บทที่ 3
การสร้างอุปกรณ์

การพัฒนาระบบระเหยสารในสุญญากาศ 1 จุดให้เป็น 3 จุด เพื่อใช้ในการระเหยสาร 3 ชนิดคือ Cu, In, Se ได้มีการออกแบบ การวางตำแหน่งของอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับการระเหยสาร เช่น จุดระเหย, แผ่นรองรับ, การวางตำแหน่งคริสตอล ฯลฯ และได้มีการสร้างวงจรทางอิเล็คทรอนิกส์เชื่อมต่อ (Interface) กับคอมพิวเตอร์ เพื่อควบคุมอัตราการระเหยของสาร การสร้างระบบควบคุมการระเหยสารนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อ ใช้ในการเตรียมแผ่นฟิล์ม $CuInSe_2$ เพื่อนำไปศึกษาสมบัติทางฟิสิกส์ต่อไป

การสร้างอุปกรณ์ มีรายละเอียดดังนี้

3.1 การวางตำแหน่งอุปกรณ์ ภายในครอบแก้ว

3.1.1 การวางตำแหน่งจุดระเหย, แผ่นรองรับ และคริสตอล

การวางตำแหน่งอุปกรณ์ต่าง ๆ ภายในครอบแก้ว เช่น โบ๊ตที่ใช้ระเหยสาร, ชัตเตอร์ ปิด-เปิด, แผ่นรองรับ, คริสตอล ฯลฯ แสดงรายละเอียดดังรูปที่ 3.1 (ก.)

การกำหนดตำแหน่งจุดระเหยสาร แผ่นรองรับ และคริสตอล แสดงดังรูปที่ 3.1 (ข.) เป็นการแสดงเพียง 1 จุด โดยจัดวางแผ่นรองรับสูงขึ้นไปเหนือจุดระเหยเป็นระยะ 20 เซนติเมตร และตำแหน่งของคริสตอลจะวางเยื้องออกไปจากจุดระเหยเป็นมุม 8 ห่างจากจุดระเหยเป็นระยะ 4 เซนติเมตร ซึ่งอีก 2 จุด ก็เป็นเช่นเดียวกัน

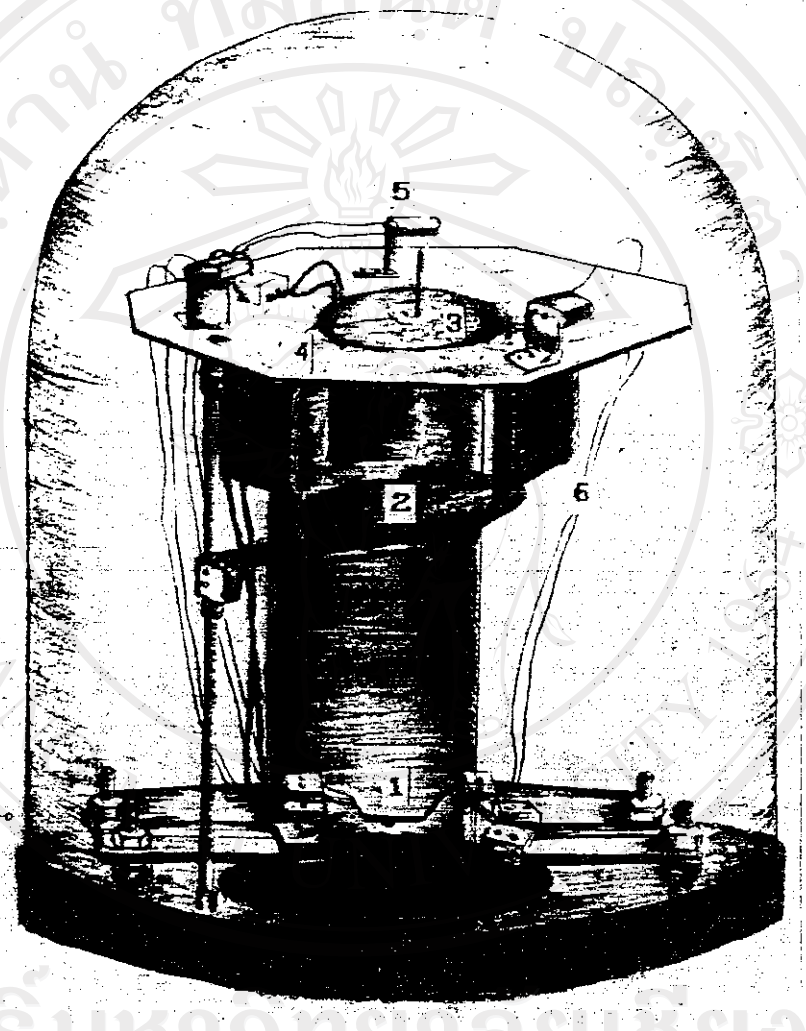
3.1.2 การวางตำแหน่งของจุดระเหย

การวางตำแหน่งของจุดระเหยสาร 3 จุด แสดงดังรูปที่ 3.2 (ก.) เป็นรูปที่มองจากเบื้องบนฐานรอง (Base plate) พบว่า ที่จุดศูนย์กลางได้เขียนวงกลมรัศมี 4.2 เซนติเมตร จากนั้นได้กำหนดจุดระเหย 3 จุด โดยมีการวางตำแหน่งให้สมมาตรกัน

หลักยึดโบ๊ตของระบบมีเพียง 4 หลัก จึงได้ใช้วิธีการให้แขนจับโบ๊ตของจุดที่ 2 ใช้ร่วมกับแขนของจุดที่ 1 และแขนของจุดที่ 3 แสดงดังรูปที่ 3.2 (ข.)

ส่วนรูปแสดงจุดระเหยบนฐานรอง แสดงไว้ในภาคผนวก จ.3

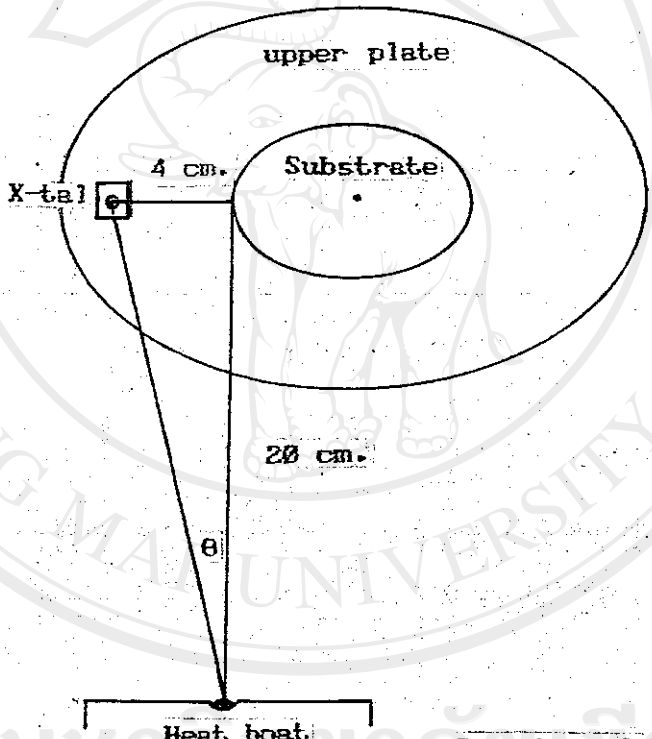
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูปที่ 3.1 (ก.) แสดงรายละเอียดการวางตำแหน่งอุปกรณ์ต่าง ๆ ภายใน ครอบแก้ว

