

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VII
สารบัญรูป	VIII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	1
1.3 สมมติฐานของการศึกษา	1
1.4 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในงานวิจัย	2
1.5 ขอบเขตของงานวิจัย.....	2
1.6 โครงสร้างวิทยานิพนธ์	2
บทที่ 2 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับเอ็กซเรย์.....	3
2.1 บทนำ	3
2.2 ประวัติการค้นพบเอ็กซเรย์	3
2.3 การเกิดเอ็กซเรย์.....	4
2.4 ลักษณะและคุณสมบัติของเอ็กซเรย์	7
2.5 โครงสร้างหลอดเอ็กซเรย์.....	8
2.5.1 หลอดเอ็กซเรย์แบบทั่วไป	8
2.5.2 หลอดเอ็กซเรย์แบบพิเศษ	9
2.6 หน่วยที่ใช้วัดเอ็กซเรย์	11
2.6.1 การวัดคุณภาพ	11
2.6.2 การวัดปริมาณ	12
2.7 ระบบเอ็กซเรย์มีใช้ในทางการแพทย์	13
2.7.1 Photofluorography	13
2.7.2 Cinefluorography	14

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.7.3 Angiography	14
2.7.4 Xeroradiography	15
2.7.5 Dental X-ray Machines	16
2.7.6 Portable and Mobile X-ray Units	16
2.7.7 Mamographic X-ray Equipment	17
2.7.8 Digital Radiography	18
2.7.9 Tomography	19
2.8 ผลและอันตรายของเอ็กซเรย์ต่อร่างกาย	24
2.8.1 ผลของรังสีต่อร่างกาย	25
2.8.2 ระดับรังสีที่ปลอดภัย	28
2.9 การป้องกันอันตรายจากรังสี	28
บทที่ 3 ตัวตรวจจับเอ็กซเรย์และสารเรืองแสง	30
3.1 บทนำ	30
3.2 ชนิดของตัวตรวจจับเอ็กซเรย์	30
3.2.1 แบ่งตามโครงสร้าง	30
3.2.2 แบ่งตามชนิดของข้อมูลที่ต้องการวัด	32
3.3 รูปแบบจำลองของตัวตรวจจับแบบพื้นฐาน	33
3.4 รูปแบบการทำงานของตัวตรวจจับ (Modes of detector operation)	35
3.3.1 โหมดกระแส (Current mode)	35
3.3.2 โหมดค่าเฉลี่ยกำลังสองของแรงดัน (Mean Square Voltage Mode)	37
3.3.3 โหมดพัลส์ (Pulse mode)	38
3.5 Energy Resolution	40
3.6 ตัวตรวจจับที่เคลือบด้วยสารเรืองแสง	40
3.7 ฉากเรืองแสง (Intensifying Screen)	43
บทที่ 4 ทฤษฎีของการสร้างภาพตัดขวางแบบพัค	46
4.1 บทนำ	46
4.2 รังสีแบบมุมเท่า (Equiangular Rays)	49

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.3	ตัวตรวจวัดที่ห่างด้วยระยะที่เท่ากันในแนวเส้นตรง (Equally Spaced Collinear Detectors).....	54
4.4	การใช้อัลกอริทึมสำหรับโปรเจกชันแบบขนานกับข้อมูลโปรเจกชันแบบพัด	60
บทที่ 5	การออกแบบและการสร้างตัวตรวจจับเอ็กซ์เรย์.....	61
5.1	บทนำ	61
5.2	ตัวตรวจจับเอ็กซ์เรย์แบบแถวยาว	61
5.3	การออกแบบวงจร	65
บทที่ 6	การทดลองและผลการทดลอง.....	74
6.1	บทนำ	74
6.2	เครื่องมือและอุปกรณ์	74
6.3	การทดลองและผลการทดลอง.....	74
6.3.1	ลักษณะและขนาดของรูปคลื่นที่ได้	74
6.3.2	การวัดคุณสมบัติความเป็นเชิงเส้น..	79
6.3.3	การเปรียบเทียบสัญญาณก่อนทำการทดลอง	81
6.3.4	การวัดคุณสมบัติความละเอียดของระบบ.....	86
6.3.5	การทดลองวัดเอ็กซ์เรย์ที่ผ่านวัตถุตัวอย่างแบบต่างๆ.....	88
6.3.4	การทดลองสร้างภาพตัดขวางและภาพเอ็กซ์เรย์	90
บทที่ 7	บทสรุปและข้อเสนอแนะ.....	93
	หนังสืออ้างอิง.....	94
	ภาคผนวก ข้อมูลส่วนควบคุมการทำงานของระบบจับภาพเอ็กซ์เรย์.....	95
	ประวัติผู้เขียน	104

