บทที่ 3
อุปกรณ์และองค์ประกอบของระบบระเหยสาร

เนื่องจากระบบระเหยสาร ที่จะใช้สำหรับเตรียมฟิล์มบางของอินเดียมซิลิเนียมนั้น เป็นระบบที่มีอยู่แล้วในห้องปฏิบัติการโซลิต-อิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งได้ออกแบบไว้ใช้สำหรับเตรียมฟิล์มบาง โดยการระเหยสารแบบ 3 จุด ดังนั้นในการเตรียมฟิล์มบางของอินเดียมซิลิเนียมจึงได้ใช้ระบบการระเหยสารชุดเดิมสำหรับเตรียมฟิล์มบาง โดยใช้การระเหยสารจาก 2 จุดเพื่อสำหรับระเหยสารอินเดียมและสารซิลิเนียม ส่วนอีก 1 จุดใช้สำหรับระเหยสารที่จะใช้ทำเป็นขั้วไฟฟ้าของแผ่นฟิล์มที่เตรียมได้ แต่ระบบที่ใช้ระเหยสารชุดเดิมนั้นมีขีดจำกัด และมีข้อบกพร่องในบางส่วน จึงได้ทำการปรับปรุงและแก้ไขเพื่อให้เหมาะสมสำหรับเตรียมฟิล์มบางของอินเดียมซิลิเนียม ซึ่งจะกล่าวรายละเอียดเกี่ยวกับการปรับปรุงและแก้ไขไว้ในแต่ละหัวข้อต่อไป

สำหรับอุปกรณ์และองค์ประกอบของระบบระเหยสาร พอที่จะสรุปแยกเป็นส่วนสำคัญได้ดังนี้คือ

3.1 ระบบสุญญากาศ

ระบบสุญญากาศที่ใช้สำหรับการระเหยสารประกอบด้วยปั๊มกลโรตารี(Mechanical rotary pump) และปั๊มไอฟุ้งกระจาย(Vapour diffusion pump) ซึ่งใช้สำหรับสูบอากาศออกจากครอบแก้วทำให้ความดันภายในครอบแก้วเหลือประมาณ $2x10^{-5}$ มิลลิบาร์ โดยมีอุปกรณ์วัดความดันเป็นแบบ ชนิดเกจพิรานี รุ่น PR10-S ของบริษัท Edwards และชนิดเกจเพ็นนิง รุ่น CP25-K ของบริษัท Edwards

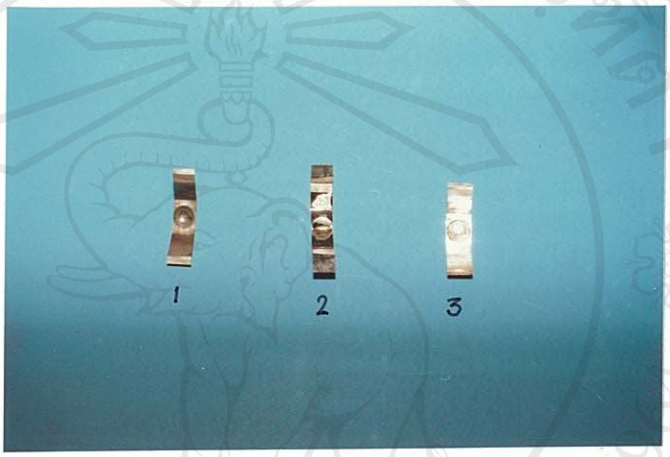
สำหรับปั๊มไอฟุ้งกระจายนั้น ได้ใช้น้ำเป็นตัวระบายความร้อน จึงได้สร้างวงจรทางอิเล็กทรอนิกส์ เพื่อใช้เป็นตัวสำหรับตัดกระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับแผ่นทำความร้อนที่ใช้ต้มน้ำมันของปั๊มไอฟุ้งกระจาย ในกรณีที่น้ำหยุดไหลขณะที่ทำการระเหยสารอยู่ ซึ่งแสดงรายละเอียดของวงจรไว้ในภาคผนวก ก.1

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

3.2 อุปกรณ์และการวางตำแหน่งของอุปกรณ์ภายในครอบแก้ว [5]

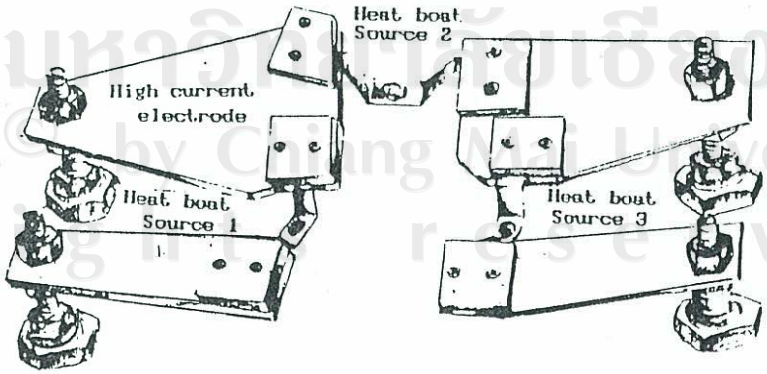
อุปกรณ์ที่อยู่ในครอบแก้วประกอบด้วยส่วนต่างๆ ดังนี้

3.2.1 โบ๊ต ใช้สำหรับใส่สารที่จะทำการระเหย ซึ่งเป็นโบ๊ตโมลิบดินัม และโบ๊ตทังสเตน โดยเลือกใช้โบ๊ตทังสเตนสำหรับระเหยสารซิลิเนียม และใช้โบ๊ตโมลิบดินัมสำหรับระเหยสารอินเดียม ส่วนการระเหยสารที่ใช้ทำเป็นขั้วของแผ่นฟิล์มได้ใช้โบ๊ตโมลิบดินัม ดังรูปที่ 3.1



