บทที่ 3

การพัฒนาระบบถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์พลังงานต่ำ

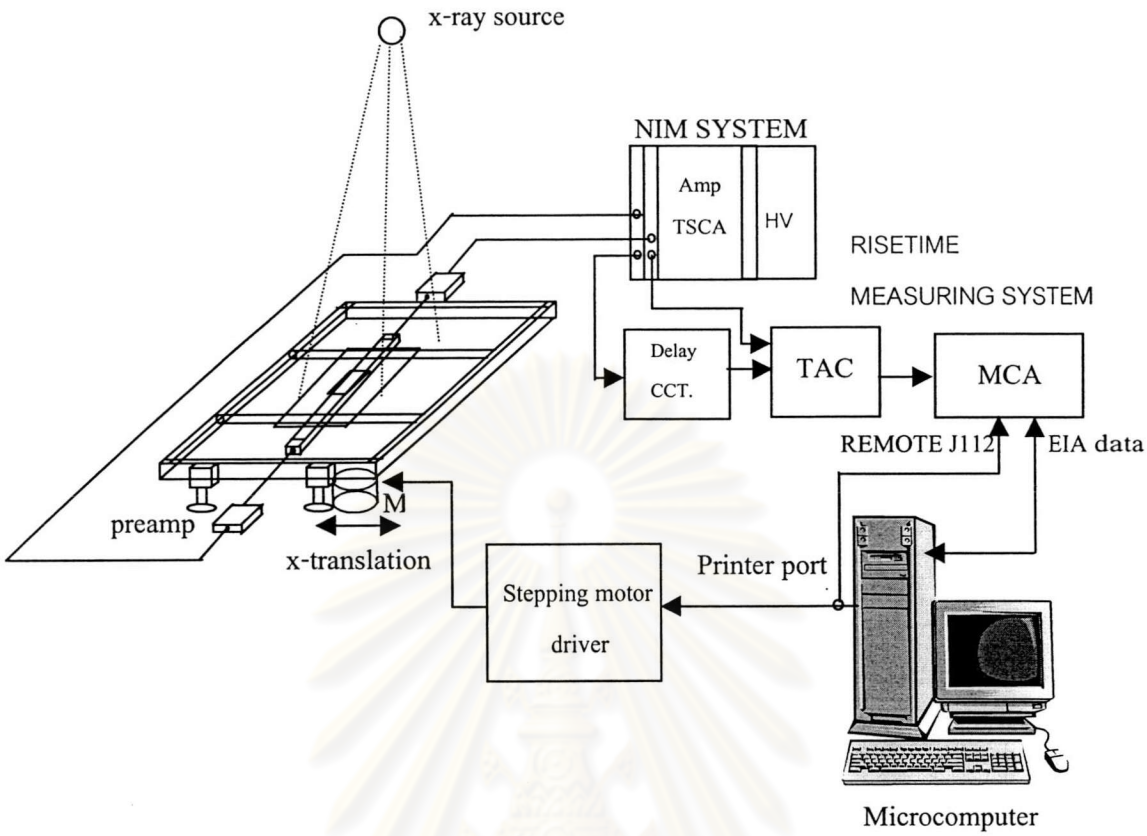
จากคุณสมบัติของหัววัดรังสีพรอพอร์ชันแนลชนิดไวต่อตำแหน่งการรับรังสี ซึ่งสามารถสร้างสัญญาณภาพถ่ายรังสีได้ครั้งละ 1 ข้อมูลโปรไฟล์ และตอบสนองการวัดรังสีเอกซ์พลังงานในช่วงต่ำกว่า 50 keV ได้ดี จึงเหมาะจะใช้เป็นอุปกรณ์สร้างสัญญาณภาพในระบบถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์พลังงานต่ำ แสดงผลทางจอภาพด้วยเทคนิคการสแกนที่ประหยัดเวลาจากการสแกนภาพ 2 แนว (x, y) เป็นระบบสแกนภาพแนวเดียว งานวิจัยนี้มุ่งเน้นที่จะพัฒนาระบบถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์พลังงานต่ำ ซึ่งใช้หัววัดรังสีพรอพอร์ชันแนลแบบก๊าซไหลชนิดไวต่อตำแหน่งที่สร้างขึ้นด้วยวิธีประหยัดเป็นอุปกรณ์วัดรังสี โดยปรับปรุงโครงสร้างหัววัดรังสีให้เหมาะกับการสร้างสัญญาณภาพ และออกแบบระบบสร้างสัญญาณภาพด้วยอุปกรณ์ที่สามารถหาได้ง่ายมีใช้ในห้องปฏิบัติการทั่วไป และพัฒนาอุปกรณ์แปลงผันคาบเวลาเป็นสัญญาณภาพ เพื่อร่วมทำงานกับเครื่องวิเคราะห์หลายช่องขนาด 1024 ช่อง ในการแปลงสัญญาณตำแหน่งเป็นสัญญาณภาพเชิงตัวเลข โดยกระบวนการแสดงภาพควบคุมการเก็บข้อมูลและสร้างภาพด้วยไมโครคอมพิวเตอร์

3.1 โครงสร้างของระบบถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์พลังงานต่ำ

แนวทางในการออกแบบระบบถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์พลังงานต่ำในงานวิจัยนี้แบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือการสร้างสัญญาณภาพด้วยเทคนิคการสแกนมิติเดียว และโปรแกรมควบคุมการทำงานของระบบในส่วนของการสร้างสัญญาณภาพด้วยเทคนิคการสแกนแนวเดียวจะประกอบด้วยระบบสำคัญ 3 ส่วนควบคุมการทำงานด้วยไมโครคอมพิวเตอร์ แสดงในแผนภาพรูปที่ 3.1 ได้แก่

1. ระบบสร้างสัญญาณภาพเชิงตัวเลข
2. ระบบสแกนวัสดุทดสอบตามแนวแกนเดียว (x- translation)
3. ระบบบันทึกข้อมูลและแสดงผลทางจอภาพ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.1 แผนภาพของระบบถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์พลังงานต่ำ

ระบบสร้างสัญญาณภาพเชิงตัวเลขเป็นการรับสัญญาณตำแหน่งจากหัววัดรังสีพรอพอร์-ชันแนลชนิดไวต่อตำแหน่งผ่านระบบวัดแบบไรส์ไทม์ในลักษณะของคาบเวลา ส่งให้อุปกรณ์แปลงผันคาบเวลาเป็นขนาดสัญญาณ (TAC) ในขั้นต้นก่อนที่จะแปลงผันขนาดสัญญาณเป็นสัญญาณภาพเชิงตัวเลข ด้วยอุปกรณ์วิเคราะห์หลายช่อง (MCA) จากนั้นสัญญาณเชิงตัวเลขรหัสแอสกี (ASCII) จากอุปกรณ์วิเคราะห์หลายช่องจะส่งผ่านช่องสัญญาณ (EIA) เข้าสู่พอร์ตอนุกรม RS-232 ของไมโครคอมพิวเตอร์ บันทึกลงหน่วยความจำและแสดงผลทางจอภาพ อีกส่วนหนึ่งเป็นระบบสแกนวัสดุทดสอบแบบมิติเดียว (x-translation) ขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์สเต็ปปิง (stepping motor) โดยควบคุมผ่านทางพอร์ตเครื่องพิมพ์ สำหรับระบบบันทึกข้อมูลและแสดงผลทางจอภาพเป็นการจัดพื้นที่ของหน่วยความจำให้สอดคล้องกับโปรแกรมควบคุมการทำงานของระบบ

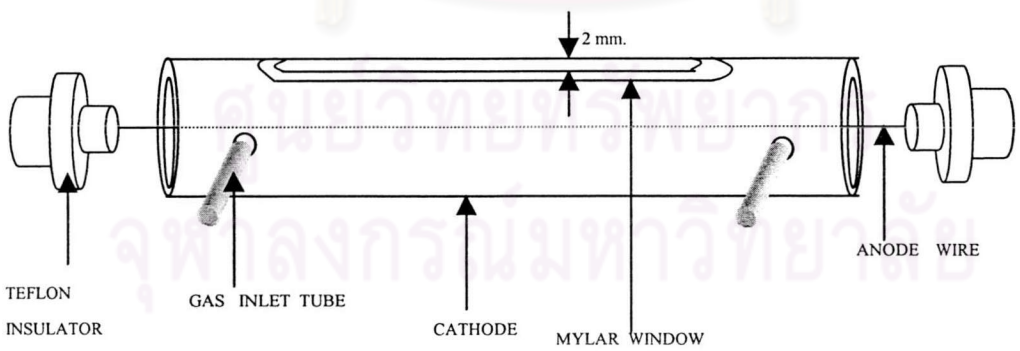
โปรแกรมควบคุมการทำงานของระบบจะเริ่มต้นทำงานที่ตำแหน่งเริ่มสแกนภาพด้วยการส่งสัญญาณพัลส์ให้กับอุปกรณ์วิเคราะห์หลายช่อง เริ่มวัดสัญญาณพัลส์ตามเวลาที่ตั้งไว้ผ่านทาง

ช่องควบคุมสัญญาณระยะไกลของอุปกรณ์วิเคราะห์หลายช่อง (remote connector) เมื่อสิ้นสุดเวลาวัดคำสั่งจากช่องควบคุมระยะไกลจะส่งมาให้ไมโครคอมพิวเตอร์ทางพอร์ตเครื่องพิมพ์ให้เตรียมรับข้อมูลทางพอร์ต RS-232 หลังสิ้นสุดการถ่ายโอนข้อมูล คำสั่งจากไมโครคอมพิวเตอร์จะส่งออกทางพอร์ตเครื่องพิมพ์ผ่านวงจรขับมอเตอร์สเต็ปปิงให้เคลื่อนตำแหน่งไปตามสเต็ปเป็นวงรอบจนครบพื้นที่การสแกน ข้อมูลที่บันทึกในหน่วยความจำจะถูกนำไปสร้างภาพและแสดงผลทางจอภาพ ไมโครคอมพิวเตอร์

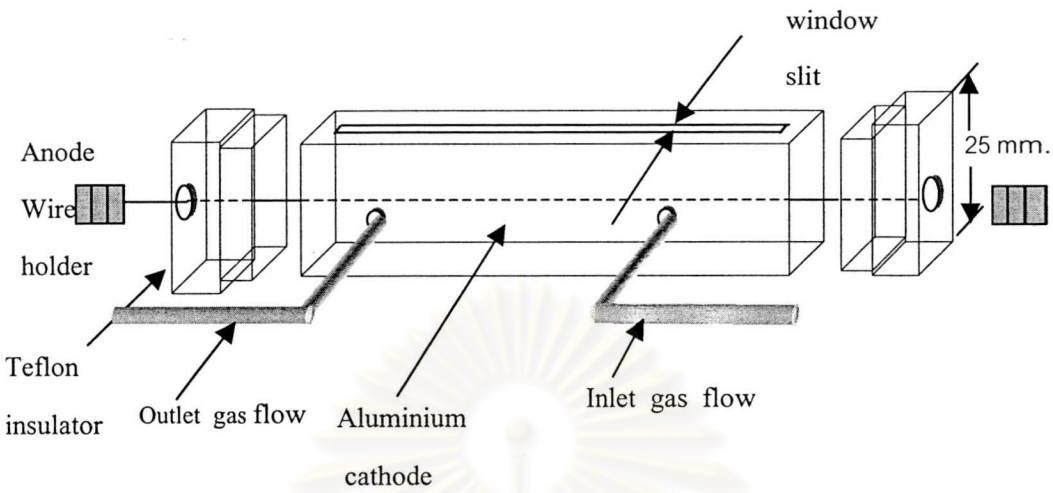
3.2 การปรับปรุงหัววัดรังสีพรอพอร์ชันแนลชนิดไวต่อตำแหน่ง

หัววัดรังสีพรอพอร์ชันแนลแบบก๊าซไหลชนิดไวต่อตำแหน่งที่สร้างขึ้นด้วยวิธีประหยัด[2] เมื่อนำมาใช้กับระบบถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์จะต้องปรับปรุงใหม่ เพื่อให้เหมาะสมกับระบบสร้างภาพดังนี้

1. วัสดุที่ใช้เดิมเป็นเหล็กกล้าไร้สนิม 304 มีน้ำหนักมาก และมีความแข็งแรง ทำให้เวลาเซาะร่องทางเข้ารังสีให้เล็กลำบาก จึงเปลี่ยนเป็นอลูมิเนียมซึ่งจัดสร้างได้ง่ายกว่า
2. รูปทรงเดิมใช้ทรงกระบอกกลม การจัดยึดอุปกรณ์ทดสอบทำได้ไม่สะดวก จึงเปลี่ยนเป็นใช้ทรงกระบอกเหลี่ยม
3. ปรับแก้อุปกรณ์ยึดสายแอโนดให้สะดวกต่อการยึดสาย
4. ทำช่องทางเข้ารังสีให้แคบเพื่อศึกษาความสามารถในการแจกแจงรายละเอียดภาพ



รูปที่ 3.2.ก. โครงสร้างของหัววัดรังสีเดิมรูปทรงกระบอกกลมกลวง



รูปที่ 3.2.ข. โครงสร้างของหัววัดรังสีพรอพอร์ชันแนลชนิดไวต่อตำแหน่งที่พัฒนาขึ้น

หัววัดรังสีพรอพอร์ชันแนลแบบก๊าซไหลชนิดไวต่อตำแหน่ง ที่สร้างขึ้นใหม่ทำจากอลูมิเนียมทรงกระบอกสี่เหลี่ยมมีขนาด 340 มม. หนา 1 มม. มีคุณลักษณะเฉพาะดังนี้

ก.มีช่องรับรังสีกว้าง 1.0 มม. ยาว 365 มม. ใช้ไมลาร์หนา 0.3 mg/cm^2 เป็นหน้าต่าง

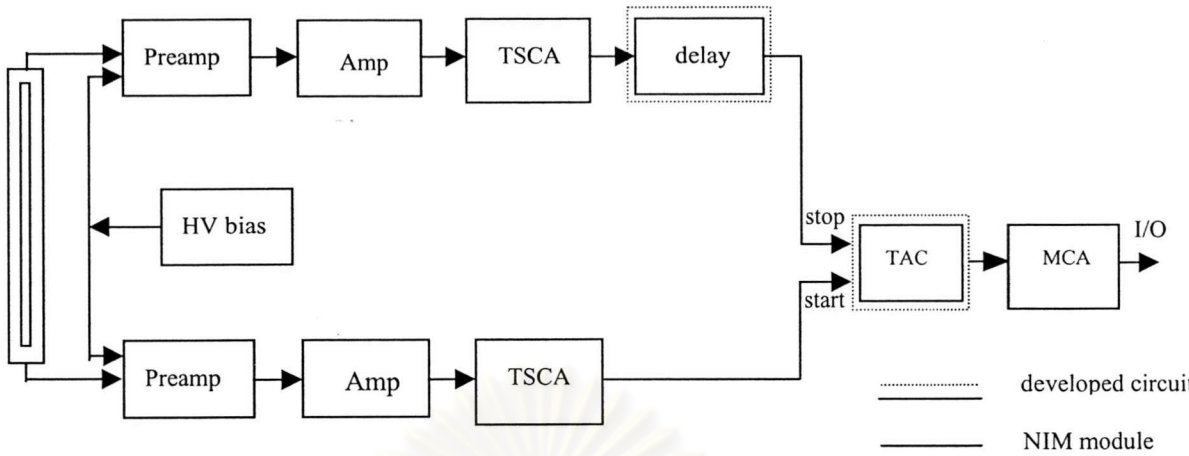
ข. สายแอโนดมีขนาด 110 μm ความต้านทาน 10 kΩ/mm.

ค. มีน้ำหนัก 110 กรัม

ง. ทำงานที่แรงดันไฟฟ้าสูง 2475 โวลต์

3.3 การออกแบบระบบสร้างสัญญาณภาพเชิงตัวเลข

การสร้างสัญญาณภาพในระบบถ่ายภาพด้วยรังสีซึ่งใช้หัววัดรังสีพรอพอร์ชันแนลชนิดไวต่อตำแหน่งเป็นอุปกรณ์รับสัญญาณภาพถ่ายรังสี จะให้สัญญาณข้อมูลในลักษณะสัญญาณตำแหน่งที่รังสีตกกระทบในปริมาณต่างๆกันตามคุณสมบัติของเนื้อวัสดุทดสอบ ดังนั้นระบบสร้างสัญญาณภาพส่วนหน้าจึงเป็นระบบวัดรังสี โดยงานวิจัยนี้เลือกใช้ระบบวัดตำแหน่งแบบไรส์ไทม์และแปลงผันสัญญาณตำแหน่งเป็นขนาดสัญญาณด้วยอุปกรณ์แปลงผันสัญญาณคาบเวลา เป็นขนาดสัญญาณชนิดอนาลอก (analog TAC) จากนั้นแปลงสัญญาณขนาดเป็นสัญญาณเชิงตัวเลขด้วยเครื่องวิเคราะห์หลายช่อง ดังในแผนภาพรูปที่ 3.3



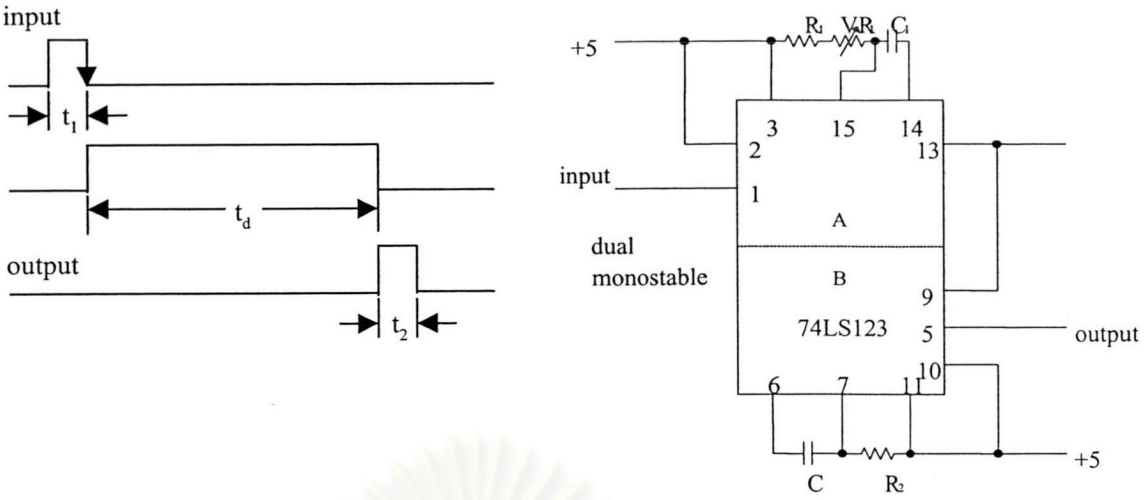
รูปที่ 3.3 แผนภาพระบบวัดตำแหน่งด้วยการวัดไรส์ไทม์

การจัดระบบวัดในแผนภาพรูปที่ 3.3 ทำได้โดยใช้อุปกรณ์มาตรฐาน NIM จัดระบบวัด แต่อย่างไรก็ตามอุปกรณ์วัดมาตรฐาน NIM เป็นระบบวัดที่ออกแบบสำหรับงานระดับวิจัย มีสมรรถนะสูงและมีราคาแพง ดังนั้นเพื่อให้ระบบถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์ที่พัฒนาขึ้นมีราคาประหยัด จึงพยายามหาวิธีลดการใช้โมดูลที่ผลิตจากต่างประเทศด้วยการพัฒนาวงจรที่สามารถจัดหาชิ้นส่วนและอุปกรณ์ในประเทศได้ง่ายมาทดแทนการทำงานของโมดูลบางโมดูล ได้แก่ วงจรแปลงสัญญาณคาบเวลาเป็นขนาดสัญญาณและวงจรหน่วงเวลา เป็นต้น

3.3.1 วงจรหน่วงเวลาสัญญาณพัลส์

จากแผนภาพในรูปที่ 3.3 โมดูลหน่วงเวลาสัญญาณพัลส์ ทำหน้าที่หน่วงเวลาของสัญญาณในกระบวนการวัดเวลา (time measurement) ปรับค่าได้ในช่วง 0-10 μs โดยการหน่วงเวลาในโมดูลนั้นจะใช้ดีเลย์ไลน์ (delay line) ซึ่งไม่สามารถปรับค่าได้ต่อเนื่องและมีขนาดใหญ่ ดังนั้นการออกแบบวงจรทดแทนเพื่อวัตถุประสงค์เดียวกันในการหน่วงเวลาสัญญาณลอจิก จึงเลือกใช้โมโนสเตเบิลเบอร์ 74LS123 มาออกแบบ เป็นวงจรหน่วงเวลา ดังแสดงในรูป 3.4.ข. และมีแผนภาพช่วงเวลาของสัญญาณดังรูปที่ 3.4.ก.

I20184153



ก. แผนภาพช่วงเวลาสัญญาณ ข. วงจรหน่วงเวลา

รูปที่ 3.4 การทำงานของวงจรหน่วงเวลาสัญญาณ

ไอซี 74LS123 เป็นไอซีที่มีวงจรโมโนสเตเบิล สำหรับตั้งเวลาได้ 2 ตัว คาบเวลา (t_w) ของโมโนสเตเบิลแต่ละตัวสามารถควบคุมได้ด้วย ค่าคงที่เวลาของความต้านทานภายนอก (R_{ext}) และตัวเก็บประจุภายนอก (C_{ext}) (รายละเอียดในภาคผนวก จ) สามารถคำนวณคาบเวลาได้จาก

$$t_w = kR_{ext}C_{ext} \qquad \ldots(3.1)$$

เมื่อ t_w คือ ความกว้างของสัญญาณพัลส์

k ขึ้นกับแหล่งจ่ายศักดาไฟฟ้า

จากวงจรในรูปที่ 3.4.ข. โมโนสเตเบิลตัวแรกกำหนดให้เป็นตัวรับสัญญาณเข้าที่ขา 1 และตั้งคาบเวลาที่ปรับค่าได้ เท่ากับค่าหน่วงเวลา (t_d) และให้สัญญาณทางออกของโมโนสเตเบิลตัวแรกที่ขา 13 ด้านขาลง กระตุ้นโมโนสเตเบิลตัวที่สองที่ขา 9 โดยตั้งคาบเวลาไว้ที่ t_2ให้สัญญาณทางออกที่ขา 5 ดังนั้น สัญญาณทางออกและทางเข้าจะหน่วงเวลาเท่ากับ t_d และปรับค่าได้ด้วย VR_1

ก. คำนวณค่า R_{ext} โดยกำหนดคาบเวลาของ t_d เท่ากับ 10 μs ที่โมโนสเตเบิลตัวแรก เงื่อนไข $C_{ext} \geq 1000pF$ และ $5k \leq R_{ext} \leq 260\ k\Omega$ เลือกใช้ค่า k = 0.45 ตามคำแนะนำในภาคผนวก จ. เพื่อให้ปรับค่าได้จากต่ำสุด เลือก R_1 เท่ากับ 5kΩ และคำนวณหาค่า V_{R1} ในกรณีนี้เลือก C_{ext} เท่ากับ 100 pF จากสมการ 3.1

จะได้

$$t_w = kR_{ext}C_{ext}$$

$$10\times10^{-6} = 0.45\times R_{ext}\times1000\times10^{-12}$$

$$\therefore R_{ext} = \frac{10\times10^{-6}}{0.45\times1000\times10^{-12}} = 22.2\ k\Omega$$

เลือก $V_{R1} = 22\ k\Omega$

ข. คำนวณค่า R_2 และ C_2 เพื่อกำหนดคาบเวลาของ 1 μs ของโมโนสเตเบิลตัวที่ 2

$$t_w = kR_{ext}C_{ext}$$

$$1\times10^{-6} = 0.45\times R_{ext}\times1000\times10^{-12}$$

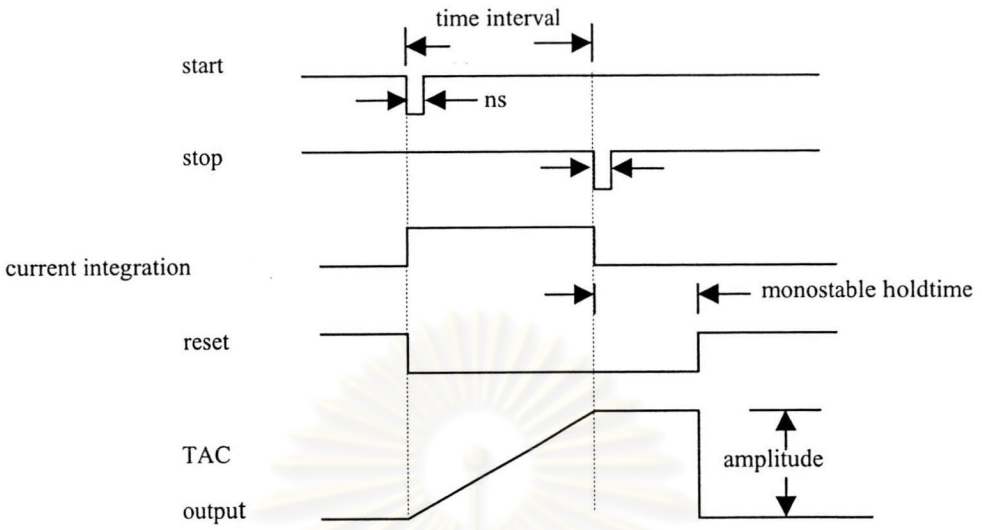
$$R_{ext} = \frac{1\times10^{-6}}{0.45\times1000\times10^{-12}} = 2.22\ k\Omega$$

เลือก $R_2 = R_{ext} = 2\ k\Omega$

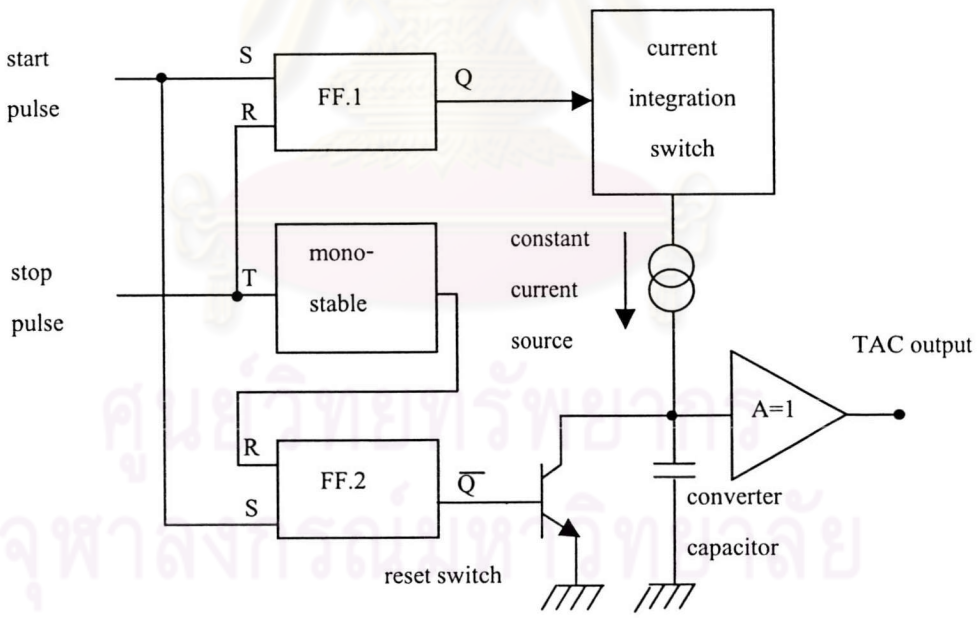
3.3.2 อุปกรณ์แปลงคาบเวลาเป็นขนาดสัญญาณชนิดอนาลอก (TAC)

อุปกรณ์แปลงคาบเวลาเป็นขนาดสัญญาณแบบอนาลอก เป็นอุปกรณ์ที่ทำงานโดยอาศัยหลักการอินทิเกรตกระแส (current integration) บนตัวเก็บประจุที่มีความเสถียรสูง เพื่อแปลงเวลาเป็นสัญญาณเชิงขนาด (amplitude) โดยที่คาบเวลาที่แปลงผันจะเป็นสัดส่วนกับขนาดสัญญาณในย่าน 0-10 โวลต์ จากหลักการทำงานของวงจรแปลงผันคาบเวลาเป็นขนาดสัญญาณ ชนิดอนาลอกดังกล่าว ได้นำมาเป็นแนวทางในการพัฒนาวงจร โดยกำหนดช่วงเวลาของสัญญาณต่างๆตามแผนภาพแสดงช่วงเวลาของสัญญาณในรูปที่ 3.5 และออกแบบวงจรด้วยชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ที่มีความไวต่อการตอบสนองสัญญาณสูงรวมทั้งวงจรเชิงตัวเลขในกลุ่ม TTL(74LS) และทรานซิสเตอร์ที่เหมาะสมประกอบกันเป็นวงจรสำคัญ 6 ส่วนได้แก่ วงจรฟลิปฟลอป (Flip-Flop) วงจรโมโนสเตเบิล (monostable) วงจรแหล่งจ่ายกระแสคงที่ วงจรสวิตซ์ควบคุมการอินทริเกตกระแสที่ตัวเก็บประจุ วงจรรีเซต (reset) และวงจรขับสัญญาณทางออก เป็นต้น การทำงานของวงจรแสดงในรูปที่ 3.6 ส่วนวงจรที่พัฒนาขึ้นและภาพถ่ายแสดงในรูปที่ 3.7 และ 3.8 ตามลำดับ

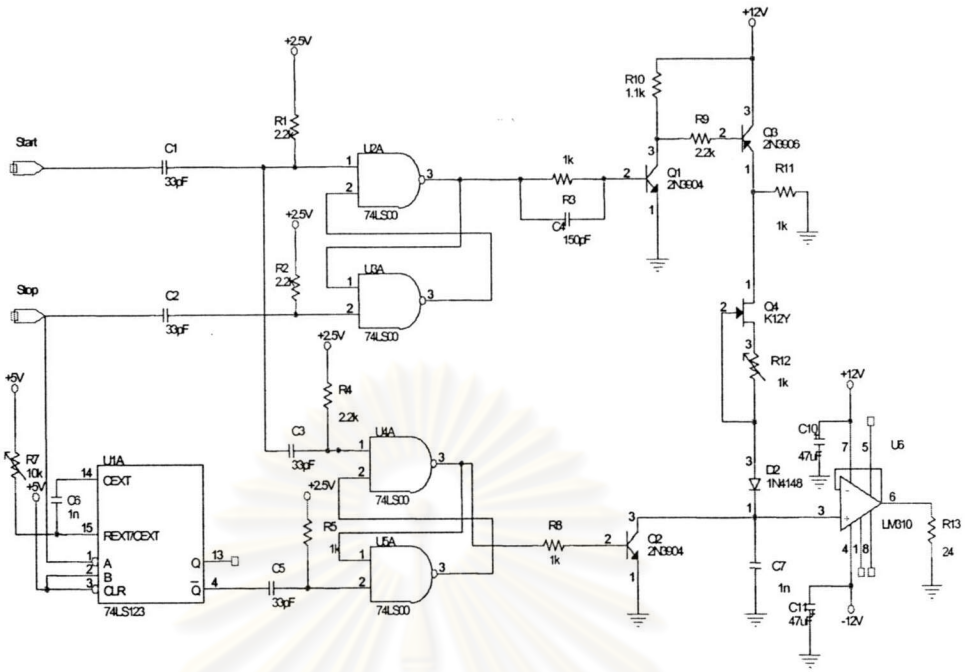
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



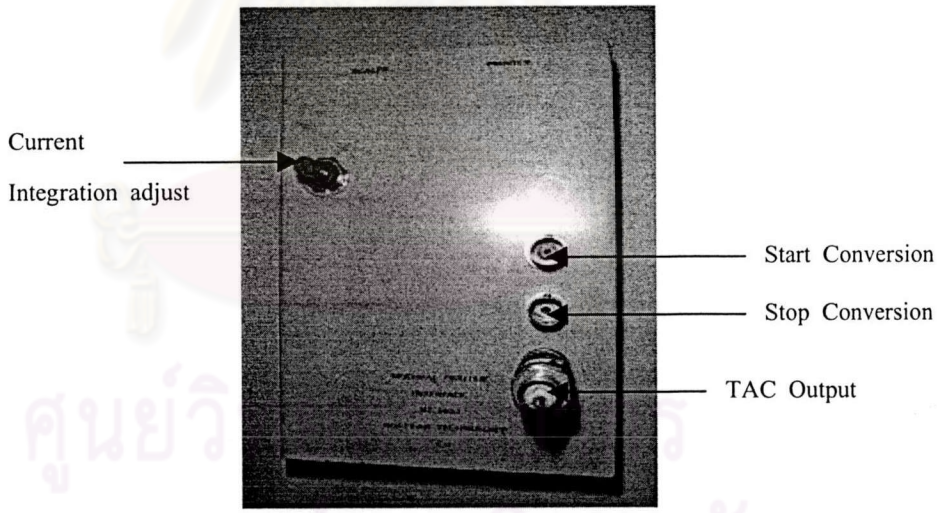
รูปที่ 3.5 แผนภาพแสดงช่วงเวลาของสัญญาณ (timing diagram) ในวงจร TAC



รูปที่ 3.6 แผนภาพวงจรแปลงผันคาบเวลาเป็นสัญญาณอนาลอก



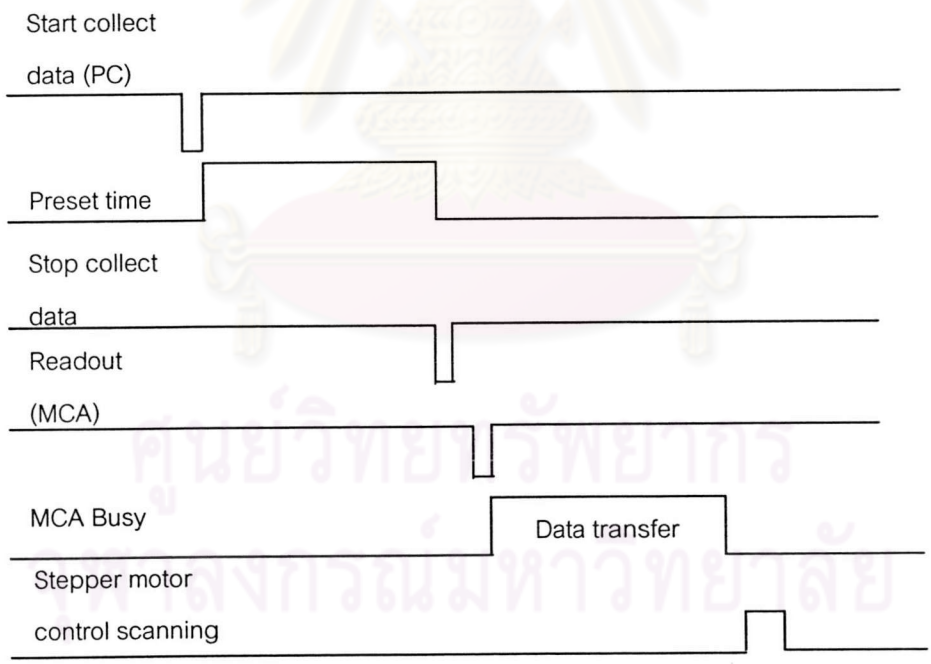
รูปที่ 3.7 วงจรแปลงผันคาบเวลาเป็น



รูปที่ 3.8 ภาพถ่ายอุปกรณ์แปลงผันคาบเวลาเป็นขนาดสัญญาณที่พัฒนาขึ้น

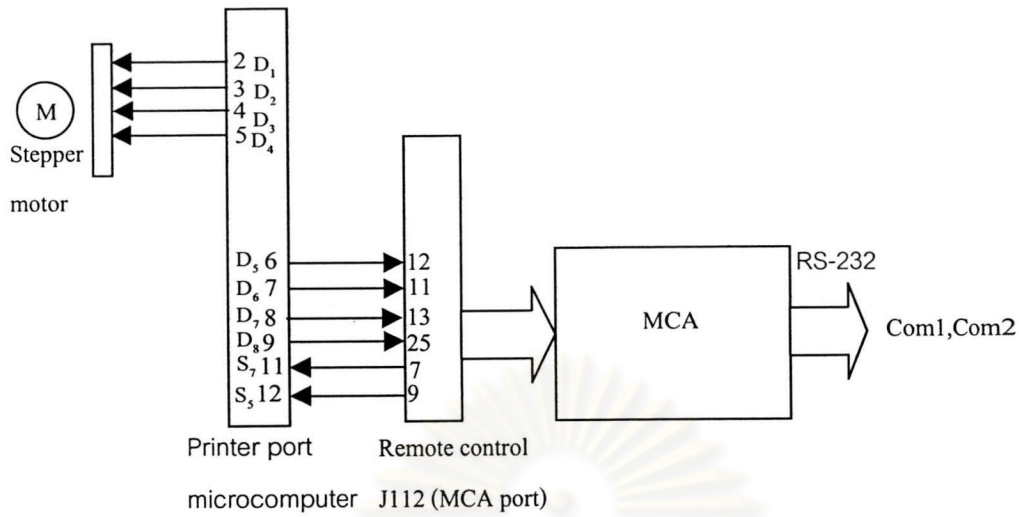
3.4 การออกแบบระบบบันทึกข้อมูลและแสดงผลทางจอภาพ

การแสดงภาพทางจอภาพออกแบบให้มีความละเอียดจุดภาพ 256 x 256 (pixei) ทำงานบนระบบปฏิบัติการ Windows ข้อมูลภาพเชิงตัวเลขจากเครื่องวิเคราะห์หลายช่องจะส่งออกทาง EIA เข้าทางพอร์ตอนุกรมของเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ โดยการควบคุมอัตโนมัติซึ่งออกแบบให้ติดต่อผ่านพอร์ตเครื่องพิมพ์ไปยังเครื่องวิเคราะห์แบบหลายช่อง (MCA) ผ่านทางช่องสัญญาณควบคุมระยะไกล (J112) ซึ่งมีรายละเอียดของสัญญาณควบคุมในตารางที่ ค.1 ภาคผนวก ค. การทำงานของระบบบันทึกภาพเริ่มจากเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ส่งคำสั่งเริ่มต้นนับไปยังเครื่องวิเคราะห์แบบหลายช่องเพื่อเก็บข้อมูลภาพโปรไฟล์ เมื่อครบช่วงเวลาในการเก็บข้อมูลภาพที่เลือกไว้แล้วเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์จะส่งคำสั่งของการบันทึกข้อมูลให้เครื่องวิเคราะห์หลายช่องส่งข้อมูลเข้าทางพอร์ตอนุกรม RS-232 หลังสิ้นสุดการส่งข้อมูลไมโครคอมพิวเตอร์จะส่งสัญญาณขับสเต็ปปิงมอเตอร์พร้อมทั้งเริ่มวงรอบในการเก็บข้อมูลใหม่ ดังแสดงในแผนภาพเวลา รูปที่ 3.9 และแสดงการเชื่อมโยงสัญญาณของระบบบันทึกภาพในรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.9 แผนภาพแสดงช่วงเวลาของระบบบันทึกข้อมูลสัญญาณภาพ

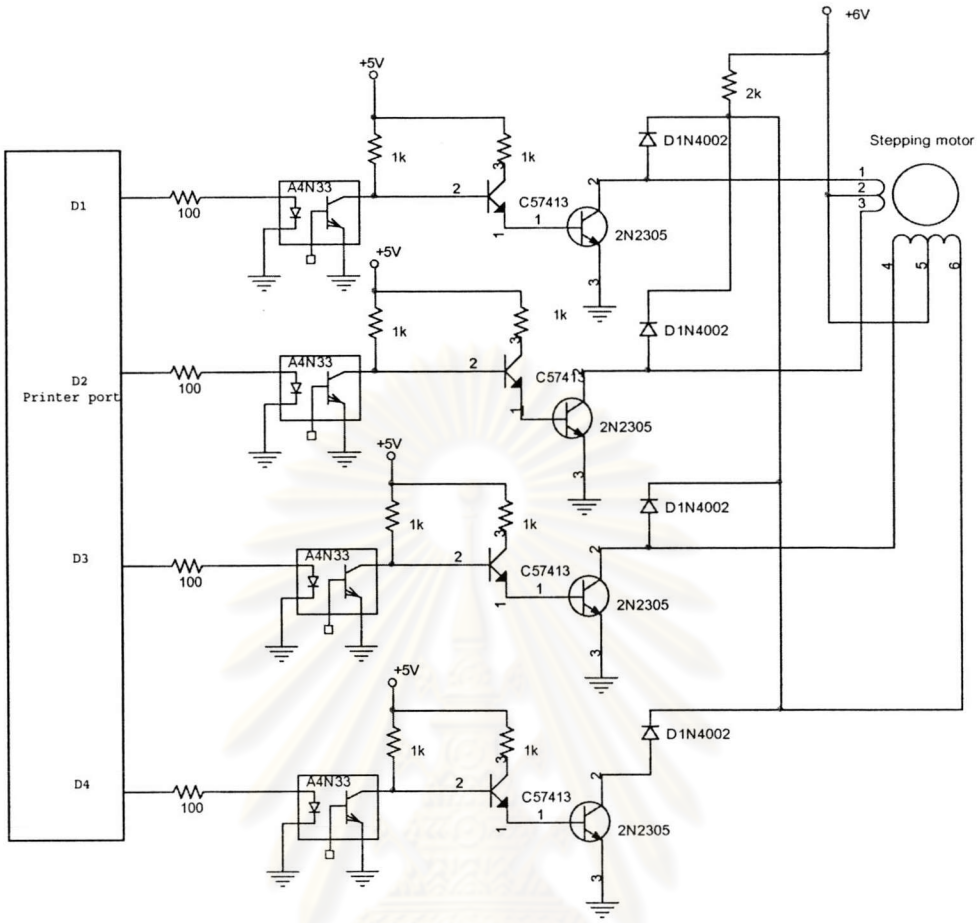
รูปที่ 3.10 การเชื่อมโยงสัญญาณของระบบบันทึกสัญญาณภาพ



รูปที่ 3.10 การเชื่อมโยงสัญญาณของระบบบันทึกภาพ

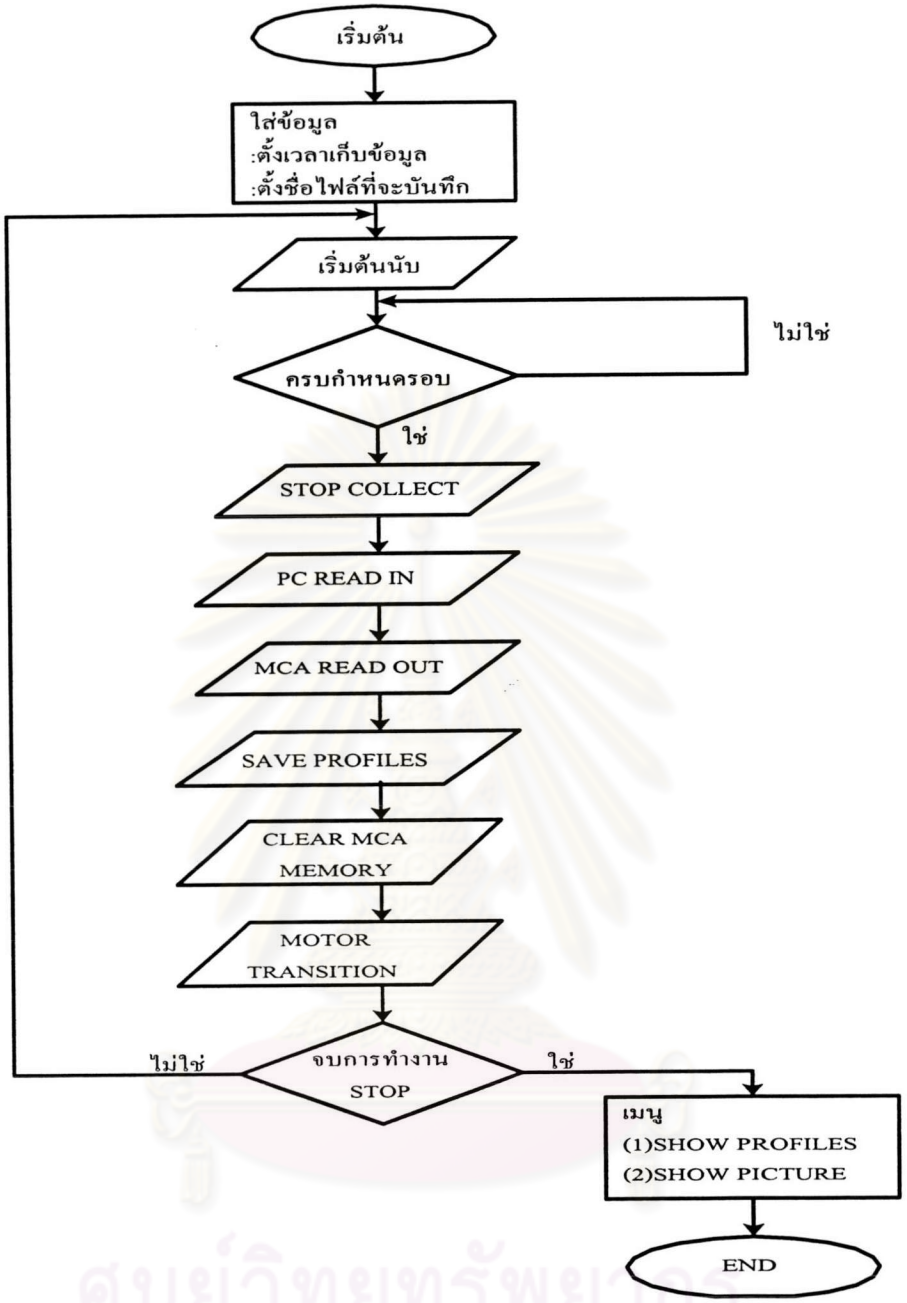
3.5 การออกแบบระบบสแกนวัสดุทดสอบ

เนื่องจากหัววัดรังสีชนิดไวต่อตำแหน่งสามารถสร้างสัญญาณได้ตลอดแนวของหัววัดรังสีได้ทั้งโปรไฟล์ ระบบสแกนจึงออกแบบให้สแกนมิติเดียว มีโครงสร้างเป็นกรอบยึดรางเลื่อนของแผ่นรองของวัสดุทดสอบ ฉุดด้วยเส้นลวดสลิงซึ่งขับเคลื่อนด้วยสเต็ปปิงมอเตอร์มีความละเอียดในการเคลื่อนที่ 1.6 มม./สเต็ป ดังรายละเอียดในภาคผนวก ก. สเต็ปปิงมอเตอร์ที่เลือกใช้เป็นแบบ 4 เฟสต้องการแรงดันไฟฟ้า 5.6 โวลต์ กินกระแส 600 มิลลิแอมป์ การเคลื่อนที่ของมอเตอร์ควบคุมด้วยโปรแกรมที่ออกแบบขึ้นโดยส่งสัญญาณควบคุมทางพอร์ตเครื่องพิมพ์ผ่านวงจรขับซึ่งออกแบบดังวงจรในรูปที่ 3.11 สัญญาณควบคุมจากพอร์ตเครื่องพิมพ์จัดให้ส่งผ่าน opto-isolate เพื่อป้องกันความเสียหายของพอร์ตเครื่องพิมพ์เมื่อเกิดการลัดวงจร ในส่วนของทรานซิสเตอร์ที่ทำหน้าเป็นสวิตซ์จัดวงจรแบบดาร์ลิงตัน (darlington) เพื่อให้ได้วงจรขับปลายทางที่ให้อัตราขยายกระแสสูง โดยความเร็วในการเคลื่อนที่ของระบบสแกนขึ้นกับการเลือกเวลาในการเก็บข้อมูลสัญญาณภาพที่อุปกรณ์วิเคราะห์หลายช่อง ซึ่งต้องสอดคล้องกับความแรงรังสีของต้นกำเนิดรังสี



รูปที่ 3.11 วงจรขับสเต็ปปิงมอเตอร์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

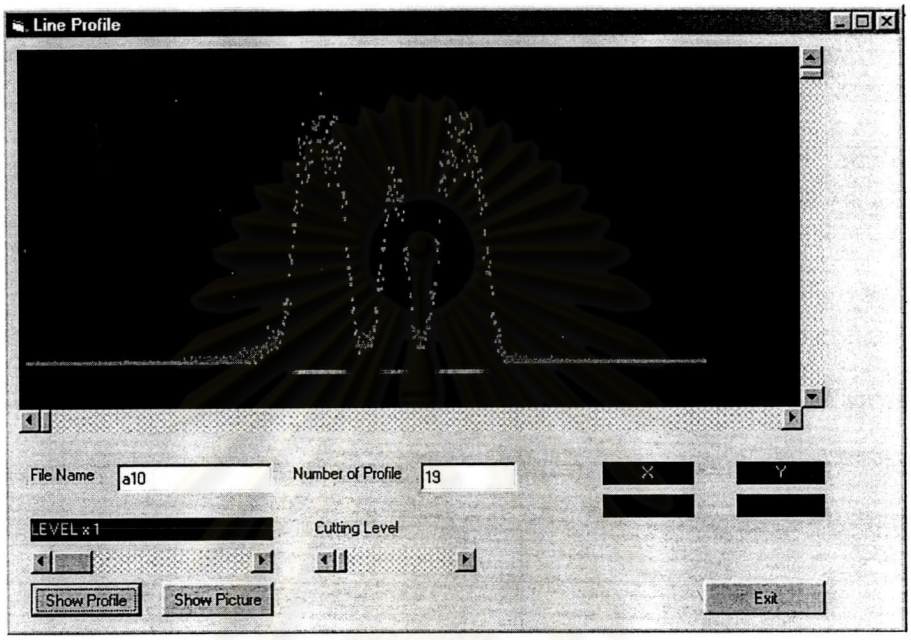


รูปที่ 3.12 แผนภาพการทำงานของโปรแกรมควบคุมการทำงานของระบบสร้างภาพ

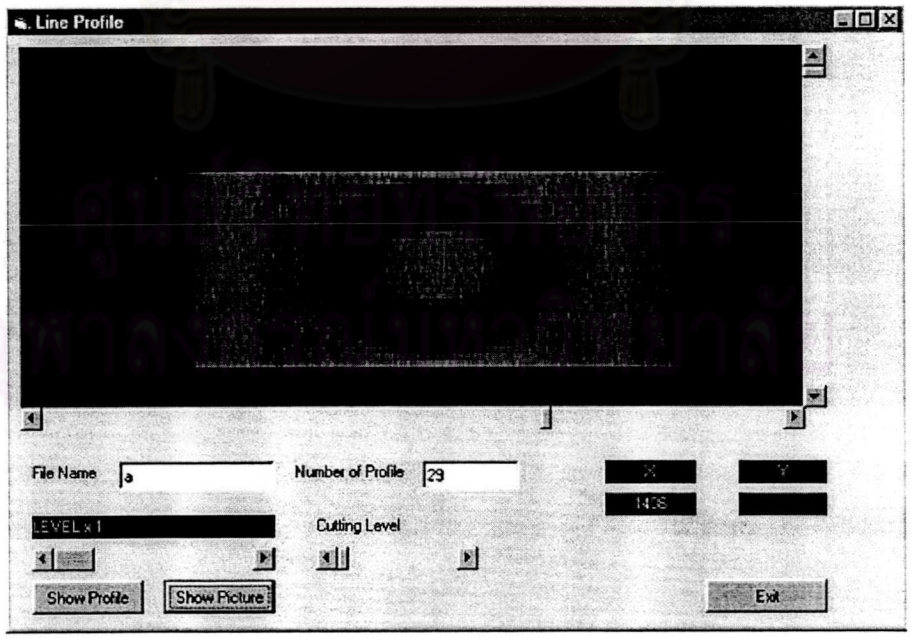
3.6 การพัฒนาโปรแกรมควบคุมการทำงานของระบบ

โปรแกรมควบคุมการทำงานของระบบพัฒนาขึ้นด้วยภาษา Visual Basic มีขนาด 80 กิโลไบต์ ประกอบด้วย โปรแกรมควบคุมการทำงานของเครื่องวิเคราะห์แบบหลายช่องให้สามารถทำการบันทึกข้อมูลสัญญาณภาพและถ่ายโอนข้อมูลกับไมโครคอมพิวเตอร์ผ่านทางพอร์ตอนุกรม จากการควบคุมระยะไกลอย่างต่อเนื่อง โปรแกรมอีกส่วน คือ โปรแกรมควบคุมการสแกนของวัสดุ

ทดสอบในการเก็บข้อมูลสัญญาณภาพแต่ละโปรไฟล์ซึ่งโปรแกรมทั้ง 2 ส่วนควบคุมผ่านทางพอร์ตเครื่องพิมพ์ ในรูปที่ 3.12 แสดงโฟล์วชาร์ตของโปรแกรมควบคุมการทำงานของระบบถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์พลังงานต่ำ ส่วนในรูปที่ 3.13 และ 3.14 แสดงหน้าจอของโปรแกรมเก็บข้อมูลสัญญาณภาพ และโปรแกรมแสดงโปรไฟล์และภาพตามลำดับ



รูปที่ 3.13 โปรแกรมสำหรับเก็บข้อมูลสัญญาณภาพ



รูปที่ 3.14 โปรแกรมแสดงโปรไฟล์และภาพ