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ความต้านทาน (Resistance) ของเนื้อเยื่อในร่างกายมนุษย์ต่อรังสี	24
2.2 ระดับความแรงรังสีและอันตรายที่อาจเกิดขึ้น	27
2.3 ค่า MPD ที่กำหนดให้สำหรับอวัยวะต่างๆ.....	28
2.4 เกณฑ์ระดับความแรงของรังสีที่ปลอดภัย.....	28
3.1 คุณสมบัติทั่วไปของสารเรืองแสง	43
6.1 ความถี่ที่ใช้งานและแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน..	79

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 (a) วิลเฮล์ม คอนราด เรินท์เกน ผู้ค้นพบเอ็กซเรย์เป็นคนแรกเมื่อปี ค.ศ.1895	4
(b) ภาพถ่ายเอ็กซเรย์ภาพแรกซึ่งเป็นภาพถ่ายมือกรรยาของ วิลเฮล์ม คอนราด เรินท์เกน	4
2.2 เอ็กซเรย์สเปกตรัมที่ได้จากหลอดเอ็กซเรย์ที่เป่าโลหะทำจากทั้งสแตน	5
2.3 แสดงแถบความถี่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า	5
2.4 แสดงการเกิดเอ็กซเรย์แบบลักษณะเฉพาะ	5
2.5 แสดงให้เห็นถึงลักษณะและส่วนประกอบที่สำคัญของ Stationary anode tube	8
2.6 แสดงให้เห็นถึงลักษณะและส่วนประกอบที่สำคัญๆ ของ Rotating anode	8
2.7 แสดงให้เห็นถึง Line-focus principle และการเอียง Target เป็นมุม 17° - 20° เพื่อให้ได้ Effective focal spot ขนาดเล็ก	10
2.8 แสดงบล็อกไดอะแกรมของเครื่องเอ็กซเรย์	11
2.9 แสดงการถ่ายภาพเอ็กซเรย์แบบใช้ฟิล์ม	13
2.10 (a) แสดง Cinefluorography ภาพแรกของโลก ในปี ค.ศ. 1947	14
(b) แสดง ฟิล์มที่ใช้บันทึก Cinefluorography ของบริษัท โกดัก	14
2.11 (a) แสดงเครื่อง Angiography ขณะทำการใช้งาน	15
(b) แสดงภาพเอ็กซเรย์ที่ได้จากเครื่อง Angiography	15
2.12 (a) แสดงตัวอย่างวัตถุที่นำมาตรวจสอบ	15
(b) แสดงภาพเอ็กซเรย์ที่ได้จากวิธี Xeroradiography	15
2.13 (a) แสดงตัวอย่างของเครื่องเอ็กซเรย์ฟลูออโรสโคปที่ใช้ในปัจจุบัน	16
(b) แสดงตัวอย่างภาพเอ็กซเรย์ฟลูออโรสโคป	16
2.14 (a) แสดงลักษณะของเครื่องเอ็กซเรย์แบบทั่วไปที่สามารถเคลื่อนย้ายได้	17
(b) แสดงลักษณะของเครื่องเอ็กซเรย์แบบ C Arm ที่สามารถเคลื่อนย้ายได้	17
2.15 (a) แสดงลักษณะของ Mammographic x-ray equipment	17
(b) แสดงลักษณะของการเอ็กซเรย์	17
(c) แสดงภาพที่ได้จากการเอ็กซเรย์	17
2.16 (a) แสดงตัวอย่างของเครื่องเอ็กซเรย์แบบดิจิทัล	18
(b) แสดงตัวอย่างการใช้งานเครื่องเอ็กซเรย์แบบดิจิทัล	18
2.17 (a) แสดงภาพเอ็กซเรย์ที่ได้จากฟิล์มเอ็กซเรย์	18
(b) แสดงภาพเอ็กซเรย์ที่ได้จากเอ็กซเรย์แบบดิจิทัล	18