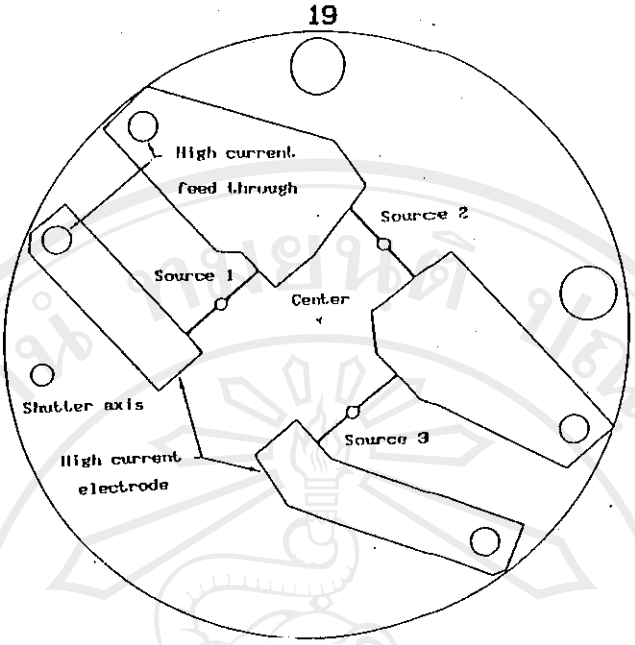
รูปที่ 3.1 แสดงโบ๊ตที่ใช้ระเหย1.สารซิลิเนียม,2.สารอินเดียม,3.สารเงินที่ใช้ทำขั้วไฟฟ้า

3.2.2 แขนจับโบ๊ต ทำจากแผ่นทองแดงหนา 5 มิลลิเมตร จำนวน 4 ชิ้น เพื่อใช้เป็นขั้วไฟฟ้า โดยออกแบบให้ใช้แขนจับโบ๊ตของจุดที่ 2 ร่วมกับจุดที่ 1 และจุดที่ 3 ดังรูปที่ 3.2 และจัดวางตำแหน่งของจุดระเหยทั้ง 3 จุดสมมาตรกันบนฐานรองด้านล่างดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.2 แสดงแขนยึดโบ๊ตของจุดที่ 1,จุดที่ 2 และจุดที่ 3

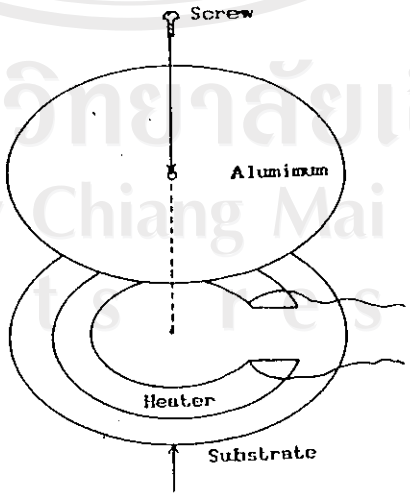
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูปที่ 3.3 แสดงการวางตำแหน่งของจุดระเหยทั้ง 3 ที่วางสมมาตรกัน

3.2.3 **ชัตเตอร์** ทำจากแผ่นอลูมิเนียมใช้สำหรับปิด-เปิดเพื่อให้สารที่ระเหยขึ้นไปเกาะบนแผ่นรองรับที่อยู่ด้านบน

3.2.4 **แผ่นยึดด้านบนและแผ่นรองรับ** ในส่วนของแผ่นยึดด้านบน และขาตั้งทำจากแผ่นทองแดงหนา 1 มิลลิเมตร ซึ่งยึดติดกับฐานรองด้านล่าง แผ่นยึดด้านบนเจาะรูเป็นวงกลมมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 8.45 เซนติเมตร เพื่อใช้สำหรับวางแผ่นรองรับ ส่วนแผ่นรองรับนั้นทำจากแผ่นอลูมิเนียมมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 8.4 เซนติเมตรสองแผ่น วางประกบแผ่นทำความร้อนเพื่อเพิ่มอุณหภูมิให้กับแผ่นรองรับขณะที่ระเหยสาร โดยแสดงการติดตั้งแผ่นทำความร้อนดังรูปที่ 3.4 และแสดงแผ่นรองรับดังรูปที่ 3.5

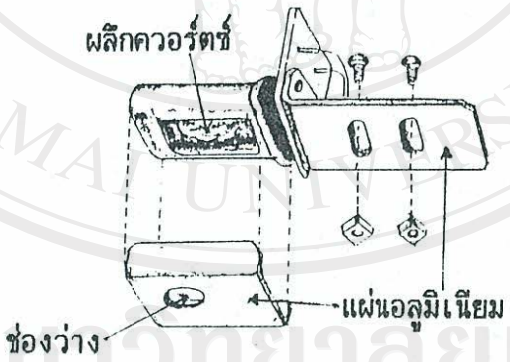


รูปที่ 3.4 แสดงการติดตั้งแผ่นทำความร้อน โดยใช้แผ่นอลูมิเนียมประกบยึดติดกับแผ่นรองรับ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

รูปที่ 3.5 แสดงแผ่นรองรับชิ้นภายในติดตั้งแผ่นทำความร้อน

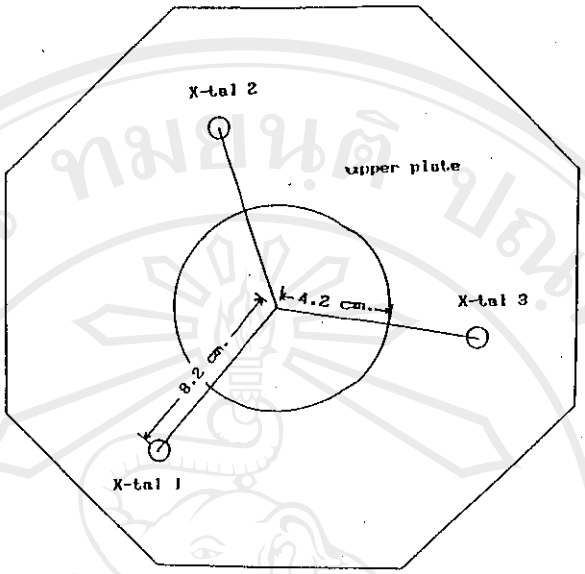
3.2.5 **ผลึกควอร์ตซ์** สำหรับคริสตอลที่ใช้มีความถี่ประมาณ 4 เมกกะเฮิรตซ์ ซึ่งได้เปิดพื้นที่ให้รับไอของสารที่ระเหยขึ้นมาเกาะ โดยการตัดแผ่นอลูมิเนียมบางแล้วเจาะรูตรงกลางมีพื้นที่ประมาณ 0.58 ตารางเซนติเมตร มาปิดครอบไว้ดังรูปที่ 3.6



