเมินผลส่วนรับสัญญาณ

การทดสอบและประเมินผลส่วนรับสัญญาณ จากทฤษฎีที่เกี่ยวข้องในบทที่ 2 และการออกแบบส่วนรับสัญญาณในบทที่ 3 สำหรับสายอากาศแบบบ่วงที่ออกแบบมานี้เห็นได้ชัดว่าค่าของแรงดันเหนี่ยวนำ ขึ้นอยู่กับขนาดของความเข้มสนามแม่เหล็กกับพื้นที่ตั้งฉากหรือพื้นที่หน้าตัดของสายอากาศ และจำนวนรอบของขดลวดที่ใช้ ซึ่งขนาดของพื้นที่ตั้งฉากและจำนวนของขดลวดสามารถกำหนดเองได้ ส่วนค่าความเข้มสนามแม่เหล็กขึ้นอยู่กับขนาดและระยะห่างของกระแสฟ้าผ่า ซึ่งเป็นค่าที่ต้องการหา ดังนั้นในการทดสอบเพื่อประเมินผลของส่วนรับสัญญาณนี้สามารถแบ่งการทดสอบได้เป็น 2 ลักษณะคือ

1. การทดสอบเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของค่าแรงดันเหนี่ยวนำกับมุมตั้งฉาก
2. การทดสอบเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของค่าแรงดันเหนี่ยวนำกับระยะทาง



(a)



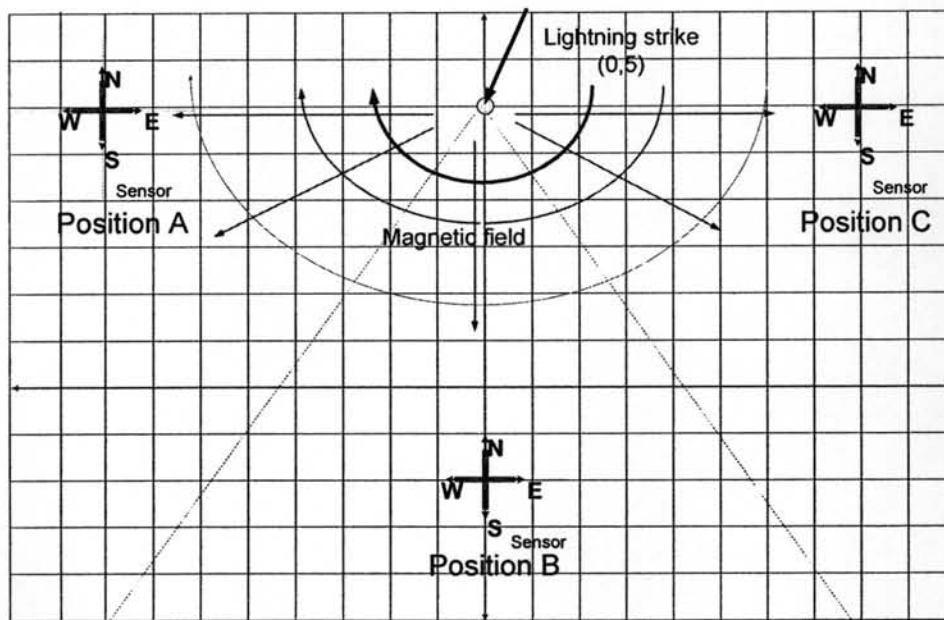
(b)

รูปที่ 4.1 (a) ลักษณะการทำงานของระบบตรวจจับสัญญาณ (b) ลักษณะการแพร่กระจายสนามแม่เหล็กบนพื้นที่ทดสอบ

4.1.1 การทดสอบเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของค่าแรงดันเหนี่ยวนำกับมุมตั้งฉาก (ทิศทางของเซ็นเซอร์ที่หันเข้าหาฟ้าผ่า)

จุดประสงค์ เพื่อศึกษาถึงผลของทิศทางของสนามแม่เหล็กที่แพร่กระจายออกจากฟ้าผ่ากับมุมตั้งฉากของพื้นที่หน้าตัดเซ็นเซอร์ต่อขนาดแรงดันเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้น ทดสอบโดยวัดค่าแรงดันเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นเมื่อปรับทิศทางของพื้นที่หน้าตัดของเซ็นเซอร์ที่หันเข้าหาฟ้าผ่าเป็นมุมต่างๆ ในตำแหน่งที่กำหนดบนพื้นที่ทดสอบ บันทึกผลและเปรียบเทียบกับค่าที่คำนวณได้จากทฤษฎี

แต่เนื่องจากตำแหน่งของกระแสฟ้าผ่าที่ใช้ในการทดสอบ ปรับเปลี่ยนได้ยาก จึงต้องกำหนดตำแหน่งในการทดสอบที่แน่นอน เป็นตำแหน่งเดิมในทุกๆ การทดสอบ โดยกำหนดไว้ที่จุด (0,5) และเพื่อให้ได้ผลการทดสอบที่ครอบคลุมผลของการเปลี่ยนทิศทางสนามแม่เหล็ก จึงได้แบ่งการทดสอบออกเป็น 2 ส่วนคือการทดสอบด้วยกระแสสัมผัสบวกและการทดสอบด้วยกระแสสัมผัสลบ และในการทดสอบใช้เซ็นเซอร์ 2 ชุด วางที่ตำแหน่งต่างๆ ในการตรวจจับสัญญาณฟ้าผ่า ดังนั้นในการทดสอบแต่ละส่วนจึงแบ่งการทดสอบเป็น 2 ครั้ง โดยครั้งแรกกำหนดให้เซ็นเซอร์ S1 วางอยู่ที่ตำแหน่ง A เซ็นเซอร์ S2 วางอยู่ที่ตำแหน่ง B และครั้งที่ 2 กำหนดให้เซ็นเซอร์ S1 วางอยู่ที่ตำแหน่ง B และเซ็นเซอร์ S2 วางอยู่ที่ตำแหน่ง C ตามที่แสดงในรูปที่ 4.2

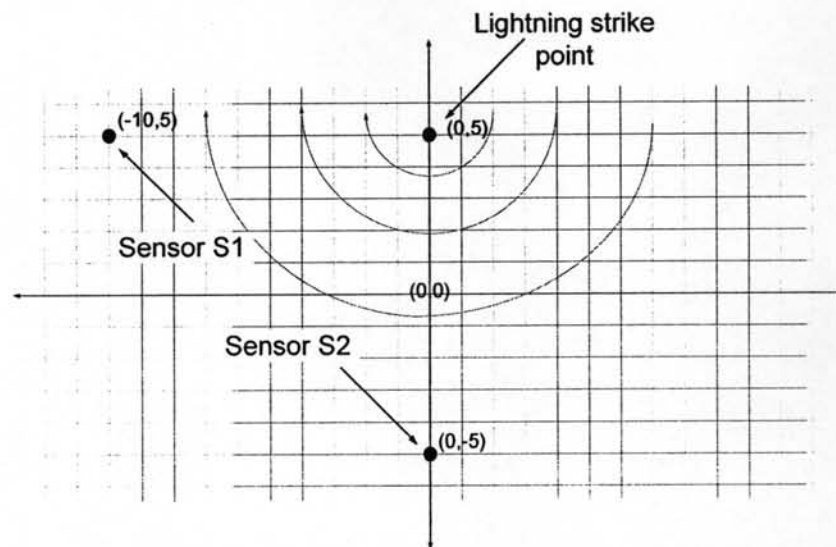


รูปที่ 4.2 รูปแสดงการวางตำแหน่งของเซ็นเซอร์และฟ้าผ่าในการทดสอบ

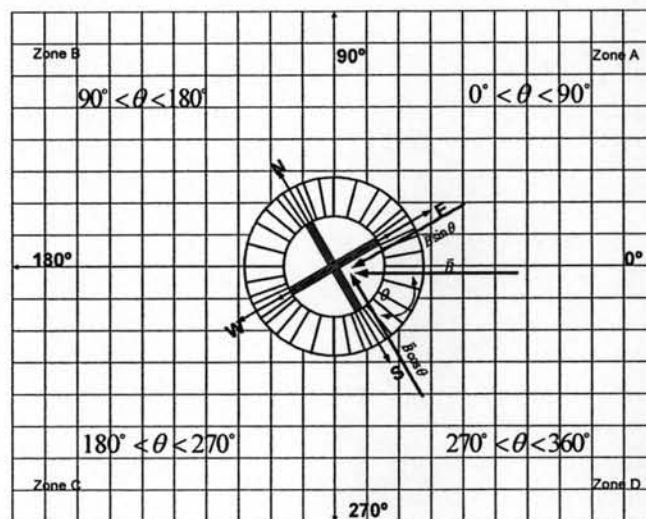
4.1.1.1 การทดสอบด้วยกระแสอิมพัลส์สับก

การทดสอบที่ 4.1.1.1/1

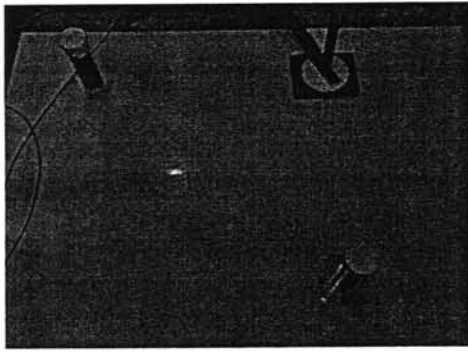
กำหนดตำแหน่งของกระแสฟ้าผ่าอยู่ที่จุด (0, 5) ตำแหน่งของเซ็นเซอร์ตรวจจับตัวที่ 1 (S1; S1N, S1E) อยู่ที่จุด (-10, 5) และตำแหน่งของเซ็นเซอร์ตรวจจับตัวที่ 2 (S2; S2N, S2E) อยู่ที่จุด (0, -5) ตามรูปที่ 4.2 แล้วทำการหมุนแกนปรับมุมระหว่างเซ็นเซอร์แต่ละตัวกับลำฟ้าผ่า เริ่มจากมุม 60° - 120° โดยเพิ่มค่ามุมที่จะวัดทีละ 10° ค่ามุมเป็นมุมระหว่างแกนของเซ็นเซอร์ในทิศเหนือ-ใต้เปรียบเทียบกับแนวแกน X ดังรูปที่ 4.3 ยิงกระแสอิมพัลส์ที่ค่ายอดขนาด 5 kA บันทึกค่ามุมละ 3 ครั้ง ปรับมุมใหม่จนครบ



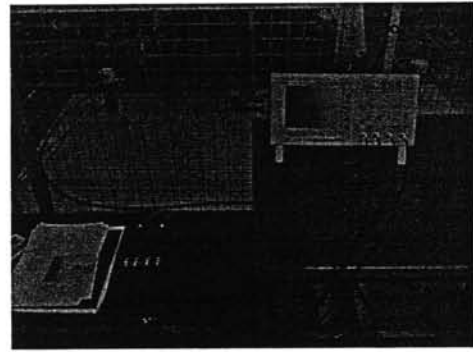
รูปที่ 4.3 รูปแสดงตำแหน่งของเซ็นเซอร์และลำฟ้าผ่าบนพื้นที่ทดสอบ



รูปที่ 4.4 รูปแสดงตัวอย่างการปรับมุมของเซ็นเซอร์กับระนาบ X, Y



(a)



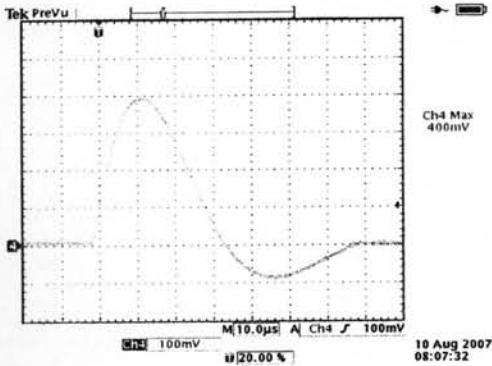
(b)

รูปที่ 4.5 (a) แสดงตำแหน่งเซ็นเซอร์และแท่งอะลูมิเนียม บนพื้นที่ทดสอบ

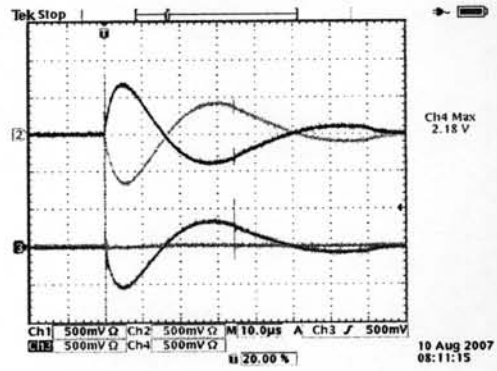
(b) แสดงการต่อสายสัญญาณและอุปกรณ์อื่นๆ

ตารางที่ 4.1 ตารางแสดงผลการวัดค่าแรงดันเหนี่ยวนำที่เซ็นเซอร์ S1 และ S2 จากการยิงกระแสจิมพัลส์บวก ขนาด 5 kA เพื่อวัดค่าเมื่อปรับเซ็นเซอร์ในมุมต่างๆ ตามการทดสอบที่ 4.1.1.1/1

มุม (องศา)	ค่าแรงดันเหนี่ยวนำ (Induced Voltage (V))							
	ค่าที่วัดได้จาก Oscilloscope				ค่าที่คำนวณได้จากสมการ			
	VS1N	VS1E	VS2N	VS2E	VS1N	VS1E	VS2N	VS2E
60°	0.84	-0.18	-0.46	-0.32	0.43	-0.74	-0.74	-0.43
70°	0.85	-0.35	-0.5	-0.25	0.29	-0.80	-0.80	-0.29
80°	0.74	-0.50	-0.54	-0.12	0.15	-0.84	-0.84	-0.15
85°	0.72	-0.58	-0.56	-0.06	0.07	-0.85	-0.85	-0.07
90°	0.70	-0.70	-0.58	0.00	0.00	-0.85	-0.85	0.00
95°	0.65	-0.75	-0.56	0.05	-0.07	-0.85	-0.85	0.07
100°	0.55	-0.75	-0.55	0.10	-0.15	-0.84	-0.84	0.15
105°	0.50	-0.82	-0.53	0.18	-0.22	-0.82	-0.82	0.22
110°	0.45	-0.90	-0.50	0.25	-0.29	-0.80	-0.80	0.29
120°	0.30	-0.98	-0.48	0.35	-0.43	-0.74	-0.74	0.43

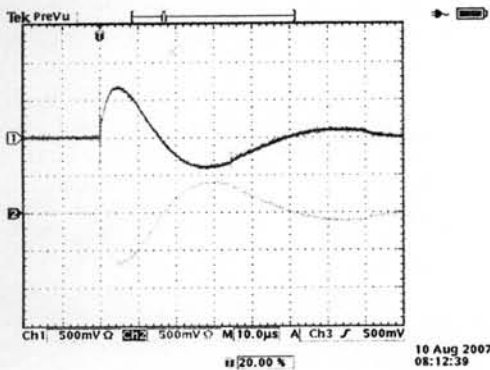


(a)

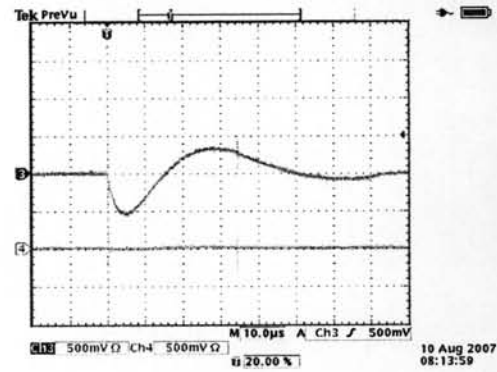


(b)

รูปที่ 4.6 (a) รูปคลื่นกระแสอิมพัลส์ (Impulse current 5 kA 8/20 μ s) (b) รูปคลื่นแรงดันเหนี่ยวนำที่วัดได้จากเซ็นเซอร์ S1 และ S2 แบ่งเป็น VS1N, VS1E, VS2N และ VS2E

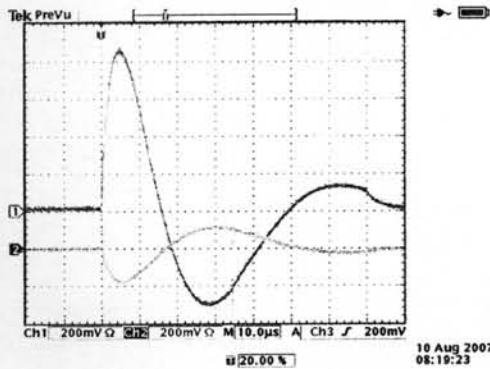


(c)

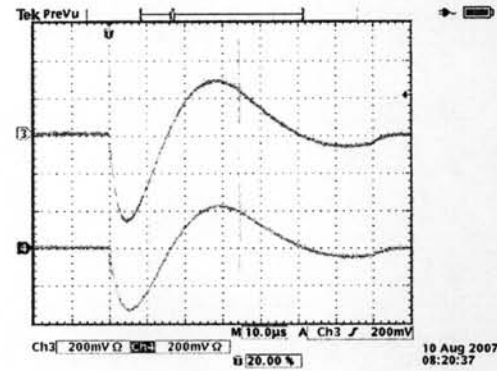


(d)

รูปที่ 4.6 (c) รูปคลื่นแรงดันเหนี่ยวนำของเซ็นเซอร์ S1 (VS1N, VS1E) ที่มุม 90° (d) รูปคลื่นแรงดันเหนี่ยวนำของเซ็นเซอร์ S2 (VS2N, VS2E) ที่มุม 90°

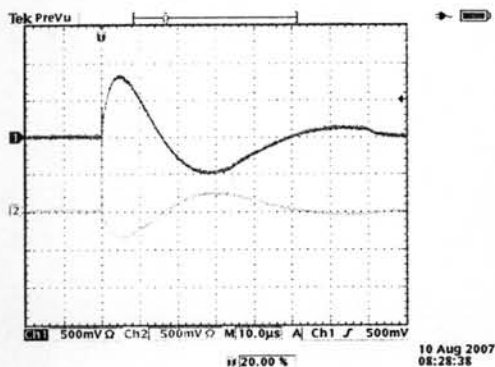


(e)

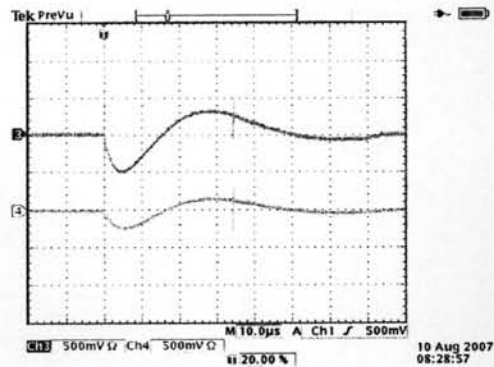


(f)

รูปที่ 4.6 (e) รูปคลื่นแรงดันเหนี่ยวนำของเซ็นเซอร์ S1 (VS1N, VS1E) ที่มุม 60° (f) รูปคลื่นแรงดันเหนี่ยวนำของเซ็นเซอร์ S2 (VS2N, VS2E) ที่มุม 60°

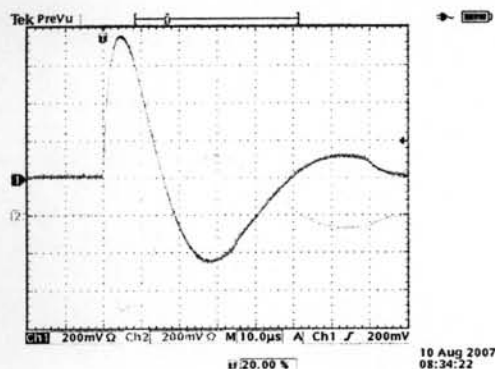


(g)

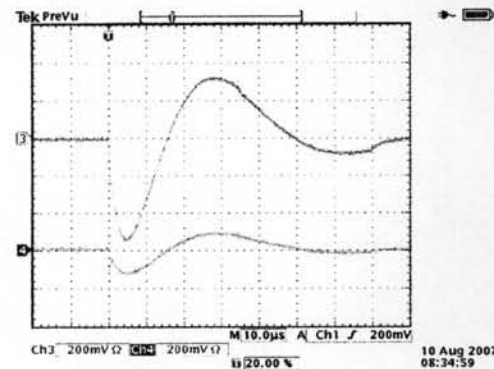


(h)

รูปที่ 4.6 (g) รูปคลื่นแรงดันเหนี่ยวนำของเซ็นเซอร์ S1 (VS1N, VS1E) ที่มุม 70° (h) รูปคลื่นแรงดันเหนี่ยวนำของเซ็นเซอร์ S2 (VS2N, VS2E) ที่มุม 70°

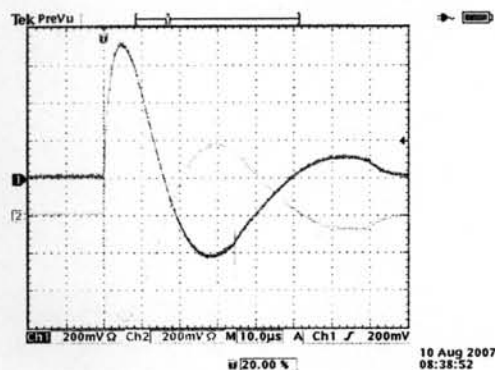


(i)

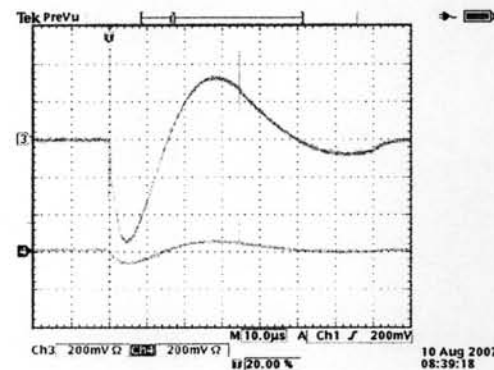


(j)

รูปที่ 4.6 (i) รูปคลื่นแรงดันเหนี่ยวนำของเซ็นเซอร์ S1 (VS1N, VS1E) ที่มุม 80° (j) รูปคลื่นแรงดันเหนี่ยวนำของเซ็นเซอร์ S2 (VS2N, VS2E) ที่มุม 80°

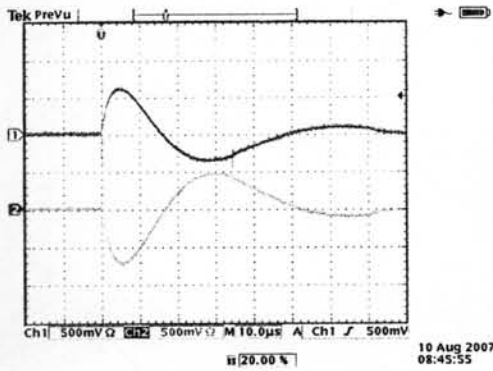


(k)

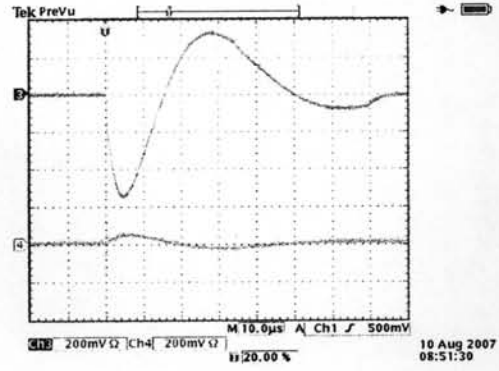


(l)

รูปที่ 4.6 (k) รูปคลื่นแรงดันเหนี่ยวนำของเซ็นเซอร์ S1 (VS1N, VS1E) ที่มุม 85° (l) รูปคลื่นแรงดันเหนี่ยวนำของเซ็นเซอร์ S2 (VS2N, VS2E) ที่มุม 85°

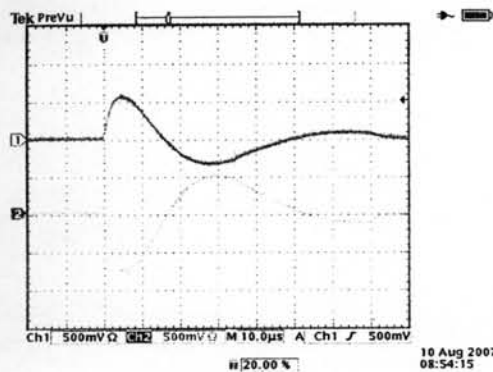


(m)

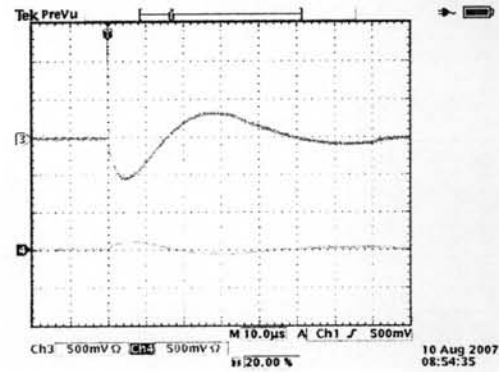


(n)

รูปที่ 4.6 (m) รูปคลื่นแรงดันเหนี่ยวนำของเซ็นเซอร์ S1 (VS1N, VS1E) ที่มุม 95° (n) รูปคลื่นแรงดันเหนี่ยวนำของเซ็นเซอร์ S2 (VS2N, VS2E) ที่มุม 95°

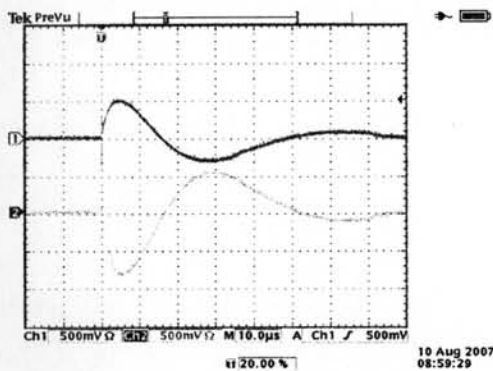


(o)

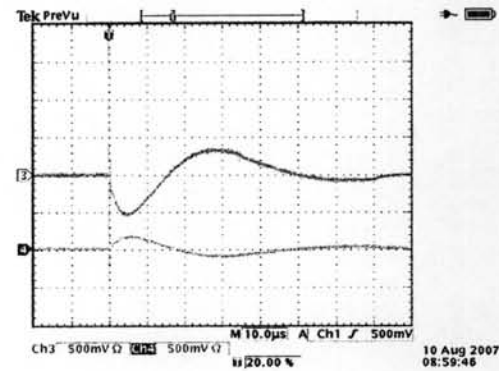


(p)

รูปที่ 4.6 (o) รูปคลื่นแรงดันเหนี่ยวนำของเซ็นเซอร์ S1 (VS1N, VS1E) ที่มุม 100° (p) รูปคลื่นแรงดันเหนี่ยวนำของเซ็นเซอร์ S2 (VS2N, VS2E) ที่มุม 100°

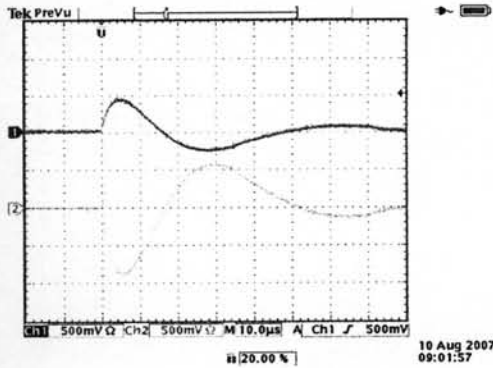


(q)

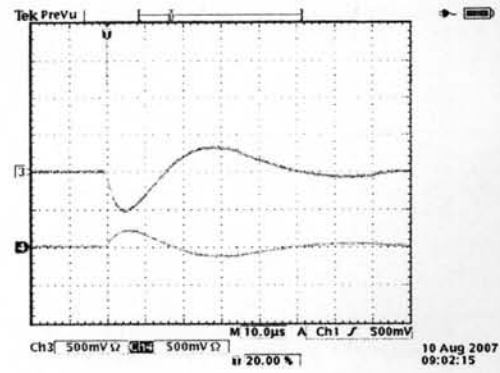


(r)

รูปที่ 4.6 (q) รูปคลื่นแรงดันเหนี่ยวนำของเซ็นเซอร์ S1 (VS1N, VS1E) ที่มุม 105° (r) รูปคลื่นแรงดันเหนี่ยวนำของเซ็นเซอร์ S2 (VS2N, VS2E) ที่มุม 105°

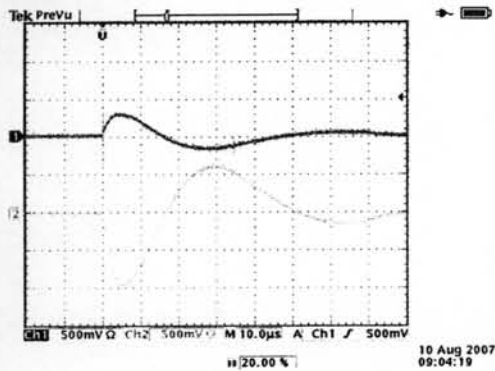


(s)

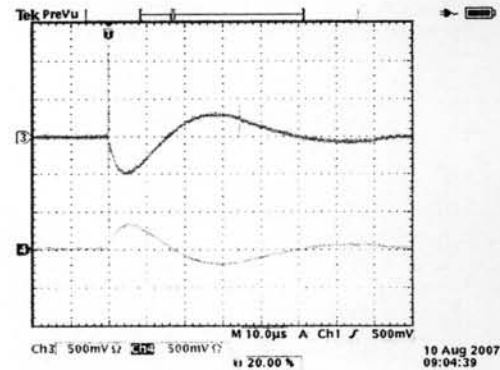


(t)

รูปที่ 4.6 (s) รูปคลื่นแรงดันเหนี่ยวนำของเซ็นเซอร์ S1 (VS1N, VS1E) ที่มุม 110° (t) รูปคลื่นแรงดันเหนี่ยวนำของเซ็นเซอร์ S2 (VS2N, VS2E) ที่มุม 110°



(u)



(v)

รูปที่ 4.6 (u) รูปคลื่นแรงดันเหนี่ยวนำของเซ็นเซอร์ S1 (VS1N, VS1E) ที่มุม 120° (v) รูปคลื่นแรงดันเหนี่ยวนำของเซ็นเซอร์ S2 (VS2N, VS2E) ที่มุม 120°

ผลการทดสอบที่ 4.1.1.1/1 การวัดค่าแรงดันเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กไฟฟ้า จากยั้งกระแสिमพัลส์ขนาด 5 kA ด้วยเครื่องกำเนิดกระแสिमพัลส์พบว่าเซ็นเซอร์สามารถตรวจจับได้เป็นค่าแรงดันเหนี่ยวนำ จากการแพร่กระจายสนามแม่เหล็กไฟฟ้าของกระแสिमพัลส์ได้

ค่าแรงดันเหนี่ยวนำที่วัดได้จากเซ็นเซอร์ S1 และ S2 แบ่งเป็นค่าที่วัดได้จากขดลวดด้านแกน Y (แนวทิศเหนือ-ใต้) และขดลวดด้านแกน X (แนวทิศตะวันออก-ตะวันตก) ซึ่งแทนด้วย VS1N, VS2N, VS1E และ VS2E ตามลำดับ มีค่าการเปลี่ยนแปลงตามมุมตั้งฉากของพื้นที่หน้าตัดกับลำฟ้าผ่าดังนี้

VS1N ที่มุม 60° ค่ายอดของแรงดันเหนี่ยวนำที่วัดได้มีค่าทางด้านบวก และเพิ่มขึ้นเมื่อมุมเท่ากับ 70° ซึ่งเป็นค่าที่สูงสุดในการวัดแต่จะมีค่าลดลงเมื่อปรับมุมมากขึ้นและจะมีค่าต่ำสุดที่มุม 120°

VS1E ที่มุม 60° จะมีค่ายอดเป็นค่าทางด้านลบ และเพิ่มขึ้นทางด้านลบเมื่อปรับมุมเพิ่มขึ้น โดยจะมีค่าสูงสุดทางด้านลบเมื่อมุมเท่ากับ 120°

VS2N ที่มุม 60° จะมีค่ายอดเป็นค่าทางด้านลบ และเพิ่มขึ้นทางด้านลบเมื่อปรับมุมเพิ่มขึ้น โดยจะมีค่าสูงสุดทางด้านลบเมื่อมุมเท่ากับ 90° และเมื่อปรับมุมเกินกว่า 90° ค่ายอดของ VS2N จะลดลงเป็นรูปโค้งหงาย

VS2E ที่มุม 60° จะมีค่ายอดเป็นค่าทางด้านลบ และค่อยๆลดลงเมื่อปรับมุมเพิ่มขึ้น จนเมื่อมุมเท่ากับ 90° ค่าของ VS2E จะมีค่าเท่ากับ 0 และค่ายอดจะเพิ่มขึ้นทางด้านบวก เมื่อปรับมุมเกินกว่า 90°

ค่าที่ได้จากการทดสอบ เมื่อมาเปรียบเทียบกับค่าที่ได้การคำนวณสามารถสรุปโดยรวมได้ดังนี้

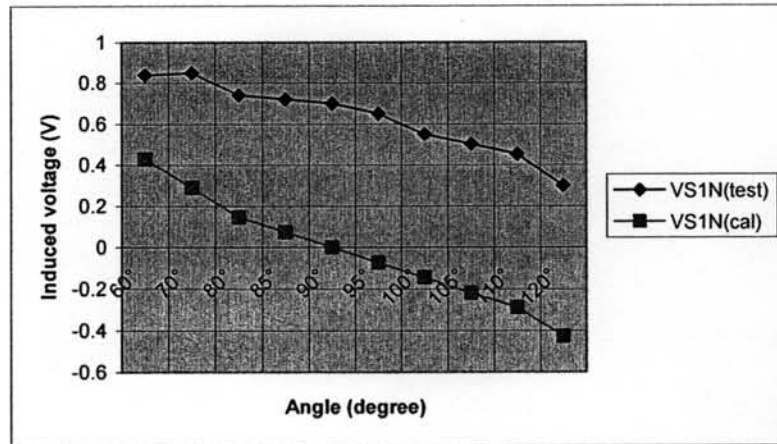
ค่าของ VS1N จากการคำนวณและการทดสอบมีแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงค่ายอดของแรงดันเหนี่ยวนำไปในทิศทางเดียวกัน เมื่อปรับมุมของพื้นที่หน้าตัดของเซ็นเซอร์ที่หันเข้าหาลำฟ้าผ่า แต่ค่าที่ได้จากการทดสอบจะมีค่าที่สูงกว่าค่าที่ได้จากการคำนวณ 50-70% (รูปที่ 4.7 (a))

ค่าของ VS1E จากการคำนวณและการทดสอบมีแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงค่ายอดของแรงดันเหนี่ยวนำไปในทิศทางเดียวกันในช่วงต้น โดยค่ายอดของ VS1E จากการทดสอบจะมีการเปลี่ยนแปลงในช่วงแคบๆเป็นรูปโค้งหงาย แต่ค่าจากการทดสอบจะลดลงด้วยความชันที่มากกว่า (รูปที่ 4.7 (b))

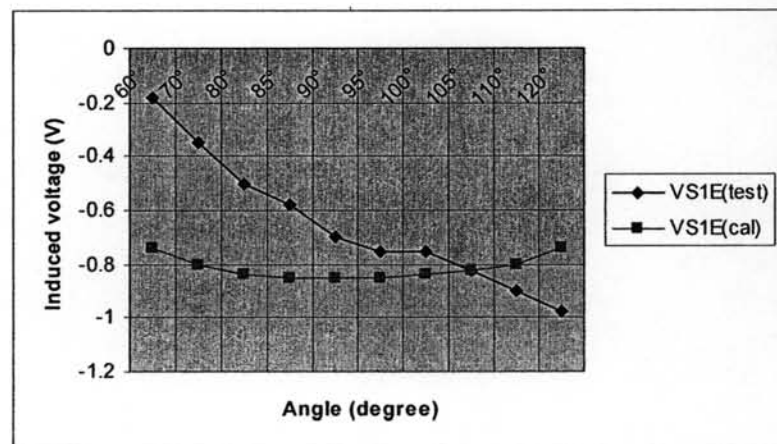
ค่าของ VS2N จากการคำนวณและการทดสอบมีแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงค่ายอดของแรงดันเหนี่ยวนำไปในทิศทางเดียวกัน โดยมีลักษณะเป็นรูปโค้งหงายทั้งคู่ แต่ค่าที่ได้จากการทดสอบจะมีค่าน้อยกว่าค่าจากการคำนวณ (รูปที่ 4.7 (c))

ค่าของ VS2E จากการคำนวณและการทดสอบมีแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงค่ายอดของแรงดันเหนี่ยวนำไปในทิศทางเดียวกัน และมีค่ายอดที่มีค่าใกล้เคียงกันมากที่สุด (รูปที่ 4.7 (d))

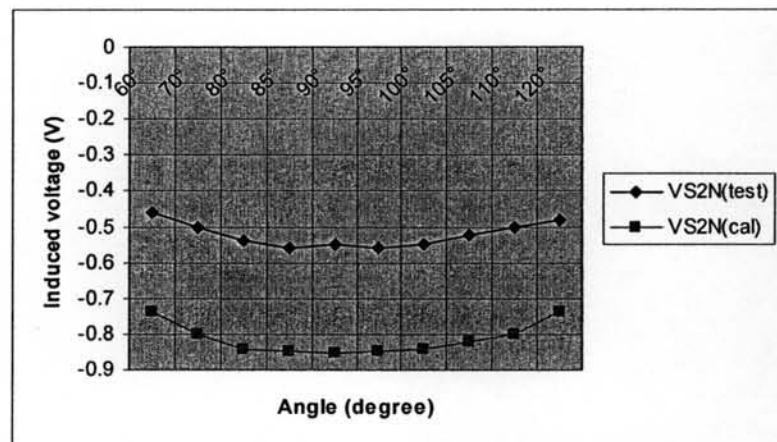
ค่าที่ได้จากการทดสอบและการคำนวณ สามารถนำมาพล็อตกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ามุมของเซ็นเซอร์ กับค่าแรงดันเหนี่ยวนำที่ได้จากเซ็นเซอร์ ทั้ง 4 ตัว ดังที่ได้แสดงในรูปที่ 4.7



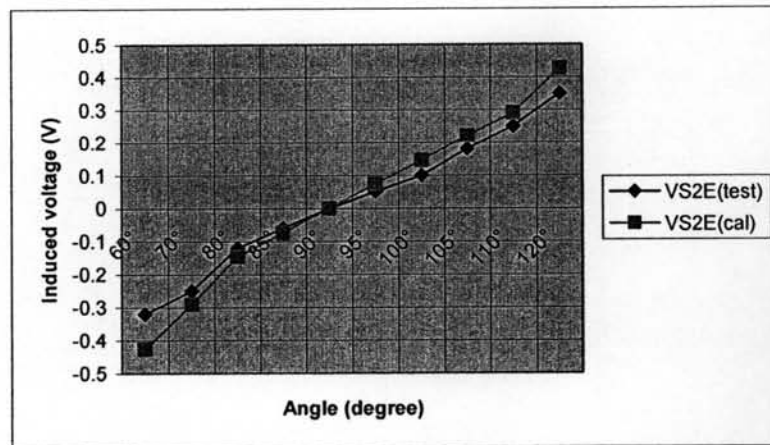
รูปที่ 4.7 (a) ค่าแรงดันเหนี่ยวนำ VS1N (test) VS VS1N (cal)



รูปที่ 4.7 (b) ค่าแรงดันเหนี่ยวนำ VS1E (test) VS VS1E (cal)



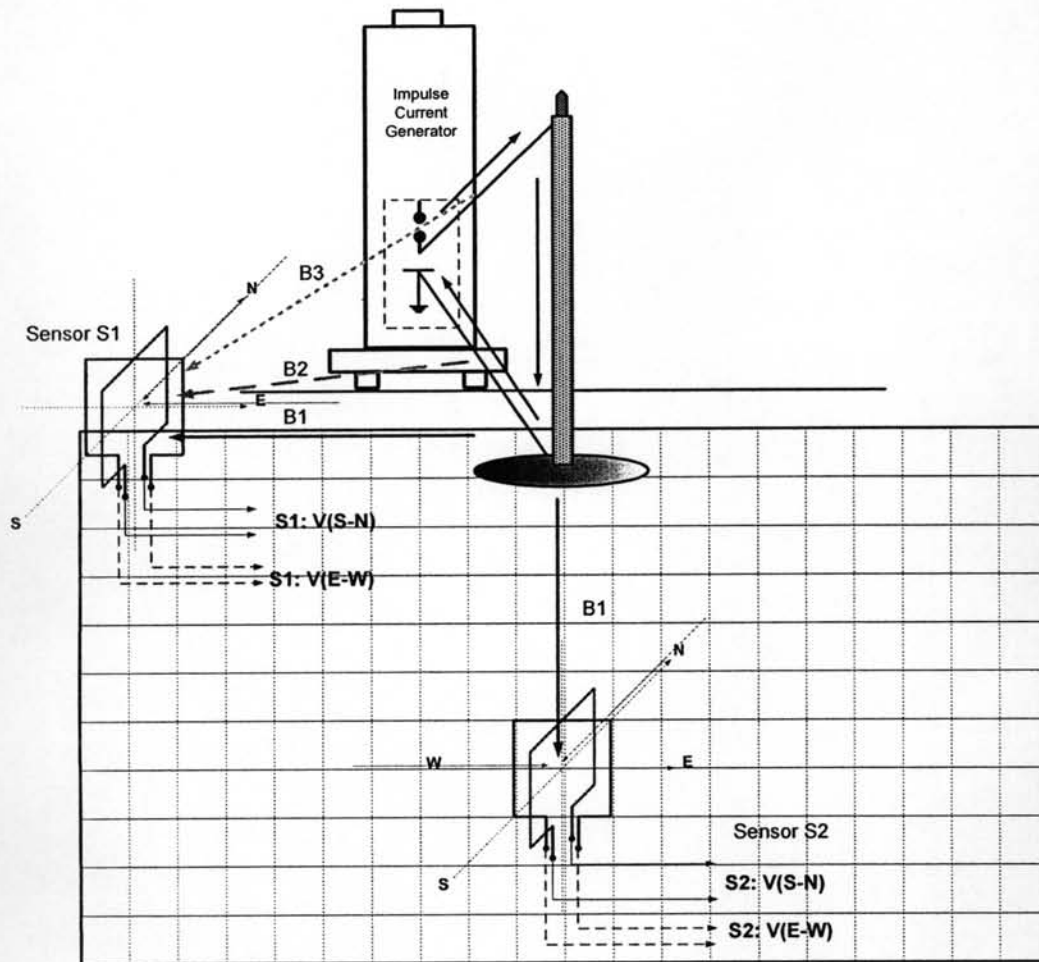
รูปที่ 4.7 (c) ค่าแรงดันเหนี่ยวนำ VS2N (test) VS VS2N (cal)



รูปที่ 4.7 (d) ค่าแรงดันเหนี่ยวนำ VS2E (test) VS VS2E (cal)

รูปที่ 4.7 (a)-(d) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของมุมและขนาดของแรงดันเหนี่ยวนำจากการทดสอบและจากการคำนวณที่เซ็นเซอร์ S1 และ S2

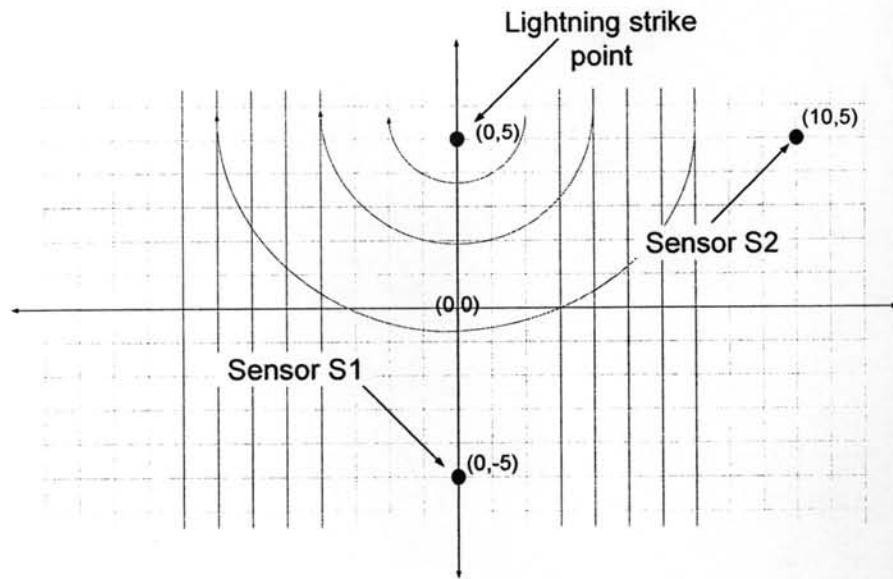
ค่าแรงดันเหนี่ยวนำที่ได้จากผลการทดสอบที่ 4.1.1.1/1 โดยสรุปแล้วแสดงให้เห็นว่าเซ็นเซอร์สามารถตรวจจับสนามแม่เหล็กแพร่กระจายที่เกิดจากการยิงกระแสมัลส์บวกผ่านตัวนำที่เป็นท่ออะลูมิเนียมได้ แต่ผลการทดสอบบ่งชี้ว่าค่าที่วัดได้ที่จุด (-10,5) มีผลผิดเพี้ยนเนื่องจากทางด้านหลังของท่ออะลูมิเนียมที่ใช้แทนลำฟ้าผ่า โดยที่ปลายด้านบนต่อด้วยแผ่นทองแดง เพื่อส่งผ่านกระแสมัลส์จากเครื่องกำเนิด และปลายท่อด้านล่างที่ฐานต่อกลับไปยังกราวด์ของระบบ ซึ่งในส่วนี้จะกลายเป็นลูบทงเดินของกระแสมัลส์ทำให้มีสนามแม่เหล็กแพร่กระจายออกจากลูบนี้ด้วยเช่นกัน และสนามแม่เหล็กจากส่วนนี้ จะส่งผลเหนี่ยวนำไปยังเซ็นเซอร์ที่วางอยู่ในจุด(-10,5) ซึ่งแสดงไว้ในรูปที่ 4.8 ทำให้ค่าแรงดันเหนี่ยวนำที่วัดออกมาแตกต่างไปจากค่าที่คำนวณ



รูปที่ 4.8 แสดงผลของสนามแม่เหล็กจากส่วนประกอบของวงจรจำลองฟ้าผ่าต่อเซ็นเซอร์ S1

การทดสอบที่ 4.1.1.1/2

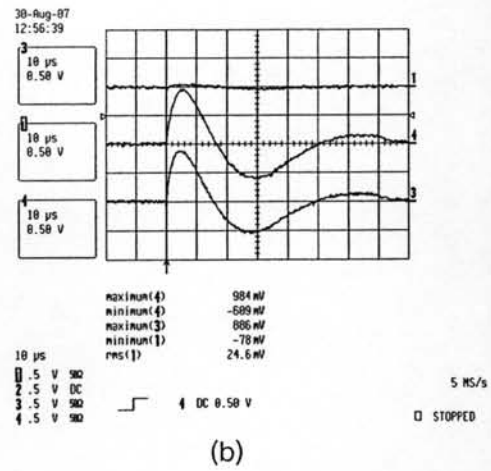
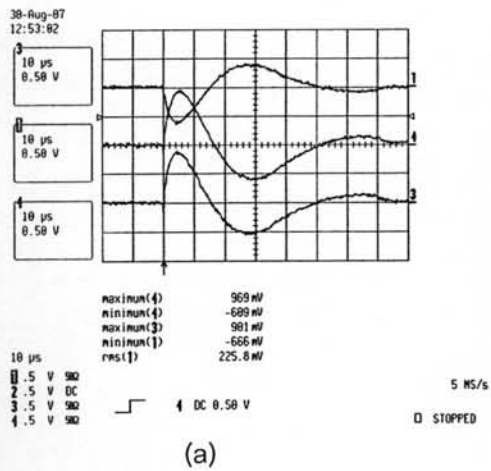
กำหนดตำแหน่งของกระแสฟ้าผ่าอยู่ที่จุด (0, 5) ตำแหน่งของเซ็นเซอร์ตรวจจับตัวที่ 1 (S1; S1N, S1E) อยู่ที่จุด (0, -5) และตำแหน่งของเซ็นเซอร์ตรวจจับตัวที่ 2 (S2; S2N, S2E) อยู่ที่จุด (10, 5) ตามรูปที่ 4.9 จัดเตรียมอุปกรณ์ทดสอบพร้อมเครื่องมือวัดต่างๆ ทำการทดสอบและบันทึกค่าตามการทดลองที่ 4.1.1.1/1 ผลการทดสอบที่ 4.1.1.1/2 สามารถแสดงได้ตามตารางที่ 4.2 และรูปที่ 4.10



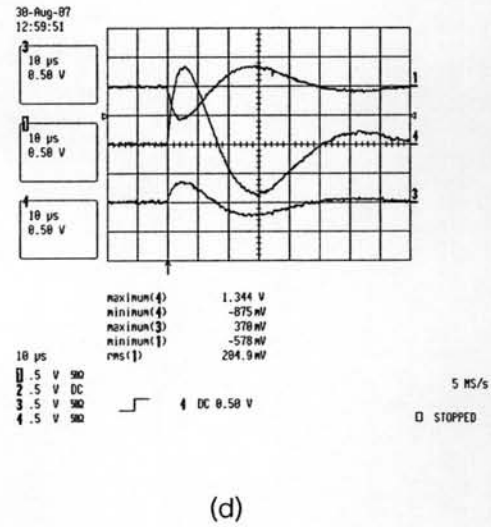
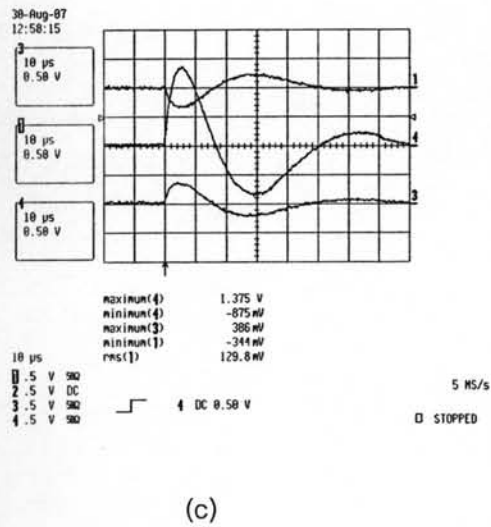
รูปที่ 4.9 รูปแสดงตำแหน่งของเซ็นเซอร์และลำฟ้าผ่าบนพื้นที่ทดสอบ

ตารางที่ 4.2 ตารางแสดงผลการวัดค่าแรงดันเหนี่ยวนำที่เซ็นเซอร์ S1 และ S2 จากการยิงกระแส อิมพัลส์บวก ขนาด 5 kA เพื่อวัดค่าเมื่อปรับเซ็นเซอร์ในมุมต่างๆ ตามการทดสอบที่ 4.1.1.1/2

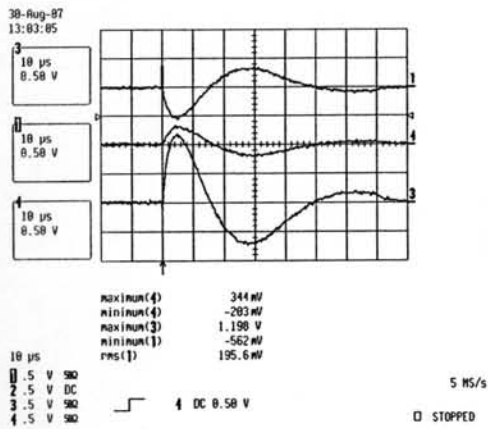
มุม (องศา)	ค่าแรงดันเหนี่ยวนำ (Induced Voltage (v))							
	ค่าที่วัดได้จาก Oscilloscope				ค่าที่คำนวณได้จากสมการที่ (2)			
	VS1N	VS1E	VS2N	VS2E	VS1N	VS1E	VS2N	VS2E
60°	-0.58	-0.34	0.39	1.38	-0.74	-0.43	-0.43	0.74
70°	-0.61	-0.23	0.58	1.22	-0.80	-0.29	-0.29	0.80
80°	-0.63	-0.12	0.78	1.06	-0.84	-0.15	-0.15	0.84
85°	-0.65	-0.06	0.87	0.98	-0.85	-0.07	-0.07	0.85
90°	-0.66	0.00	0.97	0.90	-0.85	0.00	0.00	0.85
95°	-0.64	0.07	1.00	0.81	-0.85	0.07	0.07	0.85
100°	-0.63	0.14	1.04	0.72	-0.84	0.15	0.15	0.84
105°	-0.61	0.22	1.08	0.62	-0.82	0.22	0.22	0.82
110°	-0.59	0.29	1.11	0.53	-0.80	0.29	0.29	0.80
120°	-0.56	0.42	1.18	0.34	-0.74	0.43	0.43	0.74



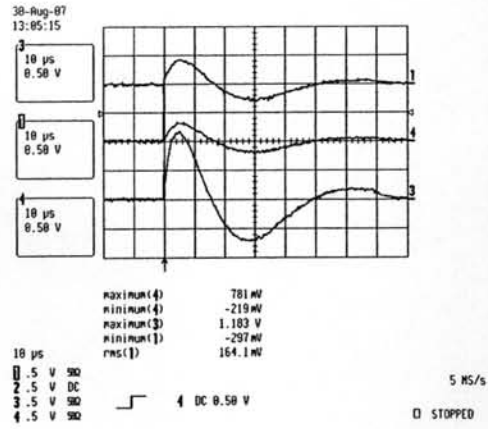
รูปที่ 4.10 (a) รูปคลื่นแรงดันเหนี่ยวนำ VS1N, VS2N และ VS2E ที่มุม 90° (b) รูปคลื่นแรงดันเหนี่ยวนำ VS1E, VS2N และ VS2E ที่มุม 90°



รูปที่ 4.10 (c) รูปคลื่นแรงดันเหนี่ยวนำ VS1E, VS2N และ VS2E ที่มุม 60° (d) รูปคลื่นแรงดันเหนี่ยวนำ VS1N, VS2N และ VS2E ที่มุม 60°



(e)



(f)

รูปที่ 4.10 (e) รูปคลื่นแรงดันเหนี่ยวนำ VS1N, VS2N และ VS2E ที่มุม 120° (b) รูปคลื่นแรงดันเหนี่ยวนำ VS1E, VS2N และ VS2E ที่มุม 120°

ผลการทดสอบที่ 4.1.1.1/2 เห็นได้ชัดว่าขนาดของแรงดันเหนี่ยวนำที่วัดได้จากเซ็นเซอร์ S1 ที่ตำแหน่ง (0,-5) มีขนาดและแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงใกล้เคียงกับค่าที่วัดได้จากเซ็นเซอร์ S2 ในการทดสอบที่ 4.1.1.1/1 เนื่องจากการวัดซ้ำที่ตำแหน่งเดิมของเซ็นเซอร์ S2 ในการทดสอบที่ 4.1.1.1/1 และขนาดแรงดันที่วัดได้จากเซ็นเซอร์ S2 ที่ตำแหน่ง (10, 5) มีแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงขนาดแรงดันคล้ายกับค่าที่วัดได้จากเซ็นเซอร์ S1 ในการทดสอบที่ 4.1.1.1/1 แต่ค่าที่ได้จะมีทิศทางตรงข้ามกัน เนื่องจากทิศทางของพื้นที่หน้าตัดของเซ็นเซอร์และสนามแม่เหล็กที่แพร่กระจายลำฟ้าผ่าเป็นคนละด้านกัน (ดูรูปที่ 4.2)

VS1N ที่มุม 60° จะมีค่ายอดเป็นค่าทางด้านลบ และเพิ่มขึ้นทางด้านลบเมื่อปรับมุมเพิ่มขึ้น โดยจะมีค่าสูงสุดทางด้านลบเมื่อมุมเท่ากับ 90° และเมื่อปรับมุมเกินกว่า 90° ค่ายอดของ VS2N จะลดลงเป็นรูปโค้งหงาย

VS1E ที่มุม 60° จะมีค่ายอดเป็นค่าทางด้านลบ และค่อยๆลดลงเมื่อปรับมุมเพิ่มขึ้น จนเมื่อมุมเท่ากับ 90° ค่าของ VS2E จะมีค่าเท่ากับ 0 และค่ายอดจะเพิ่มขึ้นทางด้านบวก เมื่อปรับมุมเกินกว่า 90°

VS2N ที่มุม 60° จะมีค่ายอดเป็นค่าทางด้านบวก และเพิ่มขึ้นเมื่อมุมปรับมุมมากขึ้น โดยจะมีค่าสูงสุดเมื่อมุมเท่ากับ 120°

VS2E ที่มุม 60° จะมีค่ายอดเป็นค่าทางด้านบวก และลดลงเมื่อปรับมุมเพิ่มขึ้น โดยจะมีค่าต่ำสุดเมื่อมุมเท่ากับ 120°

ค่าที่ได้จากการทดสอบ เมื่อมาเปรียบเทียบกับค่าที่ได้การคำนวณสามารถสรุปโดยรวมได้ดังนี้

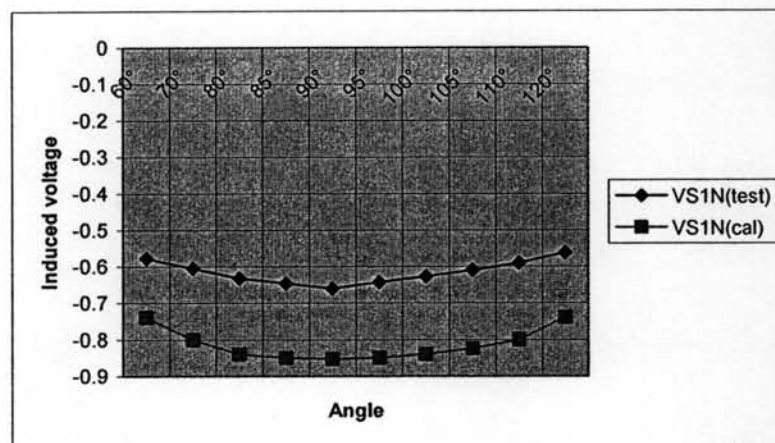
ค่าของ VS1N จากการคำนวณและการทดสอบมีแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงค่ายอดของแรงดันเหนี่ยวนำไปในทิศทางเดียวกัน โดยมีค่าการเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วงแคบๆ มีลักษณะเป็นรูปโค้งหงายทั้งคู่ แต่ค่าที่ได้จากการทดสอบจะมีค่าน้อยกว่าค่าจากการคำนวณ (รูปที่ 4.11 (a))

ค่าของ VS1E จากการคำนวณและการทดสอบมีแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงค่ายอดของแรงดันเหนี่ยวนำไปในทิศทางเดียวกัน และมีค่าใกล้เคียงกันมากที่สุด (รูปที่ 4.11 (b))

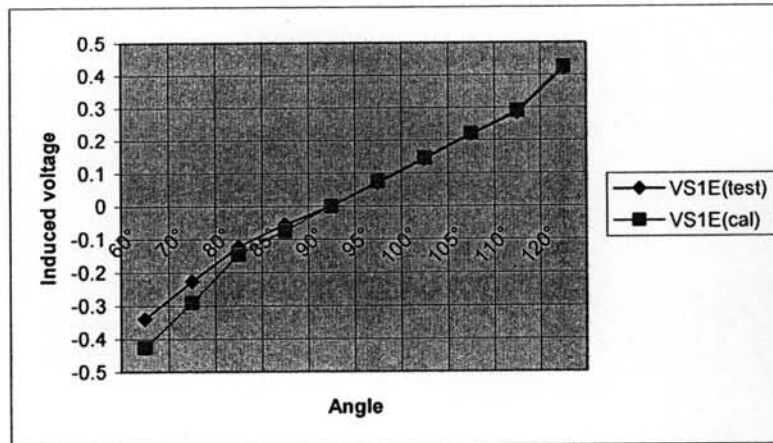
ค่าของ VS2N จากการคำนวณและการทดสอบมีแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงค่ายอดของแรงดันเหนี่ยวนำไปในทิศทางเดียวกัน แต่ค่าที่ได้จากการทดสอบจะมีค่าที่สูงกว่าค่าที่ได้จากการคำนวณ 50-70% (รูปที่ 4.10 (c))

ค่าของ VS2E จากการคำนวณและการทดสอบมีแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงค่ายอดของแรงดันเหนี่ยวนำไปในทิศทางเดียวกัน โดยค่ายอดของ VS1E จากการทดสอบจะมีการเปลี่ยนแปลงในช่วงแคบๆเป็นรูปโค้งคว่ำ แต่ค่าจากการทดสอบจะลดลงด้วยความชันที่มากกว่า (รูปที่ 4.11 (d))

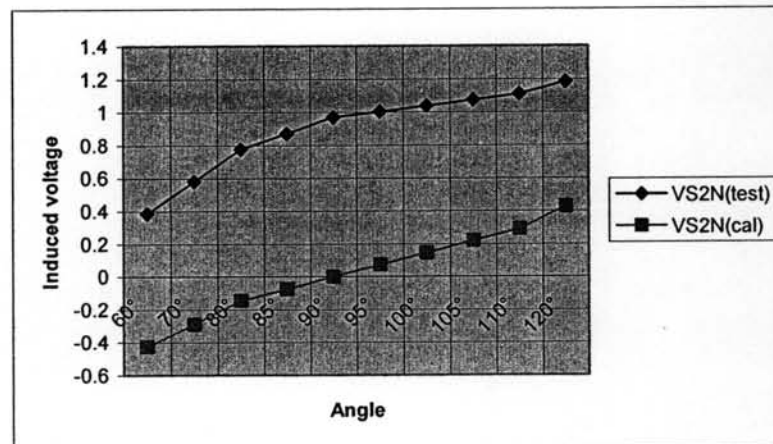
ค่าที่ได้จากการทดสอบและการคำนวณ สามารถนำมาพล็อตกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ามุมของเซ็นเซอร์ กับค่าแรงดันเหนี่ยวนำที่ได้จากเซ็นเซอร์ ทั้ง 4 ตัว ดังที่ได้แสดงในรูปที่ 4.11



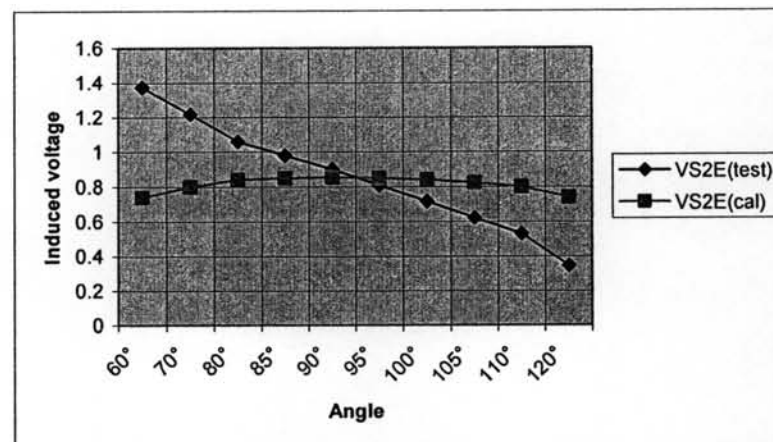
รูปที่ 4.11 (a) ค่าแรงดันเหนี่ยวนำ VS1N (test) VS VS1N (cal)



รูปที่ 4.11 (b) ค่าแรงดันเหนี่ยวนำ VS1E (test) VS VS1E (cal)



รูปที่ 4.11 (c) ค่าแรงดันเหนี่ยวนำ VS2N (test) VS VS2N (cal)



รูปที่ 4.11 (d) ค่าแรงดันเหนี่ยวนำ VS2E (test) VS VS2E (cal)

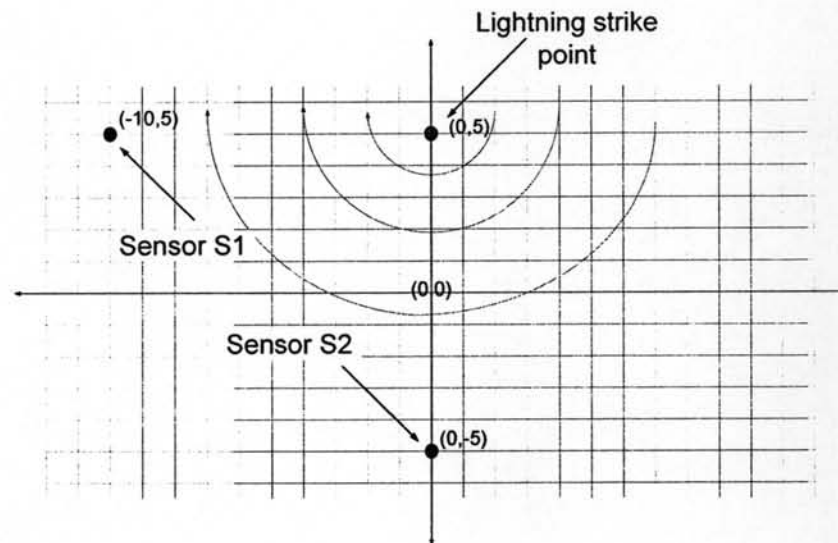
รูปที่ 4.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของมุมและขนาดของแรงดันเหนี่ยวนำ จากการทดสอบ และจากการคำนวณที่เซ็นเซอร์ S1 และเซ็นเซอร์ S2

ค่าแรงดันเหนี่ยวนำที่ได้จากผลการทดสอบที่ 4.1.1.1/2 โดยสรุปแล้วแสดงให้เห็นว่าเซ็นเซอร์สามารถตรวจจับสนามแม่เหล็กแพร่กระจาย ที่เกิดจากการยิงกระแสไฟฟ้าผ่านตัวนำที่เป็นท่อตัวนำอะลูมิเนียม เมื่อเปลี่ยนตำแหน่งของเซ็นเซอร์ S1 และ S2 ได้ แต่ผลการทดสอบบ่งชี้ว่าค่าที่วัดได้ที่จุด (10,5) มีผลผิดเพี้ยนไป และค่าที่ได้ของ VS2N และ VS2E เป็นค่าบวกเนื่องจากผลของทิศทางของสนามแม่เหล็กที่แพร่กระจาย และค่าที่ผิดเพี้ยนไปจากการคำนวณ ก็เนื่องมาจากอุปสรรคของกระแสไฟฟ้าทางด้านหลังของแท่งอะลูมิเนียม เช่นเดียวกับการทดสอบที่ 4.1.1.1/1

4.1.1.2 การทดสอบด้วยกระแสไฟฟ้า

การทดสอบที่ 4.1.1.2/1

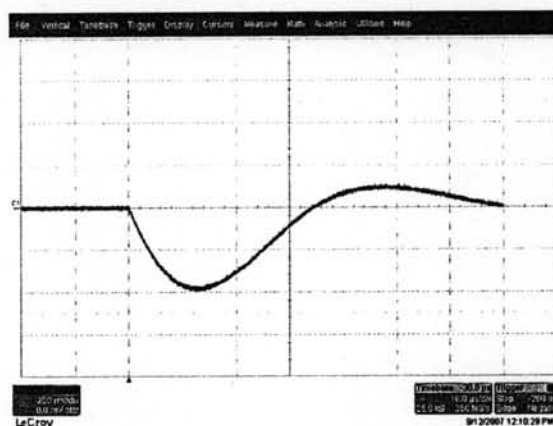
กำหนดตำแหน่งของกระแสไฟฟ้าอยู่ที่จุด (0, 5) ตำแหน่งของเซ็นเซอร์ตรวจจับตัวที่ 1 (S1; S1N, S1E) อยู่ที่จุด (-10, 5) และตำแหน่งของเซ็นเซอร์ตรวจจับตัวที่ 2 (S2; S2N, S2E) อยู่ที่จุด (0, -5) ตามรูปที่ 4.12 จัดเตรียมอุปกรณ์ทดสอบพร้อมเครื่องมือวัดต่างๆ ทำการทดสอบและบันทึกค่าตามการทดลองที่ 4.1.1.1/1 แต่เปลี่ยนขั้วของกระแสไฟฟ้าในการทดสอบจากขั้วบวกเป็นขั้วลบ ผลการทดสอบที่ 4.1.1.2/1 สามารถแสดงได้ตามตารางที่ 4.3 และรูปที่ 4.13



รูปที่ 4.12 รูปแสดงตำแหน่งของเซ็นเซอร์และลำฟ้าผ่านพื้นที่ทดสอบ

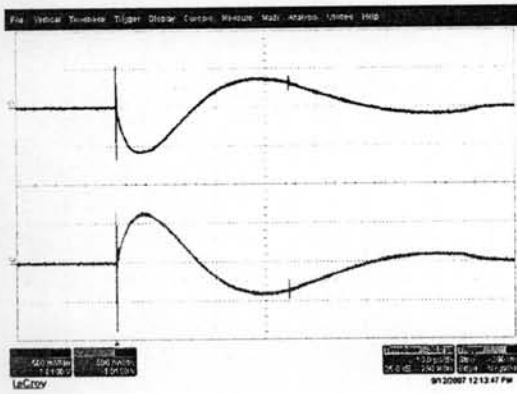
ตารางที่ 4.3 ตารางแสดงผลการวัดค่าแรงดันเหนี่ยวนำที่เซ็นเซอร์ S1 และ S2 จากการยิงกระแสอิมพัลส์ลบ ขนาด -5 kA เพื่อวัดค่าเมื่อปรับเซ็นเซอร์ในมุมต่างๆ ตามการทดสอบที่ 4.1.1.2/1

มุม (องศา)	ค่าแรงดันเหนี่ยวนำ (Induced Voltage (v))							
	ค่าที่วัดได้จาก Oscilloscope				ค่าที่คำนวณได้จากสมการที่ (2)			
	VS1N	VS1E	VS2N	VS2E	VS1N	VS1E	VS2N	VS2E
60°	-0.84	0.20	0.45	0.30	-0.43	0.74	0.74	0.43
70°	-0.75	0.40	0.48	0.19	-0.29	0.80	0.80	0.29
80°	-0.65	0.48	0.50	0.09	-0.15	0.84	0.84	0.15
85°	-0.62	0.56	0.52	0.05	-0.07	0.85	0.85	0.07
90°	-0.60	0.60	0.54	0.00	0.00	0.85	0.85	0.00
95°	-0.54	0.65	0.52	-0.06	0.07	0.85	0.85	-0.07
100°	-0.47	0.75	0.50	-0.11	0.15	0.84	0.84	-0.15
105°	-0.41	0.79	0.48	-0.19	0.22	0.82	0.82	-0.22
110°	-0.36	0.82	0.45	-0.26	0.29	0.80	0.80	-0.29
120°	-0.24	0.90	0.42	-0.32	0.43	0.74	0.74	-0.43

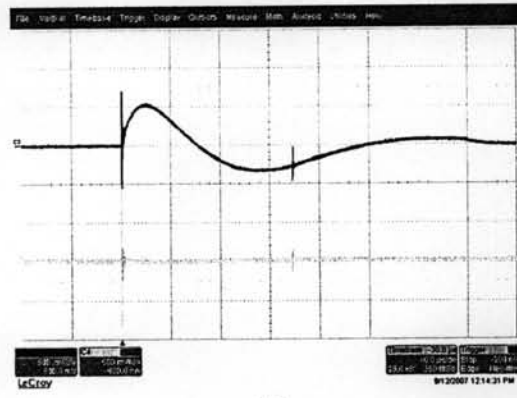


(a)

รูปที่ 4.13 (a) รูปคลื่นกระแสอิมพัลส์ลบ (Impulse current -5 kA 8/20 μ s)

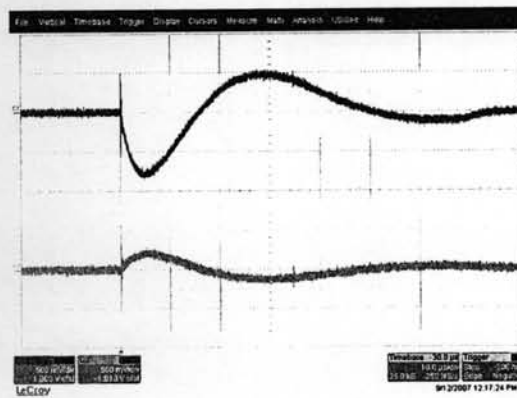


(b)

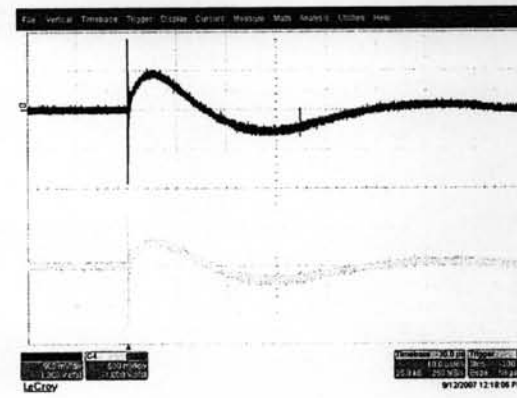


(c)

รูปที่ 4.13 (b) รูปคลื่นแรงดันเหนี่ยวนำของเซ็นเซอร์ S1 (VS1N, VS1E) ที่มุม 90° (c) รูปคลื่นแรงดันเหนี่ยวนำของเซ็นเซอร์ S2 (VS2N, VS2E) ที่มุม 90°

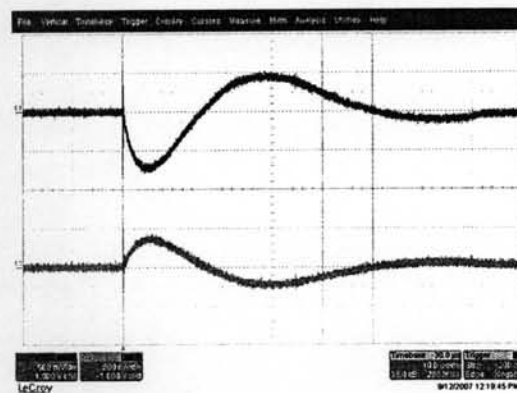


(d)

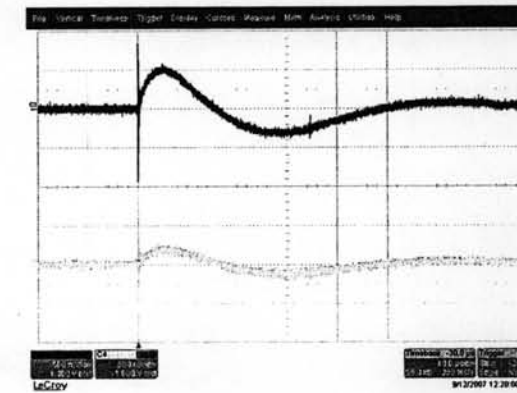


(e)

รูปที่ 4.13 (d) รูปคลื่นแรงดันเหนี่ยวนำของเซ็นเซอร์ S1 (VS1N, VS1E) ที่มุม 60° (e) รูปคลื่นแรงดันเหนี่ยวนำของเซ็นเซอร์ S2 (VS2N, VS2E) ที่มุม 60°

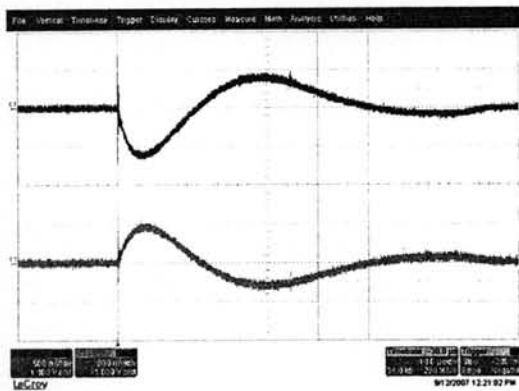


(f)

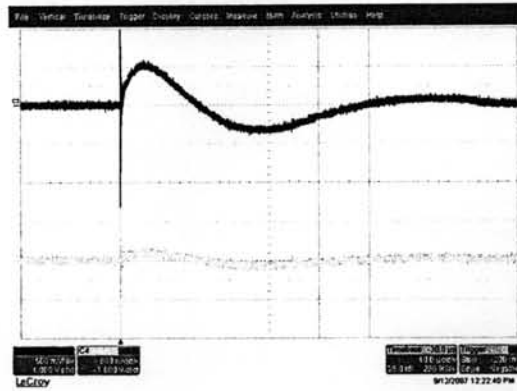


(g)

รูปที่ 4.13 (f) รูปคลื่นแรงดันเหนี่ยวนำของเซ็นเซอร์ S1 (VS1N, VS1E) ที่มุม 70° (g) รูปคลื่นแรงดันเหนี่ยวนำของเซ็นเซอร์ S2 (VS2N, VS2E) ที่มุม 70°

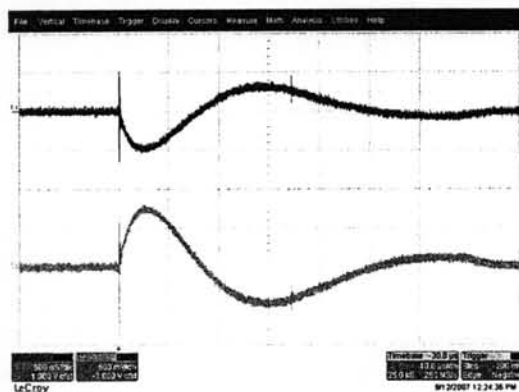


(h)

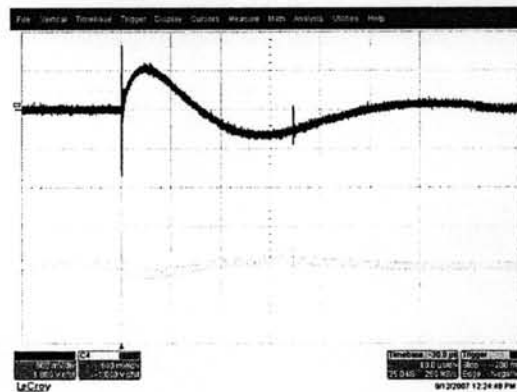


(i)

รูปที่ 4.13 (h) รูปคลื่นแรงดันเหนี่ยวนำของเซ็นเซอร์ S1 (VS1N, VS1E) ที่มุม 80° (i) รูปคลื่นแรงดันเหนี่ยวนำของเซ็นเซอร์ S2 (VS2N, VS2E) ที่มุม 80°

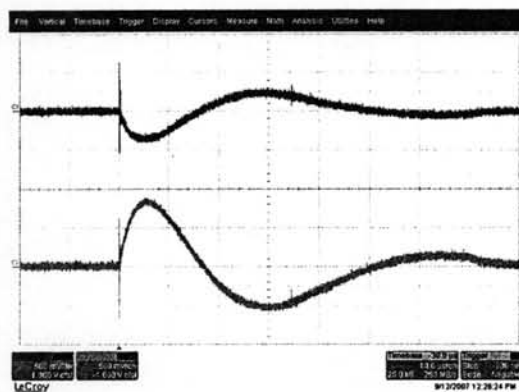


(j)

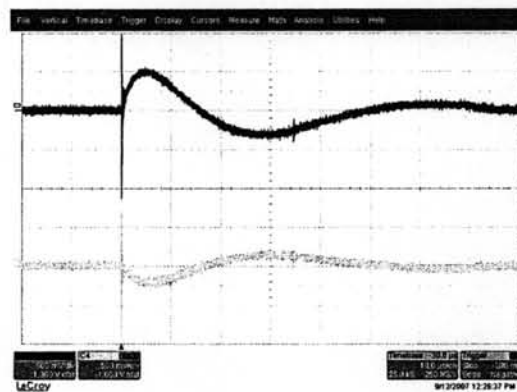


(k)

รูปที่ 4.13 (j) รูปคลื่นแรงดันเหนี่ยวนำของเซ็นเซอร์ S1 (VS1N, VS1E) ที่มุม 100° (k) รูปคลื่นแรงดันเหนี่ยวนำของเซ็นเซอร์ S2 (VS2N, VS2E) ที่มุม 100°

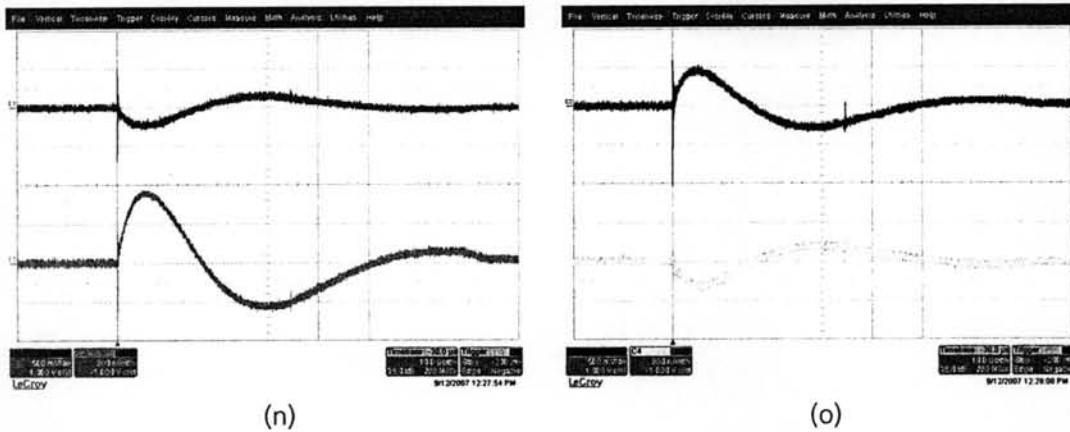


(l)



(m)

รูปที่ 4.13 (l) รูปคลื่นแรงดันเหนี่ยวนำของเซ็นเซอร์ S1 (VS1N, VS1E) ที่มุม 110° (m) รูปคลื่นแรงดันเหนี่ยวนำของเซ็นเซอร์ S2 (VS2N, VS2E) ที่มุม 110°



รูปที่ 4.13 (น) รูปคลื่นแรงดันเหนี่ยวนำของเซ็นเซอร์ S1 (VS1N, VS1E) ที่มุม 120° (อ) รูปคลื่นแรงดันเหนี่ยวนำของเซ็นเซอร์ S2 (VS2N, VS2E) ที่มุม 120°

ผลการทดสอบที่ 4.1.1.2/1 เห็นได้ชัดว่าขนาดของแรงดันเหนี่ยวนำที่วัดได้จากเซ็นเซอร์ S1 และเซ็นเซอร์ S2 จากการทดสอบด้วยกระแสพัลส์ลบ มีขนาดและแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงคล้ายกันกับค่าที่วัดได้จากการทดสอบที่ 4.1.1.1/1 แต่ค่ายอดที่วัดได้จะมีทิศตรงข้ามกัน เนื่องจากกระแสพัลส์ที่ใช้ทดสอบเป็นกระแสพัลส์ลบ

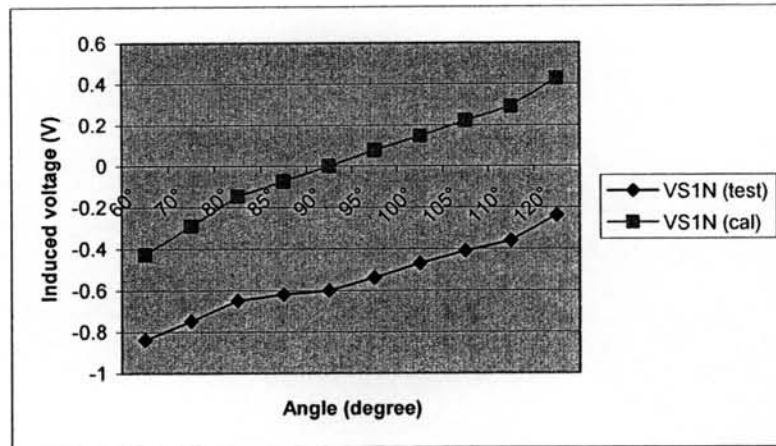
VS1N ที่มุม 60° ค่ายอดของแรงดันเหนี่ยวนำที่วัดได้มีค่าทางด้านลบ และเพิ่มขึ้นเมื่อมุมเท่ากับ 70° ซึ่งเป็นค่าที่สูงสุดในการวัดแต่จะมีค่าลดลงเมื่อปรับมุมมากขึ้นและจะมีค่าต่ำสุดทางด้านลบที่มุม 120°

VS1E ที่มุม 60° จะมีค่ายอดเป็นค่าทางด้านบวก และเพิ่มขึ้นเมื่อปรับมุมเพิ่มขึ้น โดยจะมีค่าสูงสุดเมื่อมุมเท่ากับ 120°

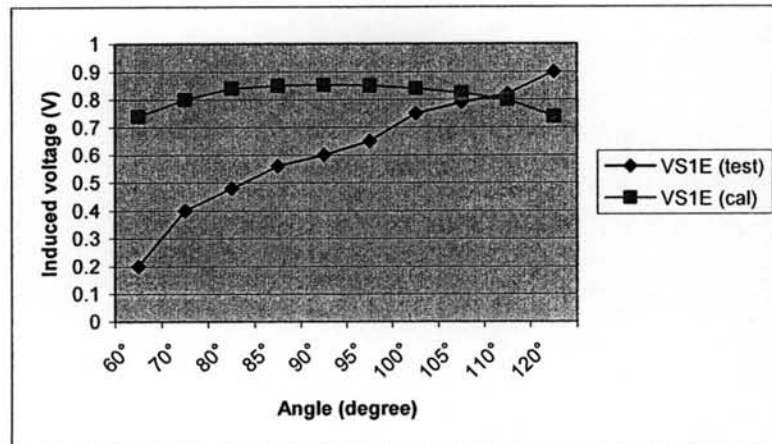
VS2N ที่มุม 60° จะมีค่ายอดเป็นค่าทางด้านบวก และเพิ่มขึ้นเมื่อปรับมุมเพิ่มขึ้น โดยจะมีค่าสูงสุดเมื่อมุมเท่ากับ 90° และเมื่อปรับมุมเกินกว่า 90° ค่ายอดของ VS2N จะลดลงเป็นรูปโค้งคว่ำ

VS2E ที่มุม 60° จะมีค่ายอดเป็นค่าทางด้านบวก และค่อยๆลดลงเมื่อปรับมุมเพิ่มขึ้น จนเมื่อมุมเท่ากับ 90° ค่าของ VS2E จะมีค่าเท่ากับ 0 และค่ายอดจะเพิ่มขึ้นทางด้านลบ เมื่อปรับมุมเกินกว่า 90°

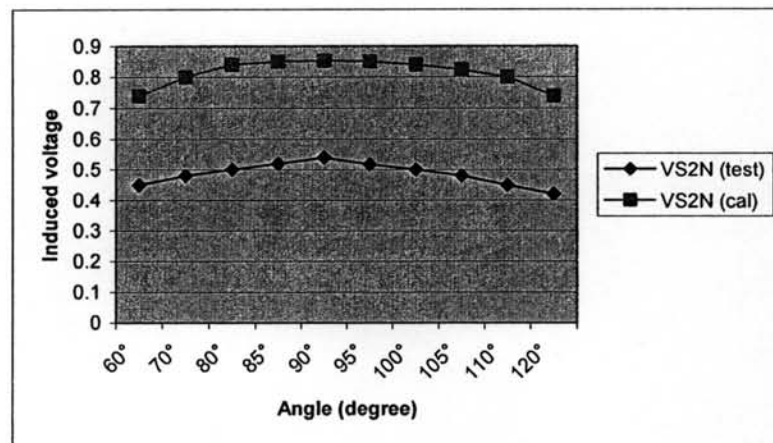
ผลการทดสอบและผลการคำนวณ เมื่อนำมาพล็อตกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ามุมของเซ็นเซอร์ กับค่าแรงดันเหนี่ยวนำที่ได้จากเซ็นเซอร์ทั้ง 4 ตัว สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.14



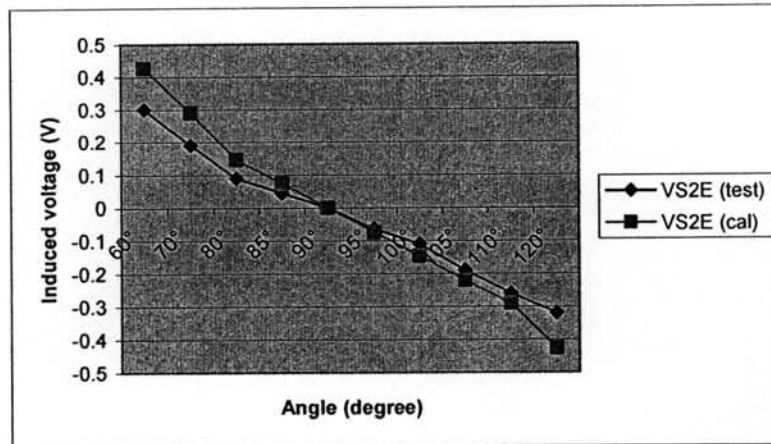
รูปที่ 4.14 (a) ค่าแรงดันเหนี่ยวนำ VS1N (test) VS VS1N (cal)



รูปที่ 4.14 (b) ค่าแรงดันเหนี่ยวนำ VS1E (test) VS VS1E (cal)



รูปที่ 4.14 (c) ค่าแรงดันเหนี่ยวนำ VS2N (test) VS VS2N (cal)



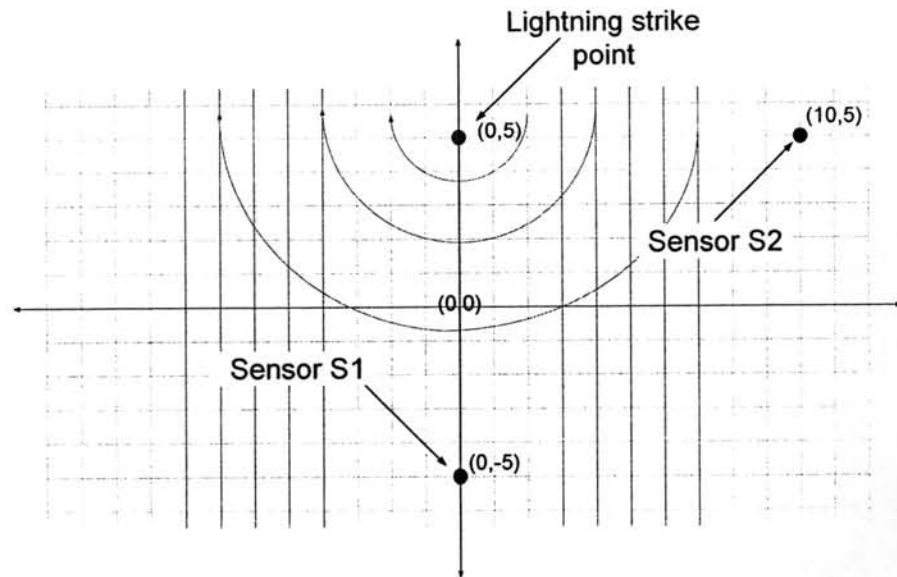
รูปที่ 4.14 (d) ค่าแรงดันเหนี่ยวนำ VS2E (test) VS VS2E (cal)

รูปที่ 4.14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของมุมและขนาดของแรงดันเหนี่ยวนำ จากการทดสอบ และจากการคำนวณที่เซ็นเซอร์ S1 และเซ็นเซอร์ S2

จากผลการทดสอบที่ 4.1.1.2/1 โดยสรุปแล้วแสดงให้เห็นว่าเซ็นเซอร์สามารถตรวจจับสนามแม่เหล็กแพร่กระจาย เมื่อเปลี่ยนจากการยิงกระแสอิมพัลส์บวกเป็นอิมพัลส์ลบผ่านตัวนำที่เป็นท่อโลหะ ผลการทดสอบบ่งชี้ว่าค่าที่วัดได้ที่จุด (-10, 5) มีผลผิดเพี้ยนไป เช่นเดียวกับการทดสอบที่ 4.1.1.1/1 และ 4.1.1.1/2

การทดสอบที่ 4.1.1.2/2

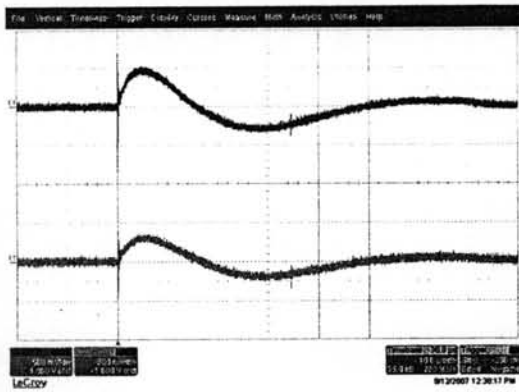
กำหนดตำแหน่งของกระแสฟ้าผ่าอยู่ที่จุด (0, 5) ตำแหน่งของเซ็นเซอร์ตรวจจับตัวที่ 1 (S1; S1N, S1E) อยู่ที่จุด (0, -5) และตำแหน่งของเซ็นเซอร์ตรวจจับตัวที่ 2 (S2; S2N, S2E) อยู่ที่จุด (10, 5) ตามรูปที่ 4.15 จัดเตรียมอุปกรณ์ทดสอบพร้อมเครื่องมือวัดต่างๆ ทำการทดสอบและบันทึกค่าตามการทดลองที่ 4.1.1.2/2 แต่เปลี่ยนขั้วของกระแสอิมพัลส์ในการทดสอบจากขั้วบวกเป็นขั้วลบ ผลการทดสอบที่ 4.1.1.2/1 สามารถแสดงได้ตามตารางที่ 4.4 และรูปที่ 4.16



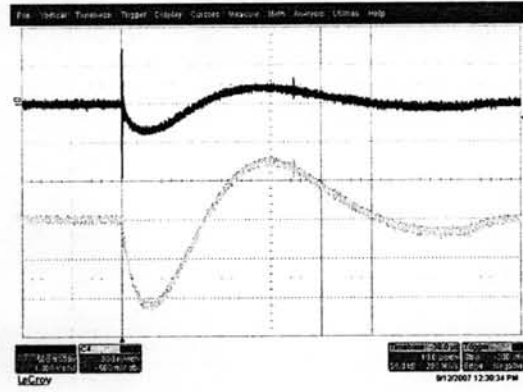
รูปที่ 4.15 รูปแสดงตำแหน่งของเซ็นเซอร์และลำฟ้าผ่านพื้นที่ทดสอบ

ตารางที่ 4.4 ตารางแสดงผลการวัดค่าแรงดันเหนี่ยวนำที่เซ็นเซอร์ S1 และ S2 จากการยิงกระแสจิมพัลส์ลบ ขนาด -5 kA เพื่อวัดค่าเมื่อปรับเซ็นเซอร์ในมุมต่างๆ ตามการทดสอบที่ 4.1.1.2/2

มุม (องศา)	ค่าแรงดันเหนี่ยวนำ (Induced Voltage(v))							
	ค่าที่วัดได้จาก Oscilloscope				ค่าที่คำนวณได้จากสมการที่ (2)			
	VS1N	VS1E	VS2N	VS2E	VS1N	VS1E	VS2N	VS2E
60°	0.45	0.30	-0.45	-1.08	0.74	0.43	0.43	-0.74
70°	0.49	0.20	-0.50	-1.02	0.80	0.29	0.29	-0.80
80°	0.50	0.12	-0.65	-0.90	0.84	0.15	0.15	-0.84
85°	0.52	0.06	-0.74	-0.86	0.85	0.07	0.07	-0.85
90°	0.54	0.00	-0.80	-0.80	0.85	0.00	0.00	-0.85
95°	0.52	0.05	-0.85	-0.76	0.85	-0.07	-0.07	-0.85
100°	0.50	-0.10	-0.90	-0.65	0.84	-0.15	-0.15	-0.84
105°	0.49	-0.19	-0.93	-0.55	0.82	-0.22	-0.22	-0.82
110°	0.48	-0.23	-0.96	-0.45	0.80	-0.29	-0.29	-0.80
120°	0.44	-0.33	-1.00	-0.25	0.74	-0.43	-0.43	-0.74

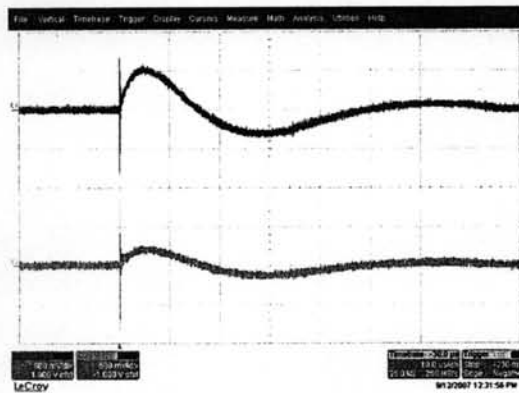


(a)

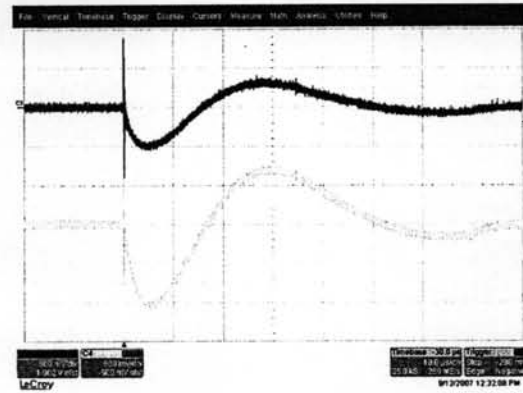


(b)

รูปที่ 4.16 (a) รูปคลื่นแรงดันเหนี่ยวนำของเซ็นเซอร์ S1 (VS1N, VS1E) ที่มุม 60° (b) รูปคลื่นแรงดันเหนี่ยวนำของเซ็นเซอร์ S2 (VS2N, VS2E) ที่มุม 60°

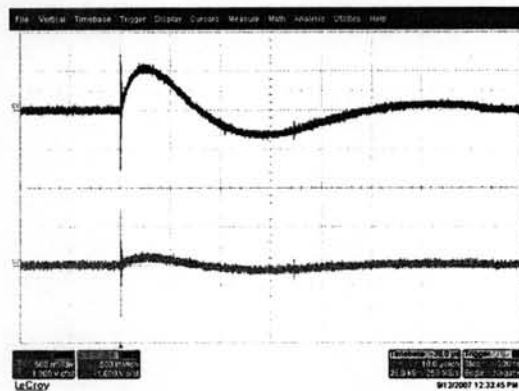


(c)

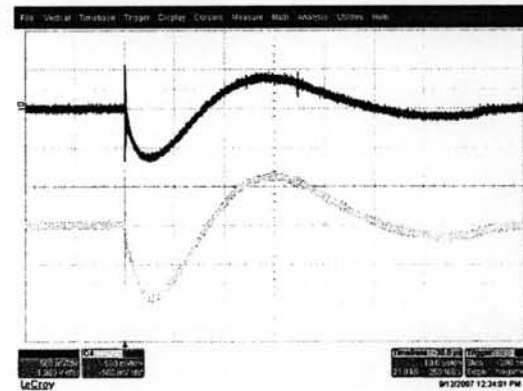


(d)

รูปที่ 4.16 (c) รูปคลื่นแรงดันเหนี่ยวนำของเซ็นเซอร์ S1 (VS1N, VS1E) ที่มุม 70° (d) รูปคลื่นแรงดันเหนี่ยวนำของเซ็นเซอร์ S2 (VS2N, VS2E) ที่มุม 70°

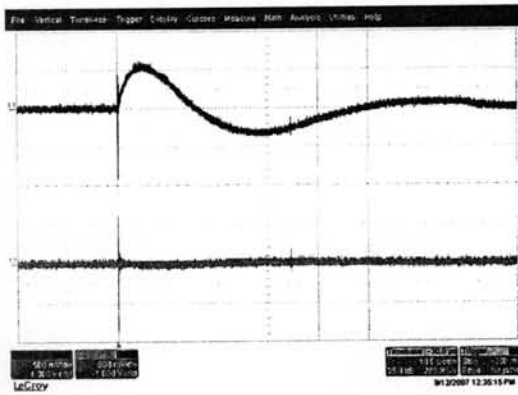


(e)

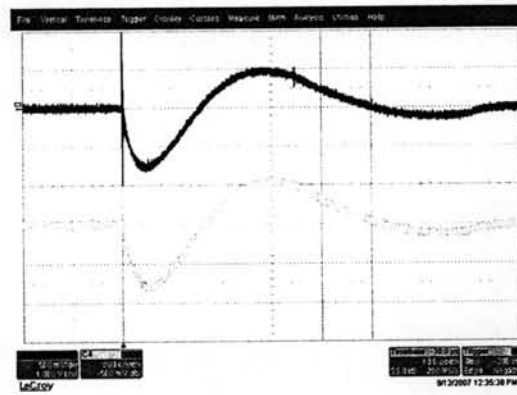


(f)

รูปที่ 4.16 (e) รูปคลื่นแรงดันเหนี่ยวนำของเซ็นเซอร์ S1 (VS1N, VS1E) ที่มุม 80° (f) รูปคลื่นแรงดันเหนี่ยวนำของเซ็นเซอร์ S2 (VS2N, VS2E) ที่มุม 80°

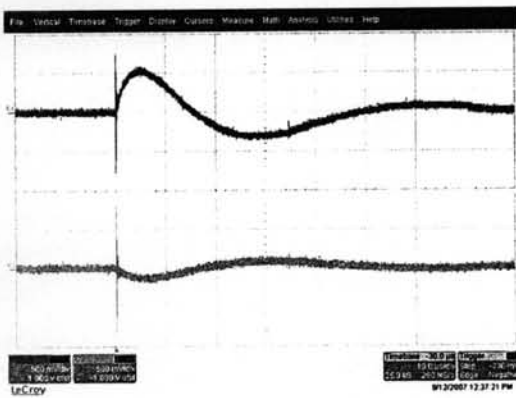


(g)

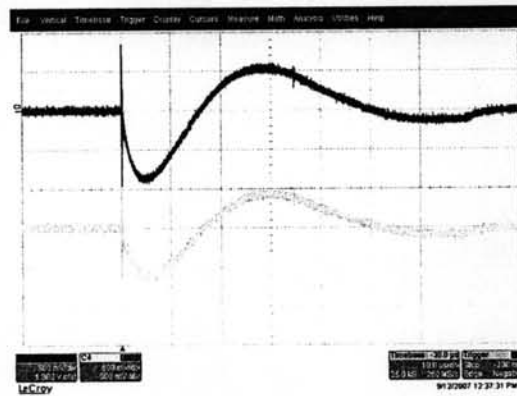


(h)

รูปที่ 4.16 (g) รูปคลื่นแรงดันเหนี่ยวนำของเซ็นเซอร์ S1 (VS1N, VS1E) ที่มุม 90° (h) รูปคลื่นแรงดันเหนี่ยวนำของเซ็นเซอร์ S2 (VS2N, VS2E) ที่มุม 90°

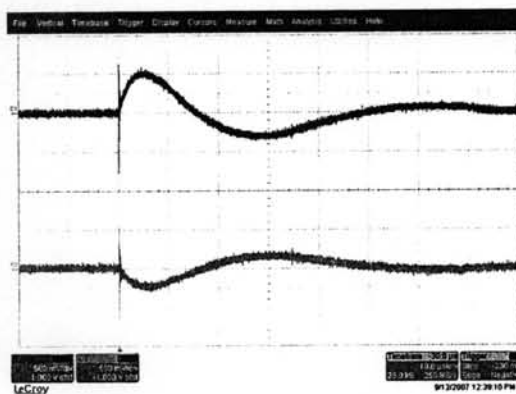


(i)

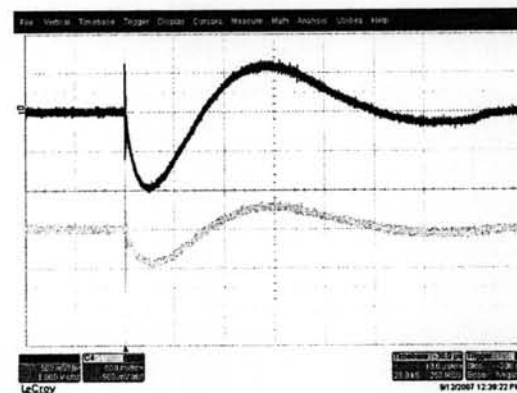


(j)

รูปที่ 4.16 (i) รูปคลื่นแรงดันเหนี่ยวนำของเซ็นเซอร์ S1 (VS1N, VS1E) ที่มุม 100° (j) รูปคลื่นแรงดันเหนี่ยวนำของเซ็นเซอร์ S2 (VS2N, VS2E) ที่มุม 100°

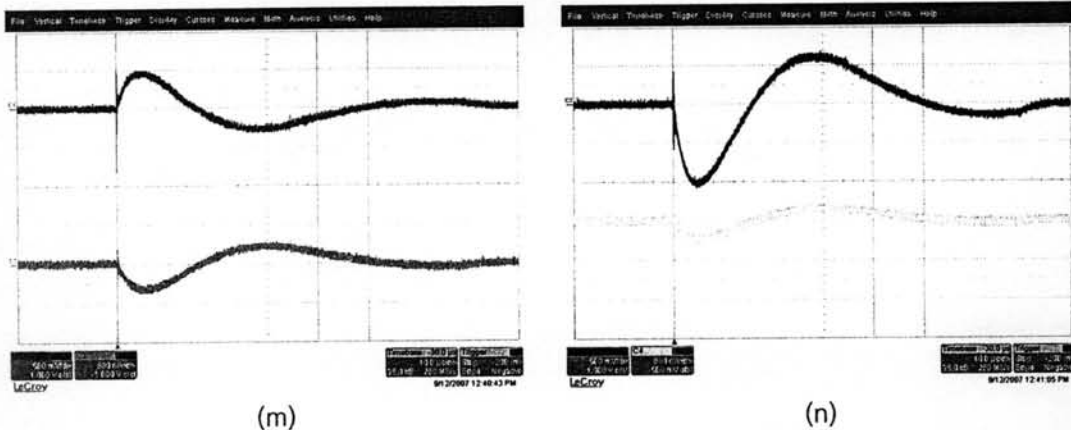


(k)



(l)

รูปที่ 4.16 (k) รูปคลื่นแรงดันเหนี่ยวนำของเซ็นเซอร์ S1 (VS1N, VS1E) ที่มุม 110° (l) รูปคลื่นแรงดันเหนี่ยวนำของเซ็นเซอร์ S2 (VS2N, VS2E) ที่มุม 110°



รูปที่ 4.16 (m) รูปคลื่นแรงดันเหนี่ยวนำของเซ็นเซอร์ S1 (VS1N, VS1E) ที่มุม 120° (n) รูปคลื่นแรงดันเหนี่ยวนำของเซ็นเซอร์ S2 (VS2N, VS2E) ที่มุม 120°

ผลการทดสอบที่ 4.1.1.2/2 เห็นได้ชัดว่าขนาดของแรงดันเหนี่ยวนำที่วัดได้จากเซ็นเซอร์ S1 และเซ็นเซอร์ S2 จากการทดสอบด้วยกระแสพัลส์ลบ มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงคล้ายกันกับค่าที่วัดได้จากการทดสอบที่ 4.1.1.1/2 แต่ค่ายอดของแรงดันเหนี่ยวนำที่วัดได้ จะมีค่าเปลี่ยนแปลงในทิศทางตรงกันข้ามค่าที่ได้จากการทดสอบที่ 4.1.1.1/2 เนื่องจากกระแสพัลส์ที่ใช้กระแสพัลส์ลบในการทดสอบ

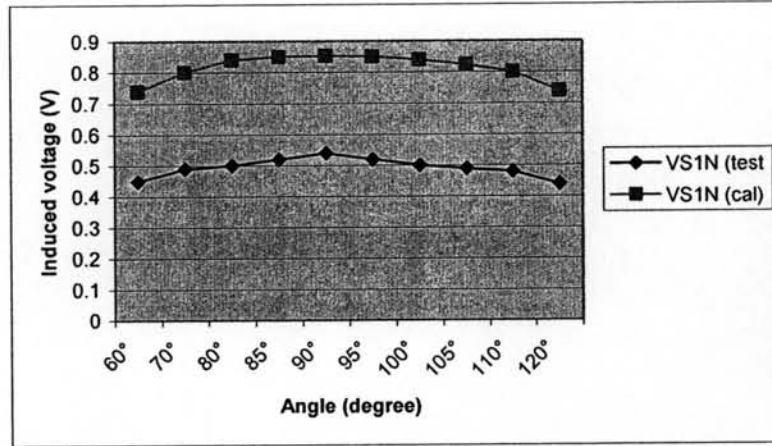
VS1N ที่มุม 60° จะมีค่ายอดเป็นค่าทางด้านบวก และเพิ่มขึ้นเมื่อปรับมุมเพิ่มขึ้น โดยจะมีค่าสูงสุดเมื่อมุมเท่ากับ 90° และเมื่อปรับมุมเกินกว่า 90° ค่ายอดของ VS2N จะลดลงเป็นรูปโค้งคว่ำ

VS1E ที่มุม 60° จะมีค่ายอดเป็นค่าทางด้านบวก และค่อยๆลดลงเมื่อปรับมุมเพิ่มขึ้น จนเมื่อมุมเท่ากับ 90° ค่าของ VS2E จะมีค่าเท่ากับ 0 และค่ายอดจะเพิ่มขึ้นทางด้านลบ เมื่อปรับมุมเกินกว่า 90°

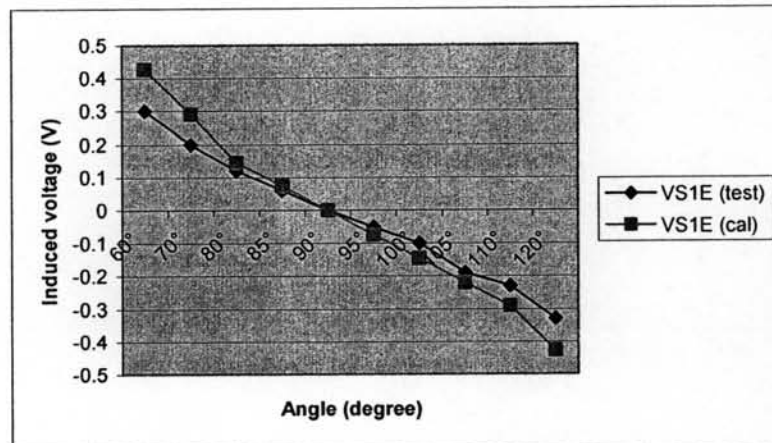
VS2N ที่มุม 60° จะมีค่ายอดเป็นค่าทางด้านลบ และเพิ่มขึ้นเมื่อมุมปรับมุมมากขึ้นทางด้านลบ โดยจะมีค่าสูงสุดทางด้านเมื่อมุมเท่ากับ 120°

VS2E ที่มุม 60° จะมีค่ายอดเป็นค่าทางด้านลบ และลดลงทางด้านลบเมื่อปรับมุมเพิ่มขึ้น โดยจะมีค่าต่ำสุดทางด้านลบเมื่อมุมเท่ากับ 120°

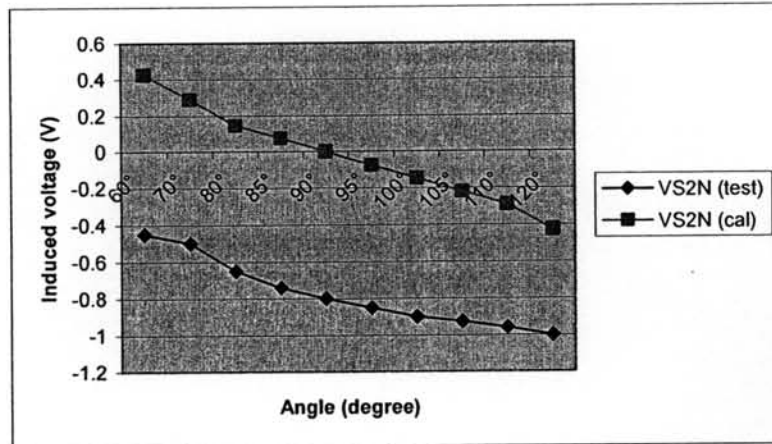
ผลการทดสอบและผลการคำนวณ เมื่อนำมาพล็อตกราฟแสดง ความสัมพันธ์ระหว่างค่ามุมของเซ็นเซอร์ กับค่าแรงดันเหนี่ยวนำที่ได้จากเซ็นเซอร์ ทั้ง 4 ตัว สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.17



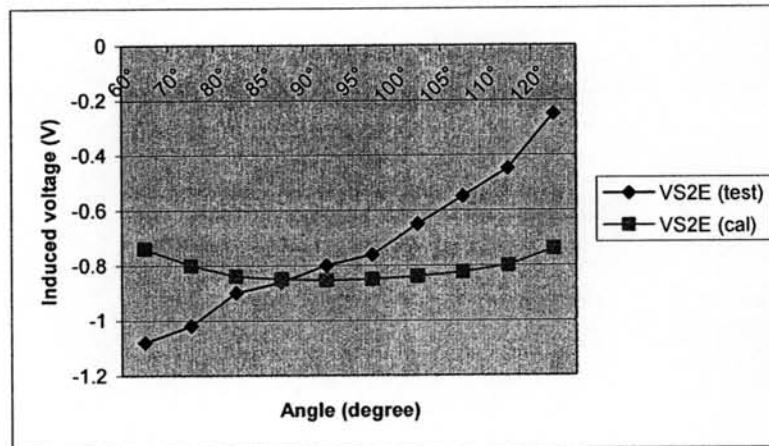
รูปที่ 4.17 (a) ค่าแรงดันเหนี่ยวนำ VS1N (test) VS VS1N (cal)



รูปที่ 4.17 (b) ค่าแรงดันเหนี่ยวนำ VS1E (test) VS VS1E (cal)



รูปที่ 4.17 (c) ค่าแรงดันเหนี่ยวนำ VS2N (test) VS VS2N (cal)



รูปที่ 4.17 (d) ค่าแรงดันเหนี่ยวนำ VS2E (test) VS VS2E (cal)

รูปที่ 4.17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของมุมและขนาดของแรงดันเหนี่ยวนำ จากการทดสอบ และจากการคำนวณที่เซ็นเซอร์ S1 และเซ็นเซอร์ S2

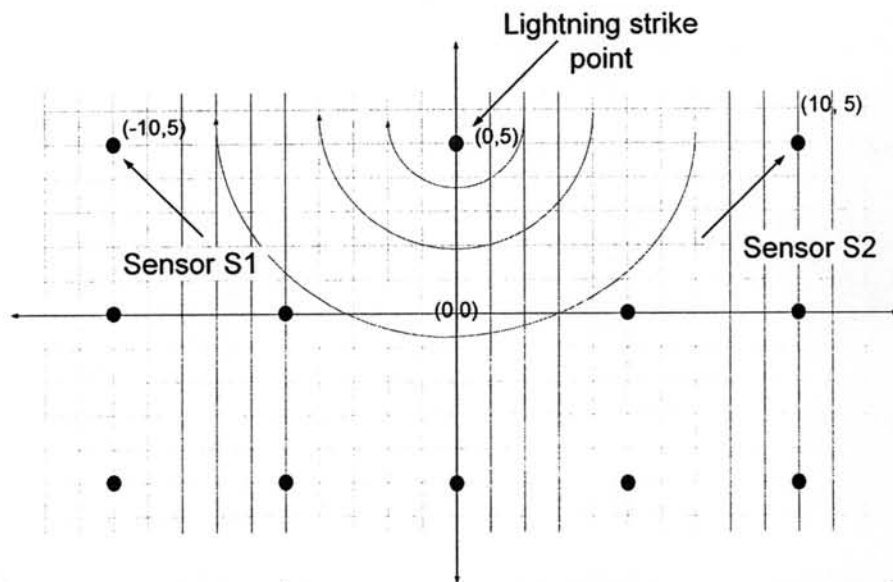
จากผลการทดสอบที่ 4.1.1.2/2 โดยสรุปแล้วแสดงให้เห็นว่า เซ็นเซอร์สามารถตรวจจับสนามแม่เหล็กแพร่กระจาย เมื่อเปลี่ยนจากการยิงกระแส อิมพัลส์บวกเป็นอิมพัลส์ลบผ่านตัวนำที่เป็นท่ออะลูมิเนียม จากผลการทดสอบที่ 4.1.1.2/1 ผลการทดสอบบ่งชี้ว่าค่าที่วัดได้ที่จุด (10, 5) มีผลผิดเพี้ยนไป เช่นเดียวกับการทดสอบที่ 4.1.1.1/1 และ 4.1.1.1/2 และน่าจะเนื่องมาจากสาเหตุเดียวกัน

4.1.2 การทดสอบเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของค่าแรงดันเหนี่ยวนำกับระยะทาง (ตำแหน่งของเซ็นเซอร์กับตำแหน่งของฟ้าผ่า)

จุดประสงค์ เพื่อศึกษาถึงผลของระยะทางของสนามแม่เหล็กที่แพร่กระจายออกจากลำฟ้าผ่า (ผลของระยะห่าง R จากลำฟ้าผ่าไปยังเซ็นเซอร์) โดยการวัดค่าแรงดันเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นเมื่อปรับตำแหน่งที่ตั้งของเซ็นเซอร์ ในพื้นที่ที่กำหนด บันทึกผลและเปรียบเทียบกับค่าที่คำนวณได้จากทฤษฎี การทดสอบแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ การทดสอบกับกระแสिमพัลส์บวกและกระแสिमพัลส์ลบ

4.1.2.1 การทดสอบด้วยกระแสिमพัลส์บวก

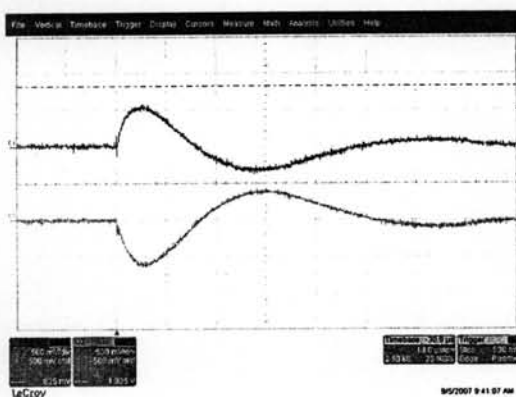
กำหนดตำแหน่งของกระแสिमฟ้าผ่าอยู่ที่จุด (0, 5) ตำแหน่งของเซ็นเซอร์ตรวจจับตัวที่ 1 (S1; S1N, S1E) เริ่มวางตำแหน่งที่จุด (-10, 5) และตำแหน่งของเซ็นเซอร์ตรวจจับตัวที่ 2 (S2; S2N, S2E) เริ่มวางตำแหน่งที่จุด (10, -5) ตามรูปที่ 4.14 แล้วทำการหมุนแกนปรับมุมระหว่างเซ็นเซอร์แต่ละตัวกับลำฟ้าผ่าให้ได้มุมเท่ากับ 0° และ 90° ตามแนวแกนของเซ็นเซอร์ในทิศเหนือ-ใต้ของเซ็นเซอร์แต่ละตัว ดังรูปที่ 4.18 ยิ่งกระแสिमพัลส์ที่คายอดขนาด 5 kA บันทึกค่าตำแหน่งละ 3 ครั้ง เปลี่ยนตำแหน่งที่ตั้งของเซ็นเซอร์ใหม่ ทดสอบซ้ำจนครบตามตำแหน่งที่กำหนด ค่าจากการทดสอบสามารถแสดงได้ในตารางที่ 4.5 และรูปที่ 4.19



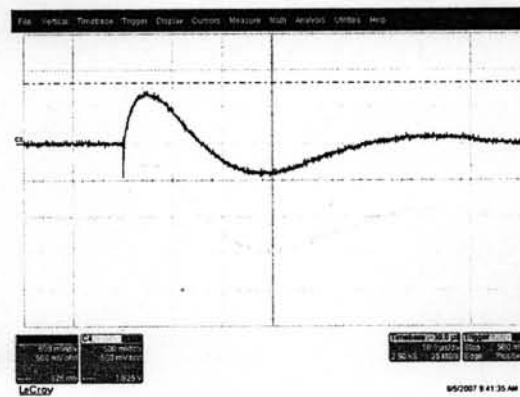
รูปที่ 4.18 รูปแสดงตำแหน่งเริ่มต้น และตำแหน่งทดสอบของเซ็นเซอร์และลำฟ้าผ่าบนพื้นที่ทดสอบ

ตารางที่ 4.5 ตารางแสดงผลการวัดค่าแรงดันเหนี่ยวนำที่เซ็นเซอร์ S1 และ S2 จากการยิงกระแส อิมพัลส์บวก ขนาด 5 kA เพื่อวัดค่าเมื่อวางเซ็นเซอร์ในตำแหน่งต่างๆ ตามการทดสอบที่ 4.1.2.1

ตำแหน่งของเซ็นเซอร์ (S1,S2)		ค่าแรงดันเหนี่ยวนำ (Induced Voltage (v))							
Sensors Position (x,y) X 10 cm.		ค่าที่วัดได้จาก Oscilloscope				ค่าที่คำนวณได้จากสมการที่ (2)			
S1	S2	VS1N	VS1E	VS2N	VS2E	VS1N	VS1E	VS2N	VS2E
(-10,5)	(10,5)	0.50	-0.65	0.70	0.75	0.00	-0.85	0.85	0.00
(-10,0)	(10,0)	0.12	-0.6	0.19	0.70	0.34	-0.68	0.34	0.68
(-10,-5)	(10,-5)	-0.10	-0.35	-0.10	0.40	0.43	-0.43	0.43	0.43
(-5,-5)	(5,-5)	-0.30	-0.35	-0.28	0.40	0.68	-0.34	0.68	0.34



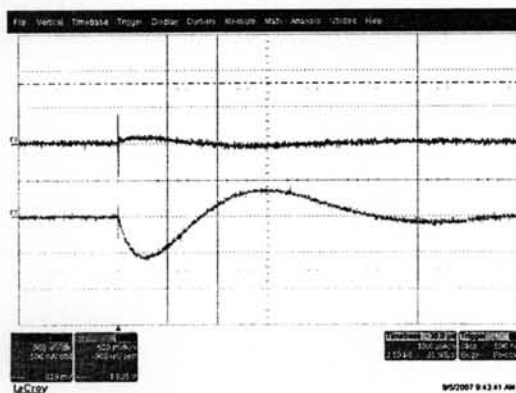
(a)



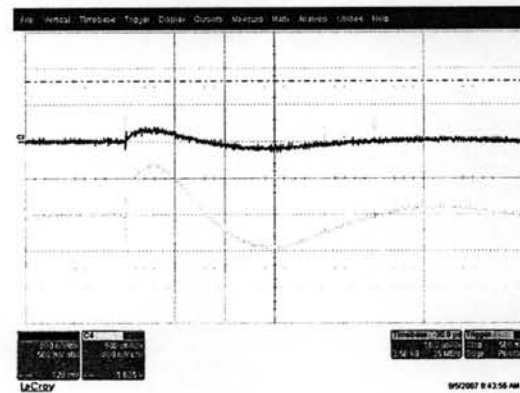
(b)

รูปที่ 4.19 (a) ค่าแรงดันเหนี่ยวนำของเซ็นเซอร์ S1 (VS1N, VS1E) เมื่อ S1 อยู่ที่ตำแหน่ง (-10, 5)

(b) ค่าแรงดันเหนี่ยวนำของเซ็นเซอร์ S1 (VS2N, VS2E) เมื่อ S2 อยู่ที่ตำแหน่ง (10, 5)



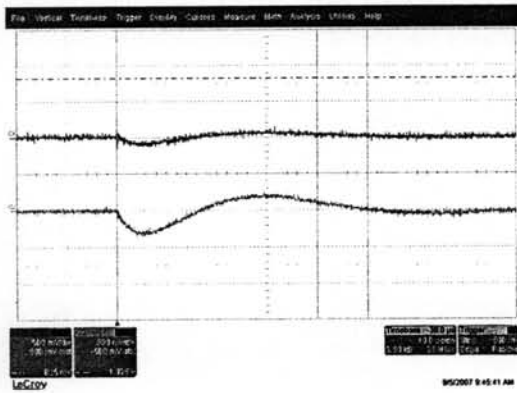
(c)



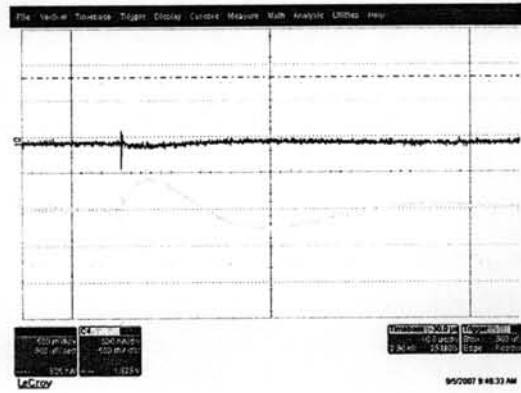
(d)

รูปที่ 4.19 (c) ค่าแรงดันเหนี่ยวนำของเซ็นเซอร์ S1 (VS1N, VS1E) เมื่อ S1 อยู่ที่ตำแหน่ง (-10, 0)

(d) ค่าแรงดันเหนี่ยวนำของเซ็นเซอร์ S1 (VS2N, VS2E) เมื่อ S2 อยู่ที่ตำแหน่ง (10, 0)



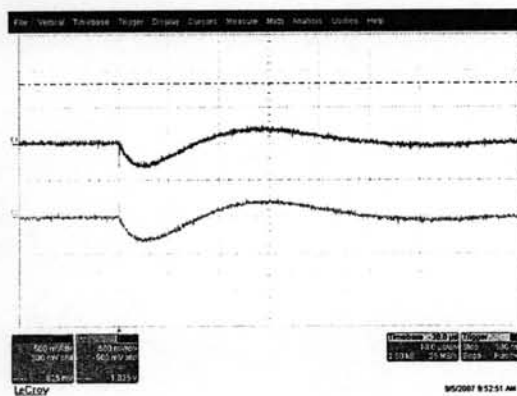
(e)



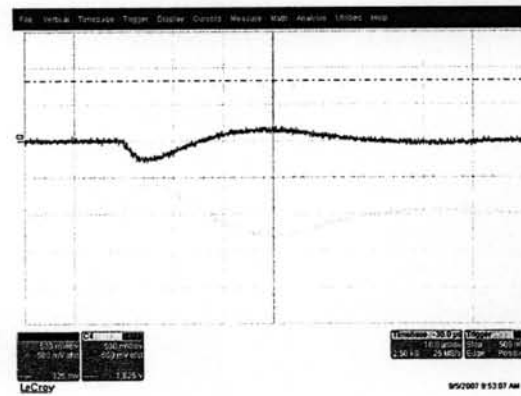
(f)

รูปที่ 4.19 (e) ค่าแรงดันเหนี่ยวนำของเซ็นเซอร์ S1 (VS1N, VS1E) เมื่อ S1 อยู่ที่ตำแหน่ง (-10, -5)

(f) ค่าแรงดันเหนี่ยวนำของเซ็นเซอร์ S1 (VS2N, VS2E) เมื่อ S2 อยู่ที่ตำแหน่ง (10, -5)



(g)



(h)

รูปที่ 4.19 (g) ค่าแรงดันเหนี่ยวนำของเซ็นเซอร์ S1 (VS1N, VS1E) เมื่อ S1 อยู่ที่ตำแหน่ง (-5, -5)

(h) ค่าแรงดันเหนี่ยวนำของเซ็นเซอร์ S1 (VS2N, VS2E) เมื่อ S2 อยู่ที่ตำแหน่ง (5, -5)

ผลการทดสอบที่ 4.1.2.1 จะสังเกตเห็นว่าค่าที่ได้ไม่เป็นไปตามค่าที่ได้จากการคำนวณ ที่ตำแหน่งเริ่มต้นค่าของ VS1N, VS2N และ VS2E มีค่าเป็นบวกส่วนค่าของ VS1E เป็นลบ แต่ค่าของแรงดันเหนี่ยวนำที่ได้จะคล้ายกับค่าที่ได้จากการทดสอบที่ 4.1.1.1/1 และ 4.1.1.1/2 ที่ตำแหน่ง S1= (-10, 5) และ S2= (10, 5) เมื่อปรับเปลี่ยนตำแหน่งเซ็นเซอร์ใหม่ โดยให้ตำแหน่งในแกน X คงที่ แล้วเลื่อนตำแหน่งเซ็นเซอร์ลงทางแกน Y ค่าของ VS1N และ VS2N จะลดลงและจะเปลี่ยนจากค่าบวกเป็นค่าลบที่ตำแหน่ง Y=-5 ส่วนค่าของ VS1E และ VS2E จะเปลี่ยนแปลงลดลงอยู่ในช่วงแคบๆ

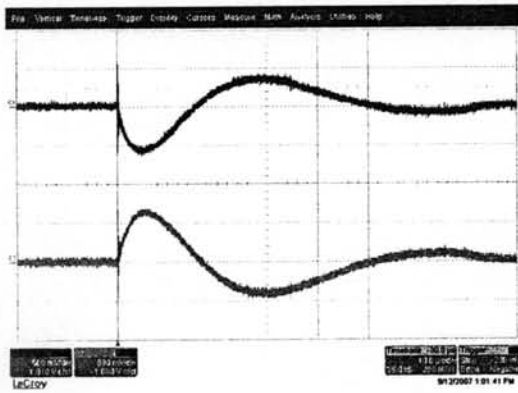
ค่ายอดที่วัดได้มีผลผิดเพี้ยน สาเหตุน่าจะเกิดจากวงจรทางด้านหลังของท่อ อะลูมิเนียมที่ใช้นำกระแสอิมพัลส์แทนลำฟ้าผ่า โดยที่ปลายด้านบนต่อด้วยแผ่นทองแดง เพื่อส่งผ่านกระแสอิมพัลส์จากเครื่องกำเนิด และปลายท่อด้านล่างที่ฐานต่อกลับไปยังกราวด์ ของระบบ ซึ่งในส่วนี้จะกลายเป็นรูปทางเดินของกระแสอิมพัลส์ทำให้มีสนามแม่เหล็ก แพร์กระจายออกจากลูปนี้ด้วยเช่นกัน และสนามแม่เหล็กจากส่วนี้ จะส่งผลเหนี่ยวนำไปยัง เซ็นเซอร์ ทำให้ค่ายอดแรงดันเหนี่ยวนำที่วัดออกมาแตกต่างไปจากค่าที่คำนวณ

4.1.2.2 การทดสอบด้วยกระแสอิมพัลส์ลบ

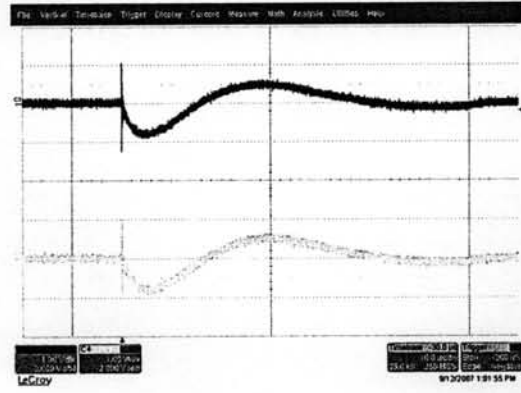
กำหนดตำแหน่งของกระแสฟ้าผ่าอยู่ที่จุด (0, 5) ตำแหน่งของเซ็นเซอร์ตรวจจับตัวที่ 1 (S1; S1N, S1E) เริ่มวางตำแหน่งที่จุด (-10, 5) และตำแหน่งของเซ็นเซอร์ตรวจจับตัวที่ 2 (S2; S2N, S2E) เริ่มวางตำแหน่งที่จุด (10,-5) ตามรูปที่ 4.18 ทดสอบและบันทึกผลตามการ ทดสอบที่ 4.1.2.1 ตามตำแหน่งที่กำหนด แต่เปลี่ยนจากการยิงกระแสอิมพัลส์ขั้วบวกเป็น กระแสอิมพัลส์ขั้วลบ ค่าจากการทดสอบสามารถแสดงได้ในตารางที่ 4.6 และรูปที่ 4.20

ตารางที่ 4.6 ตารางแสดงผลการวัดค่าแรงดันเหนี่ยวนำที่เซ็นเซอร์ S1 และ S2 จากการยิงกระแส อิมพัลส์ลบ ขนาด -5 kA เพื่อวัดค่าเมื่อวางเซ็นเซอร์ในตำแหน่งต่างๆ ตามการทดสอบที่ 4.1.2.2

ตำแหน่งของเซ็นเซอร์ (S1,S2) Sensors Position (x,y) X 10 cm.		ค่าแรงดันเหนี่ยวนำ (Induced Voltage (v))							
		ค่าที่วัดได้จาก Oscilloscope				ค่าที่คำนวณได้จากสมการ			
S1	S2	VS1N	VS1E	VS2N	VS2E	VS1N	VS1E	VS2N	VS2E
(-10,5)	(10,5)	-0.60	0.65	-0.40	-0.45	0.00	0.85	-0.85	0.00
(-10,0)	(10,0)	-0.10	0.65	-0.10	-0.40	-0.34	0.68	-0.34	-0.68
(-5,0)	(5,0)	0.12	0.70	0.18	-0.75	-0.85	0.85	-0.85	-0.85
(-10,-5)	(10,-5)	0.00	0.40	0.00	-0.60	-0.43	0.43	-0.43	-0.43
(-5,-5)	(5,-5)	0.40	0.40	0.28	-0.50	-0.68	0.34	-0.68	-0.34

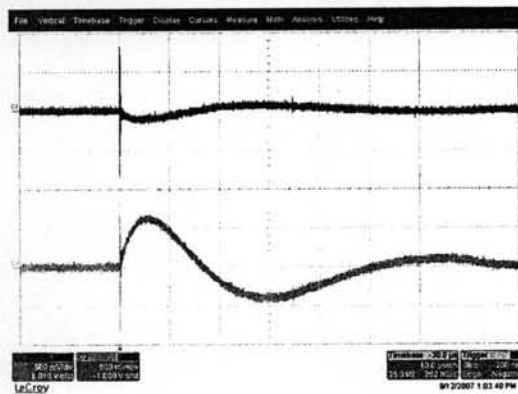


(a)

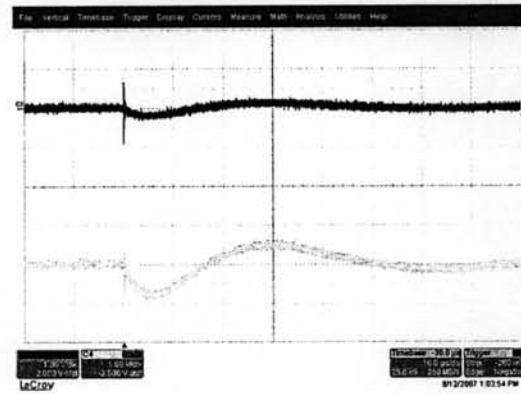


(b)

รูปที่ 4.120 (a) ค่าแรงดันเหนี่ยวนำของเซ็นเซอร์ S1 (VS1N, VS1E) เมื่อ S1 อยู่ที่ตำแหน่ง (-10, 5)
 (b) ค่าแรงดันเหนี่ยวนำของเซ็นเซอร์ S1 (VS2N, VS2E) เมื่อ S2 อยู่ที่ตำแหน่ง (10, 5)

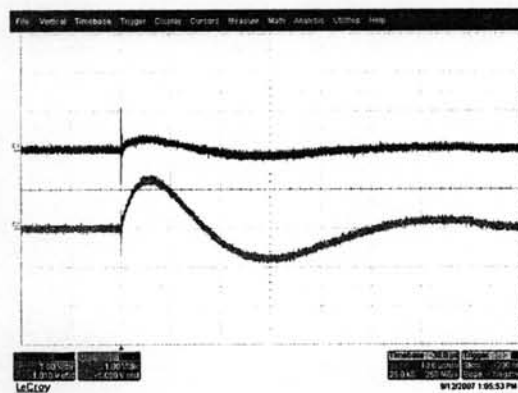


(c)

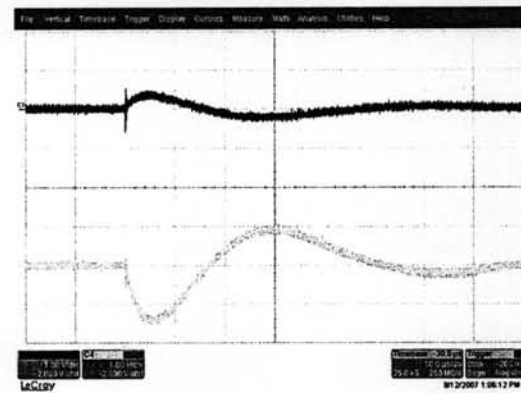


(d)

รูปที่ 4.20 (c) ค่าแรงดันเหนี่ยวนำของเซ็นเซอร์ S1 (VS1N, VS1E) เมื่อ S1 อยู่ที่ตำแหน่ง (-10, 0)
 (d) ค่าแรงดันเหนี่ยวนำของเซ็นเซอร์ S1 (VS2N, VS2E) เมื่อ S2 อยู่ที่ตำแหน่ง (10, 0)

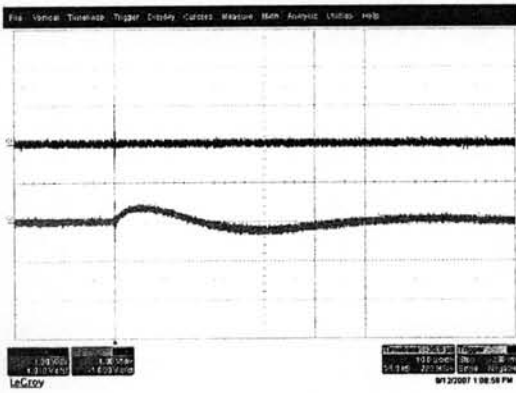


(e)

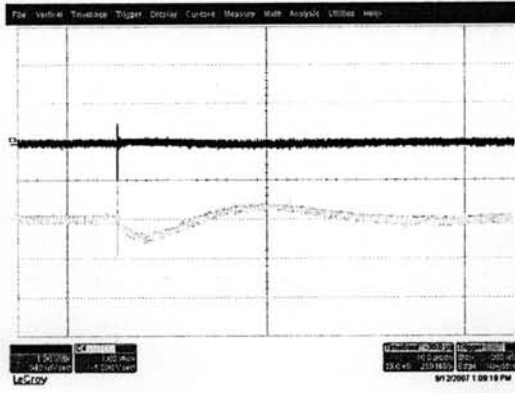


(f)

รูปที่ 4.20 (e) ค่าแรงดันเหนี่ยวนำของเซ็นเซอร์ S1 (VS1N, VS1E) เมื่อ S1 อยู่ที่ตำแหน่ง (-5, 0)
 (f) ค่าแรงดันเหนี่ยวนำของเซ็นเซอร์ S1 (VS2N, VS2E) เมื่อ S2 อยู่ที่ตำแหน่ง (5, 0)



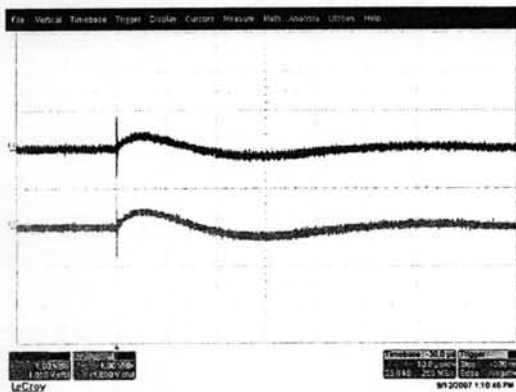
(g)



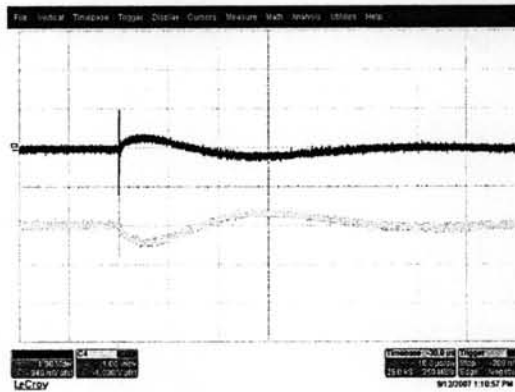
(h)

รูปที่ 4.20 (g) ค่าแรงดันเหนี่ยวนำของเซ็นเซอร์ S1 (VS1N, VS1E) เมื่อ S1 อยู่ที่ตำแหน่ง (-10, -5)

(h) ค่าแรงดันเหนี่ยวนำของเซ็นเซอร์ S1 (VS2N, VS2E) เมื่อ S2 อยู่ที่ตำแหน่ง (10, -5)



(i)



(j)

รูปที่ 4.20 (i) ค่าแรงดันเหนี่ยวนำของเซ็นเซอร์ S1 (VS1N, VS1E) เมื่อ S1 อยู่ที่ตำแหน่ง (-5, -5)

(j) ค่าแรงดันเหนี่ยวนำของเซ็นเซอร์ S1 (VS2N, VS2E) เมื่อ S2 อยู่ที่ตำแหน่ง (5, -5)

ผลการทดสอบที่ 4.1.2.2 จะสังเกตเห็นว่าค่าที่วัดได้ไม่เป็นไปตามค่าที่ได้จากการคำนวณ แต่แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของค่าแรงดันเหนี่ยวนำที่วัดได้คล้ายกับค่าที่ได้จากการทดสอบที่ 4.1.2.1 และมีทิศทางของค่าโดยตรงข้ามกัน เนื่องจากการทดสอบด้วยกระแสลูป และสาเหตุของความผิดพลาดของค่าแรงดันเหนี่ยวนำที่วัดได้น่าจะมาจากวงจรทางด้านหลังของท่ออะลูมิเนียมตัวนำเช่นเดียวกับการทดสอบอื่นๆ

4.2 การทดสอบและประเมินผลส่วนการประมวลผล

การทดสอบส่วนการประมวลผลโดยโปรแกรมแบ่งเป็น โปรแกรมสำหรับการคำนวณหาค่าแรงดันเหนี่ยวนำ และโปรแกรมสำหรับการคำนวณหาขนาดและตำแหน่งฟ้าผ่า รายละเอียดของการทดสอบทั้ง 2 วิธีมีดังนี้

4.2.1 โปรแกรมคำนวณค่าแรงดันเหนี่ยวนำ

การทดสอบโปรแกรมคำนวณค่าแรงดันเหนี่ยวนำ เป็นการใช้โปรแกรมเพื่อหาค่าแรงดันเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นที่เซ็นเซอร์แต่ละจุด เมื่อยิงกระแสอิมพัลส์จากเครื่องกำเนิด โดยกำหนดขนาดและตำแหน่งของลำฟ้าผ่า ตามการทดสอบที่ 4.1.1.1/1, 4.1.1.2/1 และ 4.1.2.1 เปรียบเทียบกับค่าที่วัดได้จากการทดสอบ โดยป้อนข้อมูล ขนาดและตำแหน่งของฟ้าผ่าและเซ็นเซอร์ทั้งสองตามค่าเริ่มต้นของการทดสอบดังนี้

ขนาดของกระแสฟ้าผ่า $(di/dt) = 5 \text{ kA} / 8 \text{ us}$

ค่าที่วัดได้จากโรกอฟสกีคอยล์ $= 4 \text{ kA} / 12 \text{ us}$

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

ตำแหน่งเซ็นเซอร์ S1 $(x_1, y_1) = (-10, 5), (-10, 0), (-10, -5)$ และ $(0, -5)$

ตำแหน่งเซ็นเซอร์ S2 $(x_2, y_2) = (10, -5), (10, 0), (10, -5)$ และ $(0, -5)$

ผลการทดสอบการใช้งานของโปรแกรม สามารถใช้คำนวณหาค่าแรงดันเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นที่เซ็นเซอร์ได้ทุกตำแหน่ง ยกเว้นเมื่อเซ็นเซอร์อยู่ในตำแหน่งเดียวกับฟ้าผ่า และผลการคำนวณได้นำไปใช้เปรียบเทียบในตารางที่ 4.1-4.6 ที่ผ่านมา ซึ่งค่าที่คำนวณได้กับค่าที่วัดได้จากการทดสอบยังมีบางส่วนที่ไม่สอดคล้องกับ ได้แก่พื้นที่บริเวณขอบด้านบนและด้านข้างของพื้นที่ทดสอบ เนื่องมาจากผลกระทบของสนามแม่เหล็กที่แพร่กระจายออกมาจากส่วนที่เป็นวงจรทางเดินของกระแสอิมพัลส์ ทางด้านหลังของแท่งอะลูมิเนียม ที่ใช้แทนลำฟ้าผ่า

ผลการเปรียบเทียบค่าแรงดันเหนี่ยวนำโดยสรุป พบว่าค่าแรงดันเหนี่ยวนำที่วัดได้ใกล้เคียงกับการคำนวณอยู่ในช่วง 20% คือส่วนที่อยู่ด้านหน้าของแท่งอะลูมิเนียม ในทิศตั้งฉาก ซึ่งวงจรทางเดินของกระแสอิมพัลส์ทางด้านหลังของแท่งอะลูมิเนียม มีผลกระทบต่อการตรวจจับในส่วนนี้น้อยมาก แต่ในบริเวณอื่นๆ ที่ได้รับผลกระทบจากวงจรทางเดินของกระแสอิมพัลส์ ทางด้านหลังของแท่งอะลูมิเนียมนี้ จะมีค่าความคลาดเคลื่อนมากกว่า 50%

4.2.2 โปรแกรมคำนวณหาขนาดและตำแหน่งฟ้าผ่า

การทดสอบโปรแกรมหาขนาด และตำแหน่งฟ้าผ่า เป็นการใช้โปรแกรมเพื่อหาขนาด (di/dt) และตำแหน่ง (x_0, y_0) ของฟ้าผ่า เมื่อทราบค่าแรงดันเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นที่เซ็นเซอร์แต่ละจุด โดยกำหนดขนาดและตำแหน่งของลำฟ้าผ่า ตามการทดสอบที่ 4.1.2.1 และ 4.1.2.2 เปรียบเทียบกับค่าที่วัดได้จากการทดสอบ โดยป้อนข้อมูล ขนาดแรงดันเหนี่ยวนำที่วัดได้จากเซ็นเซอร์ทั้งสองตามค่าที่ได้จากผลการทดสอบ

ค่าของขนาดกระแสไฟฟ้า และตำแหน่งฟ้าผ่าที่ใช้ในการเปรียบเทียบคือ

ขนาดของกระแสฟ้าผ่า (di/dt) = 5 kA /8 us

ค่าที่วัดได้จากโรกอฟสกีคอยล์ = 4 kA /12 us

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

ขนาดแรงดันเหนี่ยวนำของเซ็นเซอร์ S1 (VS1N, VS1E) และ S2 (VS2N, VS2E)

ตารางที่ 4.7 ตารางการเปรียบเทียบการหาขนาดและตำแหน่งของกระแสไฟฟ้า ระหว่างค่าที่ได้จากการทดสอบ และค่าจากการคำนวณด้วยโปรแกรม

ตำแหน่งของเซ็นเซอร์ (S1,S2)		ขนาดและตำแหน่งของกระแสไฟฟ้า			
Sensors Position (x,y) X 10 cm.		ค่าจากการทดสอบ		ค่าจากการคำนวณ	
S1(x ₁ ,y ₁)	S2(x ₂ ,y ₂)	I _{peak} (A)	L _p (x ₀ ,y ₀)	I _{peak} (A)	L _p (x ₀ ,y ₀)
(-10,5)	(10,5)	5420	(1,13)	4000	(0, 5)
(-10,0)	(10,0)	4163	(2, 7)	4000	(0, 5)
(-10,-5)	(10,-5)	1219	(0,-6)	4000	(0, 5)
(-5,-5)	(5,-5)	1125	(-1,-9)	4000	(0, 5)
(-10,-5)	(0,-5)	-2925	(0,-2)	4000	(0, 5)
(0,-5)	(10,-5)	-2475	(0, 3)	4000	(0, 5)

จากผลการคำนวณโดยการป้อนข้อมูลจากการทดสอบให้กับโปรแกรม พบว่าโปรแกรมสามารถคำนวณหา ขนาดและตำแหน่งของฟ้าผ่าได้ แต่ข้อมูลที่ได้ออกมาไม่ตรงกับข้อมูลที่ใช้ในการทดสอบ เนื่องจากผลของความผิดพลาดจากวัดค่าแรงดันเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นจากระบบการทดสอบ ที่ทำให้มีสนามแม่เหล็กอื่นแพร่กระจายมารบกวนการทำงานของระบบตรวจจับ ในภาคส่วนรับสัญญาณได้ ซึ่งถ้าหากสัญญาณที่วัดได้มีความผิดพลาดมากจนเกินไป ก็จะทำให้ค่าที่ได้จากการประมวลผลผิดพลาดไปด้วยเช่นกัน