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.18 (a) Sir Godfrey N. Hounsfield (1919-2004) ผู้คิดค้นเครื่องซีทีเครื่องแรกของโลก	19
(b) EMI Head Scanner เครื่องซีทีเครื่องแรกของโลก	19
(c) ภาพตัดขวางรูปสมองมนุษย์ภาพแรก	19
2.19 แสดงบล็อกไดอะแกรมของเครื่องซีที	20
2.20 แสดงตัวอย่างของแกนตรี	21
2.21 (a) แสดงวงแหวนสลิปด้านหน้า	21
(b) แสดงวงแหวนสลิปด้านหลัง	22
2.22 แสดงส่วนประกอบต่างๆขณะทำการเอ็กซเรย์	23
3.1 แสดงตัวตรวจจับเอ็กซเรย์ชนิดก๊าซ	31
3.2 แสดงตัวตรวจจับชนิดเคลือบด้วยสารเรืองแสง	31
3.3 แสดงตัวตรวจจับชนิดสารกึ่งตัวนำ	31
3.4 แสดงตัวตรวจจับแบบ Counters	32
3.5 แสดงตัวตรวจจับแบบ Spectrometers	32
3.6 แสดงตัวตรวจจับแบบ Dosimeter	33
3.7 แสดงค่าเวลาที่เกิดกระแสโดยที่ t_c แทนเวลาที่ใช้ในการเก็บประจุ	34
3.8 แสดงการแผ่รังสีที่มีช่วงเวลาใกล้เคียงกัน	34
3.9 แสดงการต่อวงจรของเครื่องวัดกระแส	35
3.10 แสดงค่ากระแสที่เกิดจากการผันแปรตามเวลา ($\sigma_f(t)$)	36
3.11 แสดงบล็อกการทำงานของโหมคค่าเฉลี่ยกำลังสองของแรงดัน	37
3.12 แสดงการวัดสัญญาณแบบโหมคพัลส์	38
3.13 แสดงลักษณะของสัญญาณจากวงจรที่มีค่าคงที่ของเวลาต่างกัน	39
3.14 แสดงการกระจายตัวของพลังงานที่แตกต่างกัน	40
3.15 แสดงการถ่ายภาพเอ็กซเรย์ทางการแพทย์	41
3.16 แสดงการเปลี่ยนสถานะพลังงานของอิเล็กตรอนหลังจากได้รับกระตุ้นด้วยเอ็กซเรย์	42
3.17 แสดงแถบความถี่ที่สาร $Gd_2O_2S:Tb$ ปล่อยออกมาเมื่อได้รับการกระตุ้นด้วยเอ็กซเรย์	42
3.18 แสดงฉากเรืองแสงที่ใช้ควบคู่กับฟิล์มเอ็กซเรย์	44
3.19 แสดงฉากเรืองแสงที่ใช้งานทั่วไป	44
3.20 แสดงแนวโน้มการพัฒนาอุปกรณ์ตรวจจับรังสี	45