หมายเลข	1	โมัดที่ใช้ระเหยสาร
"	2	ชัตเตอร์ ปิด-เปิด
"	3	แผ่นรองรับ
"	4	แผ่นยึดด้านบน
"	5	ควิสตอล
"	6	สายสัญญาณไฟฟ้า

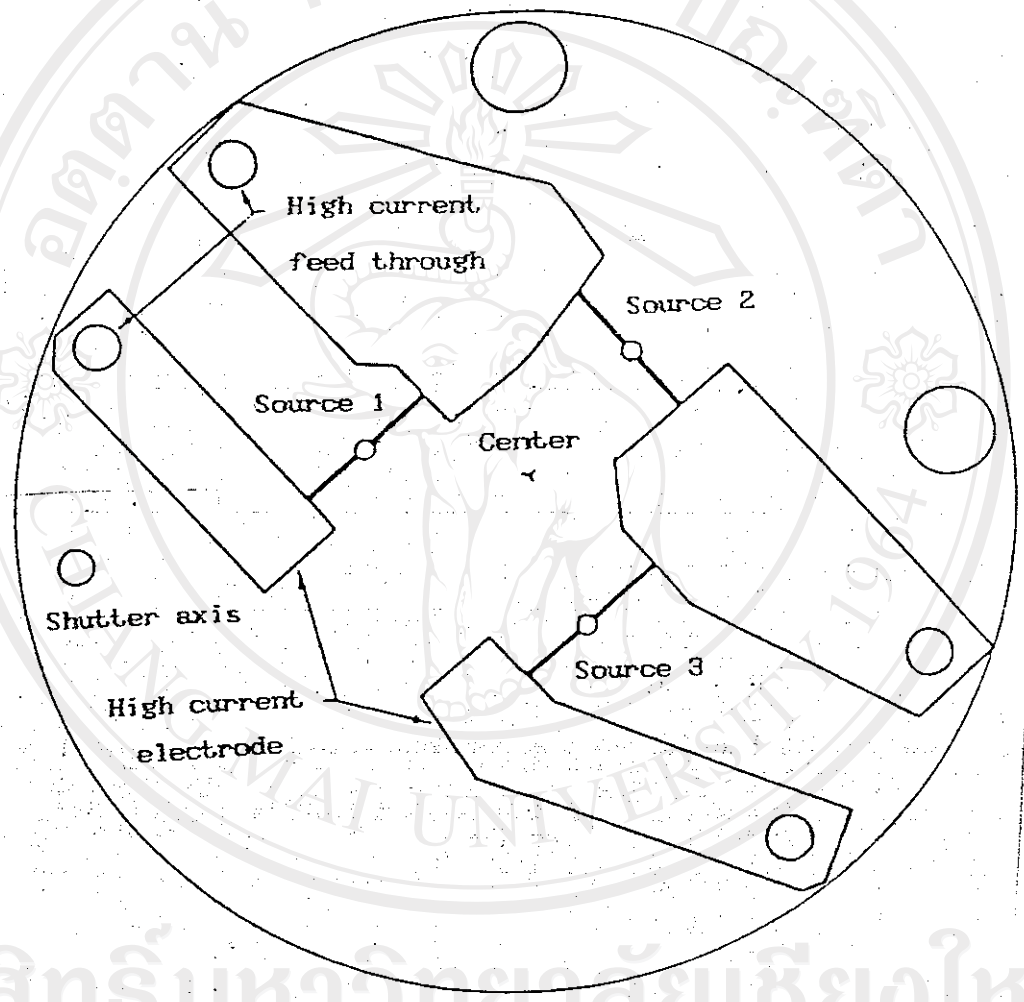
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



Geometry of the system

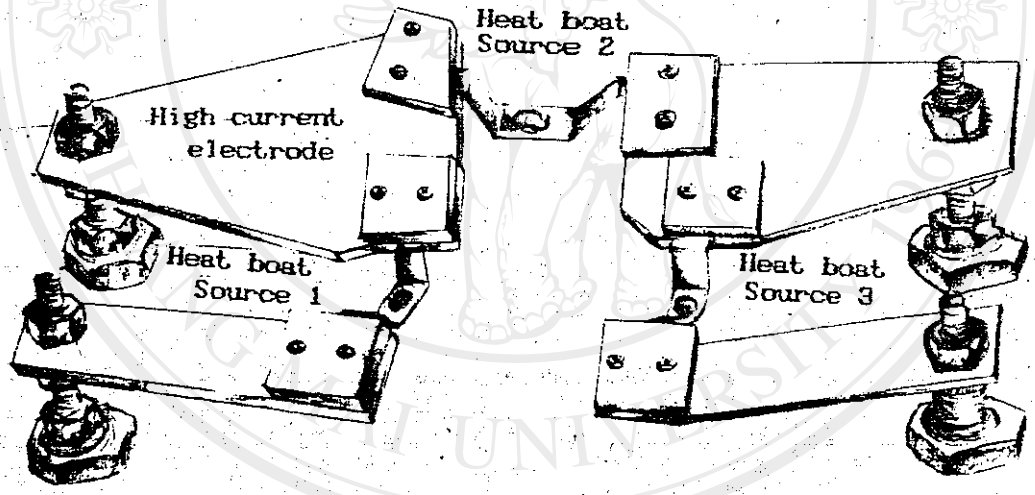
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

รูปที่ 3.1 (ข.) แสดงการวางตำแหน่งจุดระเหย,แผ่นรองรับและคริสตอล



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

รูปที่ 3.2 (ก.) แสดงการวางตำแหน่งจุดระเหยทั้ง 3 จุด ที่วางสมมาตรกัน
บนฐานรอง (Base plate)



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

รูปที่ 3.2 (ข.) แสดงแขนยึดโบ๊ตของจุดที่ 2 ที่ใช้ร่วมกับแขนของจุดที่ 1 และ จุดที่ 3

3.1.3 การวางตำแหน่งของคริสตอล

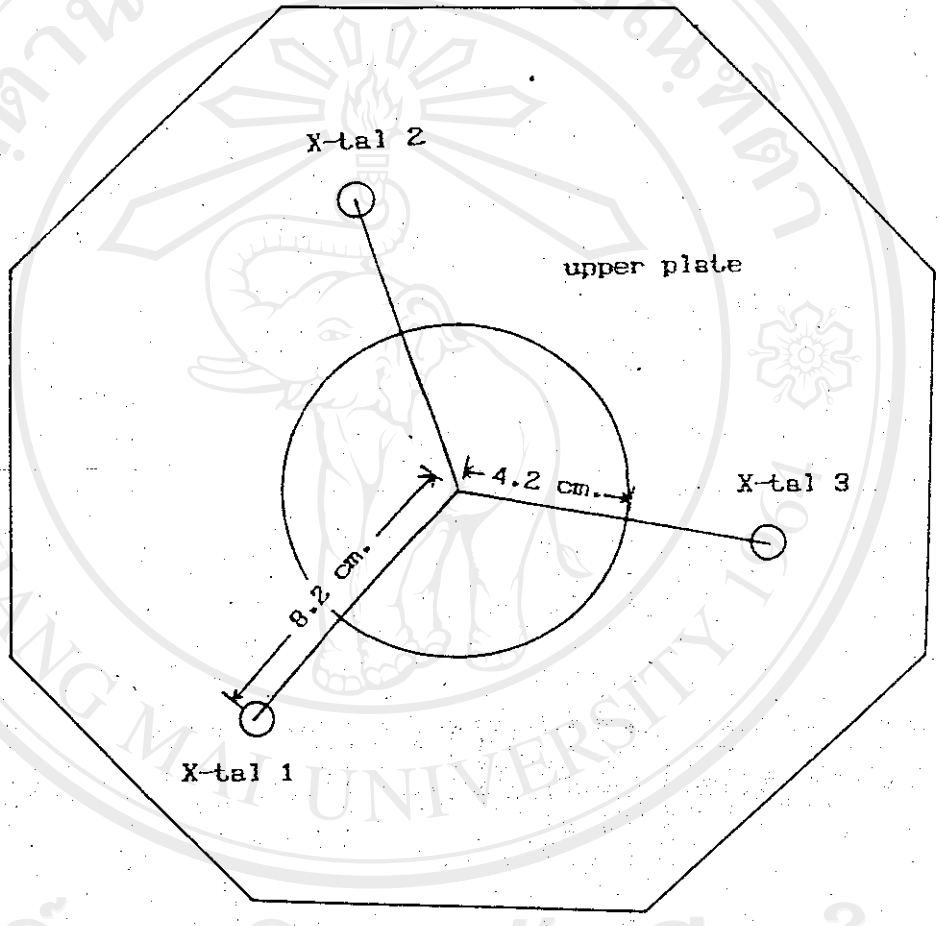
การวางตำแหน่งคริสตอลบนแผ่นยึดด้านบน แสดงดังรูปที่ 3.3 (ก.) พบว่า จุดกึ่งกลางแผ่นยึดด้านบนกับจุดกึ่งกลางฐานรองอยู่ในตำแหน่งเดียวกันได้เขียนวงกลมรัศมี 4.2 เซนติเมตรบนแผ่นยึดด้านบนและเจาะพื้นที่วงกลมดังกล่าวให้เป็นช่อง ฉะนั้นเสมือนกับว่า จุดระเหยสารทั้ง 3 จุด ที่วางสมมาตรกัน จะวางอยู่ตรงขอบของวงกลมที่ทำการเจาะช่อง ซึ่งเป็นการง่ายต่อการคิดค่ามวลที่ระเหยขึ้นไปเกาะ ภายในวงกลมนี้

การวางตำแหน่งคริสตอลทั้งสาม ทำได้โดยการเขียนวงกลมรัศมี 8.2 เซนติเมตร บนแผ่นยึดด้านบน ทำการวางตำแหน่งคริสตอลทั้งสามตัวให้สมมาตรกันเช่นเดียวกับการวางตำแหน่งจุดระเหยสาร ยกระดับคริสตอลทั้งสามตัวขึ้นไปเหนือแผ่นยึดด้านบนเป็นระยะ 2.4 เซนติเมตร ทำการเจาะช่องรับสารบนแผ่นยึดด้านบนพื้นที่วงกลม เท่ากับ 0.58 ตารางเซนติเมตร แสดงดังรูปที่ 3.3 (ข.) จากนั้นทำการปรับแต่งมุมของคริสตอลตัวที่ 1 ทำได้โดยการเล็งช่องที่เจาะกับจุดระเหยสารจุดที่ 1 ให้อยู่ตรงกัน โดยไม่สามารถเล็งเห็นจุดที่ 2 และ 3 จุดประสงค์เพื่อให้สารที่ระเหยจากจุดที่ 1 ขึ้นไปเกาะคริสตอลตัวที่ 1 เท่านั้น โดยที่สารระเหยจากจุดที่ 2 และ 3 ไม่สามารถระเหยขึ้นไปเกาะคริสตอลตัวที่ 1 ได้ ส่วนการปรับแต่งมุมรับสารของคริสตอล ตัวที่ 2 และ 3 ก็ใช้วิธีเดียวกัน

3.2 ระบบควบคุมการระเหยสาร 3 จุด โดยคอมพิวเตอร์

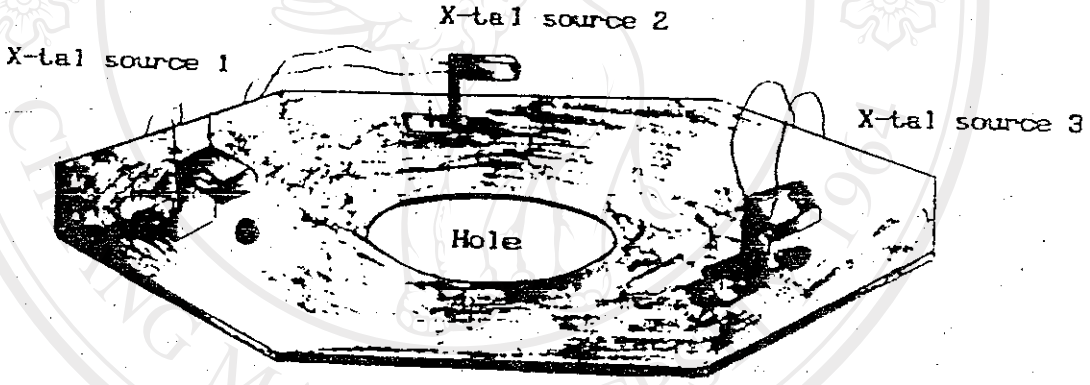
ระบบควบคุมการระเหยสารที่ทำการสร้างขึ้น ได้อาศัยหลักการที่ว่า เมื่อสารได้รับความร้อนจนถึงจุดหลอมเหลวระเหยเป็นไอขึ้นไปเกาะคริสตอล มีผลทำให้ความถี่คริสตอลเปลี่ยนไป ค่าความถี่จะถูกเปลี่ยนให้อยู่ในรูปของสัญญาณไฟฟ้าโดยวงจรอิเล็กทรอนิกส์ สัญญาณไฟฟ้านี้จะถูกนำเข้าสู่ระบบคอมพิวเตอร์ ซึ่งมีการคำนวณค่าอัตราการเปลี่ยนความถี่ของคริสตอล โดยนำค่าที่คำนวณได้เปรียบเทียบกับค่าที่ต้องการควบคุม ถ้าค่าที่คำนวณได้มากกว่าค่าที่ต้องการควบคุม คอมพิวเตอร์จะทำการลดอุณหภูมิที่ใช้ระเหยสารลง และถ้าในกรณีค่าที่คำนวณได้น้อยกว่าค่าที่ต้องการควบคุม คอมพิวเตอร์จะทำการเพิ่มอุณหภูมิที่ใช้ระเหยสารขึ้น การควบคุมกระทำอย่างต่อเนื่อง จนได้อัตราการเปลี่ยนความถี่ของคริสตอลตามที่ต้องการ ซึ่งการควบคุมการระเหยสารแต่ละจุดแยกเป็นอิสระจากกัน และข้อมูลอัตราการเปลี่ยนความถี่มีการนำไปเขียนกราฟให้เห็นบนจอภาพของคอมพิวเตอร์ สามารถแสดงแผนผังของระบบควบคุม ดังรูปที่3.4

