ชุดสาธิตการคายประจุไฟฟ้าสถิต

DEMONSTRATION KIT FOR OCCURRENCE OF ELECTROSTATIC DISCHARGE EVENT

นราธิป เลิศวงศ์อุดมพร

มงคล เรืองขันแหวง

ปรียาภรณ์ นันทวโร

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2556

ชุดสาธิตการคายประจุไฟฟ้าสถิต

DEMONSTRATION KIT FOR OCCURRENCE OF ELECTROSTATIC DISCHARGE EVENT

โดย

นราธิป เลิศวงศ์อุดมพร
แบงค์ เลื่องชัยเชวง
ปรียาภรณ์ ฉันทวโร

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2556

DEMONSTRATION KIT FOR OCCURRENCE OF ELECTROSTATIC DISCHARGE EVENT

NARATHIP LERDVONGUDOMPORN

BANK LUENGCHAICHAWENG

PREEYAPORN CHUNTAWARO

THIS PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT

FOR THE BECHELOR DEGREE IN ELECTRICAL ENGINEERING

DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2013

ปีการศึกษา 2556

ชุดสาธิตการคายประจุไฟฟ้าสถิต

DEMONSTRATION KIT FOR OCCURRENCE OF ELECTROSTATIC DISCHARGE EVENT

โดย

นราธิป เลิศวงศ์อุดมพร

แบงค์ เลื่องชัยเชวง

ปรียาภรณ์ ฉันทวโร

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ.ดร.ชัยยันต์ เจตนาเสน

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2556

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง ชุดสาธิตการคายประจุไฟฟ้าสถิต

ผู้จัดทำ

1. นาย นราธิป เลิศวงศ์อุดมพร
2. นาย แบงค์ เลื่องชัยเชวง
3. นางสาว ปรียาภรณ์ ฉันทวโร

.... อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชัยยันต์ เจตนาเสน)

ชุดสาธิตการคายประจุไฟฟ้าสถิต

นาย นราธิป เลิศวงศ์อุดมพร
นาย แบงค์ เลื่องลือเชวง
นางสาว ปรียาภรณ์ ฉันทวโร
ผศ.ดร. ชัยยันต์ เจตนาเสน อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2556

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์นี้นำเสนอหลักการและวิธีการออกแบบชุดสาธิตการคายประจุไฟฟ้าสถิต จากการตรวจจับสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า และตรวจจับค่าสูงสุดของคุณลักษณะของสัญญาณที่ได้มาแสดงค่าผ่านเซเว่นเซกเมนต์ เพื่อเป็นสื่อการเรียนรู้ที่เป็นประโยชน์ต่อนักเรียน นักศึกษาหรือบุคคลทั่วไปให้ตระหนักถึงผลกระทบเมื่อมีการคายประจุไฟฟ้าสถิตในเหตุการณ์ชีวิตประจำวัน โดยจะออกแบบให้เสาอากาศรับสัญญาณคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่เกิดจากเหตุการณ์การคายประจุไฟฟ้าสถิตเป็นผลให้เกิดสัญญาณแรงดันไฟฟ้าเข้าสู่วงจรตรวจจับค่าแรงดันสูงสุด จากนั้นทำการประมวลผลหาค่าสัญญาณที่ตรวจจับได้ และนำมาแสดงผลผ่านทางเซเว่นเซกเมนท์

DEMONSTRATION KIT FOR OCCURRENCE OF ELECTROSTATIC DISCHARGE EVENT

Mr. Narathip	Lerdvongudomporn	
Mr. Bank	Luengchaichaweng	
Ms. Preeyaporn	Chuntawaro	
Asst.Prof. Chaiyan	Jettanasen	Supervisor

Year 2013

ABSTRACT

This thesis presents the principle and design method of demonstration kit for occurrence of electrostatic discharge event. The design of our model is based on detecting electromagnetic interference signal and then senses the peak of signal, and is monitored with 7-segment. This kit will be the instructional media that is benefit for student and any people in order to realize the impact of ESD in daily life. The first step, antenna receives electromagnetic signal generated from ESD event. This is reason why signal of antenna is converted from electromagnetic signal to voltage signal before it comes to hold peak detector circuit. Finally, analyzing detected results and monitoring the value using 7-segment.

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานเรื่องชุดสาธิตการคายประจุไฟฟ้าสถิตนี้ ได้ดำเนินการมาจนเสร็จสิ้น บรรลุตามจุดประสงค์ที่ต้องการด้วยผลความวิริยะอุตสาหะ อดทนต่อปัญหาและอุปสรรคเมื่อเกิดความผิดพลาดขณะกำลังดำเนินการ อย่างไรก็ตาม สิ่งเหล่านี้จะเกิดขึ้นไม่ได้หากไม่ได้กำลังใจ คำแนะนำและวิธีการดำเนินงานที่ดี โดยได้รับจากทั้งบุคคลและหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง รวมไปถึงอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ ซึ่งล้วนเป็นสิ่งที่สนับสนุนให้โครงงานชิ้นนี้ดำเนินการมาจนเสร็จสิ้นสมบูรณ์ ทางคณะผู้จัดทำจึงขอขอบพระคุณในความอนุเคราะห์ดังกล่าว ดังมีรายนามดังต่อไปนี้

ขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชัยยันต์ เจตนาเสน ผู้ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาที่ได้คอยให้คำปรึกษา ให้คำแนะนำ ติดตามดูแลเอาใจใส่ตลอดจนให้ความช่วยเหลือในด้านต่างๆ จนโครงงานนี้เสร็จสิ้น รวมไปถึงรุ่นพี่คณะวิศวกรรมไฟฟ้าที่เคยทำโครงงานที่มีแนวทางเหมือนกับโครงงานนี้ ที่คอยให้คำปรึกษาและให้ทัศนคติการใช้ชีวิตต่อไป

ท้ายที่สุดนี้ขอขอบพระคุณบิดา มารดาที่ได้อุปการะเลี้ยงดู อบรมสั่งสอน ตลอดจนส่งเสริมทางด้านการศึกษา จนสามารถสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีในครั้งนี้

คณะผู้จัดทำ

สารบัญ

สารบัญ (ต่อ)

สารบัญรูป

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.1	เครื่องเน็ตเวิร์ค อนาไลเซอร์ ที่ระดับความถี่วิทยุ ยี่ห้อ Agilent รุ่น E5062A ENA-L	25
4.2	ต่อเสาอากาศผ่านขั้วต่อและสายนำสัญญาณเข้ากับเครื่องเน็ตเวิร์ค อนาไลเซอร์	25
4.3	ผลการทดลองรับสัญญาณจากเสาอากาศเข้าเครื่องเน็ตเวิร์ค อนาไลเซอร์ : เส้นสีเหลือง – ขนาดสัญญาณของเสาอากาศ, เส้นสีม่วง – ขนาดสัญญาณอ้างอิง	26
4.4	การทดสอบรับสัญญาณของวงจรตรวจจับค่าสูงสุดของแรงดันไฟฟ้าจากแหล่งกำเนิดประจุไฟฟ้าสถิตสะสมที่เกิดการลัดวงจรลงดินเนื่องจากประจุที่สะสมอยู่	27
4.5	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างจากแหล่งกำเนิดประจุไฟฟ้าสถิตสะสมที่เกิดการลัดวงจรลงดิน และระดับแรงดันที่วงจรตรวจจับค่าแรงดันสูงสุดแสดง	28
4.6	การติดตั้งอุปกรณ์ทดสอบการคายประจุไฟฟ้าสถิตตามมาตรฐาน EN 61000-4-2	29
4.7	วงจรตรวจจับค่าแรงดันสูงสุด	30
4.8	การทดสอบวงจรตรวจจับค่าสูงสุดที่ระยะ 15 เซนติเมตร	31
4.9	เครื่องกำเนิด ESD (ปืน ESD) ที่ PTEC	31
4.10	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันที่เครื่องกำเนิด ESD และระดับแรงดันที่วงจรแสดงที่เสาอากาศสูง 45 เซนติเมตร ห่างจากเครื่องกำเนิดเป็นระยะทาง 5 เซนติเมตร	32
4.11	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันที่เครื่องกำเนิด ESD และระดับแรงดันที่วงจรแสดงที่เสาอากาศสูง 45 เซนติเมตร ห่างจากเครื่องกำเนิดเป็นระยะทาง 10 เซนติเมตร	33
4.12	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันที่เครื่องกำเนิด ESD และระดับแรงดันที่วงจรแสดงที่เสาอากาศสูง 45 เซนติเมตร ห่างจากเครื่องกำเนิดเป็นระยะทาง 20 เซนติเมตร	33
4.13	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันที่เครื่องกำเนิด ESD และระดับแรงดันที่วงจรแสดงที่เสาอากาศสูง 130 เซนติเมตร ห่างจากเครื่องกำเนิดเป็นระยะทาง 5 เซนติเมตร	33
4.14	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันที่เครื่องกำเนิด ESD และระดับแรงดันที่วงจรแสดงที่เสาอากาศสูง 130 เซนติเมตร ห่างจากเครื่องกำเนิดเป็นระยะทาง 10 เซนติเมตร	34
4.15	เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันที่เครื่องกำเนิด ESD และระดับแรงดันที่วงจรแสดงที่เสาอากาศสูง 45 และ 130 เซนติเมตร ที่ระยะห่างใดๆ ที่ทดสอบ	34

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

การเกิดไฟฟ้าสถิตเป็นการที่ปริมาณประจุไฟฟ้าขั้วบวกและขั้วลบบนผิววัสดุมีไม่เท่ากันทำให้เกิดแรงดูดเมื่อวัตถุทั้งสองมีประจุต่างกัน หรือเกิดแรงผลักเมื่อวัสดุทั้งสองมีประจุเหมือนกัน โดยการนำผิวสัมผัสของวัสดุ 2 ชิ้นที่มีคุณสมบัติเป็นฉนวน เช่น ยาง, พลาสติก, แก้ว มาขัดสีกัน พลังงานที่เกิดจากการขัดสีกันทำให้ประจุไฟฟ้าบนผิววัสดุเหล่านั้นเกิดการแลกเปลี่ยนกัน

การคายประจุไฟฟ้าสถิตขึ้นนั้นเป็นปรากฏการณ์ที่ส่งผลกระทบต่อกระบวนการในการผลิตในอุตสาหกรรมที่เป็นกระบวนการทุกอย่างที่เกี่ยวข้องกับอุปกรณ์ ซึ่งเกิดความเสียหายแก่อุปกรณ์ทั้งแบบเห็นผลทันทีและแบบแอบแฝง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ในปัจจุบันที่มีขนาดเล็กลงและสามารถทำงานได้ดีขึ้น มีความรวดเร็วในการทำงานมากยิ่งขึ้นทำให้มีการผลิตสัญญาณความถี่ออกมาเมื่อมีการใช้งานทำให้เกิดการรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า จากผลดังกล่าวจึงมีการศึกษาถึงคุณลักษณะของการคายประจุที่เกิดขึ้น โดยเริ่มจากงานวิจัยของ You Li และ Juin [1] นั้นได้ทำการประเมินพฤติกรรมชั่วขณะของ polysilicon-bound Diode ที่มีการคายประจุไฟฟ้าสถิตอย่างฉับพลัน อีกทั้งยังมีงานวิจัยของ William [2] ที่ทำการตรวจสอบการคายประจุไฟฟ้าสถิตสำหรับแบบจำลองปัญหา 3 แบบกับช่องว่างอากาศขนาดเล็ก

และในเวลาต่อมาได้นำคุณลักษณะของการคายประจุไฟฟ้าสถิตวิเคราะห์ผ่านการสร้างแบบจำลองที่ถ่ายเทประจุเข้าตัวอุปกรณ์โดยมีแบบที่นิยมใช้และเกี่ยวข้องกับมนุษย์โดยตรงคือแบบจำลองเชิงร่างกายมนุษย์ (HBM: Human Body Model) ซึ่งเป็นการจำลองเสมือนมีการเกิดการคายประจุไฟฟ้าสถิตจากมนุษย์ไปสู่อุปกรณ์หรือชิ้นงานใดๆ โดยเกิดงานวิจัยของ Wen Yu Lo และ Ming-Dou Ker [3] ที่ศึกษาผลทางกลล้มเหลวที่เกิดจากความผิดปกติการคายประจุไฟฟ้าสถิตในไอซี อีกทั้งงานวิจัยของ Chundru และคณะ [4][5] ได้มีการศึกษาคุณลักษณะของการคายประจุไฟฟ้าสถิตที่ให้ร่างกายมนุษย์เสมือนโลหะที่เกิดจากการคายประจุได้และมีความสัมพันธ์กับค่าตัวแปรเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่เกิดการทำงานผิดพลาด และงานวิจัยของ Okiniewska [6] ที่ศึกษาปฏิกิริยาของการคายประจุไฟฟ้าสถิตกับแบบจำลองเชิงร่างกายมนุษย์ จากงานวิจัยเหล่านี้ซึ่งล้วนแต่นำแบบจำลองเชิงร่างกายมนุษย์มาทำการศึกษาหาคุณลักษณะเมื่อเกิดการคายประจุไฟฟ้าสถิตขึ้น โดยผลงานวิจัยทราบว่าความไวในการรับและความสามารถในการทนต่อการคายประจุไฟฟ้าสถิตที่ไม่เท่ากันของอุปกรณ์แต่ละชนิดนั้นเป็นปัจจัยสำคัญ

จากการศึกษาปัจจัยต่างๆ ดังที่กล่าวมานั้น จึงมีการศึกษาหาวิธีการและอุปกรณ์ที่ใช้ตรวจจับการคายประจุไฟฟ้าสถิต โดยศึกษาจากงานวิจัยของอาจารย์ที่ปรึกษา [7] ที่ได้ทำการออกแบบอุปกรณ์ตรวจจับไฟฟ้าสถิต ส่วนปริญญานิพนธ์จากมหาวิทยาลัยขอนแก่น [8] ได้ทำ

เซนเซอร์ของเครื่องตรวจจับผลการรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าที่เกิดจากการคายประจุไฟฟ้าสถิตขึ้น และปริญญานิพนธ์ของรุ่นพี่ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้ารุ่น47 [9] ได้ทำเครื่องตรวจจับการคายประจุไฟฟ้าสถิตโดยการนับ

โดยงานวิจัยที่ได้ทำการศึกษายังมีตัวแปรที่ยังต้องนำมาวิเคราะห์ต่อไป อย่างเช่นในเรื่องของความถี่ ที่ย่านความถี่สูงๆนั้นจะมีการคายประจุไฟฟ้าสถิตได้ดีจากการเกิดการรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าที่มากกว่า โดยจากงานวิจัยของ Wallash และ Kraz [10] จะเป็นการเปรียบเทียบค่าแรงดันไฟฟ้ากับกระแสไฟฟ้าในย่านความถี่สูงและมีการตั้งสมมติฐานเพื่อทดสอบหาการคายประจุไฟฟ้าสถิตหรือการเกิดการรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเมื่อความถี่สูงขึ้นจะเกิดการรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าทำให้การคายประจุไฟฟ้าสถิตเกิดได้รวดเร็วและมีค่าสูง จากแนวคิดที่กล่าวมาตรงกับการศึกษาเกี่ยวกับการทดสอบแบบจำลองเชิงร่ายกายมนุษย์ ซึ่งเสมือนเป็นการเกิดการคายประจุไฟฟ้าสถิตในมนุษย์สู่อุปกรณ์นั้นๆ โดยมีค่าความถี่สูงถึงระดับ GHz เลยทีเดียว ส่งผลต่อการออกแบบตัวตรวจจับสัญญาณให้มีคุณสมบัติรับสัญญาณในย่านความถี่สูง

แม้ว่าในปัจจุบันเราจะมีการป้องกันไฟฟ้าสถิตให้อุปกรณ์ในอุตสาหกรรมแล้ว แต่ประจุไฟฟ้านั้นย่อมมีความพยายามที่จะหาทางถ่ายเทประจุไปยังวัตถุอื่นให้ได้เสมอ และอีกหนึ่งสิ่งคือการคายประจุไฟฟ้าสถิตสามารถเกิดได้ในชีวิตประจำวัน เพียงแค่มีปัจจัยที่พร้อมต่อการปะทุของไฟฟ้าสถิต เช่น วัตถุที่เป็นฉนวน ระยะของวัตถุที่เกิดการคายประจุ ความชื้นในอากาศ เป็นต้น ตัวอย่างเช่น ในประเทศเมืองหนาว คนๆหนึ่งขับรถไปเติมน้ำมัน (ในต่างประเทศจะต้องเติมน้ำมันด้วยตัวเอง) โดยที่เขาใส่เสื้อไหมพรมและเบาะรถก็ทำจากหนังซึ่งเป็นตัวสะสมประจุชั้นดี ขณะเติมน้ำมันนำมือไปจับที่หัวจ่ายซึ่งเป็นโลหะเกิดการคายประจุจากมือไปที่หัวจ่าย เมื่อนำเข้าไปในช่องเติมน้ำมันจึงเกิดการลุกไหม้ที่ด้านนอกของช่องเติม เนื่องจากการปะทุเมื่อประจุที่สะสมรวมเข้ากับอากาศและน้ำมันนั่นเอง จากเหตุการณ์นี้ทำให้รู้ว่าคนส่วนใหญ่มักไม่ทราบถึงผลกระทบที่รุนแรงของการคายประจุไฟฟ้าสถิตซึ่งเกิดขึ้นได้ชีวิตประจำวัน ทำให้ไม่ได้ระมัดระวังต่อความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นได้ในชีวิต ร่างกายและทรัพย์สิน

โดยในปัจจุบันนั้นในอุตสาหกรรมได้มีการทำอุปกรณ์ตรวจจับขึ้นแล้ว โดยสามารถนับการเกิดการคายประจุไฟฟ้าสถิตและสามารถนำไปแสดงคุณลักษณะที่เกิดขึ้นได้แต่ยังมีราคาค่อนข้างสูง จากเหตุผลข้างต้นจึงได้มีแนวคิดที่จะทำชุดสาธิตการคายประจุไฟฟ้าสถิตขึ้น เพื่อแสดงค่าสูงสุดของแรงดันไฟฟ้าจากการคายประจุไฟฟ้าสถิต โดยสามารถตรวจจับสัญญาณที่เกิดขึ้นได้จากเหตุการณ์ในชีวิตประจำวันโดยตรง เช่น รองเท้าหนังถูกับพรม ผ่านเข้าวงจรภาครับที่ตรวจจับแรงดันสูงสุด แล้วแสดงค่าเป็นตัวเลขออกมาผ่านทางเซเว่นเซกเมนต์ ซึ่งทำให้เกิดความสะดวกในการตรวจสอบหาพื้นที่ที่มีความเสี่ยงเพื่อหาแนวทางการป้องกันต่อไป และหากเครื่องตรวจจับมีราคาต่ำลงจะสามารถติดตั้งตามตำแหน่งต่างๆ ได้ทั่วพื้นที่การผลิตมากขึ้น ทำให้ทราบตำแหน่งที่คาดว่าจะได้รับความเสียหายแล้วทำการแก้ปัญหาเฉพาะพื้นที่ดังกล่าว ช่วยทำให้ประหยัดต้นทุนค่าใช้จ่ายได้ อีกทั้งเพิ่มความน่าเชื่อถือในการผลิตอีกด้วย

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

1. เพื่อศึกษาปรากฏการณ์และคุณลักษณะการคายประจุไฟฟ้าสถิต
2. เพื่อออกแบบวงจรตรวจจับค่าสูงสุดของคุณลักษณะการคายประจุไฟฟ้าสถิต
3. เพื่อวิเคราะห์หาค่าสูงสุดที่วัดได้จากวงจรที่ทำการออกแบบกับแหล่งกำเนิดการคายประจุไฟฟ้าสถิตที่จำลองขึ้น เพื่อเป็นสมมติฐานในออกแบบชุดสาธิต
4. เพื่อออกแบบไมโครคอนโทรลเลอร์ให้รับสัญญาณจากวงจรตรวจจับค่าสูงสุด และแสดงค่าผ่านทางเซเว่นเซกเมนต์ได้
5. เพื่อเป็นชุดสาธิตการคายประจุไฟฟ้าสถิตเพื่อให้นักเรียน นักศึกษาและบุคคลทั่วไปได้ศึกษาและเข้าใจถึงคุณลักษณะและความรุนแรงของเหตุการณ์การคายประจุไฟฟ้าสถิต

1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงงาน

โครงงานนี้เป็นการศึกษาการแสดงคุณลักษณะการเกิดการคายประจุของไฟฟ้าสถิต (Electrostatic Discharge, ESD) ที่ส่งผลต่อเหตุการณ์ในชีวิตประจำวันที่เกิดขึ้นได้รอบตัวมนุษย์ ทั้งจากการการสัมผัสและการเสียดสี ทำให้เกิดแลกเปลี่ยนของประจุบนวัตถุสองชนิดหรือที่เรียกว่าการคายประจุไฟฟ้าสถิตขึ้นนั่นเอง ดังนั้นจึงต้องการออกแบบเครื่องตรวจจับค่าสูงสุดของแรงดันไฟฟ้าจากการคายประจุไฟฟ้าสถิต และแสดงผลออกมาเป็นค่าตัวเลขบนเซเว่นเซกเมนต์ เพื่อแสดงถึงความรุนแรงของการคายประจุไฟฟ้าสถิตที่เกิดขึ้น

1.4 วิธีการที่ใช้ในโครงงาน

1. ประชุมและวางแผนการดำเนินงาน
2. ศึกษาค้นคว้าหาข้อมูล งานวิจัยและทำความเข้าใจเกี่ยวกับการคายประจุของไฟฟ้าสถิต (Electrostatic Discharge, ESD)
3. ออกแบบและจำลองวงจรตรวจจับแรงดันสูงสุดของคุณลักษณะการคายประจุไฟฟ้าสถิตผ่านเสาอากาศ โดยใช้โปรแกรม OrcadPSpice
4. ศึกษาและออกแบบไมโครคอนโทรลเลอร์ที่รับสัญญาณมาจากวงจรตรวจจับแรงดันสูงสุดให้บันทึกค่านั้นได้ผ่านเซเว่นเซกเมนท์
5. สร้างวงจรตรวจจับแรงดับสูงสุดที่ทำการออกแบบ
6. ทดลองการทำงานของวงจรตรวจจับแรงดันสูงสุด
7. หาแหล่งกำเนิดอ้างอิงจากห้องทดสอบของ PTEC
8. วิเคราะห์ผลการทดลอง
9. สรุปผลโครงงานและเขียนรายงานสรุปผล
10. นำเสนอโครงงาน

1.5 แผนการดำเนินโครงงาน

การดำเนินงาน	ภาคเรียนที่ 1/2556				ภาคเรียนที่ 2/2556				
	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.
1. ประชุมและวางแผนการดำเนินงาน									
2. ศึกษาค้นคว้าหาข้อมูล งานวิจัยและทำความเข้าใจเกี่ยวกับ ESD									
3. ออกแบบและจำลองวงจรตรวจจับแรงดันสูงสุดของ ESDโดยใช้โปรแกรม OrcadPSpice									
4. ศึกษาและออกแบบไมโครคอนโทรลเลอร์ที่รับสัญญาณมาจากวงจรตรวจจับแรงดันสูงสุด									
5. สร้างวงจรตรวจจับแรงดับสูงสุดที่ทำการออกแบบ									
6. ทดลองการทำงานของวงจรตรวจจับแรงดันสูงสุด									
7. หาแหล่งกำเนิดอ้างอิงจากห้องทดสอบของ PTEC									
8. วิเคราะห์ผลการทดลอง									
9. สรุปผลโครงงานและเขียนรายงานสรุปผล									
10. นำเสนอโครงงาน									

1.6 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

1. ได้ความรู้เกี่ยวกับปรากฏการณ์และคุณลักษณะการคายประจุของไฟฟ้าสถิตที่เกิดขึ้นจากเหตุการณ์ต่างๆ

2. สามารถนำชุดสาธิตไปเป็นต้นแบบของอุปกรณ์ที่เป็นสื่อการเรียนการสอนให้กับนักเรียน นักศึกษาและผู้สนใจทั่วไปได้

3. ได้เรียนรู้ที่จะจัดการมีการวางแผนงาน ศึกษาค้นคว้า และปฏิบัติงานจริงโดยสามารถทำงานร่วมกันเป็นกลุ่มได้

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

การเกิดไฟฟ้าสถิตเป็นปรากฏการณ์ที่ปริมาณประจุไฟฟ้าขั้วบวกและขั้วลบบนผิววัสดุมีไม่เท่ากัน ปกติจะแสดงในรูปการดึงดูด การผลักกัน หรือการเกิดประกายไฟ โดยทั่วไปเราสามารถสังเกตเห็นปรากฏการณ์ไฟฟ้าสถิตจากการเกิดปรากฏการณ์ใหญ่ๆ (Macroscopic) ได้แก่ ฟ้าแลบ, ฟ้าผ่า เป็นต้น แต่ในความจริงแล้ว ไฟฟ้าสถิตนั้นเกิดขึ้นได้ตลอดเวลาแม้กระทั่งปรากฏการณ์เล็กๆ (Microscopic) ในชีวิตประจำวัน เช่น เสื้อผ้าที่สวมใส่ยับลู่ติดตัว, การที่มีฝุ่นหนาเกาะจับอยู่บนหน้าจอของโทรทัศน์, การเกิดไฟฟ้าดูดเมื่อเราจับโลหะบางประเภท เช่น การจับที่ลูกบิดประตู นอกจากนี้เรายังสามารถเห็นพลาสติกสำหรับห่อของถูกแรงดูดติดอยู่กับวัสดุที่มันห่อหุ้มอยู่ด้วย

2.1 การเกิดไฟฟ้าสถิต

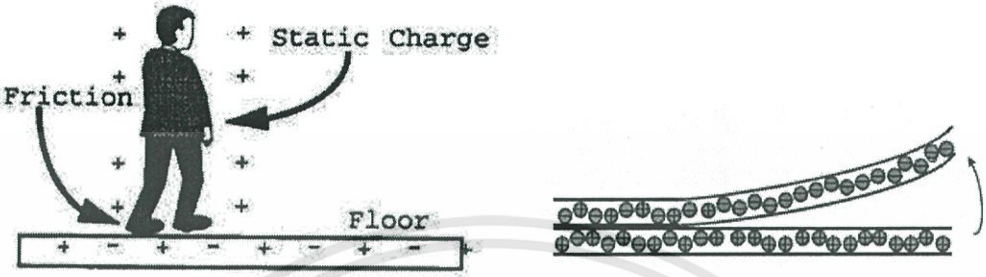
เป็นปรากฏการณ์ที่เกิดการสะสมปริมาณประจุไฟฟ้าขั้วบวกและขั้วลบบนผิววัสดุมีไม่เท่ากันบนพื้นผิวของชิ้นงาน ประจุที่เกิดขึ้นนี้อาจจะเกิดจากกระบวนการขัดสีกันระหว่างวัสดุ (Triboelectric charging) การสัมผัส (Conduction) และการเหนี่ยวนำไฟฟ้า (Induction) ให้เกิดไฟฟ้าสถิต

2.1.1 การขัดสีกันระหว่างวัสดุ (Triboelectric charging)

การสะสมประจุไฟฟ้าสถิต เราสามารถทำได้โดยการนำผิวสัมผัสของวัสดุ 2 ชิ้นมาขัดสีกัน พลังงานที่เกิดจากการขัดสีกัน เกิดการแลกเปลี่ยนประจุไฟฟ้าบนผิววัสดุ โดยจะเกิดกับวัสดุที่ไม่นำไฟฟ้าผลที่ปรากฏจากการนำวัตถุต่างชนิดถูหรือขัดสีกันจนเกิดประจุไฟฟ้าบนผิวของวัสดุ กล่าวคือ เกิดไฟฟ้าสถิตบนผิวของวัสดุ และประจุไฟฟ้าที่เกิดขึ้นบนผิวของวัสดุคู่นี้ จะเป็นประจุไฟฟ้าต่างชนิดกันเสมอ จึงได้ทำตารางของวัสดุที่ทำให้เกิดไฟฟ้าสถิต โดยจัดเรียงตามลำดับของการขัดสีไว้ (frictional order) ดังต่อไปนี้

1.) ขนสัตว์
2.) ขนแกะหรือสักหลาด
3.) ไม้
4.) ยางสน
5.) แก้วผิวเกลี้ยง
6.) ผ้าฝ้าย หรือสำลี
7.) กระดาษ
8.) ผ้าแพร
9.) แก้วผิวขรุขระ
10.) ผิวหนัง
11.) โลหะต่างๆ
12.) ยางอินเดีย (India rubber)
13.) อำพัน
14.) กำมะถัน
15.) อิโบไนต์ (ebonite)
16.) ยาง Gutta-perchta
17.) ผ้าแพร Amalgamated
18.) เซลลูลอยด์ (Celluloid)

เมื่อนำวัสดุคู่ใดคู่หนึ่งดังที่ปรากฏในตารางมาถูกันแล้ว วัสดุที่มีเลขลำดับน้อยกว่า จะปรากฏมีประจุไฟฟ้าบวก ส่วนวัสดุที่มีเลขลำดับมากกว่าจะปรากฏมีประจุไฟฟ้าลบ เช่น ถ้านำไม้ หมายเลข 3 ถูกับอำพันหมายเลข 15 จะทำให้เกิดประจุไฟฟ้าบวกบนผิวไม้ ส่วนบนผิวของอำพันจะปรากฏประจุไฟฟ้าลบ



รูปที่ 2.1 การสะสมประจุไฟฟ้าสถิต เนื่องจากการขัดสี (Triboelectric charging)

ปริมาณความรุนแรงที่เกิดขึ้นเนื่องจากการขัดสีนี้อาจสูงมาก ขึ้นอยู่กับสิ่งต่างๆ ดังต่อไปนี้

1. ชนิดของวัสดุทั้งสอง
2. ระยะเวลาในการสัมผัส
3. ความชื้นสัมพัทธ์ (ยิ่งมีค่าต่ำ ยิ่งเกิดการถ่ายเทประจุมาก,สะสมประจุได้ง่าย)
4. ลักษณะพื้นผิวของวัสดุทั้งสอง (เรียบ, ขรุขระ, ฯลฯ)

เมื่อเกิดประจุขึ้นบนวัสดุ (เนื่องจากความไม่สมดุลของอิเล็กตรอนและโฮล) แล้วจะทำให้เกิดศักย์ไฟฟ้าขึ้นบนพื้นผิวของวัสดุนั้นด้วย ศักย์ไฟฟ้าจะมีค่าสูงหรือต่ำขึ้นอยู่กับจำนวนประจุ (Charge - Q) และค่าความจุ (Capacitance - C) ของวัสดุนั้น เราสามารถคำนวณค่าศักย์ไฟฟ้าสะสมที่ตัววัสดุได้ตามสมการ

$$V(Volt) = \frac{Q(Coulomb)}{C(Farad)} \tag{2.1}$$

จากสมการจะเห็นว่าหากเกิดประจุขึ้นในจำนวนไม่มากนัก แต่วัสดุที่สะสมประจุนั้นมีค่าความจุไฟฟ้าต่ำมาก ก็จะทำให้เกิดศักย์ไฟฟ้าขนาดสูงมากขึ้นได้ ทั้งนี้บางครั้งการเสียดสีอย่างง่ายๆ เช่นการเดินอยู่บนพื้นปูพรมในห้องที่อากาศแห้ง (10 - 20%) ทำให้คนที่มีประจุสะสม 4 μC และค่าความจุไฟฟ้า 100 pF จะสามารถสร้างศักย์ไฟฟ้าได้สูงถึง 35,000 โวลต์

ตัวอย่างกิจกรรมอื่นๆ แสดงดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ศักย์ไฟฟ้าสถิตที่เกิดขึ้นโดยทั่วไป

กิจกรรมที่ทำให้เกิดไฟฟ้าสถิต	ศักย์ไฟฟ้าสถิตที่เกิดขึ้น (โวลต์)	
	ความชื้นสัมพัทธ์ 10–20%	ความชื้นสัมพัทธ์ 65–90%
การเดินบนพื้นปูพรม	35,000	1,500
การเดินบนพื้นปูไวนิล	12,000	250
การนั่งทำงานอยู่บนโต๊ะ	6,000	100
การหยิบซองพลาสติก PVC ขึ้นจากโต๊ะ	20,000	1,200

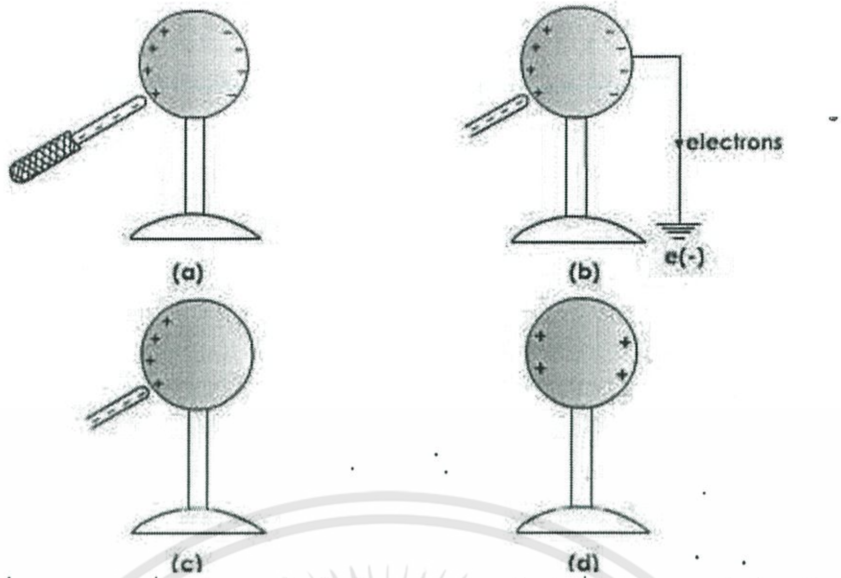
2.1.2 การสัมผัสเพื่อให้เกิดไฟฟ้าสถิต (Charging by Conduction)

ไฟฟ้าสถิตที่เกิดจากการสัมผัสเกิดขึ้นได้จากตัวนำสองตัวสัมผัสซึ่งกันและกันเมื่อมีความหนาแน่นประจุไฟฟ้าที่ต่างกันระหว่างตัวนำทั้งสอง จากนั้นประจุจะไหลจนกระทั่งไม่มีความต่างของความหนาแน่นประจุในตัวนำทั้งสอง และมันยังสามารถเกิดขึ้นได้ด้วยถ้าประจุสามารถเคลื่อนที่ผ่านอากาศระหว่างตัวนำสองตัวได้ เช่น การเกิดฟ้าผ่าลงมาสู่พื้นดิน ในกรณีนี้อากาศเปลี่ยนตัวเองให้กลางเป็นตัวนำพลาสมาที่สามารถส่งผ่านประจุได้ การสัมผัสจึงเป็นทางหนึ่งที่ฉนวนจะสามารถส่งประจุผ่านไปยังตัวนำได้

รูปที่ 2.2 การสะสมประจุไฟฟ้าจากการสัมผัสด้วยฉนวน (รูปซ้าย) ด้วยตัวนำ (รูปขวา)

2.1.3 การเหนี่ยวนำไฟฟ้าให้เกิดไฟฟ้าสถิต (Charging by Induction)

ไฟฟ้าสถิตที่เกิดจากการเหนี่ยวนำ โดยนำวัสดุที่มีประจุไปเหนี่ยวนำให้วัสดุที่มีสภาพเป็นกลางเกิดประจุและแยกขั้วออกจากกัน ซึ่งวัสดุทั้งสองนั้นไม่จำเป็นต้องสัมผัสกัน เช่น ชิ้นงานที่มีไฟฟ้าสถิตวางใกล้เม็ดฝุ่น ก็จะเหนี่ยวนำประจุในเม็ดฝุ่นทำให้เม็ดฝุ่นหมดสภาพเป็นกลางจะมีค่าเป็นบวกหรือลบก็ขึ้นอยู่กับวัสดุที่นำมาเหนี่ยวนำ ถ้าวัสดุที่นำมาเหนี่ยวนำนั้นมีค่าเป็นประจุบวกก็จะเหนี่ยวนำให้เม็ดฝุ่นนั้นเกิดเป็นประจุลบ และถ้าชิ้นงานมีไฟฟ้าสถิตอยู่ในระดับที่มากพอที่จะดึงดูดเม็ดฝุ่นซึ่งมีประจุตรงข้ามกันกับวัสดุนั้น ฝุ่นก็จะเข้าไปเกาะอยู่ที่ผิวหน้าของวัสดุ ตามธรรมชาติของประจุไฟฟ้านั้นประจุที่มีขั้วตรงข้ามกันก็จะเกิดแรงดึงดูดกัน



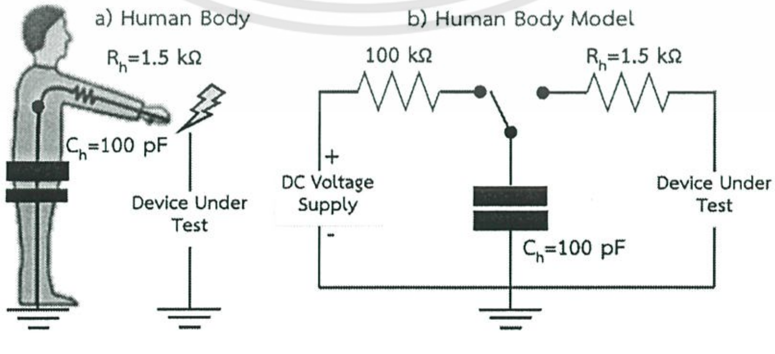
รูปที่ 2.3 การเหนี่ยวนำประจุไฟฟ้าด้วยฉนวนและตัวนำที่มีประจุตรงกันข้ามกัน

2.2 แบบจำลองที่ใช้ทดสอบการเกิด ESD

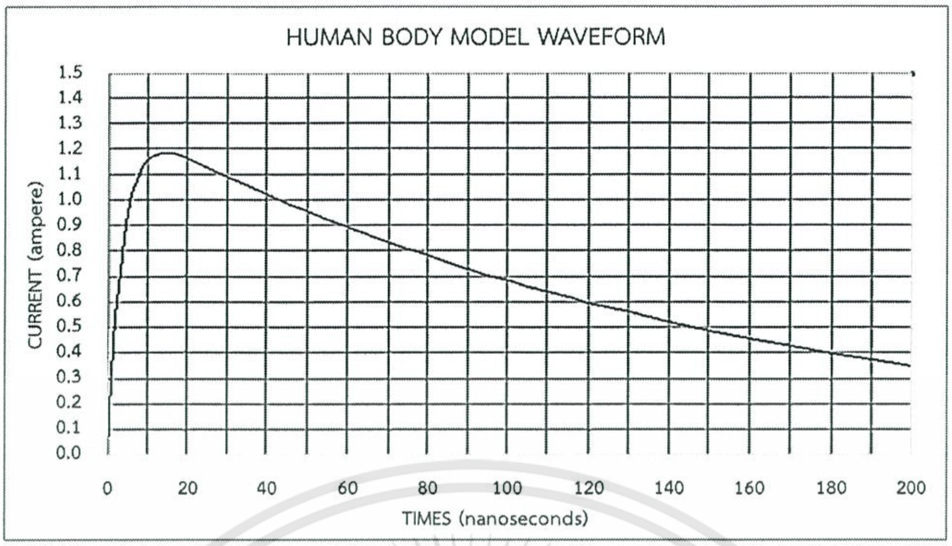
การศึกษาความเสียหายที่เกิดขึ้น เนื่องมาจาก ESD เราจะต้องจำแนกแบบจำลองต่างๆที่ส่งผลให้เกิดการถ่ายเทประจุเข้าและออกตัวอุปกรณ์ ซึ่งมีผลทำให้เกิดความเสียหายตามมา โดยทั่วไปสามารถจำแนกแบบจำลองออกมาได้จำนวน 3 แบบด้วยกัน ซึ่งวิธีการเหล่านี้ได้รับการยอมรับเป็นวิธีมาตรฐานในการทดสอบความทนทานของตัวอุปกรณ์ต่อการถ่ายเทประจุ นอกจากนี้ยังเป็นเครื่องมือที่ทำให้เราสร้างความเสียหายให้กับตัวอุปกรณ์เพื่อการศึกษาอีกด้วย

2.2.1 แบบจำลองเชิงร่างกายมนุษย์ (Human Body Model)

แบบจำลองนี้เป็นการพยายามเลียนแบบผลที่เกิดขึ้นจากการถ่ายเทประจุจากผู้ปฏิบัติการไปสู่ตัวอุปกรณ์ เกิดขึ้นเมื่อผู้ปฏิบัติงานเดินผ่านพื้นซึ่งอาจจะปูพรมทำให้เกิดการสะสมประจุขึ้นบนตัวของผู้ปฏิบัติการ จากนั้นสัมผัสกับตัวอุปกรณ์ที่ไวต่อ ESD ทำให้เกิดการถ่ายประจุออกจากร่างกาย หรือเสื้อผ้าเครื่องแต่งตัวของผู้ปฏิบัติงานไปสู่ตัวอุปกรณ์และทำให้เกิดความเสียหาย



รูปที่ 2.4 (a) คนถ่ายเทประจุไปยังตัววัสดุ (b) วงจรสมมูลที่ใช้ทดลอง
การถ่ายเทประจุในแบบจำลองเชิงร่างกายมนุษย์

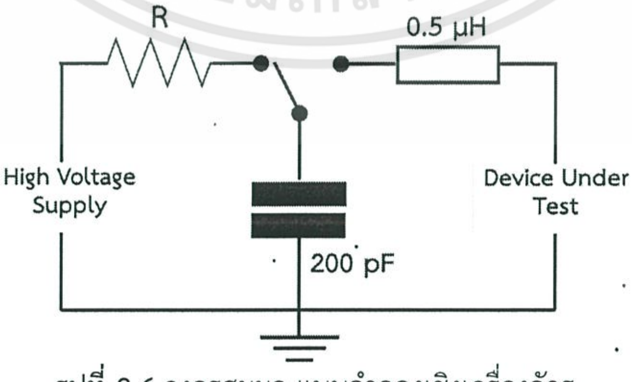


รูปที่ 2.5 ลักษณะกระแสที่ไหลของ HBM ที่ V = 2 kV, R = 1.5 kΩ, C = 100 pF

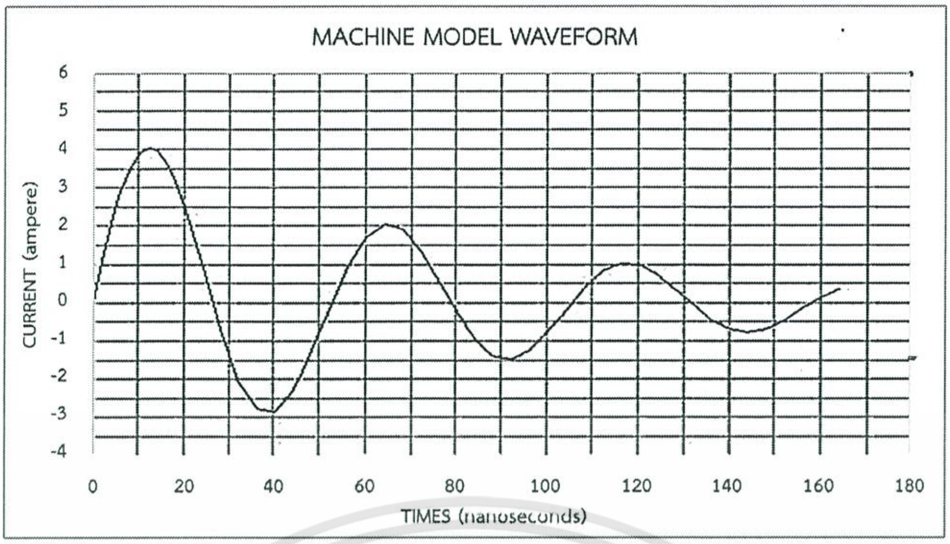
แบบจำลองเชิงร่ายกายมนุษย์สามารถเขียนเป็นวงจรสมมูลได้โดยจะเป็นการวิเคราะห์การถ่ายเทประจุจากตัวบุคคลไปยังตัววัสดุ ตามรูป 2.5 ในแบบจำลองเชิงรางกายมนุษย์นั้นจะมีค่าความจุที่ 100 pF และผ่านตัวต้านทานขนาด 1.5 kΩ และเข้าไปยังตัววัสดุที่ทดลอง (Device under test)

2.2.2 แบบจำลองเชิงเครื่องจักร (Machine Model)

การถ่ายเทประจุที่คล้ายๆกับการถ่ายประจุจากตัวผู้ปฏิบัติการสู่ตัวอุปกรณ์สามารถเกิดขึ้นได้จากเครื่องจักรด้วย (คือเกิดการถ่ายประจุจากเครื่องจักรสู่ตัวอุปกรณ์) เราสามารถจำลองการเกิดปรากฏการณ์นี้ได้ด้วยวงจรที่ประกอบด้วยตัวเก็บประจุขนาด 200 pF ซึ่งจะคายประจุสู่ตัวอุปกรณ์โดยตรงและไม่ผ่านความต้านทานไฟฟ้าใดๆ แสดงวงจรทดสอบการคายประจุสำหรับ Machine Model



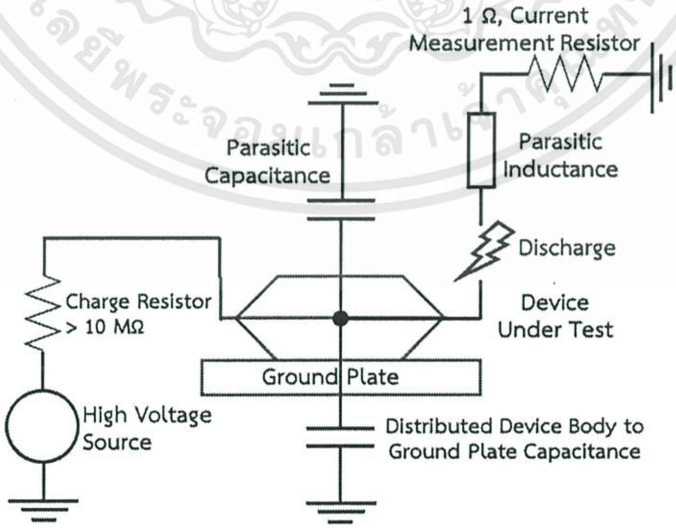
รูปที่ 2.6 วงจรสมมูล แบบจำลองเชิงเครื่องจักร



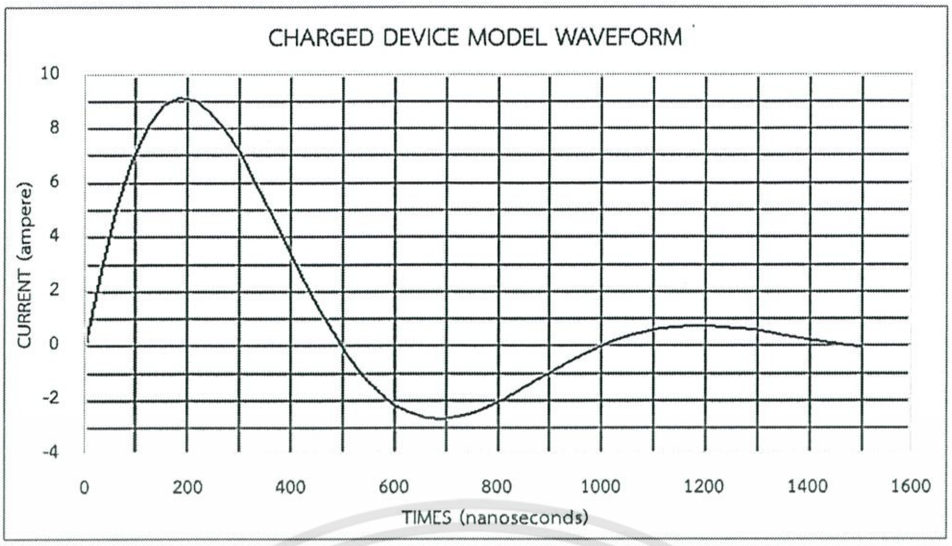
รูปที่ 2.7 ลักษณะกระแสที่ไหลของ MM ที่ V = 200 V, R = 0 Ω, C = 200 pF

2.2.3 แบบจำลองเชิงอุปกรณ์ถูกชาร์จ (Charged Device Model)

ในบางครั้งความเสียหายที่เกิดกับตัวอุปกรณ์ที่ไวต่อ ESD อาจจะมาจากการถ่ายเทประจุจากตัวอุปกรณ์ไปสู่วัตถุอื่นๆภายนอกก็ได้ ตัวอย่างเช่น เมื่อเราเลื่อนตัวอุปกรณ์อาจจะทำให้เกิดการถ่ายเทประจุทำให้ตัวอุปกรณ์เสียสภาพความเป็นกลางทางไฟฟ้า จากนั้นตัวอุปกรณ์อาจจะสัมผัสกับวัตถุอื่น เช่น อุปกรณ์ที่ใช้จับให้เข้าที่ (Insertion Head) หรือตัวนำไฟฟ้าอย่างอื่นก็อาจเกิดการถ่ายเทประจุอย่างรวดเร็วจากตัวอุปกรณ์ไปสู่วัตถุอื่น การเกิดเหตุการณ์เช่นนี้เรียกว่า "Charged Device Model" และจะมีความรุนแรง สร้างความเสียหายได้มากกว่า HBM เพราะถึงแม้ว่าช่วงเวลาของการถ่ายเทประจุจะสั้นมาก (อาจจะสั้นเพียง 1 ns) แต่กระแสสูงสุดที่เกิดขึ้นจะมีค่าสูงถึงหลายสิบแอมแปร์



รูปที่ 2.8 วงจรสมมูลของการถ่ายเทประจุเชิงอุปกรณ์ถูกชาร์จ



รูปที่ 2.9 ลักษณะกระแสที่ไหลของ CDM ที่ V = 1 kV, R = variable, C = variable

2.3 สนามไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงตามเวลาและสมการของแมกเวลล์

การเกิดคลื่นแทรกสอดทางสนามแม่เหล็กไฟฟ้าจากการคายประจุไฟฟ้าสถิตรวมถึงการสร้างวงจรรับและสายอากาศนั้นมีหลักการทำงานที่สามารถพิจารณาได้จากหลักการเกิดสนามไฟฟ้าหรือสนามแม่เหล็กที่เปลี่ยนแปลงตามเวลาดังกฎต่อไปนี้

2.3.1 สนามไฟฟ้าและแม่เหล็กที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา

การทดลองของเออร์สเตดในปีค.ศ.1831 พบว่ากระแสสม่ำเสมอจะก่อให้เกิดสนามแม่เหล็กหลังจากนั้นไมเคิลฟาราเดย์และโจเซฟเฮนรีได้ค้นพบว่าสนามแม่เหล็กเปลี่ยนตามเวลาจะก่อให้เกิดกระแสไฟฟ้าจากกฎของฟาราเดย์กล่าวไว้ว่าเมื่อการเคลื่อนที่ของขดลวดใดๆในสนามแม่เหล็กทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าในขดลวดนั้นได้ซึ่งการเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็กตามเวลาย่อมทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้า (Emf., Volts[v])

$$\mathrm{emf} = -\frac{d\emptyset}{dt}\,[\mathrm{v}] \tag{2.2}$$

โดย $\frac{d\emptyset}{dt}$ คือ การเปลี่ยนแปลงของฟลักซ์สนามแม่เหล็กตามเวลา

$\emptyset$ คือ เส้นสนามแม่เหล็กที่ล้อมรอบ (linking)

แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจะสร้างสนามแม่เหล็กใหม่ที่มีทิศทางตรงข้ามกับสนามแม่เหล็กเดิมทำให้สนามแม่เหล็กในวงจรลดลงซึ่งจะทำให้แรงเคลื่อนไฟฟ้าลดลงตามกฎของเลนซ์ (Lenz’s Law) และจากทฤษฎีของสะโตค (Stoke’s Theorem) จะได้ว่า

$$(\vec{\nabla} \times \vec{E}) \cdot d\vec{S} = -\frac{d\vec{B}}{dt} \cdot d\vec{S} \tag{2.3}$$

โดย $\bar{E}$ คือ สนามไฟฟ้า

$d\bar{S}$ คือ ส่วนของพื้นที่ที่ล้อมรอบสนามแม่เหล็กไฟฟ้า

$\frac{d\bar{B}}{dt}$ คือ การเปลี่ยนแปลงสนามแม่เหล็กตามเวลา

ได้สมการแมกเวลล์คือ

$$(\vec{\nabla} \times \vec{E}) = -\frac{\mathrm{d}\vec{B}}{\mathrm{dt}} \tag{2.4}$$

สำหรับสนามแม่เหล็ก $\vec{B}$ ที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา จะเห็นว่าพจน์ทางซ้ายมือไม่เท่ากับ $\vec{0}$ สนามแม่เหล็ก $\vec{B}$ ที่เปลี่ยนแปลงตามเวลาทำให้เกิดสนามไฟฟ้า $\vec{E}$ ที่มีทางเดินแบบวงปิด

$$\vec{\nabla} \times \vec{E} = 0 \tag{2.5}$$

สมการแมกเวลล์ของสนามไฟฟ้าสถิต

$$\int \vec{E} \cdot \overrightarrow{dl} = 0 \tag{2.6}$$

2.3.2 กระแสการกระจัด (Displacement Current)

กระแสการกระจัด (Displacement Current) คือ กระแสที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นของเส้นแรงไฟฟ้าจากกฎของแอมแปร์ในรูปอนุพันธ์

$$\vec{\nabla} \times \vec{H} = \vec{J} \tag{2.7}$$

โดย $\vec{H}$ คือ ความเข้มสนามแม่เหล็ก

$\vec{J}$ คือ ความหนาแน่นของกระแส

เพื่อหาค่าความสัมพันธ์กับสนามแม่เหล็กที่เปลี่ยนแปลงตามเวลาโดยใช้ไดเวอร์เจนซ์

$$\vec{\nabla} \cdot (\vec{\nabla} \times \vec{H}) = \vec{\nabla} \cdot \vec{J} = 0 \tag{2.8}$$

ค่าพจน์ทางซ้ายมือจะเทียบเท่ากับศูนย์ (ไดเวอร์เจนซ์ของเคิร์ลของเวกเตอร์ใดๆจะมีค่าเท่ากับศูนย์เสมอ) จากสมการความต่อเนื่อง (Continuity equation) ของกระแส

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{J} = -\frac{\partial \rho_v}{\partial \mathrm{t}} \neq 0 \tag{2.9}$$

โดย $\frac{\partial \rho_v}{\partial t}$ คือ การเปลี่ยนแปลงของความหนาแน่นประจุไฟฟ้าตามเวลา

ในกรณีที่สนามเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาแมกเวลล์ได้ท่าการดัดแปลงกฎของแอมแปร์โดยการเพิ่มพจน์ $\overrightarrow{J_d}$ ลงไปในสมการที่ 2.9 ได้ว่า

$$\vec{\nabla} \times \vec{H} = \vec{J} + \overrightarrow{J_d} \tag{2.10}$$

ซึ่ง $\overrightarrow{J_d} = \frac{d\vec{D}}{dt}$ เท่ากับความหนาแน่นของกระแสกระจัด (เป็นความหนาแน่นของกระแสการพา) ดังนั้นจำนวนกระแสกระจัดที่ไหลผ่านผิวสามารถหาได้จาก

$$I_d = \int \overrightarrow{J_d} \cdot d\vec{S} = \int \frac{\partial}{\partial t}\vec{D} \cdot d\vec{S} \tag{2.11}$$

จากสมการที่ 2.11 เป็นการย้ำว่ากระแสการกระจัดเป็นผลมาจากสนามไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงตามเวลาจากกฎของแอมแปร์ – แมกเวลล์

2.4 สายอากาศ

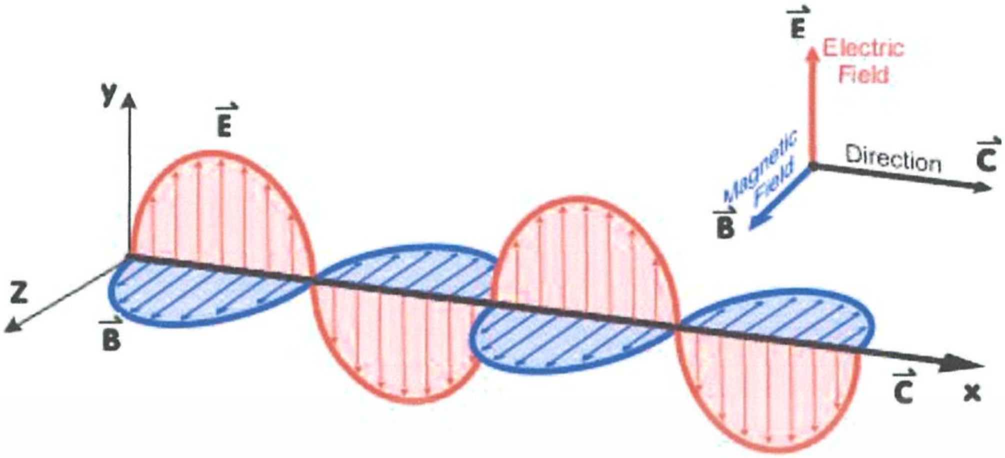
สายอากาศคือตัวนำโลหะซึ่งมักจะเป็นแบบใดแบบหนึ่งของความยาวลวดหรือท่อกลวงตัวนำที่จะใช้สำหรับสายอากาศจะต้องให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านตัวนำนั้นได้สายอากาศของเครื่องส่งกระแสไฟฟ้าจะสร้างคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าคลื่นนี้จะประกอบไปด้วยสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กซึ่งเคลื่อนที่ไปในอากาศจากสายอากาศสายอากาศของเครื่องรับคลื่นวิทยุจะเหนี่ยวนำให้เกิดกระแสไฟฟ้าในสายอากาศซึ่งกระแสไฟฟ้านี้จะเป็นสัญญาณเข้าของเครื่องรับซึ่งเครื่องส่งและเครื่องรับนี้ต่างก็ต้องมีสายอากาศเช่นเดียวกันแต่ทำหน้าที่ต่างกันเช่น ตัวอย่างวิทยุความถี่ประชาชนต่างก็ใช้สายอากาศสำหรับรับ – ส่งเหมือนกันสายนำสัญญาณจะต่อกับสายอากาศภายในสายนำสัญญาณจะประกอบด้วยตัวนำลวดคู่วางในช่องว่างระหว่างกันคงที่หน้าที่ของสายนำสัญญาณคือการนำกระแสไฟฟ้าโดยปราศจากการแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

2.4.1 คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

สายอากาศคือตัวนำซึ่งออกแบบมาเพื่อแผ่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าหรือรับการแผ่กระจายที่อยู่ในอากาศหรืออวกาศสายอากาศที่ถูกสร้างขึ้นจะมีมากมายหลายขนาดและหลายรูปร่างเพื่อรองรับการใช้งานแบบต่างๆ

เมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านสายอากาศจะมีความสัมพันธ์กับสนามแม่เหล็กซึ่งอยู่รอบๆ ตัวเมื่อความเข้มของสนามแม่เหล็กเปลี่ยนหรือสนามแม่เหล็กเคลื่อนที่จะทำให้เกิดการเหนี่ยวนำแรงดันไฟฟ้าขึ้นซึ่งแรงดันไฟฟ้านี้จะสัมพันธ์กับสนามไฟฟ้าผลลัพธ์ของทั้งสองสนามนี้คือ “คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า”

คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าประกอบไปด้วยฟลักซ์แม่เหล็กและเส้นแรงไฟฟ้าสนามทั้ง 2 มีความสำคัญมากกว่าตัวนำการเปลี่ยนแปลงต่างๆของสนามแม่เหล็กจะมีผลต่อการสร้างสนามไฟฟ้าเช่นกันการเปลี่ยนแปลงต่างๆของสนามไฟฟ้าจะมีผลต่อการสร้างสนามแม่เหล็ก



รูปที่ 2.10 ส่วนประกอบของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าและการแพร่ขยายในอากาศ

สนามไฟฟ้าใช้สัญลักษณ์ $\vec{E}$ สนามแม่เหล็กใช้สัญลักษณ์ $\vec{B}$ ทั้ง 2 สนามเปลี่ยนแปลงตามความแรงในขณะที่เคลื่อนที่ไปในทิศทางของการแพร่ขยายของพลังงาน ($\vec{c}$) จากรูปที่ 2.10 ลูกศรในสามมิติสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กจะตั้งฉากซึ่งกันและกัน และทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่นรูปแบบของสนามไฟฟ้า และสนามแม่เหล็กจะทำให้เกิดการแพร่ขยายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าไหลไปในอากาศพลังงานการเคลื่อนที่ของคลื่นคือการแบ่งเท่าๆ กันระหว่างองค์ประกอบของไฟฟ้าและแม่เหล็ก

2.4.2 ความถี่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

โดยทั่วไปคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าคือรูปแบบของการแผ่ซึ่งส่งพลังงานออกไปในอากาศ การแผ่ของแสง , การแผ่ความร้อนรังสีเอกซ์และคลื่นวิทยุเหล่านี้เป็นตัวอย่างของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่แพร่ขยายไปในอากาศกับความเร็วของแสงมีสัญลักษณ์ $\vec{c}$ ความเร็วคือ $\vec{c}$ = 300,000,000 เมตร/วินาที = 3×10^8 เมตร/วินาที

ความเร็วนี้จะพิจารณาในอวกาศหรือสุญญากาศจะมีค่าเท่ากันในคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ความถี่ของความเข้มของสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กจะเป็นความถี่ของการแปรผันในสายอากาศกระแสไฟฟ้าซึ่งจะสร้างคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าหรือกล่าวง่ายๆว่าความถี่ของสนามคือความถี่ของแหล่งกำเนิดซึ่งทำให้เกิดสนามนั้นและความยาวคลื่น (λ), ความถี่ (f), และความเร็วของแสง $\vec{c}$ มีความสัมพันธ์กันดังนี้

$$v = f\lambda \tag{2.11}$$

นั่นหมายความว่า ยิ่งถ้า ความถี่สูงมากขึ้นจะมีความยาวคลื่นจะมีค่าลดน้อยลง

2.5 สายอากาศรับสัญญาณได้อย่างไร

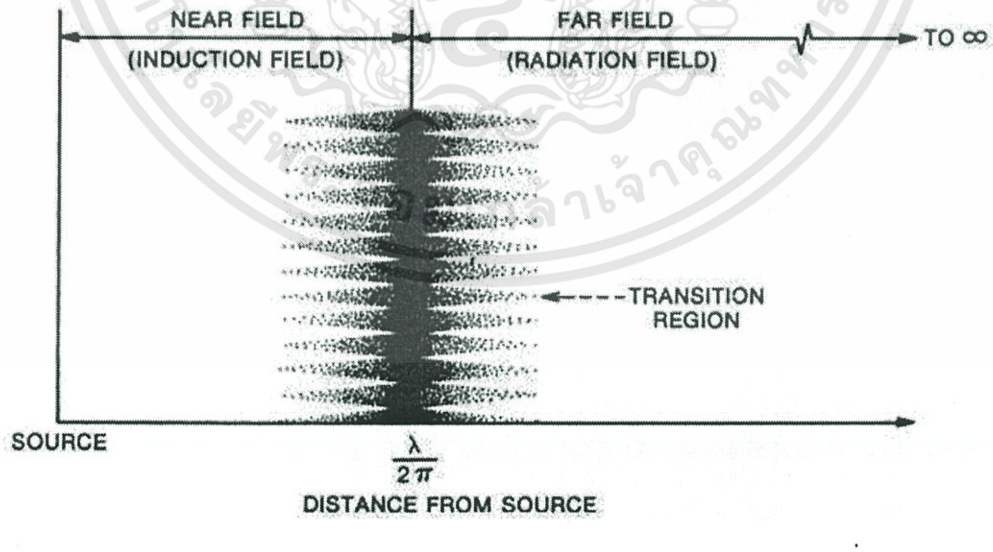
สนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่แผ่กระจายจะทำให้เกิดเหนี่ยวนำแรงดันปริมาณน้อยๆที่สายอากาศโดยทั่วไปเป็นไมโครโวลต์ขนาด 1 ถึง 5 มิลลิโวลต์หรือ 1,000 ถึง 5,000 ไมโครโวลต์เป็นสัญญาณสายอากาศที่ดีสนามแม่เหล็กไฟฟ้าจะเหนี่ยวนำให้เกิดสัญญาณในสายอากาศเครื่องรับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจะแพร่ขยายต่อเนื่องไปในอากาศปริมาณของพลังงานถูกดึงโดยสายอากาศเครื่องรับแต่มีปริมาณน้อยในทางปฏิบัติไม่มีผลกระทบจากสนามเครื่องรับในพื้นที่รอบๆ

2.6 คุณสมบัติของสายอากาศ (Antenna Characteristics)

การเลือกชนิดของสายอากาศต่างๆเพื่อใช้งานกับความถี่ใช้งานโดยต้องเลือกความถี่ที่สูงกว่า, ตัวนำสายอากาศที่มีความยาวพอเหมาะสายอากาศเรโซแนนซ์จะมีความยาวเฉพาะเจาะจงสำหรับความถี่ใช้งานโดยเฉพาะแถบความถี่สูงมาก (VHF) 30 ถึง 300 MHz จะใช้สายอากาศครึ่งคลื่น (Half-wave) โดยทั่วๆไปสายอากาศที่มีความยาวมากจะมีพลังงานมากที่จะแผ่กระจายสำหรับรับสัญญาณความยาวเรโซแนนซ์สายอากาศอย่างไรก็ตามก็ต้องใช้งานอย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุด

2.7 สนามระยะใกล้และสนามระยะไกล (Near Field and Far Field)

คุณลักษณะของสนามหาได้จากระยะทางระหว่างแหล่งกำเนิด (เสาอากาศ) กับจุดสังเกต โดยที่จุดใกล้กับแหล่งกำเนิดนั้นคุณสมบัติของสนามหาได้จากคุณลักษณะของแหล่งกำเนิด ส่วนจุดที่อยู่ไกลออกมาจากแหล่งกำเนิดคุณสมบัติของสนามจะขึ้นอยู่กับตัวกลางที่ผ่าน ดังนั้นบริเวณที่ล้อมรอบเสาอากาศจะแบ่งออกเป็นสองส่วนดังรูป



รูปที่ 2.11 บริเวณที่ล้อมรอบสายอากาศแบ่งออกเป็นสองส่วนคือสนามใกล้และสนามไกล ส่วนการเปลี่ยนแปลงจากสนามใกล้ไปยังสนามไกล เกิดขึ้นที่ระยะ $\frac{\lambda}{2\pi}$

จากรูปที่ 2.11 จะเห็นได้ว่าระยะทางที่น้อยกว่า $\frac{\lambda}{2\pi}$ เป็นสนามใกล้ ส่วนระยะที่มากกว่า $\frac{\lambda}{2\pi}$ เป็นสนามไกล ส่วนบริเวณรอบจุด $\frac{\lambda}{2\pi}$ คือการเปลี่ยนแปลงจากสนามใกล้ ไปเป็นสนามไกล

อัตราส่วนของสนามไฟฟ้ากับสนามแม่เหล็กคือ อิมพีแดนซ์ของคลื่น ซึ่งในสนามไกลอัตราส่วนนี้จะเท่ากับอิมพีแดนซ์ ของตัวกลางเช่น $\frac{E}{H} = Z_0 = 377\Omega$(ในอากาศ หรือสุญญากาศ) ในสนามใกล้อัตราส่วนหาได้จาก คุณลักษณะของสายอากาศกับระยะทางของสายอากาศไปยังจุดสังเกต ซึ่งถ้าสายอากาศมีกระแสสูงและแรงดันต่ำ [$\frac{E}{H} < 377\Omega$] สนามใกล้จะมีสนามแม่เหล็กมากกว่า แต่ถ้าสายอากาศมีกระแสต่ำ แรงดันสูง [$\frac{E}{H} > 377\Omega$] สนามใกล้จะมีสนามไฟฟ้ามากกว่า ซึ่งในระยะสนามใกล้ สนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กซึ่งเป็นองค์ประกอบของคลื่นสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่ยังไม่สามารถรวมตัวกันอย่างสมบูรณ์มีพลังงานสูงและในการตรวจจับคลื่นสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กจึงเหมาะสมอย่างยิ่ง

บทที่ 3

การออกแบบและการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

ชุดสาธิตการคายประจุไฟฟ้าสถิตในที่นี้ เป็นการตรวจจับสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กที่เกิดจากการคายประจุไฟฟ้าสถิต และแสดงค่าสูงสุดของแรงดันไฟฟ้าออกมาทางเซเว่นเซกเมนต์ โดยหลักๆ สามารถแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ

1. เสาอากาศ (Antenna)
2. การตรวจจับค่าสูงสุดของแรงดันไฟฟ้า (Hold peak detector)
3. การประมวลผลและแสดงผล (Processor and display)

รูปที่ 3.1 ภาพรวมของ ESD Detector

3.1 การออกแบบ

จากการศึกษาพบว่าผลของการคายประจุไฟฟ้าสถิต จะทำให้เกิดสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า (EMI) ดังนั้นจึงมีการนำเอาหลักการนี้มาตรวจจับสัญญาณโดยผ่านเสาอากาศเข้าสู่วงจรตรวจจับค่าสูงสุด ประมวลผลและแสดงผลต่อไป

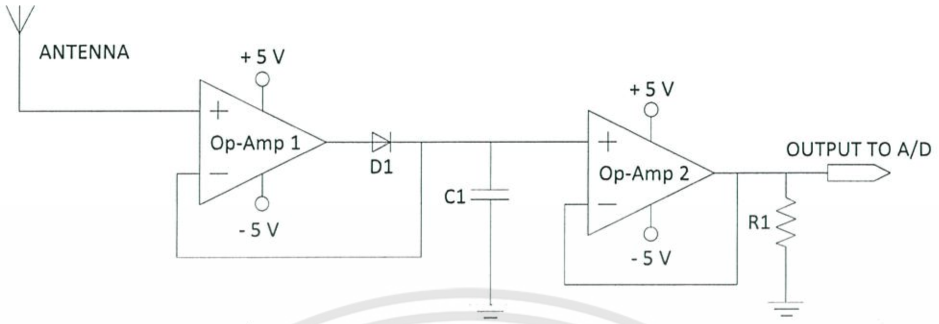
3.1.1 เสาอากาศ (Antenna)

เสาอากาศเป็นอุปกรณ์สำหรับรับและส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า และในทางกลับกันก็เปลี่ยนคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นพลังงานไฟฟ้าเช่นกัน โดยในโครงงานนี้ เลือกใช้เสาอากาศ RA795 สามารถรับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าได้หลายช่วงความถี่ (wide band) ซึ่งเหมาะสมกับโครงงานนี้ เนื่องจากการศึกษาพบว่าคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่กำเนิดขึ้นจากแหล่งกำเนิดการคายประจุไฟฟ้าสถิตแต่ละแหล่งนั้นมีความถี่ที่แตกต่างกัน

รูปที่ 3.2 เสาอากาศรุ่น RA795 สามารถรับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความถี่ 70MHz - 1000MHz

3.1.2 การตรวจจับค่าสูงสุดของแรงดันไฟฟ้า (Hold peak detector)

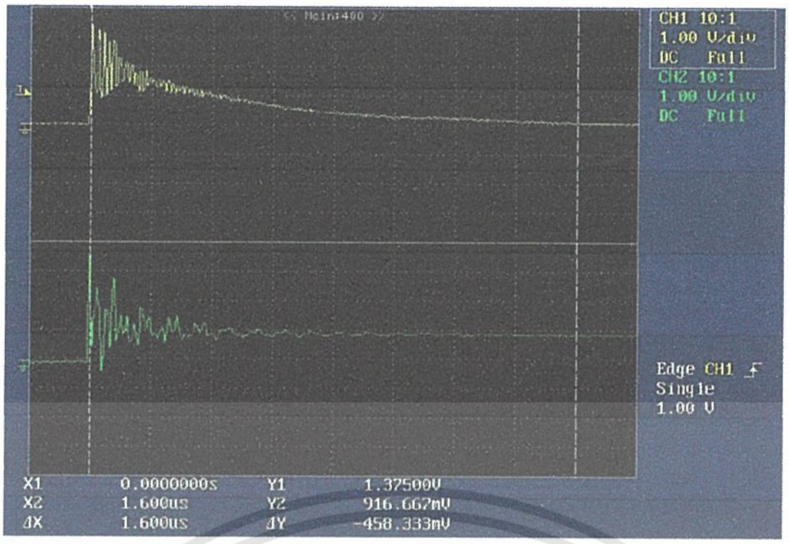
วงจรตรวจจับค่าสูงสุดของสัญญาณแรงดันไฟฟ้า และค้างค่าแรงดันไว้ให้นานพอที่ส่วนประมวลสามารถแปลงค่าแรงดันสูงสุดเป็นดิจิตอล (Digital) ได้ทัน หรือประมาณ 1.6 μs



รูปที่ 3.3 วงจรตรวจจับค่าสูงสุดของแรงดันไฟฟ้า

หลักการทำงานของวงจร ออปแอมป์ตัวที่ 1 ทำหน้าที่เป็นบัพเฟอร์ (Buffer) โดยต่อไดโอด D1 เข้าไปที่ขา 6 เพื่อบังคับให้จ่ายแรงดันบวกเท่านั้น และไม่ยอมให้กระแสไฟฟ้าจากตัวเก็บประจุไหลย้อนกลับมายังออปแอมป์ ดังนั้นในส่วนนี้แรงดันไฟฟ้าจะมีค่าเป็น 0 ถึง V_p ของสัญญาณแรงดันที่ได้จากเสาอากาศ และแรงดันไฟฟ้าในส่วนนี้จะชาร์จตัวเก็บประจุให้มีแรงดันไฟฟ้าที่เท่ากับค่าสูงสุดของสัญญาณแรงดันไฟฟ้า และต่อออปแอมป์ตัวที่ 2 เป็นบัพเฟอร์ (Buffer) เพื่อไม่ให้ตัวเก็บประจุดิสชาร์จมาทางเอาท์พุทได้ จึงทำให้สามารถคงค่าแรงดันไฟฟ้าสูงสุดไว้ได้นานพอที่ส่วนประมวลผลจะแปลงค่าแรงดันสูงสุดเป็นดิจิตอล (Digital) ได้ทัน

ธรรมชาติของการคายประจุไฟฟ้าสถิตสามารถอธิบายได้พอสังเขปดังนี้ การคายประจุไฟฟ้าสถิตหรือการปรากฏการณ์การคายประจุของไฟฟ้าสถิตเกิดจากการถ่ายเทของประจุเกิดเป็นกระแสไฟฟ้าชนิดฉับพลัน และชั่วขณะที่ไหลระหว่างวัตถุสองชนิดที่มีคุณสมบัติในการนำไฟฟ้าที่แตกต่างกัน ทั้งแบบที่เกิดจากการสัมผัสกันโดยตรงหรือเกิดจากการเหนี่ยวนำกันของสนามไฟฟ้าสถิตที่แผ่ออกมาจากการไหลของกระแสไฟฟ้าสถิต ในการทดลองที่กระทำโดยการใช้ปืน ESD เป็นแหล่งกำเนิด ESD โดยเลือกหัวคายประจุชนิดปลายแหลมยิงเข้าสู่แผ่นตัวนำมาตรฐานต่อกราวด์ลงพื้นดิน ขณะที่อิเล็กตรอนเคลื่อนที่จากบริเวณจุดที่ยิงไปยังบริเวณที่ต่อกราวด์ลงพื้นดินจะเกิดการปล่อยสัญญาณ EMI ไปพร้อมกัน โดยจะเปรียบเสมือนกับการเคลื่อนที่ของการไหลของกระแสไฟฟ้าซึ่งจะเกิดสนามแม่เหล็กขึ้นไหลวนโดยรอบเมื่อมีการไหลของกระแสไฟฟ้า และเสาอากาศจะมีหน้าที่จับสัญญาณ EMI ที่ถูกส่งผ่านมาทางอากาศ แล้วแปลงสัญญาณนั้นให้เป็นสัญญาณแรงดันไฟฟ้า ทำให้ออปแอมป์ทำงานชาร์จประจุไฟฟ้าให้ตัวเก็บประจุ ให้คงแรงดันไฟฟ้าสูงสุดไว้เพื่อรอให้ส่วนประมวลผลแปลงค่าเป็นดิจิตอลได้ทัน

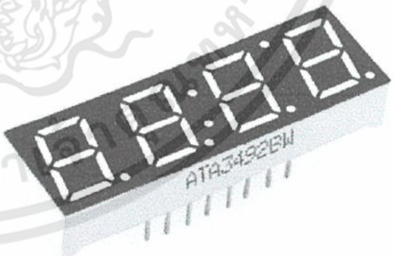


รูปที่ 3.4 กราฟแรงดันไฟฟ้าจากเสาอากาศ (เส้นสีเหลือง)
และแรงดันไฟฟ้าจากวงจรตรวจจับค่าสูงสุด (เส้นสีเขียว)

3.1.3 การประมวลผลและแสดงผล (Processor and display)

ส่วนประมวลผลจะทำการแปลงค่าอนาล็อก (Analog) เป็นดิจิตอล (Digital) หรือที่เรียกว่า อนาล็อกทูดิจิตอลคอนเวอร์เตอร์ (Analog to digital converter) เพื่ออ่านค่าแรงดันไฟฟ้าที่สูงสุดที่ค้างไว้ในวงจรตรวจจับแรงดันไฟฟ้าสูงสุด และแสดงค่ารับมาเป็นเซเว่นเซกเมนต์ 4หลักต่อไป โดยในโครงงานนี้เลือกใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ชนิด PIC16F887 ทั้งนี้เพราะมีความเร็วในการทำงานเร็วเพียงพอสำหรับการแปลงค่าอนาล็อกเป็นดิจิตอล เป็นตัวมาตรฐานสามารถหาซื้อได้ง่าย

รูปที่ 3.5 ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F887



รูปที่ 3.6 เซเว่นเซกเมนต์ 4 หลัก

ในส่วนประมวลผล หรือไมโครคอนโทรลเลอร์นั้น มีหน้าที่ต่างๆ ดังนี้

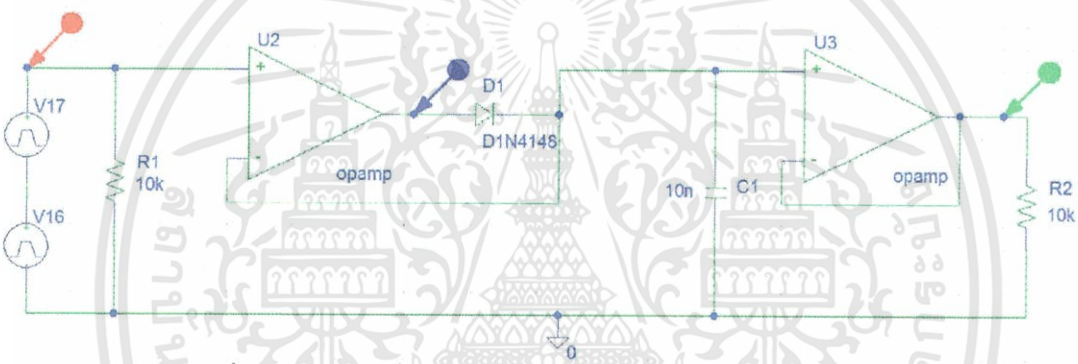
1. รับสัญญาณแรงไฟฟ้า จากวงจรตรวจจับแรงดันไฟฟ้าสูงสุด (Hold peak detector)
2. เปรียบเทียบค่าที่รับมากับค่าที่กำหนดตามเกณฑ์ที่ตั้งไว้
3. และแสดงผลออกมาเป็นหน้าจอเซเว่นเซกเมนต์ 4 หลัก

พอร์ตของบอร์ดของไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้งานในโครงงานนี้

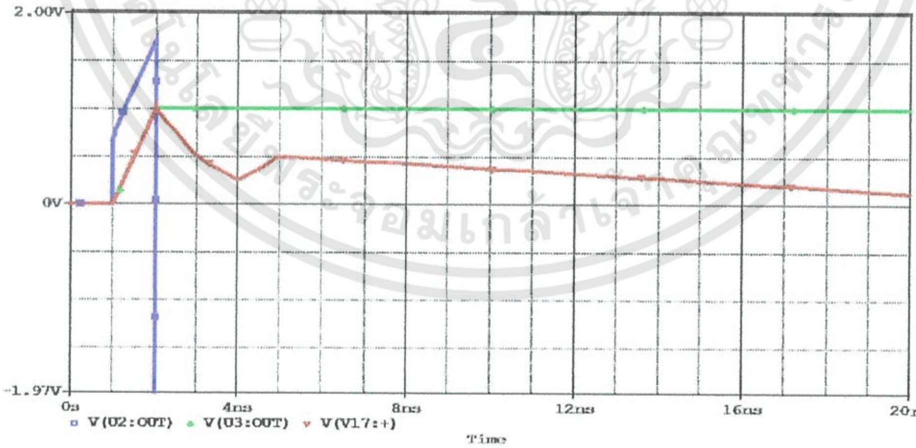
- A/D พอร์ตใช้ต่ออินพุทเพื่อรับสัญญาณแรงดันอนาล็อกทางด้านขาออกจากวงจรภาครับเพื่อแปลงเป็นสัญญาณดิจิตอลส่งไปให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ประมวลผล
- I/O พอร์ตใช้เป็นพอร์ตอินพุตรับสัญญาณเพื่อปรับระดับเกณฑ์ที่ใช้ในการเปรียบเทียบค่าและพอร์ตเอาท์พุตใช้แสดงผลค่าแรงดันสูงสุดของสัญญาณ (เซเว่นเซกเมนต์ 4 หลัก)

3.2 การจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

การจำลองผลจากโปรแกรม OrcadPspice โดยจำลองการป้อนสัญญาณแรงดันที่มีลักษณะคล้ายกับการเกิดผลจากการคายประจุไฟฟ้าสถิต เข้าสู่วงจรและจำลองผลการทดสอบวงจรเมื่อเปลี่ยนแรงดันไฟฟ้าที่เวลาขาขึ้น (Rise time) และระดับแรงดันต่างๆ ซึ่งแสดงกราฟแรงดันอินพุตที่ป้อนแก่วงจร และแรงดันเอาต์พุตที่ได้จากวงจร



รูปที่ 3.7 รูปวงจรที่ใช้ในการจำลอง ในโปรแกรม OrcadPspice



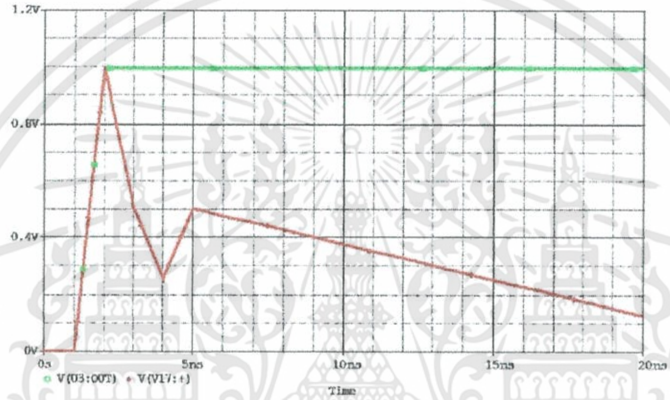
รูปที่ 3.8 ผลจากการจำลอง ในโปรแกรม OrcadPspice

ผลจากการจำลองในโปรแกรม OrcadPspice โดยป้อนสัญญาณที่ลักษณะคล้ายรูปคลื่นฟ้าผ่า ซึ่งเป็นเป็นลักษณะของการเกิดการคายประจุไฟฟ้าสถิต (กราฟเส้นสีแดง) ออปแอมป์ U2 จะเปรียบแรงดันที่ตัวเก็บประจุและสัญญาณขาเข้า โดยถ้าแรงดันของสัญญาณขาเข้ามากกว่าที่แรงดันที่ตัวเก็บประจุ จะให้แรงดันบวก (กราฟเส้นสีน้ำเงิน) ผ่านไดโอดไปชาร์จตัวเก็บประจุให้มี

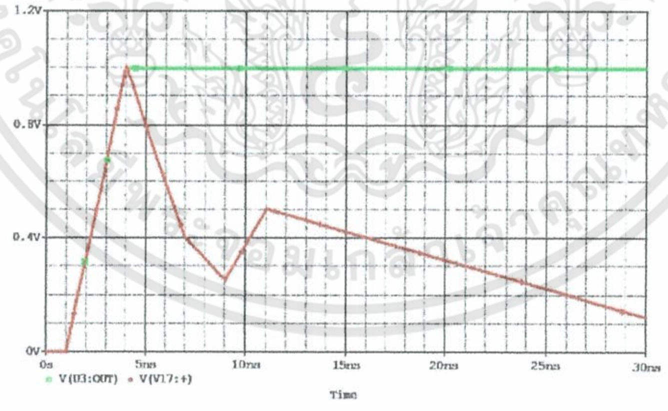
แรงดันสูงขึ้น และถ้าแรงดันของสัญญาณขาเข้าน้อยกว่าที่แรงดันที่ตัวเก็บประจุจะให้แรงดันลบ (กราฟเส้นสีน้ำเงิน) ทำให้รีเวิร์สไบอัสไดโอด ตัวเก็บประจุจึงไม่ถูกชาร์จ ระดับแรงดันจึงเท่าเดิมในช่วงนี้ โดยระดับแรงดันขาออกของวงจรตรวจจับค่าสูงสุด (กราฟเส้นสีเขียว) จะเท่ากับค่ายอดของสัญญาณขาเข้า

3.2.1 การจำลองตรวจจับสัญญาณที่มีลักษณะคล้าย ESD

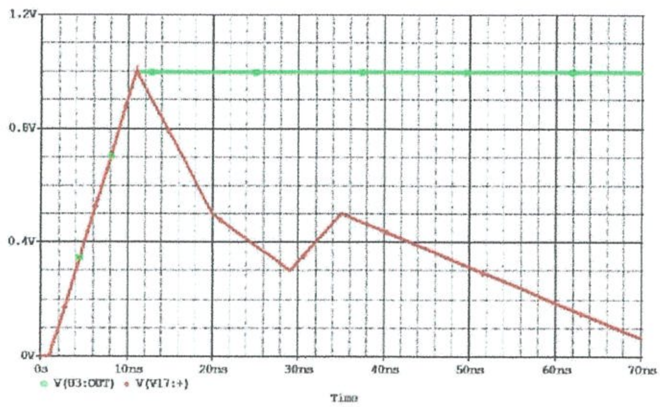
ลักษณะของสัญญาณแรงดันที่มีลักษณะคล้ายกับการเกิดผลจากการคายประจุป้อน โดยมีเวลาขาขึ้น (Rise time) 1ns, 3ns และ 10ns และปรับระดับแรงดันสูงสุดตั้งแต่ 0.3, 0.5, 0.7 และ 1 โวลต์ ซึ่งผลการจำลองที่ได้เป็นดังนี้



รูปที่ 3.9 ผลการจำลองเมื่อป้อนสัญญาณที่มีเวลาขาขึ้น (t_r) 1 ns ระดับแรงดันสูงสุด 1 โวลต์



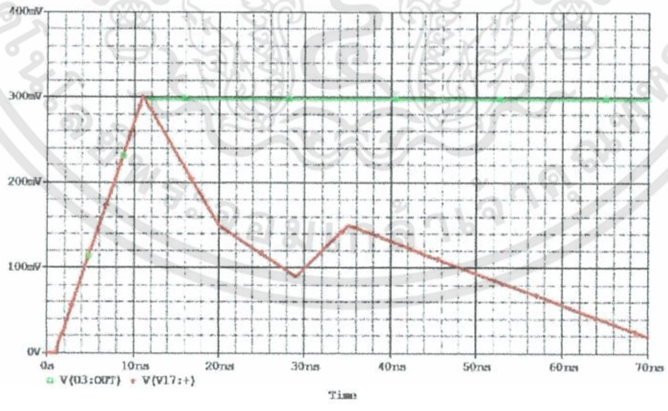
รูปที่ 3.10 ผลการจำลองเมื่อป้อนสัญญาณที่มีเวลาขาขึ้น (t_r) 3 ns ระดับแรงดันสูงสุด 1 โวลต์



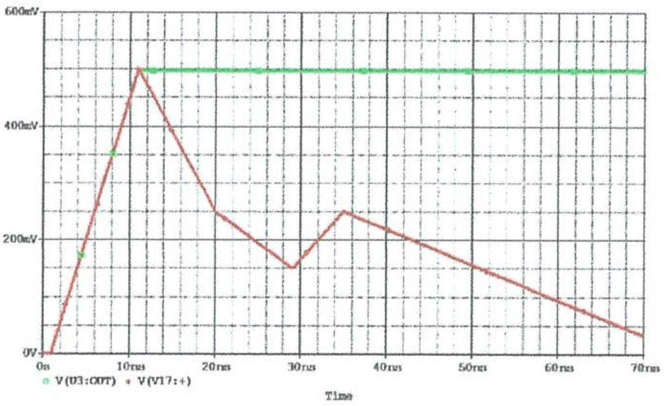
รูปที่ 3.11 ผลการจำลองเมื่อป้อนสัญญาณที่มีเวลาขาขึ้น (t_r) 10 ns ระดับแรงดันสูงสุด 1 โวลต์

จากผลการจำลองดังรูปที่ 3.9, 3.10 และ 3.11 ได้ทำการจำลองป้อนสัญญาณที่ลักษณะคล้ายรูปคลื่นฟ้าผ่า ซึ่งเป็นเป็นลักษณะของการเกิดการคายประจุไฟฟ้าสถิต โดยมีเวลาขาขึ้น (Rise time) 1 ns, 3 ns และ 10 ns จะสังเกตได้ว่าวงจรตรวจจับค่าสูงสุดของแรงดันไฟฟ้าสามารถตรวจจับค่าสูงสุดของสัญญาณได้ โดยค่าที่จับได้นั้นจะค้างค่าไว้ (เส้นสีเขียวในรูปด้านบน) รอให้ไมโครคอนโทรลเลอร์อ่านค่าต่อไป ซึ่งระดับแรงดันที่ตรวจจับนั้นจะมีน้อยกว่าค่ายอดของสัญญาณขาเข้าเล็กน้อย เนื่องความกว้างของยอดคลื่นนั้นแคบ ตัวเก็บประจุจึงตอบสนองไม่ทัน แต่คลาดเคลื่อนอยู่ในช่วงที่รับได้ ประมาณ 0.1%

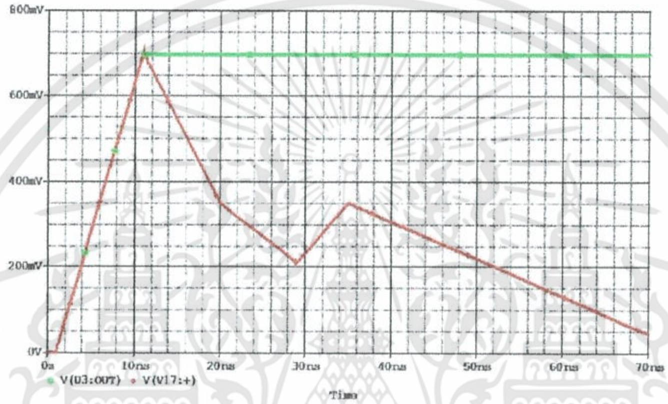
ผลจากการจำลอง เมื่อป้อนสัญญาณที่มีเวลาขาขึ้นคงที่ที่ 10 ns ระดับแรงดันสูงสุด 0.3, 0.5, 0.7 และ 1 โวลต์



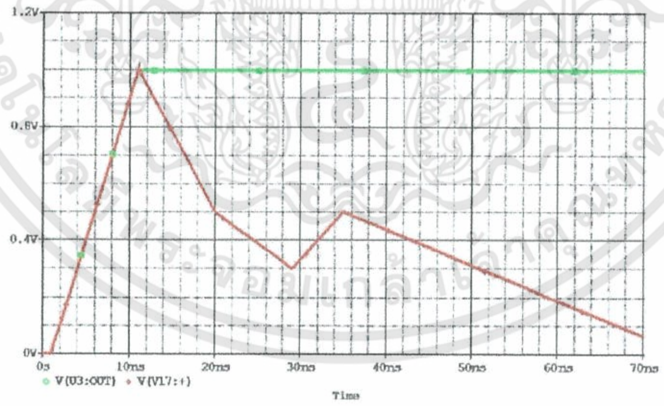
รูปที่ 3.12 ผลการจำลองเมื่อป้อนสัญญาณที่มีเวลาขาขึ้น (t_r) 10 ns ระดับแรงดันสูงสุด 0.3 โวลต์



รูปที่ 3.13 ผลการจำลองเมื่อป้อนสัญญาณที่มีเวลาขาขึ้น (t_r) 10 ns ระดับแรงดันสูงสุด 0.5 โวลต์



รูปที่ 3.14 ผลการจำลองเมื่อป้อนสัญญาณที่มีเวลาขาขึ้น (t_r) 10 ns ระดับแรงดันสูงสุด 0.7 โวลต์



รูปที่ 3.15 ผลการจำลองเมื่อป้อนสัญญาณที่มีเวลาขาขึ้น (t_r) 10 ns ระดับแรงดันสูงสุด 1 โวลต์

จากผลการทดลองดังรูปที่ 3.12 - 3.15 เป็นการทดลองป้อนสัญญาณที่มีลักษณะคล้ายคลื่นฟ้าผ่า (กราฟเส้นสีแดง) ที่มีเวลาขาขึ้น (Rise time) คงที่ที่ 10 ns และที่ระดับแรงดันสูงสุดแตกต่างกัน 0.3, 0.5, 0.7 และ 1 โวลต์ ผลที่ได้คือวงจรตรวจจับค่าสูงสุดของแรงดันสามารถทำได้ถูกต้อง และคงระดับแรงดันสูงสุดไว้ได้เท่ากับค่ายอดของสัญญาณขาเข้า (กราฟเส้นสีเขียว)

สรุปผลการจำลอง

จากการจำลองพบว่าในการออกแบบวงจรดังกล่าว สามารถทำงานได้อย่างถูกต้อง เมื่อป้อนสัญญาณขาเข้าที่มีลักษณะคล้ายคลื่นฟ้าผ่า ซึ่งเป็นลักษณะเดียวกับการคายประจุไฟฟ้าสถิต โดยที่มีเวลาขาขึ้นของสัญญาณ (Rise time) ตั้งแต่ 0.7 ns ขึ้นไป และเมื่อเปลี่ยนระดับแรงดันสูงสุดของสัญญาณขาเข้า วงจรตรวจจับค่าสูงสุดก็ยังคงทำงานได้อย่างถูกต้อง แต่อย่างไรก็ตามในการออกแบบวงจรที่ใช้งานจริง ต้องควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์ให้อ่านค่าให้ถูกต้อง เพราะในบางครั้งสิ่งที่วงจรตรวจจับค่าสูงสุดตรวจจับไม่ใช่สัญญาณจากการคายประไฟฟ้าสถิต โดยการเปรียบเทียบสัญญาณขาเข้ากับค่าแรงดันค่าหนึ่ง ซึ่งเป็นแรงดันที่มากกว่าสัญญาณรบกวนอื่นๆที่เข้ามาในวงจร เพื่อไม่ให้ไมโครคอนโทรลเลอร์อ่านค่า และแสดงค่าที่ไม่ใช่สัญญาณที่ได้จากการคายประจุไฟฟ้าสถิต

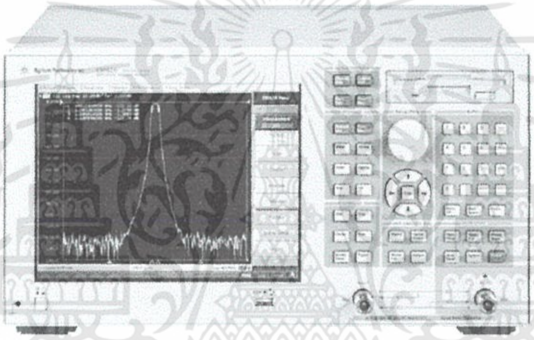
บทที่ 4

ผลการทดลอง

จากการออกแบบวงจรจำลองและการจำลองผลด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์จะทราบลักษณะของสัญญาณที่ได้จากการสร้างสมมติฐานขึ้นมา ซึ่งไม่ได้เป็นผลของค่าที่สูญเสียผ่านทางอากาศก่อนเข้าสู่เสาอากาศ รวมทั้งความสามารถในการรับสัญญาณของเสาอากาศที่มีข้อจำกัดอีกด้วย ซึ่งจากเหตุผลที่กล่าวมานั้นจึงได้มีการทดสอบหาย่านความถี่ในการรับสัญญาณของเสาอากาศ และค่าสัญญาณแรงดันที่เสาอากาศรับได้จริงจากแหล่งกำเนิดแรงดันมาตรฐานเพื่อนำมาวิเคราะห์ต่อไป

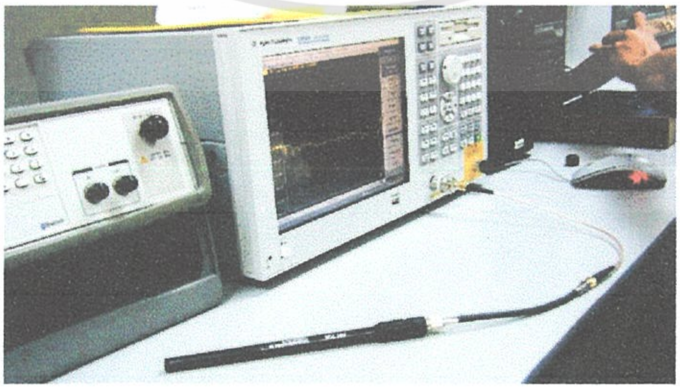
4.1 การทดลองช่วงแบนด์วิดธ์การทำงานของวงจรทดสอบ

4.1.1 เครื่องเน็ตเวิร์ค อนาไลเซอร์



รูปที่ 4.1 เครื่องเน็ตเวิร์ค อนาไลเซอร์ ที่ระดับความถี่วิทยุ ยี่ห้อ Agilent รุ่น E5062A ENA-L

ในการทดลองรับสัญญาณจากเสาอากาศเข้าเครื่องเน็ตเวิร์ค อนาไลเซอร์ ที่ระดับความถี่วิทยุ ยี่ห้อ Agilent รุ่น E5062A ENA-L ซึ่งเป็นเครื่องวัดพื้นฐานที่ใช้ในการวัด S-พารามิเตอร์ คุณสมบัติง่ายต่อการใช้งานและผลการดำเนินงานมีประสิทธิภาพด้วยเทคโนโลยีสุดทันสมัย โดยจะทำการวัดความถี่ในช่วง 300kHz - 3GHz โดยจะทำการต่อเสาอากาศที่จะใช้ในวงจรทดลองเข้ากับเครื่องเน็ตเวิร์ค อนาไลเซอร์ ผ่านขั้วต่อ (connector) และสายนำสัญญาณ



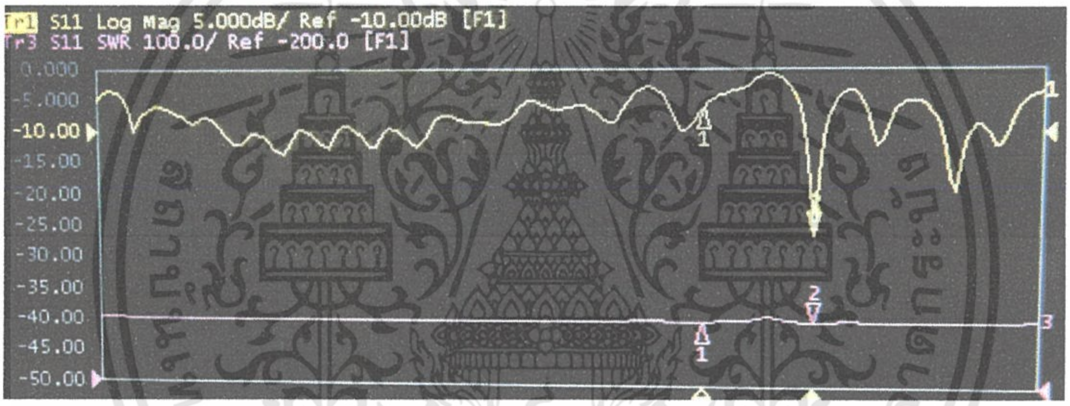
รูปที่ 4.2 ต่อเสาอากาศผ่านขั้วต่อและสายนำสัญญาณเข้ากับเครื่องเน็ตเวิร์ค อนาไลเซอร์

4.1.2 การทดสอบเสารับสัญญาณ

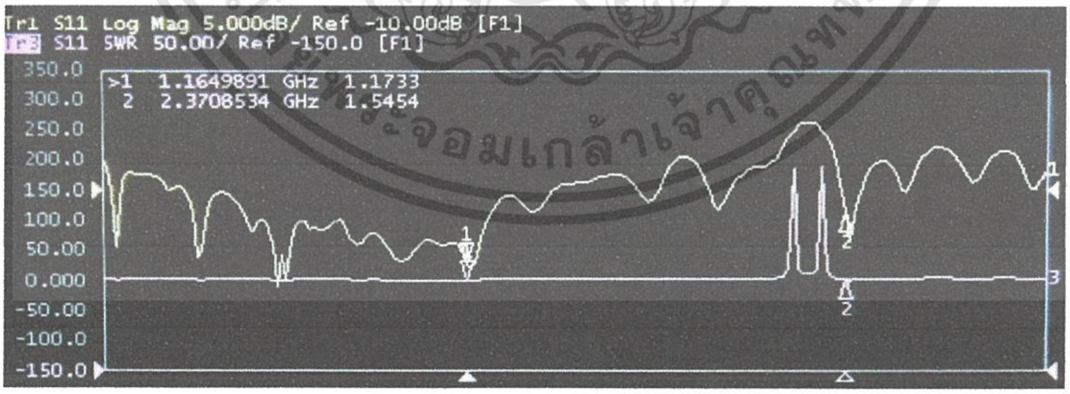
หลังจากติดตั้งอุปกรณ์ จะทำการตั้งค่าเพื่อหาช่วงที่สัญญาณแรงที่สุดในช่วงแบนด์วิดธ์ (bandwidth) โดยทำการสังเกตหาช่วงความถี่ใดๆ ที่มีขนาดสัญญาณ (หน่วย dB) ของเสาอากาศใกล้เคียงกับขนาดสัญญาณของสายนำสัญญาณที่นำใช้อ้างอิงมากที่สุด โดยจะสังเกตจากค่า SWR และความใกล้เคียงกันของขนาดสัญญาณทั้งสองที่นำมาเปรียบเทียบกัน

ค่า SWR ที่เป็นอัตราส่วนค่าสูญเสียจากกำลังที่เข้ามาและส่งออกไป ซึ่งเกิดจากสัญญาณคลื่นความถี่วิทยุมีการสะท้อนกลับมายังสายนำสัญญาณ โดยค่า SWR ที่ดีหรือมีสัญญาณแรงที่สุดจะต้องมีค่าเข้าใกล้ 1 ถ้าค่า SWR มากจะหมายถึงสัญญาณนั้นมีการสะท้อนของคลื่นความถี่วิทยุมาก ซึ่งเป็นผลให้เกิดการรบกวนในสายนำสัญญาณของระบบ

โดยมีค่า SWR เข้าใกล้ 1 (สัญญาณเสาอากาศใกล้เคียงสัญญาณอ้างอิง) หลายค่าความถี่ได้แก่ 71.3 MHz, 155.7 MHz, 326.0MHz, 1.16GHz, 2.33GHz และ 2.37GHz



ช่วงความถี่ 100MHz - 3 GHz



ช่วงความถี่ 5MHz - 3 GHz

รูปที่ 4.3 ผลการทดลองรับสัญญาณจากเสาอากาศเข้าเครื่องเน็ตเวิร์ค อนาไลเซอร์
เส้นสีเหลือง – ขนาดสัญญาณของเสาอากาศ, เส้นสีม่วง - ขนาดสัญญาณอ้างอิง(สายนำสัญญาณ)

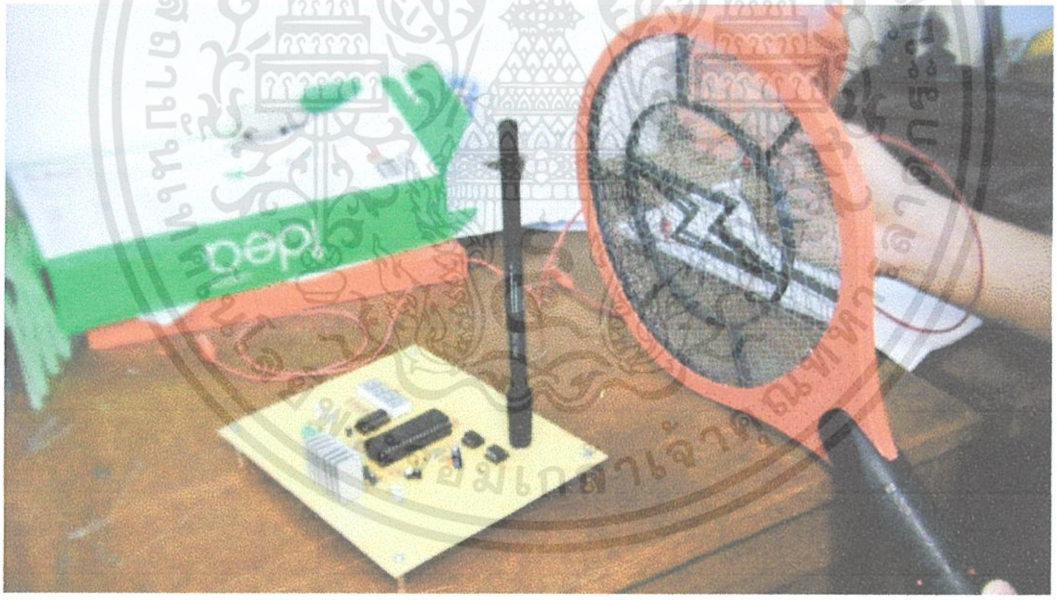
สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองพบว่าสัญญาณของเสาอากาศที่ทำการเปรียบเทียบกับสัญญาณของสายนำสัญญาณ มีย่านความถี่ส่งออกมาทุกย่าน แต่มีช่วงที่สัญญาณมีความแรงมากที่สุดอยู่ในช่วง 70MHz - 1.5GHz และในช่วง 2.3GHz - 2.4GHz

4.2 การทดสอบวงจรตรวจจับค่าสูงสุดจากแหล่งกำเนิดประจุไฟฟ้าสถิตสะสม

4.2.1 ขั้นตอนทำการทดสอบ

1. นำอุปกรณ์แหล่งกำเนิดไฟฟ้าสถิตสะสมชาร์จประจุไฟฟ้าให้เต็ม
2. ทำการวางวงจรตรวจจับค่าสูงสุดในตำแหน่งห่างจากแหล่งกำเนิดไฟฟ้าสถิตสะสมตามระยะที่กำหนดไว้
3. กดปุ่มให้แหล่งกำเนิดไฟฟ้าสถิตสะสมชาร์จประจุไฟฟ้าให้มีค่าศักย์ไฟฟ้าที่สูงขึ้น
4. นำสายตัวนำไฟฟ้าไปสัมผัสที่เส้นลวดของแหล่งกำเนิดไฟฟ้าสถิตสะสมที่มีการชาร์จประจุจนมีศักย์ไฟฟ้าสูง จะเกิดการคายประจุไฟฟ้าขึ้น
5. การคายประจุไฟฟ้านั้นจะเกิดสัญญาณคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าส่งเข้าสู่วงจรตรวจจับค่าสูงสุดเพื่อวัดค่ายอดแรงดันออกมา



รูปที่ 4.4 การทดสอบรับสัญญาณของวงจรตรวจจับค่าสูงสุดของแรงดันไฟฟ้าจากแหล่งกำเนิดประจุไฟฟ้าสถิตสะสมที่เกิดการลัดวงจรลงดินเนื่องจากประจุที่สะสมอยู่

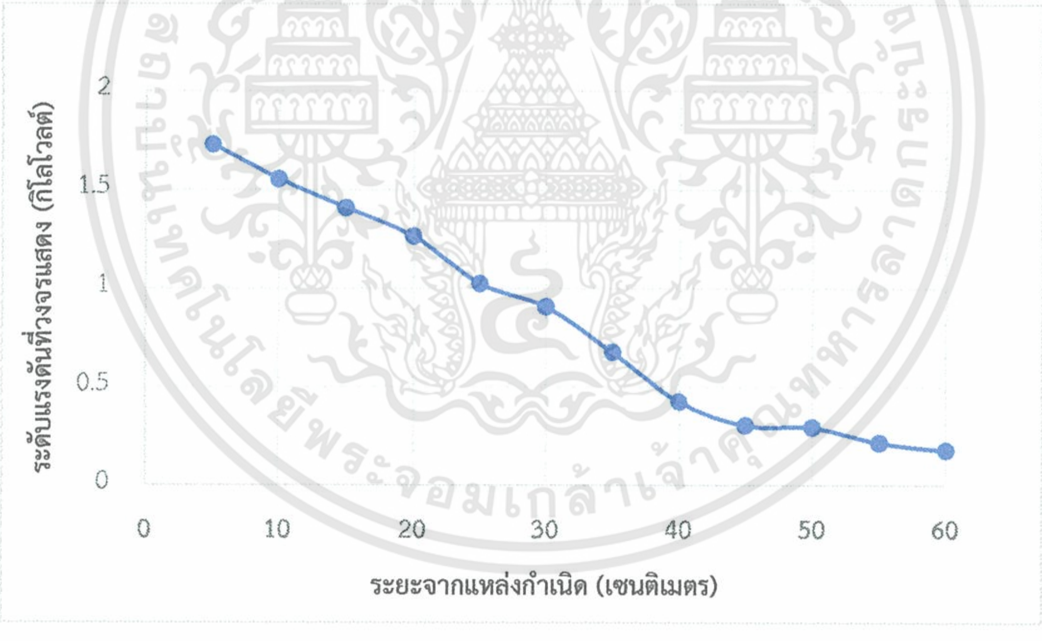
4.2.2 ผลการทดสอบที่ระยะต่างๆ ของวงจรตรวจจับค่าสูงสุด

การทดสอบจะทำการวางวงจรตรวจจับค่าสูงสุดของแรงดันไฟฟ้าในตำแหน่งที่อยู่ห่างจากแหล่งกำเนิดประจุไฟฟ้าสถิตสะสมในระยะ 5 ถึง 60 เซนติเมตร เนื่องจากแหล่งกำเนิดไฟฟ้าสถิตที่ใช้นี้มีค่าศักย์ไฟฟ้าสะสมสูงทำให้ส่งสัญญาณได้ไกลและตรวจจับค่าแรงดันได้ดี

ตารางที่ 4.1 การทดสอบรับสัญญาณของวงจรตรวจจับค่าสูงสุดของแรงดันไฟฟ้าจากแหล่งกำเนิดประจุไฟฟ้าสถิตสะสมที่เกิดการลัดวงจรลงดินเนื่องจากประจุที่สะสมอยู่

ระยะจากแหล่งกำเนิด (เซนติเมตร)	5	10	15	20	25	30
ระดับแรงดันที่วงจรแสดง (โวลต์)	1.730	1.554	1.408	1.264	1.024	0.906

ระยะจากแหล่งกำเนิด (เซนติเมตร)	35	40	45	50	55	60
ระดับแรงดันที่วงจรแสดง (โวลต์)	0.676	0.424	0.304	0.294	0.216	0.178



รูปที่ 4.5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างจากแหล่งกำเนิดประจุไฟฟ้าสถิตสะสมที่เกิดการลัดวงจรลงดิน และระดับแรงดันที่วงจรตรวจจับค่าแรงดันสูงสุดแสดง

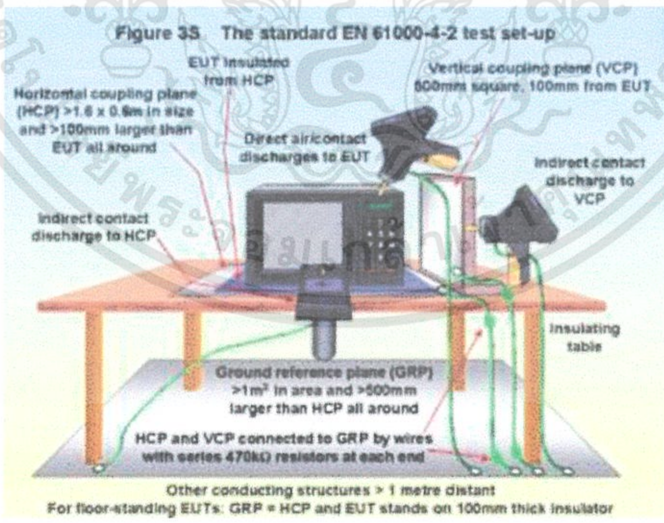
การทดสอบจะพบว่าวงจรตรวจจับค่าสูงสุดที่ออกแบบสามารถตรวจจับสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า (EMI) ของการคายประจุไฟฟ้าสถิต โดยการจำลองการเกิด ESD ที่เกิดการลัดวงจรลงดินเนื่องจากประจุที่สะสมอยู่ โดยใช้แหล่งกำเนิดประจุไฟฟ้าสถิตสะสมทำการทดสอบ ซึ่ง

สามารถตรวจจับค่าแรงดันได้มากกว่าเมื่ออยู่ในระยะใกล้ เนื่องจากสัญญาณแม่เหล็กไฟฟ้าที่สูญเสียไปในอากาศมีค่าน้อยกว่า โดยระยะที่ยังตรวจจับได้ดีอยู่ในช่วงระยะไม่เกิน 60 เซนติเมตรซึ่งอยู่ในช่วงสนามไฟฟ้าใกล้ (Near Field) หรือช่วงที่สัญญาณที่ปล่อยออกมายังไม่เกิดการรวมตัวกันระหว่างสนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้าทำให้สามารถตรวจจับค่าแรงดันได้ดี ซึ่งช่วงสนามไฟฟ้าใกล้จะมีระยะทางขึ้นกับแรงดันของการคายประจุไฟฟ้าสถิตด้วย ดังนั้นเราจึงสามารถคาดคะเนถึงตำแหน่งการตรวจจับสัญญาณได้อย่างมีขอบเขตที่ชัดเจนมากขึ้น ส่งผลให้การตรวจจับทำได้อย่างแม่นยำมากยิ่งขึ้นไป

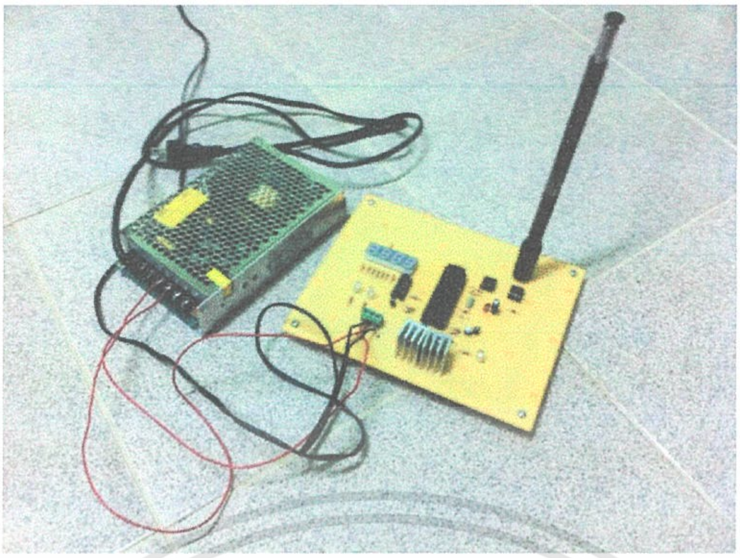
4.3 การทดสอบวงจรตรวจจับค่าสูงสุดจากเครื่องกำเนิด ESD

4.3.1 เครื่องกำเนิด ESD

ในการทดลองอุปกรณ์ตรวจจับค่าสูงสุดที่ทำการออกแบบ ใช้วิธีสร้างการคายประจุไฟฟ้าสถิตชุดทดสอบของภูมิคุ้มกันการปลดปล่อยไฟฟ้าสถิต ตามมาตรฐาน IEC61000-4-2 (1995) ของศูนย์ทดสอบผลิตภัณฑ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ (PTEC) เป็นเครื่องกำเนิด ESD จำลอง โดยการยิงปืน ESD แบบสัมผัสใส่แผ่นตัวนำขนาด 50x50 ตารางเซนติเมตรเพื่อให้เกิดการคายประจุ และให้วงจรตรวจจับค่าแรงดันสูงสุดแบบ Indirectcontact discharge ทำให้วงจรได้รับผลตอบสนองจากการคายประจุผ่านทางสัญญาณคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าทางอากาศ และวัดค่าแรงดันที่ได้เปรียบเทียบกับแรงดันที่ถูกตั้งค่าของปืน ESD โดยที่ปืน ESD สามารถตั้งระดับแรงดันได้ตั้งแต่ 0.2 – 15 กิโลโวลต์ และกำหนดความต่อเนื่องของการคายประจุไฟฟ้าได้ด้วย



รูปที่ 4.6 การติดตั้งอุปกรณ์ทดสอบ การคายประจุไฟฟ้าสถิตตามมาตรฐาน EN 61000-4-2

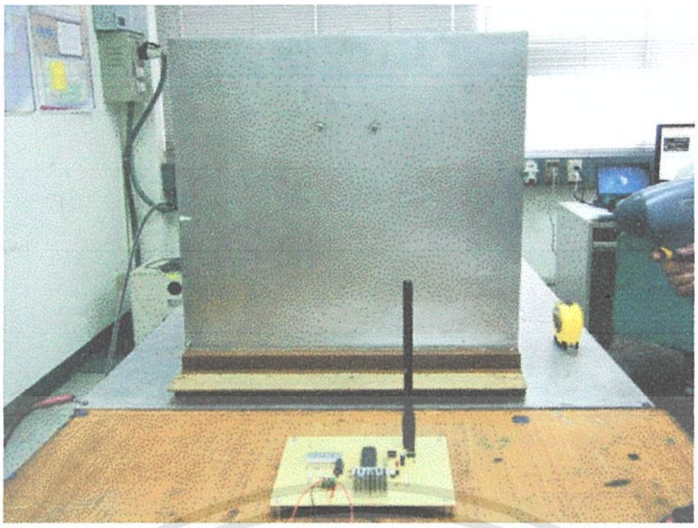


รูปที่ 4.7 วงจรตรวจจับค่าสูงสุดของแรงดันไฟฟ้า

4.3.2 ขั้นตอนทำการทดสอบ

1. ติดตั้งแผ่นตัวนำขนาด 50x50 ตารางเซนติเมตรต่อกราวด์ลงพื้นดิน และติดตั้งระบบของปืน ESD ตามมาตรฐาน IEC 61000-4-2 (1995)
2. นำวงจรตรวจจับค่าสูงสุดมาวางห่างจากจุดที่เกิดการคายประจุไฟฟ้าสถิตในระยะที่ต้องการทดสอบ
3. ติดตั้งวงจรตรวจจับสูงสุดให้ทำงาน โดยจะทำการรีเซ็ตทุกครั้งหลังจากอ่านค่าที่แสดงผลบนเซเว่นเซกเมนต์แล้ว เพื่อเตรียมรับสัญญาณแม่เหล็กไฟฟ้าที่เข้ามา
4. ตรวจจับค่าที่ได้จากการกำหนดค่าระดับแรงดันของปืน ESD แล้วนำปลายปืนสัมผัสกับแผ่นตัวนำขนาด 50x50 ตารางเซนติเมตรต่อกราวด์ลงพื้นดินในบริเวณขอบของแผ่นตัวนำเพื่อทำให้เกิดการคายประจุ
5. วัดผลการทดสอบจากการยิงปืน ESD ที่ติดตั้งแล้ว โดยปรับค่าแรงดันในการยิงให้สูงขึ้น และทำการเพิ่มระยะห่างจากแผ่นตัวนำให้ไกลขึ้น
6. บันทึกค่าแรงดันที่อุปกรณ์ตรวจจับค่าสูงสุดวัดได้ในระยะต่างๆ

การทดลองรับสัญญาณแม่เหล็กไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิด ESD (ปืน ESD) ผ่านเสาอากาศเข้าสู่วงจรตรวจจับค่าสูงสุด โดยเสาอากาศสามารถรับสัญญาณความถี่ในช่วง 70MHz - 1,000MHz โดยในการทดลองนั้นเครื่องกำเนิด ESD (ปืน ESD) จะสร้างสัญญาณแรงดันด้วยความถี่ 5 Hz ยิงปืนให้ปลายสัมผัสกับขอบแผ่นตัวนำที่ต่อกราวด์ลงพื้นดินเพื่อให้เกิดการคายประจุ และจะเกิดสัญญาณ EMI ขึ้นผ่านเข้าสู่เสาอากาศ



รูปที่ 4.8 การทดสอบวงจรตรวจจับค่าสูงสุดที่ระยะ 15 เซนติเมตร

รูปที่ 4.9 เครื่องกำเนิด ESD (ปืน ESD) ที่ PTEC

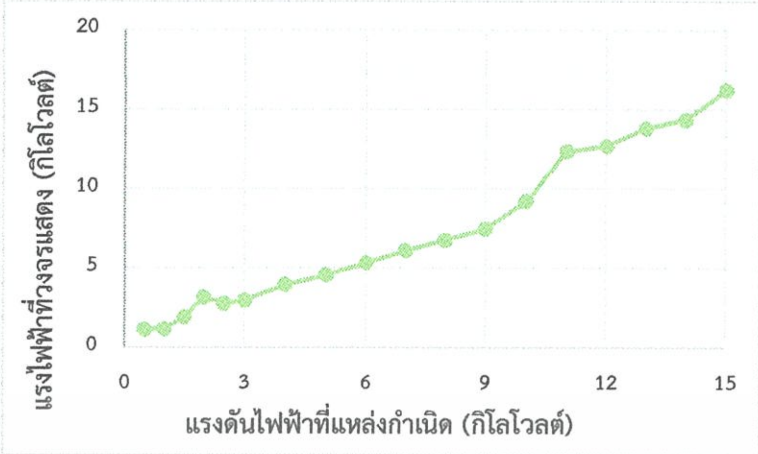
4.3.3 ผลค่าแรงดันที่ได้จากการทดสอบปืน ESD ในระยะต่างๆ

การทดลองรับสัญญาณแม่เหล็กไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิด ESD (ปืน ESD) โดยตรงเข้าที่วงจรตรวจจับค่าสูงสุดแล้ววัดที่ระยะต่างๆ พร้อมเปลี่ยนค่าแรงดันที่เครื่องกำเนิด ESD (ปืน ESD) ของ PTEC เพื่อดูระดับแรงดันที่วงจรตรวจจับค่าสูงสุดแสดง

ตารางที่ 4.2 การทดลองรับสัญญาณจากเครื่องกำเนิด ESD (ปืน ESD) เพื่อดูระดับแรงดันที่วงจรตรวจจับค่าสูงสุดแสดง

แรงดันที่เครื่องกำเนิด (กิโลโวลต์)	ค่าแรงดันที่เซเว่นเซกเมนต์แสดง (กิโลโวลต์)				
	เสาอากาศยาว 45 ซม.			เสาอากาศยาว 130 ซม.	
	ระยะห่าง 5 ซม.	ระยะห่าง 10 ซม.	ระยะห่าง 20 ซม.	ระยะห่าง 5 ซม.	ระยะห่าง 10 ซม.
0.5	1.34	1.12	0.00	0.68	0.84
1	1.89	1.16	0.00	1.22	1.53
1.5	2.38	1.91	0.00	1.78	2.13
2	4.11	3.18	0.00	2.11	2.63
2.5	3.06	2.78	0.00	2.58	2.90
3	2.55	2.98	0.00	2.86	5.10
4	3.13	3.97	0.00	3.51	3.81
5	4.26	4.56	0.00	6.13	4.17
6	5.01	5.33	0.00	4.92	4.46
7	4.67	6.10	0.00	6.01	5.23
8	5.13	6.77	0.00	7.17	6.01
9	6.64	7.48	7.83	8.23	6.55
10	8.02	9.21	8.39	9.44	7.61
11	15.12	12.35	8.95	11.39	8.67
12	14.36	12.69	9.51	12.64	11.19
13	16.39	13.82	16.23	13.81	14.87
14	17.89	14.34	19.59	15.04	15.37
15	18.61	16.21	22.94	16.67	17.25

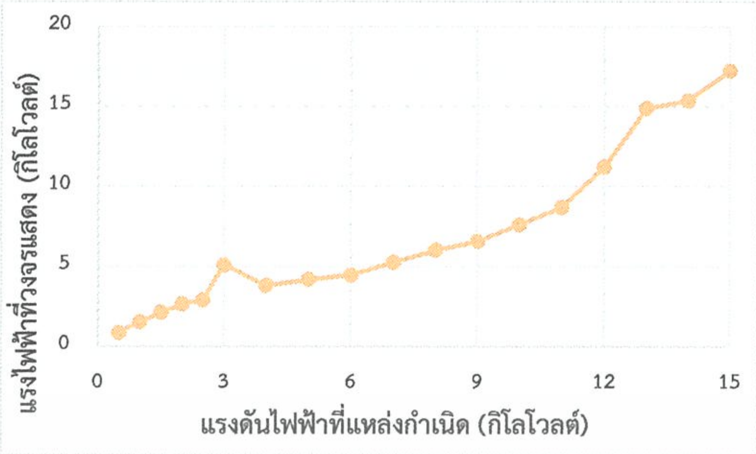
รูปที่ 4.10 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันที่เครื่องกำเนิด ESD และระดับแรงดันที่วงจรแสดงที่เสาอากาศสูง 45 เซนติเมตร ห่างจากเครื่องกำเนิดเป็นระยะทาง 5 เซนติเมตร



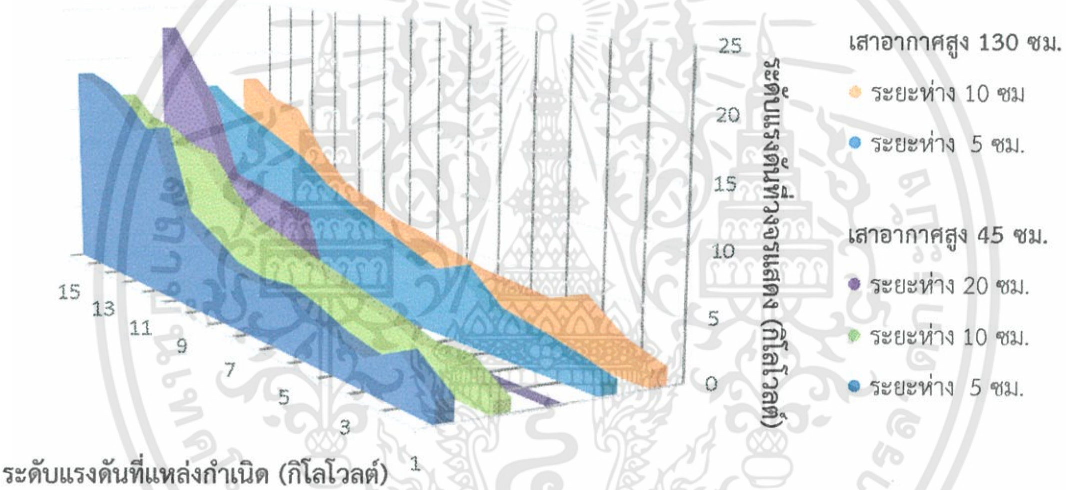
รูปที่ 4.11 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันที่เครื่องกำเนิด ESD และระดับแรงดันที่วงจรแสดง ที่เสาอากาศสูง 45 เซนติเมตร ห่างจากเครื่องกำเนิดเป็นระยะทาง 10 เซนติเมตร

รูปที่ 4.12 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันที่เครื่องกำเนิด ESD และระดับแรงดันที่วงจรแสดง ที่เสาอากาศสูง 45 เซนติเมตร ห่างจากเครื่องกำเนิดเป็นระยะทาง 20 เซนติเมตร

รูปที่ 4.13 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันที่เครื่องกำเนิด ESD และระดับแรงดันที่วงจรแสดง ที่เสาอากาศสูง 130 เซนติเมตร ห่างจากเครื่องกำเนิดเป็นระยะทาง 5 เซนติเมตร



รูปที่ 4.14 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันที่เครื่องกำเนิด ESD และระดับแรงดันที่วงจรแสดง ที่เสาอากาศสูง 130 เซนติเมตร ห่างจากเครื่องกำเนิดเป็นระยะทาง 10 เซนติเมตร



รูปที่ 4.15 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันที่เครื่องกำเนิด ESD และระดับแรงดันที่วงจรแสดง ที่เสาอากาศสูง 45 เซนติเมตร และ 130 เซนติเมตร ที่ระยะห่างใดๆ ที่ทดสอบ

สรุปผลการทดลอง

การทดลองจะพบว่าวงจรตรวจจับค่าแรงดันสูงสุดที่ออกแบบสามารถตรวจจับสัญญาณรบกวนของการคายประจุไฟฟ้าสถิตได้ค่าแรงดันที่ใกล้เคียงกับค่าแรงดันของเครื่องกำเนิด ESD โดยการทดสอบการคายประจุจากเครื่องกำเนิด ESD ให้มีการแพร่สัญญาณคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเข้าไปยังวงจรตรวจจับค่าแรงดันสูงสุด พบว่าเมื่อดึงให้เสาอากาศสูง 130 เซนติเมตร ระยะการตรวจจับอยู่ที่ 5 เซนติเมตร ได้ค่าที่มีความเหมาะสมแม่นยำของรูปกราฟอยู่มาก ส่วนเมื่อดึงเสาอากาศให้สูง 45 เซนติเมตร พบว่าที่ระยะ 10 เซนติเมตร จะได้ผลตรวจจับได้ดีกว่า เราจึงเลือกที่จะใช้ระยะห่าง 10 เซนติเมตร และเสาอากาศมีความสูง 45 เซนติเมตร ในการตรวจจับค่าแรงดันสูงสุดของสัญญาณ ESD ชนิดอื่นๆ ต่อไป

บทที่ 5

บทสรุป ข้อเสนอแนะ และแนวทางการพัฒนา

5.1 บทสรุป

วงจรตรวจจับค่าสูงสุดการคายประจุไฟฟ้าสถิตทำให้สามารถเข้าใจถึงธรรมชาติของปรากฏการณ์การคายประจุไฟฟ้าสถิต มีเป้าหมายมุ่งเน้นที่ความรุนแรงของการคายประจุไฟฟ้า ตำแหน่ง และเวลาที่เกิดการคายประจุไฟฟ้า โดยใช้วงจรตรวจจับค่าสูงสุดระบุขอบเขตการเกิดขึ้นของการคายประจุไฟฟ้าสถิตในรูปของแรงดันไฟฟ้า และทำการวัดเพื่อพิจารณาถึงโอกาสการเกิดความเสียหายกับอุปกรณ์อื่นๆ ข้างเคียงมากน้อยเพียงใด เพื่อใช้ในการตัดสินใจถึงวิธีการป้องกันความอันตรายที่เกิดจากการคายประจุไฟฟ้าสถิตที่จุดสำคัญต่างๆ ในที่นี้จะกล่าวถึงผลลัพธ์และการทำงานวงตรวจตรวจจับค่าแรงดันสูงสุดไว้ดังนี้

วงจรตรวจจับค่าแรงดันสูงสุดจากการคายประจุไฟฟ้าสถิต สามารถตรวจจับด้วยเสาอากาศ โดยรับสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า (EMI) ที่เกิดจากการคายประจุไฟฟ้าสถิต ซึ่งสัญญาณที่แหล่งกำเนิดไฟฟ้าสถิตจะมีย่านความถี่ส่งออกมาเป็นช่วงกว้าง ทำให้รูปร่างของสัญญาณมีลักษณะเป็นพัลล์ที่มีแรงดันสูงสุดที่หัวคลื่นและลดลงพร้อมกับแกว่งไปมา หางคลื่นมีการแกว่งลงไปอยู่ในด้านลบ จากการทดลองพบว่าระยะห่างจากจุดที่เกิดการคายประจุไฟฟ้าสถิต และแรงดันของการคายประจุไฟฟ้าสถิตส่งผลต่อสัญญาณที่วงจรตรวจจับได้ เมื่อระยะห่างระหว่างวงจรตรวจจับค่าแรงดันสูงสุดกับแหล่งกำเนิดลดน้อยลง ระดับความแรงของสัญญาณที่ตรวจจับได้จะมีค่ามากขึ้น ในอีกทางหนึ่ง ถ้าค่าแรงดันของการคายประจุไฟฟ้าสถิตจากแหล่งกำเนิดมากขึ้นจะส่งผลให้วงจรตรวจจับค่าแรงดันสูงสุดสามารถรับสัญญาณได้ระยะไกลมากขึ้น ในการทดสอบกับเครื่องกำเนิดการคายประจุไฟฟ้าสถิต เราเลือกใช้ระยะห่างจากวงจรตรวจจับค่าแรงดันสูงสุดถึงจุดกำเนิดการคายประจุไฟฟ้าสถิตที่ 10 เซนติเมตร โดยมีความสูงเสาอากาศสูง 45 เซนติเมตร ซึ่งสามารถตรวจวัดแรงดันของจุดกำเนิดการคายประจุไฟฟ้าสถิตได้ค่อนข้างแม่นยำในช่วงตั้งแต่ที่แรงดันของแหล่งกำเนิดมีค่าที่ 0.5 – 15 กิโลโวลต์

5.2 ข้อเสนอแนะและข้อควรระวัง

1. แหล่งจ่ายไฟเลี้ยงแก่วงจรวงจรตรวจจับการคายประจุไฟฟ้าสถิตควรเป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงที่มาจากแบตเตอรี่ขนาด 9 โวลต์ ถึง 15 โวลต์
2. ในการทดสอบวงจรเครื่องตรวจจับการคายประจุไฟฟ้าสถิตควรมีการชิลล์ป้องกันสัญญาณรบกวนที่มีแรงดันสูงด้วยการต่อแผ่นโลหะต่อลงกราวด์

5.3 แนวทางการพัฒนา

วงจรตรวจจับการคายประจุไฟฟ้าสถิตนี้ยังเป็นเพียงอุปกรณ์ตรวจจับการคายประจุไฟฟ้าได้ในระยะไม่ไกลนัก และมีความสามารถในการวัดค่าแรงดันที่ระยะใกล้ๆเท่านั้น ทั้งนี้วงจรตรวจจับค่าแรงดันสูงสุดนี้ยังสามารถพัฒนาให้สามารถรับการเกิดไฟฟ้าสถิตจากแหล่งกำเนิดที่มีระยะตรวจจับไกลมากขึ้น และมีความเที่ยงตรงแม่นยำในการตรวจวัดแรงดันไฟฟ้าของแหล่งกำเนิดการคายประจุไฟฟ้าสถิตให้มากขึ้นไปได้อีก รวมถึงการวิเคราะห์รูปร่างของคลื่นอันเป็นผลที่ได้จากการเกิดการคายไฟฟ้าสถิต โดยพัฒนาโปรแกรมรับข้อมูลบนหน้าจอคอมพิวเตอร์เพื่อสะดวกแก่การวิเคราะห์ต่อไป นอกจากนี้อาจนำไปสู่เครื่องตรวจจับไฟฟ้าสถิตที่สามารถตรวจสอบระยะทางกำหนดจุดที่เกิดได้อย่างแม่นยำ ซึ่งจะก่อให้เกิดประโยชน์ในอุตสาหกรรมการผลิตอุปกรณ์ไฟฟ้ามากขึ้นตามไปด้วย

เอกสารอ้างอิง

[1] You Li and Juin J. Liou, “Evaluation of Transient Behavior of Polysilicon-Bound Diode for Fast ESD Applications,” **IEEE Transactions onElectron Device**, Vol. 57, No.10, 2010, pp.2736-2743.

[2] William D. Greason, “Investigation of Electrostatic Discharge (ESD) for aThree-Body Problem With Small Gaps,” **IEEE Transactions on Industry Application**, Vol. 42, No. 1, 2006,pp.7-13.

[3] Wen-Yu Lo and Ming-Dou Ker, “Abnormal ESD Failure Mechanism in High-Pin-Count BGA Packaged ICs Due to Stressing Nonconnected Balls,” **IEEE Transactions on Device and Material Reliability**, Vol. 4, No. 1, 2004, pp. 24-31.

[4] Ramachandran Chundru, David Pommerenke, Kai Wang, Tom Van Doren, Federico PioCentola, and Jiu Sheng Huang, “Characterization of Human Metal ESD Reference Discharge Event and Correlation of GeneratorParameters to Failure Levels—Part I: Reference Event,”**IEEE TransactionsElectromagnetic Compatibility**, Vol. 46, No. 4, 2004,pp. 498-504

[5] Ramachandran Chundru, DavidPommerenke, Kai Wang, Tom Van Doren,Federico PioCentola, and Jiu Sheng Huang, “Characterization of HumanMetal ESD Reference Discharge Event and Correlation of GeneratorParameters to Failure Levels—Part II: Correlation of Generator Parameters to Failure Levels,”**IEEE Transactions Electromagnetic Compatibility**, Vol. 46, No. 4, 2004, pp. 505-511

[6] E. Okoniewska, M. A. Stuchlyand M. Okoniewski, “Interactions of Electrostatic Discharge With the Human Body,” **IEEE Transactions on Microware Theory and Techniques**, Vol. 52, No. 8, 2004, pp.2030-2039.

[7] C. Jettanasen, “Design of Electrostatic Discharge Event Detector,” **IEEE TENCON**, 2011, pp. 2303-2307.

[8] ชาญวิทย์ ใสสนิทและ นนทวัฒน์พัฒนจักร, “เซ็นเซอร์ตรวจจับสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าเนื่องจากการคายประจุ,” **ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต**, สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า, มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 2553.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

[9] ธีรเดช อินทร์ตลาดชุม, นัฐพงษ์วงแหวน, นิสิต กิวัฒนาและปเสฏฐาปั้นสังข์, "เครื่องตรวจจับการคายประจุไฟฟ้าสถิต",**ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต**, สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2554.

[10] Al Wallashand Vladimir Kraz, "A Comparison of High-Frequency Voltage, Current and Field Probes and Implications for ESD/EOS/EMI Auditing," **EOS/ESD SYMPOSIUM**, 2007, pp. 231-236.

[11] Timothy J. Maloney, "Antenna Response to CDM E-fields," **Intel Corporation and the ESD Association**.

[12] Ken Hall and Darren McCarthy, "Tests with different IEC80 1.2 ESD simulators have different results depending on product sensitivities," **IEEE**, 1995, pp. 280-284.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

บทความวิชาการ

ชุดสาธิตการคายประจุไฟฟ้าสถิต
DEMONSTRATION KIT FOR OCCURRENCE OF ELECTROSTATIC DISCHARGE EVENT

นราธิป เลิศวงศ์อุดมพร แบงค์ เลื่องชัยเชวง และปรียาภรณ์ ฉันทวโร
อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.ชัยยันต์ เจตนาเสน
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
1 ซอย ฉลองกรุง 1 ลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520 โทรศัพท์02-329-8000 ต่อ 3925

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์นี้นำเสนอหลักการและวิธีการออกแบบชุดสาธิตการคายประจุไฟฟ้าสถิต จากการตรวจจับสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า และตรวจจับค่าสูงสุดของคุณลักษณะของสัญญาณที่ได้มาแสดงค่าผ่านเซเว่นเซกเมนต์ เพื่อเป็นสื่อการเรียนรู้ที่เป็นประโยชน์ต่อนักเรียน นักศึกษาหรือบุคคลทั่วไปให้ตระหนักถึงผลกระทบเมื่อมีการคายประจุไฟฟ้าสถิตในเหตุการณ์ชีวิตประจำวัน โดยจะออกแบบให้เสาอากาศรับสัญญาณคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่เกิดจากเหตุการณ์การคายประจุไฟฟ้าสถิต เป็นผลให้เกิดสัญญาณแรงดันไฟฟ้าเข้าสู่วงจรตรวจจับค่าแรงดันสูงสุด จากนั้นทำการประมวลผลหาค่าสัญญาณที่ตรวจจับได้ และนำมาแสดงผลผ่านทางเซเว่นเซกเมนท์

ABSTRACT

This thesis presents the principle and design method of demonstration kit for occurrence of electrostatic discharge event. The design of our model is based on detecting electromagnetic interference signal and then senses the peak of signal, and is monitored with 7-segment. This kit will be the instructional media that is benefit for student and any people in order to realize the impact of ESD in daily life. The first step, antenna receives electromagnetic signal generated from ESD event. This is reason why signal of antenna is converted from electromagnetic signal to voltage signal before it comes to hold peak detector circuit. Finally, analyzing detected results and monitoring the value using 7-segment.

1. ที่มาและความสำคัญ

การเกิดไฟฟ้าสถิตเป็นการที่ปริมาณประจุไฟฟ้าขั้วบวกและขั้วลบบนผิววัสดุมีไม่เท่ากันทำให้เกิดแรงดูดหรือผลักกัน โดยเมื่อผิววัสดุ 2 ชิ้นที่มีคุณสมบัติเป็นฉนวนขัดสีกัน เกิดพลังงานทำให้ประจุไฟฟ้าบนผิววัสดุมีการแลกเปลี่ยนกัน ในปัจจุบันแม้ว่าเราจะมีการป้องกันไฟฟ้าสถิตให้อุปกรณ์ในอุตสาหกรรม แต่ประจุไฟฟ้านั้นมีความพยายามที่จะถ่ายเทประจุไปยังวัตถุอื่นเสมอ และการคายประจุไฟฟ้าสถิตนั้นเกิดได้ในชีวิตประจำวัน เพียงแค่มีปัจจัยที่พร้อมต่อการปะทุของไฟฟ้าสถิต นั่นคือ วัตถุฉนวนที่เป็นแหล่งสะสมประจุ ตัวกลางที่ถ่ายเทประจุได้ดี และเชื้อเพลิง ซึ่งบุคคลทั่วไปมักไม่ทราบถึงความรุนแรงเหล่านั้นทำให้ไม่ได้ระมัดระวังต่ออันตรายที่อาจเกิดขึ้น ปัจจุบันมีการทำอุปกรณ์ตรวจจับขึ้นแล้วแต่ยังมีราคาค่อนข้างสูง จากเหตุผลข้างต้นจึงได้มีแนวคิดที่จะทำชุดสาธิตการคายประจุไฟฟ้าสถิตขึ้น เพื่อแสดงค่าแรงดันสูงสุดเมื่อเกิดการคายประจุไฟฟ้าสถิตแล้วแสดงค่าเป็นตัวเลขออกมาผ่านทางเซเว่นเซ็กเมนต์

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 การเกิดไฟฟ้าสถิต (Electrostatics) [1]

การเกิดไฟฟ้าสถิต (Electrostatics) เป็นปรากฏการณ์ที่เกิดการสะสมปริมาณประจุไฟฟ้าขั้วบวกขั้วลบบนผิววัสดุที่มีไม่เท่ากันบนผิวชิ้นงาน ประจุที่เกิดขึ้นนี้สามารถเกิดขึ้นได้จากสามวิธี คือ

2.1.1 ประจุไฟฟ้าที่เกิดจากการขัดสีของวัสดุสองชนิด

หรือไทรโบอิเล็กทริกซึ่งประกอบด้วยเงื่อนไขสองประการคือ 1. วัสดุสองชิ้นสัมผัสกันเช่นการเดินบนพื้น การลากเก้าอี้ เป็นต้น 2.มีการแยกตัวงานออกจากกัน เช่น การลอกเทปออกจากชิ้นงาน

2.1.2 การเกิดไฟฟ้าสถิตที่เกิดจากการสัมผัส

เกิดขึ้นได้จากตัวนำสองตัวมาสัมผัสกันและกันที่มีความหนาแน่นประจุต่างกัน ประจุจึงไหลจนมีความหนาแน่นประจุไฟฟ้าเท่ากัน

2.1.3 การเกิดไฟฟ้าสถิตที่เกิดจากการเหนี่ยวนำ

ไฟฟ้าสถิตที่เกิดจากการเหนี่ยวนำ โดยนำวัสดุที่มีประจุไปเหนี่ยวนำให้วัสดุที่มีสภาพเป็นกลางเกิดประจุและแยกขั้วออกจากกันซึ่งวัสดุทั้งสองนั้นไม่จำเป็นต้องสัมผัสกัน

2.2 แบบจำลองที่ใช้ในการทดสอบการเกิด ESD [2]

การศึกษาความเสียหายที่เกิดขึ้น เนื่องมาจาก ESD เราจะต้องจำแนกแบบทดลองต่างๆที่ส่งผลให้เกิดการถ่ายเทประจุเข้าและออกตัวอุปกรณ์ ซึ่งมีผลทำให้เกิดถ่ายเทประจุเข้าและออกตัวอุปกรณ์ ซึ่งมีผลทำให้เกิดความเสียหายตามมา โดยทั่วไปสามารถจำแนกได้จำนวน 3 แบบ ซึ่งเป็นวิธีมาตรฐานในการทดสอบความทนทานของอุปกรณ์ในการถ่ายเทประจุ

2.2.1 แบบจำลองเชิงร่ายกายมนุษย์ (Human Body Model)

แบบจำลองนี้เป็นการเลียนแบบผลที่เกิดขึ้นจากการถ่ายเทประจุจากผู้ปฏิบัติการไปสู่ตัวอุปกรณ์ เกิดขึ้นเมื่อผู้ปฏิบัติงานเดินบนพรมจากนั้นไปสัมผัสตัวอุปกรณ์ที่ไวต่อ ESD ทำให้เกิดการถ่ายประจุออกจากร่างกาย

2.2.2 แบบจำลองเชิงเครื่องจักร (Machine Model)

การถ่ายเทประจุจากเครื่องจักรสู่ตัวอุปกรณ์ ซึ่งจะคายประจุโดยตรงไม่ผ่านตัวต้านทานไฟฟ้าใดๆ

2.2.3 แบบจำลองเชิงอุปกรณ์ถูกชาร์จ (Charged Device Model)

การถ่ายเทประจุจากตัวอุปกรณ์ไปสู่วัตถุอื่นๆภายนอกมีความรุนแรง สร้างความเสียหายได้มากกว่าแบบจำลองอื่น

2.3 สนามไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา [3]

การเกิดคลื่นแทรกสอดทางสนามแม่เหล็กไฟฟ้าจากการคายประจุไฟฟ้าสถิตรวมถึงการสร้างวงจรภาครับและสายอากาศนั้นมีหลักการทำงานที่สามารถพิจารณาได้จากหลักการเกิดสนามไฟฟ้าหรือสนามแม่เหล็ก

2.4 สายอากาศ [3]

สายอากาศ คือ ตัวนำโลหะ ซึ่งมักจะเป็นแบบใดแบบหนึ่งของความยาวลวดหรือท่อกลวงตัวนำที่จะใช้สำหรับสายอากาศจะต้องใช้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านตัวนำนั้นได้ สายอากาศของเครื่องส่งกระแสไฟฟ้าจะสร้างคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าซึ่งเคลื่อนที่ไปในอากาศ จากนั้นสายอากาศของเครื่องรับคลื่นวิทยุจะเหนี่ยวนำให้เกิดกระแสไฟฟ้าในสายอากาศออกมาเป็นสัญญาณเข้าเครื่องรับสัญญาณได้

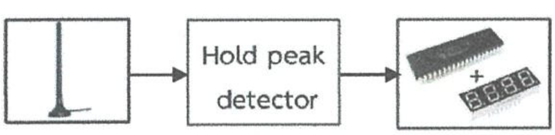
2.5 สนามระยะใกล้และสนามระยะไกล [4]

คุณลักษณะของสนามหาได้จากระยะทางระหว่างแหล่งกำเนิด (เสาอากาศ) กับจุดสังเกต โดยจุดที่ใกล้กับแหล่งกำเนิดนั้นคุณสมบัติสนามหาได้จากคุณลักษณะของแหล่งกำเนิด ส่วนจุดที่ไกลออกมาคุณสมบัติของสนามจะขึ้นอยู่กับตัวกลางที่ผ่าน จึงสามารถแบ่งออกได้เป็นสองส่วน คือ สนามใกล้ และสนามไกล โดยใช้ระยะ $\frac{\lambda}{2\pi}$ แบ่งแยกระหว่างสนามใกล้ และสนามไกล ฉะนั้นช่วงสนามใกล้จะสามารถตรวจจับคลื่นแม่เหล็กได้ง่ายกว่า

3. การออกแบบและการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

3.1 การออกแบบ

จากการศึกษาพบว่าผลของการคายประจุไฟฟ้าสถิต จะทำให้เกิดสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า (EMI) ดังนั้นจึงมีการนำเอาหลักการนี้มาตรวจจับสัญญาณโดยเสาอากาศเข้าสู่วงจรตรวจจับค่าสูงสุด ประมวลผลและแสดงผลต่อไป



รูปที่ 3.1 ภาพรวมของ ESD Detector

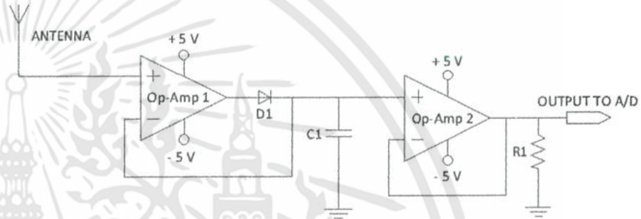
3.1.1 เสาอากาศ (Antenna)

อุปกรณ์สำหรับรับและส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า โดยจะเลือกใช้เสาอากาศ RA795 ที่รับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าได้หลายช่วงความถี่ (wide band) ซึ่งมีความเหมาะสมเนื่องจากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากแหล่งกำเนิดการคายประจุไฟฟ้าสถิตแต่ละแหล่งนั้นมีความถี่ที่แตกต่างกัน

รูปที่ 3.2 เสาอากาศรุ่น RA795

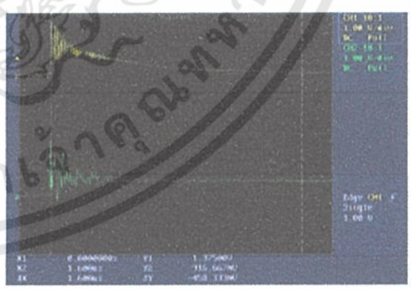
3.1.2 ตรวจจับค่าสูงสุดของแรงดันไฟฟ้า (Hold peak detector)

เสาอากาศจะจับสัญญาณ EMI ที่ถูกส่งผ่านมาทางอากาศแปลงเป็นสัญญาณแรงดันไฟฟ้าแล้วเข้าสู่วงจร



รูปที่ 3.3 วงจรตรวจจับค่าสูงสุดของแรงดันไฟฟ้า

หลักการทำงานของวงจร ออปแอมป์ตัวที่ 1 เป็นบัพเฟอร์ (Buffer) ส่งผ่านไดโอด D1 เพื่อให้จ่ายแค่แรงดันบวก และไม่ให้กระแสไหลย้อนกลับจากตัวเก็บประจุ C1 ที่ทำการชาร์จแรงดันไฟฟ้าจนเป็นค่าสูงสุดของสัญญาณที่เข้ามา จากนั้นจะผ่านออปแอมป์ตัวที่ 2 เป็นบัพเฟอร์ (Buffer) เพื่อไม่ให้ตัวเก็บประจุ C1 ดิสชาร์จมาทางเอาท์พุต ทำให้คงค่าแรงดันไฟฟ้าสูงสุดไว้ได้นานพอที่ส่วนประมวลผลจะแปลงค่าแรงดันสูงสุดเป็นดิจิตอล (Digital) ได้ทัน โดยจะค้างค่าไว้นานประมาณ 1.6 μs

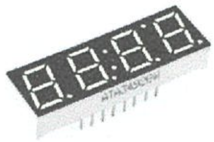


รูปที่ 3.4 กราฟแสดงแรงดันไฟฟ้าจากเสาอากาศ (เส้นสีเหลือง) และแรงดันไฟฟ้าจากวงจรตรวจจับค่าสูงสุด (เส้นสีเขียว)

3.1.3 ประมวลผลและแสดงผล (Processor and display)

ส่วนประมวลผลจะทำการแปลงค่าอนาล็อก (Analog) เป็นดิจิตอล (Digital) เพื่ออ่านค่าแรงดันไฟฟ้าสูงสุดที่ค้างไว้ในวงจรตรวจจับแรงดันไฟฟ้าสูงสุด แล้วแสดงค่าบนเซเว่นเซกเมนต์ 4 หลัก โดยได้เลือกใช้โมโครคอนโทรลเลอร์ ชนิด PIC16F887 เพราะมีความเร็วในการทำงานเพียงพอและหาซื้อได้ง่าย

รูปที่ 3.5 PIC16F887



รูปที่ 3.6 เซเว่นเซกเมนต์ 4หลัก

ในส่วนประมวลผลหรือไมโครคอนโทรลเลอร์มีหน้าที่ต่างๆ ดังนี้

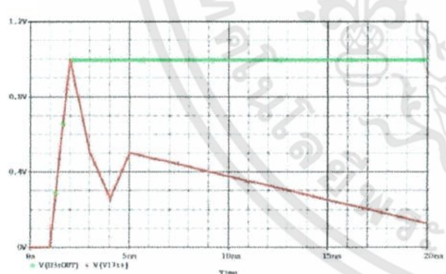
1. รับสัญญาณแรงไฟฟ้า จากวงจรตรวจจับแรงดันไฟฟ้าสูงสุด (Hold peak detector)
2. เปรียบเทียบค่าที่รับมากับค่าที่กำหนดตามเกณฑ์ที่ตั้งไว้
3. แสดงผลออกมาเป็นหน้าจอเซเว่นเซกเมนต์ 4 หลัก

3.2 การจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

การจำลองผลจากโปรแกรม OrcadPspice โดยจำลองการป้อนสัญญาณแรงดันที่มีลักษณะคล้ายกับการเกิดผลจากการคายประจุไฟฟ้าสถิตเข้าสู่วงจรและจำลองผลการทดสอบวงจรเมื่อเปลี่ยนแรงดันไฟฟ้าที่เวลาขาขึ้น (Rise time) และระดับแรงดันต่างๆ ซึ่งแสดงกราฟแรงดันอินพุตที่ป้อนแก่วงจร และแรงดันเอาต์พุตที่ได้จากวงจร

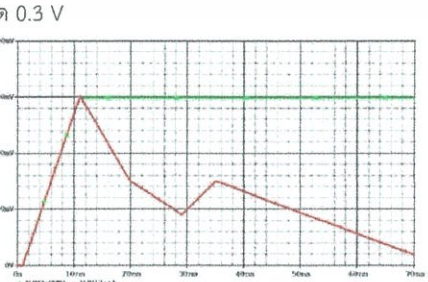
รูปที่ 3.7 รูปวงจรที่ใช้ในการจำลอง ในโปรแกรม OrcadPspice

ผลการจำลองเมื่อทำการป้อนสัญญาณที่มีแรงดันสูงสุด 1V โดยมีเวลาขาขึ้น (Rise time) 1ns



รูปที่ 3.8 ผลการจำลองที่สัญญาณเวลาขาขึ้น 1ns แรงดันสูงสุด 1 V

ผลการจำลองเมื่อทำการป้อนสัญญาณที่มีเวลาขาขึ้น 10 ns ระดับแรงดันสูงสุด 0.3 V



รูปที่ 3.9 ผลการจำลองสัญญาณเวลาขาขึ้น 10 ns แรงดันสูงสุด 0.3 V

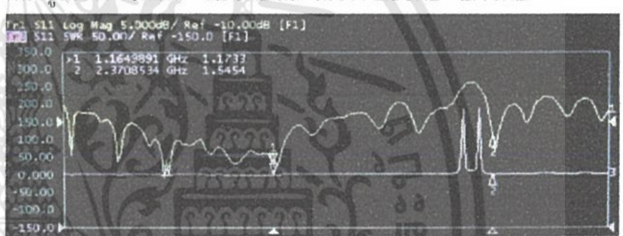
จากการจำลองนั้นพบว่าเมื่อป้อนสัญญาณขาเข้าที่มีลักษณะของการคายประจุไฟฟ้าสถิต (คลื่นฟ้าผ่า) โดยให้เวลาขาขึ้นของสัญญาณอยู่ในช่วง 0.7ns - 50ns และเมื่อมีการเปลี่ยนแรงดันสูงสุดของสัญญาณขาเข้าวงจรตรวจจับค่าสูงสุดก็ยังคงทำงานได้อย่างถูกต้อง แต่ในการใช้งานจริงต้องควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์ให้อ่านค่าให้ถูกต้อง เพราะในบางครั้งสิ่งที่ตรวจจับได้อาจไม่ใช่สัญญาณจากการคายประไฟฟ้าสถิต

4. ผลการทดลอง

จากการออกแบบเป็นการสร้างสมมติฐานขึ้นมา ดังนั้นเราจะทำการทดสอบหาย่านความถี่ในการรับสัญญาณของเสาอากาศ และค่าสัญญาณแรงดันที่เสาอากาศรับได้จริงจากแหล่งกำเนิดแรงดันมาตรฐานได้

4.1 การทดลองช่วงแบนด์วิดธ์การทำงานของวงจรทดสอบ

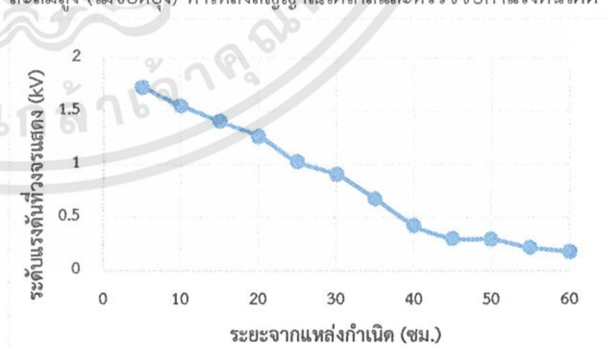
การทดลองโดยจะทำการต่อเสาอากาศกับเครื่องเน็ตเวิร์ค อนาไลเซอร์ โดยวิเคราะห์ในช่วงความถี่ 5MHz - 3GHz และพิจารณาจากค่า SWR ที่เปรียบเทียบขนาดสัญญาณทั้งสอง สรุปว่าสัญญาณมีค่าใกล้เคียงกันอยู่ในช่วง 70MHz - 1.5GHz และในช่วง 2.3GHz - 2.4GHz



รูปที่ 4.1 ผลของการรับสัญญาณจากเสาอากาศเข้าเครื่องทดสอบ

4.2 การทดสอบวงจรตรวจจับค่าแรงดันสูงสุดจากแหล่งกำเนิดประจุไฟฟ้าสถิตสะสม

การทดสอบวงจรตรวจจับค่าสูงสุดจะวางให้อยู่ห่างจากแหล่งกำเนิด ESD ที่ระยะ 5 ถึง 60 ซม.เนื่องจากแหล่งกำเนิดมีค่าศักย์ไฟฟ้าสะสมสูง (ไม้ช็อตยุง) ทำให้ส่งสัญญาณได้ไกลและตรวจจับค่าแรงดันได้ดี



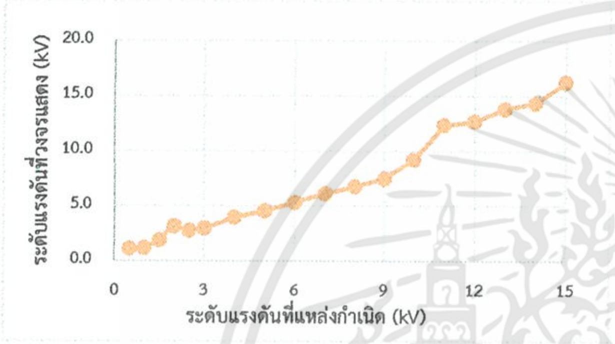
รูปที่ 4.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างจากแหล่งกำเนิดประจุไฟฟ้าสถิตสะสมที่เกิดการลัดวงจรลงดิน และระดับแรงดันที่วงจรแสดง

จากการทดสอบระยะที่ตรวจจับได้อยู่ในช่วงระยะไม่เกิน 60 ซม. ซึ่งอยู่ในช่วงสนามไฟฟ้าใกล้ (Near Field) หรือคือช่วงที่สัญญาณที่ปล่อยออกมายังไม่เกิดการรวมตัวกันระหว่างสนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้าทำให้

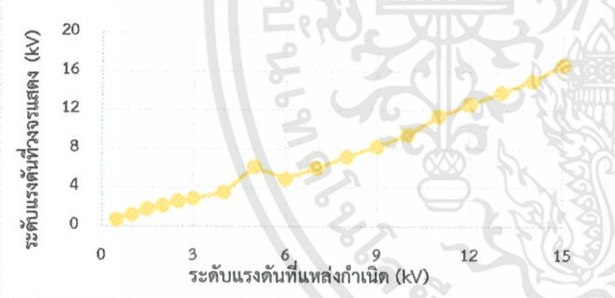
สามารถตรวจจับค่าแรงดันได้ดี ดังนั้นเราจึงสามารถคาดคะเนถึงขอบเขต และเพิ่มความแม่นยำในการตรวจจับสัญญาณการคายประจุได้ดีขึ้นตามไปด้วย

4.3 การทดสอบวงจรตรวจจับค่าแรงดันสูงสุดจากเครื่องกำเนิด ESD

การทดลองรับสัญญาณจากเครื่องกำเนิด ESD โดยตรงเข้าที่วงจรตรวจจับค่าแรงดันสูงสุดแล้ววัดที่ระยะต่างๆ พร้อมเปลี่ยนค่าแรงดันที่เครื่องกำเนิด ESD ของ PTEC เพื่อดูระดับแรงดันที่วงจรตรวจจับค่าสูงสุดทำการแสดง



รูปที่ 4.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันที่เครื่องกำเนิด ESD และแรงดันที่วงจรแสดงของเสาสูง 45 ซม. ระยะห่าง 10 ซม.



รูปที่ 4.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันที่เครื่องกำเนิด ESD และแรงดันที่วงจรแสดงของเสาสูงที่สุด ระยะห่าง 5 ซม.

การทดสอบการคายประจุจากเครื่องกำเนิด ESD จะมีการแพร่สัญญาณคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเข้าไปยังวงจรตรวจจับค่าสูงสุด จากผลการทดสอบพบว่าเมื่อเสาอากาศสูง 45 ซม. การตรวจจับที่ระยะ 10 ซม.จะตรวจจับได้ดีที่สุด จึงเลือกใช้เป็นระยะมาตรฐานที่ใช้ในการตรวจจับค่าสูงสุดที่รับจากแหล่งกำเนิดการคายประจุไฟฟ้าสถิต

5. สรุปผลการทดลอง

วงจรตรวจจับค่าสูงสุดจากการคายประจุไฟฟ้าสถิตนั้นจะตรวจจับสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า (EMI) ที่เกิดจากการคายประจุไฟฟ้าสถิตผ่านเสาอากาศ ซึ่งแหล่งกำเนิดไฟฟ้าสถิตจะมีความถี่ที่ส่งออกเป็นย่านกว้าง ทำให้ลักษณะของสัญญาณแรงดันเป็นรูปพัลส์ที่มีค่าสูงสุดที่หัวคลื่นและมีค่าลดลงพร้อมมีการแกว่งของสัญญาณจนหมดไปที่หางคลื่น จากการทดลองพบว่าระยะห่างจากจุดที่เกิดการคายประจุไฟฟ้าสถิต และแรงดันของการคายประจุไฟฟ้าสถิตส่งผลต่อสัญญาณที่วงจรตรวจจับได้ เมื่อระยะห่างของวงจรตรวจจับค่าสูงสุดกับแหล่งกำเนิด ESD ลดน้อยลง ระดับความแรงของสัญญาณที่ตรวจจับได้จะมีค่ามากขึ้น ในอีกทางหนึ่งถ้าค่าแรงดันของการคายประจุไฟฟ้าสถิตจากแหล่งกำเนิด ESD มากขึ้นจะส่งผลให้วงจรตรวจจับค่าสูงสุดรับสัญญาณได้ระยะไกลมากขึ้น ในการทดสอบกับเครื่องกำเนิด ESD (ปืน ESD) เราจะกำหนดระยะห่างจากวงจรตรวจจับค่าสูงสุดถึงแหล่งกำเนิด ESD ที่ 10 ซม. โดยมีความสูงเสาอากาศสูง 45 ซม. โดยจะตรวจวัดแรงดันของแหล่งกำเนิด ESD ได้ค่อนข้างแม่นยำสำหรับวงจรตรวจจับค่าสูงสุดนี้

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชัยยันต์ เจตนาเสน ผู้เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาที่ให้คำปรึกษา เอาใจใส่ช่วยเหลืออย่างดี

เอกสารอ้างอิง

[1] Wen-Yu Lo and Ming-Dou Ker, "Abnormal ESD Failure Mechanism in High-Pin-Count BGA Packaged ICs Due to Stressing Nonconnected Balls," **IEEE Transactions on Device and Material Reliability**, Vol. 4, No. 1, 2004, pp. 24-31.

[2] E. Okoniewska, M. A. Stuchlyand M. Okoniewski, "Interactions of Electrostatic Discharge With the Human Body," **IEEE Transactions on Microware Theory and Techniques**, Vol. 52, No. 8, 2004, pp.2030-2039.

[3] ชาญวิทย์ ใสสนิทและ นนทวัฒน์พัฒนจักร, "เซ็นเซอร์ตรวจจับสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้าเนื่องจากการคายประจุ," **ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต**, สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า, มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 2553.

[4] ธีรเดช อินทร์ตลาดชุม, นัฐพงษ์วงแหวน, นิสิต กิวัฒนาและปเสฏฐา ปั้นสังข์, "เครื่องตรวจจับการคายประจุไฟฟ้าสถิต",**ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต**, สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2554.

[5] Timothy J. Maloney, "Antenna Response to CDM E-fields," **Intel Corporation and the ESD Association.**

[6] Ken Hall and Darren McCarthy, "Tests with different IEC801.2 ESD simulators have different results depending on product sensitivities," **IEEE**, 1995, pp. 280-284.

ภาคผนวก ข

มาตรฐานการทดสอบ

IEC 61000-4-2 ESD Test

ESD Background

Electrostatic Discharge (ESD) is the abrupt release of charge from one object (often a person) to another. Such a discharge can permanently damage or otherwise upset the function of sensitive electronic circuits.

Electronic products are tested for ESD immunity to insure their continued reliable operation if subjected to realistic levels of ESD after being placed in service. The European Union's EMC Directive mandates ESD immunity testing for virtually all electrical and/or electronic products as a condition for obtaining the CE Mark before shipping to a member state of the European Union.

Applicable Standards

Generic Immunity Standards, Product Standards and Product Family Standards require that ESD tests be performed in accordance with specific Basic EMC Standards: IEC 801-2, IEC 61000-4-2, or EN 61000-4-2. Thermo KeyTek's Application Note, "EMC Standards Overview," provides an overview of European Standards for electromagnetic compatibility, describes how the Standards relate to one another, and lists sources for procuring copyrighted documents.

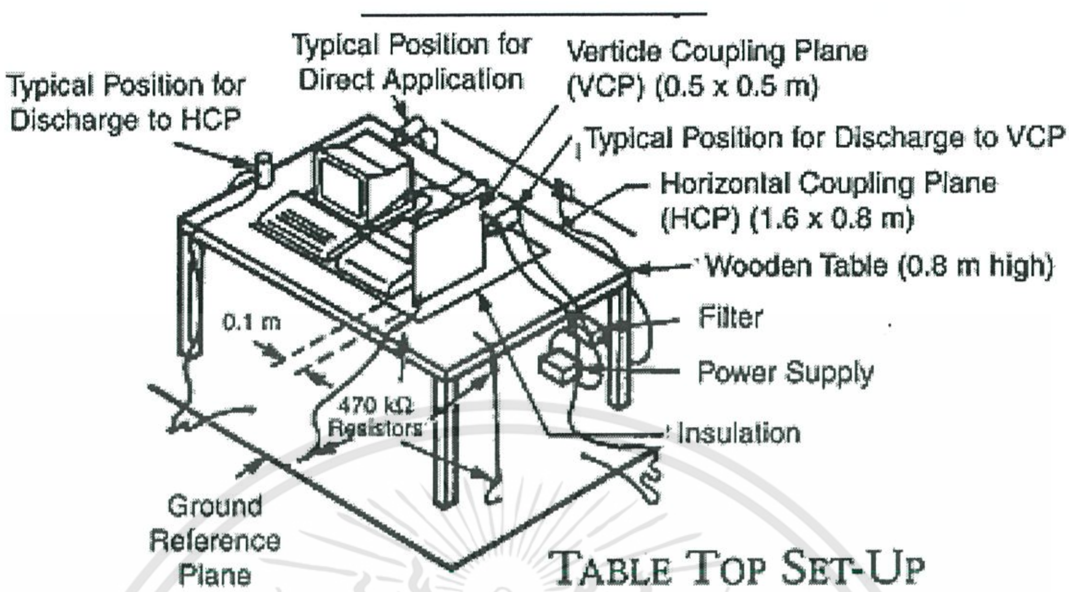
Basic EMC Standard

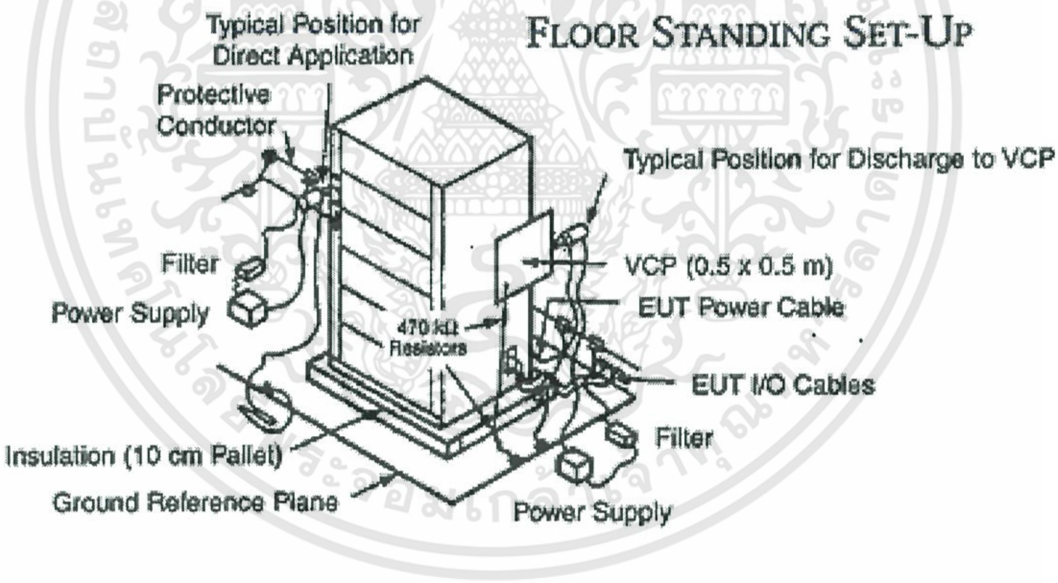
The Basic EMC Standards for ESD define methods of generating consistently reproducible electrical stresses for test purposes. They specify capacitances and resistances to model the human body's charge storing capability and discharge impedance, respectively. This model results in a current waveform, defined in the Standards. While the Basic EMC Standard also specifies how to perform ESD testing, the Generic, Product and Product Family Standards specify the test levels and pass/fail Performance Criteria.

Test Levels

Standard	Applicability	Contact Discharge Test Voltage	Air Discharge Test Voltage
EN 50082-1	Generic Immunity - Residential, Commercial and Light Industrial	N/A	8kV
EN 50082-1 Draft	Draft Generic Immunity - Residential, Commercial and Light Industrial	4kV	8kV
EN 50082-2	Generic Immunity - Industrial Environment	4kV	8kV
EN 50082-2Draft	Generic Immunity - Industrial Environment	4kV	8kV
EN 55104	Immunity for Household Appliances, Tools and Similar Apparatus	4kV	8kV

Test Set-Up



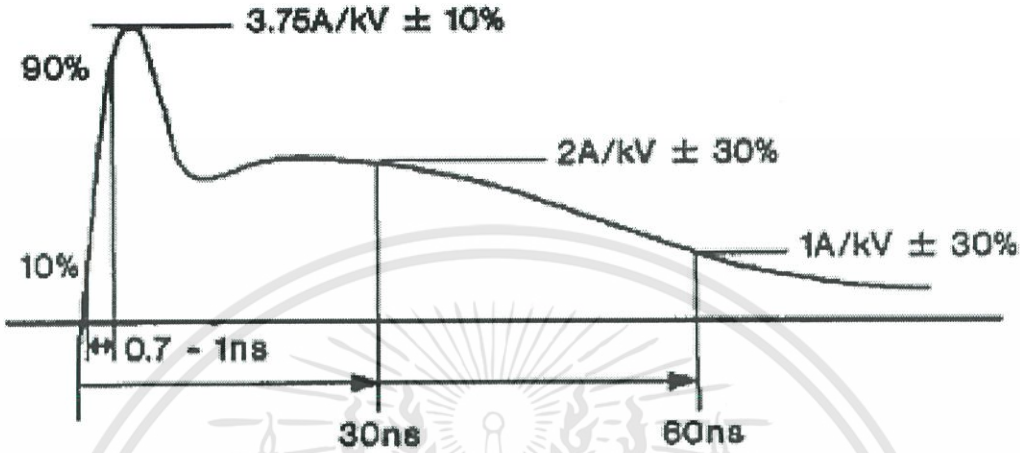


Coupling Methods

Direct Coupling is a discharge directly to the Equipment Under Test (EUT), either in an Air Discharge mode, necessary for products having few or no metal surfaces, or via Contact mode, the preferred method. In the "air discharge" mode, the ESD event is initiated when the test simulator output is brought into close proximity with the EUT until a spark is initiated. The resulting stress is influenced by various environmental factors. In the preferred "contact discharge" mode, the test simulator output is first brought into physical contact with the EUT, then the ESD event is initiated under controlled conditions within the simulator.

Indirect Coupling simulates an ESD event which causes a radiated field to be emitted in the vicinity of the victim equipment. This is accomplished using Vertical Coupling Planes (VCP's) and Horizontal Coupling Planes (HCP's). Current standards require discharges be made to the edge of the VCP and surface of an HCP.

Waveforms



Waveform Verification

IEC 61000-4-2 requires the simulator output be verified periodically. A Model CTC-3 measurement target and target plane is required. The ESD current measurement is then made using a measurement system having a 1GHz or greater bandwidth. It is necessary to place the oscilloscope inside a shielded enclosure during the measurement to reduce the effects of radiated ESD directly to the measurement instrument.

Recent work by the Working Group 14.0 of the ESD Association has found that some simulators produce waveforms that are in compliance with IEC 61000-4-2, but have considerable ringing and high frequency components that do not show up with 1GHz instrumentation. These simulators may cause failures in products which would not occur if tested with a Thermo KeyTek simulator. Working Group 14.0 is preparing a document to describe waveform verification methods to allow manufacturers to verify the ESD current from simulators using high bandwidth instrumentation.

Number and Rate of Discharges

The manufacturer is required to develop a test plan identifying the EUT's most sensitive operating mode and appropriate test points. A minimum of 10 discharges are then made to each test point in either Contact Discharge or Air Discharge, according to the test plan. A recommended time interval of 1 second between tests should be used, but a longer interval is allowed if necessary to determine if a system failure has occurred.

For the indirect tests, 10 discharges are required to the Vertical Coupling Plane at each of 4 equipment faces (40 discharges) and then 10 discharges are required to the Horizontal Coupling Plane at 4 sides of the EUT (40 discharges).

EUT Performance Criteria

For ESD tests, the Generic Immunity Standards and Household Appliances Product Family Standard require that products operate as intended after the test. No degradation or loss of function is allowed below a performance level specified by the manufacturer. During the test, degradation is allowed, but not a change in the actual operating state or stored data. Refer to the tables located in the Generic, Product and Product Family Standards for specific Performance Criteria. The product cannot become unsafe under any conditions.

ESD Simulators

ESD Simulators produced by Thermo KeyTek meet all the simulator requirements of IEC 61000-4-2, including discharge network characteristics, discharge tips, and waveforms. Numerous accessories and discharge tips are available from Thermo KeyTek for those manufacturers requiring additional test capability and flexibility.

IEC 61000-4-5 Surge Test

Surge Background

Surges occur on the AC power mains as a result of switching operations in the power grid and from nearby lightning strikes, either directly to the power distribution system or to nearby ground. Radiated coupling of surges into I/O lines generally occurs only when the lines are very long.

Electronic products are tested for Surge immunity to insure their continued reliable operation if subjected to realistic levels of surge voltages. The European Union's EMC Directive currently mandates Surge testing for some products; however, it is expected that virtually all electrical and electronic products will have to be tested for Surge immunity in the near future as a condition for obtaining the CE Mark before shipping products to a member state of the European Union.

Applicable Standards

Generic Immunity, Product and Product Family Standards require Surge tests be performed in accordance with Basic EMC Standards: IEC 801-5, IEC 61000-4-5 or EN 61000-4-5. Thermo KeyTek's Application Note, "EMC Standards Overview," provides an overview of European Standards for electromagnetic compatibility, describes how the Standards relate to one another, and lists sources for procuring copyrighted documents.

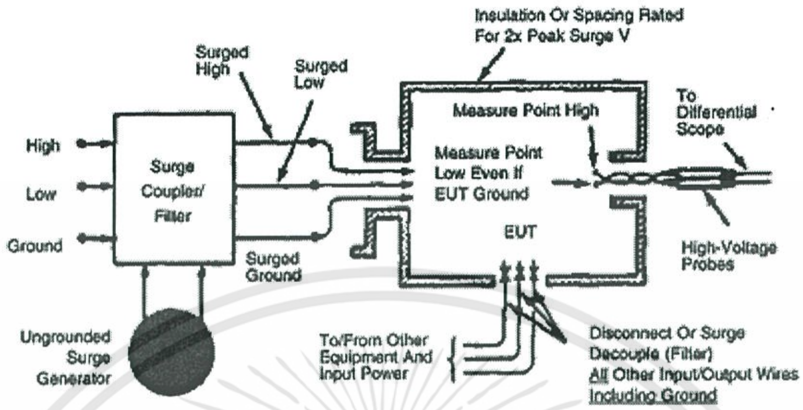
Basic EMC Standard

The Basic EMC Standard for Surge defines the methods of generating consistently reproducible surge voltages for test purposes. They specify generator and coupler/decoupler design and performance in sufficient detail to produce correlatable results between test sites. While the Basic EMC Standard specifies how to perform Surge testing, the Generic, Product and Product Family Standards specify the test levels and pass/fail performance criteria.

Test Levels

Standard	Applicability	Common Mode	Differential Mode
EN 50082-1	Generic Immunity - Residential, Commercial and Light Industrial	N/A	N/A
EN 50082-1 Draft	Generic Immunity - Residential, Commercial and Light Industrial	2kV	1kV
EN 50082-2	Generic Immunity - Industrial Environment	N/A	N/A
EN 50082-2Draft	Generic Immunity - Industrial Environment	4kV	2kV
EN 55104	Immunity for Household Appliances, Tools and Similar Apparatus	2kV	1kV

Safety



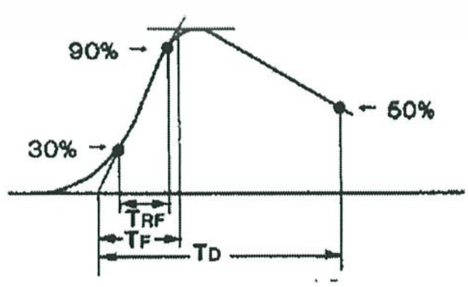
When performing Surge tests, safety is a primary concern. Surge voltages and currents must be contained to insure they will not appear where they can cause damage to other instruments in the test area. The test pulses used for Surge testing are of sufficient energy to cause components to fragment under fault conditions and become hazardous to personnel in unprotected environments.

Coupling Methods

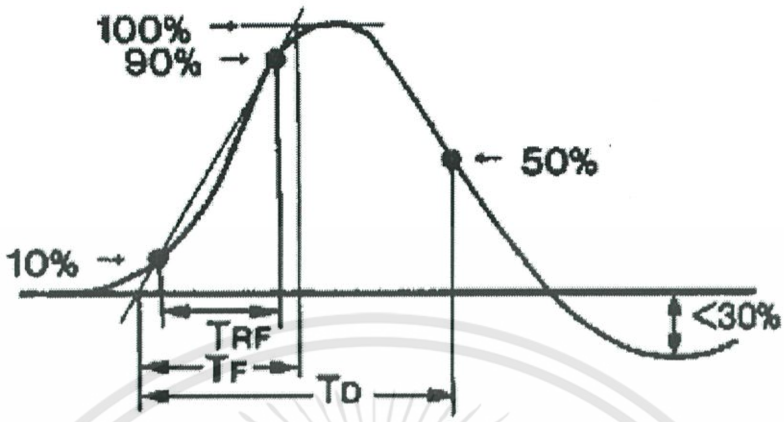
Capacitive Coupling via 9µF (Line to earth) or 18µF (line to line) capacitors is required for coupling surges to AC or DC power mains. These coupling capacitors are typically included as part of a Coupler/Decoupler (C/D) in commercially available Surge simulators. The C/D provides both coupling to the EUT power mains and a decoupler to prevent the surge from appearing on the ac mains connected to other equipment in the lab.

Capacitive Coupling via .5µF capacitors, as well as via alternative devices such as surge arrestors, are used to couple surges onto data, I/O and telecommunication lines. Surge arrestors are the preferred coupler device due to the undesirable loading effects of capacitors particularly at frequencies greater than a few kilohertz. A decoupler is included to prevent the surge from appearing at, and potentially damaging, the auxiliary equipment.

Waveforms



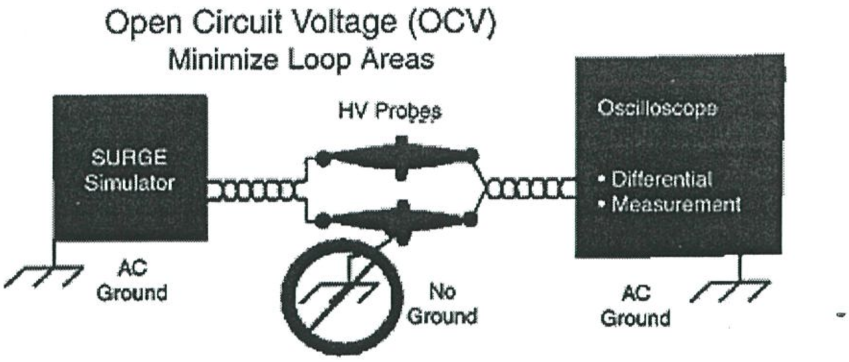
Open Circuit Voltage 1.2 x 50 Front Time: TF = 1.67 x TRF = 1.2µsec ± 30% Duration: TD = Virtual Start to 50% = 50µsec ±20%

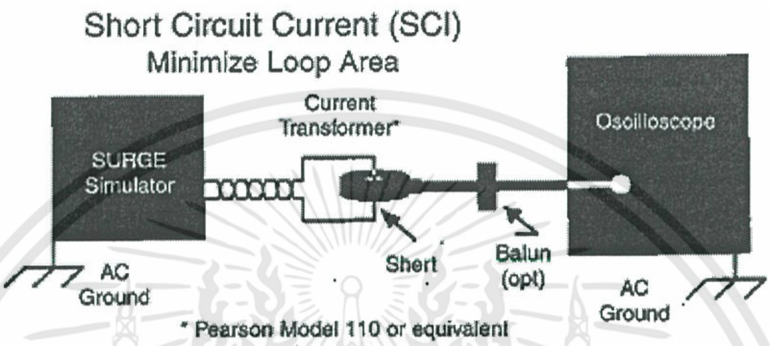


Short Circuit Current 8 x 20 Front Time: TF = 1.25 x TRF = 8μsec ± 230% Duration: TD = Virtual Start to 50% = 20μsec ±20%

Waveform Verification

IEC 61000-4-5 requires that the simulator output be verified periodically. High voltage differential surge probes are required for verifying the open-circuit voltage, and a suitable current transformer (Pearson Model 110 or equivalent) is required for verification of the short-circuit current. A digital or storage oscilloscope with 100MHz bandwidth is sufficient for measuring the surge voltage and current waveforms and peaks.





Test Execution

According to IEC 61000-4-5, testing must be carried out according to the manufacturer's test plan, which shall specify:
• Generator & other equipment
• Generator Source Impedance
• Repetition rate (one per minute maximum)
• Sequence of application of the surge
• Installation conditions
• Operating conditions of EUT
• Number of tests (at least five positive and five negative at each point)
• Test levels
• Polarity
• Inputs/outputs tested
• Phase angle of coupling to ac mains
• Internal or external trigger

EUT Performance Criteria

For Surge tests, the Generic Immunity Standards and Household Appliances Product Family Standard require that products operate as intended after the test. No degradation or loss of function is allowed below a performance level specified by the manufacturer. During the test, degradation is allowed, but not a change in the actual operating status or data storage. Refer to the tables located in the Generic, Product and Product Family Standards for specific Performance Criteria. The product cannot become unsafe under any conditions.

Surge Simulators

Surge Simulators produced by Thermo KeyTek meet all the simulator requirements of IEC 61000-4-5, including dynamic source impedance, all waveform characteristics, and coupler/decoupler design.

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล นาย นราธิป เลิศวงศ์อุดมพร
วัน/เดือน/ปีเกิด 3 สิงหาคม พ.ศ. 2534
ที่อยู่ 63/1 ถนนทรงพล ตำบลโพธาราม อำเภอโพธาราม จังหวัดราชบุรี 70120
เบอร์โทร 085-292-8572
E-mail chuanthumper@gmail.com

ประวัติการศึกษา

ปีการศึกษา 2552 สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย จากโรงเรียนโพธาวัฒนาเสนี จังหวัดราชบุรี

ปีการศึกษา 2556 กำลังศึกษาอยู่ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ฝึกงานภาคฤดูร้อน บริษัทผลิตไฟฟ้าราชบุรี จำกัด ระหว่างวันที่ 1 เมษายน2556 ถึง 29 พฤษภาคม 2556

ชื่อ-สกุล นาย แบงค์ เลื่องลือเชวง
วัน/เดือน/ปีเกิด 24 เมษายน พ.ศ. 2535
ที่อยู่ 212/4 ซอย ชาวดิน4 ตำบลหน้าเมือง อำเภอเมือง จังหวัดราชบุรี 70000
เบอร์โทร 083-922-6123
E-mail banklu_2005@hotmail.com

ประวัติการศึกษา

ปีการศึกษา 2552 สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย จากโรงเรียนเบญจมราชูทิศ จังหวัดราชบุรี

ปีการศึกษา 2556 กำลังศึกษาอยู่ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ฝึกงานภาคฤดูร้อน การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยราชบุรี ระหว่างวันที่ 1 เมษายน2556 ถึง 29 พฤษภาคม 2556

ประวัติผู้เขียน (ต่อ)

ชื่อ-สกุล นางสาว ปรียาภรณ์ ฉันทวโร
วัน/เดือน/ปีเกิด 24 ธันวาคม พ.ศ. 2534
ที่อยู่ 148/45 ถนนริมทางรถไฟเก่า แขวงบางนา เขตบางนา กรุงเทพมหานคร 10260
เบอร์โทร 087-495-5334
E-mail yong_no13@hotmail.com

ประวัติการศึกษา

ปีการศึกษา 2552 สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย จากโรงเรียนสายน้ำผึ้ง ในพระอุปถัมภ์ฯ กรุงเทพมหานคร

ปีการศึกษา 2556 กำลังศึกษาอยู่ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ฝึกงานภาคฤดูร้อน ศูนย์ปฏิบัติการใหญ่(ท่อก๊าซฯ) ปตท. จ.ชลบุรี ระหว่างวันที่ 1 เมษายน2556 ถึง 31 พฤษภาคม 2556