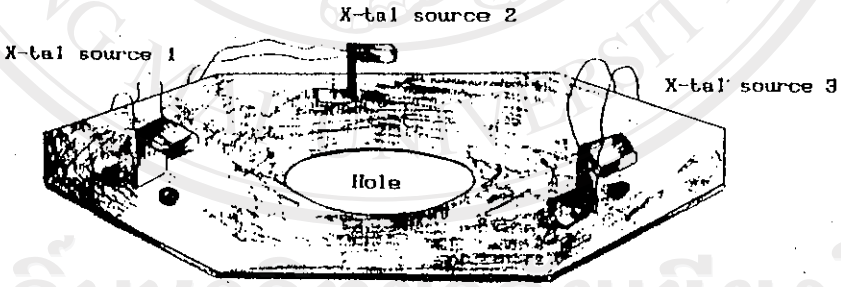
รูปที่ 3.6 แสดงการเปิดพื้นที่ของผลึกควอร์ตซ์เพื่อให้รับไอของสารที่ระเหยขึ้นมาเกาะ

ในการวางตำแหน่งของผลึกควอร์ตซ์ทั้ง 3 ตัวบนแผ่นยึดด้านบน ได้ออกแบบให้วางลักษณะสมมาตรกันคล้ายกับการวางตำแหน่งของจุดระเหยทั้ง 3 ดังแสดงในรูปที่ 3.7 ส่วนรูปที่ 3.8 แสดงการยกระดับของผลึกควอร์ตซ์ที่ติดตั้งบนแผ่นยึดด้านบน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูปที่ 3.7 แสดงการวางตำแหน่งของผลึกควอร์ตซ์ทั้ง 3 เมื่อมองด้านบนของแผ่นยึดด้านบน

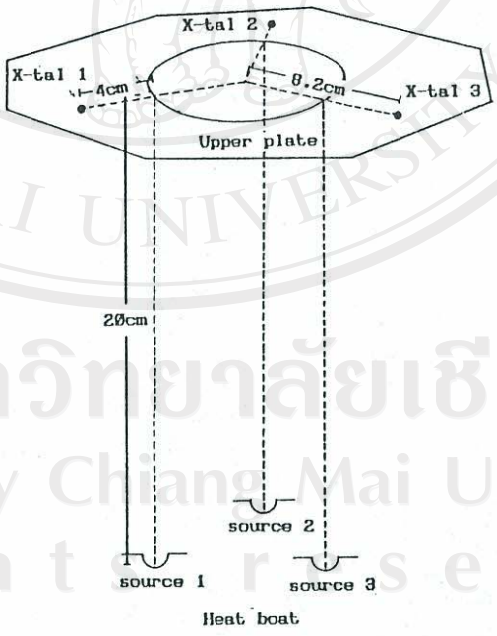


รูปที่ 3.8 แสดงการยกระดับของผลึกควอร์ตซ์ทั้ง 3 บนแผ่นยึดด้านบน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

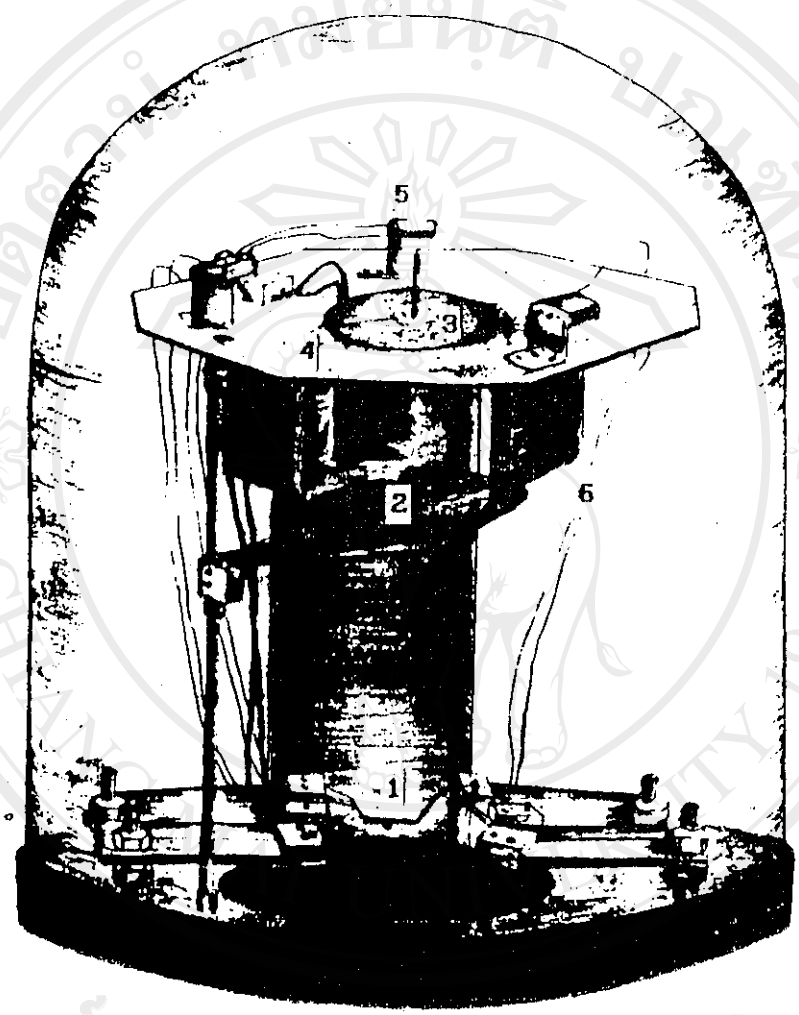
สำหรับการวางตำแหน่งของอุปกรณ์ต่างๆภายในครอบแก้ว ได้แสดงการวางตำแหน่งของจุดระเหยทั้ง 3 จุดบนฐานรองดังรูปที่ 3.9 และได้แสดงการวางตำแหน่งของผลึกควอร์ตซ์กับจุดระเหยสารทั้ง 3 ดังรูปที่ 3.10 ส่วนรูปที่ 3.11 แสดงรายละเอียดของการวางตำแหน่งของอุปกรณ์ทั้งหมดภายในครอบแก้ว

รูปที่ 3.9 แสดงการวางตำแหน่งของจุดระเหยทั้ง 3 บนฐานรองด้านล่าง



รูปที่ 3.10 แสดงการวางตำแหน่งของผลึกควอร์ตซ์สัมพันธ์กับตำแหน่งของจุดระเหยทั้ง 3

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูปที่ 3.11 แสดงรายละเอียดการวางตำแหน่งของอุปกรณ์ต่างๆ ภายในครอบแก้ว