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.1 การสร้างภาพตัดขวางแบบลำแสงพัดจากเอ็กซ์เรย์	46
4.2 แสดงโปรเจกชันถูกสุมด้วยมุมที่เท่ากัน	
a ระยะห่างระหว่างตัวตรวจจับมีค่าไม่เท่ากัน	
b ระยะห่างระหว่างตัวตรวจจับมีค่าเท่ากัน	47
4.3 แสดงโปรเจกชันถูกสุมด้วยระยะที่เท่ากัน	
เนื่องจากระยะห่างระหว่างตัวตรวจจับมีค่าเท่ากัน ดังนั้นแต่มุมจึงมีค่าไม่เท่ากัน	48
4.4 แสดงโปรเจกชันแบบพัดที่ถูกสุมด้วยมุมที่เท่ากัน	
โดยมุม γ แสดงตำแหน่งของแต่ละเส้นรังสีภายในพัด	48
4.5 แสดงให้เห็นถึง L ซึ่งเป็นระยะจาก S ถึงจุด (x, y)	
และ γ คือค่ามุมระหว่างเส้นตามระยะ L กับเส้นรังสีกลาง	51
4.6 ความแตกต่างระหว่างการทำแบ็คโปรเจกชันแบบขนานและแบ็คโปรเจกชัน	
แบบพัด (a,b), และ (c) แสดงการคำนวณหาค่าแบ็คโปรเจกชันที่จุด (x,y)	
ซึ่งต้องการค่า γ' เป็นขั้นตอนแรก	53
4.7 ในกรณีที่ระยะห่างของตัวตรวจจับที่วางเป็นแนวเส้นตรงมีค่าเท่ากัน	
แต่ละโปรเจกชันจะแทนด้วย $R_\beta(s)$	54
4.8 แสดงตัวแปรต่างๆ ที่ใช้คำนวณในการสร้างภาพกลับของตัวตรวจวัด	
ที่ห่างด้วยระยะที่เท่ากันในแนวเส้นตรง	55
4.9 สำหรับจุดในพิกัดโพลาร์ (r, φ) ตัวแปร U เป็นอัตราส่วน	
ระหว่าง SP กับระยะจากแหล่งกำเนิดถึงจุดกำเนิด	56
5.1 แสดงโฟโตทรานซิสเตอร์ที่นำมาใช้ในงานวิจัยเดิม	61
5.2 แสดงขนาดของโฟโตทรานซิสเตอร์แบบใหม่เทียบแบบที่ใช้ในงานวิจัยเดิม	62
5.3 แสดงฉากเรืองแสงที่นำมาใช้งาน	62
5.4 แสดงสเปกตรัมของแสงสีต่างๆ	62
5.5 แสดงความไวของการตอบสนองเทียบกับความคมชัดของการแสดงผล	
ของฉากเรืองแสงสี เขียวที่เลือกใช้งาน	63
5.6 (a) แสดงโฟโตทรานซิสเตอร์ OSRAM รุ่น SFH 305 – 2	63
(b) แสดงกราฟคุณสมบัติของโฟโตทรานซิสเตอร์ที่ใช้งาน	63
5.7 แสดงโครงสร้างของหน่วยตรวจจับเอ็กซ์เรย์ชนิดแถวยาว	64

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.8 แสดงวงจรต้นแบบของวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน	65
5.9 แสดงวงจรที่ใช้ในส่วนของอินพุตและกรองความถี่ต่ำผ่านที่ได้รับการปรับปรุง	66
5.10 แสดงตำแหน่ง pole ของวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านอันดับ 2 ในรูปที่ 5.9	67
5.11 แสดงกราฟการตอบสนองของวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านอันดับ 2 ในรูปที่ 5.9.....	68
5.12 แสดงบล็อกการทำงานรวมของชุดตรวจจับเอ็กซ์เรย์ด้วยโฟโตทรานซิสเตอร์	69
5.13 แสดงหน่วยประมวลผลกลาง	70
5.14 แสดงตัวโปรแกรมที่ทำการเขียนขึ้นโดยใช้ Borland C++Builder 5	71
5.15 ระยะเวลาที่ต้องการคำนวณในหน่วยพิกลเซล.....	72
5.16 ระยะเวลาที่ต้องการคำนวณเพื่อใช้ในการประมวลผลภาพ.....	73
6.1 แสดงระดับสัญญาณแรงดันไฟฟ้าต่างๆของสารเรืองแสงเอ็กซ์เรย์ทั้ง 2 ชนิด	75
6.2 แสดงสัญญาณที่ได้ระหว่างสารเรืองแสงเอ็กซ์เรย์และฉากเรืองแสงเอ็กซ์เรย์.....	75
6.3 แสดงสัญญาณไฟฟ้าที่ก่อนและหลังวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน ซึ่งได้จากการจำลองโดยใช้โปรแกรม PCB Wizard	76
6.4 แสดงสัญญาณไฟฟ้าที่ได้ก่อนและหลังวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน	76
6.5 แสดงสัญญาณนาฬิกาที่ใช้ควบคุมการรับส่งข้อมูลเข้าสู่หน่วยประมวลผลกลาง	77
6.6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ และอัตราการขยายของวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน.....	78
6.7 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าอินพุตและเอาต์พุต เมื่อผ่านวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านของหัววัดเอ็กซ์เรย์ตัวที่ 47.....	80
6.8 แสดงกราฟความสัมพันธ์ของแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุต เมื่อผ่านวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านของหัววัดเอ็กซ์เรย์ตัวที่ 26, 39 และ 47.....	80
6.9 แสดงกราฟความสัมพันธ์ของระดับแรงดันไฟฟ้าของตัวตรวจจับเอ็กซ์เรย์ เมื่อทำการยิงเอ็กซ์เรย์ที่ค่าแตกต่างกันตั้งแต่ 35kV จนถึง 100 kV	81
6.10 แสดงสัญญาณไฟฟ้าเมื่อผ่านการปรับเทียบแล้ว ซึ่งจะถูกนำไปใช้งาน (เส้นสีเขียว)	82
6.11 แสดงสัญญาณไฟฟ้าก่อนและหลังผ่านการปรับเทียบแล้ว สีน้ำเงินคือสัญญาณก่อนการปรับเทียบ สีแดงคือสัญญาณหลังการปรับเทียบ	82
6.12 แสดงสัญญาณไฟฟ้าก่อนการปรับเทียบ	83
6.13 แสดงสัญญาณไฟฟ้าหลังการปรับเทียบระดับแรงดันไฟฟ้าเริ่มต้น	83

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
6.14 แสดงสัญญาณไฟฟ้าก่อนการปรับอัตราขยาย สัญญาณคือสัญญาณก่อนการฉายเอ็กซเรย์ สีแดงคือสัญญาณเมื่อทำการฉายเอ็กซเรย์.....	84
6.15 แสดงสัญญาณไฟฟ้าหลังการปรับอัตราขยาย สัญญาณคือสัญญาณก่อนการฉายเอ็กซเรย์ สีแดงคือสัญญาณเมื่อทำการฉายเอ็กซเรย์.....	84
6.16 แสดงระดับสัญญาณก่อนปรับอัตราขยาย	85
6.17 แสดงระดับสัญญาณที่ปรับเทียบอัตราขยายแล้ว ก่อนทำการฉายเอ็กซเรย์.....	85
6.18 แสดงระดับสัญญาณที่ปรับเทียบอัตราขยายแล้ว เมื่อทำการฉายเอ็กซเรย์ที่ 70kVp.....	86
6.19 แสดงเฟรมทอม 1 ทำจากพลาสติกอะคริลิก ความหนาโดยประมาณ 2 ซม. ทำการเอ็กซเรย์ตามแนวเส้นประสีส้ม ทั้ง 2 เส้น	86
6.20 ลักษณะของข้อมูลโปรเจกชันของหน่วยตรวจจับที่ได้จากการถ่ายเอ็กซเรย์ที่แถวบน ความละเอียด 3 line per inch.....	87
6.21 ลักษณะของข้อมูลโปรเจกชันของหน่วยตรวจจับที่ได้จากการถ่ายเอ็กซเรย์ที่แถวล่าง ความละเอียด 5 line per inch.....	87
6.22 ขนาดและระยะห่างของหัววัดเอ็กซเรย์แต่ละตัว.....	88
6.23 แสดงเฟรมทอม 2 ที่ทำจากอลูมิเนียมมีขนาด กว้าง 7.2 ซม. ยาว 7.9 ซม. หนา 1.2 ซม. เส้นทแยงมุมตามแนวเส้นขาวยาว 10.6 ซม. โดยที่การวางหน่วยตรวจจับจะวางตามแนวเส้น ขาว.....	88
6.24 ลักษณะของข้อมูลโปรเจกชันของหน่วยตรวจจับที่ได้จากการถ่ายเอ็กซเรย์เฟรมทอม 2.....	88
6.25 แสดงเฟรมทอม 3 ทำจากแผ่นอลูมิเนียมมาซ้อนกันเป็นรูปขั้นบันได โดยความหนาของแผ่นอลูมิเนียม 1 มม. จำนวนทั้งสิ้น 8 แผ่น	89
6.26 ลักษณะของข้อมูลโปรเจกชันของหน่วยตรวจจับที่ได้จากการถ่ายเอ็กซเรย์เฟรมทอม 3.....	89
6.27 แสดงเฟรมทอม 4 และภาพตัดขวางที่ได้	90
6.28 แสดงเฟรมทอม 5 และภาพตัดขวางที่ได้	90
6.29 แสดงเฟรมทอม 6 และภาพเอ็กซเรย์ที่ได้.....	92
6.30 แสดงระบบรับภาพเอ็กซเรย์จากโฟโตทรานซิสเตอร์ซึ่งจะทำการทดลอง	92