

ระบบตรวจหาจุดเกิดเหตุการณ์คายประจุไฟฟ้าสถิตโดยอาศัยการวัด ความแรงของการรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า An Electrostatic Discharge Event Localization System using Electromagnetic Interference Strength

กิตติคุณ ทองพูล (Kittikhun Thongpull)¹

ณัฐฐา จินดาเพ็ชร (Nattha Jindapetch)*²

วิกุลม วีรภาพจรเดช (Wiklom Teerapabkajorndet)³

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอระเบียบวิธีในการระบุตำแหน่งของเหตุการณ์การคายประจุไฟฟ้าสถิต (Electrostatic Discharge : ESD) โดยอาศัยวิธีการวัดความแรงของการรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Interference : EMI) เนื่องจากการเกิด ESD ในแต่ละครั้งจะแพร่ EMI ที่มีความสัมพันธ์โดยตรงกับกระแสของเหตุการณ์ ESD ออกมาเสมอ ในการทดลองขั้นแรกอาศัยตัวตรวจวัด EMI หาความสัมพันธ์ระหว่างความแรงของสัญญาณ EMI ที่ตรวจวัดได้เทียบกับระยะห่างระหว่างตัวตรวจจับกับจุดเกิดเหตุการณ์ ESD พบว่าความแรงของสัญญาณ EMI แปรผกผันกับระยะห่างที่เพิ่มขึ้น จากนั้นทำการทดลองใช้ตัวตรวจวัด EMI จำนวน 4 ตัว เพื่อวัดความแรงของสัญญาณ EMI ที่ตัวตรวจวัดแต่ละตัวจากการจำลองเหตุการณ์ ESD จากนั้นนำข้อมูลดังกล่าวไปคำนวณด้วยวิธีการทางตรีโกณมิติเพื่อหาพิกัดตำแหน่งของจุดเกิดเหตุการณ์ ESD ผลการหาคำตอบของพิกัดจุดเกิดเหตุการณ์ ESD ด้วยระเบียบวิธี Trilateration ให้ผลคำตอบได้ใกล้เคียงค่าจริง มีระยะความผิดพลาดจากการคำนวณน้อยที่สุดที่ 1.44 เซนติเมตรจากจุดเกิดเหตุการณ์จริงในพื้นที่การทดลองขนาด 60เซนติเมตร×60เซนติเมตร

ABSTRACT

This article presents a methodology to determine the locations of electrostatic discharge (ESD) events. The location is calculated by using the signal strength of the radiated electromagnetic interference (EMI) from ESD events. When an ESD event occurs, EMI radiation directly related to ESD current is always generated. Two experiments were performed to prove our ESD event localization. In the first experiment, an EMI detector was used to determine the relation between the EMI amplitude and the distance from ESD events. In the second experiment, four

¹⁾ นักศึกษาปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

²⁾ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

³⁾ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

* Corresponding author, e-mail: nattha.s@psu.ac.th

EMI detectors were used to determine the locations of ESD events. From the experimental results, we found that the amplitudes from the EMI detectors vary inversely to the longer distance between the detectors and the locations of the events. Therefore, this relation can be used to estimate the distances between the EMI detectors and the ESD sources. Then, these distances were used to locate the position of the ESD sources by using the Trilateration technique. The minimum position error of the calculated ESD source positions was 1.44 cm, from the real locations in a 60cm×60cm test area.

คำสำคัญ : การระบุตำแหน่ง, เหตุการณ์คายประจุไฟฟ้า, การรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า

Keywords: Localization, ESD (Electrostatic Discharge), EMI (Electromagnetic Interference)

บทนำ

ปัจจุบันเทคโนโลยีทางการออกแบบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ทำให้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์มีขนาดที่เล็กลง การทำงานที่แรงดันต่ำลง ปัจจัยต่างๆ เพื่อตอบสนองความต้องการของผู้ใช้ในปัจจุบัน ทั้งในแง่ของการลดการใช้พลังงาน หรือความสะดวกในการพกพา เหล่านี้ล้วนทำให้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์มีความเสี่ยงสูงที่จะเกิดความเสียหายจากเหตุการณ์คายประจุไฟฟ้าสถิต โดยเฉพาะอย่างยิ่งในขั้นตอนการผลิตที่อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์อาจสัมผัสโดยตรงกับเครื่องจักรหรือผู้ปฏิบัติงาน และอาจทำให้เกิดเหตุการณ์คายประจุไฟฟ้าสถิตได้ ถึงแม้ในปัจจุบันจะมีระบบเพื่อป้องกันการเกิดประจุไฟฟ้าสะสมในบริเวณพื้นที่ทำงาน หรือการควบคุมระบบกราวด์ของเครื่องจักรและตัวผู้ปฏิบัติงาน (Steinman et al., 1999) แต่กลับพบว่ายังมีผลิตภัณฑ์ที่ได้รับความเสียหายจากเหตุการณ์ ESD อยู่บางส่วน สิ่งดังกล่าวนี้หมายถึงระบบป้องกันเพื่อหลีกเลี่ยงการเกิดเหตุการณ์ ESD เพียงอย่างเดียวอาจไม่เพียงพอในการดำเนินงานผลิตอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ดังนั้นระบบตรวจวัดและสังเกตการณ์เหตุการณ์ ESD ที่สามารถระบุตำแหน่งเหตุการณ์ ESD ได้จึงเป็นอีกเครื่องมือที่ช่วยให้การผลิตอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ช่วยเพิ่มความสะดวกในการตรวจสอบพื้นที่ที่มีปัญหา และช่วยแยกผลิตภัณฑ์ที่อยู่ในบริเวณที่มีการเกิดเหตุการณ์ ESD เพื่อนำมาตรวจสอบได้ตรงกลุ่ม ส่งผลให้เกิดความง่ายในการเข้าถึงปัญหา ช่วยเพิ่มความน่าเชื่อถือของผลิตภัณฑ์

ได้ในอีกทางหนึ่งเนื่องจากหลายๆครั้งที่เหตุการณ์ ESD เกิดขึ้นที่ตัวผลิตภัณฑ์แต่มีความรุนแรงไม่สูงพอที่จะทำผลิตภัณฑ์เกิดความเสียหายอย่างถาวรแต่อาจเกิดความบกพร่องในการทำงานบางส่วน หากผลิตภัณฑ์ดังกล่าวได้ออกไปสู่ผู้ใช้งาน ย่อมทำให้ความน่าเชื่อถือต่อตัวผลิตภัณฑ์ หรือ ผู้ผลิตลดลง แต่หากเราชี้ชัดได้ถึงจุดที่เกิดเหตุการณ์ ESD จะสามารถนำกลุ่มผลิตภัณฑ์ที่คาดว่าได้รับความเสียหายมาตรวจสอบได้ตรงกลุ่มมากขึ้นทั้งยังลดเวลาในการหยุดดำเนินงานของสายงานการผลิตได้ในอีกทาง

จากปัญหาดังกล่าวได้มีการคิดค้น (ESD event locator system: EELS) (Lin et al., 1998) เพื่อใช้ในการระบุตำแหน่งโดยอาศัยข้อมูล (Time of Arrival: ToA) ที่เสาอากาศทั้งสี่จุด ให้ผลคำตอบของพิกัดที่มีความละเอียด น้อยกว่า 1 เซนติเมตรในพื้นที่ 0.5 ตารางเมตร แต่วิธีนี้จำเป็นจะต้องใช้เครื่องมือที่มีแบนด์วิธที่สูงเพื่อให้สามารถตรวจวัดเวลาในการมาถึงของสัญญาณแต่ละเสาได้ ส่งผลให้ระบบจะต้องใช้อุปกรณ์ที่มีราคาแพงและประสิทธิภาพในการประมวลสัญญาณที่สูง

ผู้วิจัยได้ศึกษาหาแนวทางในการตรวจหาตำแหน่ง ESD ด้วยกระบวนการตรวจวัดความแรงของสัญญาณ EMI ในขั้นต้นจะเป็นการศึกษาคุณลักษณะของการแผ่ EMI ที่มาจากเหตุการณ์ ESD ว่ามีแนวโน้มเป็นอย่างไรเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงระยะห่างระหว่างจุดเกิดเหตุการณ์ ESD และตัวตรวจจับ ได้เป็นความสัมพันธ์ระหว่างความแรงของสัญญาณ EMI กับระยะห่างของตัวตรวจจับกับจุดเกิดเหตุการณ์ แล้วจึงนำความ

สัมพันธ์ดังกล่าวไปใช้ในกระบวนการหาตำแหน่งของจุดเกิดเหตุการณ์ ESD ได้ โดยใช้ระเบียบวิธีหาตำแหน่งด้วยวงกลมสามวง(Trilateration) (Manolakis et al., 2006) ที่เป็นพื้นฐานของระบบกำหนดตำแหน่งบนโลก (Global positioning system : GPS) ในบทความนี้จะเป็นการประยุกต์ใช้หลักการดังกล่าวมาใช้ในการหาพิกัดจุดเกิดเหตุการณ์ ESD โดยการใช้ข้อมูลของความแรงของการรบกวนทางแม่เหล็ก

ทฤษฎีและหลักการ

1. เหตุการณ์คายประจุไฟฟ้าสถิต

เหตุการณ์คายประจุไฟฟ้าสถิต (Electrostatic Discharge : ESD) เป็นกลไกที่เกิดขึ้นเพื่อส่งถ่ายประจุระหว่างวัตถุที่มีศักย์ทางไฟฟ้าสถิต (Electrostatic Voltage) แตกต่างกันเพื่อให้วัตถุทั้งสองมีศักย์ทางไฟฟ้าสถิตที่เท่ากันซึ่งโดยทั่วไปแล้วมักเป็นการคายประจุที่สะสมอยู่บนพื้นผิววัตถุลงสู่กราวด์ของพื้นโลก การเกิดเหตุการณ์ ESD เกิดขึ้นอยู่รอบตัวของกิจกรรมในชีวิตประจำวันที่มีการสัมผัสหรือแยกจากระหว่างวัตถุ ความรุนแรงในการเกิดเหตุการณ์ ESD แต่ละครั้งมีปัจจัยที่กำหนดดังนี้ ระดับของศักย์ทางไฟฟ้าสถิต ขั้วของประจุไฟฟ้าที่สะสม รูปร่างของวัตถุและคุณสมบัติของพื้นผิวที่สัมผัสกัน ESD มักเกิดขึ้นในเวลาสั้นๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการดิสชาร์จที่แรงดันต่ำ ปัจจัยดังกล่าวจะส่งผลกระทบต่อกระแสของการดิสชาร์จในแต่ละครั้งของเหตุการณ์ ESD กระบวนการเกิดเหตุการณ์ ESD ในทุกๆ ครั้งจะเกิด EMI ลักษณะรูปคลื่นของสัญญาณ EMI ที่แพร่มาจากการเกิดเหตุการณ์ ESD จะมีองค์ประกอบของคลื่นความถี่สูง ที่มีความถี่ไม่เกิน 6 GHz (Tonoya et al., 1993) เราสามารถหาความเข้มของสนามไฟฟ้าที่แพร่กระจายอันมีสาเหตุจากเหตุการณ์ ESD ด้วยสมการไดโพลโมเดล(Wilson and Ma, 1991) (Wilson et al., 1988) (Changqing et al., 2003) ซึ่งเป็นการจำลองความเข้มของสนามไฟฟ้าที่จุดใดๆ ที่เป็นผลมาจากการเกิดเหตุการณ์ ESD โดยถือว่าช่องว่างของการดิสชาร์จ

(Spark Gap) เปรียบเสมือนเสาอากาศแบบไดโพล การแพร่สนามไฟฟ้างกล่าวหาได้ดังนี้

$$E_z(t) = -\frac{\mu_0 c l}{4\pi} \left[\frac{c}{r^3} \int_0^t i(t) dt + \frac{1}{r^2} i(t) + \frac{1}{cr} \frac{di(t)}{dt} \right] \quad (1)$$

$$\text{เมื่อ} \quad c = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \epsilon_0}} = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$$

สมการ (1) เป็นการหาคำตอบของความเข้มสนามไฟฟ้าระหว่างจุด O และจุด O' มีระยะห่างระหว่างจุดดังกล่าวเท่ากับ r ซึ่งหมายถึงระยะทางระหว่างจุดเกิดเหตุการณ์ ESD และจุดสังเกตการณ์ โดยค่า μ_0 เป็นค่าความซึมได้ของแม่เหล็ก (magnetic permeability) ในสภาพไร้สิ่งกีดขวาง (Free Space) จะเห็นได้ว่าความเข้มของสนามไฟฟ้าที่แพร่จากเหตุการณ์ ESD ขึ้นกับปัจจัยสองชนิดนั่นคือกระแสของการดิสชาร์จ และระยะทางจากจุดเกิดเหตุการณ์ ในส่วนนี้จะเน้นประเด็นที่นำมาประยุกต์ใช้ในการประเมินระยะทางจากจุดเกิดเหตุการณ์ ESD ได้

2. EMF ที่รับได้จากเหตุการณ์ ESD

เสาอากาศตั้งอยู่ ณ ตำแหน่งใดๆ เมื่อมีสนามแม่เหล็กไฟฟ้าแพร่กระจายผ่านเสา หรือตกกระทบลง ณ เสาอากาศดังกล่าวจะเกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าขึ้นที่ตัวนำของเสาอากาศดังกล่าว ซึ่งเป็นหลักการพื้นฐานที่ใช้ในการสื่อสารผ่านคลื่นวิทยุในปัจจุบัน เราสามารถคำนวณเพื่อหาแรงเคลื่อนไฟฟ้า (Electromotive Force : EMF) ที่เสาอากาศได้ จากสมการหาค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้า (Lin et al., 1998) เมื่ออ้างอิงการแพร่ของสนามจากหัวข้อที่ผ่านมาในสมการที่ 1 ดังนั้นจึงสามารถวัดค่าความแรงของสนามไฟฟ้า ณ ตำแหน่งใดๆ ได้โดยการวัดแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ได้จากเสาอากาศรับได้ ซึ่งสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการประมาณระยะห่างระหว่างจุดเกิดเหตุการณ์ ESD และเสาอากาศได้ เพราะเมื่อเกิดเหตุการณ์ ESD จะมีการแพร่สนามไฟฟ้าเมื่อสนามไฟฟ้าจากการแพร่ดังกล่าวเคลื่อนผ่านเสาอากาศจะเกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าอันมีความสัมพันธ์โดยตรงกับกระแสของการดิสชาร์จและระยะห่างระหว่างจุดเกิดเหตุการณ์

ESD และเสาอากาศ ดังนั้นขั้นตอนเหล่านี้จะเป็นกระบวนการที่ทำให้สามารถตรวจสอบถึงระยะจากจุดเกิดเหตุการณ์ ESD เมื่อนำสมการหาค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าพื้นฐานมาปรับปรุงโดยคิดเฉพาะบริเวณสนามไกล (Far Field) เพื่อให้สะดวกต่อการคำนวณจะได้สมการที่ใช้ในการหาค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าจากเสาอากาศชนิดไดโพลดังสมการที่ 2

$$EMF = -L \frac{2dl}{c} \frac{1}{cr} \left\{ \left(\frac{z^2}{r^2} - 1 \right) \cos \theta - \frac{xz}{r^2} \sin \theta \right\} \frac{\partial i}{\partial t} \quad (2)$$

นำสมการ (2) แปลงพิกัดเป็นพิกัดทรงกระบอก

$$EMF = A(r, \theta, \varphi) \left\{ dl \frac{\partial i}{\partial t} \right\} \quad (3)$$

จากสมการ (3) ทำให้ได้ค่า EMF ที่เกิดขึ้นจากเสาอากาศเป็นสมการที่ประกอบด้วยสองส่วนคือรูปร่าง (Shape) และ แอมพลิจูด ในส่วนรูปร่างของ EMF เป็นพจน์ของ $\partial i / \partial t$ และส่วนของสัมประสิทธิ์แอมพลิจูดเป็นพจน์ของ $A(r, \theta, \varphi)$ ซึ่งส่วนนี้จะทำให้เกิดความแตกต่างกันของแอมพลิจูดของ EMF ในกรณีที่เสาอากาศรับสัญญาณอยู่คนละพิกัดตำแหน่ง จึงสามารถนำไปใช้เป็นข้อมูลในการหาตำแหน่งของจุดเกิดเหตุการณ์ ESD ได้ ในบทความนี้จะใช้จำนวนเสาอากาศทั้งสิ้นสี่ตัวเพื่อหาคำตอบพิกัดตำแหน่งของจุดเกิดเหตุการณ์ ESD

3. Trilateration

ระบบระบุพิกัดตำแหน่งในปัจจุบันที่เห็นได้ชัดเจนที่สุดคือ GPS ซึ่งมีกระบวนการหาตำแหน่งโดยใช้ดาวเทียมในการอ้างอิงข้อมูลอย่างน้อย 3 ดวงเพื่อหาพิกัดตำแหน่งในแนวระนาบสองมิติ กระบวนการดังกล่าวอาศัยการคำนวณหาตำแหน่งด้วยวงกลมสามวง (Trilateration) เป็นระเบียบวิธีที่ใช้อย่างแพร่หลายในระบบค้นหาคำแหน่ง พื้นฐานของ Trilateration เปรียบเทียบการวาดวงกลมสามรูปโดยแต่ละวงมีรัศมีเป็น r_1 , r_2 และ r_3 ดังรูปที่ 1 วงกลมแต่ละวงจะมีพื้นที่ที่ทับซ้อนซึ่งกันและกัน บริเวณที่มีการทับซ้อนกันของวงกลมทั้งสามวงถือเป็นบริเวณที่ให้คำตอบของการประเมินพิกัดตำแหน่งด้วยระเบียบวิธี Trilateration การหาพิกัดตำแหน่งด้วยระเบียบวิธี Trilateration สามารถแสดงได้โดย

$$r_1^2 = x^2 + y^2 \quad (4)$$

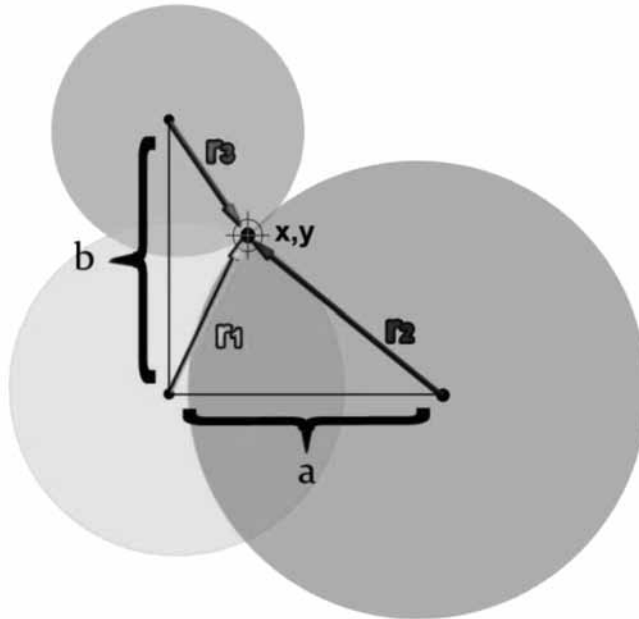
$$r_2^2 = (x-a)^2 + y^2 \quad (5)$$

$$r_3^2 = x^2 + (y-b)^2 \quad (6)$$

กำหนดให้วงกลม P_1 , P_2 และ P_3 มีรัศมี r_1 , r_2 และ r_3 โดย P_1 มีจุดศูนย์กลางที่จุดกำเนิด P_2 มีจุดศูนย์กลางที่ $(a, 0)$ และ P_3 มีจุดศูนย์กลางที่ $(0, b)$ แก้สมการ (4)-(6) เพื่อหาค่าพิกัด x และ y ได้ดังนี้

$$x = \frac{r_1^2 - r_2^2 + a^2}{2a} \quad (7)$$

$$y = \frac{r_1^2 - r_3^2 + b^2}{2b} \quad (8)$$



รูปที่ 1. พื้นฐานของ Trilateration (Manolakis et al.,2006)

ในทางอุดมคติผลคำตอบของระเบียบวิธี Trilateration จะมีเพียงคำตอบเดียวคือรัศมีของวงกลมนั้นไม่มีความคลาดเคลื่อน ในกรณีที่นำมาประยุกต์ใช้งานอาจเกิดความคลาดเคลื่อนในการประเมินรัศมีของวงกลมแต่ละวงได้ อีกทั้งการคำนวณ จะส่งผลต่อคำตอบของพิกัดตำแหน่งให้มีความผิดพลาดเกิดขึ้นได้

การทดลอง

ในบทความนี้มีการทดลองแบ่งออกเป็นสามหัวข้อคือ ส่วนแรกจะทำการศึกษาลักษณะของกระแสสวิตช์ที่ส่งผลต่อสัญญาณ EMI ส่วนที่สองทำการทดลองวัดค่าแอมพลิจูดของสัญญาณ EMI จากเหตุการณ์ ESD ที่ระยะห่างระหว่างจุดเกิดเหตุการณ์และตัวตรวจวัดต่างกัน ส่วนสุดท้ายจะทำการทดลองวัดค่าแอมพลิจูดของสัญญาณ EMI จากเหตุการณ์ ESD ในพื้นที่สี่เหลี่ยมจัตุรัสเพื่อหาตำแหน่งของจุดเกิดเหตุการณ์ ESD การ

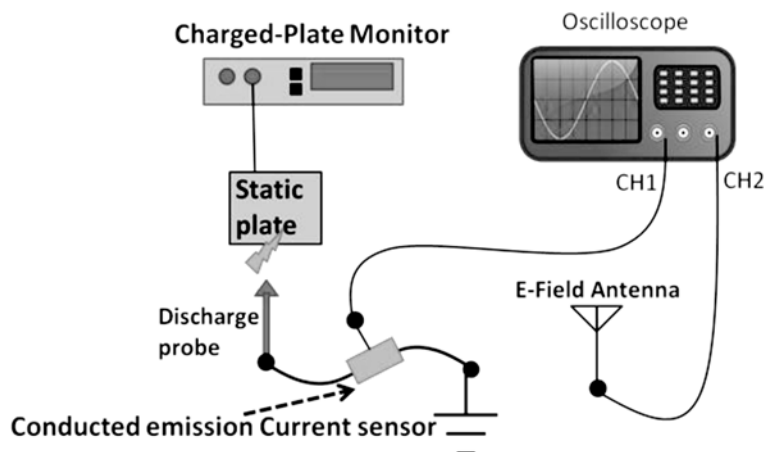
ทดลองทั้งสามจะเป็นการศึกษาลักษณะสัญญาณ EMI ที่แพร่จากการเกิดเหตุการณ์ ESD ดังที่อธิบายมาแล้วข้างต้นเพื่อหาแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณต่อการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งที่จะใช้เป็นข้อมูลที่จะนำไปใช้ในการคำนวณทางคณิตศาสตร์ตรีโกณมิติเพื่อหาคำตอบเป็นพิกัดตำแหน่ง การทดลองทั้งหมดทำการทดลองที่ห้องปฏิบัติการทางด้าน ESD ของ บริษัทซีเกท เทคโนโลยี (ประเทศไทย) จำกัด มีอุปกรณ์ในการทดลองดังนี้

- อุปกรณ์ตรวจจับ ESD-EMI ยี่ห้อ Credence รุ่น EM-AWARE
- ดิจิตอลออสซิลโลสโคป ยี่ห้อ Tektronix รุ่น 684B
- อุปกรณ์ตรวจวัดแผ่นประจุยี่ห้อ TREK รุ่น 156A
- อุปกรณ์เชื่อมต่อสัญญาณแอนะล็อกยี่ห้อ Windaq รุ่น DQ700

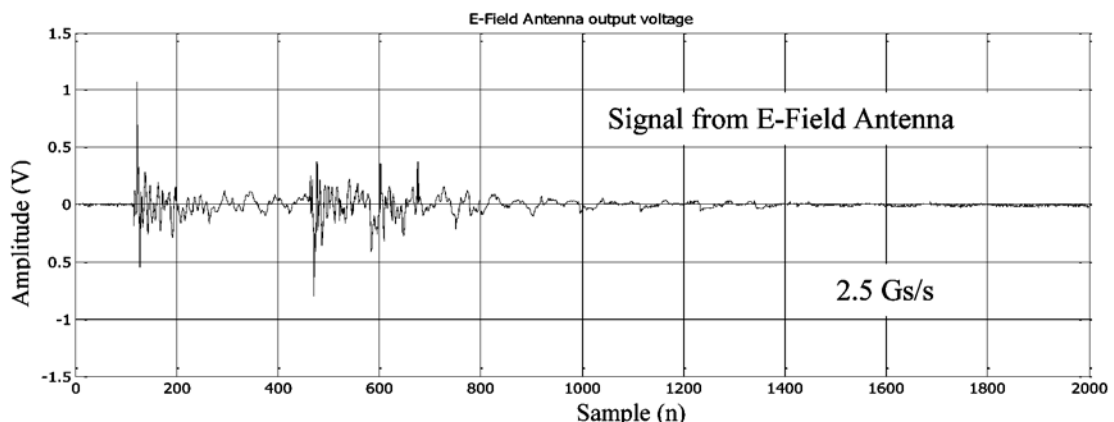
1. การทดลองวัดรูปสัญญาณของ ESD

จากที่ได้กล่าวไว้ในส่วนการหาค่าความเข้มของสนามไฟฟ้าและแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เสาอากาศรับได้ จะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับกระแสของการคายประจุจากเหตุการณ์ ESD ดังนั้นในการทดลองส่วนนี้จะทำการศึกษาถึงคุณลักษณะของสัญญาณในส่วนรูปร่างระหว่างรูปสัญญาณของกระแสคายประจุของเหตุการณ์ ESD และรูปสัญญาณของ EMI ที่เสาอากาศรับได้ ในการทดลองจะจำลองการเกิดเหตุการณ์ ESD ด้วย อุปกรณ์ตรวจวัดแผ่นประจุ (Charged Plate Monitor) ที่แรงดัน 100 โวลต์ วัดกระแสของการคายประจุด้วยอุปกรณ์วัดกระแสจาก

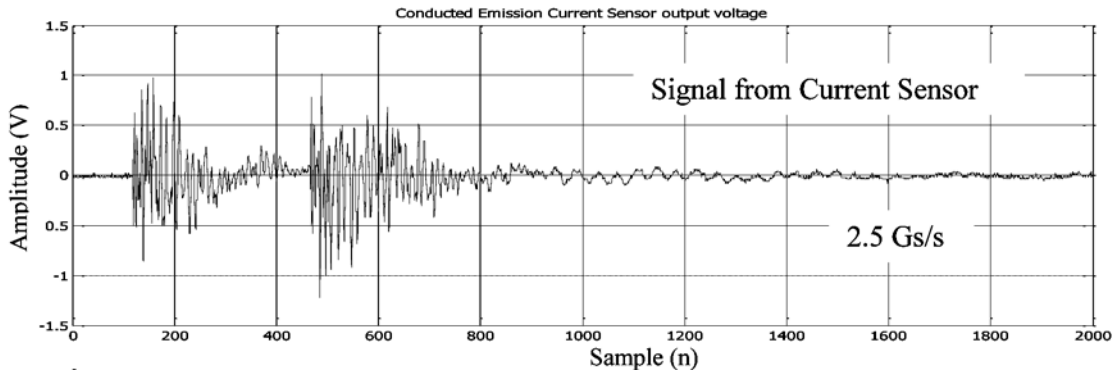
การเหนี่ยวนำของสนามไฟฟ้า (Conducted Emission Current Sensor) ที่ทำหน้าที่แปลงกระแสที่ไหลผ่านสายไฟที่นำมาคล้องไว้กับอุปกรณ์ดังกล่าวให้เป็นแรงดันซึ่งจะสามารถทำงานที่ความถี่สูงได้ โดยต่อเข้ากับออสซิลโลสโคปเพื่อสังเกตรูปสัญญาณกระแสที่คายประจุผ่านสายกราวด์และในบริเวณการทดลองจะติดตั้งเสาอากาศสนามไฟฟ้า (E-Field Antenna) สำหรับรับสัญญาณ EMI จากการแผ่ของ ESD ซึ่งจะให้ผลออกเป็นแรงดันที่สัมพันธ์กับค่าของแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เสาอากาศ ส่วนนี้จะใช้สังเกตรูปสัญญาณ EMI การจัดวางอุปกรณ์ในการทดลองดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2. การจัดวางอุปกรณ์ในการทดลองวัดรูปสัญญาณกระแสคายประจุและสัญญาณจากการแผ่ EMI ของ ESD



รูปที่ 3. สัญญาณจากเสาอากาศสนามไฟฟ้าเมื่อเกิดเหตุการณ์ ESD



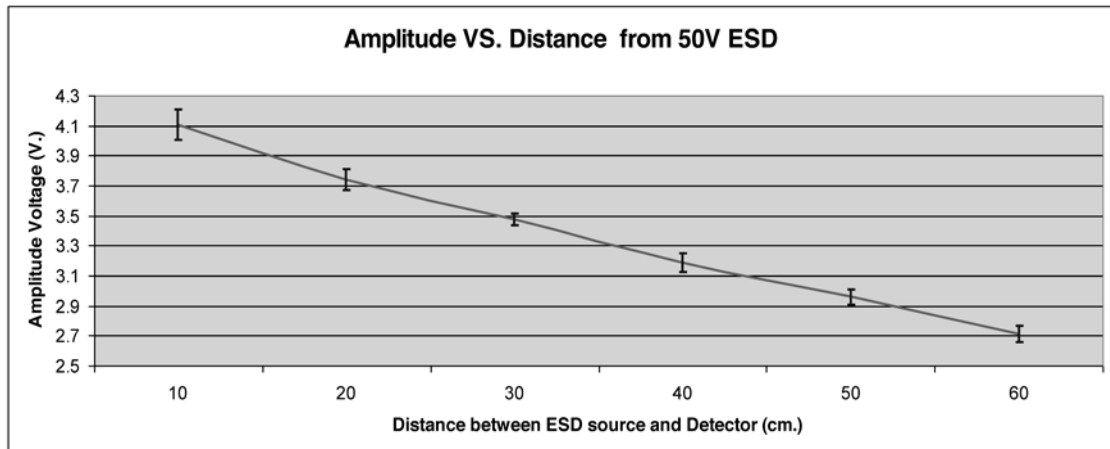
รูปที่ 4. สัญญาณจากอุปกรณ์วัดกระแสจากการเหนี่ยวนำของสนามไฟฟ้าเมื่อเกิดเหตุการณ์ ESD

จากผลการทดลองในรูปที่ 3 คือสัญญาณที่ได้จากอุปกรณ์วัดกระแสจากการเหนี่ยวนำของสนามไฟฟ้า และในรูปที่ 4 คือสัญญาณจากเสาอากาศสนามไฟฟ้าเป็นตัวอย่างที่ได้จากการทดลอง จากผลการทดลองเมื่อนำข้อมูลสัญญาณกระแสดิสชาร์จ และสัญญาณจากการแพร่ EMI ของ ESD ทำการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation) ของสัญญาณทั้งสองพบว่า มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.25139 ซึ่งหมายถึงสัญญาณทั้งสองนั้นมีความเกี่ยวข้องกันในเชิงรูปร่างของสัญญาณ ในส่วนนี้สามารถพิสูจน์ความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณกระแสดิสชาร์จ และสัญญาณจากการแพร่ EMI ว่ามีความเกี่ยวพันกันโดยตรง

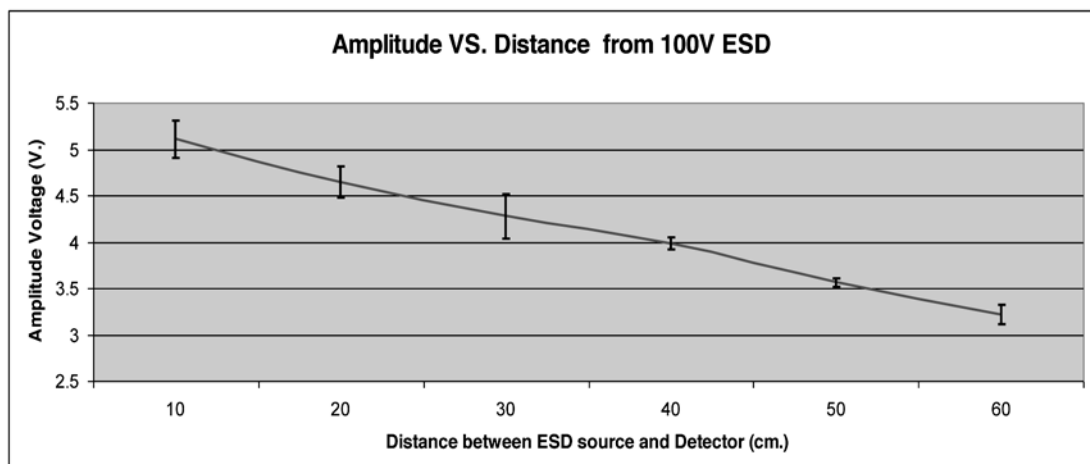
2. การวัดค่าแอมพลิจูดของสัญญาณ EMI จากเหตุการณ์ ESD ที่ระยะห่างระหว่างจุดเกิดเหตุการณ์และตัวตรวจวัดต่างกัน

ทำการทดลองวัดสัญญาณจาก ตัวตรวจวัด EMI โดยทำการเชื่อมต่อตัวตรวจวัด EMI เข้ากับอุปกรณ์

เชื่อมต่อสัญญาณแอนะล็อก (Data Acquisition) แล้วทำการบันทึกข้อมูลแอมพลิจูดของสัญญาณ EMI ที่เกิดจากการแพร่ของการเกิด ESD การทดลองเป็นการศึกษาถึงความสัมพันธ์ของแอมพลิจูดของสัญญาณ EMI จาก ESD กับระยะห่างว่าจะมีแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงเป็นในรูปใดเพื่อให้สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับการประมาณระยะห่างของจุดเกิดเหตุการณ์ ESD วิธีการทดลองจะใช้การจำลองการเกิดเหตุการณ์ ESD ด้วยอุปกรณ์ตรวจวัดแผ่นประจุ ซึ่งสามารถสร้างประจุบนผิวของแผ่นวัดประจุในระดับแรงดันต่างๆได้ตั้งแต่ 1 – 1000 โวลต์ ในการทดลองนี้จะแบ่งการทดลองที่ สองระดับแรงดันคือ 50 โวลต์ และ 100 โวลต์ทำการดิสชาร์จประจุที่สะสมบนแผ่นประจุลงสู่กราวด์ด้วยแบบจำลองการดิสชาร์จผ่านเครื่องจักร (Machine model : MM) (Steinman et al., 1999) กำหนดจุดที่ทำการดิสชาร์จ ตั้งแต่ 10 – 60 เซนติเมตร เพิ่มครั้งละ 10 เซนติเมตร โดยเก็บข้อมูลจุดละ 20 ครั้ง เพื่อทำการหาค่าเฉลี่ยข้อมูลได้ ผลการทดลองดังรูปที่ 5 และ 6



รูปที่ 5. ผลการทดลองแอมพลิจูดของสัญญาณ EMI ที่ระยะต่างๆจาก ESD ระดับ 50 โวลต์



รูปที่ 6. ผลการทดลองแอมพลิจูดของสัญญาณ EMI ที่ระยะต่างๆจาก ESD ระดับ 100 โวลต์

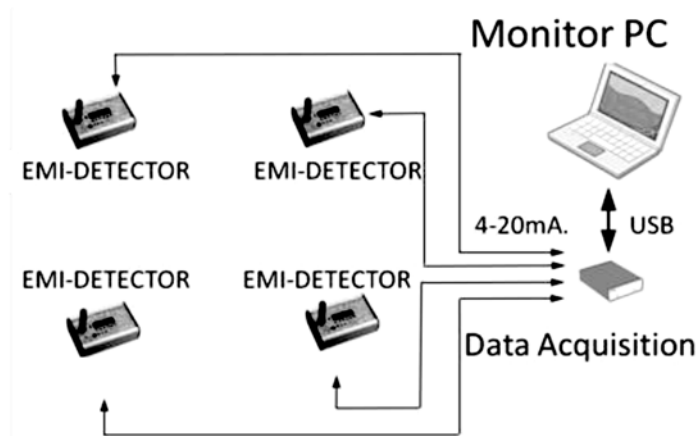
จากแผนภาพทั้งสองเห็นได้อย่างชัดเจนว่า แอมพลิจูดของสัญญาณ EMI ที่ได้จากอุปกรณ์ตรวจจับ ESD-EMI มีความสัมพันธ์กับระยะทางในบริเวณที่ทำการทดลอง โดยที่แอมพลิจูดจะลดลงเมื่อระยะทางมากขึ้นโดยมีแนวโน้มที่ชัดเจนซึ่งสามารถนำไปใช้ในกระบวนการประมาณระยะห่างระหว่างจุดเกิดเหตุการณ์ ESD กับตัวตรวจจับได้ จากผลการทดลองนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการระบุตำแหน่งที่เกิดเหตุการณ์ ESD ได้

3. การวัดแอมพลิจูดจากตัวตรวจจับทั้ง 4 ตัว

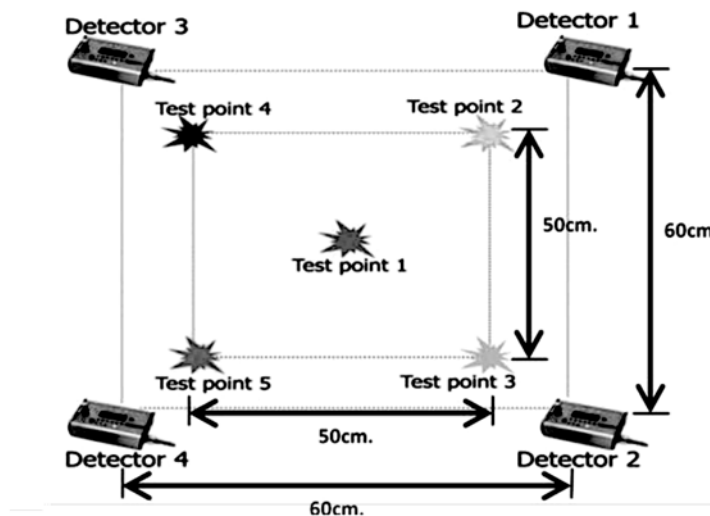
การทดลองนี้จะเป็นการศึกษาลักษณะของสัญญาณที่ได้จากตัวตรวจวัด EMI ที่มีขนาดของแรงดันเอาต์พุตแปรตามแอมพลิจูดของสัญญาณ EMI ที่เกิดจาก ESD จากการทดลองก่อนหน้านี้ที่ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงของแอมพลิจูดของสัญญาณ EMI เมื่อเทียบกับระยะห่างระหว่างจุดเกิดเหตุการณ์ ESD และ เสาอากาศของ ตัวตรวจวัด EMI ทำให้ทราบว่าเมื่อระยะทางเพิ่มขึ้นความแรงของสัญญาณ EMI จะ

ลดลงแปรผกผันกับระยะทาง ดังนั้นจึงสามารถนำข้อมูลส่วนนี้มาทำการหาตำแหน่งของจุดเกิดเหตุการณ์ ESD ได้ ในกระบวนการหาตำแหน่งจะต้องใช้ข้อมูลของระยะห่างระหว่างจุดเกิดเหตุการณ์ ESD และเสาอากาศสามข้อมูลเป็นอย่างน้อยในการคำนวณหาพิกัด เพื่อนำไปคำนวณตามระเบียบวิธี Trilateration ดังนั้นในการทดลองนี้จะทำการทดลองเก็บข้อมูลของแอมพลิจูดที่ได้จากตัวตรวจวัด EMI โดยในการทดลองจะใช้ตัวตรวจวัด EMI จำนวน 4 ตัววางที่มุมทั้งสี่ของพื้นที่สี่เหลี่ยมจัตุรัส

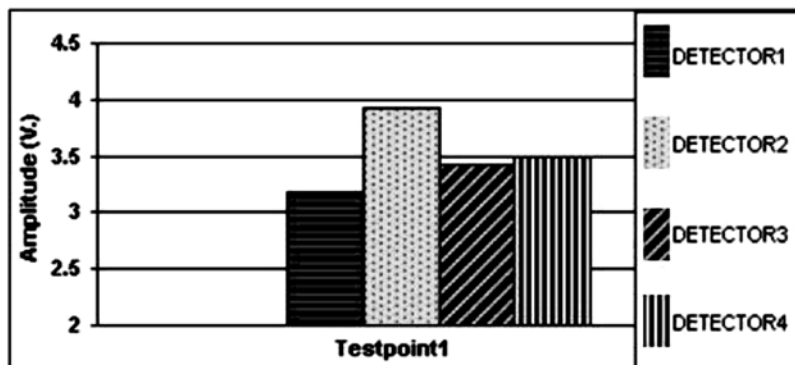
ขนาด 60 เซนติเมตร x 60 เซนติเมตร และทำการจำลองการเกิดเหตุการณ์ ESD ด้วยอุปกรณ์ Charge plate monitor สร้างเหตุการณ์ ESD ที่แรงดัน 50 โวลต์ ในรูปแบบ Machine Model ตัวตรวจจับทั้งสี่เชื่อมต่อกับอุปกรณ์ Data acquisition ด้วยการเชื่อมต่อแบบ 4-20 mA และส่งข้อมูลที่ทำแปลงเป็นข้อมูลดิจิทัลแล้วส่งข้อมูลไปยังคอมพิวเตอร์ด้วยการเชื่อมต่อทาง USB ทำการเก็บข้อมูลทั้งหมด 5 จุด ภายในพื้นที่สี่เหลี่ยมจัตุรัสดังรูปที่ 7 และรูปที่ 8 แต่ละจุดมีการเฉลี่ยข้อมูล 20 ชุดข้อมูล



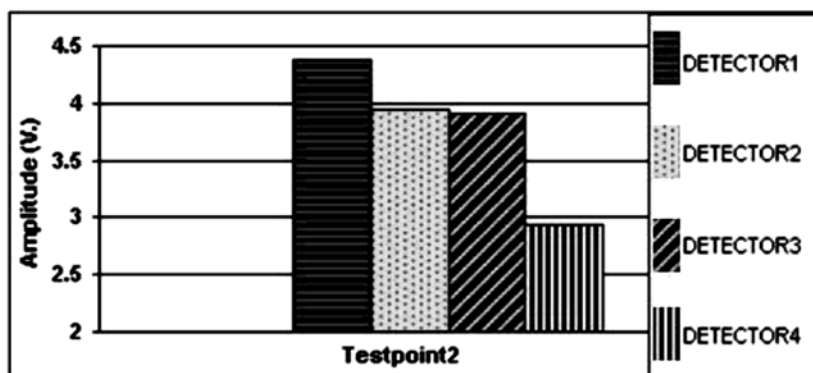
รูปที่ 7. ฟังการเชื่อมต่ออุปกรณ์ในการทดลองวัดค่าแอมพลิจูดจากตัวตรวจวัด EMI ทั้งสี่ตัว



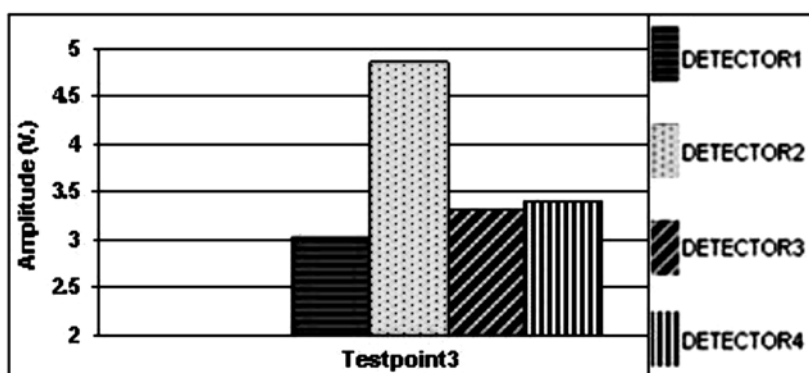
รูปที่ 8. ฟังการจัดวางตัวตรวจจับในการทดลองวัดค่าแอมพลิจูดจากตัวตรวจวัด EMI ทั้งสี่ตัว



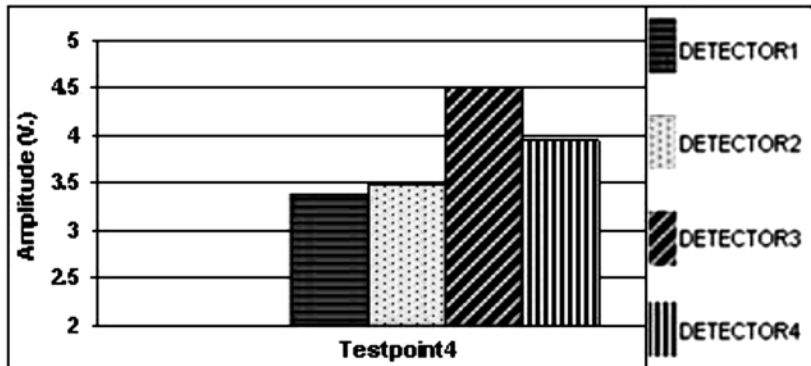
รูปที่ 9. ผลการทดลองที่ Test point 1



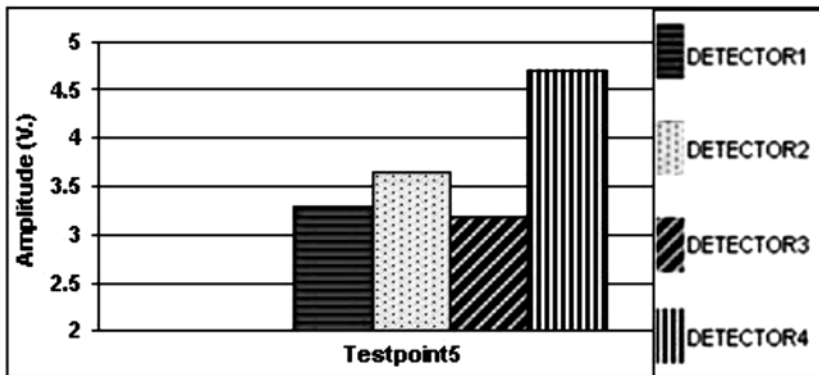
รูปที่ 10. ผลการทดลองที่ Test point 2



รูปที่ 11. ผลการทดลองที่ Test point 3



รูปที่ 12. ผลการทดลองที่ Test point 4



รูปที่ 13. ผลการทดลองที่ Test point 5

หลังจากได้ชุดข้อมูลดังแสดงในรูปที่ 9-13 ทำให้เห็นแนวโน้มที่ชัดเจนของลักษณะแอมพลิจูดจากตัวตรวจจับทั้งสี่ตัวที่มีขนาดแปรผกผันตามระยะจากจุดเกิดเหตุการณ์ ESD ต่อจากนั้นจะนำข้อมูลดังกล่าวไปหา

คำตอบของพิกัดจุดเกิดเหตุการณ์ ESD ด้วยระเบียบวิธี Trilateration ตามสมการ (7) และ (8) ที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้นได้ผลการคำนวณหาตำแหน่งดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1. ผลการคำนวณพิกัดตำแหน่ง

Test point	Calculation Value (cm.)	Real Position (cm.)	Error Distance (cm.)
1	(27.33 , -32.47)	(30 , -30)	3.63
2	(48.58 , -9.74)	(50 , -10)	1.44
3	(45.82 , -44.94)	(50 , -50)	6.56
4	(8.88 , -9.64)	(10 , -10)	2.15
5	(7.13 , -38.94)	(10 , -50)	7.62

*Origin at Detector 3

ข้อมูลในตารางที่ 1 ทำให้ทราบถึงผลการทำงานของระบบตรวจหาจุดเกิดเหตุการณ์ ESD ที่มีค่าความคลาดเคลื่อนของผลคำตอบที่ไม่สูงมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในจุดทดลอง Test point 2 ค่าแอมพลิจูดที่วัดได้เมื่อนำไปคำนวณตามสมการ Trilateration ให้คำตอบที่มีความคลาดเคลื่อนไปจากจุดจริงเพียง 1.44 เซนติเมตร โดยที่ค่าเฉลี่ยของความผิดพลาดอยู่ที่ 4.28 เซนติเมตร ส่วนที่จุดทดลอง Test point 4 ที่มีค่าเฉลี่ยความผิดพลาดสูงสุดที่ 7.62 เซนติเมตร ทั้งนี้อาจเป็นผลจากการประเมินระยะห่างระหว่างจุดเกิดเหตุการณ์ ESD ผิดพลาดที่ตัวตรวจจับตัวใดตัวหนึ่งหรือมากกว่า จึงทำให้ผลของความผิดพลาดสูงขึ้นมาก

สรุป

บทความนี้ได้ออกแบบระบบตรวจหาจุดเกิดเหตุการณ์ ESD โดยอาศัยข้อมูลแอมพลิจูดของสัญญาณ EMI ที่เกิดจากการแพร่ของเหตุการณ์ ESD โดยใช้กระบวนการ Trilateration ในการหาคำตอบพิกัดตำแหน่ง จากผลการทดลองและศึกษาได้พบว่า แอมพลิจูดของสัญญาณ EMI ที่เกิดจากเหตุการณ์ ESD มีการแปรเปลี่ยนตามระยะจากจุดเกิดเหตุการณ์ ESD จึงสามารถนำไปใช้ในการประเมินระยะระหว่างจุดเกิดเหตุการณ์กับตัวตรวจวัด EMI ได้ เมื่อได้ข้อมูลดังกล่าวจากตัวตรวจวัด EMI อย่างน้อยสามตัวสามารถนำไป

คำนวณหาพิกัดตำแหน่งด้วยระเบียบวิธี Trilateration ซึ่งสามารถให้คำตอบได้ใกล้เคียงค่าจริงโดยมีค่าความผิดพลาดของผลคำตอบต่ำสุดที่ 1.44 เซนติเมตร และเฉลี่ยที่ 4.28 เซนติเมตร ถือเป็นกระบวนการที่ให้ความถูกต้องของข้อมูลในระดับที่น่าพอใจ แต่อย่างไรก็ดีในบางจุดที่ทำการทดลองมีความผิดพลาดสูงอันเนื่องมาจากความผิดพลาดสะสมจากกระบวนการประเมินระยะห่างในขั้นต่อไปจะเป็นกระบวนการในการจัดการสัญญาณที่มีความแปรปรวน อย่างเช่นโครงข่ายประสาทเทียม (Neural Networks) มาเพิ่มเติมเพื่อให้ได้คำตอบใกล้เคียงความถูกต้องมากยิ่งขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจากศูนย์วิจัยร่วมเฉพาะทางด้านส่วนประกอบฮาร์ดแวร์ ใครพี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น และศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ ในโครงการ การพัฒนาระบบตรวจหาจุดที่เกิดเหตุการณ์การคายประจุไฟฟ้าสถิตแบบไร้สายสำหรับสายงานการผลิตฮาร์ดแวร์ และบริษัทเทค เทคโนโลยี (ประเทศไทย) จำกัดในการสนับสนุนสถานที่ในการทดลองรวมทั้งเครื่องมือทั้งหมดที่ใช้ในงานวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

- Changqing, Z., Shanghe, L. and Ming, W. 2003. A Study on the Field Radiated by ESD. **Proceedings of Asia-Pacific Conference on Environmental Electromagnetic**. pp.209 – 212.
- Lin, D. L., DeChiaro, L. F., Jon, M.C. 1998. A Robust ESD Event Locator System with Event Characterization. **Journal of Electrostatics**. Vol.44. pp.59-175.
- Manolakis, D.E. 2006. Efficient Solution and Performance Analysis of 3-D Position Estimation by Trilateration. **IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems**. Vol. 42. pp.1405 – 1419.
- Steinman, A., Bernier, J., Boehm, D., Albano, T., Tan, W. and Pritchard, D. 1999. Test Methodologies for Detecting ESD Events in Automated Processing Equipment. **Proceedings of Electrical Overstress/Electrostatic Discharge (EOS/ESD) Symposium 1999**. pp.168-177.
- Tonoya, Y., Watanabe, K. and Honda, M. 1993. Impulsive ESD Noise Occurred from an Office Chair. **EOS/ESD Symposium Proceedings**. EOS-15.
- Wilson, P.F. and Ma, M.T. 1991. Fields Radiated from ESD. **IEEE Transactions on EMC**. Vol.33. pp.187– 196.
- Wilson, P.F., Ondrjka, A.R., Ma, M.T. and Ladbury, J.M. 1988. Electromagnetic Fields Radiated from Electrostatic Discharges -Theory and Experiment. NTIS Technical Report.