หมายเลข 1 โบ๊ทที่ใช้ระเหยสาร

" 2 ซัตเตอร์

" 3 แผ่นรองรับ

" 4 แผ่นยึดด้านบน

" 5 ผลึกควอร์ตซ์

" 6 สายสัญญาณไฟฟ้า

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

3.3 หม้อแปลงที่ใช้ระเหยสาร

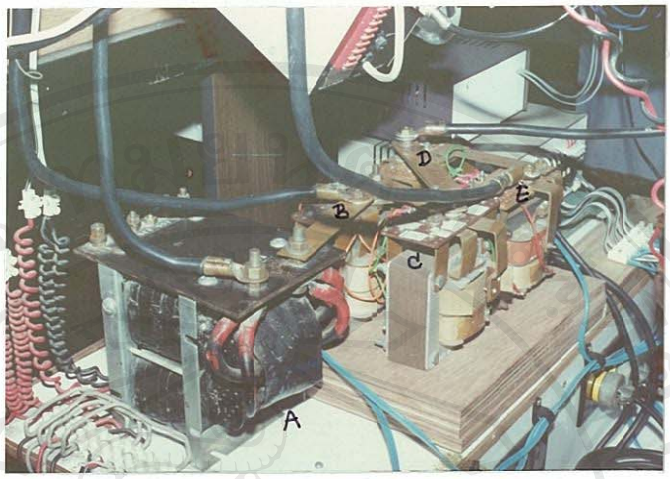
หม้อแปลงที่ใช้ระเหยสาร ทำหน้าที่เป็นแหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับโบ๊ตที่ใช้ระเหยสาร เป็นแบบโวลต์ต่ำแต่ให้กระแสสูง ในระบบระเหยสารชุดเดิมได้ใช้หม้อแปลงเพียง 4 ตัว ทำให้มีขีดจำกัดในการระเหยสาร โดยไม่สามารถที่จะทำการระเหยสารด้วยอัตราการระเหยที่สูงๆได้ จึงได้จัดเพิ่มหม้อแปลงอีก 1 ตัว รวมเป็นทั้งหมด 5 ตัว ซึ่งมีรายละเอียดของหม้อแปลงแต่ละตัวดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 แสดงคุณสมบัติของหม้อแปลงแต่ละตัว

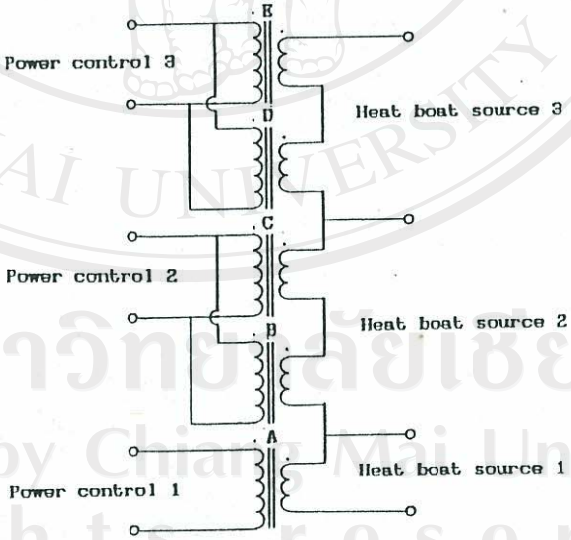
หม้อแปลง	แรงดันที่ขดทุติยภูมิ เมื่อวัดแบบเปิด (V.)	แรงดันที่ขดทุติยภูมิ เมื่อวัดแบบปิด (V.)	อุณหภูมิสูงสุด (°C)
A	5.05	4.79	2100
B	1.56	1.32	880
C	1.21	1.02	680
D	2.15	2.04	910
E	0.91	0.82	550

สำหรับในการใช้งานนั้น ได้ใช้หม้อแปลง A เป็นแหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้าสำหรับให้กับโบ๊ตจุดที่ 1 หม้อแปลง B กับหม้อแปลง C ต่ออนุกรมกัน เป็นแหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับโบ๊ตจุดที่ 2 และหม้อแปลง D กับหม้อแปลง E ต่ออนุกรมกัน เป็นแหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับโบ๊ตในจุดที่ 3 ตามลำดับ ซึ่งรูปและวงจรการต่อหม้อแปลงทั้ง 5 ตัวแสดงดังรูปที่ 3.12 และรูปที่ 3.13

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved



รูปที่ 3.12 แสดงหม้อแปลงที่ใช้ระเหยสารทั้ง 5 ตัว



รูปที่ 3.13 แสดงวงจรการต่อหม้อแปลงทั้ง 5 ตัวเพื่อจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับโบ๊ตแต่ละจุด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

3.4 ระบบควบคุมการระเหยสาร [5,6]

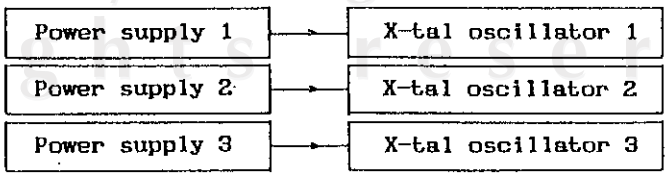
ระบบควบคุมการระเหยสารประกอบด้วยส่วนใหญ่ๆ 2 ส่วนคือ

3.4.1 ส่วนที่เป็นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งประกอบด้วยวงจรต่างๆดังนี้

ก.วงจรออสซิลเลเตอร์ เป็นวงจรมัลติไวเบรเตอร์แบบอเสถียรชนิดทีทีแอล โดยใช้ผลึกควอร์ตซ์เป็นตัวกำหนดความถี่ วงจรนี้จะทำหน้าที่เปลี่ยนความถี่ของผลึกควอร์ตซ์ให้เป็นสัญญาณไฟฟ้ารูปคลื่นสี่เหลี่ยม ซึ่งแสดงรายละเอียดของวงจรไว้ที่ภาคผนวก ก.2