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



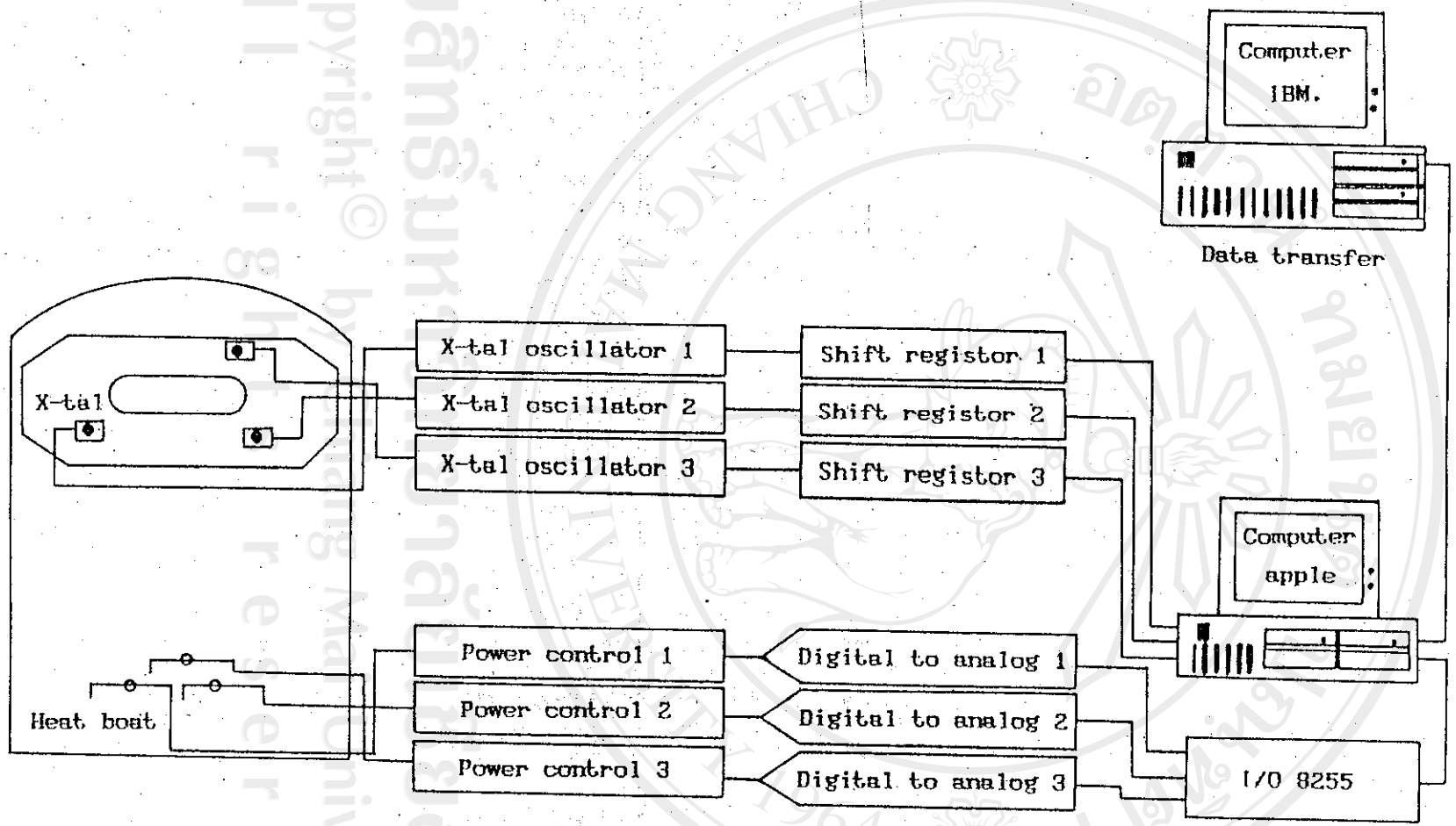
รูปที่ 3.3 (ก.) แสดงการวางตำแหน่งคริสตอลทั้ง 3 จุด บนแผ่นยึดด้านบน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

รูปที่ 3.3 (ข.) แสดงการยกระดับคริสตอลทั้ง 3 จุด บนแผ่นยึดด้านบน



รูปที่ 3.4 แสดงแผนผังของระบบควบคุมการระเหยสาร 3 จุด โดยคอมพิวเตอร์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

รายละเอียดของวงจรอิเล็กทรอนิกส์มีดังนี้

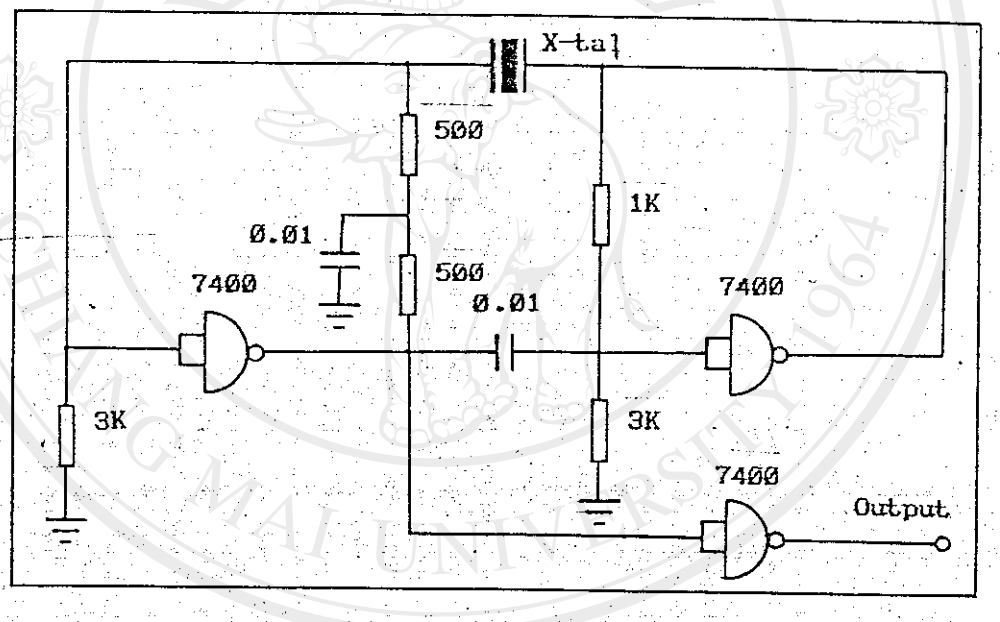
3.2.1 วงจรออสซิลเลเตอร์ (Oscillator Circuit) เป็นวงจรชนิด TTL Oscillator วงจรแสดงดังรูปที่ 3.5 ทำหน้าที่เปลี่ยนความถี่ของคริสตอลให้อยู่ในรูปของสัญญาณไฟฟ้ารูปคลื่นสี่เหลี่ยม โดยใช้คริสตอลเป็นตัวกำหนดความถี่ ในการทดลองนี้ได้ใช้คริสตอลความถี่ 4 เมกกะเฮิรตซ์

3.2.2 วงจรรีจิสเตอร์เลื่อนข้อมูล (Shift registor) เป็นวงจรทำหน้าที่รับสัญญาณไฟฟ้าจากวงจรออสซิลเลเตอร์ โดยมีการเปิดเกตนับสัญญาณไฟฟ้าใน 1 วินาทีแล้วจึงปิด สัญญาณไฟฟ้าที่ผ่านการนับโดยภาคนับสัญญาณ จะทำการส่งสัญญาณเป็นแบบอนุกรม เข้าสู่คอมพิวเตอร์แอปเปิ้ลทาง I/O Game รายละเอียดของวงจรแสดงไว้ในภาคผนวก ก.1 และ ก.2

3.2.3 วงจรแปลงผันดิจิตอลเป็นแอนนะลอก(Digital to Analog Coverter, DAC.)เป็นวงจรที่ทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณดิจิตอลให้อยู่ในรูปสัญญาณแอนนะลอก การที่คอมพิวเตอร์จะทำการเปลี่ยนสัญญาณดิจิตอลเป็นสัญญาณแอนนะลอก จำเป็นต้องมีพอร์ทที่ใช้ในการติดต่อเป็นอินพุท/เอาท์พุท ไอซีที่ทำหน้าที่ดังกล่าวคือ 8255 ซึ่งมีพอร์ทบริการใช้งาน 3 พอร์ท จึงเหมาะสมสำหรับ DAC. 3 ชุด สัญญาณแอนนะลอกนี้ จะถูกส่งไปใช้ควบคุมวงจรควบคุมกำลังเชิงลัดส่วน ซึ่งใช้ในการควบคุมกำลังไฟฟ้าของหม้อแปลงที่ใช้ระเหยสารอีกทอดหนึ่ง รายละเอียดของวงจรแสดงไว้ในภาคผนวก ก.3

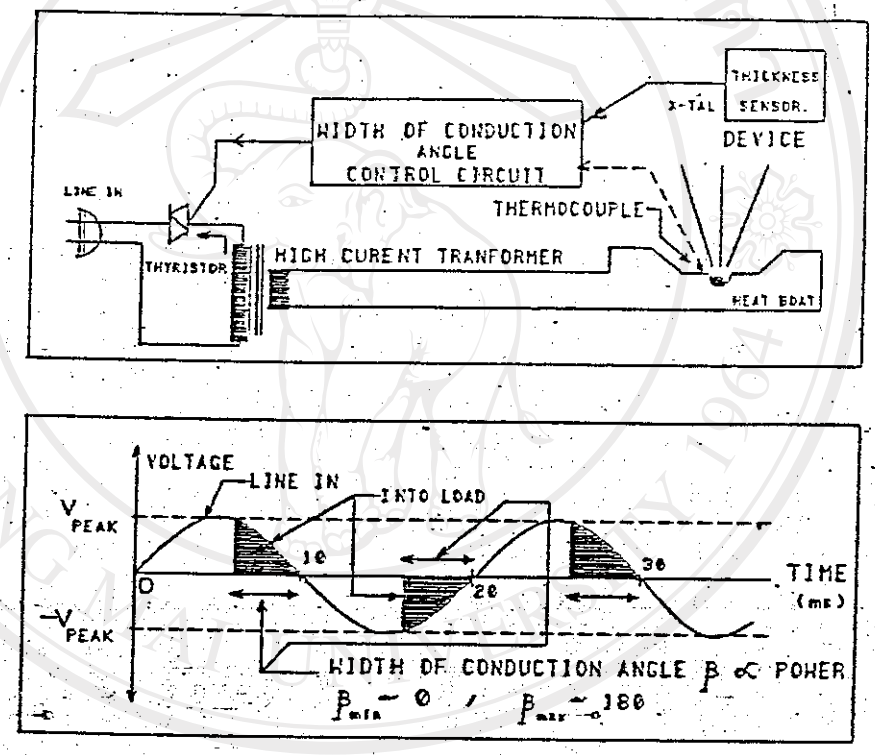
3.2.4 วงจรควบคุมกำลังเชิงสัดส่วน (Proportional power control) เป็นวงจรทำหน้าที่ควบคุมกำลังไฟฟ้าของหม้อแปลงที่ใช้ในการระเหยสาร โดยอาศัยหลักการควบคุมมุมนำกระแสของไทริสเตอร์ แสดงดังรูปที่ 3.6 ไทริสเตอร์จะทำงานตามช่วงเวลาที่ถูกกำหนดไว้ด้วยมุมนำกระแส (Conduction angle, β) ซึ่งมีความสัมพันธ์กับกำลังไฟฟ้าของหม้อแปลงที่ใช้ในการระเหยสาร กำลังไฟฟ้าจะมีค่ามากที่สุด เมื่อมุม $\beta = 180^\circ$ และน้อยที่สุดเมื่อมุม $\beta = 0$ การที่มุม β จะมีค่าเป็นเท่าใดนั้น จะถูกควบคุมโดยสัญญาณแอนนะลอกจากวงจรแปลงผันดิจิตอลเป็นแอนนะลอก รายละเอียดของวงจรแสดงไว้ในภาคผนวก ก.4

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูปที่ 3.5 แสดงวงจรออสซิลเลเตอร์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

รูปที่ 3.6 แสดงการควบคุมแบบกำกระแสรองไทริสเตอร์

3.3 โปรแกรมควบคุมระบบการระเหยสาร

โปรแกรมที่ใช้ควบคุมระบบระเหยสาร 3 จุด ได้ใช้ภาษาเครื่องเป็นโปรแกรมย่อย เพื่ออ่านค่าความถี่ของคริสตอลเข้ามายังคอมพิวเตอร์ผ่านทาง I/O Game โปรแกรมหลักได้ใช้ภาษาเบสิค ซึ่งทำการเรียกโปรแกรมย่อย อ่านค่าความถี่ของคริสตอลทั้ง 3 ตัว มาแสดงผลบนจอภาพ โปรแกรมจะทำการคำนวณค่าอัตราการเปลี่ยนความถี่ของคริสตอล ซึ่งนำค่าที่คำนวณได้มาเปรียบเทียบกับค่าอัตราการเปลี่ยนความถี่ที่ต้องการควบคุม ถ้าค่าที่คำนวณได้ไม่เท่ากับค่าที่ต้องการควบคุม โปรแกรมจะส่งผลการควบคุมด้วยการเปลี่ยนตัวเลขควบคุมในช่วงค่า 0-255 ผ่านทางวงจรแปลงผันดิจิตอลเป็นแอนนะลอก การเพิ่มหรือลดตัวเลขควบคุมนั้น ทำให้สัญญาณแอนนะลอกเปลี่ยนค่าไปสัญญาณแอนนะลอกนี้เมื่อเข้าสู่วงจรควบคุมกำลังเชิงสัดส่วนจะมีผลในการควบคุมมุมนำกระแสที่ให้กำลังไฟฟ้าแก่หม้อแปลงซึ่งใช้ระเหยสาร โดยมีการเพิ่มหรือลดมุมนำกระแสค่าอยู่ระหว่าง 0-180° และมีผลต่ออุณหภูมิที่ใช้ระเหยสาร มากหรือน้อยตามต้องการ ถ้าอัตราการเปลี่ยนความถี่มีค่ามากกว่าค่าที่ตั้งไว้ ตัวเลขควบคุมจะลดค่าลง มีผลให้อุณหภูมิในการระเหยสารลดลง ถ้าอัตราการเปลี่ยนความถี่มีค่าน้อยกว่าค่าที่ตั้งไว้ ตัวเลขควบคุมจะเพิ่มขึ้น มีผลให้อุณหภูมิในการระเหยสารเพิ่มตามขึ้นด้วย การทำงานเป็นไปอย่างอัตโนมัติ ทำการควบคุมอุณหภูมิในการระเหยสาร จนได้ค่าอัตราการเปลี่ยนความถี่ของคริสตอล ตามที่ต้องการสามารถแสดงผังงาน การทำงานของโปรแกรมดังรูปที่ 3.7 ส่วนรายละเอียดของโปรแกรมภาษาเครื่องและภาษาเบสิค แสดงไว้ในภาคผนวก ข.1 และ ข.2 ตามลำดับ

การแสดงผลการควบคุมของระบบได้ใช้วิธีการนำค่าความถี่ที่เปลี่ยนไปของคริสตอลทั้งสาม มาทำการเขียนกราฟกับเวลา ปรากฏให้เห็นบนจอภาพของคอมพิวเตอร์ 8 บิต แอปเปิ้ล การเขียนโปรแกรมจะเขียนในโหมดกราฟฟิคชนิดจุดละเอียด(High resolution graphics) พบว่า ไม่มีความละเอียดของเส้นกราฟเพียงพอ เพราะจำนวนจุดภาพของจอภาพมีค่าเพียง 160 x 280 จุดเท่านั้น จึงจำเป็นต้องทำการถ่ายโอนข้อมูลจากคอมพิวเตอร์ 8 บิต แอปเปิ้ล สู่คอมพิวเตอร์ 16 บิต ไอบีเอ็ม พีซี/เอ็กซ์ที (IBM. PC/XT) จอภาพของคอมพิวเตอร์ 16 บิต มีความละเอียดมากกว่า ซึ่งจำนวนจุดมีค่าถึง 200 x 640 จุด และข้อมูลความถี่ยังสามารถเก็บในไฟล์ สกุล.PRN เพื่อโหลดเข้าเขียนกราฟในโปรแกรมสำเร็จรูปโลตัส 1-2-3 เพื่อนำไปวิเคราะห์ผลต่อไป

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การส่งข้อมูลจากคอมพิวเตอร์ แอปเปิ้ล สู่คอมพิวเตอร์ ไอบีเอ็ม พีซี/เอ็กซ์ที ได้ใช้ตัวเชื่อมโยงแบบอนุกรม (Serial interface card) ของคอมพิวเตอร์ แอปเปิ้ล ซึ่งเสียบในสล้อตที่ 1 เป็นฝ่ายส่ง ส่วนคอมพิวเตอร์ ไอบีเอ็ม พีซี/เอ็กซ์ที ได้ใช้พอร์ทสื่อสารแบบ RS-232 เป็นฝ่ายรับข้อมูล การส่งข้อมูลใช้สายติดต่อเพียง 2 สาย ก็สามารถสื่อสารส่งข้อมูลได้ เพราะ การสื่อสารเป็นแบบไม่ซิงโครไนซ์ และไม่ตรวจสอบ

โปรแกรมที่รับข้อมูลใช้ภาษาเครื่อง เป็นโปรแกรมย่อย ส่วนโปรแกรมที่นำข้อมูลมาเขียนกราฟ และเก็บไฟล์ใช้ภาษา Hbasic ซึ่งสามารถแสดงผังงาน ดังรูปที่ 3.8 การทำงานของโปรแกรมเริ่มจากการให้ใส่ข้อมูล อาทิเช่น ความถี่เริ่มต้นของคริสตอลทั้งสามตัว, สเกล ฯลฯ จากนั้นจึงทำการนำข้อมูลความถี่ที่อ่านได้ เขียนกราฟระหว่างความถี่กับเวลา ในกรณีที่ต้องการเก็บไฟล์ให้ทำการกดคีย์ F ถ้ายังไม่เก็บไฟล์โปรแกรมทำการอ่านค่าความถี่มาใหม่ แล้วนำมาเขียนกราฟอีก จะวนรอบจนการทำงานเสร็จสิ้น รายละเอียดของโปรแกรมภาษาเครื่องและภาษา Hbasic แสดงไว้ในภาคผนวก ข.3 และ ข.4 ตามลำดับ

3.4 การควบคุมอุณหภูมิบนแผ่นรองรับ

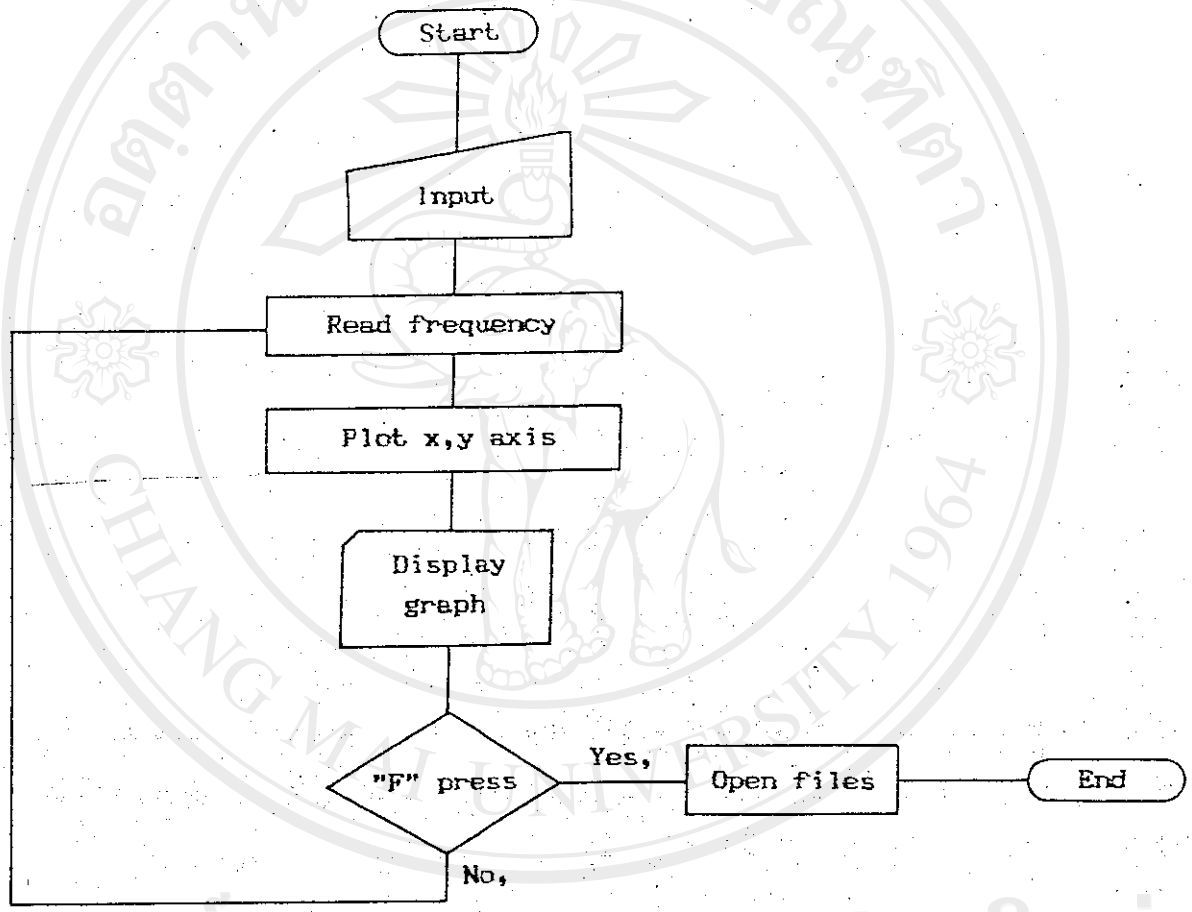
การให้ความร้อนแก่แผ่นรองรับ เป็นการให้พลังงานที่เหมาะสม แก่โมเลกุลของสารที่ระเหยขึ้นไปเกาะแผ่นรองรับ เพื่อให้มีการฟอร์มตัวเป็นโครงสร้างของผลึก การให้ความร้อนจึงต้องมีการควบคุมอุณหภูมิไว้ค่าหนึ่ง เพื่อใช้เป็นเงื่อนไขในการทดลองและสรุปผลต่อไป

รายละเอียดการควบคุมอุณหภูมิบนแผ่นรองรับ มีดังนี้ :-

1. นำแผ่นทำความร้อน ของกาต้มน้ำดัดแปลง ทำการติดตั้งบนแผ่นรองรับ แสดงการติดตั้งดังรูปที่ 3.9

2. ใช้ดิจิตอลมัลติมิเตอร์ของฮาเมก (HAMEG) รุ่น M10-8001-2 อ่านค่าแรงดันจากเทอร์โมคัปเปิล ชนิดโครเมล-อลูเมล ซึ่งใช้วัดอุณหภูมิและสามารถเปรียบเทียบค่าแรงดันกับค่าอุณหภูมิได้ แสดงดังกราฟในภาคผนวก ค.

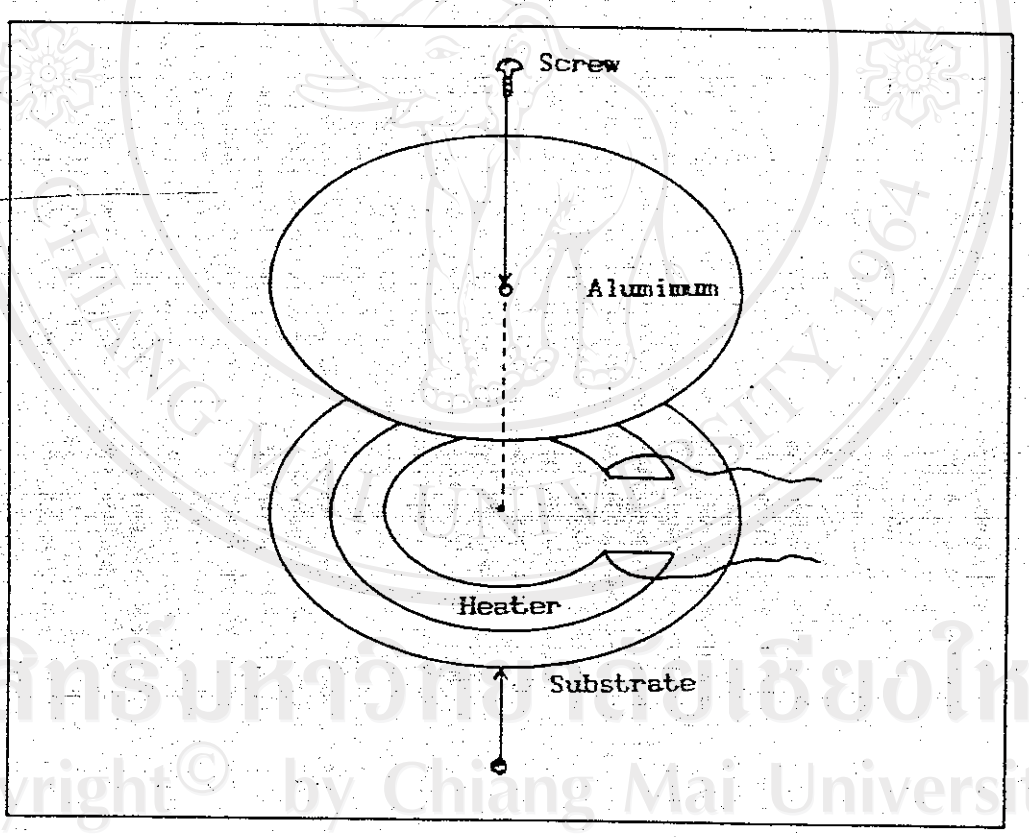
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

รูปที่ 3.8 แสดงผังงานของโปรแกรมเขียนกราฟและเก็บไฟล์

3. นำสัญญาณแรงดันจากดิจิตอลมัลติมิเตอร์มาเข้าวงจรเปรียบเทียบแรงดัน หลักการทำงาน ทำนองเดียวกับเทอร์โมสแตต คือแรงดันที่นำเข้ามาหากมากกว่าแรงดันที่ตั้งไว้ ก็จะตัดวงจรไม่ให้กระแสไหลผ่านแผ่นทำความร้อน และในทางตรงกันข้าม ถ้าน้อยกว่า ก็จะต่อวงจรให้มีกระแสไหลผ่าน รายละเอียดของวงจรแสดงไว้ในภาคผนวก ก.5



รูปที่ 3.9 การติดตั้งแผ่นทำความร้อน โดยใช้แผ่นอลูมิเนียมกลมประกบยึดติดกับแผ่นรองรับ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

3.5 หม้อแปลงที่ใช้ในการระเหยสาร

หม้อแปลงที่เป็นแหล่งจ่ายไฟให้กับโบ๊ตเพื่อใช้ระเหยสาร เป็นแบบโวลต์ต่ำ แต่ให้กระแสสูง มีรายละเอียดในการสร้าง คือ ได้ใช้แกนเหล็กเป็นแบบ EI ขนาด 4.5 นิ้ว พื้นที่ 1.2 x 2 ตารางนิ้ว มีค่าฟลักซ์แม่เหล็กอิ่มตัว (Magnetic flux) ประมาณ 64500 เส้นต่อตารางนิ้ว ขดลวดทองแดงด้านปฐมภูมิ (Primary) มีจำนวน 900 รอบ ส่วนด้านทุติยภูมิ (Secondary) เป็นแผ่นทองแดงกว้าง 2.5 เซนติเมตร หนา 1.5 มิลลิเมตร

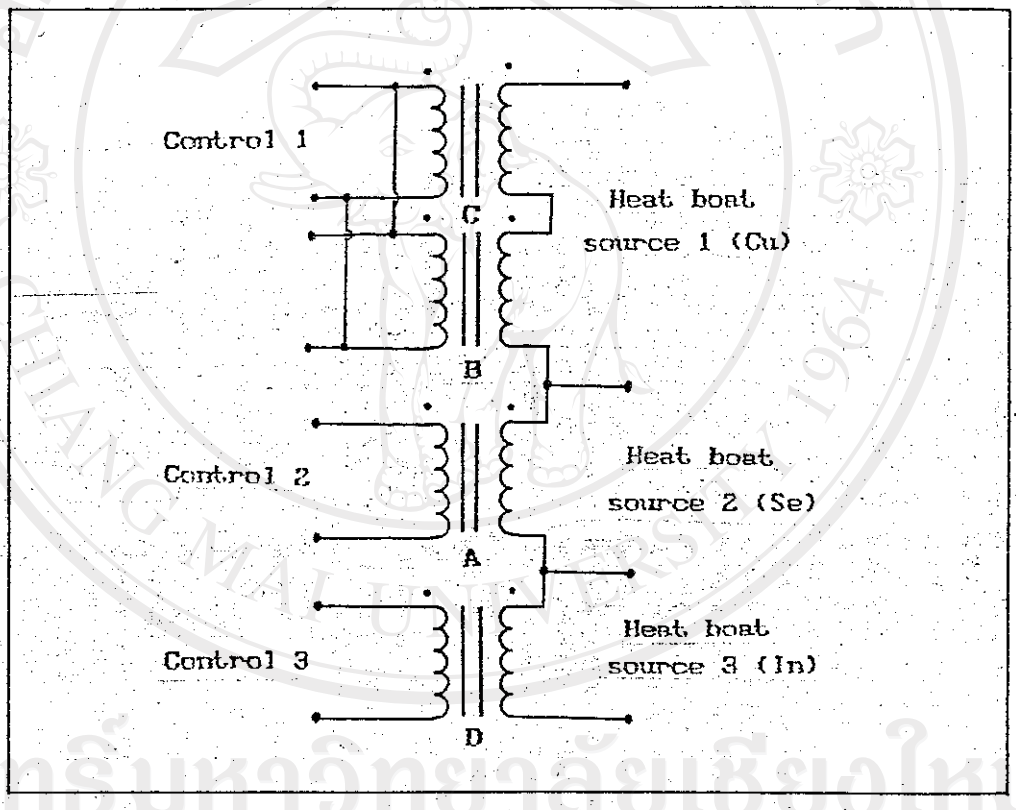
หม้อแปลงได้สร้างขึ้นใช้งาน 4 ตัว คือ A,B,C และ D รายละเอียดแสดงไว้ในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 แสดงคุณสมบัติของหม้อแปลงแต่ละตัวที่ทำการสร้างขึ้นใช้งาน

หม้อแปลง	open circuit voltge(v.)	close circuit voltge(v.)	maximun temp.(°c.)
A	0.97	0.87	590
B	1.78	1.45	845
C	2.23	2.17	960
D	2.30	2.18	980

หม้อแปลง B+C ต่ออนุกรม จะได้อุณหภูมิสูงถึง 1400 °c. เหมาะสำหรับการใช้ระเหยสาร Cu ซึ่งช่วงอุณหภูมิที่ใช้ระเหยสารมีค่า 1160-1250 °c. หม้อแปลง A และ D เหมาะสำหรับใช้ระเหยสาร Se และ In ซึ่งช่วงอุณหภูมิที่ใช้ระเหยสารมีค่า 240-330 และ 930-1100 ตามลำดับ รายละเอียดการต่อหม้อแปลงแต่ละตัวกับโบ๊ตที่ใช้ระเหยสารทั้ง 3 จุด แสดงดังรูปที่ 3.10 ส่วนรูปของหม้อแปลงทั้ง 4 ตัว แสดงไว้ในภาคผนวก จ.6

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูปที่ 3.10 แสดงการต่อหม้อแปลงแต่ละตัวกับโบ๊ตที่ใช้ระเหยสาร ทั้ง 3 จุด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved