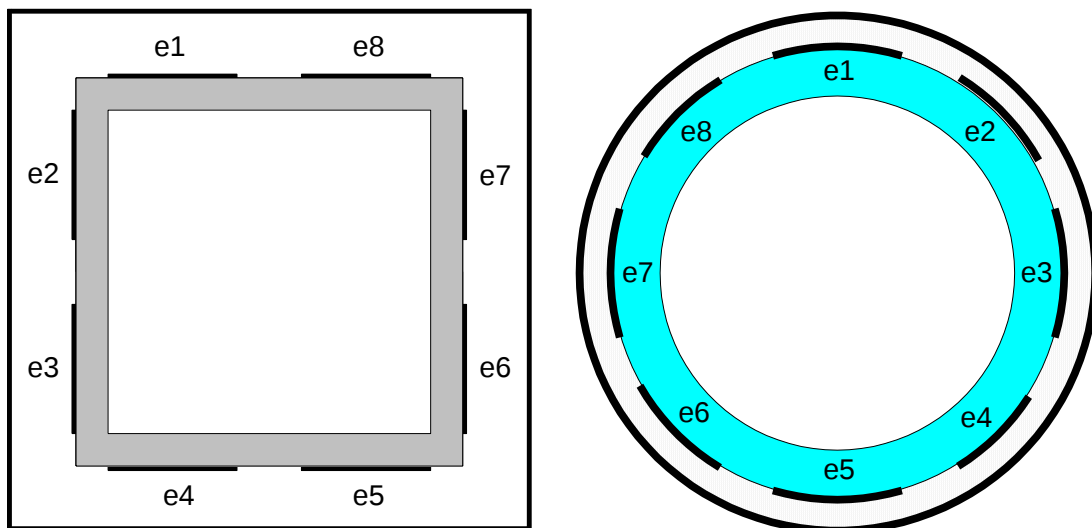


บทที่ 5

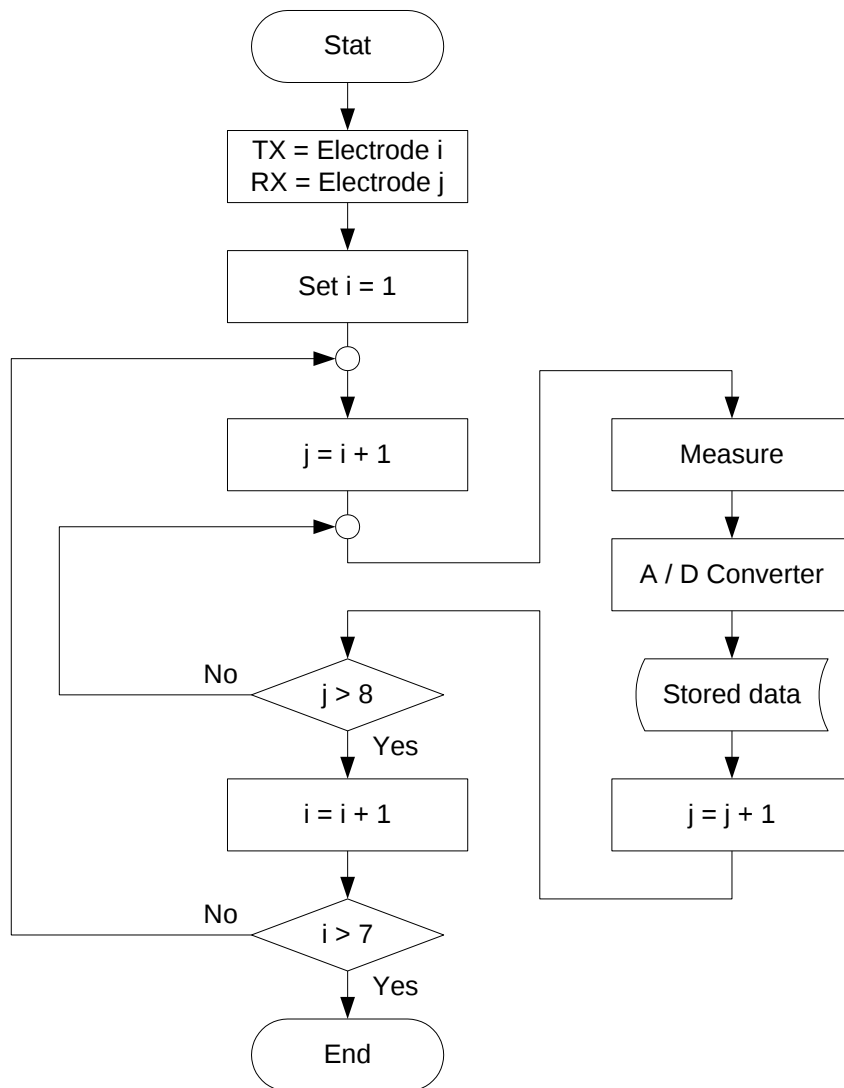
การทดลองและผลการทดลอง

5.1 รูปแบบการวัดค่าความจุไฟฟ้า

วิธีการหาค่าความจุไฟฟ้าในระบบ ECT ทำได้โดยให้อิเล็กโทรดเพียง 1 อิเล็กโทรดเป็นแหล่งจ่ายสัญญาณไฟฟ้า เรียกว่าอิเล็กโทรดตัวส่ง (Source electrode , TX) และให้อิเล็กโทรดส่วนที่เหลือ เป็นตัวรับ ซึ่งเรียกว่าอิเล็กโทรดตัวรับ (Detecting electrode , RX) และกรอบด้านนอกต่อลงดิน(Ground)จากนั้นหาค่าความจุไฟฟ้าระหว่างคู่อิเล็กโทรดต่างๆในลำดับดังต่อไปนี้คือให้อิเล็กโทรดที่ 1 เป็นอิเล็กโทรดตัวส่ง และให้อิเล็กโทรดส่วนที่เหลือ 2 , 3 , ...,8 รับสัญญาณที่ละตัว และกรอบด้านนอกต่อลงดิน แล้วทำการวัดค่าความจุไฟฟ้าระหว่างคู่อิเล็กโทรด 1-2, 1-3,..., 1-8 จากนั้นให้อิเล็กโทรดที่ 2 เป็นอิเล็กโทรดตัวส่ง และให้อิเล็กโทรดส่วนที่เหลือ 3 , 4 , ...,8 รับสัญญาณที่ละตัวและกรอบด้านนอกต่อลงดิน แล้วทำการวัดค่าความจุไฟฟ้าระหว่างคู่ 2-3, 2-4,..., 2-8 จากนั้นทำการวัดค่าความจุไฟฟ้าด้วยขั้นตอนเช่นเดียวกันจนถึงคู่ 7-8 จะได้ค่าความจุไฟฟ้าทั้งหมด 28 ค่า ซึ่งขั้นตอนทั้งหมดเขียนเป็นอัลกอริทึม แสดงไว้ในรูปที่ 5.2 โดยค่าความจุไฟฟ้าที่ได้จะเป็นค่าที่สัมพันธ์กับลักษณะการกระจายตัวของเพอมีตริวิตีของวัตถุที่อยู่ในตัวเซ็นเซอร์ ซึ่งตำแหน่งของอิเล็กโทรด และการจับคู่อิเล็กโทรดตามขั้นตอนที่กล่าวมาข้างต้นแสดงได้ดังในตารางที่ 5.1



รูปที่ 5.1 รูปภาคตัดขวางของเซ็นเซอร์ทั้งสองแบบ แสดงตำแหน่งของอิเล็กโทรด



รูปที่ 5.2 อัลกอริทึมการวัดค่าความจุไฟฟ้าของระบบ ECT

จำนวนของการหาค่าความจุไฟฟ้าจะขึ้นอยู่กับจำนวนของคู่อิเล็กโทรด โดยถ้ามีอิเล็กโทรดจำนวน N อิเล็กโทรดแล้ว จำนวนคู่ของการหาค่าความจุไฟฟ้าจะเป็นไปตามสมการ (5.1) คือ

$$M = \frac{N(N-1)}{2} \quad (5.1)$$

เมื่อ M คือ จำนวนคู่ของการหาค่าความจุไฟฟ้า ในงานวิจัยนี้มีจำนวนอิเล็กโทรดทั้งหมด 8 อิเล็กโทรด ดังนั้นจำนวนคู่ของการหาค่าความจุไฟฟ้าทั้งหมด คือ 28 คู่

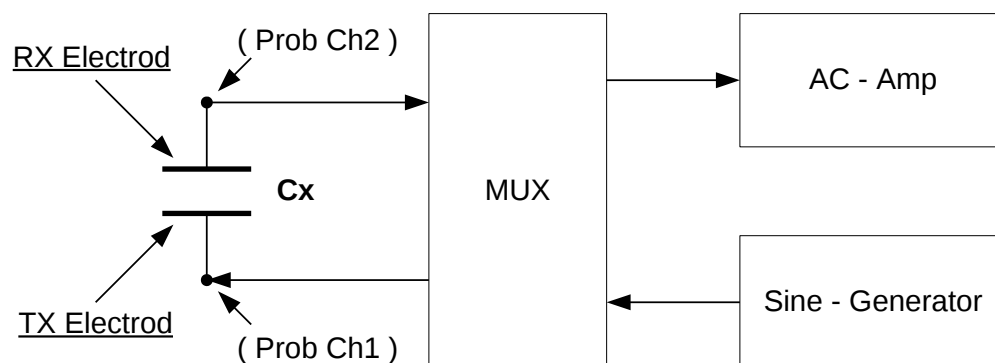
ตารางที่ 5.1 แสดงลำดับการจับคู่ อิเล็กโทรดตัวส่งและตัวรับ

Electrode (i – j)		RX Electrode (j)						
		E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8
TX Electrode (i)	E1	1	2	3	4	5	6	7
	E2		8	9	10	11	12	13
	E3			14	15	16	17	18
	E4				19	20	21	22
	E5					23	24	25
	E6						26	27
	E7							28

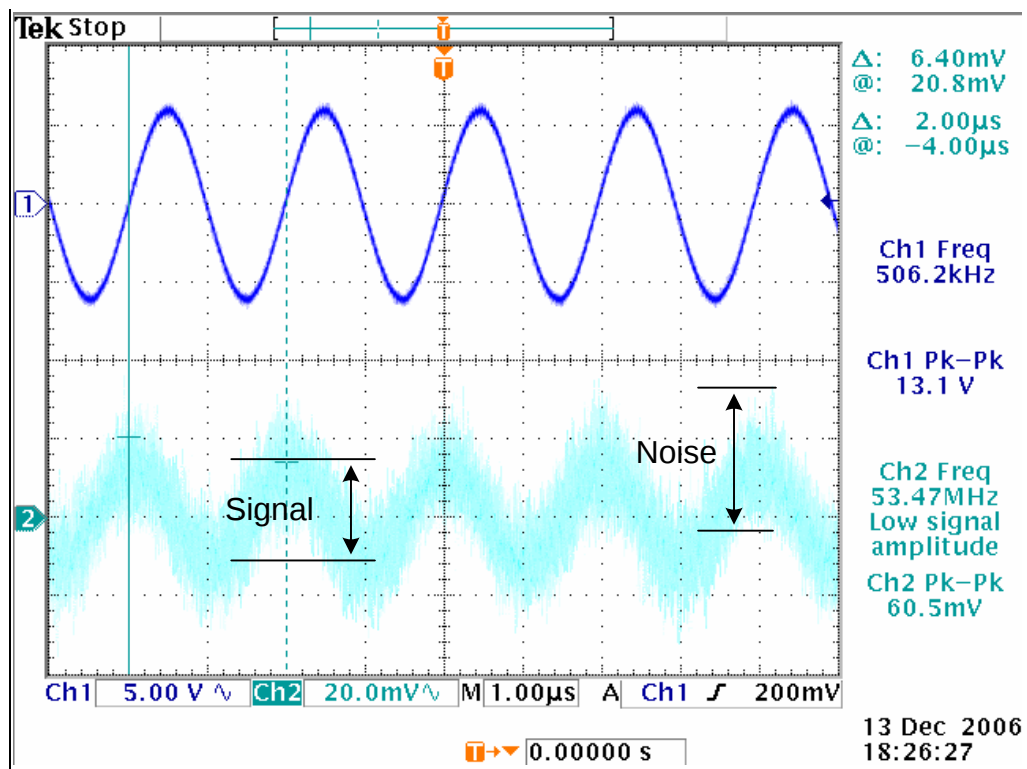
5.2 ขั้นตอนการทดลองและผลการทดลอง

5.2.1 การทดลองการทำงานของระบบ

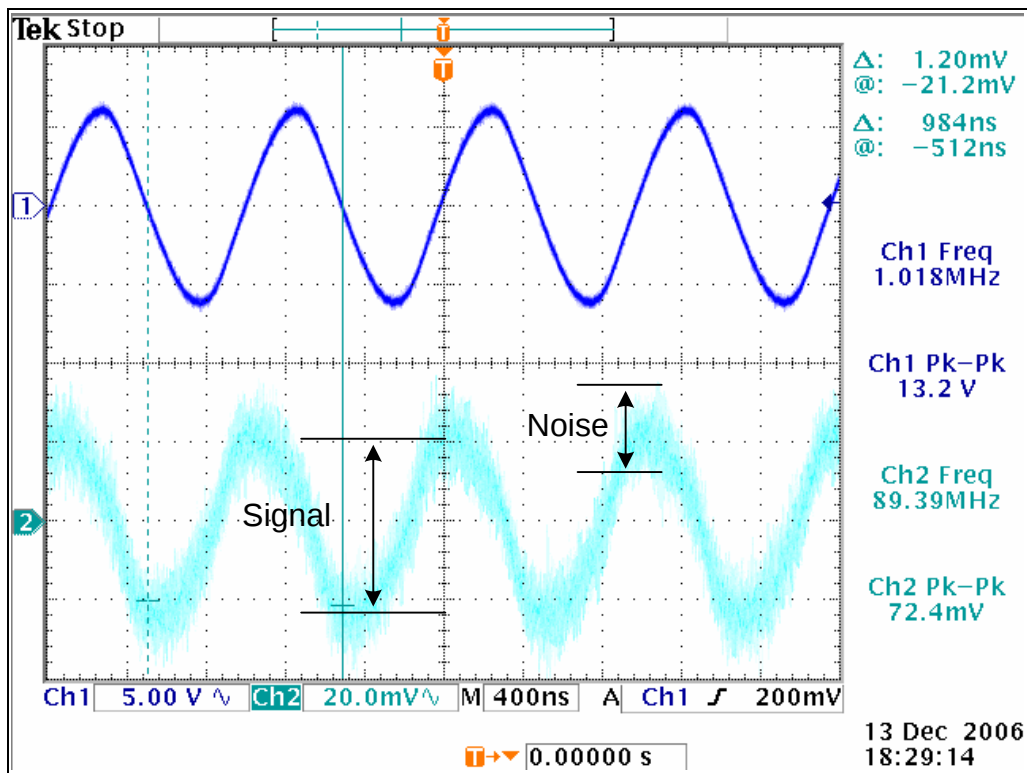
วงจรที่ใช้ในการทดลองนี้ได้ถูกออกแบบไว้ให้มีความยืดหยุ่นในเรื่องของความถี่และขนาดของสัญญาณที่ใช้งานเพื่อให้สามารถปรับเปลี่ยนขนาดของสัญญาณและความถี่ที่เหมาะสมกับค่าความจุไฟฟ้าของคู่อิเล็กโทรด ซึ่งค่าความจุไฟฟ้าของคู่อิเล็กโทรดที่ใช้ทดลองมีค่าอยู่ในช่วง 0.1pf – 3pf วัดโดย HP 4284A เนื่องจากค่าความจุไฟฟ้าของคู่อิเล็กโทรดที่ทดลองมีค่าน้อย ดังนั้นความถี่ที่ใช้จึงควรมีค่ามาก เริ่มการทดลองในรูปแบบที่ 5.3 จะใช้สัญญาณไซน์ขนาด 13 Vp-p ความถี่ 500 KHz ป้อนให้อิเล็กโทรดตัวส่ง (TX) โดยที่ Ch1 ของออสซิลโลสโคป (Scope) จะต่ออยู่กับอิเล็กโทรดตัวส่ง สำหรับ Ch2 จะต่ออยู่ที่อิเล็กโทรดตัวรับ (RX) สัญญาณที่ได้จะแสดงในรูปแบบที่ 5.4 และสำหรับในรูปแบบที่ 5.5 เป็นรูปที่ได้จากการเปลี่ยนความถี่ของระบบไปเป็น 1 MHz เพื่อเปรียบเทียบขนาดของสัญญาณ



รูปที่ 5.3 จุดทดสอบสัญญาณของอิเล็กโทรด

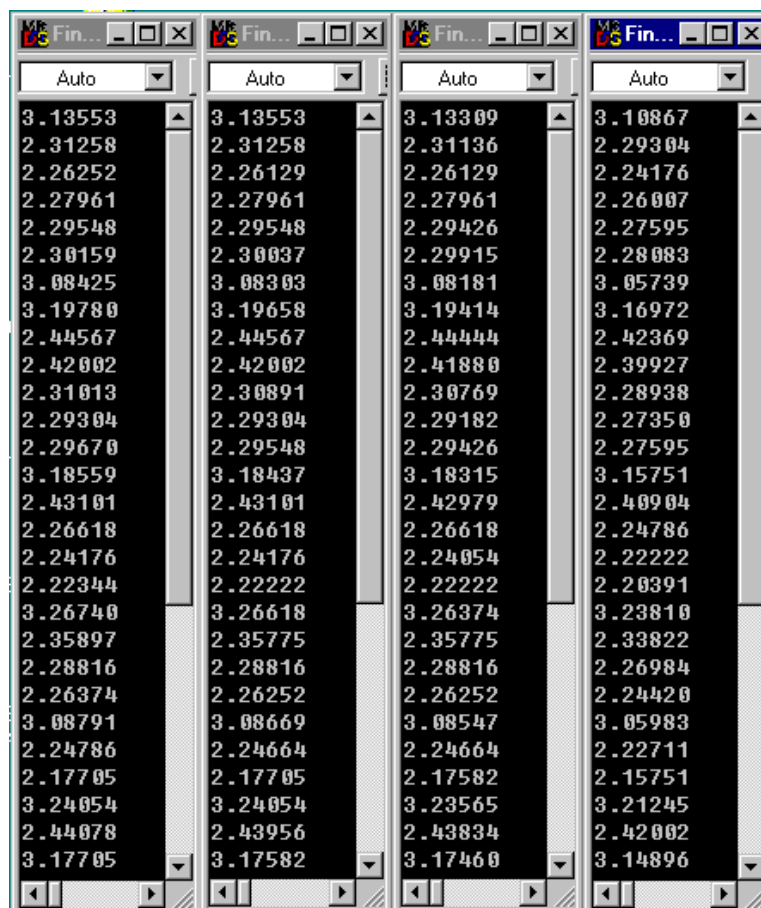


รูปที่ 5.4 รูปของสัญญาณเมื่อใช้ความถี่ของระบบเป็น 500 KHz จากจุดทดสอบในรูปที่ 5.3

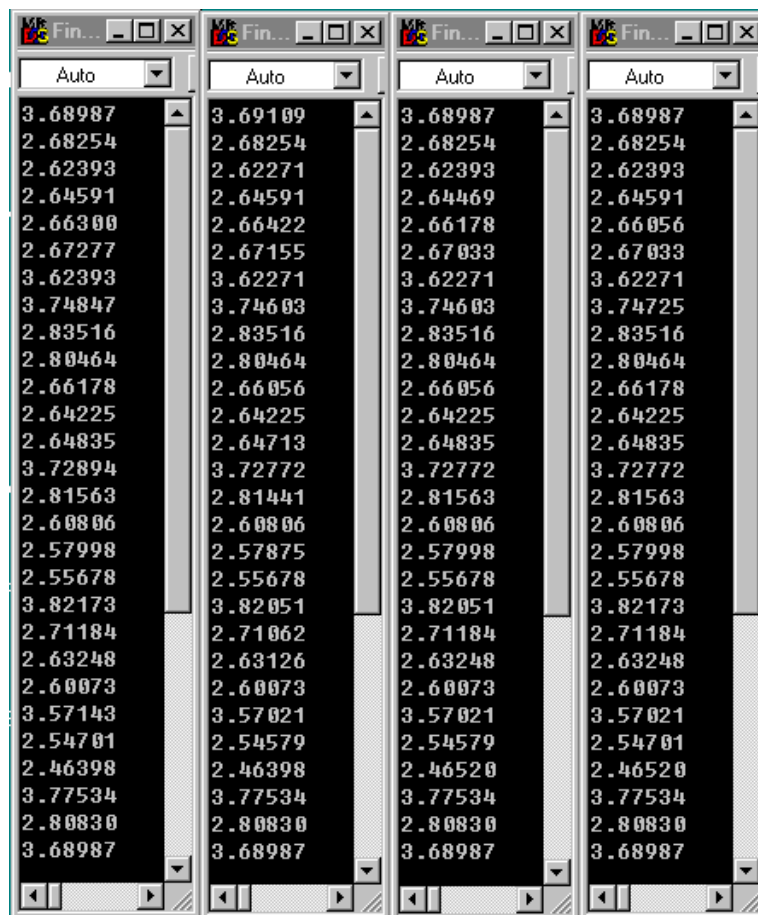


รูปที่ 5.5 รูปของสัญญาณเมื่อใช้ความถี่ของระบบเป็น 1 MHz จากจุดทดสอบในรูปที่ 5.3

จากรูปที่ 5.4 ขนาดของสัญญาณที่ Ch2 ซึ่งเป็นสัญญาณจากออสซิลิโตรดตัวรับเมื่อสังเกต จะพบว่าเป็นสัญญาณที่มีขนาดเล็กมากและมีขนาดที่ใกล้เคียงกับสัญญาณรบกวน ดังนั้นเมื่อนำสัญญาณที่ได้นี้ไปขยายสัญญาณรบกวนก็จะถูกขยายเป็นสัดส่วนเท่ากันและเมื่อทดลองวัดค่าความจุไฟฟ้าซึ่งอยู่ในรูปของค่าศักดาไฟฟ้าจากการวัด 4 ครั้งซ้ำกันโดยกำหนดให้อากาศเป็นไดอิเล็กทริก ค่าความจุไฟฟ้าของออสซิลิโตรดคงที่ แต่ค่าศักดาไฟฟ้าที่ได้จากการวัดหลายค่าไม่เท่ากันดังที่แสดงในรูปที่ 5.6 ซึ่งปัญหาที่เกิดขึ้นนี้สามารถปรับปรุงให้ดีขึ้นได้ โดยการเพิ่มขนาดของสัญญาณ (Volt p-p) ที่ป้อนให้ออสซิลิโตรดตัวส่ง แต่การเพิ่มขนาดของสัญญาณจะมีข้อจำกัดในเรื่องของอุปกรณ์ และ ไฟเลี้ยงวงจร สำหรับการทดลองนี้สัญญาณขนาด 13 Vp-p เป็นขนาดของสัญญาณที่สูงสุดที่สามารถปรับได้ ไม่สามารถปรับเพิ่มได้อีก ดังนั้นจึงใช้วิธีการ ปรับเพิ่มความถี่ของสัญญาณเนื่องจากความถี่ที่สูงขึ้น จะทำให้ค่ารีแอ็กแตนซ์ของตัวเก็บประจุลดลงเป็นผลให้สัญญาณที่วัดได้จากออสซิลิโตรดตัวรับจึงมีขนาดที่ใหญ่ขึ้นและแตกต่างจากสัญญาณรบกวนมากขึ้นดังที่แสดงในรูปที่ 5.5 เมื่อทดลองวัดค่าศักดาไฟฟ้า ผลที่ได้ดีขึ้นมากดังที่แสดงไว้ในรูปที่ 5.7

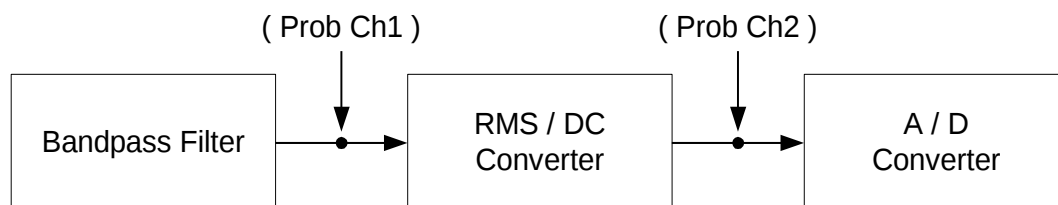


รูปที่ 5.6 ผลจากการวัดค่าศักดาไฟฟ้าซ้ำกัน 4 ครั้งโดยใช้ความถี่ 500 KHz

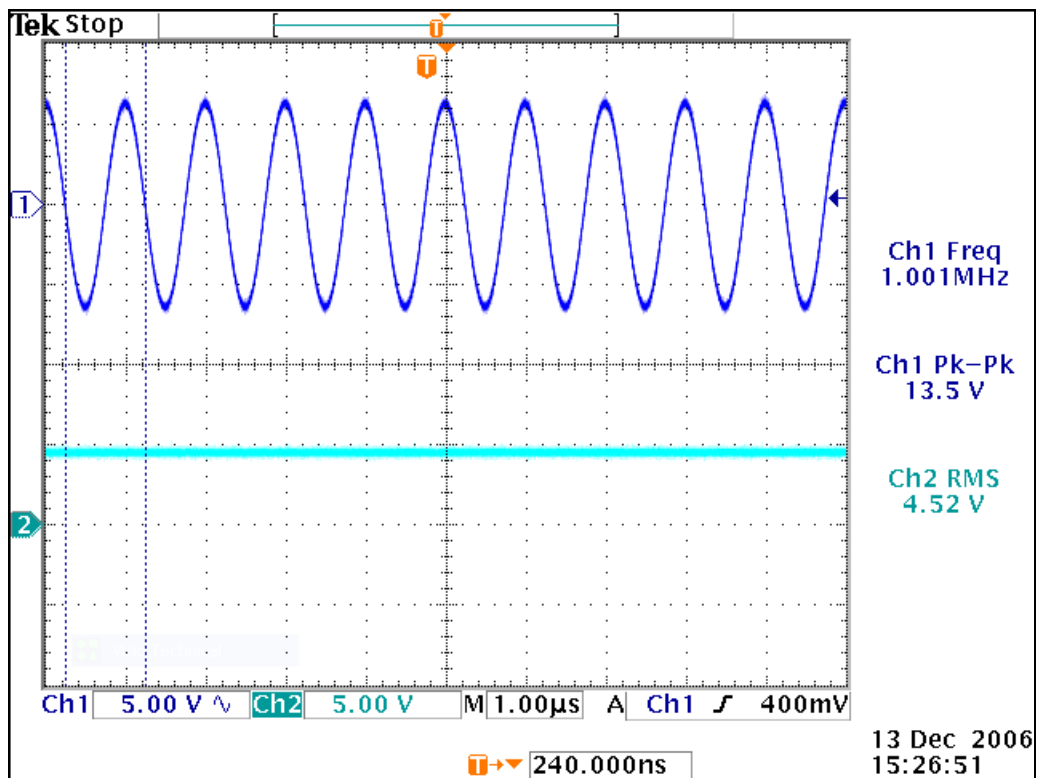


รูปที่ 5.7 ผลจากการวัดค่าศักดาไฟฟ้าซ้ำกัน 4 ครั้งโดยใช้ความถี่ 1 MHz

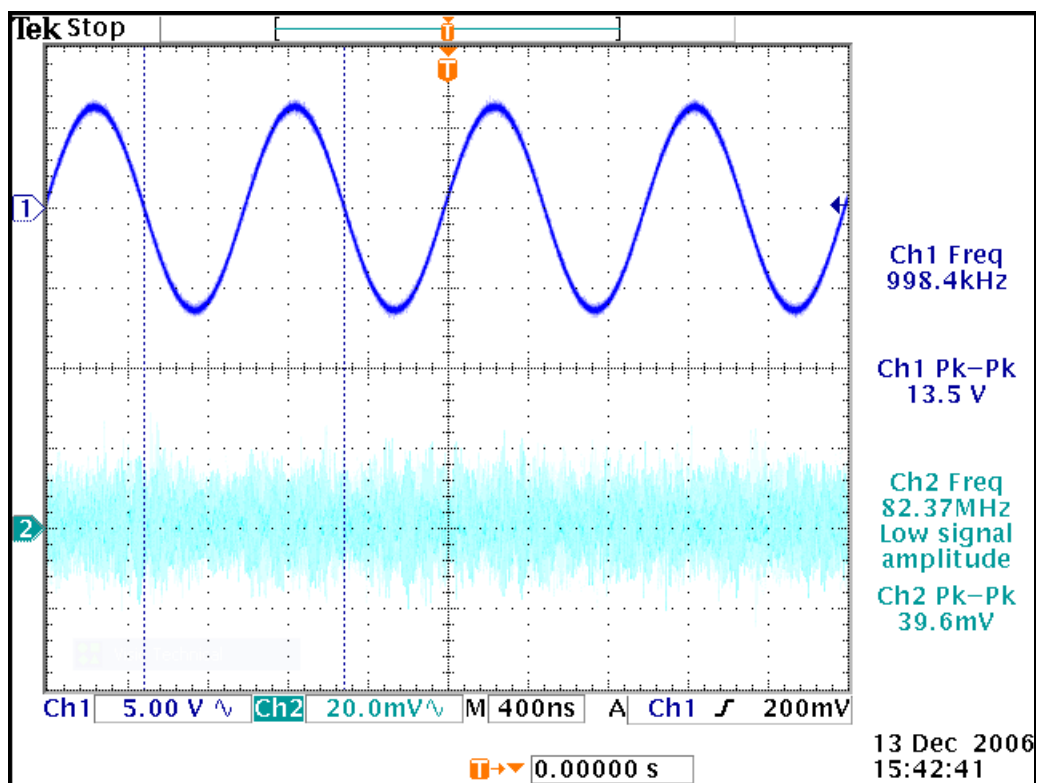
จากผลการทดลองในรูปที่ 5.7 มีการวัดค่าซ้ำกัน 4 ครั้งและผลที่ได้ส่วนใหญ่จะได้ค่าเดิม และมีส่วนน้อยบางค่าที่ผิดพลาด ซึ่งค่าส่วนน้อยที่ผิดพลาดนั้นจากการทดลองพบว่าเกิดจากสัญญาณรบกวนที่มาจากคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง ซึ่งลักษณะของสัญญาณรบกวนจะแสดงดังในรูปที่ 5.10 โดยที่จุดทดสอบสัญญาณ Ch1 และ Ch2 แสดงไว้ดังรูปที่ 5.8 และเนื่องจากการใช้ความถี่ 1MHz ได้ผลที่ดีกว่า ดังนั้นในงานวิจัยนี้ จึงได้เลือกใช้ความถี่ 1MHz เป็นความถี่ที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ 5.8 จุดทดสอบวงจรแปลงสัญญาณ AC เป็นแรงดัน DC



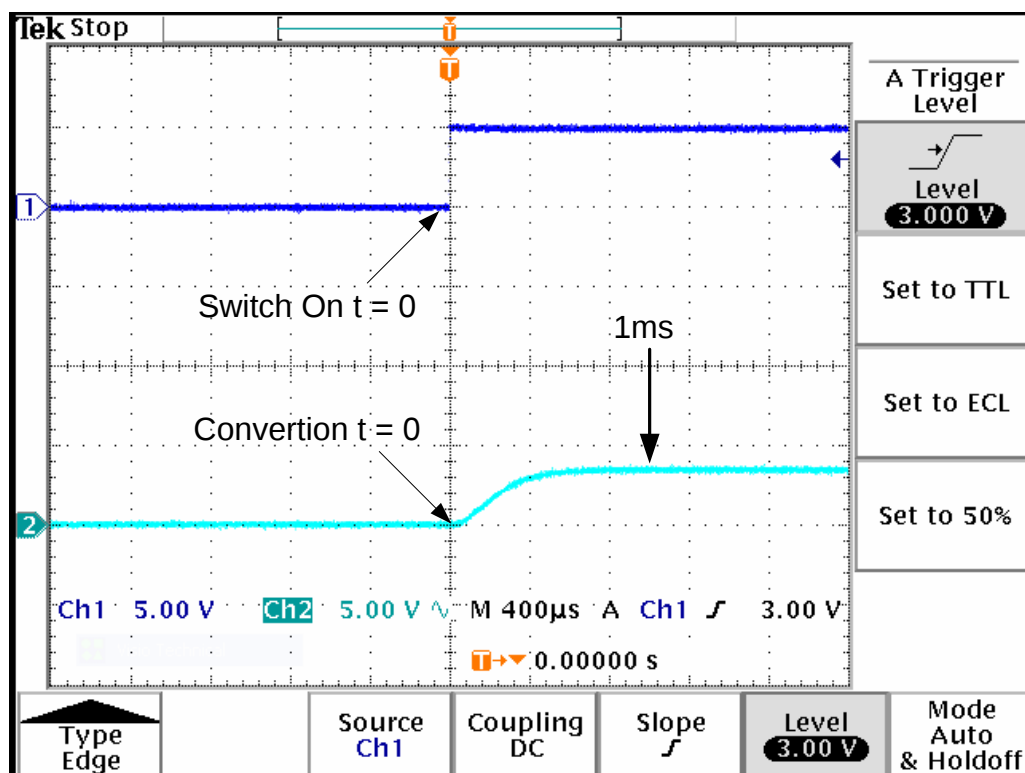
รูปที่ 5.9 สัญญาณไซน์อินพุต (Ch1) และแรงดัน DC เอาท์พุต (Ch2) จากจุดทดสอบในรูปที่ 5.8



รูปที่ 5.10 แสดงสัญญาณรบกวนที่ซ้อนบนแรงดัน DC (Ch2) จากจุดทดสอบในรูปที่ 5.8

จากรูปที่ 5.9 Ch1 จะเป็นสัญญาณไซน์ก่อนที่จะแปลงเป็นแรงดันไฟตรง (DC) โดยรับมาจากวงจรแบนด์พาสฟิลเตอร์ ส่วน Ch2 จะแสดงขนาดของแรงดันไฟตรง ซึ่งเป็นเอาต์พุตของวงจร RMS to DC Converter โดยแรงดันไฟตรงที่ได้ จะมีขนาดเทียบเท่ากับค่า RMS ของสัญญาณไซน์ที่อินพุตของวงจร และ ขณะเดียวกัน บนแรงดันไฟตรงนั้น จะพบว่ามีสัญญาณรบกวนขี้อยู่ด้วย ดังแสดง ในรูปที่ 5.10 (Ch2) ซึ่งสัญญาณรบกวนที่แสดงนี้ ได้เป็นสาเหตุของการอ่านค่าศักดาไฟฟ้าในรูปที่ 5.7 บางค่าผิดพลาด

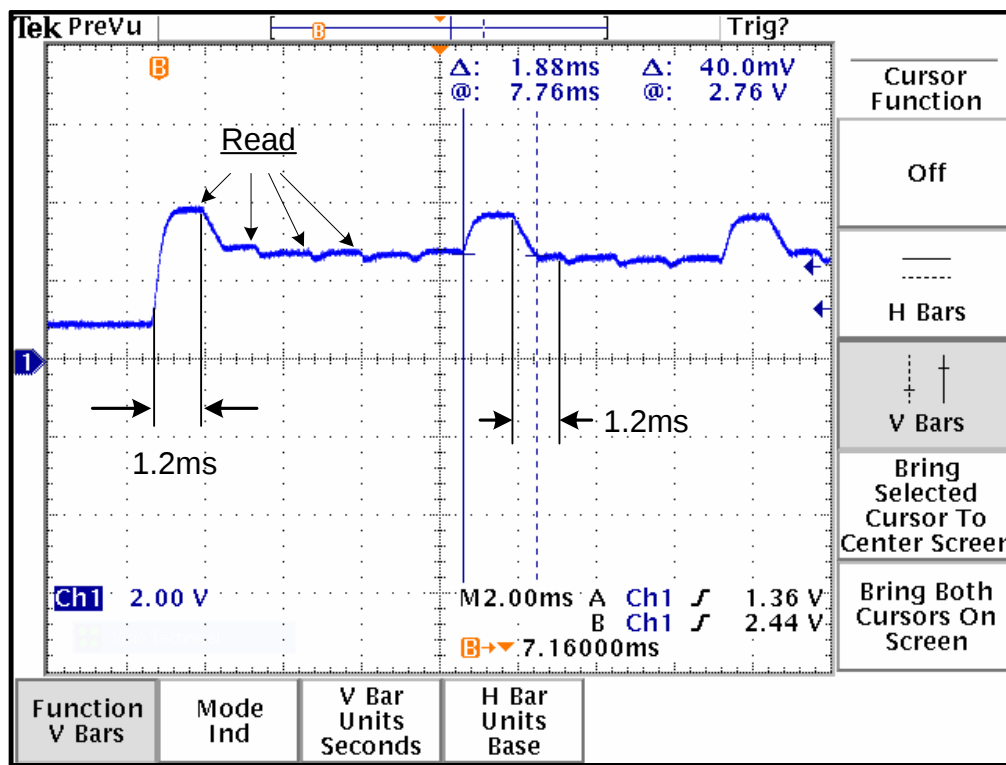
สาเหตุที่ทำให้การอ่านค่าศักดาไฟฟ้าผิดพลาดอีกประการหนึ่งคือช่วงเวลากการหน่วง (Delay Time) เมื่อสั่งวงจรมัลติเพล็กซ์เซอร์ให้สวิตช์เลือกคู่อิเล็กทรอนิกส์ที่จะทำการวัดแล้ว จากนั้นที่วงจร RMS to DC Converter ต้องใช้เวลาในการแปลงค่า (Conversion Time) อีกระยะเวลาหนึ่งจึงจะได้ค่าศักดาไฟฟ้าที่คงที่ ที่จุดเอาต์พุตของวงจร ดังแสดงในรูปที่ 5.11



รูปที่ 5.11 แสดงขอบขาขึ้นแรงดันเอาต์พุต (Ch2) เมื่อเริ่มสวิตช์ (Ch1) จากจุดทดสอบรูปที่ 5.8

จากรูปที่ 5.11 (Ch2) ช่วงเวลาที่ใช้ในการแปลงค่าจากเริ่มสวิตช์ ($t = 0$) จนกระทั่งระดับแรงดันเริ่มคงที่จะใช้เวลาประมาณ 1ms ดังนั้นการกำหนดค่าเวลาหน่วงน้อย จะส่งผลให้สามารถอ่านค่าเร็วแต่ค่าศักดาไฟฟ้าที่อ่านได้จะผิดพลาดเนื่องจากแรงดันยังไม่คงที่ สำหรับในการทดลองนี้

หลังจากสวิทช์เลือกแต่ละคู่อิเล็กทรอนิกส์ที่จะทำการวัดแล้ว จากนั้นจะถูกหน่วงเวลา 1.2ms (Delay Time = 1.2ms) ในทุกๆคู่อิเล็กทรอนิกส์ ก่อนจะอ่านและเก็บผลค่าศักดาไฟฟ้า



รูปที่ 5.12 ช่วงเวลาที่ใช้ในการอ่านค่าศักดาไฟฟ้าในแต่ละค่า

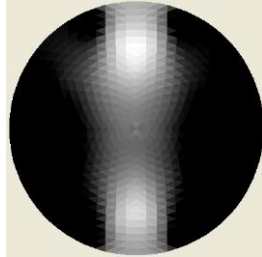
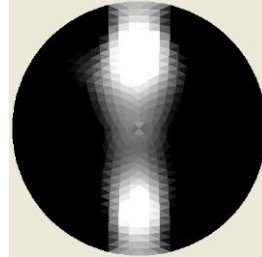
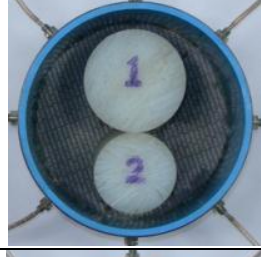
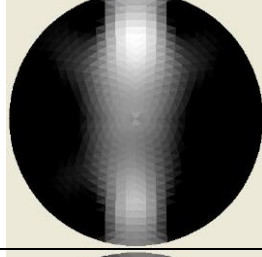
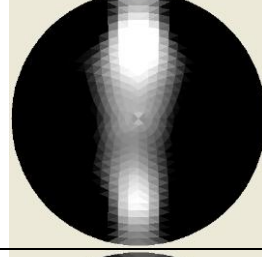
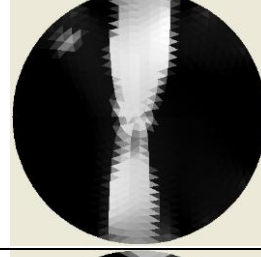
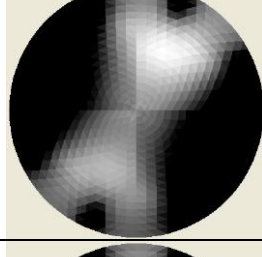
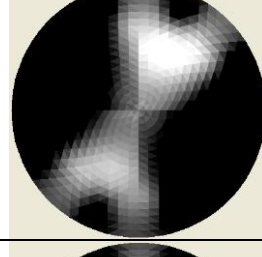
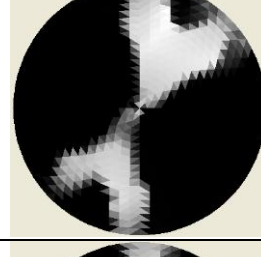
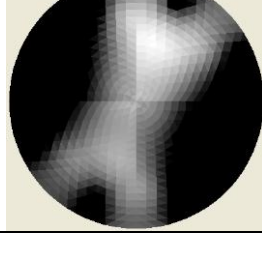
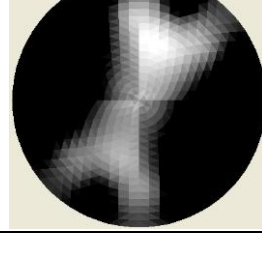
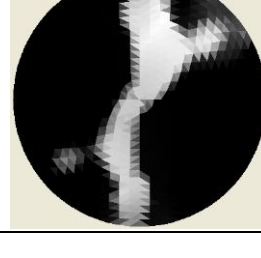
จากรูปที่ 5.12 แสดงสัญญาณที่เอาต์พุตของวงจร RMS to DC Converter ขณะที่มีการวัดค่าศักดาไฟฟ้า 28 ค่าติดต่อกัน (ข้อมูล 1 ชุด = 28ค่า) แต่เพื่อสังเกตช่วงเวลาที่ใช้ในแต่ละค่าของการเปลี่ยนแปลงจึงสามารถแสดงได้เพียง 13 ค่าแรก และสำหรับค่าศักดาไฟฟ้าในแต่ละชุดที่วัดได้นั้นจะถูกนำไปทำ นอร์มอลไลซ์เพื่อจำกัด ช่วงของการเปลี่ยนแปลง จากนั้นจึงจะนำไปสร้างภาพกลับโดยอัลกอริทึมสร้างภาพตัดขวางค่าความจุไฟฟ้า [1,2]

5.2.2 การทดลองสร้างภาพตัดขวาง

การสร้างภาพตัดขวางของระบบ ECT จะต้องใช้ค่าความจุไฟฟ้าที่ได้จากการวัด 3 ชุดด้วยกันคือ ค่าความจุไฟฟ้าที่วัดได้ขณะที่ภายในเซ็นเซอร์มีค่าพอมิตีวิตีสูงสุด ในการทดลองนี้จะใช้น้ำมันเต็มถังภายในเซ็นเซอร์แล้วทำการวัดตามขั้นตอนในหัวข้อ 5.1 จากนั้นทำการวัดค่าความจุไฟฟ้าโดยกำหนดให้ภายในเซ็นเซอร์มีค่าพอมิตีวิตีต่ำสุด โดยจะให้ภายในเซ็นเซอร์เป็นอากาศแล้วทำการวัดซ้ำ ตามขั้นตอนในหัวข้อ 5.1 ซึ่งค่าความจุไฟฟ้าทั้งสองชุดที่ได้ จะถูกนำไปใช้เพื่อทำ

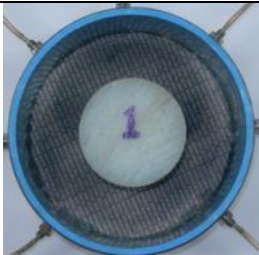
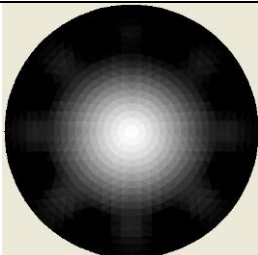
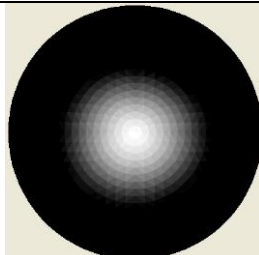
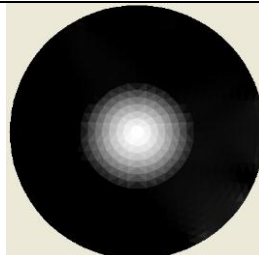
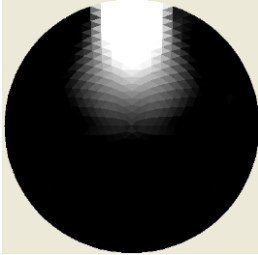
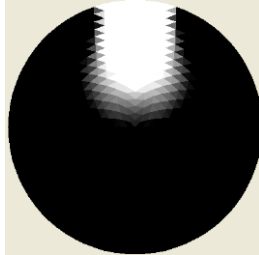
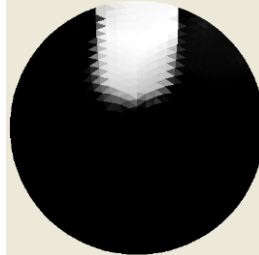
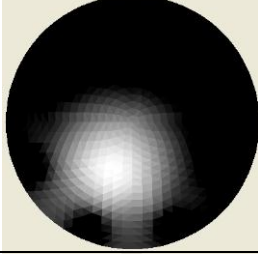
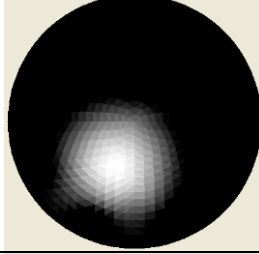
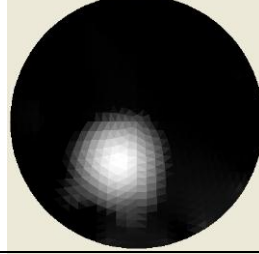
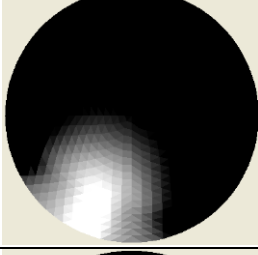
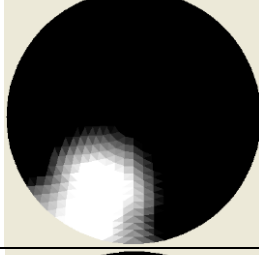
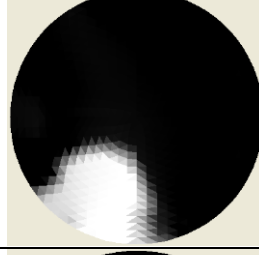
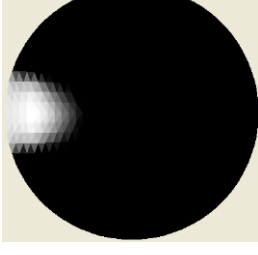
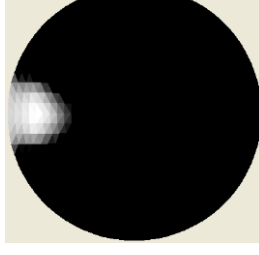
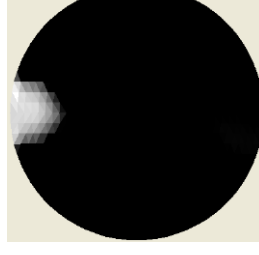
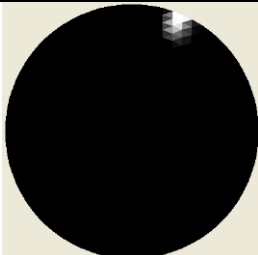
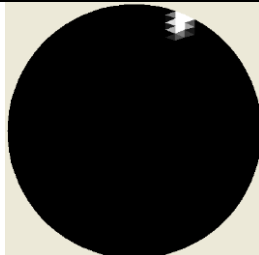
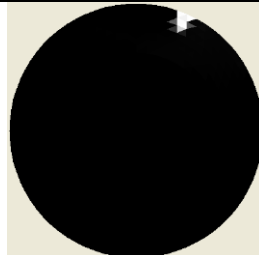
นอร์มอลไลซ์ ค่าความจุไฟฟ้า ส่วนค่าความจุไฟฟ้าอีกชุด คือค่าความจุไฟฟ้าที่วัดได้ขณะวางวัตถุที่ต้องการตรวจสอบไว้ภายในเซ็นเซอร์ โดยที่ค่าความจุไฟฟ้าที่วัดได้ในการทดลองนี้จะหมายถึงค่าศักดาไฟฟ้าที่วัดได้ในหัวข้อ 5.2.1 โดยที่วัตถุหมายเลข 1, 2 และ 3 คือวัตถุที่ต้องการตรวจสอบในการทดลองนี้จะใช้แท่งเทปลอนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 , 1.5 และ 0.5 นิ้วตามลำดับ

ตารางที่ 5.2 ผลการทดลองจากการสร้างภาพกลับของวัตถุ 2 ชิ้น ในเซ็นเซอร์หน้าตัดกลม

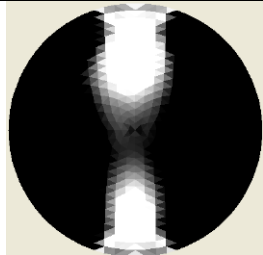
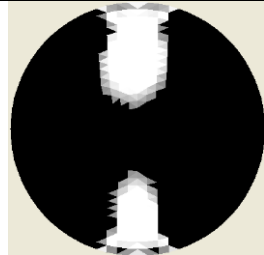
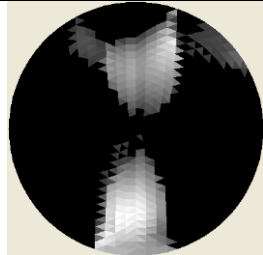
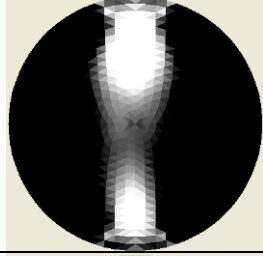
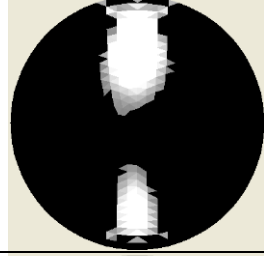
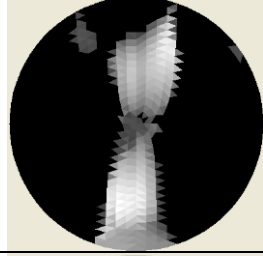
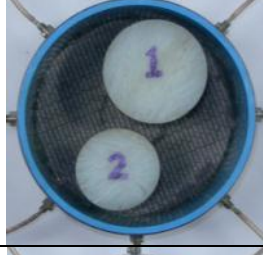
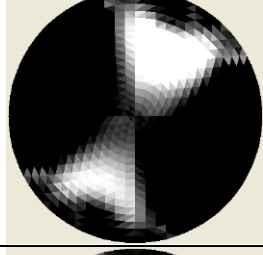
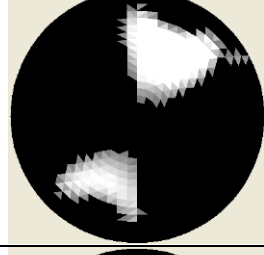
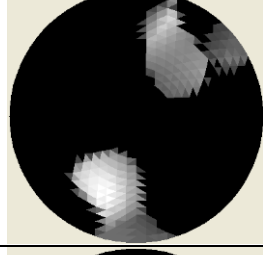
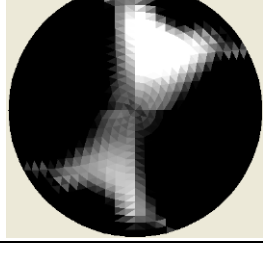
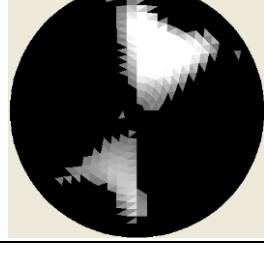
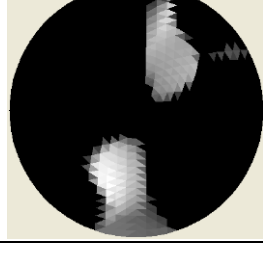
Object	LBP-Iteration = 5	LBP-Iteration = 15	ART-Iteration = 15
			
			
			
			

จากผลการทดลองในตารางที่ 5.2 และ 5.3 เมื่อทดลองกับวัตถุ 1 ชิ้น ภาพตัดขวางที่ได้จากการสร้างภาพกลับจะมีความชัดเจนมากกว่า ส่วนกรณีที่วัตถุที่ตรวจสอบมีขนาดเล็ก ระบบยังสามารถตรวจสอบและสร้างภาพตัดขวางได้ ถ้าวัตถุนั้นวางอยู่ใกล้กับอิเล็กโทรด และเมื่อทดสอบกับวัตถุ 2 ชิ้นที่วางอยู่ใกล้กันจากภาพตัดขวางจะพบว่าระบบยังไม่สามารถแยกวัตถุ 2 ชิ้น ออกจากกันได้อย่างชัดเจน

ตารางที่ 5.3 ผลการทดลองจากการสร้างภาพกลับของวัตถุ 1 ชั้น ในเซ็นเซอร์หน้าตัดกลม

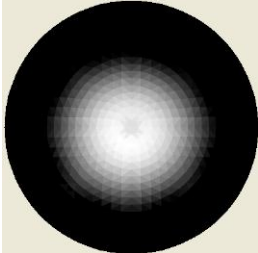
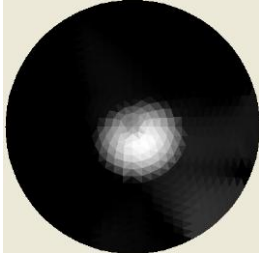
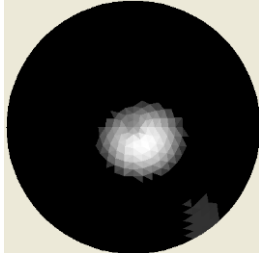
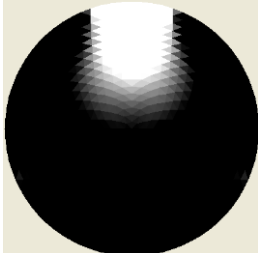
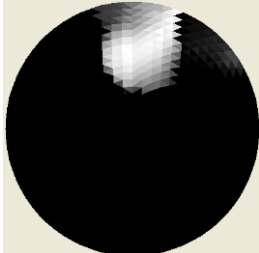
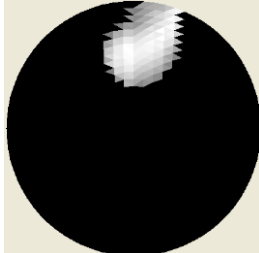
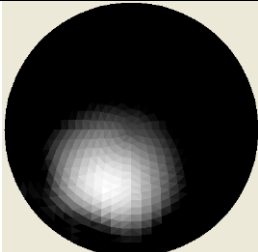
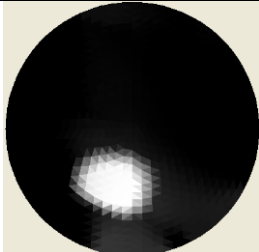
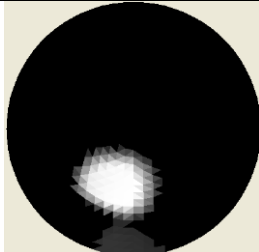
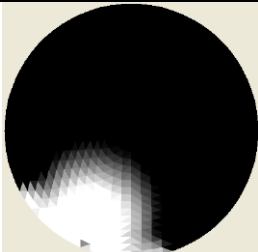
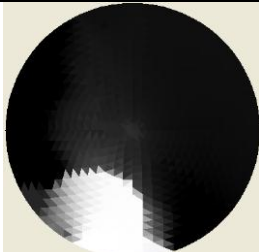
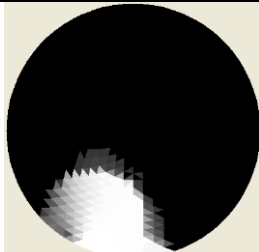
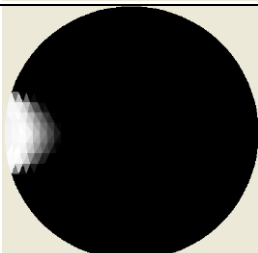
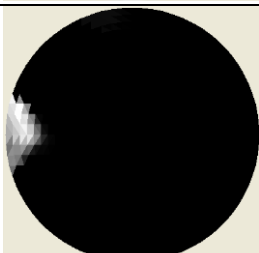
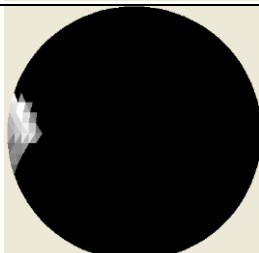
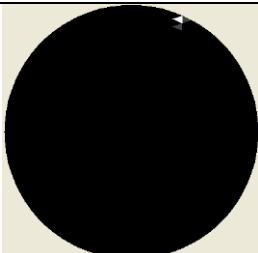
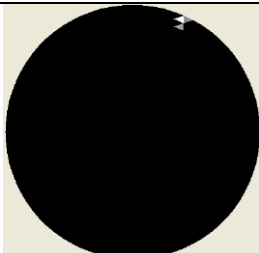
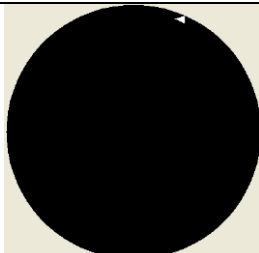
Object	LBP-Iteration = 5	LBP-Iteration = 15	ART-Iteration = 5
			
			
			
			
			
No. 3			
			
No. 3			

ตารางที่ 5.4 การสร้างภาพกลับของวัตถุ 2 ชิ้นโดยทำเทรชโฮลด์เซนซิวิตีในอัลกอริทึมวงกลม

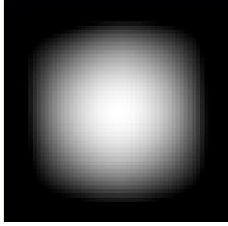
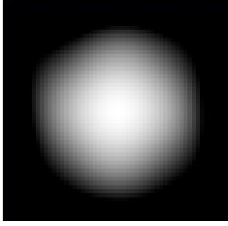
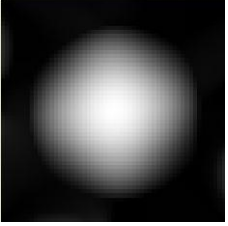
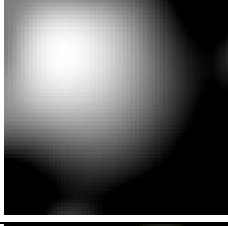
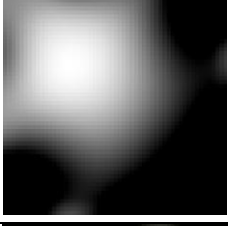
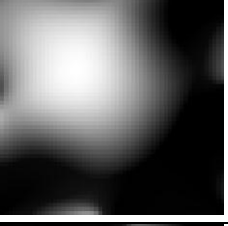
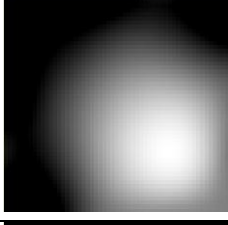
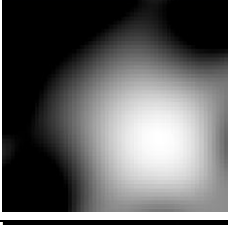
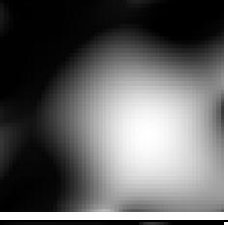
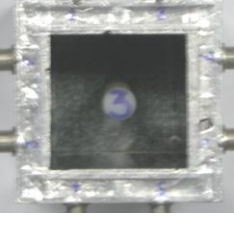
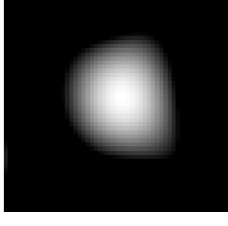
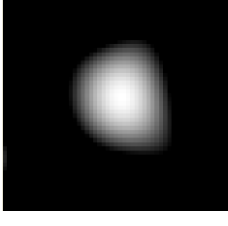
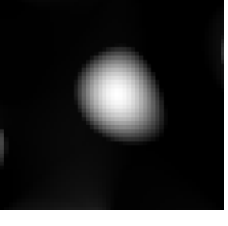
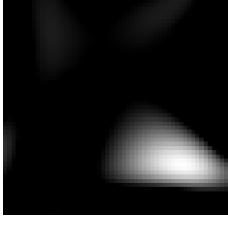
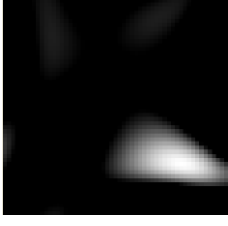
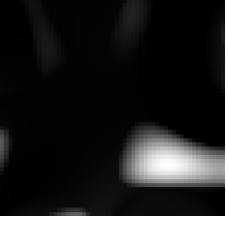
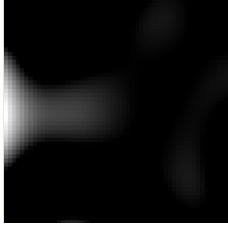
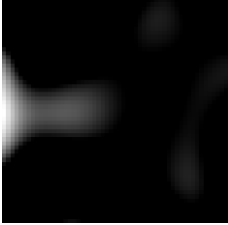
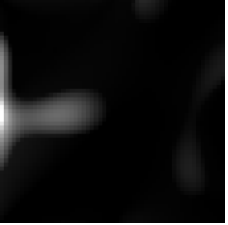
Object	LBP-Iteration = 15	LBP & Thresholding Iteration = 15	ART & Thresholding Iteration = 5
			
			
			
			

จากผลการทดลองในตารางที่ 5.4 และ 5.5 ในการสร้างภาพกลับจะใช้เทคนิคการทำซ้ำเพื่อปรับปรุงภาพโดยใช้ค่าเซนซิวิตีชุดที่ได้จากการทำเทรชโฮลด์ และกระบวนการตัด ในหัวข้อ 4.4.2 และเฉพาะในผลการทดลอง LBP & Thresholding Iteration = 15 และ ART & Thresholding Iteration = 5 นั้น ได้ใช้เทคนิคการปรับปรุงภาพโดยการทำเทรชโฮลด์ ค่าระดับเทาของภาพตัดขวางก่อนการแสดงผล [2] รวมด้วย โดยผลที่ได้นั้นภาพยังคงมีความผิดเพี้ยนแต่ดีขึ้นและยังสามารถแยกวัตถุสองชิ้นออกจากกันได้ ส่วนผลการทดลองในตารางที่ 5.6 และ 5.7 จะเป็นผลการทดลองของเซ็นเซอร์หน้าตัดสี่เหลี่ยม โดยในตารางที่ 5.6 ในการปรับปรุงภาพจะใช้เทคนิคการทำซ้ำ แต่ในตารางที่ 5.7 จะใช้ ชุดข้อมูลเซนซิวิตี ที่ผ่านการทำเทรชโฮลด์และกระบวนการตัดร่วมกับเทคนิคการทำซ้ำ

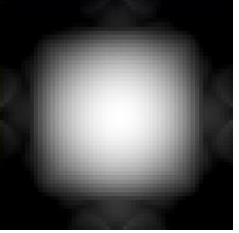
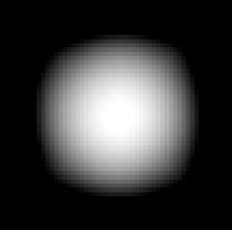
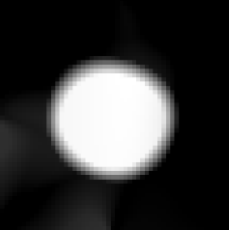
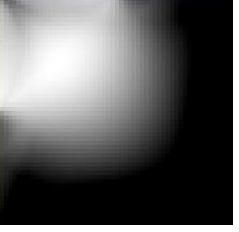
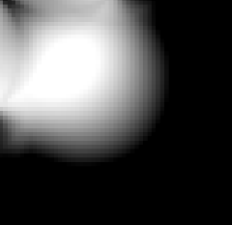
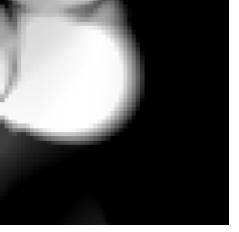
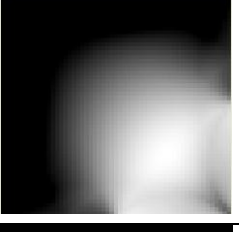
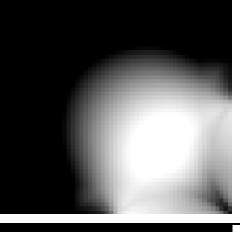
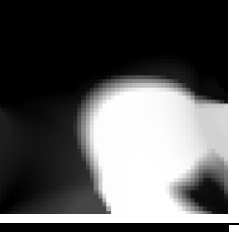
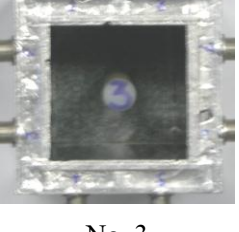
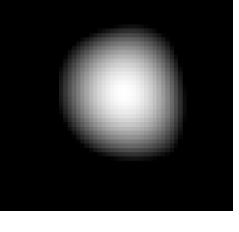
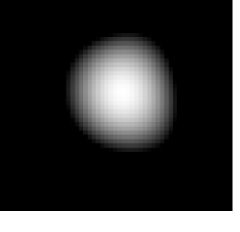
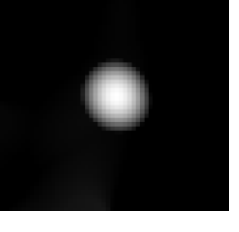
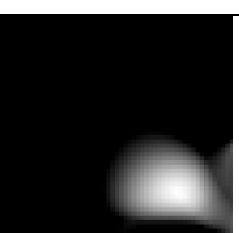
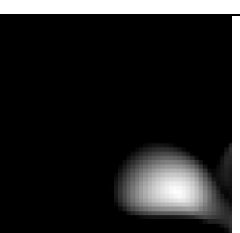
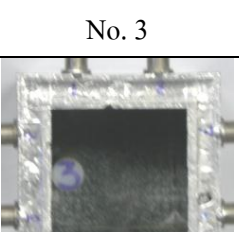
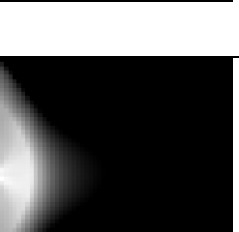
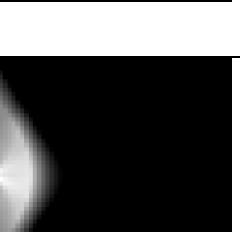
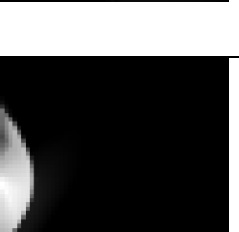
ตารางที่ 5.5 การสร้างภาพกลับของวัตถุ 1 ขึ้นโดยทำเทรซโฮลด์เซนซิติวิตีในอัลกอริทึมวงกลม

Object	LBP-Iteration = 5	ART-Iteration = 5	ART & Thresholding Iteration = 5
			
			
			
			
			
No. 3			
			
No. 3			

ตารางที่ 5.6 ผลการทดลองจากการสร้างภาพกลับของวัตถุ ในเซ็นเซอร์หน้าตัดสี่เหลี่ยม

Object	LBP-Iteration = 5	LBP-Iteration = 15	ART-Iteration = 5
			
			
			
 No. 3			
 No. 3			
 No. 3			

ตารางที่ 5.7 การสร้างภาพกลับโดยทำเทรซโฮลด์เซนซิวิตี ในอัลกอริทึมหน้าต่างสี่เหลี่ยม

Object	LBP-Iteration = 5	LBP-Iteration = 15	ART-Iteration = 5
			
			
			
 No. 3			
 No. 3			
 No. 3			

จากผลการทดลองของภาพตัดขวางที่ได้ทั้งเซ็นเซอร์แบบสี่เหลี่ยมและแบบวงกลม จะเห็นว่า ลักษณะของขอบภาพจะชัดขึ้นและภาพถูกต้องมากยิ่งขึ้น ถ้าใช้จำนวนการทำซ้ำที่เหมาะสม รวมทั้งการตัดค่าระดับเทาค่าต่างๆที่ไม่ถูกต้องทิ้งไปก็จะช่วยให้ภาพที่ได้ดีขึ้นด้วย แต่ข้อเสียคือ ถ้ามีวัตถุนาเล็กมากเมื่อเทียบกับวัตถุอื่นที่อยู่ภายในพื้นที่ของเซ็นเซอร์เดียวกัน จะทำให้วัตถุนั้นไม่สามารถถูกแสดงผลได้ เนื่องจากค่าระดับเทาที่ตำแหน่งของวัตถุนั้นจะมีค่าต่ำ ดังนั้นจึงทำให้ระบบที่ใช้ในการทดลองนี้ไม่สามารถตรวจสอบวัตถุสองชิ้นที่มีขนาดที่แตกต่างกันมากๆได้

5.3 เกณฑ์ประเมินสมรรถนะ (Performance evaluation criteria)

สำหรับการประเมินสมรรถนะของกระบวนการ การสร้างภาพตัดขวาง ทำได้โดยการหาค่าความคลาดเคลื่อนระดับเทาของภาพที่ถูกสร้างกลับเทียบกับภาพวัตถุทดสอบโดยสามารถทำได้ 2 วิธีด้วยกัน [2] คือ

1. Quantitative evaluation เช่น การคำนวณ ค่าความคลาดเคลื่อนนอร์มสัมพัทธ์ของภาพ
2. Qualitative evaluation เช่น การเปรียบเทียบด้วยตา (Visual comparison)

วิธีการสร้างภาพกลับที่ดีจะต้องมีค่าความคลาดเคลื่อนต่ำ ซึ่งแสดงถึงคุณภาพของภาพที่ถูกสร้างกลับมีลักษณะใกล้เคียงกับภาพทดสอบมากที่สุด โดยวิธีการสร้างภาพกลับที่ดี ควรจะใช้จำนวนของการทำซ้ำน้อยที่สุด

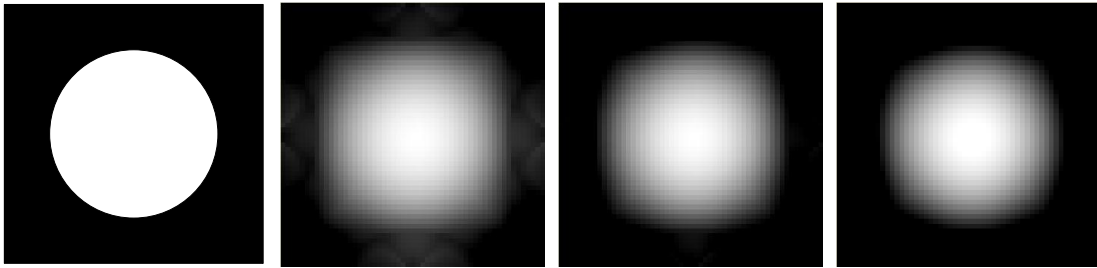
$$error = \frac{\|g - \bar{g}\|_2}{\|g\|_2} \quad (5.2)$$

เมื่อ g คือ เวกเตอร์ค่าระดับเทาของภาพทดสอบ

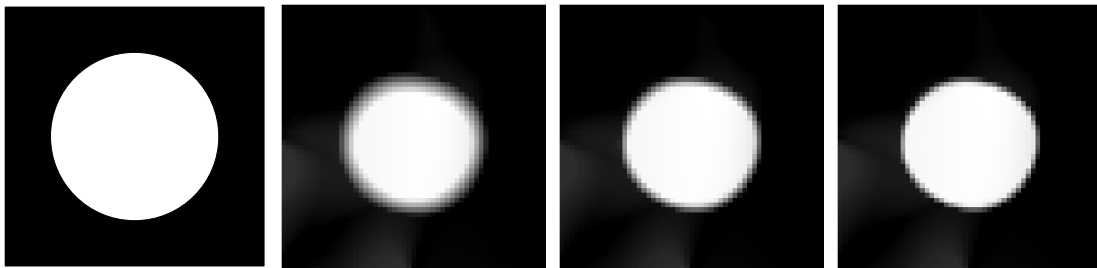
$\bar{g}$ คือ เวกเตอร์ค่าระดับเทาของภาพที่ถูกสร้างกลับ



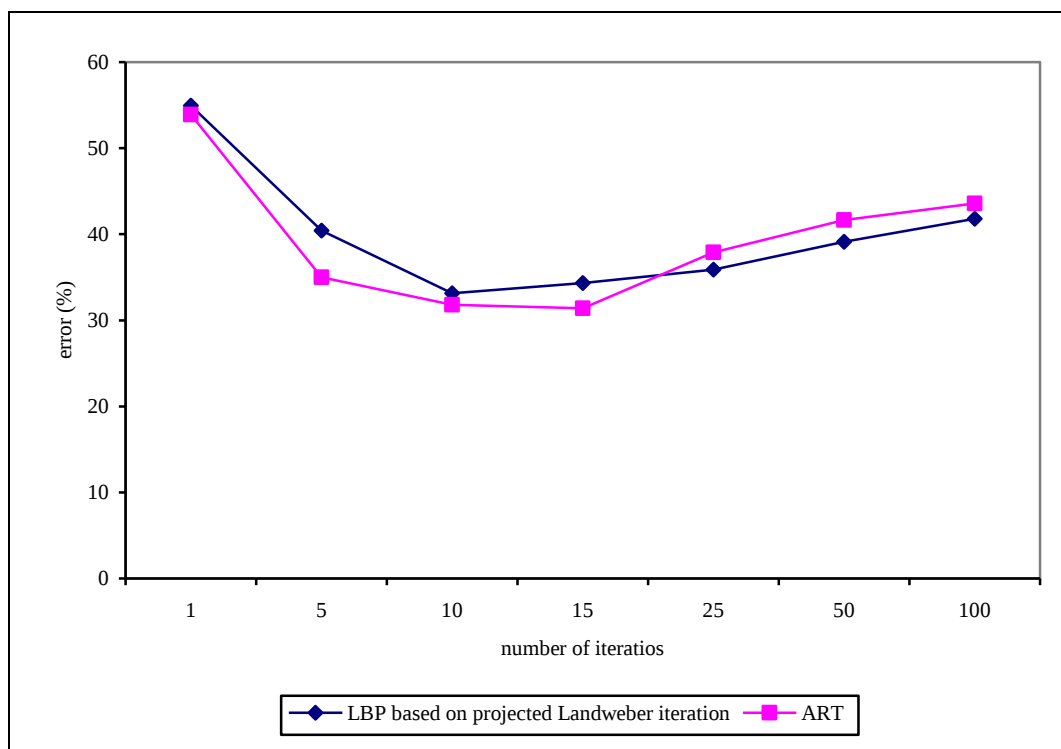
รูปที่ 5.13 ตำแหน่งการวางวัตถุที่ใช้ทดสอบหาค่าความคลาดเคลื่อนในเซ็นเซอร์ทั้ง 2 แบบ



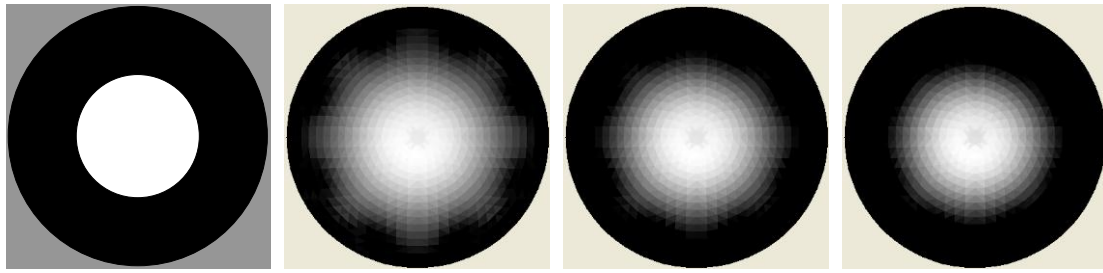
รูปที่ 5.14 ผลของการสร้างภาพตัดขวางของเซ็นเซอร์แบบสี่เหลี่ยมด้วยวิธี LBP ตามหลักการของ Projected Landweber Iteration โดยใช้จำนวนการทำซ้ำ 5 , 10 และ 15 รอบ ตามลำดับ



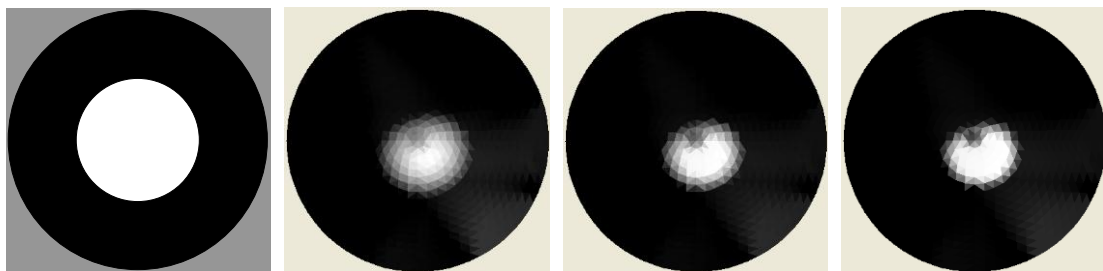
รูปที่ 5.15 ผลของการสร้างภาพตัดขวางของเซ็นเซอร์แบบสี่เหลี่ยมด้วยวิธี ART โดยใช้จำนวนการทำซ้ำ 5 , 10 และ 15 รอบ ตามลำดับ



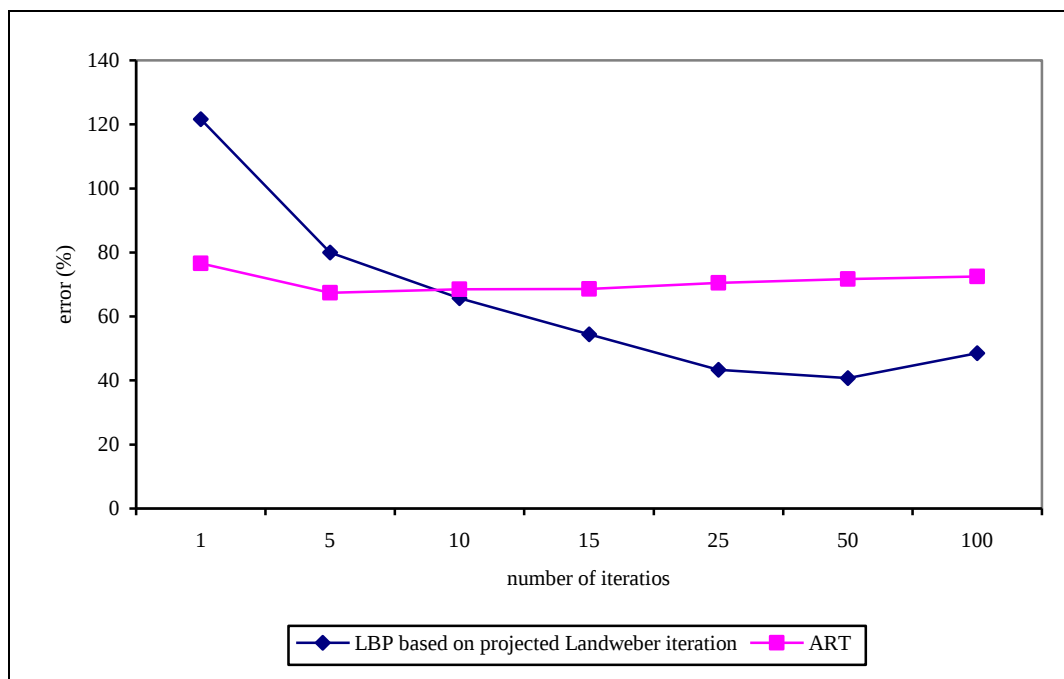
รูปที่ 5.16 รูปกราฟแสดงค่าความคลาดเคลื่อนนอร์มสัมพัทธ์ของเซ็นเซอร์แบบสี่เหลี่ยม



รูปที่ 5.17 ผลของการสร้างภาพตัดขวางของเซ็นเซอร์แบบกลมด้วยวิธี LBP ตามหลักการของ Projected Landweber Iteration โดยใช้จำนวนการทำซ้ำ 5 , 10 และ 15 รอบ ตามลำดับ



รูปที่ 5.18 ผลของการสร้างภาพตัดขวางของเซ็นเซอร์แบบกลมด้วยวิธี ART โดยใช้จำนวนการทำซ้ำ 5 , 10 และ 15 รอบ ตามลำดับ



รูปที่ 5.19 รูปกราฟแสดงค่าความคลาดเคลื่อนนอร์มสัมพัทธ์ของเซ็นเซอร์แบบกลม