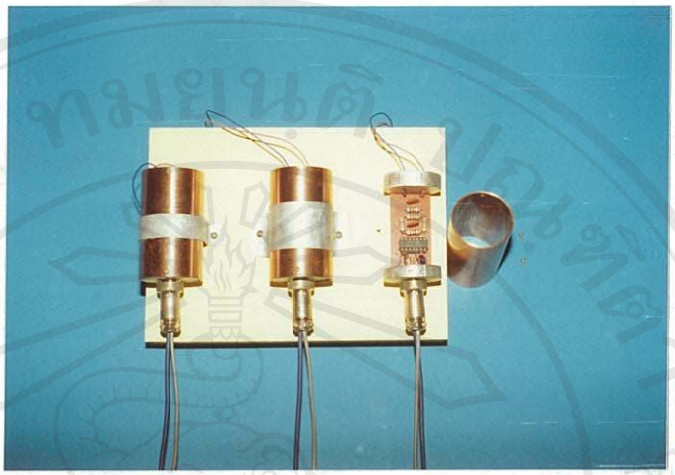
เนื่องจากระบบระเหยสารชุดเดิมเป็นระบบที่ใช้ระเหยสาร 3 จุดพร้อมกัน จึงต้องใช้วงจรออสซิลเลเตอร์กับผลึกควอร์ตซ์ทั้งหมด 3 ชุด ซึ่งได้ออกแบบโดยใช้แหล่งจ่ายไฟชุดเดียวเพื่อจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับวงจรออสซิลเลเตอร์ทั้ง 3 ชุด และได้ติดตั้งวงจรออสซิลเลเตอร์ทั้งหมดไว้บนแผงเดียวกันเมื่อทำการระเหยสารโดยมีการควบคุมอัตราการระเหยที่อาศัยการเปลี่ยนแปลงความถี่ของผลึกควอร์ตซ์จากวงจรออสซิลเลเตอร์ เป็นตัวเปรียบเทียบกับอัตราการระเหยที่ต้องการ ในโปรแกรมควบคุมการระเหยสาร ปรากฏว่า การทำงานของวงจรออสซิลเลเตอร์ชุดเดิมนั้นจะมีเสถียรภาพไม่ดีคือ ขณะที่ทำการระเหยสารและได้กำหนดอัตราการระเหยสารในแต่ละจุดต่างกัน ถ้าความถี่ของผลึกควอร์ตซ์แต่ละตัวมีค่าใกล้เคียงกันมากแล้วอัตราการเปลี่ยนแปลงความถี่ของผลึกควอร์ตซ์จะเปลี่ยนไปเท่ากัน ซึ่งเป็นผลเนื่องมาจากมีสัญญาณรบกวน

ในการแก้ไขและปรับปรุงในส่วนของวงจรออสซิลเลเตอร์นั้น ได้ทำการเพิ่มแหล่งจ่ายไฟอีก 2 ชุด เพื่อใช้เป็นแหล่งจ่ายไฟให้กับวงจรแต่ละชุดดังแสดงในรูปที่ 3.14 และได้ติดตั้งวงจรออสซิลเลเตอร์ไว้ภายในท่อทองแดงแต่ละชุดแยกจากกันซึ่งแสดงดังรูปที่ 3.15 เพื่อลดสัญญาณรบกวนจากภายนอก และสัญญาณรบกวนของวงจรซึ่งกันและกัน ซึ่งทำให้การทำงานของวงจรออสซิลเลเตอร์ของแต่ละชุดมีเสถียรภาพดีขึ้น



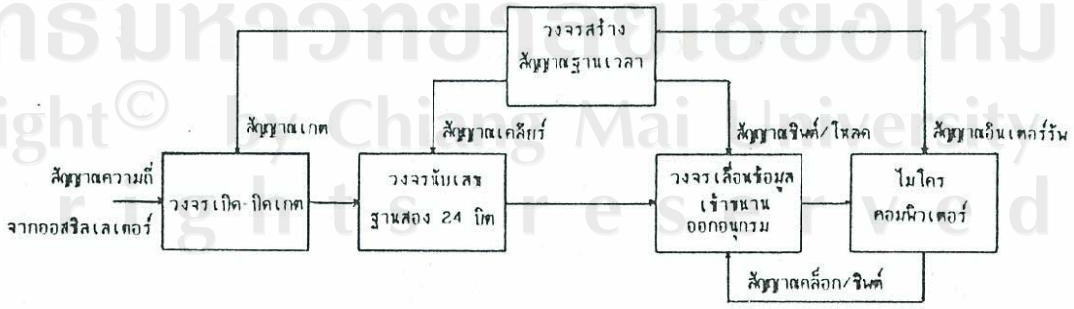
รูปที่ 3.14 แสดงบล็อกไดอะแกรมการแยกวงจรแหล่งจ่ายไฟกับวงจรออสซิลเลเตอร์แต่ละชุด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



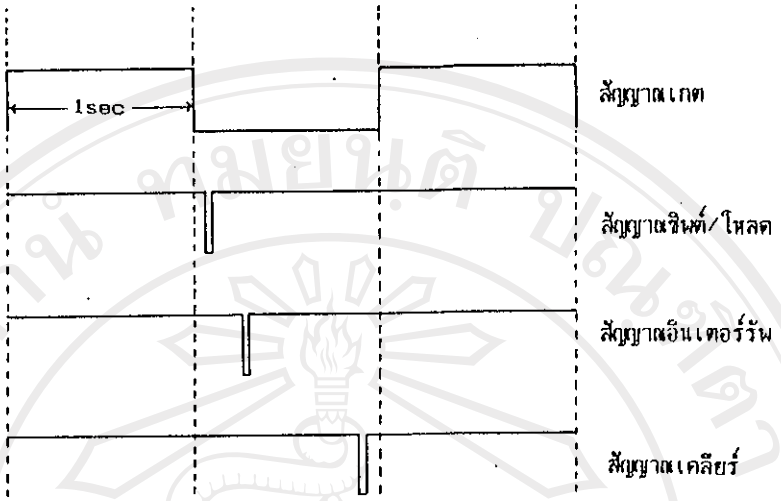
รูปที่ 3.15 แสดงชุดวงจรออสซิลเลเตอร์ทั้ง 3 ชุดที่ติดตั้งไว้ภายในท่อทองแดง

ข.วงจรนับและวงจรรีจิสเตอร์เลื่อนข้อมูล เป็นวงจรนับสัญญาณไฟฟ้ารูปคลื่นสี่เหลี่ยม ที่ส่งมาจากวงจรออสซิลเลเตอร์ และใช้วงจรรีจิสเตอร์เลื่อนข้อมูล แบบเข้าขนานออกอนุกรม เป็นส่วนที่ส่งสัญญาณความถี่ของผลึกควอร์ตซ์เข้าสู่คอมพิวเตอร์แอปเปิล ทาง I/O Game แสดงบล็อกไดอะแกรมหลักการทำงานของวงจรนับและวงจรรีจิสเตอร์เลื่อนข้อมูล ดังรูปที่ 3.16 ส่วนรูปที่ 3.17 แสดงแผนภาพของวงจรฐานเวลา สำหรับรายละเอียดของวงจรแสดงไว้ที่ภาคผนวก ก.3 และ ก.4



รูปที่ 3.16 แสดงบล็อกไดอะแกรมของวงจรนับและวงจรรีจิสเตอร์เลื่อนข้อมูล

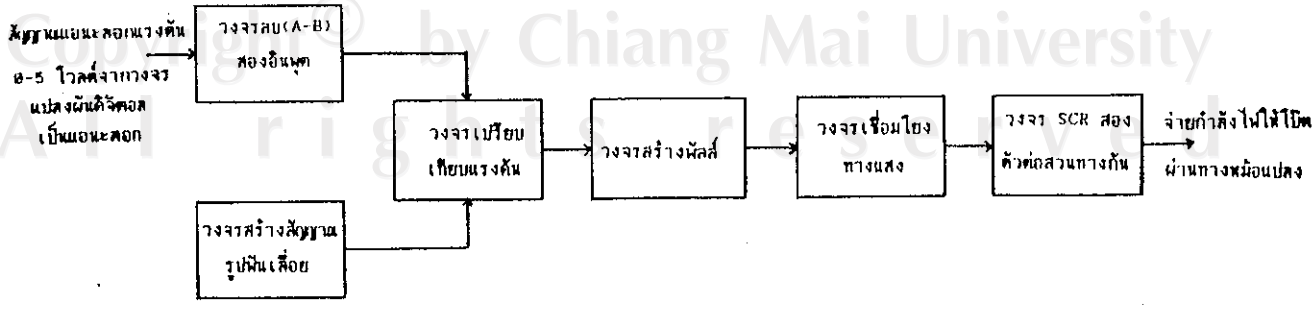
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูปที่ 3.17 แสดงแผนภาพเวลาของวงจรสร้างฐานสัญญาณเวลา

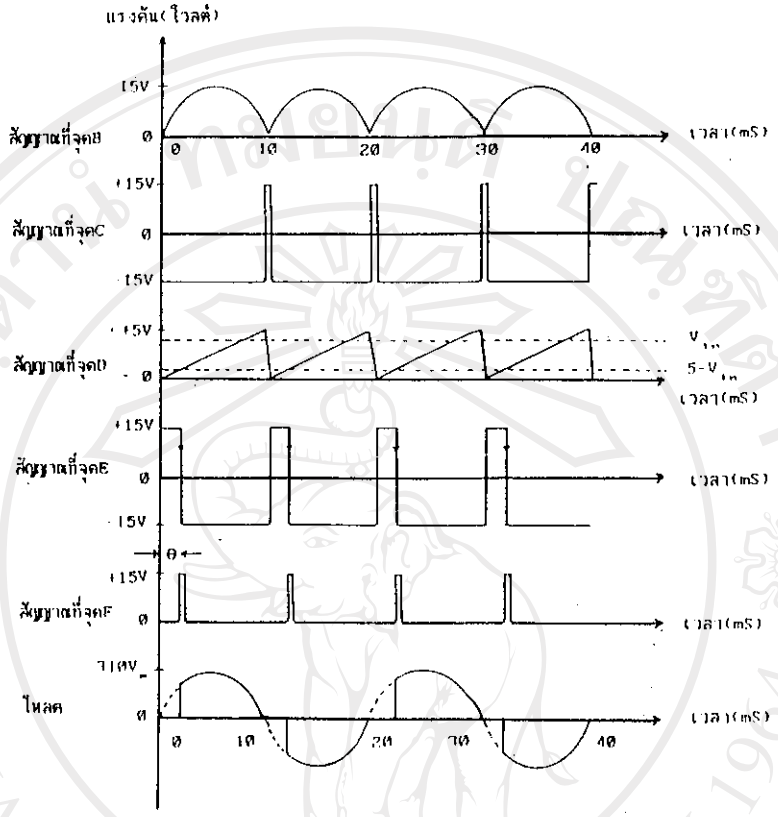
ค.วงจรแปลงผันดิจิตอลเป็นแอนะลอก เป็นวงจรที่ประมวลผลสัญญาณ ในรูปแบบสัญญาณต่อเนื่อง โดยวงจรใช้ไอซีเบอร์ DAC 0800 ทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณจากคอมพิวเตอร์ ให้อยู่ในรูปของสัญญาณแอนะลอก เพื่อส่งต่อไปยังวงจรควบคุมกำลังไฟเชิงสัดส่วนอีกทอดหนึ่ง ซึ่งรายละเอียดของวงจรแสดงไว้ในภาคผนวก ก.5

ง.วงจรควบคุมกำลังไฟเชิงสัดส่วน เป็นวงจรทำหน้าที่ควบคุมกำลังไฟฟ้าของหม้อแปลงที่ใช้ระเหยสาร โดยอาศัยสัญญาณความถี่ของผลึกควอร์ตซ์ที่เปลี่ยนไปเป็นตัวป้อนกลับไปควบคุมมุมนำกระแสของไทริสเตอร์ที่ใช้เป็น SCR 2 ตัวต่อสวนทางกัน และควบคุมกำลังไฟฟ้าโดยการเลื่อนมุมสำหรับกระตุ้นการทำงาน ซึ่งวงจรควบคุมกำลังไฟเชิงสัดส่วนมีหลักการทำงานดังแสดงเป็นบล็อกไดอะแกรมตามรูปที่ 3.18 สำหรับรายละเอียดของวงจรแสดงไว้ในภาคผนวก ก.6 ส่วนรูปที่ 3.19 แสดงรูปสัญญาณที่ตำแหน่งต่างๆของวงจรที่วัดด้วยออสซิลโลสโคป



รูปที่ 3.18 แสดงบล็อกไดอะแกรมของวงจรควบคุมกำลังไฟเชิงสัดส่วน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

