



บทที่ 4

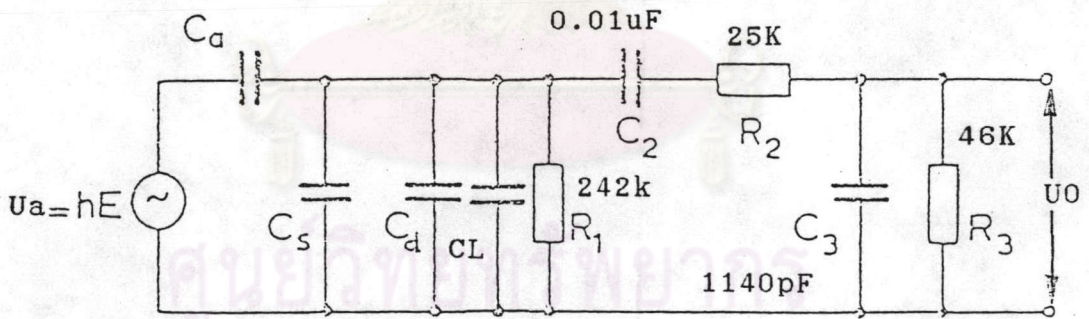
การทดสอบและการวิเคราะห์ผลการทดสอบ

4.1 บทนำ

จากการออกแบบสร้างเครื่องนับฟ้าผ่า ดังที่กล่าวไว้ในบทที่ 3 โดยให้เครื่องนับฟ้าผ่าที่ผู้ดินมีลักษณะสมบัติตามที่กำหนดไว้ตามมาตรฐานซีเกอร์ จึงต้องทำการทดสอบการทำงาน การใช้งาน ทดสอบการนับกับเครื่องจากต่างประเทศ และทดสอบวิธีมีทำงานยังผลฟ้าผ่าผู้ดิน

4.2 การทดสอบวงจรอิเล็กทรอนิกส์

4.2.1 ทดสอบผลตอบสนองของวงจรกรองผ่านแถบ การวิเคราะห์ผลตอบสนองความถี่ภาคอินพุตของสายอากาศและวงจรกรองผ่านแถบความถี่เขียนเป็นวงจรสมมูลได้ดังแสดงในรูปที่ 4.1



CL กำหนดให้ใช้ค่าความจุไฟฟ้าเท่ากับวงจรซีเกอร์เดิม 180 พิโคฟารัด เพื่อต้องการศึกษาผลของ Cs และ Cd

รูปที่ 4.1 แสดงวงจรสมมูลภาคอินพุตของเครื่องนับฟ้าผ่า

ตัวอย่างการคำนวณแรงดันตอบสนองความถี่คลื่นไซน์ จากสมการที่ 3.2

$$U_o = U_a \cdot \frac{C_a}{C_a + C_k} \cdot \frac{\omega^2 A}{(\omega^2 B - 1) + j\omega(\omega^2 D - C)}$$

$U_a = 7$ โวลต์
 $C_a = 56$ พิโคฟารัด $R_1 = 242$ กิโลโอห์ม
 $C_k = 215$ พิโคฟารัด $R_2 = 25$ กิโลโอห์ม
 $C_2 = 0.01$ ไมโครฟารัด $R_3 = 46$ กิโลโอห์ม
 $C_3 = 1140$ พิโคฟารัด $\omega = 2\pi f = 2\pi(2E3)$ เรเดียน
 $A = 3.017E-8$ $C = 0.003$
 $B = 1.9E-7$ $D = 8.598E-13$

แทนค่าได้ $U_o = 0.142$ โวลต์

ตัวอย่างการคำนวณที่ความถี่อื่นๆ ก็สามารถหาได้ในทำนองเดียวกัน ผลที่ได้ดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ความถี่ตอบสนองของวงจรรภาคอินพุตของเครื่องนับฟ้าผ่า

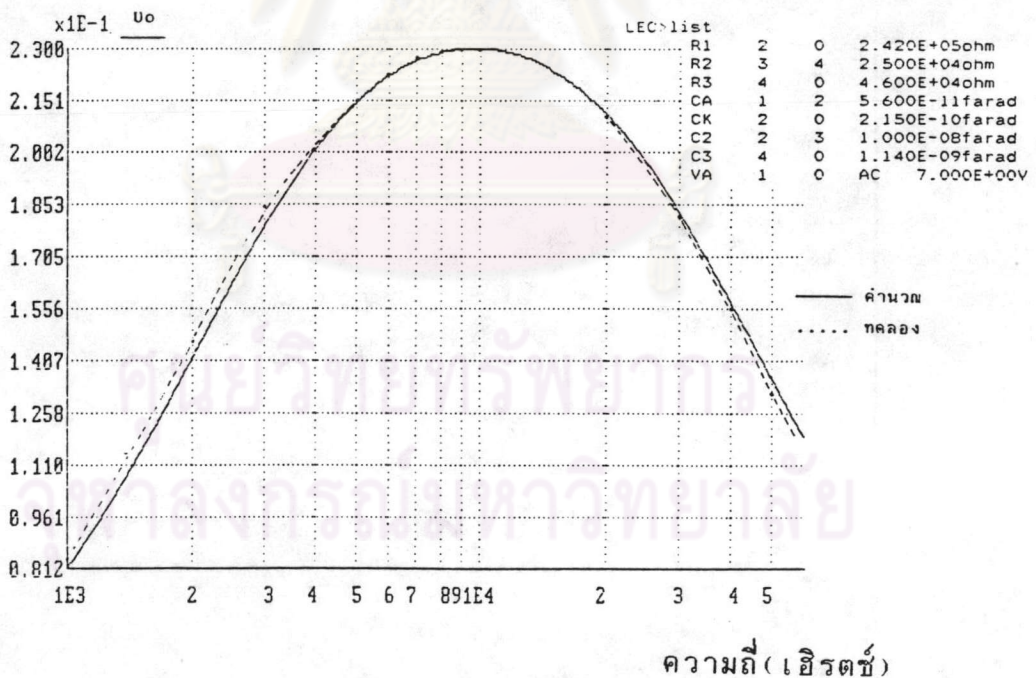
ความถี่ (KHz)	แรงดันป้อน U_a (Volt)	แรงดันขาออก U_o (Volt)	$dB=20\log\frac{U_o}{U_{oMAX}}$	จากการคำนวณ U_o (Volt)
1	7	.085	-8.65	.081
2	7	.146	-3.95	.142
3	7	.185	-1.89	.179
4	7	.200	-1.21	.201
5	7	.215	-0.59	.214
6	7	.223	-0.27	.222
7	7	.228	-0.08	.226
8	7	.23	0.0	.229
9	7	.23	0.0	.230
10	7	.23	0.0	.230
20	7	.213	-0.67	.211
30	7	.181	-2.08	.183
40	7	.155	-3.43	.157
50	7	.131	-4.89	.136

เปรียบเทียบผลที่ได้จากการทดลองป้อนรูปคลื่นไซน์แรงดัน 7 โวลต์ ที่ด้านเข้า วงจร แล้วหาอัตราส่วนสัญญาณขาออกกับผลตอบสนองสูงสุด ดังแสดงใน ตัวอย่างการคำนวณที่ความถี่ 2 กิโลเฮิร์ตซ์ และที่ความถี่อื่นๆ คำนวณหาได้ใน ทำนองเดียวกัน

$$\begin{aligned}
 \text{dB}_{(2\text{KHZ})} &= 20 \log \frac{U_o}{U_{o(\text{MAX})}} \\
 &= 20 \log \frac{0.085}{0.230} \\
 &= - 3.95 \text{ dB}
 \end{aligned}$$

จะเห็นได้ว่าวงจรมีผลตอบสนองความถี่สูงสุดน้อยกว่า 10 กิโลเฮิร์ตซ์เล็กน้อย แถบความถี่ตอบสนองจะเลื่อนมาทางซ้าย ดังแสดงในรูปที่ 4.2

แรงดันเอาต์พุต (โวลต์)



รูปที่ 4.2 แสดงความถี่ตอบสนองของวงจรภาคอินพุตของเครื่องนับฟ้าผ่า

ความผิดพลาดในการทดสอบเนื่องมาจากการกำหนดค่าความจุไฟฟ้า
ในวงจรสมมูลคือ

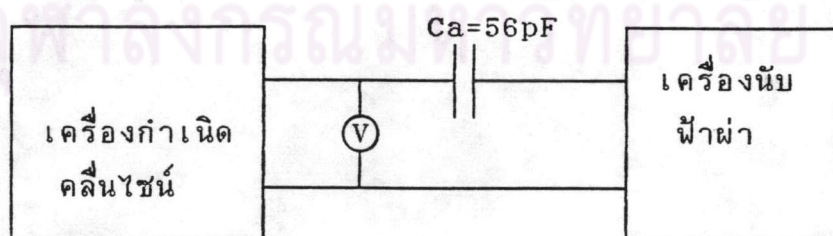
1) ค่าความจุไฟฟ้าสายอากาศ Ca ในการทดสอบใช้ตัวเก็บประจุมีค่าผิดพลาด ± 10 เปอร์เซ็นต์ (ควรใช้มาตรวัดค่าที่แน่นอน)

2) ค่าความจุไฟฟ้าสายนำสัญญาณ Cd เป็นค่าประมาณจากการทดลองของ คอนเนอร์ส[6] ใช้กับเครื่องนับฟ้าผ่าแบบซีเกอร์ 500 เฮิร์ตซ์ ค่าที่ใช้ในวงจรอาจประมาณไว้มากเกินไป (หากพิจารณาตามวงจรซีเกอร์ถือว่า มีค่าน้อยมากจนตัดทิ้งได้) เพื่อให้การออกแบบได้ถูกต้องอาจใช้สายนำสัญญาณประเภทสายหุ้มซึ่งทราบค่าความจุไฟฟ้าที่แน่นอน

3) ค่าความจุไฟฟ้า C3 มีค่าเพิ่มขึ้นเนื่องจากค่าความจุไฟฟ้าของสายวัดออสซิลโลสโคป

ค่าผิดพลาดนี้จะมีผลทำให้การตอบสนองความถี่ขณะทดสอบต่ำลง ส่วนผลในการคำนวณเกิดจากค่า Cd เพียงค่าเดียวจึงเห็นผลจากการทดสอบเลื่อนออกจากการคำนวณไปทางด้านความถี่ต่ำ

4.2.2 การปรับเทียบความไวเครื่องนับฟ้าผ่า ในรูปที่ 4.3 แสดงวงจรและการทดสอบความไวตอบสนองการเปลี่ยนแปลงสนามไฟฟ้าของเครื่องนับฟ้าผ่า ทำการทดสอบที่อุณหภูมิ 28 องศาเซลเซียส ปรับความถี่ของแหล่งกำเนิดแรงดันรูปคลื่นไซน์ไว้ที่ 10 กิโลเฮิร์ตซ์ อ่านด้วยออสซิลโลสโคป และปรับค่าแรงดันไว้ประมาณ 30 โวลต์ อ่านได้จากโวลต์มิเตอร์แบบตัวเลข จากนั้นปรับค่าความต้านทาน R14 (ดังแสดงในรูปที่ 3.1) จนเครื่องนับเริ่มทำงาน เปลี่ยนความถี่ไปที่ 2 กิโลเฮิร์ตซ์ และ 50 กิโลเฮิร์ตซ์ ปรับเพิ่มแรงดันเครื่องกำเนิดความถี่จนเครื่องนับทำงาน



รูปที่ 4.3 แสดงวงจรทดสอบเพื่อปรับค่าความไวตอบสนองของเครื่องนับฟ้าผ่า
ตามข้อกำหนดซีเกอร์

ผลของการทดสอบความไวเปรียบเทียบกับมาตรฐานซีเกอร์ ดังแสดงในตารางที่ 4.2 เป็นการทดสอบตามการออกแบบที่แรงดัน 9 โวลต์ เครื่องกำเนิดความถี่ที่ใช้ควรเป็นแบบหลอดวิทยุสามารถให้แรงดันสูงๆได้ ปัจจุบันหาได้ยาก จึงใช้ชุดขยายเสียงช่วยขยายสัญญาณ ทำความถี่ได้เพียง 46 กิโลเฮิรตซ์

ตารางที่ 4.2 แสดงแรงดันทดสอบทำให้เครื่องนับทำงานที่ความถี่ต่างๆ

ความถี่ทดสอบ	ความไวของเครื่องนับไฟฟ้า		แรงดันด้าน ออกวงจร กรอง*
	ซีเกอร์	เครื่องที่สร้างขึ้น	
2 KHZ	63.5 ±5.0 โวลต์	62.2 โวลต์	1.80 โวลต์
10 KHZ	30.0 ±1.5 โวลต์	30.1 โวลต์ 41.7 โวลต์ (ที่ 46 KHZ)	1.45 โวลต์ 1.34 โวลต์
50 KHZ	43.5 ±5.0 โวลต์	-----	

จากการทดสอบเห็นได้ว่าที่ความถี่ 2 กิโลเฮิรตซ์ ความไวของเครื่องที่สร้างมีค่าสูงกว่าเนื่องจากใช้แรงดันป้อนด้านเข้าต่ำกว่า และที่ 50 กิโลเฮิรตซ์ มีแนวโน้มว่าความไวจะต่ำกว่า จากสมการที่ 3.2

$$U_o = U_a \cdot \frac{C_a}{C_a + C_k} \cdot \frac{\omega^2 A}{(\omega^2 B - 1) + j\omega(\omega^2 D - C)}$$

$U_a = 62.2$ โวลต์ (RMS) คำนวณ U_o ได้ประมาณ 1.8 โวลต์

$U_a = 30.1$ โวลต์ (RMS) คำนวณ U_o ได้ประมาณ 1.45 โวลต์

$U_a = 41.7$ โวลต์ (RMS) คำนวณ U_o ได้ประมาณ 1.34 โวลต์

ซึ่งแสดงให้เห็นว่าแรงดันตอบสนองความถี่คลื่นไซน์ สำหรับกระตุ้นให้เครื่องนับทำงานนั้น เมื่อความถี่สูงขึ้นต้องการแรงดัน U_o ต่ำลง ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของตัวทรานซิสเตอร์ T1 ดังแสดงในรูปที่ 3.1

* คำนวณตามสมการที่ 3.2

จากผลการทดสอบดังแสดงในตารางที่ 4.2 พบว่าความไวตอบสนองความถี่คลื่นไซน์ของเครื่องที่สร้างมีค่าต่ำกว่า 10 กิโลเฮิรตซ์ เนื่องจากค่าความจุไฟฟ้า Ca และอิมพีแดนซ์ของเครื่องวัด ดังได้กล่าวแล้วในหัวข้อ 4.2.1 แต่ทั้งหมดก็ยังอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ข้อควรระวังขณะทดสอบเกี่ยวกับความถี่สูงคือ ความจุสเตรย์ของร่างกาย อาจทำให้การตั้งความไวการทำงานผิดพลาดได้ เนื่องจากแบตเตอรี่ใหม่มีแรงดันประมาณ 10 โวลต์ และความไวการทำงานของเครื่องนับฟ้าผ่า ขึ้นกับค่าเปลี่ยนแปลงแรงดันแหล่งจ่ายด้วย ผลการทดสอบดังแสดงในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ทดสอบความไวที่ 10 กิโลเฮิรตซ์

แรงดันแหล่งจ่าย	ความไวของเครื่องนับ
10 โวลต์	31.0 โวลต์
8 โวลต์	29.7 โวลต์

หลังจากการปรับเทียบตั้งความไวการทำงานของเครื่องนับฟ้าผ่าได้ตามมาตรฐานแล้ว ได้ทดลองปรับแรงดันของแหล่งจ่ายเครื่องนับฟ้าผ่าให้สูงขึ้นและป้อนแรงดันเข้าที่วงจรกรองปรากฏว่าต้องใช้แรงดันที่สูงกว่าหมายความว่าความไวของเครื่องนับต่ำลง ในทำนองเดียวกันเมื่อปรับแรงดันแหล่งจ่ายของเครื่องนับฟ้าผ่าให้ต่ำลง ความไวการทำงานของเครื่องนับจะสูงขึ้น ทดลองปรับแรงดันดังแสดงในตารางที่ 4.3 ซึ่งยังคงทำงานได้ตามมาตรฐานซีเกอร์

4.2.3 ทดสอบอุณหภูมิใช้งาน จากวงจรการทำงานของเครื่องนับฟ้าผ่าในรูปที่ 3.1 เห็นได้ว่าความไวตอบสนองของวงจร จะขึ้นอยู่กับการเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิด้วยความต้านทานแบบลบ R12 การทดสอบเสถียรภาพของวงจรในขณะใช้งานระหว่าง 24 ถึง 36 องศาเซลเซียสเพิ่มอุณหภูมิโดยการส่องด้วยหลอดอินแคนเดสเซนต์ ผลการทดสอบดังแสดงในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 แสดงผลการทดสอบอุณหภูมิใช้งาน

อุณหภูมิทดสอบ (องศาเซลเซียส)	ทดสอบความไวที่ 10 KHz ด้วยแรงดัน(โวลต์)
24	30.9
26	30.1
28	30.1
30	30.1
32	29.7
34	29.7
36	29.1

4.2.4 ทดสอบวงจรหน่วงเวลา การกำหนดให้วงจรมัลติไวเบรเตอร์ หน่วงเวลาทำงานของเครื่องนับฟ้าผ่า ขึ้นอยู่กับระยะเวลาในการผ่าของฟ้าผ่า แต่ละครั้ง ตามข้อกำหนดมาตรฐานซีเกอร์ กำหนดให้นับได้ 60 ± 3 ครั้งต่อนาที ซึ่งกำหนดการทำงานโดย R8, C3 และ T3 ดังแสดงในรูปที่ 3.1 จากการทดสอบโดยการจับเวลา 1 นาที นับได้ 57 ครั้ง

จะเห็นได้ว่าฟ้าผ่าที่มีระยะเวลายาวนานกว่าที่กำหนด ทำให้เครื่อง นับจำนวนเป็นสองครั้ง ในทำนองกลับกันฟ้าผ่าระยะเวลาสั้นๆสองครั้ง เครื่อง นับจะทำงานนับเพียงครั้งเดียว จากข้อมูลสถิติการเกิดฟ้าผ่าสู่ดิน พบว่าฟ้าผ่า ลักษณะเหล่านี้ มีจำนวนน้อยและเกิดในจำนวนที่ใกล้เคียงกัน สามารถหักลบ กันไปได้ [3, 24, 29]

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.3 ทดสอบการทำงานและการใช้งาน

4.3.1 ทดสอบอายุการใช้งานแบตเตอรี่ การออกแบบสร้างเครื่องนับฟ้าผ่าตามมาตรฐานซีเกอร์ อุปกรณ์บางตัวไม่สามารถจัดหาค่าได้ตามวงจรจึงใช้ค่าที่ใกล้เคียง และเลือกใช้แบตเตอรี่แบบ 6F22 เป็นแหล่งจ่ายไฟให้กับเครื่องนับฟ้าผ่า ทดสอบโดยการกดปุ่มทดสอบให้เครื่องนับทำงานตลอดเวลาผลการทดสอบนับได้สูงสุด 20,000 ครั้ง

4.3.2 ทดสอบการนับการเกิดสปาร์กในห้องปฏิบัติการ ทดสอบด้วยแรงดันรูปคลื่นฟ้าผ่าจำลอง 440 กิโลโวลต์ เพื่อตรวจสอบเครื่องนับสามารถทำงานได้หรือไม่ ผลการทดสอบดังแสดงในตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ผลการทดสอบการทำงานด้วยรูปคลื่นฟ้าผ่าจำลอง

ระยะห่าง (เมตร)	การทดสอบ (ครั้ง)	เครื่องนับทำงาน (ครั้ง)
20	80	90
40	5	5
50	5	5
60	5	5
75	5	-
100	5	-

ที่ระยะห่าง 20 เมตร จำนวนครั้งที่นับได้จะมากกว่าจำนวนครั้งที่ทดสอบเนื่องจากดีสชาร์จโคโรนาของเครื่องกำเนิดแรงดันรูปคลื่นฟ้าผ่าจำลอง ก่อนถึงแรงดัน 440 กิโลโวลต์[1]

ได้ทดลองติดตั้งเครื่องนับฟ้าผ่าในสนามทดสอบกลางแจ้ง ของห้องปฏิบัติการไฟฟ้าแรงสูง จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ซึ่งเป็นช่วงต้นฤดูฝนจำนวนตัวเลขที่อ่านได้จากเครื่องนับประมาณ 7600 ครั้ง การที่เครื่องนับได้จำนวนมากเช่นนี้ก็เนื่องมาจากตำแหน่งที่ติดตั้งอยู่ใกล้เครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ ซึ่งมีการทดลองและการทดสอบด้วยแรงดันอิมพัลส์อยู่ตลอดเวลาจึงทำให้เครื่องนับจำนวนครั้งของการเกิดสปาร์กมากมายเช่นนี้ ผลการทดสอบเครื่องนับฟ้าผ่ายังคงทำงานได้ตามปกติ

4.3.3 ทดสอบสัญญาณรบกวนจากเครื่องยนต์ ผลการทดสอบสัญญาณรบกวนเกิดจากประกายสปาร์กไฟฟ้าที่หัวเทียนและหน้าทองขาวของเครื่องยนต์ ความเร็วรอบเครื่องยนต์ประมาณ 600 ถึง 800 รอบต่อนาที ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ผลการทดสอบสัญญาณรบกวนจากเครื่องยนต์ในระยะใกล้

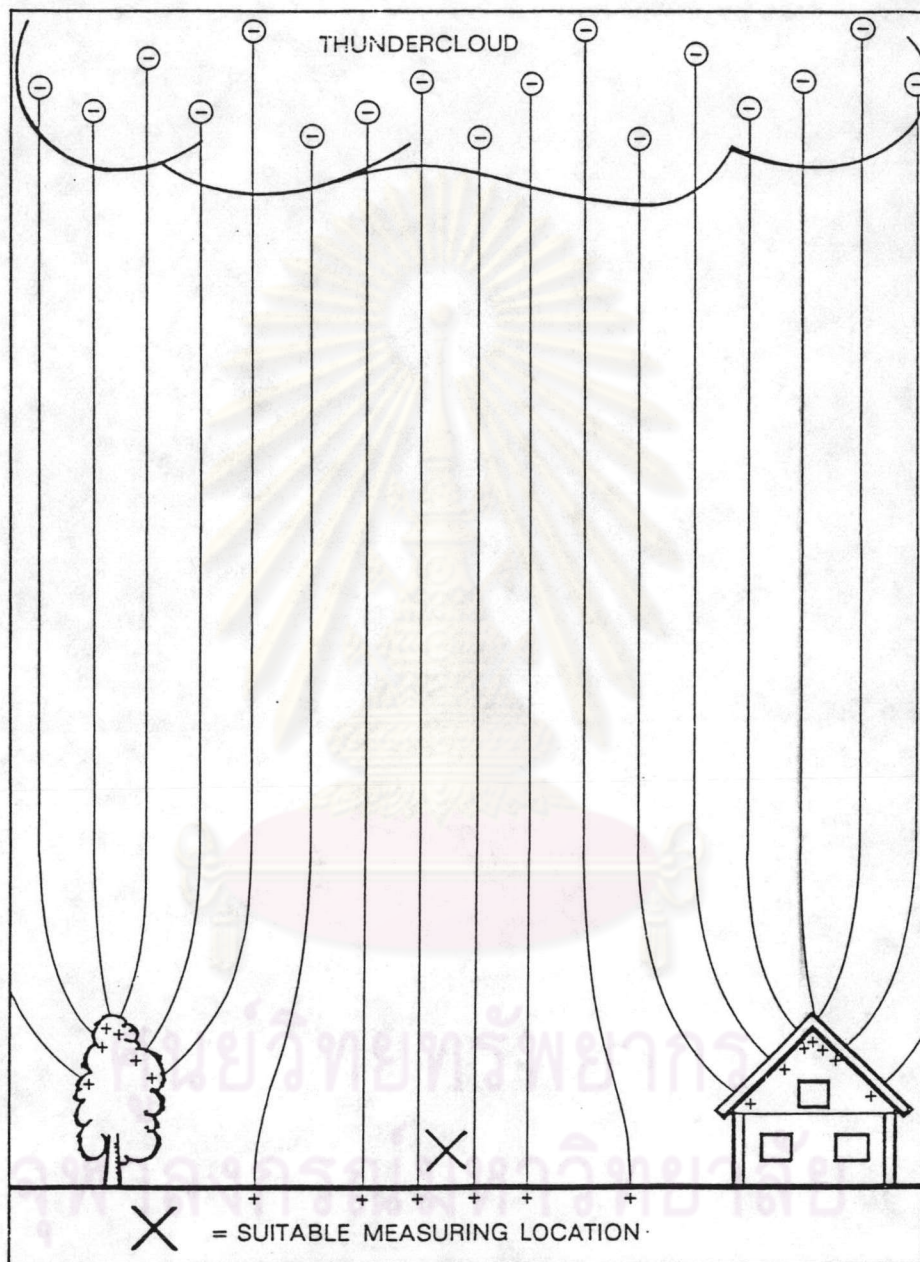
ระยะห่าง (เมตร)	จักรยานยนต์	รถยนต์
1.5	✓	X
2.5	X	X
3.5	X	X

✓ = มีผลกับการทำงาน

X = ไม่มีผลกับการทำงาน

ส่วนการรบกวนจากระยะไกล พบในระหว่างการเก็บข้อมูลฟ้าผ่า ห่างจากถนนประมาณ 1 กิโลเมตร รถยนต์วิ่งด้วยความเร็วสูงจะทำให้ การจุดประกายไฟที่หัวเทียนสูงขึ้นจนสามารถทำให้เครื่องนับทำงาน สังเกตพบจำนวน 3 ครั้ง และพบสัญญาณรบกวนจากเครื่องบินเปลี่ยนระดับบินจำนวน 1 ครั้ง เนื่องจากได้ต่อสายไฟฟ้าเก็บข้อมูลจากเครื่องนับมายังสถานีทดสอบ มีความยาวประมาณ 30 เมตร เมื่อทดลองปลดสายออก ไม่พบการทำงานผิดพลาดอีก วิธีการแก้ไขทำได้โดยการใช้สายร้อยในท่อโลหะและฝังใต้พื้นดิน

4.3.4 ทดสอบการลดทอนความไวเนื่องจากวัตถุข้างเคียง เครื่องนับฟ้าผ่าควรได้รับการติดตั้งในที่โล่งแจ้ง และราบเรียบเสมอฟื้นดิน ดังแสดงในรูปที่ 4.4 ต้นไม้ อาคารและสิ่งก่อสร้าง มีผลทำให้ความไวการทำงาน of เครื่องนับลดลง ได้ทดลองติดตั้งเครื่องนับฟ้าผ่าจำนวน 2 เครื่อง (ก และ ข) มีลักษณะแบบเดียวกัน เพื่อทดสอบว่า วัตถุข้างเคียงมีผลกับการทำงานของเครื่องนับฟ้าผ่า [10, 12, 27] ครั้งแรกติดตั้งเครื่องนับฟ้าผ่า (ก) ในพื้นที่เหมาะสม เช่น เป็นพื้นที่ราบเรียบไม่มีพุ่มไม้หรือกอหญ้าสูงเกิน 0.3 เมตร ห่างจากต้นไม้ เสา อาคาร และสิ่งก่อสร้างมากกว่าสามเท่าของความสูงของวัตถุข้างเคียงเหล่านั้น ส่วนเครื่องนับฟ้าผ่า (ข) ติดตั้งในสถานที่ซึ่งอยู่ใกล้พุ่มไม้สูง ใกล้ต้นไม้ และอาคาร



รูปที่ 4.4 แสดงตำแหน่ง x ที่เหมาะสมสำหรับติดตั้งเครื่องนับฟ้าผ่า[31]

ทดสอบในวันที่มีฟ้าผ่าจำนวน 14 วัน เครื่องนับ (ก) นับได้จำนวนมากกว่า (ข) เมื่อทดลองสลับตำแหน่ง เครื่องนับทั้งสอง เครื่องนับซึ่งอยู่ในตำแหน่งที่มีการก่าบังสัญญาณฟ้าผ่าจะนับได้จำนวนน้อยกว่าดังแสดงในตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 แสดงให้เห็นว่าการทำงานของเครื่องนับฟ้าผ่าขึ้นอยู่กับลักษณะการติดตั้ง

	พื้นที่เหมาะสม ¹	พื้นที่มีสิ่งก่าบัง ²	
เวลา	เครื่องนับ ก	เครื่องนับ ข	อัตราส่วน
11 กย 32	5	5	1:1
14 กย 32	82	69	1:0.84
17 กย 32	125	108	1:0.86

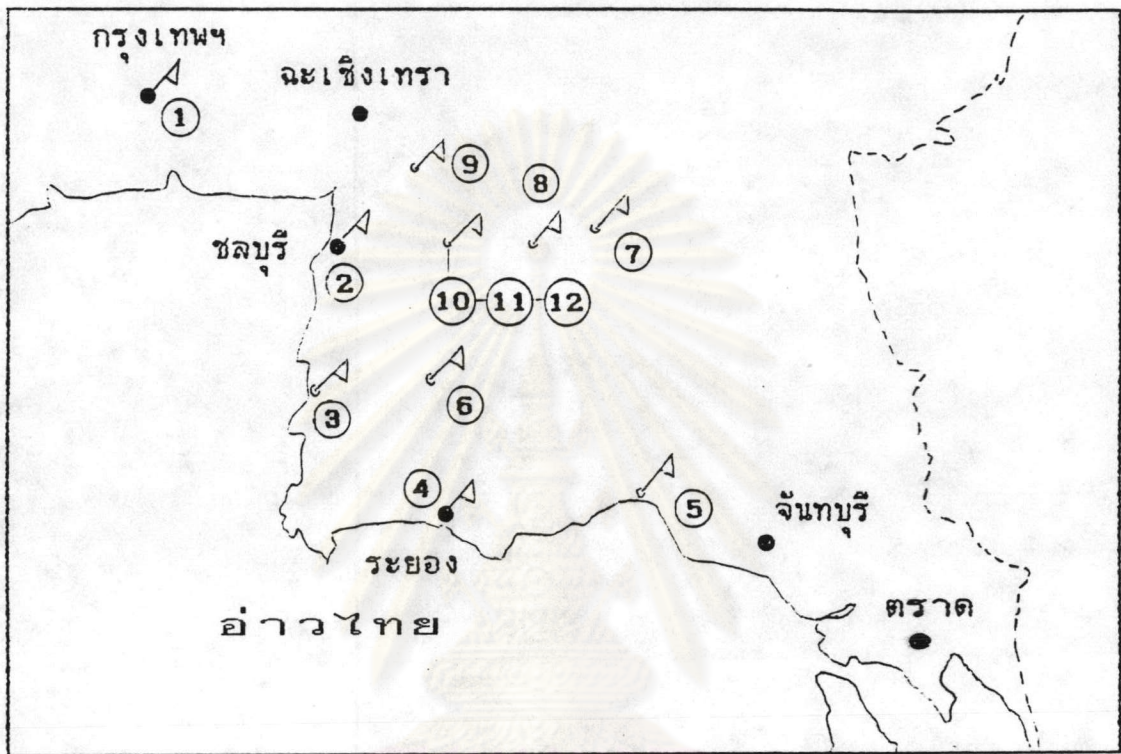
อัตราส่วนเฉลี่ย ก:ข = 1:0.86

สลับตำแหน่ง	เครื่องนับ ข	เครื่องนับ ก	อัตราส่วน
18 กย 32	6	5	1:0.83
19 กย 32	23	20	1:0.87
20 กย 32	13	11	1:0.85
21 กย 32	57	48	1:0.84
22 กย 32	62	56	1:0.90
23 กย 32	13	11	1:0.85
24 กย 32	12	10	1:0.83

อัตราส่วนเฉลี่ย ข:ก = 1:0.86

- หมายถึงที่โล่งแจ้งและราบเรียบ ไม่มีพุ่มไม้หรือกอหญ้า ติดตั้งห่างจากต้นไม้ เสา อาคารและสิ่งก่อสร้างมากกว่าสามเท่าของความสูงของวัตถุข้างเคียง
- หมายถึงติดตั้งในพื้นที่ต่ำ มีพุ่มไม้และกอหญ้าสูงมากกว่า 0.3 เมตร ติดตั้งใกล้ต้นไม้ อาคาร สิ่งก่อสร้าง

4.3.5 ทดสอบเครื่องนับฟ้าผ่าในธรรมชาติ ได้ทดลองติดตั้งเครื่องนับฟ้าผ่าจำนวน 12 เครื่อง ดังแสดงในรูปที่ 4.5 เพื่อเก็บข้อมูลการเกิดฟ้าผ่าระหว่างเดือนมกราคม 2533 ถึง เดือนธันวาคม 2533



รูปที่ 4.5 แสดงตำแหน่งเครื่องนับฟ้าผ่าที่ติดตั้งในปี พ.ศ. 2533

หมายเลข 1 ติดตั้งบนดาดฟ้าตึกไฟฟ้าสูง 28 เมตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เพื่อเปรียบเทียบการนับกับเครื่องจากต่างประเทศ และเพื่อให้อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ มีโอกาสตรวจสอบการทำงานของเครื่องนับได้

หมายเลข 2 ถึง 10 เก็บข้อมูลการเกิดฟ้าผ่าเป็นรายสัปดาห์ ในเขตจังหวัดชลบุรีและระยอง ซึ่งมีปริมาณน้ำฝนมากและอยู่ใกล้กับภูมิลาเนาของผู้วิจัย ทำให้สามารถเลือกที่ตั้งเครื่องนับฟ้าผ่ากระจายออกอย่างสม่ำเสมอ มีระยะห่างแต่ละเครื่องประมาณ 20 ถึง 40 กิโลเมตร

หมายเลข 11 และ 12 ติดตั้งในสนามโล่งแจ้งขนาด 40 x 50 เมตร ได้ต่อสายข้อมูลมายังบ้านพักผู้วิจัยเพื่อทดสอบวิธีที่มีทำงานยังผล

ตารางที่ 4.8 แสดงข้อมูลฟ้าผ่าในปี พ.ศ.2533

สถานที่ติดตั้งเครื่องนับ	จำนวนตัวเลข	Ng	หมายเหตุ
1 คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย	11,276	--	1*
2 หจก.จินดาค้าวัสดุ อ.เมือง ชลบุรี	2,720	--	2*
3 สถานีไฟฟ้าอ่าวไผ่ อ.ศรีราชา ชลบุรี	5,819	4.35	
4 วิทยาลัยเทคนิคระยอง อ.เมือง ระยอง	4,732	3.54	
5 สถานีจ่ายไฟฟ้าย่อยแกลง อ.แกลง ระยอง	16,960	--	5*
6 โรงงานน้ำตาลตะวันออก อ.ปลวกแดง ระยอง	1,943	--	6*
7 โรงเรือนบ่อทองวงจันทร์ อ.บ่อทอง ชลบุรี	4,974	3.72	
8 บ.อาหารสยาม จำกัด อ.บ้านบึง ชลบุรี	1,468	--	8*
9 โรงเรียนพนัสพิทยาคาร อ.พนัสนิคม ชลบุรี	7,732	5.78	
10 วิทยาลัยเทคนิคชลบุรี อ.บ้านบึง ชลบุรี	5,085	3.80	

- 1* ติดตั้งบนตาดฟ้าตึกไฟฟ้า 6 ชั้น คณะวิศวกรรมศาสตร์ ทำให้ความไวการทำงานเพิ่มขึ้น
- 2* แบตเตอรี่หมดอายุ
- 5* ติดตั้งใกล้สายไฟฟ้าแรงสูงและเบรกเกอร์แรงสูง ทำให้นับการเกิดสปาร์กของเบรกเกอร์และโคโรนาของสายแรงสูง
- 6* ชั่วแบตเตอรี่ชำรุด
- 8* ชั่วแบตเตอรี่ชำรุด

4.4 ทดสอบการนับกับเครื่องจากต่างประเทศ

ทดสอบการนับกับเครื่องจากต่างประเทศ ซึ่งให้ผลการทำงานตามมาตรฐานซีเกอร์[14] โดยติดตั้งเครื่องนับทั้งสองเครื่อง บนดาดฟ้าตึกไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปรากฏว่าความแตกต่างจำนวนการนับดังแสดงในตารางที่ 4.9 เนื่องจากติดตั้งบนตึกสูง 6 ชั้น และใช้สายอากาศต่างชนิดกัน ทำให้ความไวในการรับสัญญาณต่างกันประมาณ 1.75 เท่า



ก. เครื่องนับฟ้าผ่าจากต่างประเทศ
ใช้สายอากาศแผ่นจานกลม

ข. เครื่องนับฟ้าผ่าที่ออกแบบสร้าง
ใช้สายออกอากาศในแนวตั้ง

รูปที่ 4.6 แสดงภาพเครื่องนับฟ้าผ่าจากต่างประเทศและเครื่องที่สร้างโดยติดตั้งเครื่องนับทั้งสองเครื่องห่างกันประมาณ 10 เมตร บนดาดฟ้าตึกไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.9 เปรียบเทียบการนับกับเครื่องจากต่างประเทศ

เดือน	เครื่องจากต่างประเทศ	เครื่องที่สร้าง	อัตราส่วน
29-31 ตุลาคม	1,248	681	1.8:1
พฤศจิกายน	1,905	1,410	1.3:1
ธันวาคม	0	0	1:1
มกราคม	71	56	1.27:1
กุมภาพันธ์	13	8	1.62:1
มีนาคม	1,169	896	1.30:1
เมษายน*	2,370	604*	3.90:1*
พฤษภาคม	5,889	5,368	1.1:1
มิถุนายน	1,764	1,125	1.57:1
รวม	12,059	9,544	1.26:1

อัตราส่วนการนับฟ้าผ่าในเดือนเมษายน 2533 ไม่นำมาพิจารณา เนื่องจากแบตเตอรี่เครื่องที่สร้างหมดอายุ การจดข้อมูลฟ้าผ่าจากเครื่องนับฟ้าผ่าดังแสดงในตารางที่ 4.10

* แบตเตอรี่เครื่องที่สร้างหมดอายุ อัตราส่วนการนับผิดพลาด จึงไม่นำมาพิจารณา ดังแสดงข้อมูลการนับฟ้าผ่าในตารางที่ 4.10

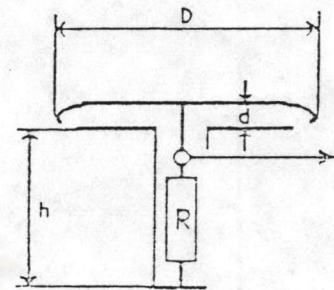
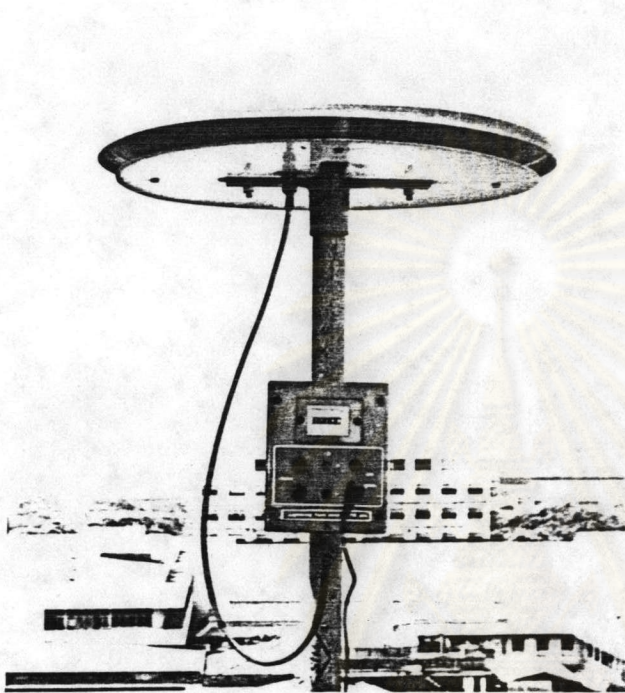
ตารางที่ 4.10 เปรียบเทียบการนับกับเครื่องจากต่างประเทศ
เดือนเมษายน 2533

เดือน	เวลา	เครื่องจากต่างประเทศ	เครื่องที่สร้าง	อัตราส่วน
2/4/33	15.30	5	1	5:1
3/4/33	15.00	0	0	-
4/4/33	15.30	1	0	-
5/4/33	15.15	46	18	2.56:1
11/4/33	15.30	111	71	1.56:1
17/4/33	15.30	25	10	2.5:1
19/4/33	15.00	132	50	2.64:1
23/4/33	15.30	360	156	2.31:1
24/4/33	15.00	0	0	-
25/4/33	15.25	9	3	3:1
26/4/33	15.30	35	15	2.33:1
27/4/33	15.45	340	138	2.46:1
30/4/33	15.00	1406	134	10.49:1
2/5/33	9.00	83	0	-
3/5/33	9.00	23	0	-
4/5/33		1682	0	-
9/5/33	11.00	-	เปลี่ยนแบตเตอรี่	-
10/5/33	9.00	126	101	1.25:1
14/5/33	9.00	1718	1273	1.35:1
15/5/33	9.00	180	172	1.05:1

หลังจากเปลี่ยนแบตเตอรี่ชุดใหม่ การทำงานของเครื่องที่สร้างสามารถนับ
ฟ้าผ่าได้ในอัตราที่น่าเชื่อถือได้

เราสามารถวิเคราะห์ผลการนับของเครื่องนับฟ้าผ่าทั้งสองเครื่องได้
ดังนี้ ติ๊กไฟฟ้ามีความสูง 28 เมตร ความสูงประสิทธิภาพผลสายอากาศของ
เครื่องนับทั้งสองจะเพิ่มขึ้นตามสมการของ ปีสเลอร์ [15]

เครื่องจากต่างประเทศใช้สายอากาศแบบแผ่นจานกลมมีลักษณะโครงสร้างและ
สูตรการคำนวณความสูงประสิทธิภาพสายอากาศ ดังแสดงในรูปที่ 4.7



$$\frac{h_{eff}}{d} = \frac{K}{D} \cdot h + 1$$

(ก) ประกอบติดตั้งกับเครื่องนับไฟฟ้า (ข) โครงสร้างและสูตรการคำนวณ

- d คือระยะห่างระหว่างแผ่นจาน มีค่าคงที่ไม่เปลี่ยนแปลง
- K คือค่าคงตัว 1.7785
- D คือเส้นผ่าศูนย์กลางของแผ่นจานกลม 45 ซม.
- h คือความสูงของการติดตั้งสายอากาศ 2 เมตร และ 30 เมตร

รูปที่ 4.7 ลักษณะโครงสร้างสายอากาศแผ่นจานกลม
และสูตรการคำนวณความสูงประสิทธิภาพ

ดังนั้น ความสูงประสิทธิภาพสูงขึ้น ตามความสูง h ตามสมการในรูปที่ 4.7
ความสูงประสิทธิภาพสูงขึ้น $x = 13.43$ เท่า
รัศมี (ความไว) ทำงานเพิ่มขึ้น x เท่าด้วย
พื้นที่นับไฟฟ้า = $\pi (x \cdot R)^2$

และเครื่องที่สร้างสามารถคำนวณความสูงประสิทธิผลสายอากาศได้ตามสมการที่ 3.1[15]

โดยที่ h คือความสูงสายอากาศทั้งหมด 5 เมตร และ 33 เมตร

b คือความสูงสายอากาศเหนือพื้นดิน 1 เมตร และ 29 เมตร

ดังนั้น ความสูงประสิทธิผลเครื่องที่สร้างสูงขึ้น y เท่า = 7.69

รัศมี (ความไว) ทำงานเพิ่มขึ้น y เท่าด้วย

$$\text{พื้นที่รับฟ้าผ่า} = \pi(y.R)^2$$

ดังนั้นการคาดคะเนความแตกต่างอัตราส่วนการนับของเครื่องนับฟ้าผ่าทั้งสองสามารถคำนวณได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{คิดจากพื้นที่รับฟ้าผ่า} &= \pi(x.R)^2 / \pi(y.R)^2 \\ &= (x/y)^2 = (13.43/7.69)^2 \\ &= 3:1 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{คิดจากความไวการทำงาน} &= x/y \\ &= 13.43/7.69 \\ &= 1.75:1 \end{aligned}$$

เนื่องจากเราสมมุติให้มีฟ้าผ่าอย่างสม่ำเสมอครอบคลุมตลอดพื้นที่รับฟ้าผ่า ของเครื่องนับฟ้าผ่าทั้งสอง ค่าตัวเลขความแตกต่างจึงคำนวณได้เป็น 3 เท่า แต่ในธรรมชาติการเกิดฟ้าผ่าไม่ปกคลุมพื้นที่อย่างสม่ำเสมอ เราคาดคะเนความแตกต่างได้ว่าควรอยู่ในช่วง 1 ถึง 3 เท่า หากคำนวณเปรียบเทียบความไวการทำงานของเครื่องนับฟ้าผ่าที่เปลี่ยนแปลงไปเห็นได้ว่า ต่างกันอยู่ประมาณ 1.75 เท่า และจากผลการทดสอบในตารางที่ 4.9 แสดงความแตกต่างของจำนวนการนับอยู่ระหว่าง 1 ถึง 1.8 เท่า

4.5 ทดสอบรัศมีทำงานยังผล

ใช้เครื่องนับฟ้าผ่าจำนวน 2 เครื่อง คือหมายเลข 11 และ 12 ดังแสดงในรูปที่ 4.5 วิธีการคือ สังเกตฟ้าผ่าที่เกิดขึ้นในรัศมี 50 กิโลเมตร ข้อมูลที่ต้องการคือ

- เป็นฟ้าผ่าก้อนเมฆหรือฟ้าผ่าสู่ดิน สังเกตด้วยสายตา
- ระยะห่างฟ้าพ่านั้นเป็นเท่าไร สังเกตโดยการจับเวลา และคูณด้วยความเร็วเสียงฟ้าร้องในบรรยากาศซึ่งเกิดเนื่องจากฟ้าพ่านั้น
- เครื่องนับฟ้าผ่าทำงานนับฟ้าพ่านั้นหรือไม่ สังเกตโดยการจดตัวเลข

ทดลองสังเกตวันที่มีพายุฝนห่างจากจุดสังเกตประมาณ 15 ถึง 20 กิโลเมตร
ไม่มีเมฆฝนตกใกล้จุดสังเกตเลย ใช้เวลาสังเกตนาน 4 ชั่วโมง ได้ผลดังนี้

ฟ้าผ่าสู่ดินระยะ 6 กิโลเมตร	เครื่องนับทำงาน
ฟ้าผ่าสู่ดินระยะ 9 กิโลเมตร	เครื่องนับทำงาน
ฟ้าผ่าสู่ดินระยะ 12 กิโลเมตร	เครื่องนับทำงาน
ฟ้าผ่าก้อนเมฆระยะ 6 กิโลเมตร	เครื่องนับทำงาน

ทดลองสังเกตวันที่มีฝนตกหนักบริเวณจุดสังเกต ใช้เวลาสังเกตนาน 2 ชั่วโมง
น้ำฝน ความหนาวเย็น และกระแสไฟฟ้าขัดข้องเป็นอุปสรรคในการสังเกตมาก
ได้ผลการสังเกตดังนี้

ฟ้าผ่าสู่ดินระยะ 10 กิโลเมตร	เครื่องนับทำงาน
ฟ้าผ่าก้อนเมฆระยะ 5 กิโลเมตร	เครื่องนับไม่ทำงาน
ไม่ทราบชนิดอีก 12 ครั้ง	จึงไม่ได้จับเวลา

ทดลองสังเกตวันที่มีพายุฝนอย่างรุนแรง ประมาณ 16.00 นาฬิกา ใช้เวลา
สังเกตนาน 1 ชั่วโมง ได้ผลการสังเกตดังนี้

มีฟ้าผ่าเกิดติดต่อกันทุก 1-2 วินาที จนไม่สามารถจับเวลาแยกกันได้
มีเมฆฝนสีดำปกคลุมเต็มท้องฟ้า จนไม่สามารถเห็นลำแสงฟ้าผ่าได้
มีเสียงฟ้าร้องดังมากติดต่อกันตลอดระยะเวลา 1 ชั่วโมง
มีลมพายุฝนพัดกรรโชกแรง จนหลังคากระเบื้องของอาคารข้างเคียง
สถานีทดสอบหลุดลอยไป ต้นไม้สนล้มไปห้าต้น เครื่องนับฟ้าผ่าล้มลงหนึ่ง
เครื่อง มีน้ำฝนพัดเข้ามาในสถานีทดสอบจนท่วม สร้างความหวาดกลัว
แก่ผู้ทดสอบเป็นอย่างมาก จำนวนตัวเลขนับได้ 150

การวิเคราะห์ผลการทดสอบ การทดสอบหารัศมีทำงานยังผลด้วยวิธีธรรมดา นั้น
ข้อมูลที่ได้มีไม่เพียงพอและเสียเวลาในการทดสอบมาก การเลือกใช้และพัฒนา
เครื่องมือเทคโนโลยีระดับสูงช่วยให้ได้ข้อมูลจำนวนมากๆ ในเวลาสั้นและถูก
ต้องแม่นยำ เช่น เครื่องหาตำแหน่งฟ้าผ่าอัตโนมัติ [32, 33] และการสื่อสาร
ข้อมูลทางโทรมาตร [16] เป็นต้น รัศมีทำงานยังผลฟ้าผ่าสู่ดินของเครื่องนับ
ฟ้าผ่าที่สร้างสามารถประมาณได้จาก การตั้งความไวการทำงานนับฟ้าผ่าตาม
มาตรฐานซีเกอร์ สำหรับการทดสอบหารัศมีทำงานยังผลฟ้าผ่าสู่ดินในประเทศ
นั้น ควรทำการวิจัยเพิ่มอีกโครงการโดยเฉพาะ