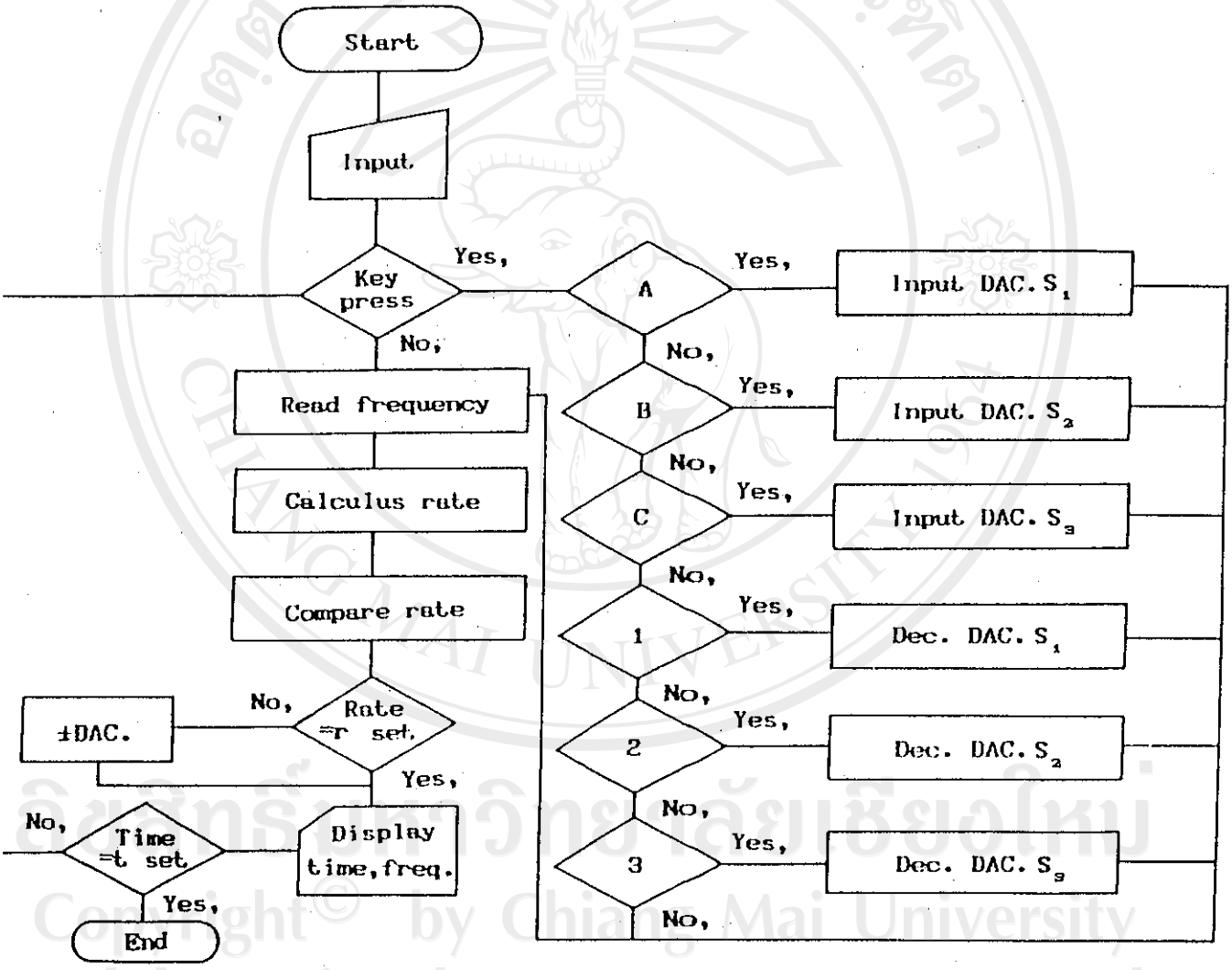


รูปที่ 3.19 แสดงสัญญาณที่ตำแหน่งต่างๆของวงจรควบคุมกำลังไฟเชิงสัดส่วน

3.4.2 ส่วนที่เป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ประกอบด้วยโปรแกรมต่างๆดังนี้

ก. โปรแกรมควบคุมการระเหยสาร เป็นโปรแกรมที่ใช้ภาษาเครื่องเป็นโปรแกรมย่อยเพื่ออ่านความถี่ของผลึกควอร์ตซ์แต่ละตัวเข้ามายังคอมพิวเตอร์แอปเปิลผ่านทาง I/O Game ส่วนโปรแกรมหลักใช้ภาษาเบสิกทำการเรียกโปรแกรมย่อย ให้อ่านความถี่ของผลึกควอร์ตซ์ทั้ง 3 มาแสดงบนจอภาพและจะคำนวณค่าอัตราการเปลี่ยนความถี่ของผลึกควอร์ตซ์แต่ละตัวนำมาเปรียบเทียบกับค่าอัตราการเปลี่ยนความถี่ของควอร์ตซ์ที่กำหนดไว้ ซึ่งถ้าไม่ถูกต้องกับค่าที่กำหนดไว้แล้ว โปรแกรมจะส่งผลการควบคุม ที่มีค่าตัวเลขในช่วง 0-255 ผ่านทางวงจรแปลงผันดิจิตอลเป็นแอนะลอก เพื่อส่งต่อไปยังวงจรควบคุมกำลังไฟเชิงสัดส่วน โดยมีการลดหรือเพิ่มมุมนำกระแสของไทริสเตอร์ที่มีค่าอยู่ระหว่าง 0-180 องศา ซึ่งการทำงานของโปรแกรมเป็นไปอย่างอัตโนมัติ เพื่อทำการควบคุมอัตราการระเหยให้เป็นไปตามที่ต้องการ ซึ่งการทำงานของโปรแกรมนั้นเขียนเป็นผังงานดังรูปที่ 3.20 ส่วนรายละเอียดของโปรแกรมแสดงไว้ในภาคผนวก ข.1

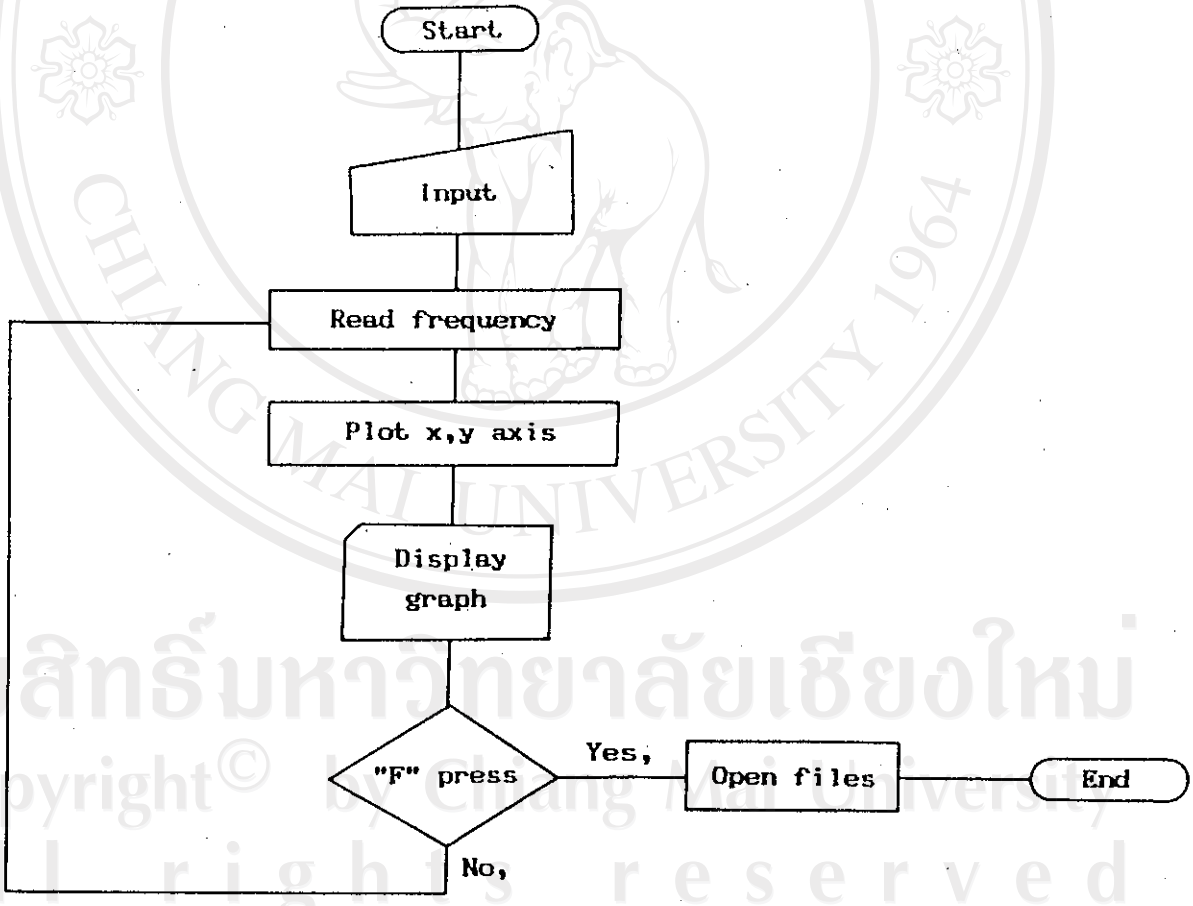
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูปที่ 3.20 แสดงผังงานของโปรแกรมควบคุมการระเหยสาร

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

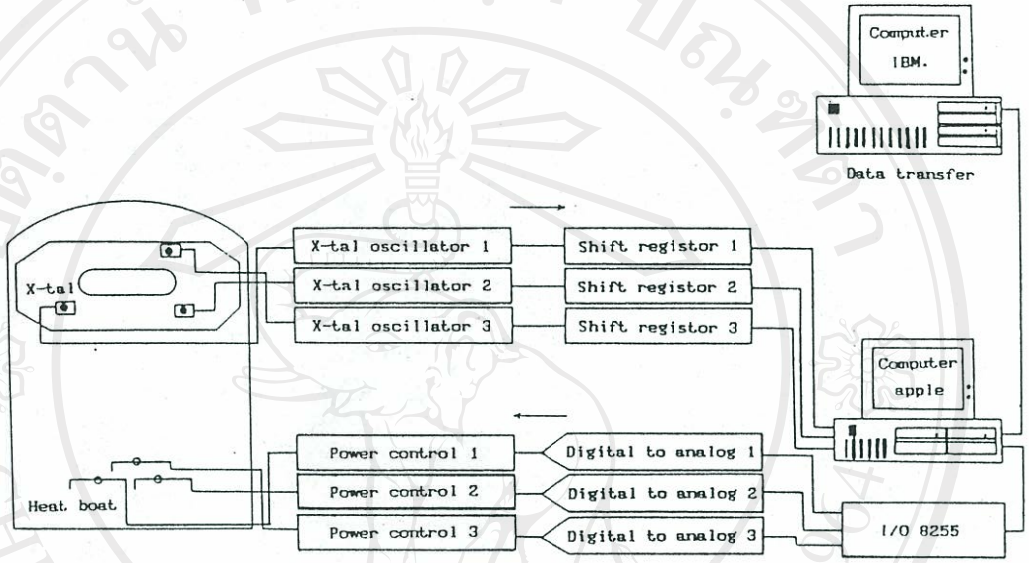
ข.โปรแกรมเขียนกราฟและเก็บไฟล์ เป็นโปรแกรมที่ใช้แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ของผลึกควอร์ตซ์กับเวลาที่ใช้ระเหยสารของแต่ละจุดและใช้เก็บข้อมูลความถี่ของผลึกควอร์ตซ์แต่ละตัวขณะทำการระเหยสาร โดยการถ่ายข้อมูลจากคอมพิวเตอร์แอปเปิลมาสู่คอมพิวเตอร์ไอบีเอ็ม พีซี/เอ็กซ์ที เนื่องจากจอภาพของคอมพิวเตอร์ไอบีเอ็ม พีซี/เอ็กที มีความละเอียดมากกว่า และสามารถนำเอาข้อมูลที่เก็บไฟล์ไว้มาเขียนกราฟภายหลังได้ โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปโลตัส 1-2-3 ซึ่งการทำงานของโปรแกรมเป็นไปตามผังงานดังรูปที่ 3.21 ส่วนรายละเอียดของโปรแกรมแสดงไว้ในภาคผนวก ข.2



รูปที่ 3.21 แสดงผังงานของโปรแกรมเขียนกราฟและเก็บไฟล์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เนื่องจากระบบที่ใช้ระเหยสารประกอบด้วย ส่วนที่เป็นวงจรอิเล็กทรอนิกส์หลายวงจร ซึ่งการทำงานของแต่ละวงจรจะทำงานสัมพันธ์กันอย่างต่อเนื่อง โดยมีการควบคุมการระเหยสารจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์นั้น จะเป็นไปตามแผนผังของระบบควบคุมทั้งหมด ดังรูปที่ 3.22 ส่วนรูปที่ 3.23 เป็นรูปที่แสดงระบบระเหยสารและระบบสุญญากาศที่ใช้ระเหยสาร ในห้องปฏิบัติการวิจัยโซลิต-อิเล็กทรอนิกส์



รูปที่ 3.22 แสดงแผนผังของระบบควบคุมการระเหยสาร 3 จุด โดยคอมพิวเตอร์

รูปที่ 3.23 แสดงระบบสุญญากาศและระบบที่ใช้ระเหยสาร
1.คอมพิวเตอร์แอปเปิล 2.คอมพิวเตอร์ไอบีเอ็ม 3.ครอบแก้ว

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved