

ระบบวัดและควบคุมความหนาของฟิล์มบางโดยไมโครคอมพิวเตอร์ (IBM PC/XT)

๑๗พ.
๕๑๑๗๖
๒๕๓๓-๒๕๓๔
เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....
วันเดือนปี.....

นาย ยงชัย ตระกูล
นาย นิตศัน ทองกุล

๖๑๒๕๔๘๗๔

โครงการพิเศษนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา ๒๕๓๓

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

THINFILMS THICKNESS MEASUREMENT AND CONTROL SYSTEM

BY MICROCOMPUTER (IBM PC/XT)



Mr. Yongchai Tumtiwat

Mr. Nithat Thongool



A Special Project Submitted in Partial Fulfillment of the

Requirement for the Degree of Bachelor of Science

Department of Applied Physics

Faculty of Science

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

1990

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ

ระบบวัดและควบคุมความหนาของฟิล์มบาง
โดยไมโครคอมพิวเตอร์ (IBM PC/XT)

โดย

นาย นิทัศน์ ทองกุล
นาย ยงชัย จรรย์มณีวิธ

ภาควิชา

ฟิสิกส์ประยุกต์

อาจารย์ที่ปรึกษา

อ. จิต หนูแก้ว
ดร. เสน่ห์ เอกะวิภาต

ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า
เจ้าคุณทหารลาดกระบังอนุมัติให้นับโครงการพิเศษฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตาม
หลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

..... (๐๙/๒๕๓๕) หัวหน้าภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์
(ดร. เสน่ห์ เอกะวิภาต)

คณะกรรมการโครงการพิเศษ

..... ประธานกรรมการ
(ผศ. ดร. บุญส่ง ศิวโมกษธรรม)
..... กรรมการ
(ผศ. สุวรรณ คูสำราญ)
..... กรรมการ
(ดร. เสน่ห์ เอกะวิภาต)
..... กรรมการ
(อ. จิต หนูแก้ว)

ลิขสิทธิของภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ ระบบวัดและควบคุมความหนาของฟิล์มบาง
โดยไมโครคอมพิวเตอร์ (IBM PC/XT)

นักศึกษา นาย ยงชัย ธรรมถิวัธ
นาย นิทัศน์ ทองกุล

อาจารย์ที่ปรึกษา อ. จิตติ หนูแก้ว
ดร. เสน่ห์ เอกษวิภาต

ภาควิชา ฟิสิกส์ประยุกต์

ปีการศึกษา 2533

บทคัดย่อ

ระบบวัดและควบคุมความหนาของฟิล์มบาง ที่จัดทำขึ้นนี้ใช้คริสตอล 3.579 MHz เป็นตัวตีเทคเตอร์ โดยอาศัยคุณสมบัติของคริสตอลที่ว่า ถ้ามีมวลสารไปเกาะติด จะทำให้ความถี่ที่อ่านได้จากคริสตอลมีค่าลดลง

ในส่วนฮาร์ดแวร์ได้ใช้ 8255 ซึ่งเป็น I/O พอร์ตขนาน 3 พอร์ต จำนวน 2 ตัว โดยตัวแรกพอร์ตทั้งสาม รวมกันต่อเข้ากับวงจรนับ 24 บิต ทำการอ่านค่าความถี่ของคริสตอล ส่วนตัวที่สองใช้พอร์ต A ในการเคลียร์วงจรรับ พอร์ต B ใช้ตรวจสอบสัญญาณโมโนสเตเบิลและพอร์ต C ใช้เป็น ตัวแปลงสัญญาณจากดิจิตอลเป็นอนาลอก เพื่อควบคุมกำลังไฟฟ้าเชิงสลับส่วนของหม้อแปลง

ซอฟต์แวร์ ใช้ภาษา PASCAL V 5.5 ในการวัดค่าความถี่แล้วแสดงผลในรูปของกราฟ และควบคุมความหนาของฟิล์มบางได้ตามต้องการ

Special Project Title Thinfilm thickness for measurement and
control system using microcomputer
(IBM PC/XT)

Name Mr. Yongchai Tumtiowat
 Mr. Nithat Thongool

Special Project Advisor Mr. Jiti Nukeaw
 Dr. Sanay Akavipat

Department Applied Physics

Academic year 1990

Abstract

The thinfilm thickness measurement and control system constructed in project uses crystal 3.579 MHz as detector. The frequency of this crystal will decrease as the amount of material deposit on it increase.

The interfacing board uses 2 I/O parallel ports 8255. Port A,B,C of the first chip were connected to output of 24 bit counter for input frequency of crystal. For second chip, port A is used for reset counter, port B for checking monostable signal and port C was connected to Digital to Analog converter for phase control circuit.

Pascal Version 5.5 is used in calculating the frequency and in controlling the thickness. The result is display by graph

กิติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษนี้สามารถเสร็จสมบูรณ์ได้ ก็ด้วยความช่วยเหลือจาก คุณพ่อ และคุณแม่ ซึ่งคอยให้กำลังใจ และให้ความอุปการะจนถึงระดับปริญญาตรี

อนึ่งผู้เขียนขอขอบคุณผู้ที่ได้ให้คำแนะนำ และคำปรึกษาในระหว่างการทำโครงการพิเศษนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี โดยเฉพาะ อ. จิต หนแก้ว ที่ให้คำปรึกษาและช่วยเหลือในด้านต่างๆ ตลอดจน อ. อนุชิต จารุนารัตน์ ที่ให้คำปรึกษาเกี่ยวกับหม้อแปลง รวมทั้งคณะกรรมการควบคุมการสอบ และอาจารย์ในภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ทุกท่าน ที่กรุณาช่วยตรวจทานแก้ไขต้นฉบับของรายงานฉบับนี้ เพื่อให้ถูกต้องยิ่งขึ้น

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณเพื่อนๆ ที่ช่วยออกแรงในการผันหม้อแปลง รวมทั้งนักศึกษาฟิสิกส์รุ่นพี่ และเจ้าหน้าที่ทุกฝ่ายที่ให้ความช่วยเหลือในด้านเทคนิค คำแนะนำ ตลอดจนการให้ยืมเครื่องมือ และอุปกรณ์ต่างๆในการทำโครงการพิเศษนี้

19 / 08 / 91

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 คุณสมบัติทางฟิสิกส์ของฟิล์มบาง	2
2.1 ลักษณะการกระจายความหนาของฟิล์มบาง	2
2.2 ความสัมพันธ์ของความหนากับการเปลี่ยนแปลงความถี่	7
บทที่ 3 ฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการควบคุมความหนา	10
3.1 การ์ดที่ใช้ในการอินเตอร์เฟสกับ IBM PC/XT	13
3.2 หม้อแปลงที่ใช้ในการระเหยสาร	21
3.3 วงจรควบคุมกำลังไฟฟ้าเชิงสแตลส่วน	24
3.4 ซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการวัดและควบคุมความหนาของฟิล์มบาง ..	28
บทที่ 4 การเตรียมฟิล์มบางและการวิเคราะห์ผลการควบคุมความหนา ...	39
4.1 การติดตั้งอุปกรณ์สำหรับการเตรียมฟิล์มบาง	39
4.2 การหาค่าความไวของคริสตอล	42
4.3 ผลการวัดและควบคุมความหนาของฟิล์มบาง	46
บทที่ 5 สรุปผลการควบคุมความหนาของฟิล์มบางและแนวทางปรับปรุงแก้ไข	51

ภาคผนวก

- ก. โปรแกรม
- ข. รูปถ่าย
- ค. รายละเอียดของ I.C.

เอกสารอ้างอิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

ในปัจจุบันได้มีงานวิจัยการเตรียมฟิล์มบางขึ้นเพื่อใช้ในทางวิทยาศาสตร์ และอุตสาหกรรมต่าง ๆ อย่างแพร่หลาย ซึ่งฟิล์มบางที่เตรียมขึ้นได้นี้สามารถนำไปใช้ใน อุตสาหกรรมทั่วไป เช่นอุตสาหกรรมการสร้างสารกึ่งตัวนำ อุตสาหกรรมเคลือบเลนส์ แบบ anti-reflection หรือการทำเลนส์กรองแสง วิธีการเตรียมฟิล์มบางนี้ สามารถกระทำได้ที่ละมวกๆ โดยใช้ที่ละมวกๆ โดยใช้เวลาไม่มากนัก สิ้นเปลืองวัตถุดิบที่ใช้ในการเตรียมฟิล์มบางค่อนข้างน้อย และมีต้นทุนในการผลิตต่ำ อีกทั้งขั้นตอนต่าง ๆ เหล่านี้สามารถนำไปใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมได้โดยไม่ยุ่งยาก และซับซ้อนจนเกินไป วิธีการเตรียมฟิล์มบางนี้ในปัจจุบันมีอยู่หลายวิธีได้แก่ การเตรียมฟิล์มบางโดยใช้วิธีการสเปรย์อย่างรวดเร็ว (flash evaporation) และการเตรียมฟิล์มบางโดยใช้วิธีการระเหยสารด้วยความร้อน (thermal evaporation) เป็นต้น

งานวิจัยที่นิยมทำกันมากคือ การเตรียมฟิล์มบางเพื่อใช้ในการเตรียมสารกึ่งตัวนำ เช่น การเตรียมสารกึ่งตัวนำ $CuInSe_2$ ซึ่งคาดว่าจะสามารถใช้ในการผลิตเป็นเซลล์สุริยะ (Solar Cell) ที่มีประสิทธิภาพสูงกว่าการเตรียมสารจาก Si การเตรียมสารกึ่งตัวนำ $InSe$ ที่มีความไวต่อแสงปกติที่ส่องกระทบ ในงานเหล่านี้ จำเป็นต้องรู้ความหนาในการเตรียมสารเบื้องต้นเพราะ เป็นพารามิเตอร์สำคัญตัวหนึ่งที่มีผลต่อสารกึ่งตัวนำที่สร้างขึ้นเป็นอย่างมาก ผู้จัดทำจึงคิดสร้างระบบควบคุมความหนาของฟิล์มบางขึ้น โดยใช้คริสตอลเป็นตัววัดเคเตอร์ ซึ่งอาศัยหลักการที่ว่าเมื่อไอของสารที่ระเหยด้วยความร้อนสูงในระบบสุญญากาศ ขึ้นไปเกาะติดเป็นฟิล์มบางบนแผ่นรองรับ (Substrate) และ Crystal(x-tal) มีผลทำให้ความถี่ของคริสตอลเปลี่ยนไป (มีค่าลดลง) และ ค่าความถี่ดังกล่าวนี้จะมีความสัมพันธ์กับความหนาของฟิล์มบาง จากนั้นเราจะนำข้อมูลซึ่งอยู่ในรูปของความถี่นี้ส่งผ่านไปยังไมโครคอมพิวเตอร์ เพื่อทำการคำนวณหาค่าความหนาของฟิล์มบางแล้วนำการควบคุมความหนาของฟิล์ม โดยควบคุมปริมาณความร้อนที่ใช้ในการเผาผลาญ ซึ่งก็คือการควบคุมปริมาณของสารระเหยที่เกาะติดเป็นฟิล์มบางนั่นเอง เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คุณสมบัติทางฟิสิกส์ของฟิล์มบาง

การเตรียมฟิล์มบางในระบบวัดและควบคุมความหนาของฟิล์มบางนี้ ฟิล์มบางจะถูกเตรียมขึ้นโดยใช้วิธีการระเหยสารด้วยความร้อน (Thermal Evaporation) ภายในสุญญากาศ โดยภาชนะสำหรับใส่สารที่ต้องการระเหย (boat) จะเป็นแบบ Knudsen Surface Emitting Sources ซึ่งจะมีลักษณะการระเหยสารเป็นมุมตัน (Solid Angle) การระเหยของสารในลักษณะนี้ จะมีการกระจายความหนาของฟิล์มบางขึ้นอยู่กับระยะห่างของ source heater กับ substrate และระยะที่เบี่ยงเบนไปจากแนวกึ่งกลางของ source heater ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่เราจะต้องศึกษา ทฤษฎีการระเหยสารเสียก่อน

2.1 ลักษณะการกระจายความหนาของฟิล์มบาง

การกระจายความหนาของฟิล์มขึ้นอยู่กับลักษณะของ source heater ที่ใช้ ซึ่งมีทั้งแบบที่เป็น Knudsen Surface Emitting Sources, Boat Source, Cylindrical sources, Tolahsky type source และ Jacques type source ดังรูปที่ 2.1

พิจารณากรณี sourceheater ที่เป็นแบบ Knudsen surface Emitting Sources ซึ่งมีลักษณะการระเหยเป็นไปตามกฎโคไซน์ของกุนเซน (Knuden's cosine law) และความต่อเนื่องของพลังงานจลน์ของก๊าซเป็นไปตามกฎของแลมเบิร์ตสำหรับการแผ่รังสี (Lambert's law for radiation) โดยมีเงื่อนไขที่สำคัญดังต่อไปนี้

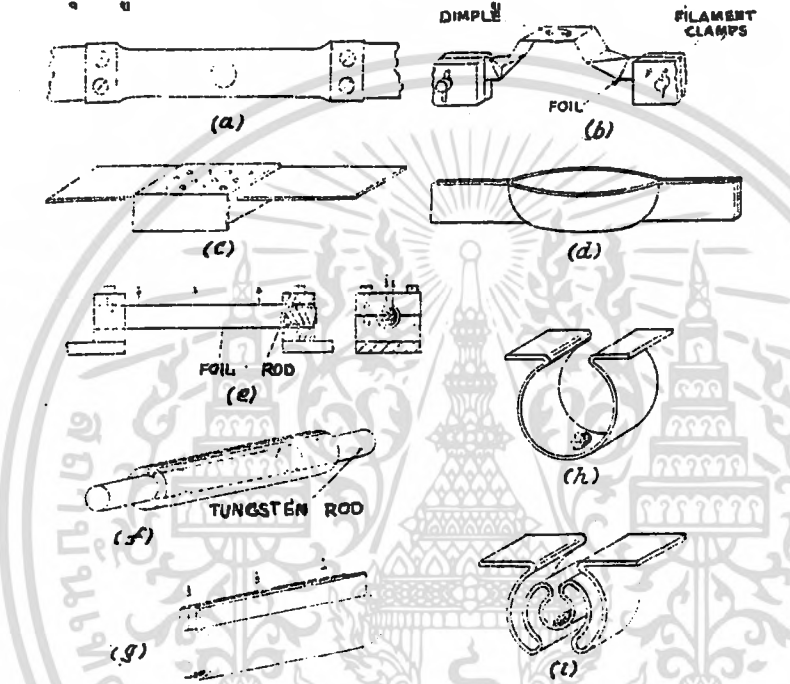
1. กระบวนการระเหยสารจะต้องเกิดขึ้นในระบบที่มีความดันต่ำๆ (0.1 m/Hg) ซึ่งจะมีผลทำให้การระเหิดของอะตอมที่ระเหยขึ้นไปโดยการชนกับโมเลกุลของก๊าซตัดทิ้ง เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ออกไปได้

2. ความหนาแน่นของสารที่ทำการระเหยควรมีค่าต่ำ ๆ ทำให้ผลอันเนื่องมาจากการชนกันระหว่างโมเลกุลของสารที่ทำการระเหย ในบริเวณใกล้กับ sourceheater ตัดทิ้งออกไปได้

3. ทุก ๆ โมเลกุลที่ถูกระเหยจะต้องเกาะติดกับแผ่นรองรับทันที

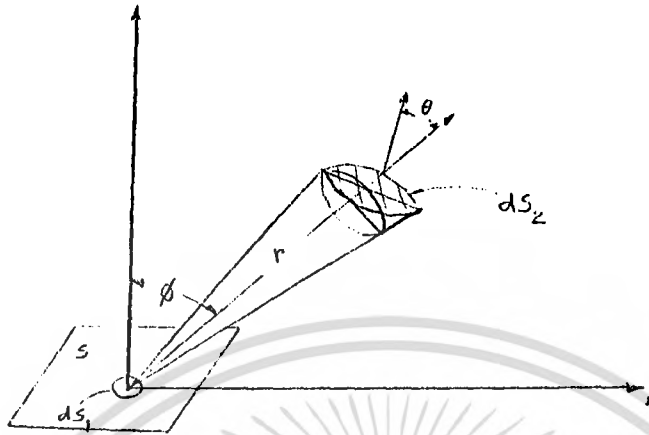
4. อุณหภูมิที่ใช้ในการระเหยสารควรสูงกว่า 1000 °C



Type	Observation
Knudsen Surface Emitting Sources (a) (b) (c)	Vapour source heaters commonly used for evaporating silver and dielectrics for optical interferometry. All sources have a vapour intensity distribution tending to that of a Knudsen surface emitter. Type (b) is resistant to warping at high temperatures. Type (c) useful for preventing decrepitation of powder.
Boat Source (d)	May be used for evaporating dielectrics and metals in large quantities. Unsuitable for evaporating metals which readily wet heater, e.g. tin, because evaporant forms a low resistance path.
Cylindrical Sources (e) (f) (g)	Heater interior approximates to a black body enclosure. Useful for evaporating substances of low thermal conductivity and low infra-red absorption, e.g. silica. Type (g) has a highly directional vapour emission characteristic.
Tolansky type source (82) (h)	Type (h) used for horizontal evaporation.
Jacques type source (83) (i)	With type (i) the radiation shields are part of the heater and allow high temperatures to be attained with low power consumption.

รูปที่ 2.1 แสดงลักษณะของ Sourceheater ชนิดต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 แสดงพื้นผิว ds_2 ซึ่งมีเส้นปรกติทำมุม θ กับทิศทางการระเหยสาร

พิจารณารูปที่ 2.2 ที่มีพื้นที่เล็ก ๆ ds_1 ซึ่งมีอัตราการระเหยสารด้วยอัตรา m (g/sec) เพียงด้านเดียว จะเป็นไปตามกฎของโคซายน์ ซึ่งกล่าวว่าปริมาณสารที่ระเหยขึ้นไปจะฟุ้งกระจายเป็นมุมตัน dw ในทิศทางที่ทำมุม ϕ กับเส้นปรกติของพื้นผิว ds ต่อหนึ่งหน่วยเวลามีค่าเป็น

$$\begin{aligned} dm &= \frac{m}{r} \cos \phi \, dw \\ &= \frac{m}{r} \cdot \frac{\cos \phi \cos \theta}{r^2} \cdot ds_2 \end{aligned}$$

โดยที่

$$dw = \frac{\cos \theta}{r^2} \cdot ds_2$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

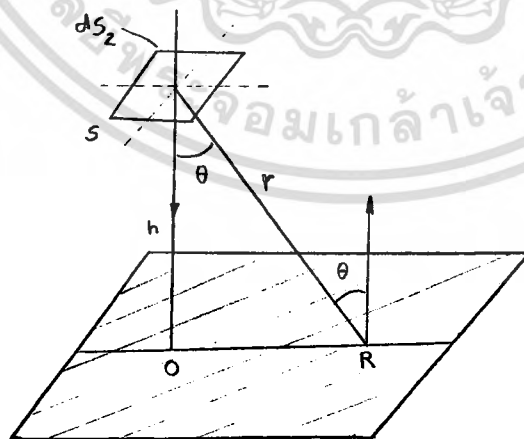
กำหนดให้ความหนาแน่นของสารที่ถูกระเหยมีค่าเป็น C (g/cm^3) และความหนาของฟิล์มต่อหนึ่งหน่วยเวลามีค่าเป็น t ทำให้ปริมาตรของสารที่เกาะติดพื้นที่ ds_2 มีค่าเป็น $t \cdot ds_2$ มีค่าเป็น

$$dm = c \cdot t \cdot ds_2$$

จะได้ความหนาของฟิล์มที่เกาะติดบนพื้นที่ ds_2 มีค่าเป็น

$$t = \frac{m}{rc} \cdot \frac{\cos \phi \cos \theta}{r^2}$$

โดยการตัดส่วนที่เป็นต่อหนึ่งหน่วยเวลาออกทั้ง 2 ข้าง โดยใช้ m (g) ซึ่งเป็นมวลรวมของสารที่ถูกระเหยแทนอัตราการระเหยสาร m (g/sec) และ t (cm) ซึ่งเป็นความหนารวมของฟิล์มแทนความหนาฟิล์มต่อหนึ่งหน่วยเวลา (cm/sec)



รูปที่ 2.3 การระเหยสารจากพื้นที่เล็ก ๆ ที่ θ บนระนาบที่ขนานกับพื้นผิว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การพิจารณาการกระจายความหนาของฟิล์มที่ตำแหน่งต่าง ๆ (t) ซึ่งอยู่ห่างจากแนวกึ่งกลางออกไปเป็นมุม θ หรือระยะ d ดังรูปที่ 2.3 จะได้ความหนาของฟิล์มบางที่จุด R เป็น

$$t = \frac{m \cdot \cos^2 \theta}{\pi c r^2}$$

$$= \frac{mh^2}{\pi cr^4}$$

$$= \frac{mh^2}{\pi c(h^2 + d^2)^2}$$

ให้ t_0 เป็นความหนาของฟิล์มที่จุด O ซึ่งอยู่แนวกึ่งกลางจะได้

$$t_0 = \frac{m}{\pi ch^2}$$

$$\frac{t}{t_0} = \frac{h^4}{(h^2 + d^2)^2}$$

$$= \frac{1}{(1 + (d/h)^2)^2}$$

$$= \frac{1}{(1 + \tan^2 \theta)^2}$$

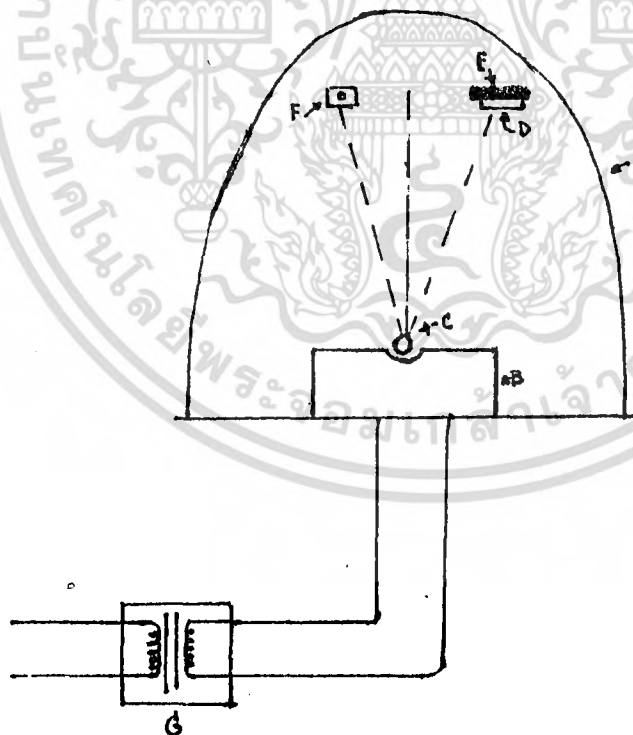
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\frac{t}{t_0} = \cos^4 \theta$$

ซึ่งเป็นสมการที่แสดงการกระจายความหนาของฟิล์มบางที่ตำแหน่งต่าง ๆ บนแผ่นรองรับ โดยมีความสัมพันธ์กับมุม θ

2.2 ความสัมพันธ์ของความหนากับการเปลี่ยนแปลงความถี่

การเตรียมฟิล์มบางโดยวิธีการระเหยสารด้วยความร้อนภายในระบบสุญญากาศ สามารถแสดงไว้ดังรูปที่ 2.4 โดยในระบบนี้จะจัดวางคริสตอลและแผ่นรองรับให้อยู่ในระนาบเดียวกัน และอยู่ห่างจากจุดศูนย์กลางของโบริดเท่ากัน



รูปที่ 2.4 แสดงระบบวัดและความคุมความหนาของฟิล์มบาง

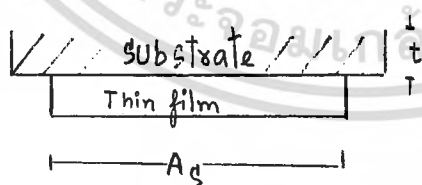
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.4

- A: คือ ครอบแก้วสุญญากาศ
- B: คือ ภาชนะ (boat)
- C: คือ สารที่ใช้เป็นแหล่งกำเนิด (source)
- D: คือ ฟิล์มบาง (thin film)
- E: คือ แผ่นรองรับ (substrate)
- F: คือ คริสตอล (crystal)
- G: คือ หม้อแปลงโวลต์ต่ำ, กระแสสูง (transformer)

จะเห็นว่าภายในระบบสุญญากาศจะมีภาชนะ (boat) สำหรับใส่สารที่ต้องการระเหยและด้านบนของระบบสุญญากาศจะเป็น แผ่นรองรับ (substrate) สารที่ระเหยขึ้นโดยจะใช้หม้อแปลงที่มีโวลต์ต่ำ แต่มีกระแสสูงในการให้ความร้อนแก่สารที่ต้องการระเหย เมื่อเราให้ความร้อนแก่ภาชนะ (boat) ถึงจุดที่จะทำให้สารที่ใช้หลอมเหลวเกิดการระเหยขึ้น ไอของสารจะลอยตัวขึ้นไปยังผิวหน้าของแผ่นรองรับ เกิดเป็นฟิล์มบางขึ้นบนแผ่นรองรับ และจะเกิดขึ้นบนคริสตอลเช่นกัน พิจารณาที่ฟิล์มบางที่ติดอยู่บนแผ่นรองรับ

ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 แสดงฟิล์มบางที่ติดบนแผ่นรองรับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูป ให้ t คือ ความหนาของฟิล์มบางที่ติดบนแผ่นรองรับ

A_{u} คือ พื้นที่ของแผ่นฟิล์มบางที่ติดบน แผ่นรองรับ

ρ คือ ความหนาแน่นของสารที่ใช้

m_{u} คือ มวลของสารที่เกาะติดเป็นแผ่นฟิล์มบาง

จะได้สมการดังนี้

$$\rho = m/v$$

$$\rho = m/A \cdot t$$

$$\therefore t = \frac{1}{\rho} \frac{m_{\text{u}}}{A_{\text{u}}} \quad (1)$$

จากระบบวัดความหนาของฟิล์มบาง เมื่อมีสารระเหยไปติดบนตัวคริสตอล มวลของสารที่ระเหยติดบนคริสตอลโดยมวลของสารระเหยระหว่างโบ๊ตกับคริสตอลและโบ๊ต กับแผ่นรองรับมีค่าเท่ากัน จะทำให้ความถี่และความไวของคริสตอลเปลี่ยนไปดังสมการ

$$S = \Delta f / m_{\text{x}}$$

$$S = \Delta f \cdot A_{\text{u}} / (m_{\text{u}} \cdot A_{\text{x}}) \quad (2)$$

เมื่อ Δf คือ ความถี่ที่เปลี่ยนไปใน 1 sec.

A_{u} คือ พื้นที่ที่สารระเหยเกาะติดแผ่นรองรับ

A_{x} คือ พื้นที่ของสารระเหยเกาะติดบนแผ่นคริสตอล

m_{x} คือ มวลของสารที่เกาะติดบนแผ่นคริสตอล

จากสมการที่ 2 จะเห็นได้ว่าอัตราส่วนของพื้นที่ของสารที่ระเหยเกาะติดแผ่นรองรับกับพื้นที่ของสารที่ระเหยที่เกาะติดบนแผ่นคริสตอลมีค่าคงที่ ดังนั้นค่าความไว (sensitivity) ของคริสตอลจะขึ้นอยู่กับ อัตราการเปลี่ยนแปลงความถี่ต่อมวลของสารที่เกาะติดบนฟิล์มบาง

นั่นคือ

$$m_{\text{x}} = \Delta f / S$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$m \frac{A_x}{A_y} = \Delta f / S$$

แทนค่า $m = \rho A t$

$$\rho A t \frac{A_x}{A_y} = \Delta f / S$$

$$t = \Delta f / k \quad (3)$$

เมื่อ k เป็นค่าคงที่ $= S \rho A_x$

จากสมการที่ 3 พบว่าความหนาของฟิล์มบาง จะมีความสัมพันธ์กับค่าความถี่
ที่เปลี่ยนไป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

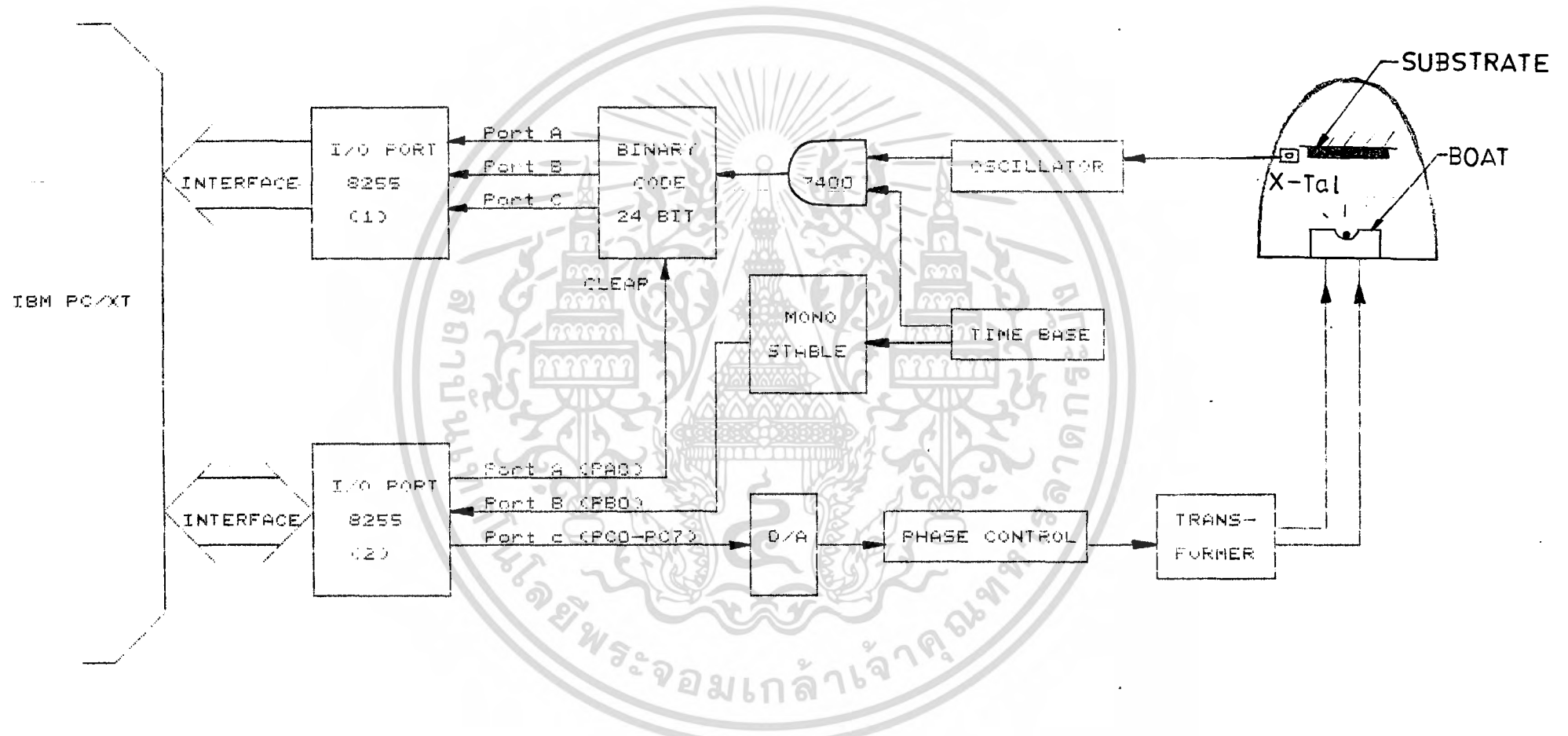
บทที่ 3

อาร์ตแวร์และซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการควบคุมความหนา

ระบบวัดและควบคุมความหนาของฟิล์มบาง จะใช้คอมพิวเตอร์ IBM PC/XT เป็นตัววัดและควบคุมความหนา โดยใช้คริสตอล 4 เมกะเฮิร์ต เป็นดีเทคเตอร์โดยอาศัยหลักการที่ว่าเมื่อสารที่ถูกระเหยด้วยความร้อนสูงในระบบสุญญากาศ ลอยตัวขึ้นไปเกาะติดเป็นฟิล์มบางบนแผ่นคริสตอล ทำให้ความถี่ของคริสตอลเปลี่ยนไป(ลดลง) สัญญาณความถี่ดังกล่าวจะถูกเปลี่ยนให้อยู่ในรูปของสัญญาณไฟฟ้า โดยวงจรออสซิลเลเตอร์ สัญญาณไฟฟ้านี้ จะผ่านการเปิดเกตนาน 1 วินาที และถูกส่งต่อเข้าสู่วงจรนับเลขฐานสอง (Binary Counter) ผลการนับการเปลี่ยนแปลงความถี่จะถูกส่งเข้าประมวลผลในคอมพิวเตอร์ โดยผ่านอินพุทเอาต์พุทพอร์ต (I/O Port 8255) ซึ่งความถี่นี้จะสามารถบอกได้ถึง ความหนาของฟิล์มบางตามทฤษฎีที่กล่าวมาแล้วข้างต้น

การเกิดฟิล์มบางนั้นจะเกิดขึ้นจากการระเหยของสารเนื่องจากความร้อน ดังนั้นเราจะสามารถควบคุมความหนาได้โดยการควบคุมปริมาณความร้อน ความร้อนที่ใช้ในการเผาสารของระบบนี้เราสามารถควบคุมได้โดยใช้ไมโครคอมพิวเตอร์โดยส่งค่าความร้อนที่ต้องการออกทาง อินพุทเอาต์พุทพอร์ต (I/O Port 8255) อีกตัวหนึ่งในรูปของเลขฐานสิบหก ค่าของเลขฐานสิบหกนี้จะถูกส่งไปยัง Digital to Analog เพื่อแปลงเป็นค่าโวลต์ สำหรับจ่ายให้วงจร Phase Control ซึ่งจะเป็นตัวกำหนดกำลังไฟฟ้าของหม้อแปลงโวลต์ต่ำกระแสสูง ที่ใช้ในการเผาสารสำหรับเตรียมฟิล์มบาง

ระบบทั้งหมดนี้แสดงไว้ในแผนผัง ดังรูป 3.1



3.1 แผนผังแสดงระบบวัดและควบคุมความหนาของฟิล์มบาง

จากรูปจะเห็นได้ว่าระบบวัดและควบคุมความหนาของฟิล์มบางแบ่งเป็นส่วนสำคัญได้ 2 ส่วน คือส่วนที่วัดความหนาของฟิล์ม และส่วนที่ควบคุมความหนาของฟิล์มบาง

3.1 การวัดที่ใช้ในการอินเตอร์เฟสกับไมโครคอมพิวเตอร์

เป็นส่วนที่ใช้ต่อเข้ากับ slot ของ IBM PC/XT ประกอบไปด้วยส่วนสำคัญ ๆ ดังต่อไปนี้

วงออสซิลเลเตอร์ (Oscillator circuit) เป็นวงจรชนิด TTL Circuit ภายในวงจรประกอบด้วย IC 7400 วงจรนี้ทำหน้าที่เปลี่ยนความถี่ของคริสตอลให้อยู่ในรูปของสัญญาณไฟฟ้า โดยใช้คริสตอล 3.579 เมกกะเฮิร์ตเป็นตัวกำเนิดความถี่ ส่วน R และ C ในวงจรมันจะช่วยทำให้เสถียรภาพการทำงานของวงจรดีขึ้น

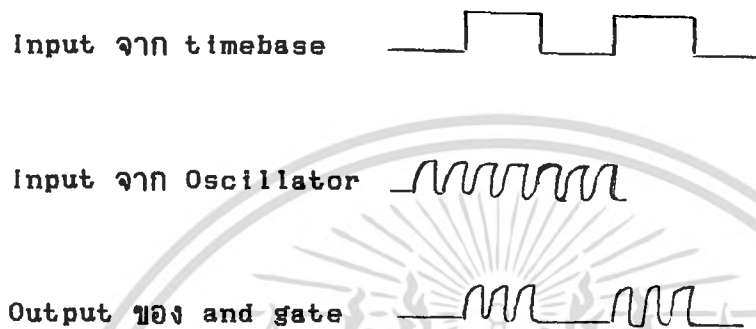
วงจรสร้างฐานเวลา (time base) เป็นวงจรที่สร้างขึ้นจากหลายวงจรประกอบกัน ทำหน้าที่สร้างพัลส์ที่มีความกว้างเท่ากับหนึ่งวินาที เพื่อในการกำหนดให้ความถี่ของสัญญาณไฟฟ้า จากวงจร Oscillator ผ่านการเปิดเกตเข้าไปยังวงจรนับได้นานเท่ากับความกว้างของพัลส์ วงจรสร้างฐานเวลานี้ประกอบขึ้นจากวงจรต่าง ๆ ดังนี้คือ

- วงจรกำเนิดความถี่ 60 เฮิร์ต เป็นวงจรที่ใช้คริสตอล 3.579 เมกกะเฮิร์ตเป็นตัวกำเนิดความถี่ โดยมี IC 5369 เป็นตัวลดทอนความถี่ให้เหลือ 60 เฮิร์ต อุปกรณ์ R, C ในวงจรจะช่วยทำให้เสถียรภาพของวงจรดีขึ้น

- วงจรหารความถี่ เป็นวงจรที่ทำหน้าที่ลดความถี่จาก 60 เฮิร์ต ให้เหลือเพียง 1 เฮิร์ต โดยใช้ IC แบบ CMOS เบอร์ 4017 จำนวน 2 ตัว IC เบอร์ 4017 นี้ โดยปกติแล้วจะเป็นวงจรนับสิบแต่สามารถจะนำมาประยุกต์ใช้เป็นวงจรลดความถี่ได้ โดย IC ตัวแรกจะทำหน้าที่หารหก คือ ลดความถี่จาก 60 เฮิร์ตให้เหลือ 10 เฮิร์ต และ IC ตัวที่สองจะทำหน้าที่หารสิบ คือลดความถี่จาก 10 เฮิร์ต ให้เหลือเพียง 1 เฮิร์ต

- วงจร T ฟลิปฟลอป เป็นวงจรที่ใช้ IC เบอร์ 7473 ซึ่งเลือกใช้ที่สถานะการทำงานแบบ TOGGLE เพื่อสร้างพัลส์ที่มีความกว้างเท่ากับ 1 วินาที โดยมีสัญญาณความถี่ 1 เฮิร์ตเป็น input

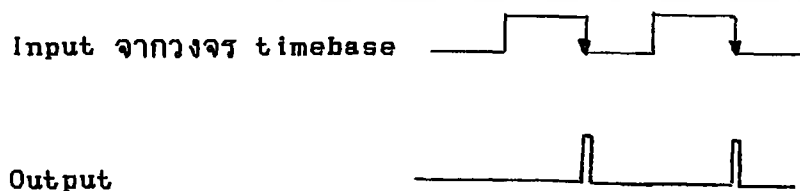
แอนด์เกต (andgate) ในระบบนี้จะใช้ IC 7408 (แอนด์เกต) ทำหน้าที่ในการจำกัดเวลาให้ความถี่ของคริสตอลผ่านเข้าไปในวงจรนับได้นานครึ่งละ 1 วินาที โดยมีอินพุตสองเส้น คือ สัญญาณความถี่จากวงจร OSCILLATOR หนึ่งเส้น และสัญญาณจากวงจรสร้างฐานเวลา 1 เส้น เอาท์พุทของแอนด์เกตสามารถแสดงได้ดังรูป 3.2



รูปที่ 3.2 wave form ของวงจรแอนด์เกต

วงจรโมโนสเตเบิล (MONOSTABLE) เป็นวงจรที่ใช้ IC เบอร์ 74 เพื่อสร้างพัลส์เล็ก ๆ สำหรับเป็นสัญญาณตรึง I/O port 8255 เพื่อให้ I/O port 8255 ส่ง "1" ไปเคิลียร์เคาทเตอร์ (รายละเอียดการทำงานจะอธิบายในส่วนของ I/O port 8255) โดยขนาดความกว้างพัลส์ สามารถกำหนดได้ด้วยขนาด R และ C ในวงจรดังสมการ $t = 0.69 RC$

จากรูปที่ 3.4 จะพบว่าในวงจรใช้ $R = 1 \text{ k}$ และ $C = 1 \mu\text{F}$ ซึ่งจะให้ความกว้างของพัลส์เท่ากับ 6.9×10^{-4} วินาที และใช้เอาท์พุทของวงจร timebase เป็นอินพุท เอาท์พุทของวงจรโมโนสเตเบิลแสดงไว้ดังรูป 3.3



รูปที่ 3.3 แสดงเอาท์พุทของวงจรโมโนสเตเบิล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



วงจรรับความถี่ ทำหน้าที่ในการนับความถี่ของคริสตอล วงจรนี้ใช้ IC แบบ CMOS เบอร์ 4040 ซึ่งเป็นวงจรรับเลขฐานสองที่มีเอาต์พุต 12 บิตโดยจะใช้ 2 ตัว ดังนั้น วงจรนี้จะสามารถนับความถี่ได้สูงสุดเท่ากับ 16.7 เมกกะเฮิรตซ์ และสามารถรีเซตเคาท์เตอร์เพื่อทำการเคลียร์ข้อมูลได้ทุกครั้งก่อนการนับในช่วงต่อไป

อินพุท-เอาต์พุต 8255 ในระบบวัดความหนาแน่น จะใช้อินพุทเอาต์พุต 8255 จำนวน 2 ตัว ในการเชื่อมต่อกับไมโครคอมพิวเตอร์ (IBM PC/XT) โดยมีการถอดรหัสเพื่อกำหนดตำแหน่งแอดเดรสที่ใช้ในการทำงานไว้สำหรับ 8255 ทั้ง 2 ตัว ในตำแหน่งที่ 2bC-2bF และ 2b8-2bb ตามลำดับ 8255 ทั้ง 2 ตัว จะเชื่อมต่อกับ ซีพียู (8088) ของไมโครคอมพิวเตอร์ผ่านทาง slot ที่อยู่บนเมนบอร์ด (รายละเอียดของ slot แสดงไว้ในภาคผนวก) โดยจะใช้ขาสัญญาณต่าง ๆ ในการเชื่อมต่อกับ ซีพียู ดังนี้

D_0-D_7 เป็นขาที่ข้อมูลอินพุท เอาต์พุตจะต้องผ่านเข้าออก จากส่วนนี้ D_0-D_7 จึงต้องเข้ากับระบบบัลลของไมโครโปรเซสเซอร์ เพื่อให้ไมโครโปรเซสเซอร์สามารถอ่าน หรือเขียนข้อมูลจากพอร์ตผ่านทางบัลลนี้

CS (สัญญาณการเลือกชิป) ขานี้เป็นขาอินพุทที่รับสัญญาณจากภายนอก เพื่อเลือกชิป 8255 โดยเมื่อขานี้เป็น "0" จะทำให้ 8255 ต่อเข้ากับระบบบัลลไมโครโปรเซสเซอร์ เพื่อให้ไมโครโปรเซสเซอร์เขียนหรืออ่านข้อมูลจากพอร์ตได้

RD (สัญญาณการอ่าน) เป็นสัญญาณอินพุทที่ต้องส่งมาจากซีพียู เมื่อสัญญาณที่ขานี้เป็น "0" และสัญญาณ CS เป็น "0" ด้วยไอซี 8255 จะทำตัวให้ซีพียูอ่านข้อมูลจากบัลลในขณะที่เป็นพอร์ตอินพุท

WR เป็นสัญญาณการเขียน จะแอดตีฟเมื่อสัญญาณ WR และสัญญาณ CS เป็น "0" สัญญาณนี้จะมาจากซีพียูเมื่อต้องการเขียนข้อมูลลงบนพอร์ตที่กำหนด

A_0, A_1 (สัญญาณแอดเดรส) ลอจิกของสัญญาณทั้งสองจะถอดรหัสออกเป็น 4 รหัส เพื่อกำหนดรีจิสเตอร์ภายในที่เชื่อมต่อกับพอร์ตอินพุท เอาต์พุทของ 8255

RESET (สัญญาณรีเซต) เป็นสัญญาณที่ส่งจากภายนอกเข้ามาทำการรีเซต 8255 เพื่อเคลียร์สถานะต่าง ๆ ของ 8255 เมื่อ 8255 ได้รับการเซตก็จะกลับเข้าสู่โหมดอินพุทหรือทุกพอร์ตเป็นอินพุทพอร์ต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำงานของ 8255 ทั้งสองตัวนี้จะถูกกำหนดให้ทำงานในโหมด 0 โดยกำหนดหน้าที่ของ 8255 ทั้งสองตัวไว้ดังนี้

IC 8255 ตัวแรก Port A,B และ C จะทำหน้าที่เป็นอินพุทพอร์ต โดยพอร์ตทั้งสามจะเชื่อมต่อกับเอาต์พุทของวงจรมอนิเตอร์

IC 8255 ตัวที่สอง พอร์ตทั้งสามของ IC ตัวนี้ จะถูกกำหนดให้ทำหน้าที่ต่างกันคือ พอร์ต A,C จะทำหน้าที่เป็นเอาต์พุทพอร์ต ส่วนพอร์ต B จะทำหน้าที่เป็นอินพุทพอร์ต โดยพอร์ต A จะใช้ขา PA_0 เชื่อมต่อกับขาเคลียร์ของวงจรมอนิเตอร์ พอร์ต B จะใช้ขา PB_0 เชื่อมต่อกับขาเอาต์พุทของวงจรมอนิเตอร์ และพอร์ต C จะใช้เชื่อมต่อกับขาอินพุทของวงจรมอนิเตอร์ DIGITAL TO ANALOG

การทำงานของ 8255 ทั้งสองตัวนี้ จะถูกควบคุมโดย Software ซึ่งจะคอยตรวจสอบสัญญาณพัลส์เล็ก ๆ ของโมโนสเตเบิล เมื่อสัญญาณนี้เข้ามาที่ขา PB_0 ของ 8255 ตัวที่สอง จะเป็นการแสดงว่าสิ้นสุดการเปิดเกตให้คลื่นความถี่เข้าสู่วงจรมอนิเตอร์ และสิ้นสุดการนับในแต่ละวินาที Port A,B และ C ของ 8255 ตัวแรกจะรับผลการนับการเปลี่ยนแปลงความถี่ในแต่ละวินาทีนี้ไปประมวลผล จากนั้น 8255 ตัวที่สองก็จะส่ง "1" (5 โวลต์) ออกที่ขา PA_0 เพื่อไปทำการรีเซตวงจรมอนิเตอร์ จากนั้นก็จะส่ง "0" (0 โวลต์) ไปเซตวงจรมอนิเตอร์ให้พร้อมนับความถี่ในวินาทีถัดไป ส่วน Port C ของ 8255 ตัวที่สองนั้น จะทำหน้าที่เป็นเอาต์พุทพอร์ตเช่นกันโดยจะส่งค่าในช่วง 00H-FFH แก่วงจร DIGITAL TO ANALOG เพื่อเปลี่ยนเป็นค่าโวลต์เตจ ซึ่งใช้เป็นอินพุทของวงจรมอนิเตอร์ Phase Control ในการควบคุมปริมาณกระแสของหม้อแปลงโวลต์ต่ำกระแสสูงนั่นก็คือ การควบคุมปริมาณความร้อนในการเผาสุารนั่นเอง

วงจรถอดรหัสและวงจรรอ์เกต

วงจรถอดรหัส (decoder) เป็นวงจรถอดรหัสที่ทำหน้าที่ในการถอดรหัส เพื่อเลือกใช้งาน 8255 ให้ถูกต้องตามแอดเดรสที่กำหนด โดยกำหนดให้ 8255 ทั้งสองตัวตั้งไว้ในช่วงแอดเดรส 2BCH-2bFH และ 2b8-2bbH ตามลำดับ วงจรนี้จะใช้ IC เบอร์ 74138 จำนวน 2 ตัวเป็นตัวถอดรหัส IC ทั้งสองตัวนี้จะเชื่อมต่อกับแอดเดรส A_2-A_9

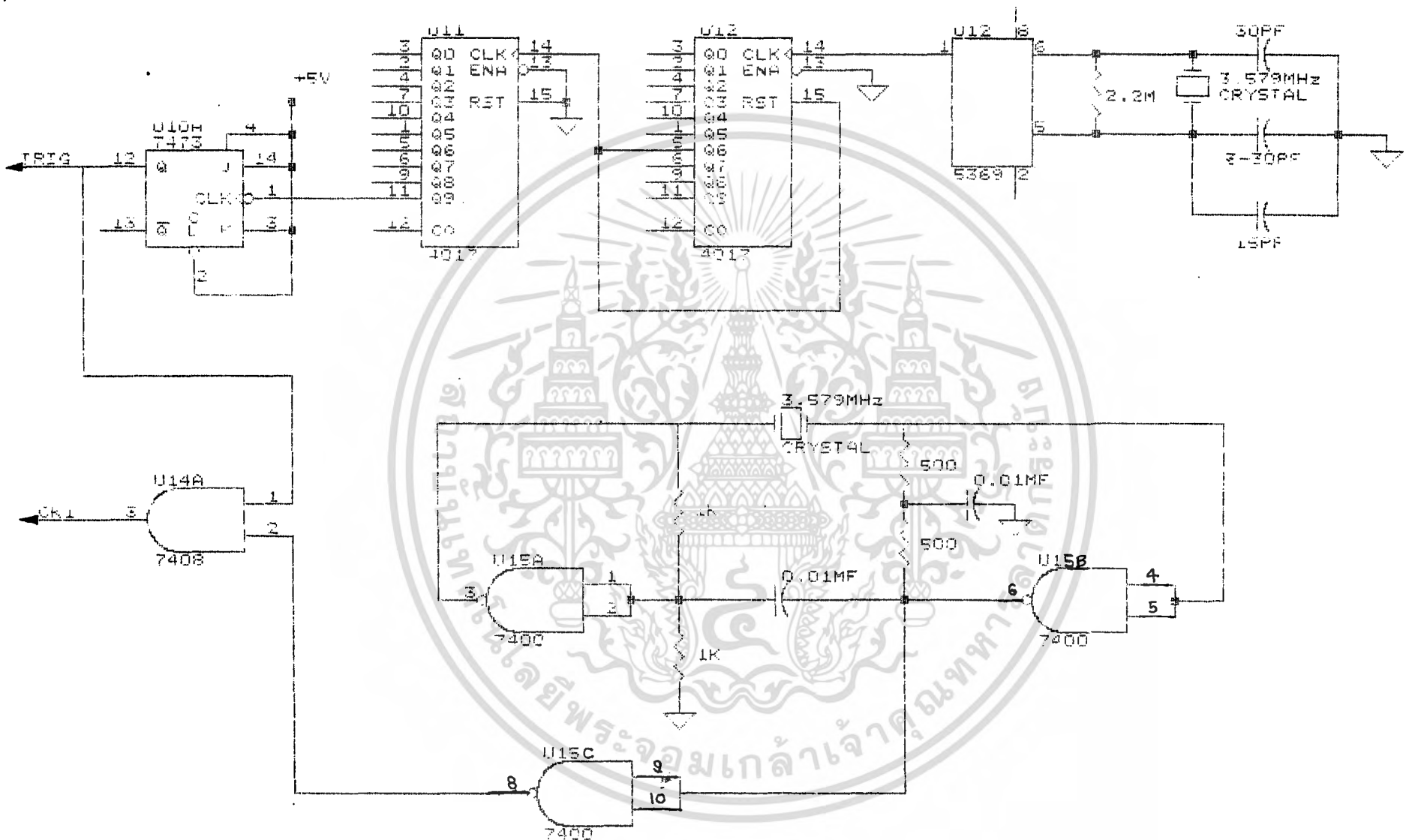
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของ 8088 ผ่านทาง Slot บนเมนบอร์ด

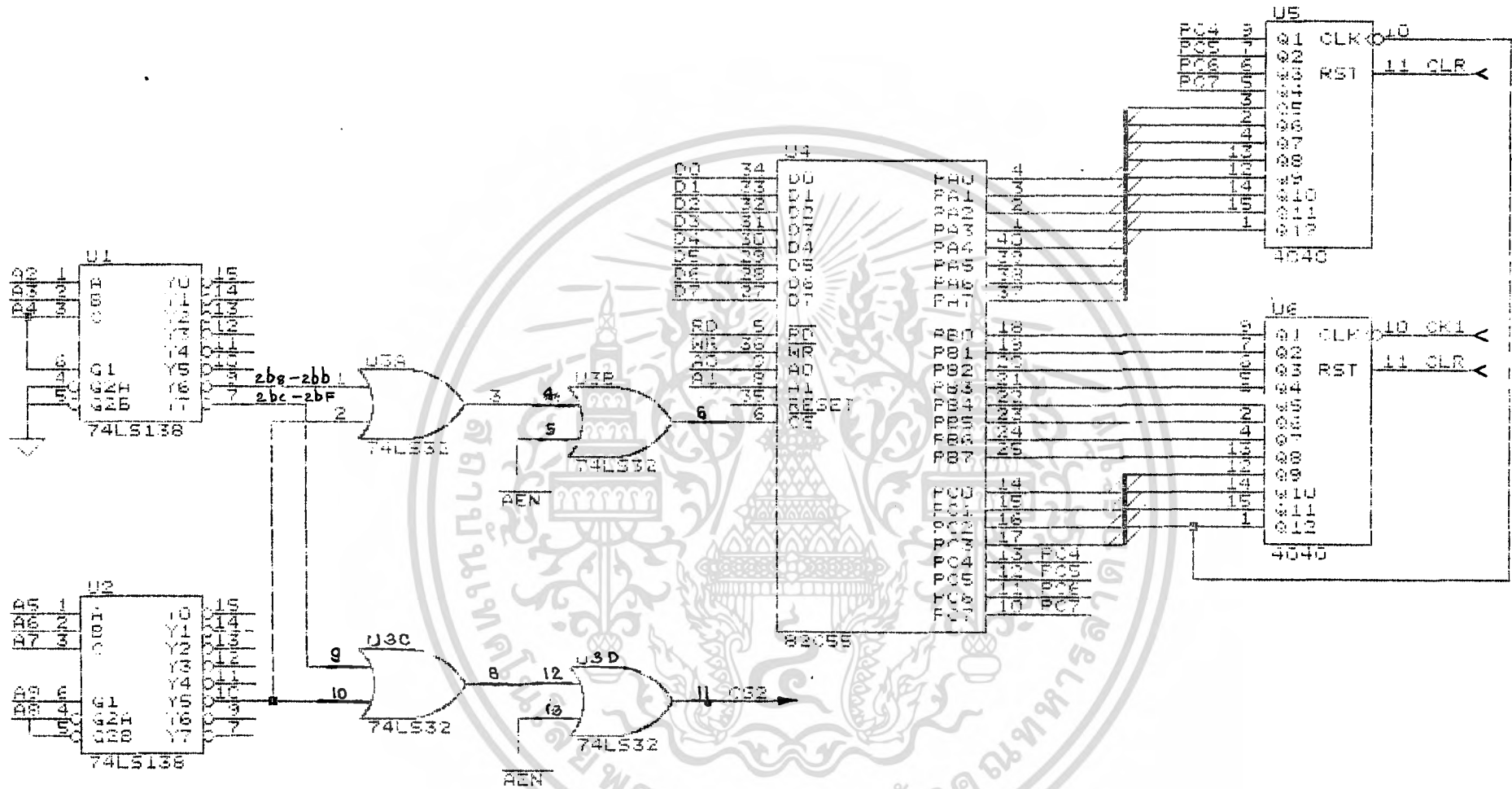
สัญญาณที่ได้จากวงจรถอดรหัส ยังไม่สามารถที่จะนำไปใช้เป็นสัญญาณ Chip Select เพื่อเซทให้ 8255 ทำงานได้ สัญญาณที่ได้นี้จะต่อนำไปทำการ OR กับสัญญาณ Address Enable (AEN) ซึ่งเป็นสัญญาณจาก ซีพียู โดยใช้ ออร์เกต เพื่อนำเอาที่พท ของ ออร์เกต ไปใช้เป็นสัญญาณ Chip Select ซึ่ง 8255 นั้นจะแอดทิฟเมื่อสัญญาณ Chip Select เป็น Low นั้นแสดงว่าทั้งสัญญาณจากวงจรถอดรหัสและสัญญาณ AEN ต้อง เป็น Low พร้อมกัน

วงจร DIGITAL TO ANALOG CONVERTER ทำหน้าที่แปลงค่าเอาต์พุตที่ได้จาก Portc ของ 8255 ตัวที่สอง (เอาต์พุตเป็นฐานสิบหก) ให้เป็นค่าโวลต์เตจ เพื่อจ่ายให้กับวงจร Phase Control ซึ่งจะเป็นตัวกำหนดค่ากระแสและโวลต์เตจของ หม้อแปลงที่ใช้ในการเผาสาาร วงจรนี้จะใช้ D/A เบอร์ 0800 และ Op Amp 741C โดยค่าโวลต์เตจสูงสุดของวงจรขึ้นอยู่กับค่าความต้านทานของตัวต้านทานที่ต่อक्रमระหว่างขา 2 และขา 6 ของ Op Amp

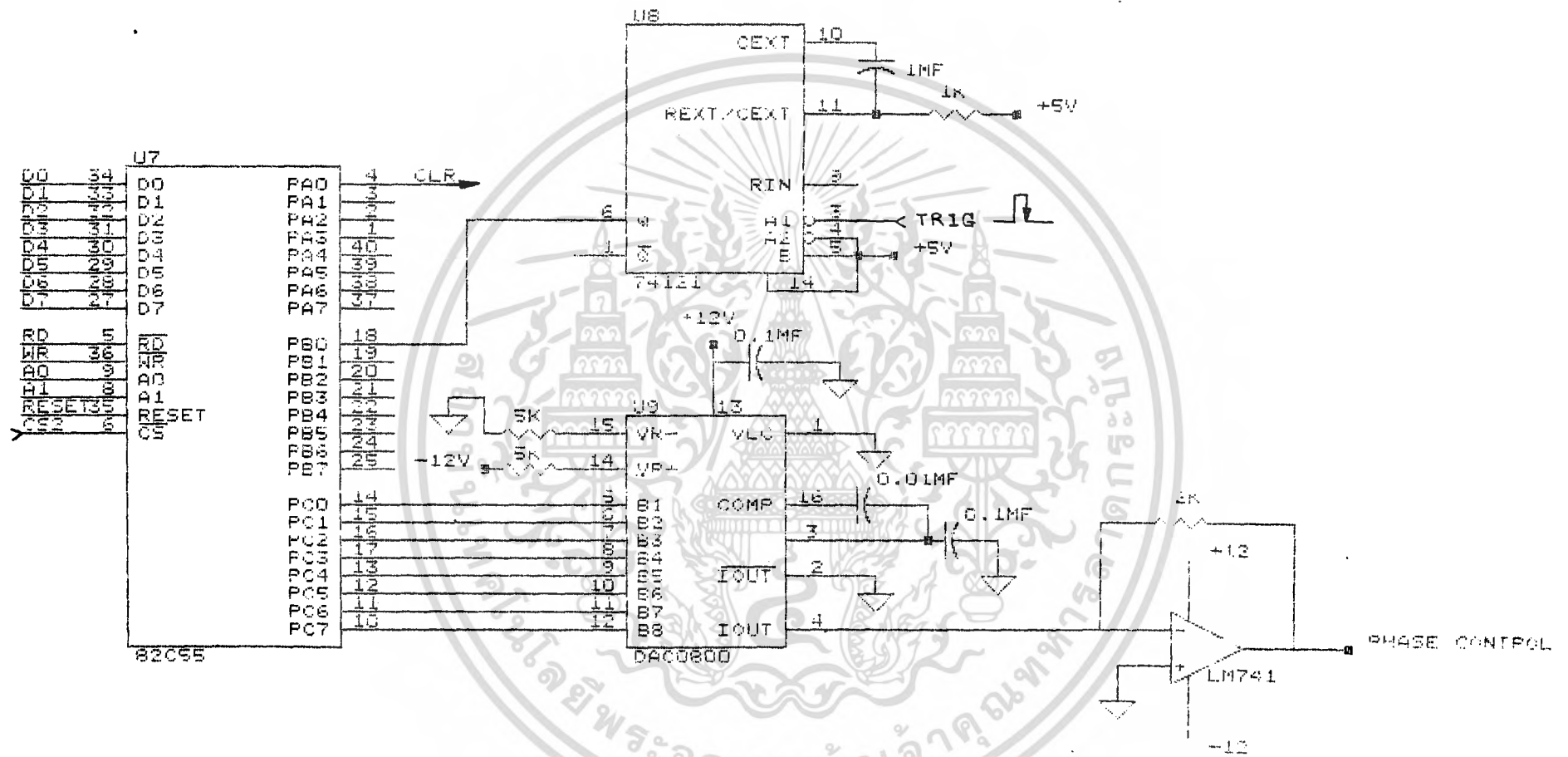
รายละเอียดของวงจรทั้งหมดแสดงไว้ในรูปที่ 3.4 (รายละเอียดและคุณสมบัติของ IC แต่ละตัวแสดงไว้ในภาคผนวกท้ายเล่ม)



รูปที่ 3.4 แสดงรายละเอียดฮาร์ดแวร์ของระบบควบคุมความหนา



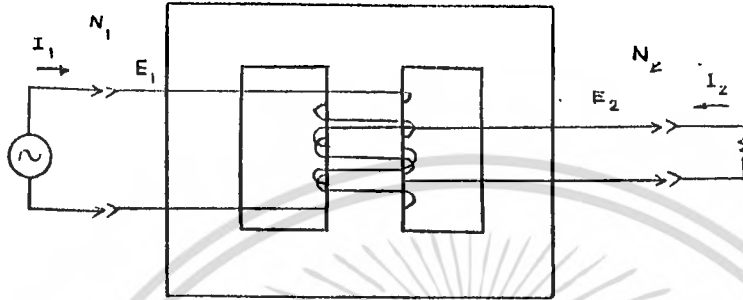
รูปที่ 3.4 แสดงรายละเอียดฮาร์ดแวร์ของระบบควบคุมความหนา (ต่อ)



รูปที่ 3.4 แสดงรายละเอียดฮาร์ดแวร์ของระบบควบคุมความหนา (ต่อ)

3.2 หม้อแปลงที่ใช้ในการระเหยสาร

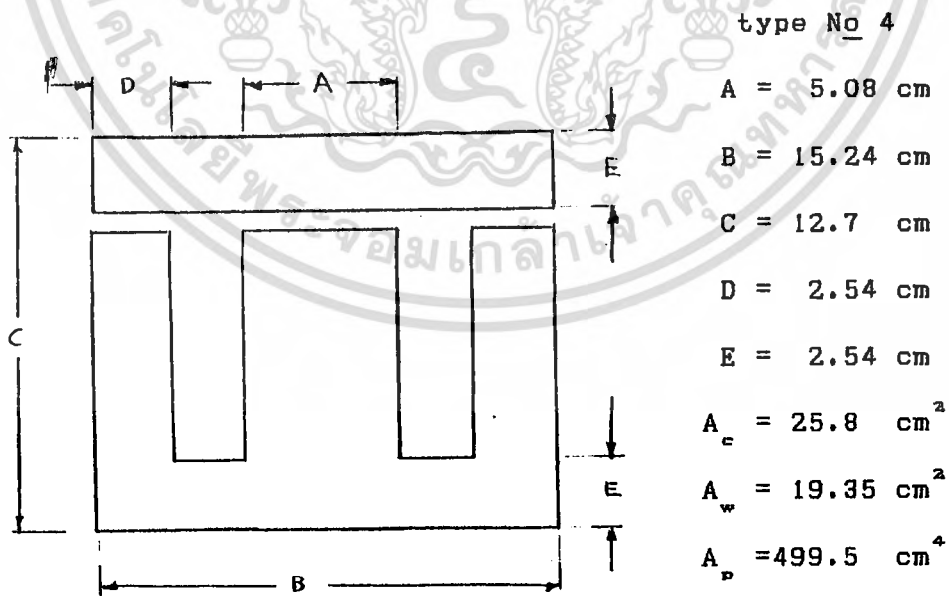
หม้อแปลงเป็นแหล่งจ่ายไฟให้แก่ฮีต เพื่อใช้ในการระเหยสาร ซึ่งเป็นแบบที่ให้ output voltage (E_2) ต่ำ แต่ output current (I_2) สูง



รูปที่ 3.5 แสดงโครงสร้างของหม้อแปลง

3.2.1 การออกแบบพันหม้อแปลงไฟฟ้า

ทำการเลือกแกนเหล็ก EI ซึ่งมีส่วนผสมของซิลิคอน Type No 4 จากภาคผนวก ซึ่งให้ P_o 600 watt (โดยกำหนดให้ efficiency, = 75%) ซึ่งมีรูปร่างและสัดส่วนของแกนเหล็ก EI ดังต่อไปนี้



รูปที่ 3.6 แสดงรูปร่างและสัดส่วนของแกนเหล็ก EI

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1) ด้าน Input (ขดปฐมภูมิ)

$$\text{จาก } A_p = \frac{P_o(1+1/n)}{4.44 B_m J K_w f}$$

โดย A_p คือ area product

P_o คือ output power

n คือ efficiency = P_o/P_i

B_m คือ flux B_m (มีค่าระหว่าง 0.8-0.97 T)

J คือ current density ของลวดทองแดง (มีค่าระหว่าง 3.5-5 A/m.m²)

K_w คือ window utilization factor (มีค่าประมาณ 0.3-0.4)

f คือ frequency ของแหล่งจ่ายไฟที่ใช้ (50 Hz)

แทนค่าโดย $A_p = 499.5 \times 10^{-4} \text{ m}^2$, $n = 75\%$, $B_m = 0.85 \text{ T}$

$J = 500 \times 10^4 \text{ s/m}^2$, $K_w = 0.3$ และ 50 Hz จะได้

$$P_o = 605 \text{ watt}$$

$$P_i = P_o/n = 808 \text{ watt}$$

$$I_i = P_o/E_i = 3.67 \text{ A}$$

$$\text{จาก } N_1 = E_i / (4.44 K_w f B_m A_c)$$

โดย N_1 คือ จำนวนรอบของขดวงจรปฐมภูมิ

E_i คือ input voltage

K_w คือ stacking factor (มีค่าระหว่าง 0.8-0.95)

A_c คือ area core

แทนค่าโดย $K_w = 0.9$, $f = 50 \text{ Hz}$, $B_m = 0.85 \text{ T}$ และ

$A_c = 25.8 \times 10^{-4} \text{ m}^2$ จะได้

$$N_1 = 502 \text{ รอบ}$$

$$\text{จาก } \text{area wire} = I/J$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned} \text{จะได้พื้นที่ตัดของ } N_1 &= \frac{3.67}{5 \times 10^6} \text{ m}^2 \\ &= 0.734 \text{ m.m}^2 \end{aligned}$$

ทำการเลือก SWG No ของทองแดงจากภาคผนวก โดยต้องคำนึงถึงขนาดของเส้นลวดที่ใช้ควรจะมีขนาดใหญ่กว่าที่คำนวณไว้เล็กน้อย ซึ่งในที่นี้ทำการเลือกใช้ SWG No 19

2) คำนวณ Output (ขดทุติยภูมิ)

เลือกใช้ลวดทองแดงที่ใช้แบบ SWG No 19 จำนวน 6 เส้น ซึ่งมีพื้นที่หน้าตัดของเส้นลวดเท่ากับ 8.3 mm^2 พันกับขดปฐมภูมิลงไป โดยที่เราคั่นระหว่างขดปฐมภูมิกับขดทุติยภูมิด้วยฉนวน โดยตีขานกันไปจำนวน 5 รอบ

$$N_2 = 5 \text{ รอบ}$$

$$E_2 = E_1 (N_2 / N_1)$$

$$= 2.19 \text{ Volt}$$

จากพื้นที่หน้าตัดของเส้นลวดเท่ากับ 8.3 mm^2 การที่เราพันขดลวดทุติยภูมิจำนวน 6 เส้น ซึ่งตีขานกันไปในหนึ่งรอบ รวมทางตัดขดทุติยภูมิเท่ากับ 249 แอมแปร์

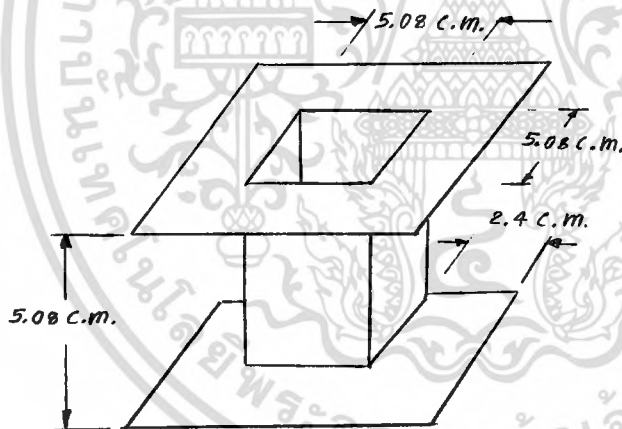
3.2.2 ขั้นตอนการพันหม้อแปลง

- 1) นำบอบปิ่น ซึ่งมีขนาดตั้งรูป 3.7 มารองพื้นด้วยฉนวนไมลาร์ก่อนจำนวน 1 รอบ
- 2) พันลวดทองแดง SWG No 19 ลงบนบอบปิ่นโดยพันเรียงเส้นกันไปเป็นชั้น ๆ จำนวน 520 รอบ ซึ่งจะมีความหนาจำนวน 9 ชั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 3) เคลือบขดลวดปฐมภูมิด้วยน้ำยาวานิชชนิดแห้งเร็ว จนกระทั่งขดลวดอิมตัว
- 4) ใช้ฉนวนไมลาร์พันทับลงไปจำนวน 1 รอบ
- 5) พันลวดทองแดง SWG No 10 จำนวน 6 เส้น ตีขนานกันไปจำนวน 5 รอบ ประมาณ 2 ชั้น
- 6) เคลือบขดลวดด้วยน้ำยาวานิชชนิดแห้งเร็ว อีกครั้งหนึ่ง
- 7) ใช้กระดาษฉนวนพันทับลงไปจำนวน 2 รอบ
- 8) นำมาประกอเข้ากับแกน EI โดยสอดแกน E และ แกน I สลับกันไปมา จนกระทั่งเต็มบอบขึ้น
- 9) ใช้โอห์มมิเตอร์ตรวจดูว่าขดลวดมีการลัดวงจรกับแกน EI หรือขดลวดขดอื่น ๆ หรือไม่

ลักษณะของหม้อแปลงที่พันใช้งานได้แสดงไว้ดังรูปถ่ายในภาคผนวก



รูปที่ 3.7 แสดงขนาดของบอบขึ้น

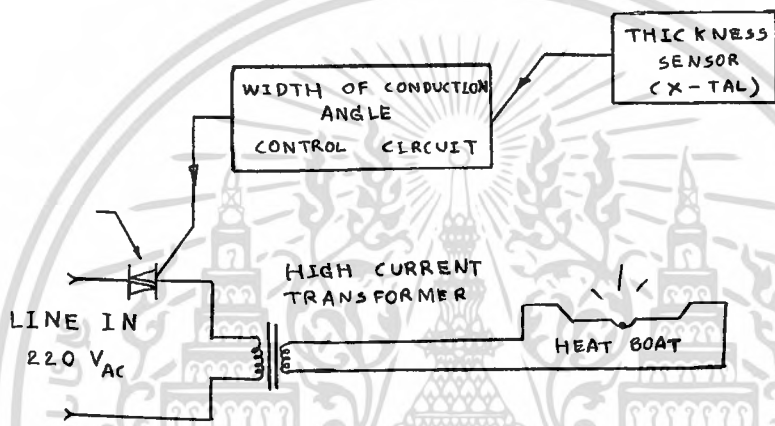
3.8 วงจรควบคุมกำลังไฟฟ้าเชิงลัดส่วน

เป็นวงจรทำหน้าที่ควบคุมกำลังไฟฟ้าของหม้อแปลงที่ใช้ในการระเหยสาร

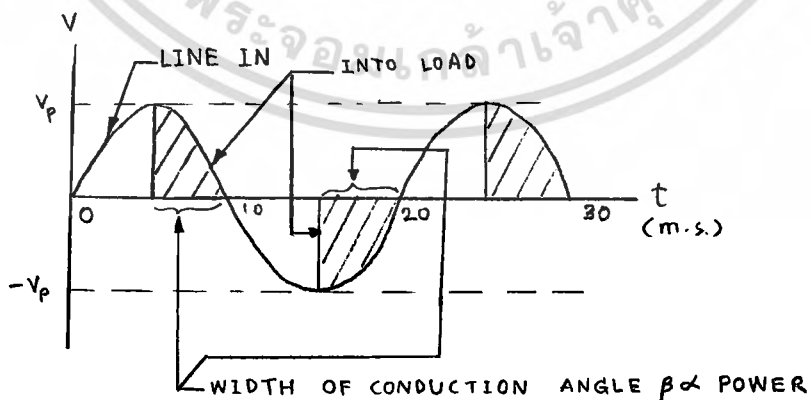
โดยการควบคุมมุมนำกระแสของไทรแอก ดังรูปที่ 3.8 และ 3.9 ไทรแอกจะทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตามช่วงเวลาที่ถูุกำหนดโดยมุมนำกระแส (conduction angle, β) โดยมีความสัมพันธ์กับกำลังไฟฟ้าของหม้อแปลงที่ใช้ในการระเหยสาร ซึ่งกำลังไฟฟ้าจะมีค่ามากที่สุดเมื่อมุมการนำกระแส = 180° และน้อยที่สุดเมื่อมุมการนำกระแส = 0° การที่มุม β จะมีค่าเป็นเท่าใดนั้น จะถูกกำหนดโดยสัญญาณอนาล็อก จากวงจร DIGITAL TO ANALOG รายละเอียดของวงจรควบคุมกำลังไฟฟ้าเชิงสวิตช์แสดงดังรูปที่ 3.10

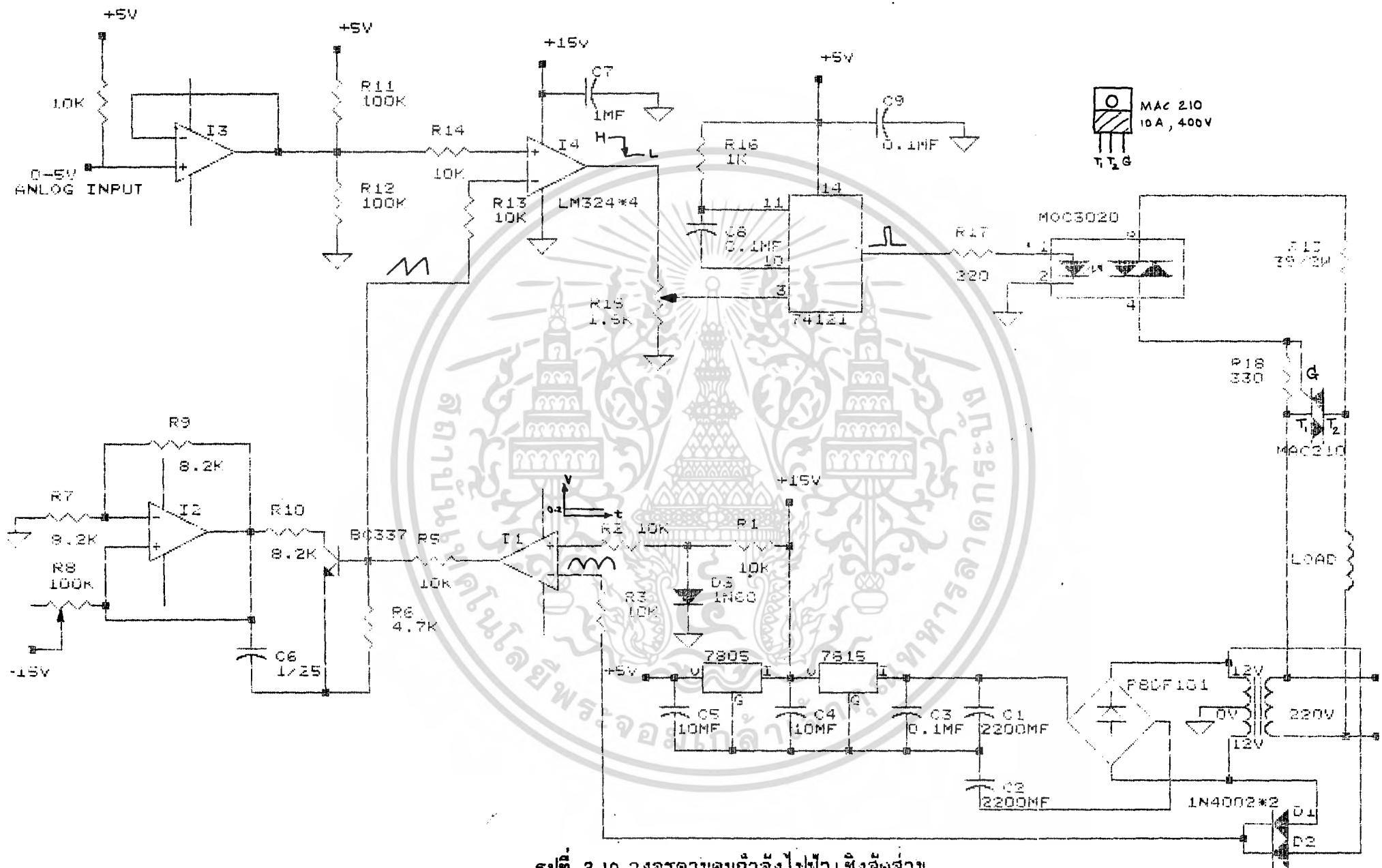


รูปที่ 3.8 แสดงหลักการควบคุมกำลังไฟฟ้าเชิงสวิตช์



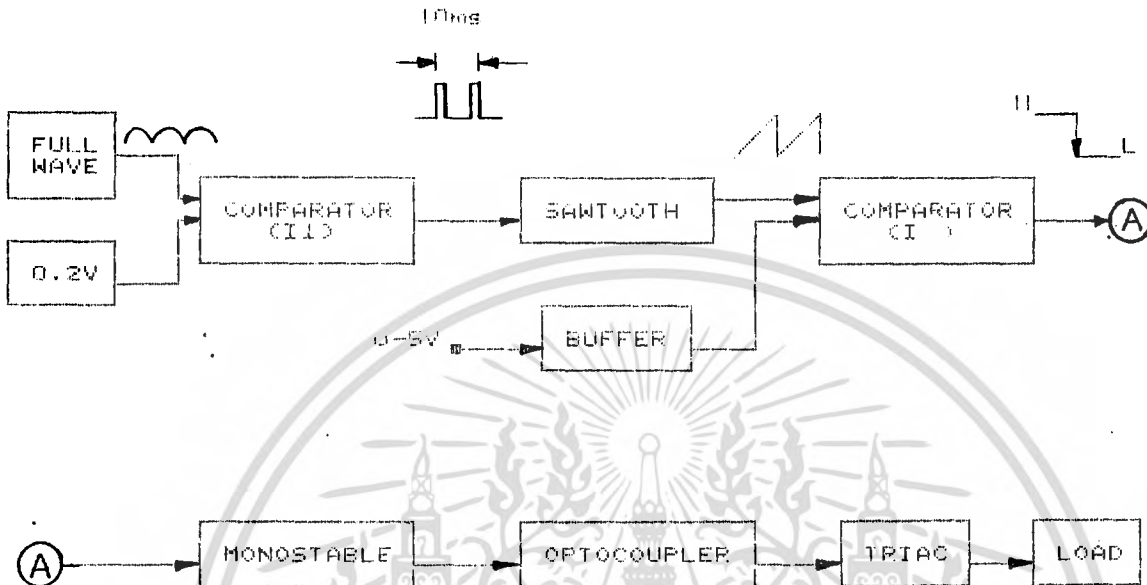
รูปที่ 3.9 แสดงการควบคุมมุมนำกระแสของไทรสเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.10 วงจรควบคุมกำลังไฟฟ้าเชิงลัดส่วน

จากรูปที่ 3.10 ซึ่งแสดงถึงวงจรควบคุมกำลังไฟฟ้กำลังเชิงสัดส่วน สามารถเขียนเป็นบล็อกไดอะแกรมเพื่ออธิบายหลักการทำงานอย่างง่าย ๆ ได้ดังนี้



รูปที่ 3.11 บล็อกไดอะแกรมของวงจรควบคุมกำลังไฟฟ้เชิงสัดส่วน

1. FULL WAVE จะใช้ไดโอด 2 ตัว คือ D_2 ต่อเข้ากับแหล่งจ่ายไฟสลับจากหม้อแปลง 15 V ทั้ง 2 ด้าน ซึ่งเป็นวงจรเรียงกระแสแบบ full wave rectific นั้นเอง
2. VREF (0.2 v) ได้จากแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมเจอร์มาเนียมไดโอด D_3
3. COMPARATOR (I₁) ทำการเปรียบเทียบสัญญาณ full wave กับ V_{ref} (0.2 V) ด้วย O_p Amp (I₁) ได้สัญญาณออกมาในรูปดิจิทัล เพื่อ ON-PFF ทรานซิสเตอร์ TR_1
4. SAWTOOTH โดยการจัดซึ่งประกอบด้วย I_2 , C_6 , TR_1 , R_6 , R_6 , R_9 และ R_{10} โดยที่ R_6 ซึ่งต่อกับแหล่งจ่ายไฟตรง 15 V เป็นตัวกับ V_{ref} ของสัญญาณ sawtooth
5. 0-5V เป็น Input voltage (V_i) ที่ได้จากรวม D/A converter ซึ่งจะเป็นตัวปรับเลื้อนมุมการนำกระแส ของ triac โดยที่ $\alpha = 0^\circ$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ $V_x = 5 \text{ V}$ และ $\phi = 180^\circ$ เมื่อ $V_x = 0 \text{ V}$

6. BUFFER (I_x) ทำให้ Input impedance ของวงจรมีค่าสูงขึ้น

7. COMPARATOR (I_x) ทำการเปรียบเทียบสัญญาณ sawtooth กับ V_x

8. MONOSTABLE จากวงจร comparator (I_x) ซึ่งผลิตสัญญาณออกมาในรูปดิจิทัล เราจะใช้ขอบขาออกมาทริกโมโนสเตเบิลให้ผลิตสัญญาณออกมา 1 ลูก

9. OPTOCOUPLER จากโมโนสเตเบิลซึ่งผลิตสัญญาณไฟฟ้าออกมาทริกให้ Triac นำกระแสขึ้น เราจะคั่นระหว่าง monostable กับ triac ด้วยออปโตคัปเปิลเลอร์ MOC 3020

10. TRIAC เป็นไทรสเตอร์ที่นำกระแสได้ 2 ทิศทาง

11. LOAD เป็นหม้อแปลงโวลต์ต่ำแต่กระแสสูง ใช้เป็นแหล่งจ่ายไฟในการระเหยสาร

3.4 ซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการวัดและควบคุมความหนาของฟิล์มบาง

ซอฟต์แวร์ที่ใช้ในระบบนี้เขียนขึ้นโดยใช้ภาษา ปาสคาล (Pascal) รายละเอียดของโปรแกรมส่วนใหญ่จะแสดงใน Graphic Mode แต่จะมีบางส่วนของโปรแกรมที่แสดงใน Textmode ด้วยเช่นกัน ซอฟต์แวร์นี้ประกอบด้วย โปรแกรมการทำงาน 2 โปรแกรมด้วยกัน คือ

1. โปรแกรมแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงความถี่
2. โปรแกรมวัดและควบคุมความหนา

รายละเอียดและขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมทั้งสองแสดงได้ดังนี้

3.4.1 โปรแกรมแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงความถี่

โปรแกรมนี้เขียนขึ้นโดยมีจุดประสงค์หลักในการหาค่าความแตกต่างของความถี่ ก่อนการระเหยสาร และภายหลังการระเหยสาร (Δf) เพื่อนำค่า Δf ที่ได้นี้ไปใช้ในการคำนวณหาความไวของคริสตอล ในโปรแกรมจะมีการรับค่าตัวแปรที่สำคัญสำหรับการระเหยสาร 3 ตัวคือ เวลาที่ใช้ในการระเหยสาร อัตราการเปลี่ยนแปลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่ต่อหนึ่งวินาที (rate) และความร้อน (heat) เริ่มต้นที่ใช้ในการระเหยสาร จากนั้นจึงทำการส่งความร้อนเริ่มต้นผ่าน Port-C₂ ไปยังวงจร Digital to Analog เพื่อแปลงเป็นค่าโวลต์เตจ สำหรับควบคุมอุปกรณ์กำเนิดความร้อนภายนอก (Phase control+Transformer) จากนั้นจึงทำการอินพุต ค่าความถี่ของคริสตอลล์ ผ่านการนับในแต่ละวินาทีโดยอินพุตจาก Port-A₁, Port-B₁ และ Port-C₁ โดยก่อนจะทำการอินพุตจะทำการตรวจสอบสัญญาณ Monostable (Port-B₂) ถ้าสัญญาณ Monostable เป็น "1" จึงทำการอินพุตความถี่ และเมื่อสิ้นสุดการอินพุตความถี่แล้ว จะทำการส่งค่า "1" และ "0" ผ่าน Port-A₂ เพื่อทำการเคลียร์เคาน์เตอร์ และเซตเคาน์เตอร์ให้พร้อมจะทำการนับในวินาทีต่อไป ค่าความถี่ที่อินพุตเข้ามานี้จะถูกนำไปเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ของความถี่ (HZ) กับเวลา (SEC) โดยสเกลของกราฟในแกนความถี่ (แกน X) จะมีการแบ่งสเกลโดยนำค่าความถี่ค่าแรกไปใช้ในการคำนวณสำหรับกำหนดความกว้างของสเกลและในแกนเวลา (แกน Y) จะทำการแบ่งสเกล โดยในระหว่างแต่ละช่วงมีค่าเท่ากับ 100 วินาที ในขณะที่มีการพล็อตกราฟความถี่กับเวลาในแต่ละวินาที จะมีการตรวจเช็คค่าความถี่ที่จะนำมาพล็อตกราฟว่ามีค่าต่ำกว่าค่าต่ำสุดของสเกลหรือไม่ ถ้าค่าความถี่ปัจจุบันมีค่าต่ำกว่าค่าความถี่ต่ำสุดของสเกลก็จะทำการเคลียร์กราฟเดิมและนำค่าความถี่ปัจจุบันและเวลาปัจจุบันไปใช้ในการคำนวณเพื่อสร้างสเกลใหม่ แล้วจึงเริ่มพล็อตกราฟต่อไปภายหลังจากการพล็อตกราฟในแต่ละวินาทีจะมีการตรวจสอบค่าความถี่ของคริสตอลล์ที่เปลี่ยนไปในแต่ละวินาที ว่ามีค่าเท่ากับค่า rate ป้อนไว้ในตอนต้นของโปรแกรมหรือไม่ ถ้าค่าความถี่ของคริสตอลล์ที่เปลี่ยนไปในหนึ่งวินาทีมีค่ามากกว่าค่า rate ที่ผู้ใช้กำหนดก็จะทำการลดปริมาณความร้อน (heat) แต่ถ้ามีค่าน้อยกว่าก็จะมี การเพิ่มปริมาณความร้อนและในกรณีที่ค่าทั้งสองเท่ากัน ก็จะไม่มีการ เปลี่ยนแปลงความร้อน การควบคุมปริมาณความร้อนในโปรแกรมนี้ นอกจากจะควบคุมโดยการเปรียบเทียบกับค่า rate แล้ว ยังจะควบคุมปริมาณความร้อนได้จากภายนอก โดยในโปรแกรมจะมีการเช็ค การกตัตย เพื่อเพิ่มหรือลดปริมาณความร้อนอีกด้วย การทำงานของโปรแกรมทั้งหมดนี้ กล่าวมานี้จะทำงานในลักษณะรูป (Loop) โดยจะวนไปทำงานจนกระทั่งเวลาที่ใช้ในการ ระเหยสารมีค่าเท่ากับเวลาที่ผู้ใช้กำหนด จึงทำการหยุดการระเหยสาร (ส่งค่า 255) ออกทางจอภาพ นอกจากการทำงานทั้งหมดดังกล่าวมาแล้ว เมื่อสิ้นสุดการทำงานของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรม ผู้ใช้ยังสามารถที่จะเลือกว่าจะเก็บข้อมูล (ความถี่) ไว้ในดิสเก็ตหรือไม่อีกด้วย ขั้นตอนการทำงานในส่วนที่สำคัญ ๆ ได้แสดงไว้ในผังการทำงาน รูปที่ 3.12 ส่วนการทำงานอย่างละเอียดจะศึกษาได้จากตัวโปรแกรมจริงในภาคผนวก ก.

3.4.2 โปรแกรมการวัดและควบคุมความหนาของฟิล์มบาง โปรแกรมนี้จะทำหน้าที่ในการคำนวณค่าความหนาของฟิล์มบางและจะหยุดการระเหยสารเพื่อความหนาของฟิล์มบางมีค่าเท่ากับค่าที่ผู้ใช้โปรแกรมกำหนด ในโปรแกรมจะมีการรับค่าตัวแปรสำหรับนำไปใช้ในการวัดและควบคุมความหนา โดยจะรับค่าตัวแปร 6 ตัวด้วยกันคือ

1. ความหนาของฟิล์มบางที่ผู้ใช้ต้องการ
2. อัตราการเปลี่ยนแปลงความถี่ต่อหนึ่งวินาที
3. ค่าความไวของคริสตอล (S)
4. ค่าความหนาแน่นของสารที่นำมาใช้ในการระเหย (ρ)
5. พ.ท.ที่ใช้ในการรับสารของคริสตอล (A_x)
6. ค่าความร้อนเริ่มต้นที่ใช้ในการระเหยสาร

ซึ่งค่าตัวแปร ρ , S , A_x จะนำไปใช้ในการคำนวณหาความหนาของฟิล์มบางต่อไป การทำงานของโปรแกรมนี้ จะมีรายละเอียดในการทำงานเหมือนกับ

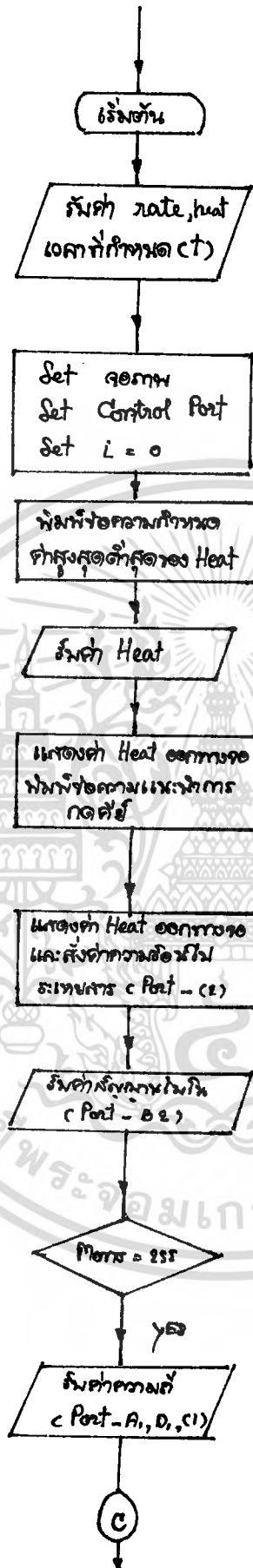
โปรแกรมแสดงค่าการเปลี่ยนแปลงความถี่แต่ในโปรแกรมจะมีการเพิ่มเติมในส่วนของการคำนวณค่าความหนาของฟิล์มบาง ภายหลังจากพล็อตกราฟในแต่ละวินาทีโดยจะนำค่าความหนาที่ผู้ใช้ต้องการไปคำนวณหาค่าการเปลี่ยนแปลงความถี่ ว่าความถี่ต้องเปลี่ยนแปลงไปเท่าใดจึงจะได้ความหนาที่ต้องการ ($t = (F_s - F_t) / k$ เมื่อ $k = \rho S A_x$) จากนั้นจะมาคำนวณหาค่าการเปลี่ยนแปลงความถี่ในขณะที่ทำการระเหยสารจริง โดยจะหาค่าความแตกต่างของความถี่คริสตอลก่อนการระเหยสารกับความถี่ของคริสตอลภายหลังการระเหยสารในแต่ละวินาที แล้วจึงหาค่าความถี่ทั้งสองมาเปรียบเทียบกัน ถ้าค่าการเปลี่ยนแปลงความถี่ขณะทำการระเหยสารมีค่าน้อยกว่าความถี่ที่ถูกกำหนดขึ้นโดยความหนาโปรแกรมก็จะวนกลับไปทำการระเหยสารต่อไป แต่ถ้าการเปลี่ยนแปลงความถี่ขณะการระเหยสารมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับค่าความถี่ถูกกำหนดขึ้นโดยค่าความหนาก็จะหยุดการระเหยสารและนำค่าการเปลี่ยนแปลงความถี่ของการระเหยสารขณะนั้น ไปคำนวณหาค่า

ความหนาของฟิล์มบาง และแสดงค่าความหนาที่คำนวณได้ออกทางจอภาพ ซึ่งค่าที่ได้นี้จะ
เป็นค่าความหนาของฟิล์มบางที่เคลือบบน substrate จริง

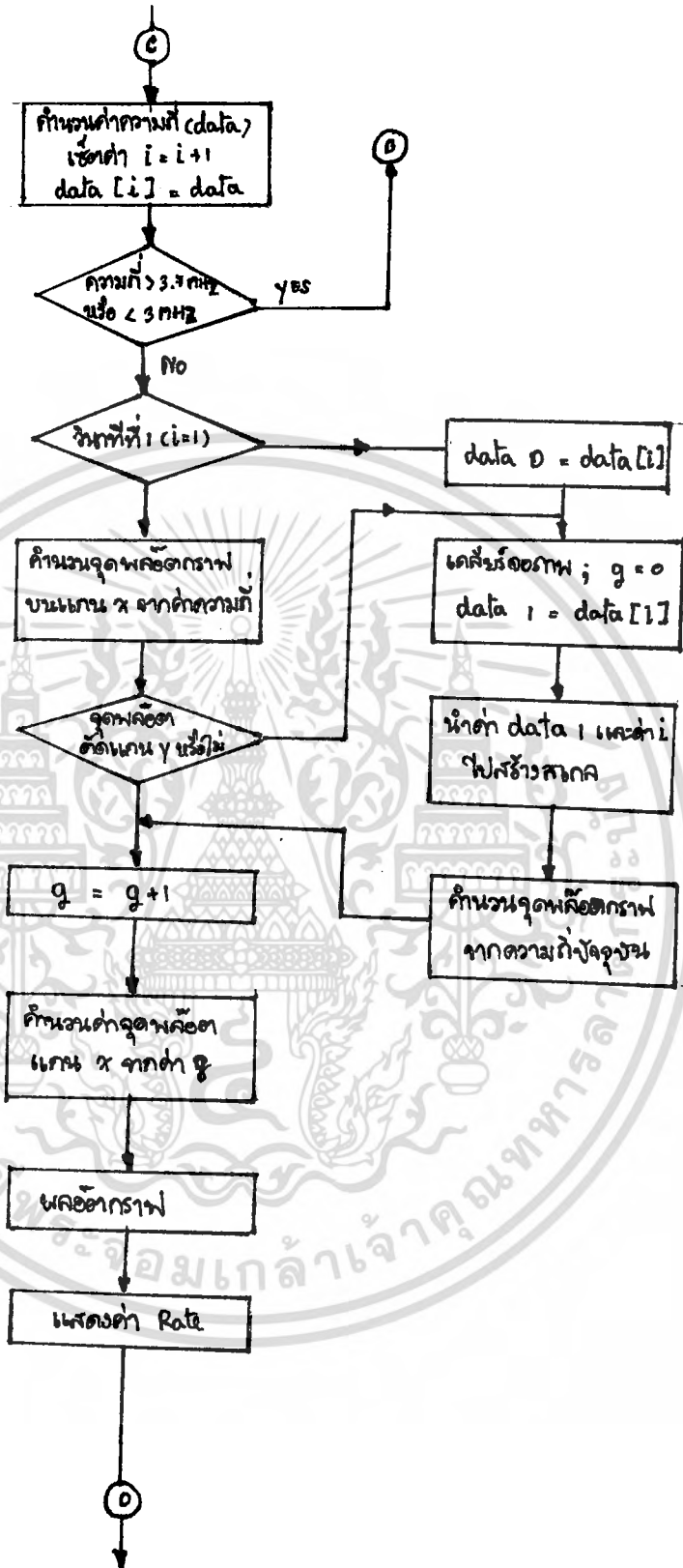
ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมนี้แสดงไว้ในแผนผังการทำงาน รูปที่ 3.13
ส่วนการทำงานอย่างละเอียดจะศึกษาได้จากตัวโปรแกรมจริงในภาคผนวก ก.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

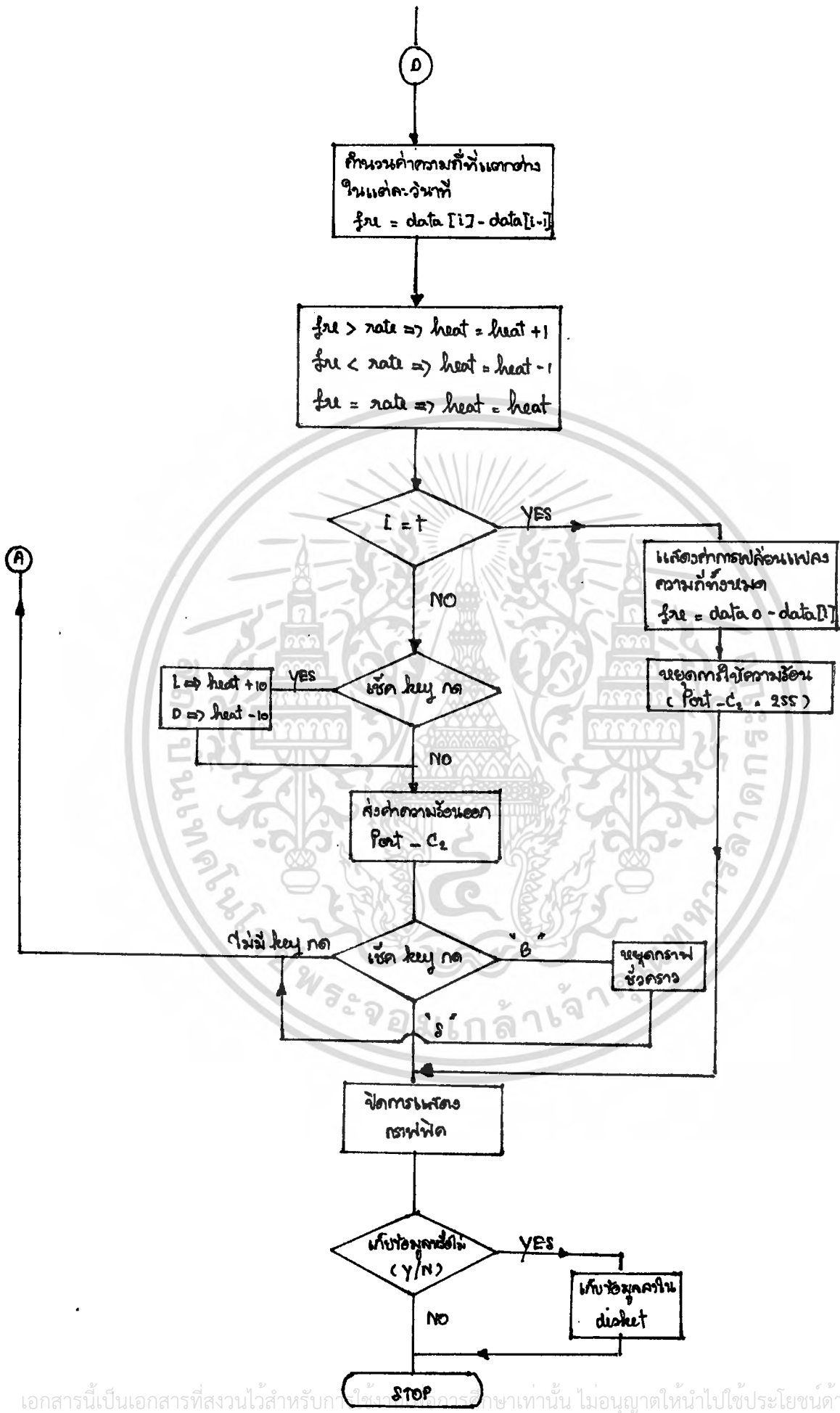


รูปที่ 3.12 แผนผังโปรแกรมแสดงค่าเปลี่ยนแปลงความถี่
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาดูงาน เมื่อผู้เผยแพร่ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

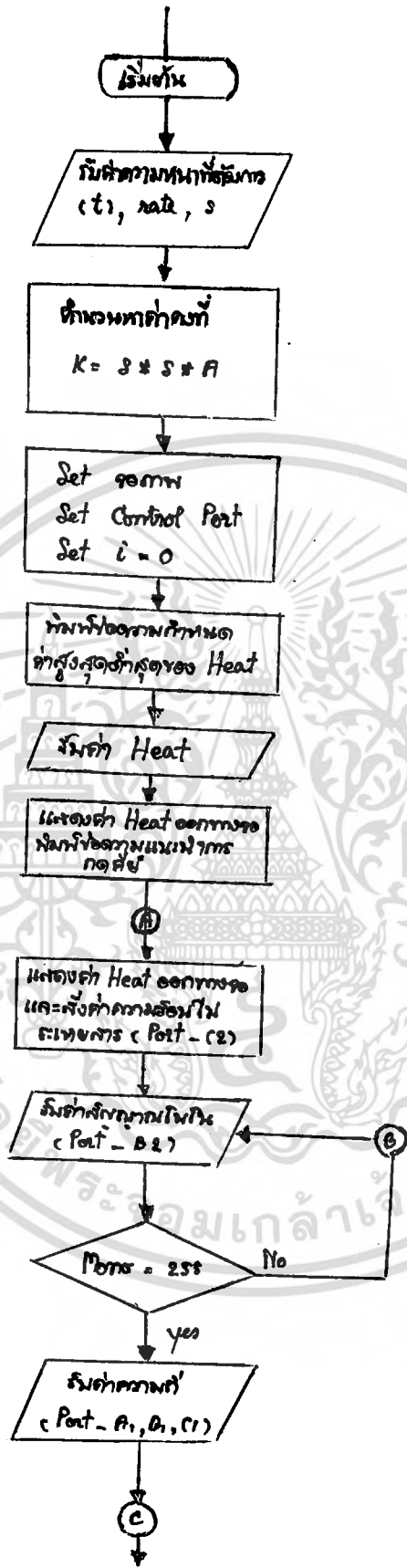


รูปที่ 3.12 แผนผังโปรแกรมแสดงค่าเปลี่ยนแปลงความถี่ (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

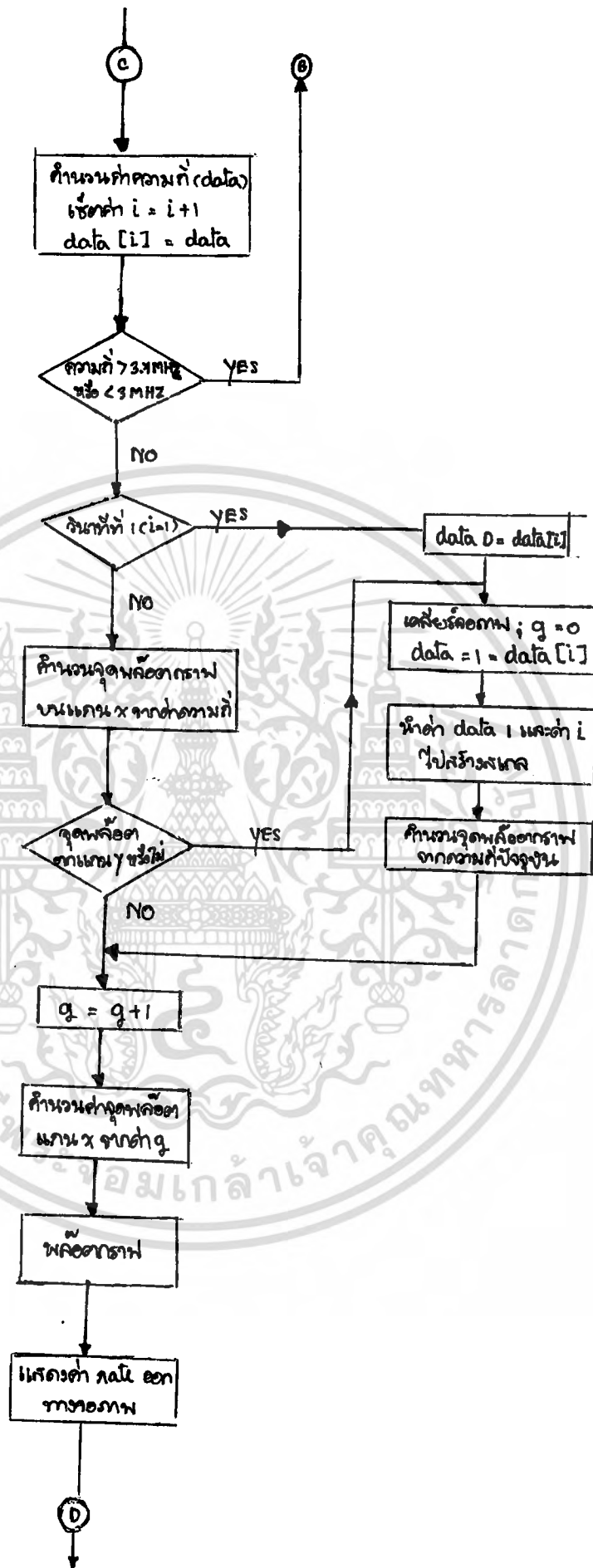


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในกรณีศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น รูปที่ 3.12 แผนผังโปรแกรมแสดงค่าเปลี่ยนแปลงความถี่ (ต่อ)



รูปที่ 3.13 แผนผังโปรแกรมแสดงการวัดและควบคุมความหนา

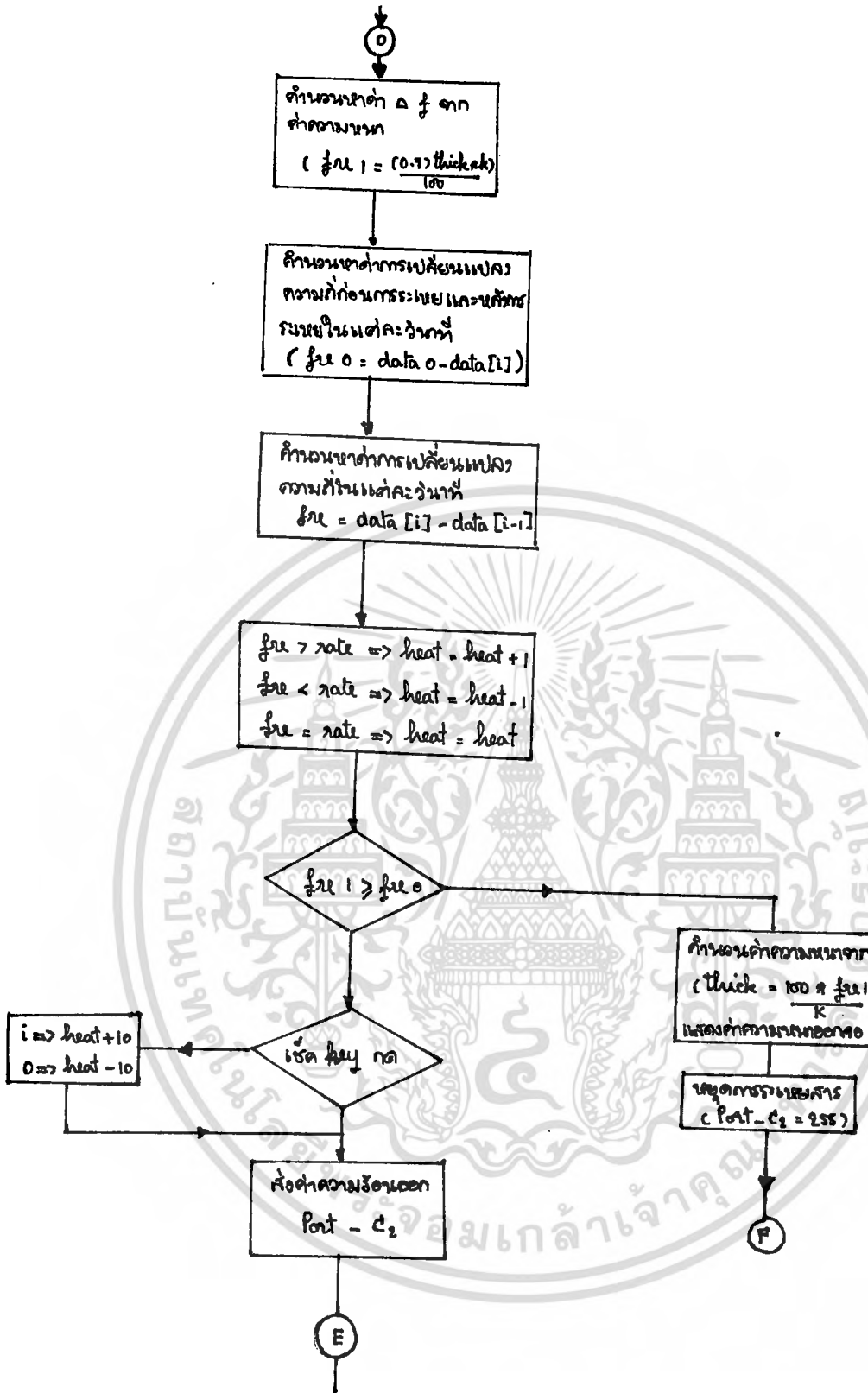
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.13 แผนผังโปรแกรมแสดงการวัดและควบคุมความหนา (ต่อ)

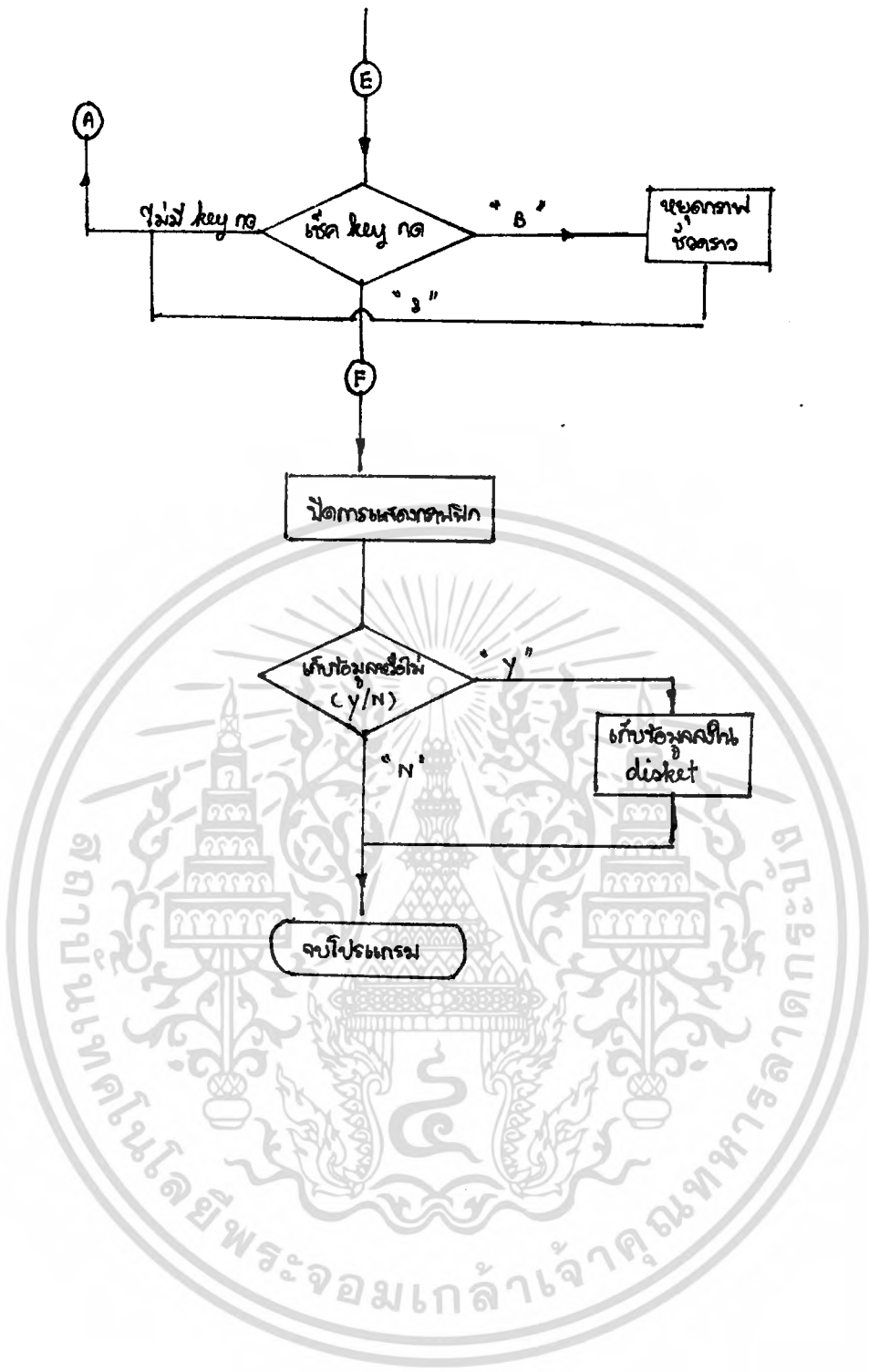
เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์ของกรมส่งเสริมการค้าระหว่างประเทศ กระทรวงพาณิชย์ เมื่อผู้ผู้ใดเห็นว่ามีข้อผิดพลาดใดๆ กรุณาแจ้งไปยังกรมส่งเสริมการค้าระหว่างประเทศ กระทรวงพาณิชย์ ไม่อย่างใดก็อย่างหนึ่ง เพื่อปรับปรุงแก้ไขต่อไป

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3:13 แผนผังโปรแกรมแสดงการวัดและควบคุมความหนา (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.13 แผนผังโปรแกรมแสดงการวัดและควบคุมความหนา (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

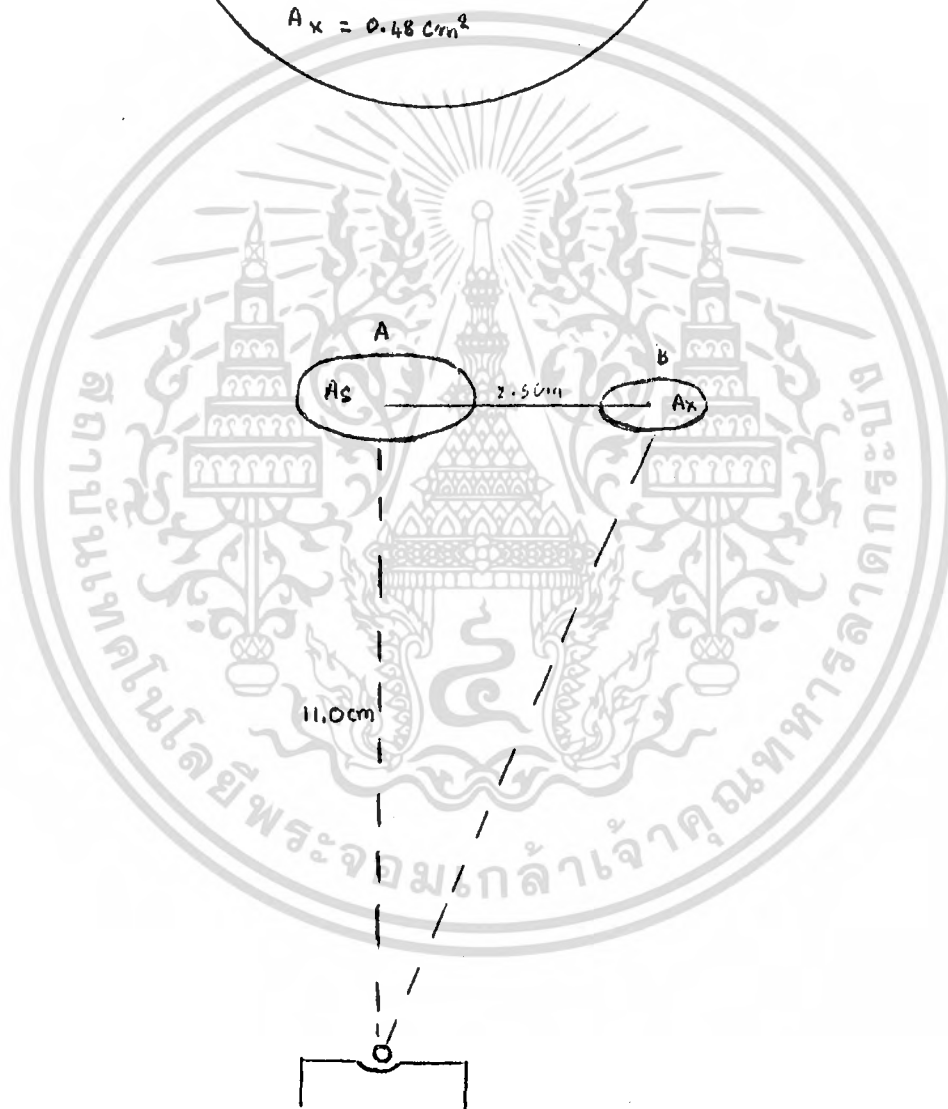
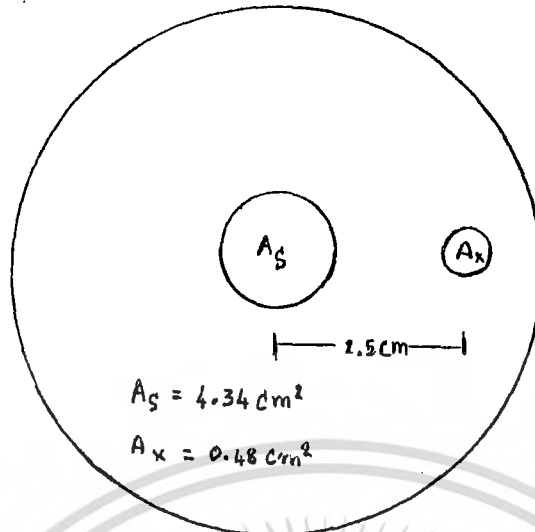
การเตรียมฟิล์มบางและการวิเคราะห์ผลการควบคุมความหนา

4.1 การติดตั้งอุปกรณ์สำหรับการเตรียมฟิล์มบาง

การเตรียมฟิล์มบางโดยวิธีการระเหยสาร จะต้องจัดเตรียมในระบบสุญญากาศ ซึ่งการระเหยของสารเมื่อได้รับความร้อน จะระเหยขึ้นในลักษณะของมุมตัน (Solid Angle) จากทฤษฎีการระเหยสารในบทที่ 2 จะพบว่าการกระจายความหนาของสารที่ระเหยขึ้นเกาะเป็นฟิล์มบาง จะขึ้นอยู่กับมุมของการระเหย ในลักษณะแปรผกผันกัน โดยถ้ามุมการระเหยกว้าง การระเหยขึ้นเกาะเป็นฟิล์มบางในจุดนั้นก็จะมีน้อย แต่ถ้ามุมการระเหยแคบ การระเหยขึ้นเกาะติดเป็นฟิล์มบางก็จะมีค่ามาก และที่ตำแหน่งความสูงไม่เท่ากัน มุมของการระเหยก็จะไม่เท่ากันด้วย ดังนั้นในระบบการเตรียมฟิล์มบาง จะต้องจัดวางอุปกรณ์ในตำแหน่งที่เหมาะสมเพื่อให้ฟิล์มบางที่เตรียมขึ้นมีความหนาใกล้เคียงกันมากที่สุด

ในระบบการเตรียมฟิล์มบางที่จัดทำขึ้นนี้ นอกจากจะทำาการเตรียมฟิล์มบางแล้ว ยังมีการควบคุมความหนาของฟิล์มบาง โดยใช้คริสตอล เป็นดีเทคเตอร์อีกด้วย ดังนั้นจึงต้องจัดตั้งระบบให้ค่าการกระจายความหนาของสารที่ระเหยไปเกาะติดเป็นฟิล์มบางที่คริสตอล และที่แผ่นรองรับมีค่าใกล้เคียงกัน เพื่อให้ระบบการควบคุมความหนาทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพที่สุด

ระบบการเตรียมฟิล์มบางที่สร้างขึ้นนี้ติดตั้งอุปกรณ์ไว้ดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 แสดงตำแหน่งการติดตั้งอุปกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการจัดตั้งระบบ ดังรูปที่ 4.1 เพื่อพิจารณาจากหลังการกระจาย ความหนาจะพบว่าที่จุด A และ B จะมีความหนาของฟิล์มบางไม่เท่ากัน คือความหนา ของฟิล์มบางที่จุด A จะมีความมากกว่าความหนาของฟิล์มบางที่จุด B ซึ่งสามารถหาอัตรา ส่วนของความหนาทั้งสองได้ดังนี้

พิจารณาที่จุด A และ B โดยสมมติ พ.ท.ที่ตำแหน่ง A และ B มีค่าเท่ากัน จากการที่ source heater (boat) มีลักษณะเป็น small area จะมีลักษณะการกระจาย ความหนาดังสมการ

$$t/t_0 = \cos^2$$

จากรูปที่ 4.1 จะพบว่า

$$= \tan^{-1} (2.5/11)$$

$$= 12.80^\circ$$

ดังนั้นความสัมพันธ์ตามความหนาที่จุด A และ B จะมีค่าเป็น

$$t_B/t_A = \cos^2 (12.8^\circ)$$

$$t_B = 0.9 t_A$$

พิจารณาสสมการ $t = (1/\mu) m/A$ จะพบว่า $t \propto m$

ดังนั้น $m_B = 0.9 m_A$

แต่ในระบบที่ใช้จริงพื้นที่ที่จุด A และ B มีค่าไม่เท่ากันดังนั้นจึงจำเป็นต้อง พิจารณาขนาดของพื้นที่ที่มีผลต่อมวลของฟิล์มบางด้วย

พิจารณา A จากรูปจะพบว่าพื้นที่ของแผ่นรองรับมีค่าเท่ากับ A_0 และพื้นที่ของ คริสตอลมีค่าเท่ากับ A_1

สมมติให้มวลที่เกาะติดเป็นฟิล์มบางที่พื้นที่ A_1 มีค่าเท่ากับ m_1 ดังนั้นมวลของฟิล์ม บางบนพื้นที่ A_0 จะมีค่าเท่ากับ $m_1 A_0/A_1$ แต่ในระบบจริงพื้นที่ของคริสตอลอยู่ที่ตำแหน่ง B ดังนั้นมวลของฟิล์มบางที่เกาะติดคริสตอลที่ตำแหน่ง B จะมีค่าเท่ากับ $0.9 m_1 A_0/A_1$

จากสมการ $S = \Delta f/m_1$

พิจารณาคริสตอลที่ตำแหน่ง B จะได้ว่า $S = \Delta f/m_1 = \Delta f A_0 / (0.9) m_1 A_1$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นความไวของคริสตอล ที่ติดตั้งในระบบดังรูปที่ 4.1 จะมีค่าเท่ากับ $\Delta f A_{\mu} / (0.9) m_{\mu} A_{\mu}$ จากค่าความไวของคริสตอลในระบบเพื่อนำไปใช้ในการนิยามหาค่าความหนาของฟิล์มบาง จะพบว่าความหนาของฟิล์มบางที่เกาะติดบนแผ่นรองรับมีค่าเท่ากับ $\Delta f / (0.9) \mu A_{\mu} S$ และความหนาของฟิล์มบางที่คริสตอลจะมีค่าเท่ากับ $\Delta f / \mu A_{\mu} S$ ซึ่งเป็นไปตามความสัมพันธ์ของอัตราส่วนความหนาของฟิล์มบาง (t/t_{μ})

4.2 การหาค่าความไวของคริสตอล (Sensitivity)

ค่าความไวของคริสตอล จะเป็นคุณสมบัติเฉพาะตัว ซึ่งคริสตอลแต่ละตัวจะมีค่าความไวไม่เท่ากันค่าความไวยังเป็นตัวแปรที่สำคัญอีกต่อหนึ่งที่ใช้ในการคำนวณหาค่าความหนาของฟิล์มบาง ดังนั้นก่อนการจัดและควบคุมความหนาของฟิล์มบาง จึงจำเป็นต้องหาค่าความไวของคริสตอลที่นำมาใช้เป็นตัววัดเทคนิคเตอร์เสียก่อน โดยมีวิธีการหาค่าความไวของคริสตอลดังต่อไปนี้

1. เตรียมแผ่นเปลือย โดยตัดให้มีขนาดโตกว่านั้น A_{μ} เล็กน้อย เพื่อใช้เป็นแผ่นรองรับ
2. นำแผ่นเปลือยไปซั่งเพื่อหามวลของแผ่นเปลือยก่อนการระเหยสาร
3. ทำการระเหยสาร โดยการกำหนดค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงความถี่ต่อหนึ่งวินาที เวลาที่ใช้ในการระเหยสารและปริมาณความร้อนเริ่มต้นที่ใช้ในการระเหยสาร
4. บันทึกค่าการเปลี่ยนแปลงความถี่ที่แสดงออกทางหน้าจอเมื่อสิ้นสุดการระเหยสาร
5. นำแผ่นเปลือยไปซั่งเพื่อนำมาหาค่ามวลที่เปลี่ยนแปลงภายหลังการระเหยสาร

เมื่อได้ค่าการเปลี่ยนแปลงความถี่ (Δf) และมวลของฟิล์มบางที่ติดบนแผ่นรองรับ (m_{μ}) แล้วจึงนำไปคำนวณหาค่าความไวของคริสตอล (S) จากสมการ $S = \Delta f / (0.9) m_{\mu} A_{\mu}$

ในระบบวัดและควบคุมความหนาฟิล์มบางนี้ ผู้จัดทำได้เตรียมฟิล์มบางขึ้นจากการระเหยของแดงบริสุทธิ์โดยใช้คริสตอล 3.579 MHz เป็นตัววัดเทคนิคเตอร์ โดยได้ทำการหาค่าความไวของคริสตอล ซึ่งผู้จัดทำได้กำหนดให้อัตราการเปลี่ยนแปลงความถี่ต่อหนึ่งวินาที (rate)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

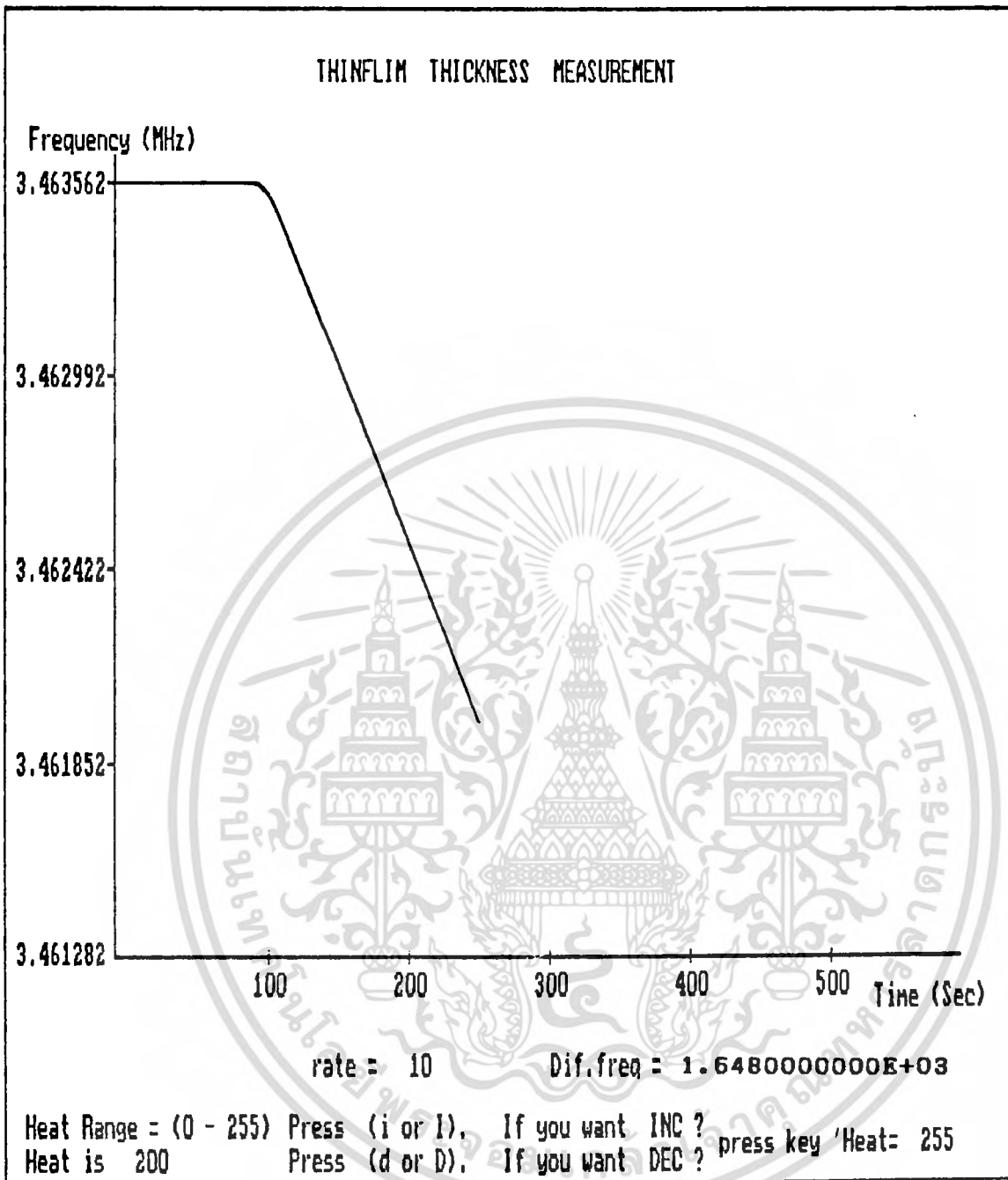
มีค่าเท่ากับ 10 HZ/sec กำหนดเวลาที่ใช้ในการระเหยสารเพื่อเตรียมฟิล์มบาง 500 วินาที และปริมาณความร้อนเริ่มต้นที่ใช้ในการระเหยสาร (heat) เท่ากับ 200 ผลการทดลองหาค่าความไวของคริสตอลแสดงดังตารางที่ 1

พอล์ย แผ่นที่	m_1 (เฉลี่ย) (mg)	m_2 (เฉลี่ย) (mg)	Δm (เฉลี่ย) (mg)	Δf (HZ)	sensitivity HZ/Mgm
1	45.0	46.26	1.26	4135	32.96
2	44.1	45.8	1.7	4147	24.5
3	43.0	43.9	0.9	4142	46.23
4	47.7	49.0	1.3	4142	32.0

ตารางที่ 1 แสดงผลการหาค่าความไวของคริสตอล

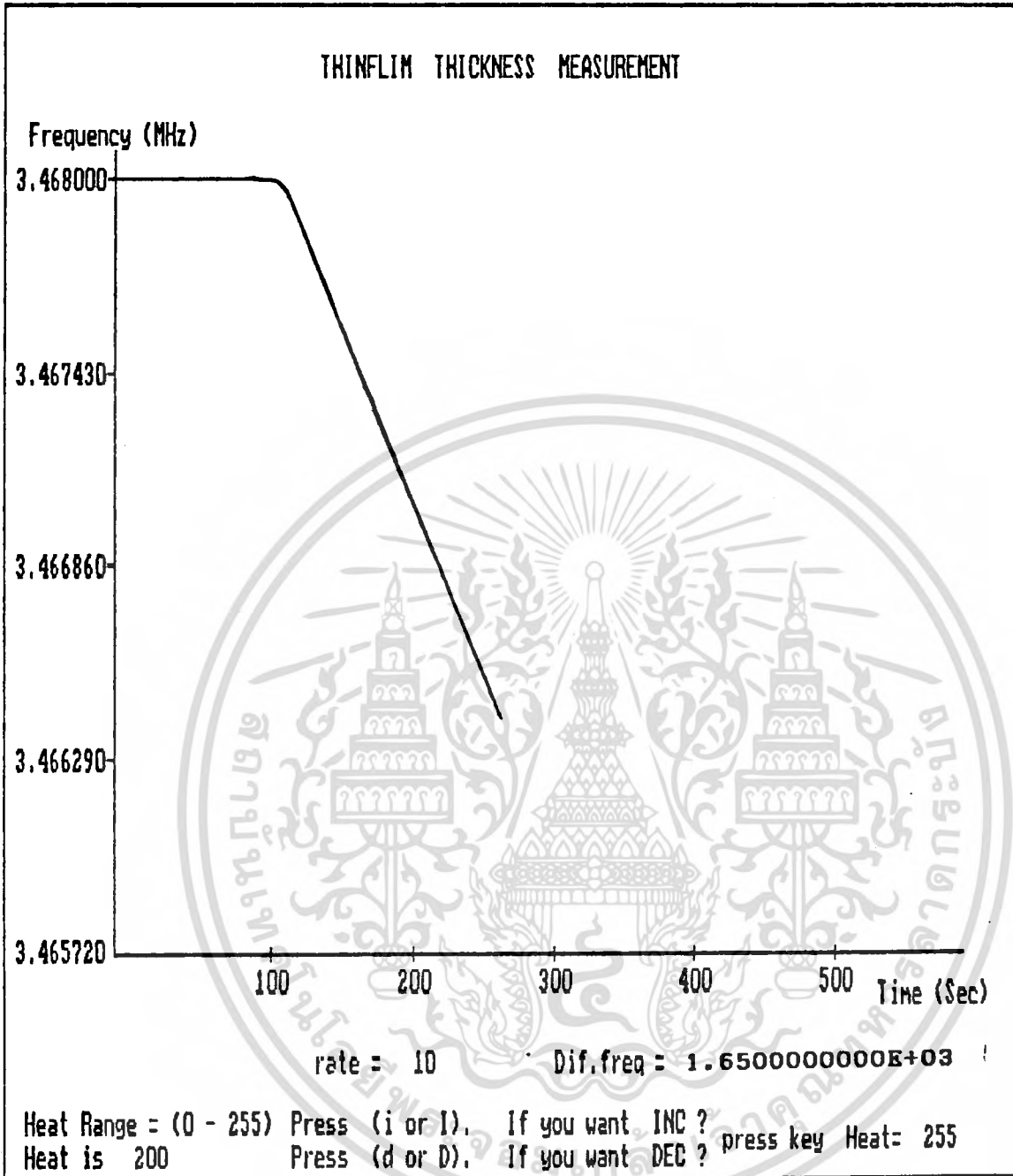
ในการทดลองหาค่าความไวของคริสตอลนี้ จะพบว่าคริสตอลที่นำมาใช้เป็นตัวดีเทคเตอร์ มีค่าความไวเฉลี่ยเท่ากับ 33.92 HZ/Mgm และในการทำการระเหยสาร การเปลี่ยนแปลงค่าความถี่ในแต่ละวินาทีจะมีการลดลงแบบเชิงเส้นโดยมีค่าลดลงในแต่ละวินาทีเท่ากับค่า rate ที่กำหนดไว้ในตอนต้น นั้นแสดงว่าเราสามารถควบคุมปริมาณความร้อนที่ใช้ในการระเหยสารได้

กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ (MHZ) กับเวลา (sec) แสดงไว้ดังรูปที่ 4.2 และ 4.3



รูปที่ 4.2 แสดงกราฟความสัมพันธ์ความถี่กับเวลาที่ได้จากโปรแกรมแสดงค่าความถี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 แสดงกราฟความสัมพันธ์ความถี่กับเวลาที่ได้จากโปรแกรมแสดงค่าความถี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิเคราะห์ผลการหาค่าความไวของคริสตอล (Sensitivity)

จากทฤษฎีในข้างต้น จะพบว่าค่าความไวของคริสตอลจะขึ้นอยู่กับค่ามวลของสารที่ระเหยไปเกาะติดเป็นฟิล์มบาง (m_f) และค่าผลต่างของความถี่ก่อนและหลังการระเหยสาร (Δf) จากผลการทดลองหาค่าความไวของคริสตอล (ตารางที่ 1) จะพบว่าค่า ในการทดลองแต่ละครั้งมีค่าใกล้เคียงกัน แต่ค่า มีค่าแตกต่างกันมาก จึงทำให้ค่าความไวของคริสตอลที่คำนวณได้มีค่าแตกต่างกันมากเช่นกัน จึงสรุปได้ว่าค่าความผิดพลาดในการหาค่าความไวของคริสตอลนี้เกิดขึ้นจากการชั่งมวล ซึ่งสามารถวิเคราะห์สาเหตุของความผิดพลาดเนื่องจากการชั่งมวล

4.3 ผลการวัดและควบคุมความหนาของฟิล์มบาง

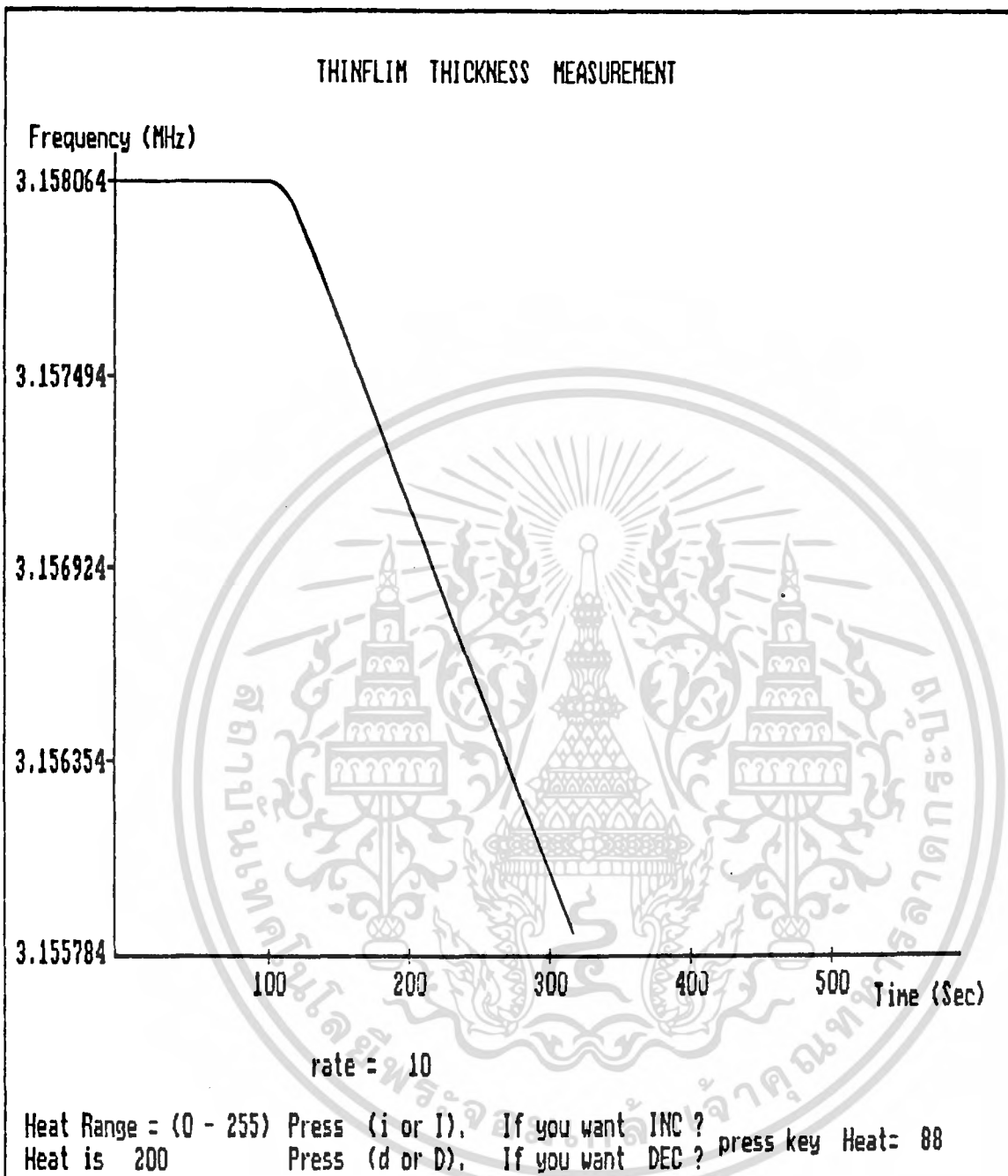
เมื่อเราทราบพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการวัดและควบคุมความหนาแล้ว ผู้จัดทำจึงได้ทำการวัดและควบคุมความหนาของฟิล์ม โดยการเตรียมฟิล์มบางของทองแดงบริสุทธิ์ขึ้นบนสไลด์ ภายในระบบสุญญากาศ ที่มีความดัน 10^{-4} ทอร์ และทำการควบคุมความหนา โดยใช้โปรแกรมวัดและควบคุมความหนา โดยใช้ค่าความหนาแน่นของโลหะทองแดงแทนค่า ความหนาแน่นของฟิล์มทองแดง และกำหนดให้อัตราการเปลี่ยนแปลงความถี่ต่อหนึ่งวินาทีมีค่าเท่ากับ Hz/sec ปริมาณความร้อนเริ่มต้นในการระเหยสาร (heat) มีค่าเท่ากับ 200 และค่าความหนาที่ทำการควบคุมมีค่าเท่ากับ 0.3, 0.5, 1, 1.5 μm ตามลำดับ ผลการทดลองวัดและควบคุมความหนาแสดงได้ดังนี้

ความหนา ที่กำหนด (μm)	ความถี่เริ่มต้นก่อน การระเหยสาร (MHz)	ความถี่หลังการ ระเหยสาร (MHz)	ความถี่เปลี่ยน แปลงขณะระเหย สาร (Hz)	ความหนาที่อ่านได้จาก คอมพิวเตอร์ (A°)
0.3	3.545661	3.541650	3,991	3.00162706E+03
0.5	3.541777	3.535258	6,519	5.00322342E+03
1.0	3.535368	3.522327	13,041	1.00087493E+04
1.5	3.502879	3.502899	19,551	1.50049118E+04

ตารางที่ 2 แสดงผลการวัดและควบคุม

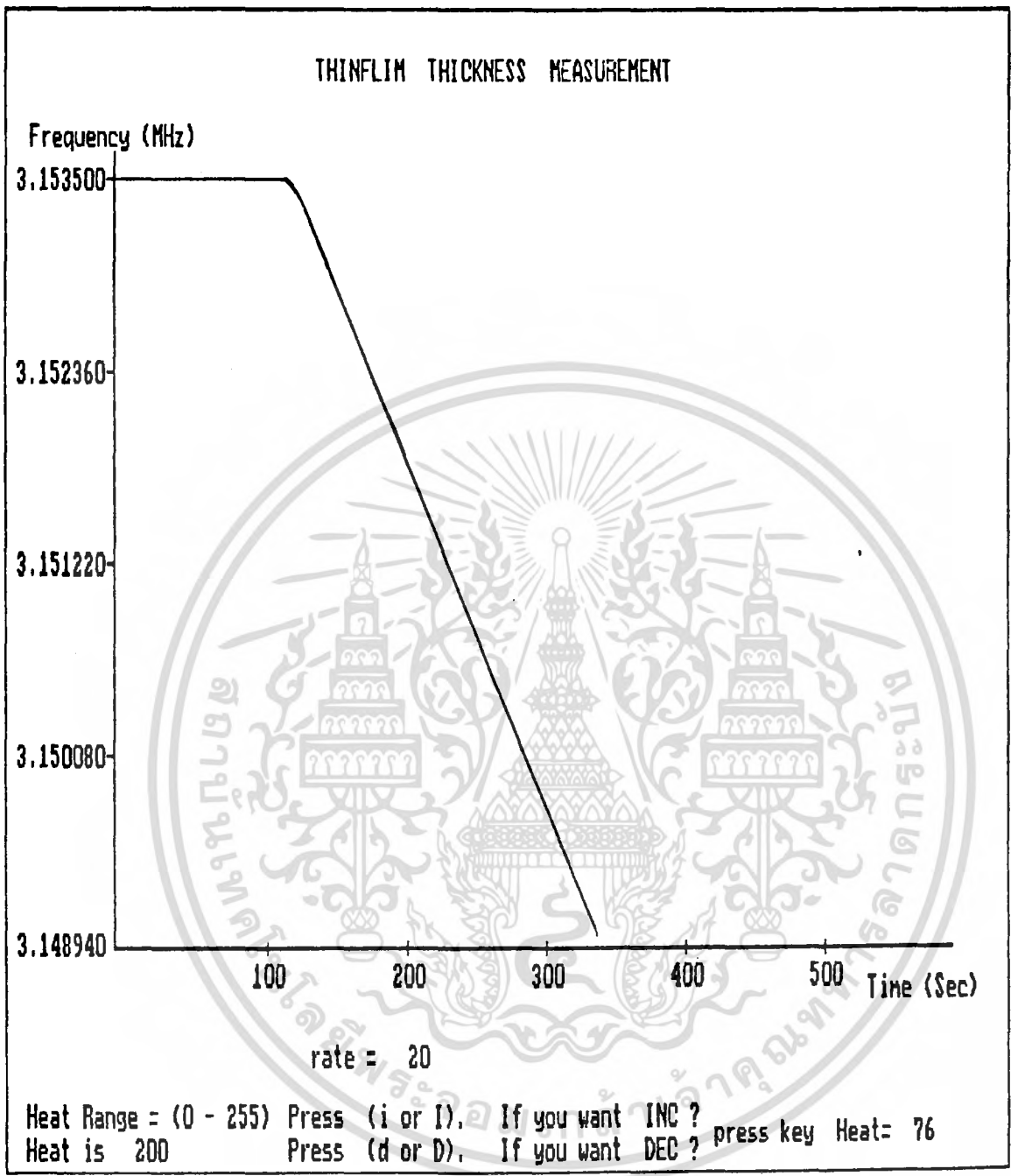
ในการทดลองวัดและควบคุมความหนา ขณะทำการระเหยสารการเปลี่ยนแปลงค่าความถี่ในแต่ละวินาทีจะมีการลดลงแบบเชิงเส้น โดยมีค่าลดลงในแต่ละวินาทีมีค่าเท่ากับ rate ที่กำหนดไว้ในตอนต้น นั้นแสดงว่าอัตราการเพิ่มความหนาของฟิล์มบางในแต่ละวินาทีมีค่าคงที่

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ (MHz) กับเวลา (sec) ในการเตรียมฟิล์มบางแสดงไว้ดังรูปที่ 4.4 และ 4.5



รูปที่ 4.4 แสดงกราฟความสัมพันธ์ความถี่กับความถี่ที่ได้จากโปรแกรมวัดและความคมความหนา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 แสดงกราฟความสัมพันธ์ความถี่กับความถี่ที่ได้จากโปรแกรมวัดและควบคุมความหนา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิเคราะห์ผลการวัดและควบคุมความหนาของฟิล์มบาง

จากตารางที่ 2 จะพบว่าค่าความหนาที่ได้จากการควบคุมโดยโปรแกรมวัดและควบคุมความหนา มีค่าสูงกว่าค่าความหนาที่ได้กำหนดไว้ ค่าความผิดพลาดนี้เกิดจากอัตราการระเหยของสารในแต่ละวินาทีมีค่าคงที่ ซึ่งก็คืออัตราการเพิ่มความหนาของฟิล์มบางมีค่าคงที่ ดังนั้นในช่วงวินาทีสุดท้ายอัตราการเพิ่มความหนานี้อาจมีค่ามากกว่าความหนาของฟิล์มบางจริงที่เหลืออยู่ ซึ่งข้อผิดพลาดนี้สามารถแก้ไขได้โดยการตั้งอัตราการเปลี่ยนแปลงความถี่ (rate) ให้มีค่าต่ำ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปผลการควบคุมความหนาของฟิล์มบางและแนวทางปรับปรุงแก้ไข

ระบบการวัดและควบคุมความหนาของฟิล์มบางโดยใช้ไมโครคอมพิวเตอร์ (IBM PC/XT) ที่จัดทำขึ้นนี้สามารถทำการควบคุมปริมาณความร้อนและควบคุมอัตราการระเหยสารในแต่ละวินาทีได้ค่อนข้างคงที่ จึงทำให้สามารถควบคุมความหนาของฟิล์มบางได้ใกล้เคียงกับความหนาที่ต้องการแต่ค่าความหนาที่ได้นี้อาจจะไม่ใช้ค่าความหนาที่แท้จริง ดังนั้นจึงควรนำฟิล์มบางที่เตรียมขึ้นนี้ไปตรวจสอบหาความหนาที่ถูกต้องโดยวิธีการอื่น ๆ

แนวทางการปรับปรุงแก้ไขระบบวัดความหนาของฟิล์มบาง

1. ในการคำนวณหาค่าความหนาของฟิล์มบาง เราใช้ค่าความหนาแน่นของโลหะทองแดงแทนค่าความหนาแน่นของฟิล์มทองแดง ซึ่งหาค่าความหนาแน่นที่แท้จริงโดยวิธีการดังต่อไปนี้
 - 1.1 นำฟิล์มบางที่เตรียมขึ้นไปทำการวัดค่าความหนาโดยวิธีการอื่นๆ ซึ่งเชื่อถือได้
 - 1.2 นำค่าฟิล์มบางที่วัดได้ไปหาค่าความหนาแน่นของฟิล์มทองแดง โดยสมการ
$$\rho = m/A \cdot t$$
2. การเตรียมฟิล์มบางโดยใช้ source heater เพียงจุดเดียว อาจทำให้ฟิล์มบางที่ได้มีความหนาไม่สม่ำเสมอ จึงควรทำการแก้ไขโดยการเพิ่ม source heater



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

program sensitivity;

uses crt,graph;

type result = array [0..4000] of real;

const Crt_1   = $2bb ;
      Crt_2   = $2bf ;
      Port_a1 = $2b8 ;   { clear counter }
      Port_b1 = $2b9 ;   { mono }
      Port_c1 = $2ba ;   { D/A converter }
      Port_a2 = $2bc ;   { count Freq high }
      Port_b2 = $2bd ;   { count Freq mid }
      Port_c2 = $2be ;   { count Freq low }

label change,break,stop;

var ch,w:char;
    gm,gd,x,y,s,a,den:integer;  heats:string;  l,data1,z,f,le,rate1:real;
    i,heat:integer;             t,rate, rate2:real;  d:string[20];
    data : result;

procedure title (var rate,t:real);

label start,ok;

var  f,den,a,s:real;

    key:char;

begin
    start:;
        clrscr;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

write('input time for evapulation      ');
readln(t);
writeln;
write('input rate of evapulation (0-30)  ');
readln(rate);
writeln;
writeln('Are you sure ? (y/n)');
    key := readkey;
if key = 'y' then goto ok;
if key = 'n' then goto start;
ok;;
end;

procedure display(x,y : integer;var heat:integer;
                 var heats:string);
var code:integer; h:string;

begin
    outtextxy ( 15,getmaxy-20, 'Heat Range = (0 - 255)');
    outtextxy(15,getmaxy-10, 'Heat is ');
        readln(heat);
    str(heat,h);
    heats := h;
    outtextxy(x-50,getmaxy-10,heats);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

val(heats,heat,code);

port [port_c1]:=heat;

outtextxy(x+60,getmaxy-20,'Press (i or I). If you want INC ?');
outtextxy(x+60,getmaxy-10,'Press (d or D). If you want DEC ?');
outtextxy(3*x+80,getmaxy-15,'press key ');

setviewport(0,0,getmaxx,getmaxy,clipon);

end;

procedure scale(rate1,data1,z:real; i:integer);
var data2,data3,data4,data5,count:real; st,dd:string[9];
    o,e,s,b,c,count1:integer;
begin
    setviewport(0,0,getmaxx,getmaxy-40,clipon);
    clearviewport;
    setviewport(0,0,getmaxx,getmaxy-40,clipon);
    outtextxy(x+80,15,'THINFLIM THICKNESS MEASUREMENT');
    line(x-65,getmaxy-67,x-65,y-130);
    line(x-65,getmaxy-67,getmaxx-40,getmaxy-67);
    line (x-70,51,x-65,51);
    outtextxy(x-125,y-138,'Frequency (MHz)');
    outtextxy(getmaxx-100,getmaxy-58,'Time (Sec)');

    data3:=data1;

    data2 := data1/1000000;

    e:= y-125;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    str(data2,st);

    outtextxy(x-142,y-125,st);

    count:= z/4;

    count1:=round(count);

    data4:= count1*rate1;

    data5:= data3-(4*data4);

    str(data5,st);

    outtextxy(x-142,e+(4*count1),st);

    for o:= 1 to 3 do
        begin
            data3 := data3 - data4;
            data2:= data3/1000000;
            e:=e+count1;
            str(data2,st);
            outtextxy (x-142,e,st);
            line (x-70,e+3,x-65,e+3);
        end;

    b := x-65;

    c:=i;

    if i = 1 then c:= i-1;

    for a := 1 to 5 do
        begin
            c := c+100;
            b := b+100;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
str(c,dd);
```

```
outtextxy(b,getmaxy-62,dd);
```

```
line (b+10,getmaxy-69,b+10,getmaxy-65);
```

```
end;
```

```
end;
```

```
procedure print (var heats:string; x,y:integer);
```

```
begin
```

```
outtextxy(4*x+25,getmaxy-15,'Heat= ');
```

```
SetViewPort(4*x+80,getmaxy-15,getmaxx-5,getmaxy-2,clipon);
```

```
outtext(Heats);
```

```
end;
```

```
procedure plotgraph (var rate,t,f,rate1,z:real;
```

```
var heat,i,x,y:integer);
```

```
label inn,thin,thin,new,line,newplot;
```

```
var mono1,mono2,plot:integer;
```

```
j,rate2,low,mid,high:real;
```

```
freq,time:integer;
```

```
fre,thick,data2,dat,data0 :real;
```

```
m,n,p,q,r,g,v:integer;
```

```
st,h:string[6]; d,dog:string[20];
```

```
begin
```

```
new:; mono1 := port[port_b1];
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

if monoi = 254 then goto new;

low := port[port_b2];

mid := port[port_c2];

high:= port[port_a2];

port [port_a1] := $01;

port [port_a1] := $00;

dat := high*256*256+mid*256+low;

if dat<3000000 then goto new;

if dat >3700000 then goto new;

i := i+1;

data[i]:=dat;

z:=y+56;

rate1:=rate;

if rate = 0 then rate1:=1;

if i = 1 then
begin

g:=0;

data0:=data[i];

data1:=data[i];

scale(rate1,data1,z,i);

newplot;;

j:= z * data [i]/ data1;

goto line;

end;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

rate2:= data1 - data [i];

rate2:= abs(rate2);

j:= z - ( rate2 / rate1) ;

line;; plot:= round (j) ;

freq:= 280-plot;

if freq >= 280 then

begin

g:=0;

data1:=data[i];

scale(rate1,data1,z,i);

goto newplot;

end;

g:= g+1;

time:=g+78;

n:=freq;

m:=time;

setviewport(0,0,getmaxx,getmaxy,clipon);

rectangle(0,0,getmaxx,getmaxy);

if (i = 1) or ( freq = 51 )then

begin

moveto(time,freq);

goto thin;

end;

thin;; moveto(p,q);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

thin;  lineto(time,freq);

p:=m;

q:=n;

r:=round(rate);

str(r,dog);

outtextxy(getmaxx-500,getmaxy-38,'rate = ');

outtextxy(getmaxx-430,getmaxy-38,dog);

fre:=data [i] - l;

fre:=abs(fre);

l:=data[i];

if i = 1 then fre := 0;

if fre = rate then heat:= heat;

if fre < rate then heat := heat-1 ;

if fre > rate then heat := heat+1;

if rate = 0 then heat:= 255;

if i = t then

begin

heat:=255;

fre:=data0 - data[i];

fre:=abs(fre);

str(fre,dog) ;

outtextxy(getmaxx-330,getmaxy-38,'Dif.freq = ');

outtextxy(getmaxx-235,getmaxy-38,dog);

end;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

Setviewport(4*x+80,getmaxy-15,getmaxx-5,getmaxy-2,clipon);

clearviewport;

Setviewport(4*x+80,getmaxy-15,getmaxx-5,getmaxy-2,clipon);

end;

```

```

procedure checkkey ( var heat:integer; var heats:string);

```

```

var c:char; h:string;

```

```

begin

```

```

    if keypressed then

```

```

    begin

```

```

        clearviewport;

```

```

        c := readkey;

```

```

    case c of

```

```

        'i','I' : heat:=heat+10;

```

```

        'd','D' : heat:=heat-10;

```

```

    end;

```

```

end;

```

```

    if heat<0 then heat:=0;

```

```

    if heat>255 then heat:=255;

```

```

    port[port_c1]:=heat;

```

```

    str(heat,h);

```

```

    heats:=h;

```

```

end;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

procedure save ;

var ch : char;

    fil : file of result;

    sf : string;

begin

    repeat

        writeln ('Do you want to save data (Y/N) : ');

        ch := readkey;

    until (ch = 'y') Or (ch = 'n');

    if ch = 'y' then

    begin

        write ('input file name : ');

        readln (sf);

        assign (fil,sf);

        rewrite (fil);

        write (fil,data);

        close (fil);

        writeln ('OK !');

    end

    else

        writeln ('Good bye');

        ch := readkey;

End;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

begin { Main }

    clrscr;

    title(rate,t);

    gd := detect;

    initgraph(gd, gm, 'b:\');

    cleardevice;

    setactivepage(1);

    setvisualpage(1);

    rectangle(0,0,getmaxx,getmaxy);

    port [Crt_1] := $B2; { a,c=>out , b=>in }
    port [Crt_2] := $9b; { a,b,c=>in }
    port [port_c1]:= 255;

    i:= 0; f:=0;

    x:=getmaxx div 5;

    y:=getmaxy div 2;

    display ( x,y,heat,heats);

change:;

    print ( heats,x,y);

    if i=t then goto b :

    plotgraph ( rate ,t,f,heat,heats);

    checkkey (heat,heats);

    if keypressed then

    begin

        ch:=readkey;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
case ch of
    'b','B':goto break;
    's','S':goto stop;
end;
end;

goto change;

break;; readln(w);

if w = 's' then goto stop;
goto change;
stop;;
closegraph;
save;
end.
```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายละเอียดและขั้นตอนการทำงานในแต่ละ Procedure ของโปรแกรม แสดงค่าเปลี่ยนแปลงความถี่

1. Procedure Title ทำหน้าที่ในการรับค่าตัวแปรที่สำคัญ 2 ตัวคือเวลาที่ใช้ในการระเหยสาร, อัตราการระเหยสารในแต่ละวินาที จากนั้นจึงทำการเช็คคีย์ว่าผู้ใช้ต้องการเปลี่ยนแปลงข้อมูลหรือไม่

2. Procedure Display จะทำหน้าที่ในการแสดงข้อความแนะนำช่วงของความถี่ที่ใช้ในการระเหยสาร, แนะนำการกดคีย์ และส่งค่าความถี่ออกทาง Port_c₁ เพื่อใช้ในการเผาสาร

3. Procedure Scale ทำหน้าที่ในการเคลียร์จอภาพ และสร้างสเกลที่ใช้ในการแสดงกราฟ โดยจะรับค่าความถี่ในขณะนั้นใช้ในการคำนวณเพื่อสร้างสเกล (Y) และรับค่าเวลา (i) เพื่อใช้สร้างแกน X

4. Procedure Print ทำหน้าที่แสดงค่าความถี่ที่ใช้ในการเผาสารในแต่ละวินาที

5. Procedure Plotgraph ทำหน้าที่ในการรับค่าความถี่ในแต่ละวินาที และส่งค่าความถี่เริ่มต้น ค่าเวลา (i) ไปยัง Procedure Scale เพื่อสร้างสเกล จากนั้นจึงย้อนกลับมาคำนวณค่าจุดต่างๆ ที่ใช้ในการพล็อตกราฟ แล้วจึงทำการเช็คค่าจุดที่จะพล็อตนั้นต่ำกว่าค่าความถี่ต่ำสุดของสเกลหรือไม่ ถ้าต่ำกว่าก็ทำการส่งค่าความถี่ขณะนั้นไปยัง Procedure Scale เพื่อสร้างสเกลใหม่ แต่ถ้าค่าความถี่นั้นอยู่ในช่วงของสเกลที่สร้างขึ้นก็จะทำการส่งค่าความถี่ขณะนั้นไปยัง Procedure Scale เพื่อสร้างสเกลใหม่ แต่ถ้าความถี่ขณะนั้นอยู่ในช่วงของสเกลก็จะทำการพล็อตกราฟความถี่กับเวลาในแต่ละวินาที เมื่อสิ้นสุดการพล็อตกราฟในแต่ละวินาที ก็ทำการแสดงค่า rate ออกทางจอภาพ แล้วจึงทำการคำนวณค่าความแตกต่างของความถี่ในแต่ละวินาทีเพื่อเปรียบเทียบกับค่า rate ถ้าค่า rate มีค่าสูงกว่าก็จะทำการเพิ่มค่าความถี่ที่ใช้ในการระเหยสาร ถ้าค่า rate มีค่าต่ำกว่าก็จะทำการลดค่าความถี่ที่ใช้ในการระเหยสาร แต่ถ้าค่าทั้งสองเท่ากัน ก็จะคงค่าความถี่เดิมไว้ จากนั้นจึงทำการเช็คค่าเวลาที่ใช้ในการเผาสารเท่ากับเวลาที่กำหนดไว้แล้วหรือยังถ้าเท่า ก็จะทำการคำนวณค่าความแตกต่างของความถี่ก่อนและหลังการระเหยสารและทำการแสดงค่าความถี่ก่อนและหลังการระเหยสาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แต่ถ้ายังไม่ถึงเวลาที่กำหนดก็จะข้ามขั้นตอนนี้ไป เมื่อสิ้นสุดการเช็คแล้วก็จะทำการเคลียร์จอภาพทางมุมล่างขวาของจอเพื่อรอการแสดงค่าความร้อนในวินาทีต่อไป

6. Procedure Checkkey จะทำหน้าที่ในการเช็คว่ามีการกดคีย์ i หรือ d หรือไม่ ถ้ามีการกดคีย์ i ก็จะทำการลดค่าความร้อนเดิมโดยจะบวกค่าความร้อนเดิมขึ้นอีก 10 (heat+10) แต่ถ้ามีการกดคีย์ d ก็จะเพิ่มค่าความร้อนเดิมโดยจะลดค่าความร้อนเดิมอีก 10 (heat-10) แต่ถ้าไม่มีการกดคีย์ก็จะคงค่าความร้อนเดิมไว้ จากนั้นทำการส่งค่าความร้อนในปัจจุบันออกไปใช้ในการเฝ้าสาร และส่งค่าความร้อนนี้ไปยัง Procedure Print เพื่อใช้ในการแสดงค่าความร้อนออกทางมุมล่างขวาของจอภาพที่ทำการเคลียร์รอไว้ก่อนแล้ว

7. Procedure Save ทำหน้าที่ในการเก็บข้อมูลลงในแผ่นดิสก์เก็ต โดยทำการเช็คคีย์กดว่าทำการเก็บข้อมูลหรือไม่

สำหรับใน เมนูปริแกรมก็จะทำงานในลักษณะวนลูปกันไป โดยเริ่มจากการทำงานใน Procedure Title จากนั้นทำการเช็คจอภาพ และ control port แล้วจึงเริ่มทำงานที่ Procedure Display, Print, Plotgraph และ checkkey ตามลำดับ แล้วจึงทำการเช็คว่ามีคีย์กดหรือไม่ ถ้ามีการกดคีย์ b ก็จะหยุดการแสดงกราฟชั่วคราว แต่ถ้ามีการกดคีย์ e ก็จะทำการออกจากการแสดงกราฟ และจะทำการเช็คว่าจะทำการเก็บข้อมูลหรือไม่ ถ้าเก็บข้อมูลก็จะทำการเรียก Procedure Save แต่ถ้าไม่เก็บก็จะทำออกจากโปรแกรม ในกรณีที่ไม่มีมีการกดคีย์ก็จะทำการวนลูปโดยย้อนกลับไปเริ่มทำงานที่ Procedure Print ใหม่อีกครั้ง และในขณะวนลูปนี้จะทำการเช็คค่าเวลาที่ใช้ในการระเหยสารมีค่าเท่ากับเวลาที่กำหนดไว้หรือยัง ถ้ายังก็จะวนลูปต่อไป แต่ถ้าเท่าก็จะหยุดการแสดงกราฟและเข้าสู่ Procedure Save

```

program thickness_control;

uses crt,graph;

type result = array [0..4000] of real;

const Crt_1   = $2bf ;
      Crt_2   = $2bb ;
      Port_a1 = $2bc ;   {count Freq high }
      Port_b1 = $2bd ;   {count Freq mid }
      port_c1 = $2be ;   {count freq low }
      Port_a2 = $2b8 ;   { clear counter }
      Port_b2 = $2b9 ;   { mono }
      port_c2 = $2ba ;   { D/A converter }

label change,break,stop;

var ch,w:char;
    gm,gd,x,y,s,a,den:integer;  heats:string;  l,data1,z,f,le,rate1:real;
    i,heat:integer;             k,rate,t, rate2,fre0,fre1,thick:real;
    d:string[20]; data : result;

procedure title (var rate,k,t:real);

label start,ok;

var  f,den,a,s:real;
     key:char;

begin
    start:;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

clrscr;

write( 'Input thinflim thickness          ');

readln(t);

writeln;

write('input rate of evapulation (0-30)   ');

readln(rate);

writeln;

write('input sensitivity of x-tal        ');

readln(s);

writeln;

write('Input density of metirial         ');

readln(den);

writeln;

write('Input area of evapulation         ');

readln(a);

writeln;

k:=den*s*a;

writeln('Are you sure ? (y/n)');

key := readkey;

if key = 'y' then goto ok;

if key = 'n' then goto start;

ok;;

end;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

procedure display(x,y:integer;var heat:integer;
var heats:string);
var code:integer; h:string;
begin
    outtextxy ( 15,getmaxy-20, 'Heat Range = (0 - 255)');
    outtextxy(15,getmaxy-10, 'Heat is ');
    readln(heat);
    str(heat,h);
    heats := h;
    outtextxy(x-50,getmaxy-10,heats);
    val(heats,heat,code);
    port [port_c2]:=heat;
    outtextxy(x+60,getmaxy-20,'Press (i or I). If you want INC ?');
    outtextxy(x+60,getmaxy-10,'Press (d or D). If you want DEC ?');
    outtextxy(3*x+80,getmaxy-15,'press key ');
    setviewport(0,0,getmaxx,getmaxy,clipon);
end;

procedure scale(rate1,data1,z:real; i:integer);
var data2,data3,data4,data5,count:real; st,dd:string[9];
o,e,a,b,c,count1:integer;
begin
    setviewport(0,0,getmaxx,getmaxy-40,clipon);
    clearviewport;
    setviewport(0,0,getmaxx,getmaxy-40,clipon);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

outtextxy(x+80,15,'THINFLIM THICKNESS MEASUREMENT');

line(x-65,getmaxy-67,x-65,y-130);

line(x-65,getmaxy-67,getmaxx-40,getmaxy-67);

line (x-70,51,x-65,51);

outtextxy(x-125,y-138,'Frequency (MHz)');

outtextxy(getmaxx-100,getmaxy-58,'Time (Sec)');

data3:=data1;

data2 := data1/1000000;

e:= y-125;

str(data2,st);

outtextxy(x-142,y-125,st);

count:= z/4;

count1:=round(count);

data4:= count1*rate1;

data5:= data3-(4*data4);

str(data5,st);

outtextxy(x-142,e+(4*count1),st);

for o:= 1 to 3 do

    begin

        data3 := data3 - data4;

        data2:= data3/1000000;

        e:=e+count1;

        str(data2,st);

        outtextxy (x-142,e,st);
    
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        line (x-70,e+3,x-65,e+3);

    end;

    b := x-65;

    c:=i;

    if i = 1 then c:= i-1;

    for a := 1 to 5 do

        begin

            c := c+100;

            b := b+100;

            str(c,dd);

            outtextxy(h,getmaxy-62,dd);

            line (b+10,getmaxy-69,b+10,getmaxy-65);

        end;

    end;

procedure print (var heats:string; x,y:integer);

begin

    outtextxy(4*x+25,getmaxy-15,'Heat= ');

    SetViewport(4*x+80,getmaxy-15,getmaxx-5,getmaxy-2,clipon);

    outtext(Heats);

end;

procedure plotgraph (var rate,k,t,rate1,z,fr0,fr1,thick:real;

                    var heat,i,x,y:integer);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

label inn,thim,thin,new,line,newplot;

var monol,mono2,plot:integer;      j,rate2,low,mid,high:real;

    freq,time:integer;              fre,data2,dat,data0:real;

    m,n,p,q,r,g,v:integer;          st,h:string[6]; d,dog:string[20];

begin

    new!; monol := port[port_b2];

    if monol = 254 then goto new;

    low := port[port_b1];

    mid := port[port_c1];

    high:= port[port_a1];

    port [port_a2] := $01;

    port [port_a2] := $00;

    dat := high*256*256+mid*256+low;

    if dat<3000000 then goto new;

    if dat >3700000 then goto new;

    i := i+1;

    data[i]:=dat;

    z:=y+56;

    ratel:=rate;

    if rate = 0 then ratel:=1;

    if i = 1 then

        begin

            g:=0;

            data0:=data[i];

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        data1:=data[i];

        scale(rate1,data1,z,i);

        newplot;;

        j:= z * data [i]/ data1;

        goto line;

    end;

rate2:= data1 - data [i];
rate2:= abs(rate2);
j:= z - ( rate2 / rate1) ;
line;; plot:= round (j) ;
freq:= 280-plot;
if freq >= 280 then
begin
    g:=0;
    data1:=data[i];
    scale(rate1,data1,z,i);
    goto newplot;
end;

g:= g+1;

time:=g+78;

n:=freq;

m:=time;

setviewport(0,0,getmaxx,getmaxy,clipon);

rectangle(0,0,g,getmaxx,getmaxy);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

if ( i = 1) or ( freq = 51 )then
    begin
        moveto(time,freq);
        goto thin;
    end;

thin;; moveto(p,q);
thin;; lineto(time,freq);

p:=m;
q:=n;
r:=round(rate);
str(r,dog);
outtextxy(getmaxx-500,getmaxy-38,'rate = ');
outtextxy(getmaxx-430,getmaxy-38,dog);

fre:=data [i] - l;
l:=data [i];
fre:=abs(fre);
frel:=data0 - data[i];
frel:=abs(frel);
fre0:= (t*k)/90;

if i = 1 then fre:=0;

if fre = rate then heat:= heat;

if fre < rate then heat := heat-1 ;

if fre > rate then heat := heat+1;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

if rate = 0 then heat:= 255;

if fre1 >= fre0 then

    begin

        heat:=255;

        thick:=(100*fre1)/k;

        str(thick,dog) ;

        outtextxy(getmaxx-330,getmaxy-38,'thickness = ');

        outtextxy(getmaxx-235,getmaxy-38,dog);

    end;

Setviewport(4*x+80,getmaxy-15,getmaxx-5,getmaxy-2,clipon);

clearviewport;

Setviewport(4*x+80,getmaxy-15,getmaxx-5,getmaxy-2,clipon);

end;

procedure checkkey ( var heat:integer; var heats:string);

var c:char; h:string;

begin

    if keypressed then

        begin

            clearviewport;

            c := readkey;

            case c of

                'i','I' : heat:=heat+10;

                'd','D' : heat:=heat-10;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        end;

end;

if heat<0 then heat:=0;

if heat>255 then heat:=255;

port[port_c2]:=heat;

str(heat,h);

heats:=h;

end;

procedure save ;
var ch : char;
    fil : file of result;
    sf : string;
begin
    repeat
        writeln ('Do you want to save data (Y/N) : ');
        ch := readkey;
    until (ch = 'y') Or (ch = 'n');
    if ch = 'y' then
        begin
            write ('input file name : ');

            readln (sf);

            assign (fil,sf);

            rewrite (fil);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        write (fil,data);

        close (fil);

        writeln ('OK !');

    end

else

    writeln ('Good bye');

    ch := readkey;

End;

begin { Main }

    clrscr;

    title(rate,k,t);

    gd := detect;

    initgraph(gd,gm,'b:\');

    cleardevice;

    setactivepage(1);

    setvisualpage(1);

    rectangle(0,0,getmaxx,getmaxy);

    port [Crt_1] := $9b; {a,b,c => in }

    port [Crt_2] := $82 ; {a,c, => out , b => in }

    port [port_c2]:= 255;

    i:= 0; thick:=0;

    x:=getmaxx div 5;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

y:=getmaxy div 2;

display ( x,y,heat,heats);

change:;

print ( heats,x,y);

if thick >= t then goto break;

plotgraph ( rate ,k,t,rate1,z,fr0,fr1,thick,heat,i,x,y);

checkkey (heat,heats);

if keypressed then
    begin
        ch:=readkey;
        case ch of
            'h','H':goto break;
            's','S':goto stop;
        end;
    end;
goto change;
break:; readln(w);
if w = 's' then goto stop;
goto change;
stop:;

closegraph;

save;

end.

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายละเอียดและขั้นตอนการทำงานในแต่ละ Procedure ของโปรแกรมการ
แสดงค่าการวัดและควบคุมความหนา

ขั้นตอนและรายละเอียดของ Procedure ต่าง ๆ จะเหมือนกับโปรแกรมแสดงค่า
การเปลี่ยนแปลงความถี่แต่จะมีรายละเอียดเพิ่มเติมดังนี้

1. Procedure Title จะทำการรับค่าตัวแปรที่สำคัญ 5 ตัวคือ ค่าความ
หนาที่ผู้ใช้กำหนด, ค่า rate, ค่าความหนาแน่นของสารที่ใช้ในการเตรียมฟิล์มบาง, ค่าความ
ไวของคริสตอล และค่าความถี่ของคริสตอล

2. Procedure Plotgraph จะทำการเพิ่มเติมคือหลังจากทำการพล็อตกราฟใน
แต่ละวินาทีแล้วก็จะทำการคำนวณค่าความแตกต่างของความถี่ ($fre0$) ที่ใช้ในการสร้าง
ฟิล์มบางจากค่าความหนาที่ผู้ใช้กำหนด จากนั้นจึงทำการเปรียบเทียบค่า $fre0$ กับค่า
ความถี่ก่อนและหลังการระเหยสารในแต่ละวินาที ($fre1$) ถ้าค่าทั้งสองนี้เท่ากัน ก็จะคํ
วณหาค่าความหนาของฟิล์มบางที่เกิดขึ้นจากค่าความถี่ $fre1$ และแสดงค่าออกทางจอภาพ
 แต่ถ้าค่าทั้งสองไม่เท่ากันก็จะข้ามขั้นตอนนี้ไป

ในส่วนของเมนโปรแกรม จะเปลี่ยนแปลงเงื่อนไขการหยุดโปรแกรมโดยจะทำการ
เช็คที่ว่าค่า $fre1$ มากกว่าหรือเท่ากับค่า $fre0$ แล้วหรือยังถ้า เท่าก็จะหยุดโปรแกรม
 แต่ถ้าไม่เท่าก็จะทำงานต่อไป แต่การทำงานส่วนอื่น ๆ ของเมนโปรแกรมยังคงเหมือน
กับโปรแกรมแสดงค่าความถี่

```
program open_file_to_read;

type arreal = array [0..4000] of real;

var data : arreal;

    fil_of_ar : file of arreal;

    strg : string;

    count : integer;

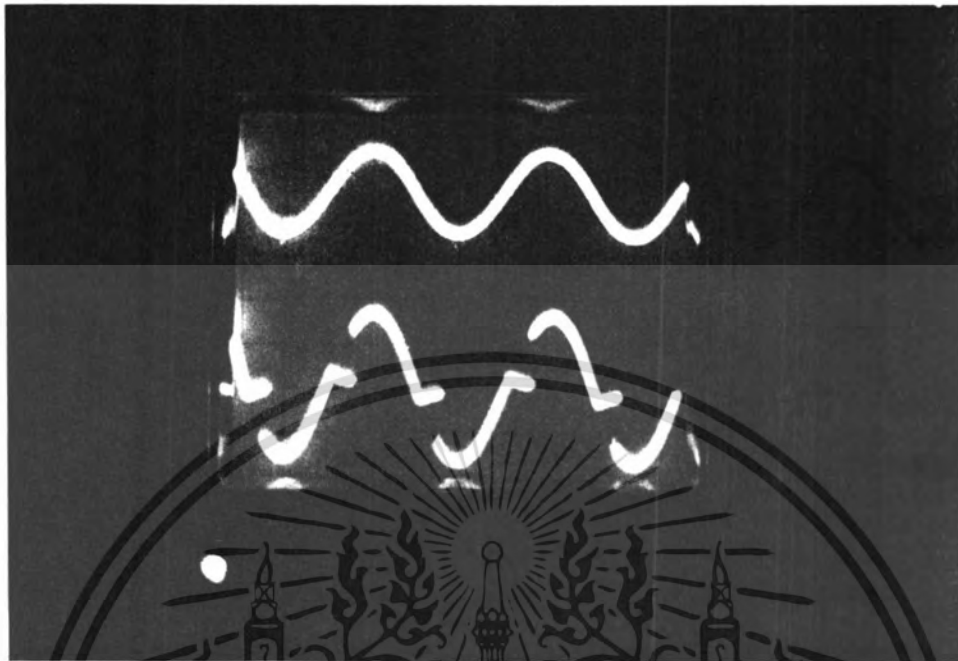
begin

    write ('input file name : ');
    readln (strg);
    assign (fil_of_ar,strg);
    reset (fil_of_ar);
    read (fil_of_ar,data);
    close (fil_of_ar);
    for count := 0 to 4000 do
    begin
        writeln (data [count]);
        readln
    end;
end.
```

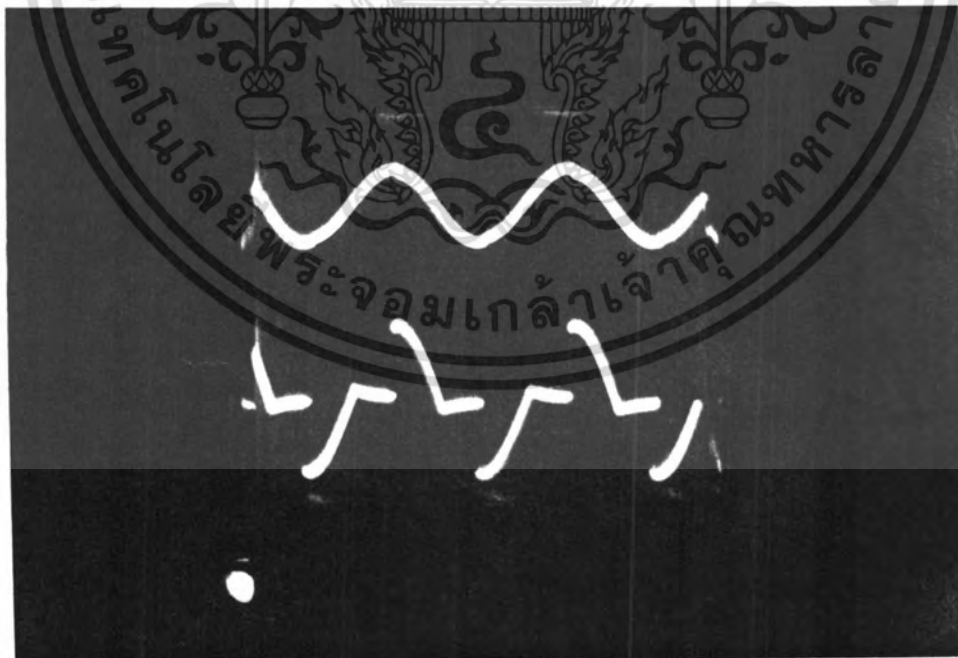
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

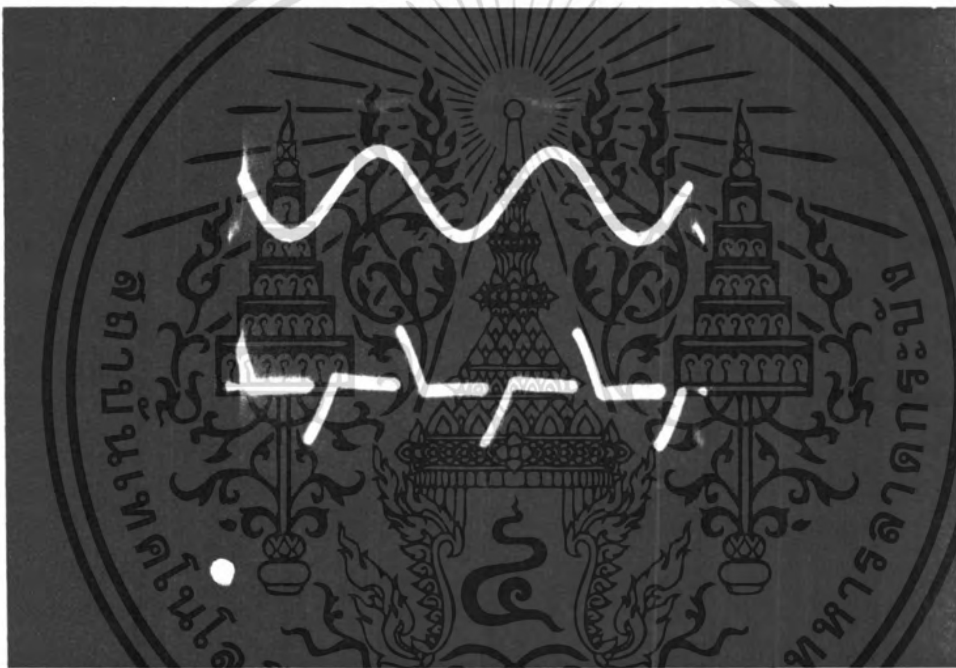


รูปแสดงมมการนำกระแสของไตรแอดที่ 45 องศา



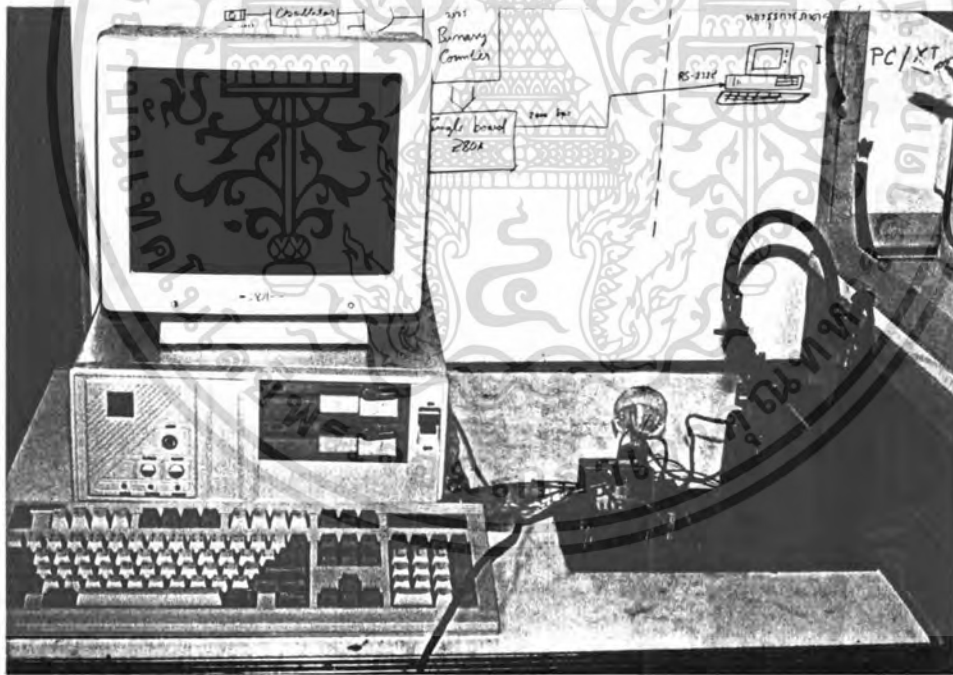
รูปแสดงมมการนำกระแสของไตรแอดที่ 90 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



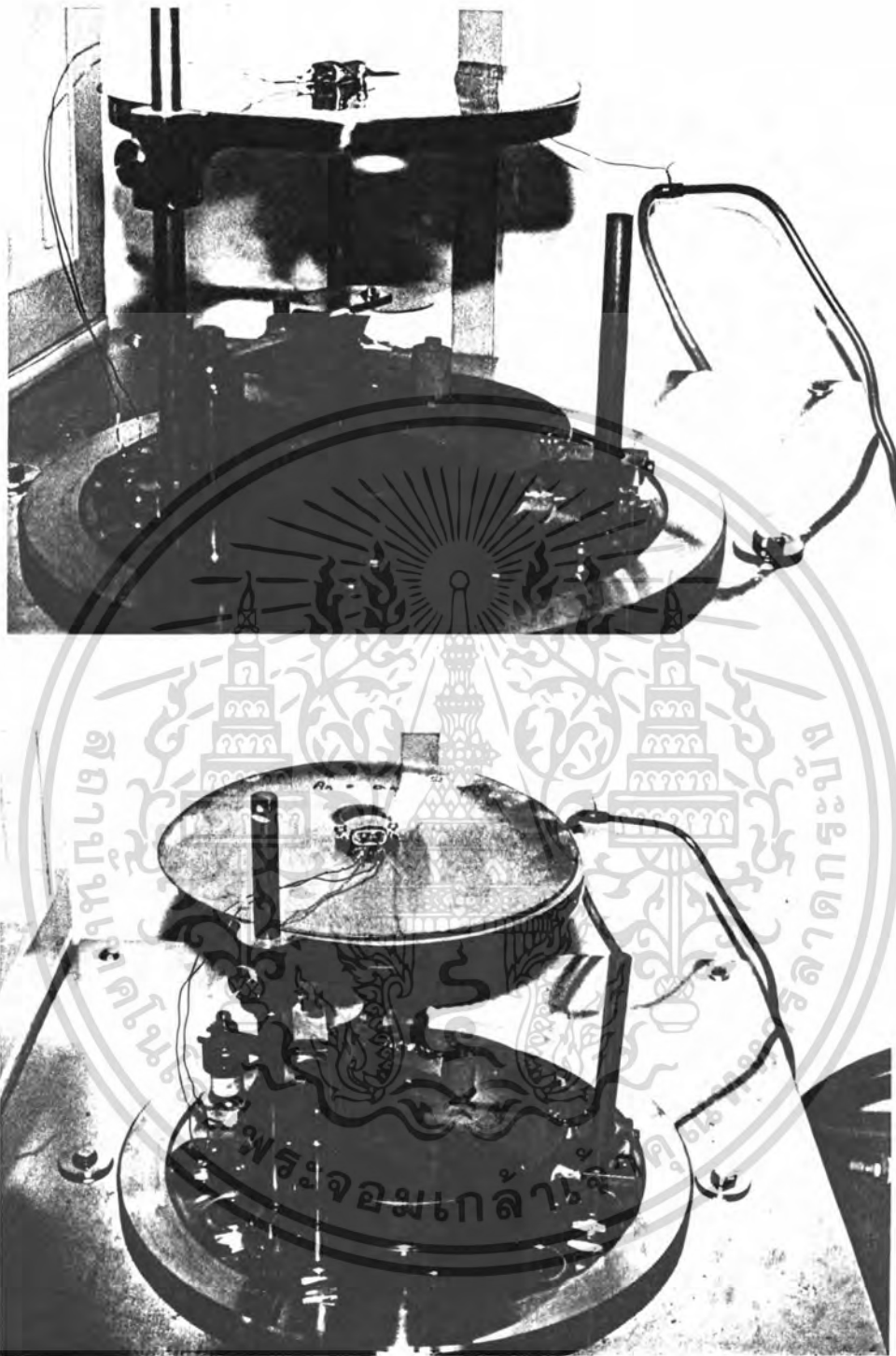
รูปแสดงมุมการนำกระแสของไตรแอดที่ 135 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



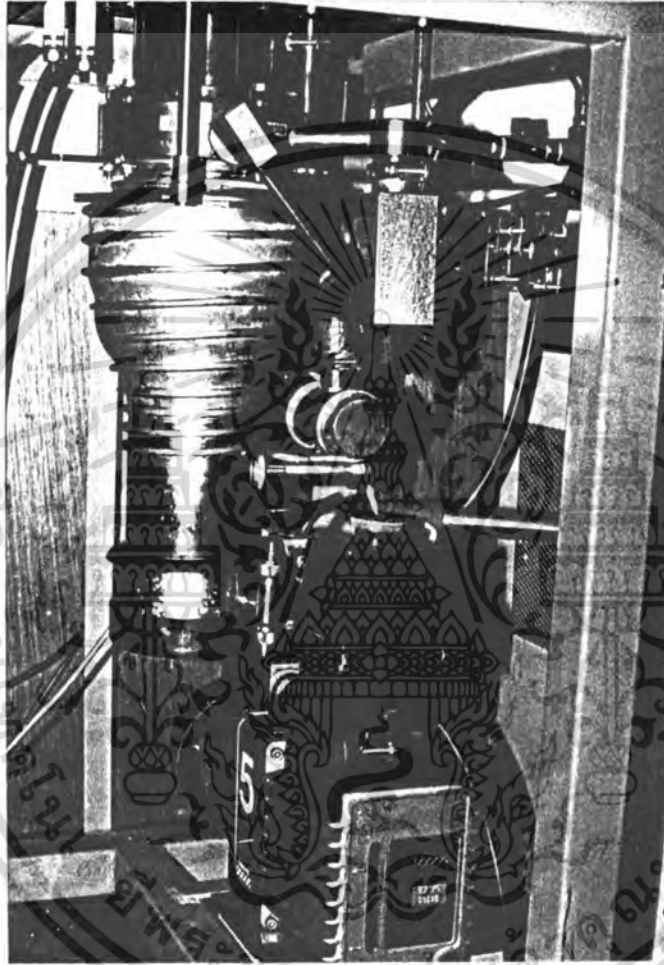
รูปแสดงหม้อแปลงที่ใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปแสดงการติดตั้งคริสตอล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปแสดงปั๊มที่ใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



DAC0800/DAC0801/DAC0802 8-Bit Digital-to-Analog Converters

General Description

The DAC0800 series are monolithic 8-bit high-speed current-output digital-to-analog converters (DAC) featuring typical settling times of 100 ns. When used as a multiplying DAC, monotonic performance over a 40 to 1 reference current range is possible. The DAC0800 series also features high compliance complementary current outputs to allow differential output voltages of 20 V_{p-p} with simple resistor loads as shown in Figure 1. The reference-to-full-scale current matching of better than ±1 LSB eliminates the need for full-scale trims in most applications while the nonlinearities of better than ±0.1% over temperature minimizes system error accumulations.

The noise immune inputs of the DAC0800 series will accept TTL levels with the logic threshold pin, V_{LC}, grounded. Changing the V_{LC} potential will allow direct interface to other logic families. The performance and characteristics of the device are essentially unchanged over the full ±4.5V to ±18V power supply range; power dissipation is only 33 mW with ±5V supplies and is independent of the logic input states.

The DAC0800, DAC0802, DAC0800C, DAC0801C and DAC0802C are a direct replacement for the DAC-08, DAC-08A, DAC-08C, DAC-08E and DAC-08H, respectively.

Features

- Fast settling output current 100 ns
- Full scale error ±1 LSB
- Nonlinearity over temperature ±0.1%
- Full scale current drift ±10 ppm/°C
- High output compliance -10V to +18V
- Complementary current outputs
- Interface directly with TTL, CMOS, PMOS and others
- 2 quadrant wide range multiplying capability
- Wide power supply range ±4.5V to ±18V
- Low power consumption 33 mW at ±5V
- Low cost

Typical Applications

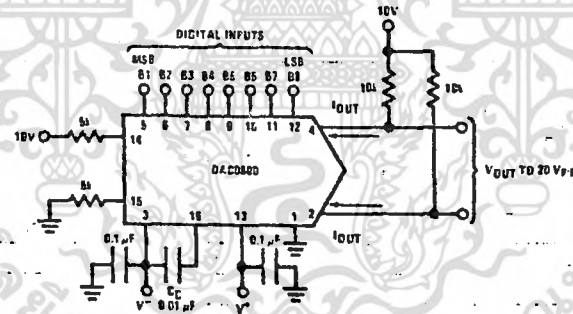


FIGURE 1. ±20 V_{p-p} Output Digital-to-Analog Converter (Note 4)

TL/H/5688-1

Ordering Information

Non-Linearity	Temperature Range	Order Numbers				
		J Package (J16A)*		N Package (N16A)*		SO Package (M16A)
±0.1% FS	-55°C ≤ T _A ≤ +125°C	DAC0802LJ	DAC-08AQ	DAC0802LCN	DAC-08HP	DAC0802LCM
±0.1% FS	0°C ≤ T _A ≤ +70°C	DAC0802LCJ	DAC-08HQ			
±0.19% FS	-55°C ≤ T _A ≤ +125°C	DAC0800LJ	DAC-08Q	DAC0800LCN	DAC-08EP	DAC0800LCM
±0.19% FS	0°C ≤ T _A ≤ +70°C	DAC0800LCJ	DAC-08EQ			
±0.38% FS	0°C ≤ T _A ≤ +70°C	DAC0801LCJ	DAC-08CQ	DAC0801LCN	DAC-08CP	DAC0801LCM

*Devices may be ordered by using either order number.

Absolute Maximum Ratings (Note 1)

If Military/Aerospace specified devices are required, contact the National Semiconductor Sales Office/Distributors for availability and specifications.

Supply Voltage ($V^+ - V^-$)	$\pm 18V$ or $36V$
Power Dissipation (Note 2)	500 mW
Reference Input Differential Voltage (V14 to V15)	V^- to V^+
Reference Input Common-Mode Range (V14, V15)	V^- to V^+
Reference Input Current	5 mA
Logic Inputs	V^- to V^- plus 36V
Analog Current Outputs ($V_{S^-} = -15V$)	4.25 mA
ESD Susceptibility (Note 3)	TBD V
Storage Temperature	$-65^\circ C$ to $+150^\circ C$

Lead Temp. (Soldering, 10 seconds)

Dual-In-Line Package (plastic)	260°C
Dual-In-Line Package (ceramic)	300°C
Surface Mount Package	
Vapor Phase (60 seconds)	215°C
Infrared (15 seconds)	220°C

Operating Conditions (Note 1)

	Min	Max	Units
Temperature (T_A)			
DAC0802L	-55	+125	°C
DAC0800L	-55	+125	°C
DAC0800LC	0	+70	°C
DAC0801LC	0	+70	°C
DAC0802LC	0	+70	°C

Electrical Characteristics The following specifications apply for $V_S = \pm 15V$, $I_{REF} = 2 mA$ and $T_{MIN} \leq T_A \leq T_{MAX}$ unless otherwise specified. Output characteristics refer to both I_{OUT} and I_{OUT} .

Symbol	Parameter	Conditions	DAC0802L/ DAC0802LC			DAC0800L/ DAC0800LC			DAC0801LC			Units
			Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
	Resolution		8	8	8	8	8	8	8	8	8	Bits
	Monotonicity		8	8	8	8	8	8	8	8	8	Bits
	Nonlinearity				± 0.1			± 0.19			± 0.39	%FS
t_s	Settling Time	To $\pm 1/2$ LSB, All Bits Switched "ON" or "OFF", $T_A = 25^\circ C$		100	135					100	150	ns
		DAC0800L				100	135					ns
		DAC0800LC				100	150					ns
t_{PLH} , t_{PHL}	Propagation Delay Each Bit All Bits Switched	$T_A = 25^\circ C$		35	60		35	60		35	60	ns
				35	60		35	60		35	60	ns
TC_{FS}	Full Scale Tempo			± 10	± 50		± 10	± 50		± 10	± 50	ppm/°C
V_{OC}	Output Voltage Compliance	Full Scale Current Change $< 1/2$ LSB, $R_{OUT} > 20 M\Omega$ Typ	-10		18	-10		18	-10		18	V
I_{FS4}	Full Scale Current	$V_{REF} = 10.000V$, $R_{14} = 5.000 k\Omega$ $R_{15} = 5.000 k\Omega$, $T_A = 25^\circ C$	1.984	1.992	2.000	1.94	1.99	2.04	1.94	1.99	2.04	mA
I_{FS5}	Full Scale Symmetry	$I_{FS4} - I_{FS2}$		± 0.5	± 4.0		± 1	± 8.0		± 2	± 16	μA
I_{Z5}	Zero Scale Current			0.1	1.0		0.2	2.0		0.2	4.0	μA
I_{FSR}	Output Current Range	$V^- = -5V$ $V^- = -8V$ to $-18V$	0	2.0	2.1	0	2.0	2.1	0	2.0	2.1	mA
			0	2.0	4.2	0	2.0	4.2	0	2.0	4.2	mA
V_{IL} , V_{IH}	Logic Input Levels Logic "0" Logic "1"	$V_{LC} = 0V$	2.0		0.6	2.0		0.6	2.0		0.6	V
												V
I_{IL} , I_{IH}	Logic Input Current Logic "0" Logic "1"	$V_{LC} = 0V$ $-10V \leq V_{IN} \leq +0.8V$ $2V \leq V_{IN} \leq +18V$		-2.0	-10		-2.0	-10		-2.0	-10	μA
				0.002	10		0.002	10		0.002	10	μA
V_{IS}	Logic Input Swing	$V^- = -15V$	-10		18	-10		18	-10		18	V
V_{THR}	Logic Threshold Range	$V_S = \pm 15V$	-10		13.5	-10		13.5	-10		13.5	V
I_{15}	Reference Bias Current			-1.0	-3.0		-1.0	-3.0		-1.0	-3.0	μA
dI/dt	Reference Input Slew Rate (Figure 12)		4.0	6.0		4.0	6.0		4.0	6.0		mA/ μs
PSS_{IFS+} , PSS_{IFS-}	Power Supply Sensitivity	$4.5V \leq V^+ \leq 18V$ $-4.5V \leq V^- \leq 18V$ $I_{REF} = 1mA$		0.0001	0.01		0.0001	0.01		0.0001	0.01	%/%
				0.0001	0.01		0.0001	0.01		0.0001	0.01	%/%
I_+ , I_-	Power Supply Current	$V_S = \pm 5V$, $I_{REF} = 1 mA$		2.3	3.8		2.3	3.8		2.3	3.8	mA
				-4.3	-5.6		-4.3	-5.6		-4.3	-5.6	mA
I_+ , I_-		$V_S = 5V$, $-15V$, $I_{REF} = 2 mA$		2.4	3.8		2.4	3.8		2.4	3.8	mA
				-6.4	-7.6		-6.4	-7.6		-6.4	-7.6	mA
I_+ , I_-		$V_S = \pm 15V$, $I_{REF} = 2 mA$		2.5	3.8		2.5	3.8		2.5	3.8	mA
				-6.5	-7.6		-6.5	-7.6		-6.5	-7.6	mA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Electrical Characteristics (Continued)

The following specifications apply for $V_S = \pm 15V$, $I_{REF} = 2 mA$ and $T_{MIN} \leq T_A \leq T_{MAX}$ unless otherwise specified. Output characteristics refer to both I_{OUT} and V_{OUT} .

Symbol	Parameter	Conditions	DAC0802L/ DAC0802LC			DAC0800L/ DAC0800LC			DAC0801LC			Units
			Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
P_D	Power Dissipation	$\pm 5V, I_{REF} = 1 mA$		33	48		33	48		33	48	mW
		$5V, -15V, I_{REF} = 2 mA$		108	136		108	136		108	136	mW
		$\pm 15V, I_{REF} = 2 mA$		135	174		135	174		135	174	mW

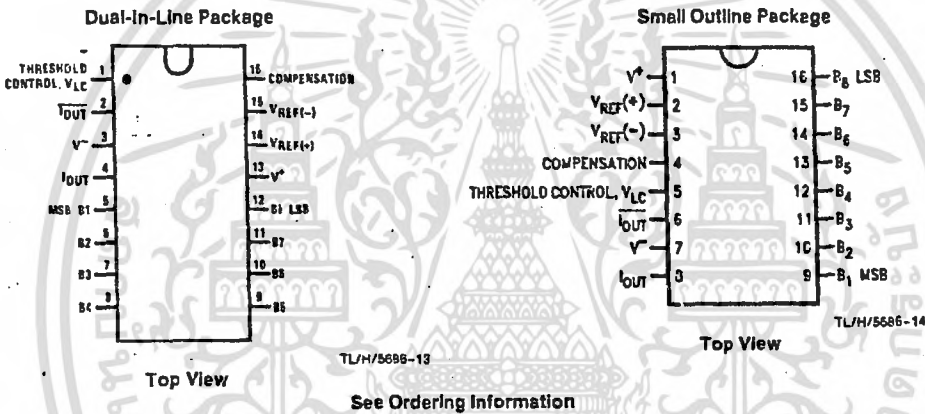
Note 1: Absolute Maximum Ratings indicate limits beyond which damage to the device may occur. DC and AC electrical specifications do not apply when operating the device beyond its specified operating conditions.

Note 2: The maximum junction temperature of the DAC0800, DAC0801 and DAC0802 is 125°C. For operating at elevated temperatures, devices in the Dual-In-Line J package must be derated based on a thermal resistance of 100°C/W, junction-to-ambient, 175°C/W for the molded Dual-In-Line N package and 100°C/W for the Small Outline M package.

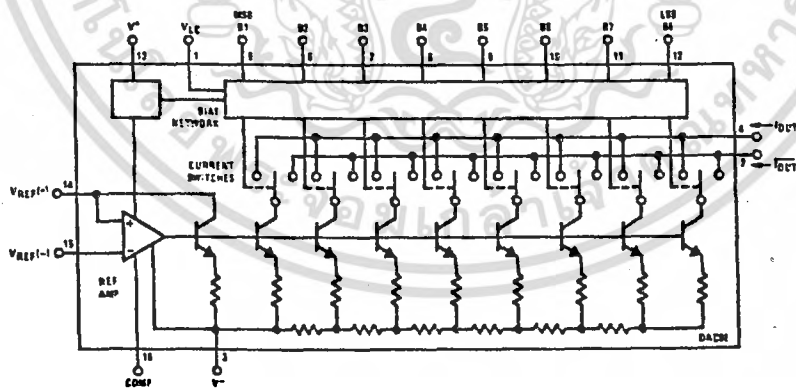
Note 3: Human body model, 100 pF discharged through a 1.5 kΩ resistor.

Note 4: Pin-out numbers for the DAC080X represent the Dual-In-Line package. The Small Outline package pin-out differs from the Dual-In-Line package.

Connection Diagrams

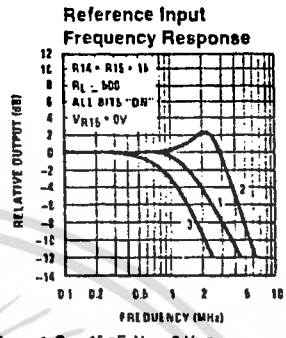
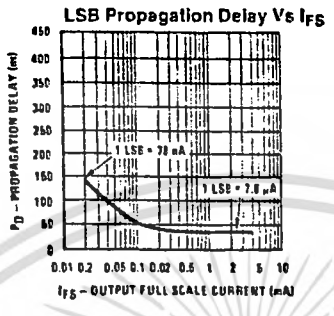
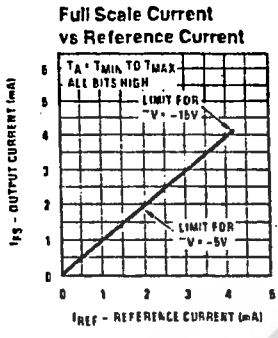


Block Diagram (Note 4)

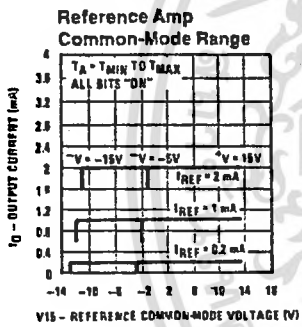


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

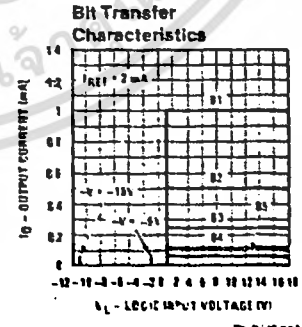
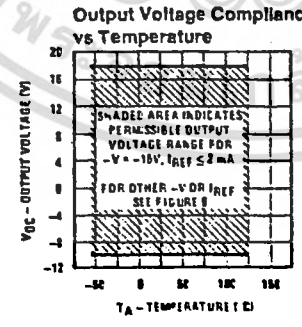
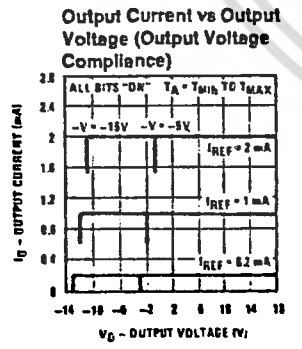
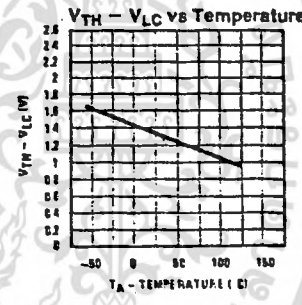
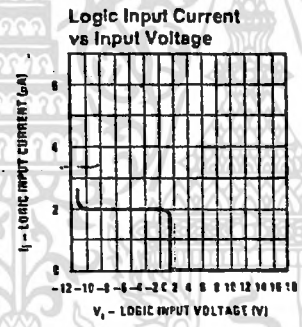
Typical Performance Characteristics



Curve 1: $C_C = 15 \text{ pF}$, $V_{IN} = 2 \text{ Vp-p}$ centered at 1V.
 Curve 2: $C_C = 15 \text{ pF}$, $V_{IN} = 50 \text{ mVp-p}$ centered at 200 mV.
 Curve 3: $C_C = 0 \text{ pF}$, $V_{IN} = 100 \text{ mVp-p}$ at 0V and applied through 50Ω connected to pin 14. 2V applied to R14.



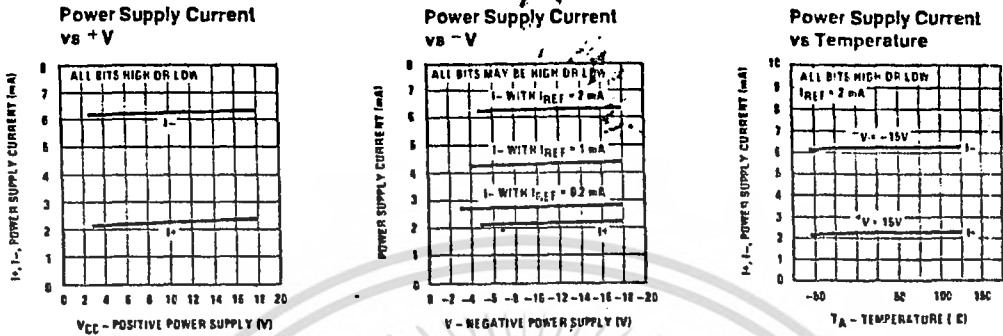
Note. Positive common-mode range is always $(V+) - 1.5V$.



Note. B1-B4 have identical transfer characteristics. Bits are fully switched with less than 1% LSB error at less than ±10% mV from actual transfer. These switching points are guaranteed to be between 0V and 2V over the operating temperature range ($V_{IC} = 0V$).

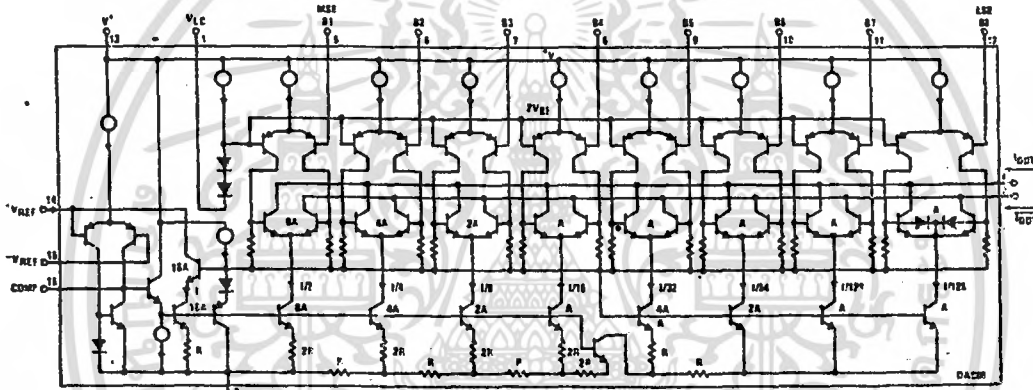
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่วารณิใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Performance Characteristics (Continued)



TL/H/5686-4

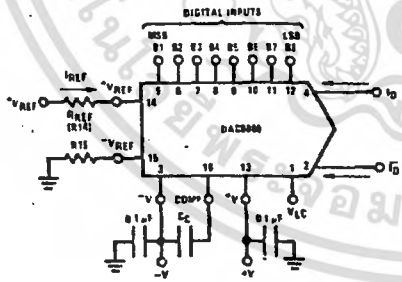
Equivalent Circuit



TL/H/5686-15

Typical Applications (Continued)

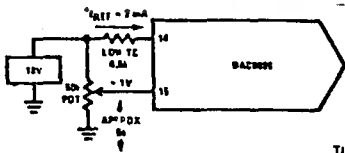
FIGURE 2



$I_{FS} = \frac{+V_{REF}}{R_{REF}} \times \frac{255}{256}$
 $I_0 + I_7 = I_{FS}$ for all logic states
 For fixed reference, TTL operation, typical values are:
 $V_{REF} = 10.000V$
 $R_{REF} = 5.000k$
 $R_{15} = R_{REF}$
 $C_C = 0.01 \mu F$
 $V_{LC} = 0V$ (Ground)

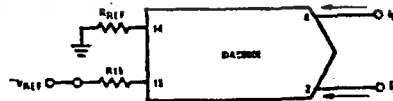
TL/H/5686-5

FIGURE 3. Basic Positive Reference Operation (Note 4)



TL/H/5686-21

FIGURE 4. Recommended Full Scale Adjustment Circuit (Note 4)



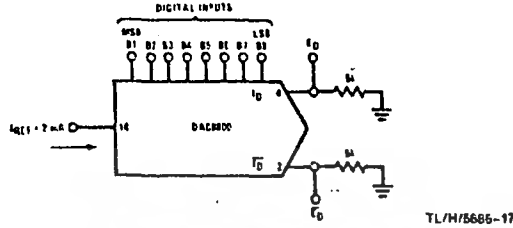
TL/H/5686-16

$I_{FS} = \frac{-V_{REF}}{R_{REF}} \times \frac{255}{256}$ Note: R_{REF} sets I_{FS} ; R_{15} is for bias current cancellation.

FIGURE 5. Basic Negative Reference Operation (Note 4)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่วารณใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Applications (Continued)



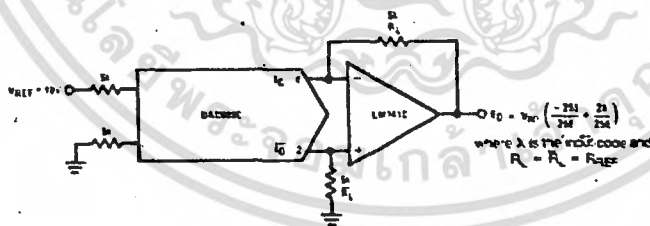
	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	I_0 mA	I_1 mA	E_0	\bar{E}_0
Full Scale	1	1	1	1	1	1	1	1	1.992	0.000	-9.960	0.000
Full Scale - LSB	1	1	1	1	1	1	1	0	1.984	0.008	-9.920	-0.040
Half Scale + LSB	1	0	0	0	0	0	0	1	1.008	0.984	-5.040	-4.920
Half Scale	1	0	0	0	0	0	0	0	1.000	0.992	-5.000	-4.960
Half Scale - LSB	0	1	1	1	1	1	1	1	0.992	1.000	-4.960	-5.000
Zero Scale + LSB	0	0	0	0	0	0	0	1	0.008	1.984	-0.040	-9.920
Zero Scale	0	0	0	0	0	0	0	0	0.000	1.992	0.000	-9.960

FIGURE 6. Basic Unipolar Negative Operation (Note 4)



	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	E_0	\bar{E}_0
Pos. Full Scale	1	1	1	1	1	1	1	1	-9.920	+10.000
Pos. Full Scale - LSB	1	1	1	1	1	1	1	0	-9.640	+9.920
Zero Scale + LSB	1	0	0	0	0	0	0	1	-0.080	+0.160
Zero Scale	1	0	0	0	0	0	0	0	0.000	+0.080
Zero Scale - LSB	0	1	1	1	1	1	1	1	+0.080	0.000
Neg. Full Scale + LSB	0	0	0	0	0	0	0	1	+9.920	-9.640
Neg. Full Scale	0	0	0	0	0	0	0	0	+10.000	-9.920

FIGURE 7. Basic Bipolar Output Operation (Note 4)



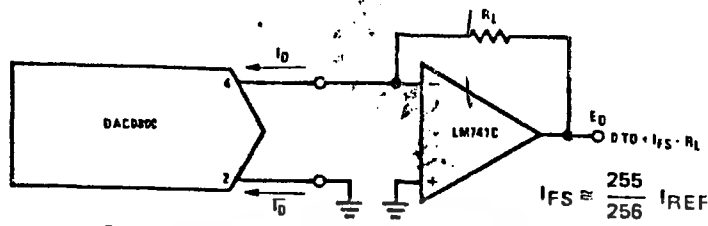
If $R_1 = R_2$ within $\pm 0.05\%$, output is symmetrical about ground

	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	E_0
Pos. Full Scale	1	1	1	1	1	1	1	1	+9.950
Pos. Full Scale - LSB	1	1	1	1	1	1	1	0	+9.850
(+)Zero Scale	1	0	0	0	0	0	0	0	+0.040
(-)Zero Scale	0	1	1	1	1	1	1	1	-0.040
Neg. Full Scale + LSB	0	0	0	0	0	0	0	1	-9.850
Neg. Full Scale	0	0	0	0	0	0	0	0	-9.950

FIGURE 8. Symmetrical Offset Binary Operation (Note 4)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

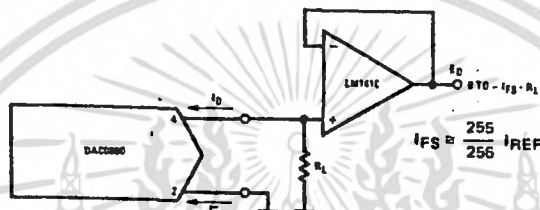
Typical Applications (Continued)



For complementary output (operation as negative logic DAC), connect inverting input of op amp to $I_{\bar{O}}$ (pin 2), connect I_O (pin 4) to ground.

FIGURE 9. Positive Low Impedance Output Operation (Note 4)

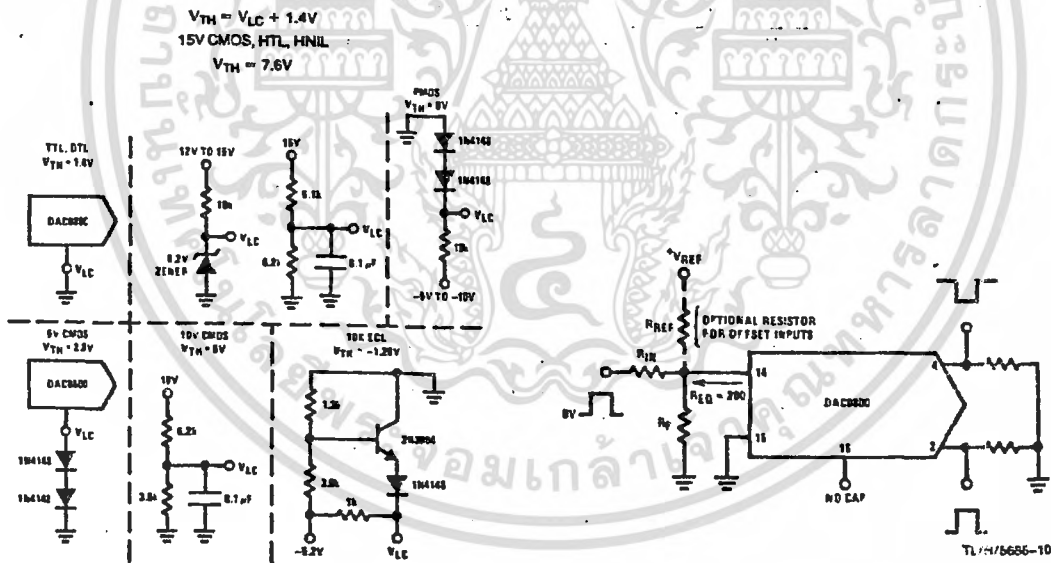
TL/H/5686-19



For complementary output (operation as a negative logic DAC) connect non-inverting input of op amp to $I_{\bar{O}}$ (pin 2); connect I_O (pin 4) to ground.

FIGURE 10. Negative Low Impedance Output Operation (Note 4)

TL/H/5686-20



Notes: Do not exceed negative logic input range of DAC.
FIGURE 11. Interfacing with Various Logic Families

FIGURE 12. Pulsed Reference Operation (Note 4)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Applications (Continued)

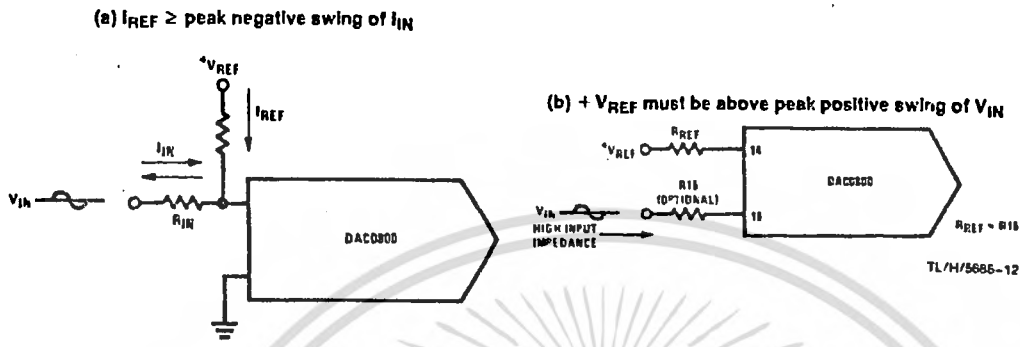


FIGURE 13. Accommodating Bipolar References (Note 4)

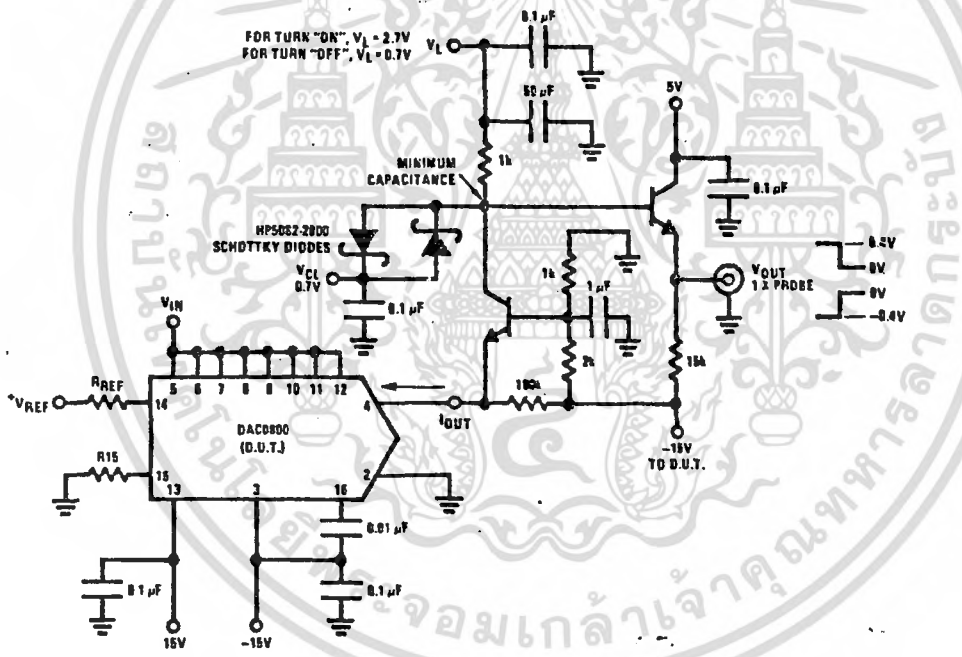


FIGURE 14. Settling Time Measurement (Note 4)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Applications (Continued)

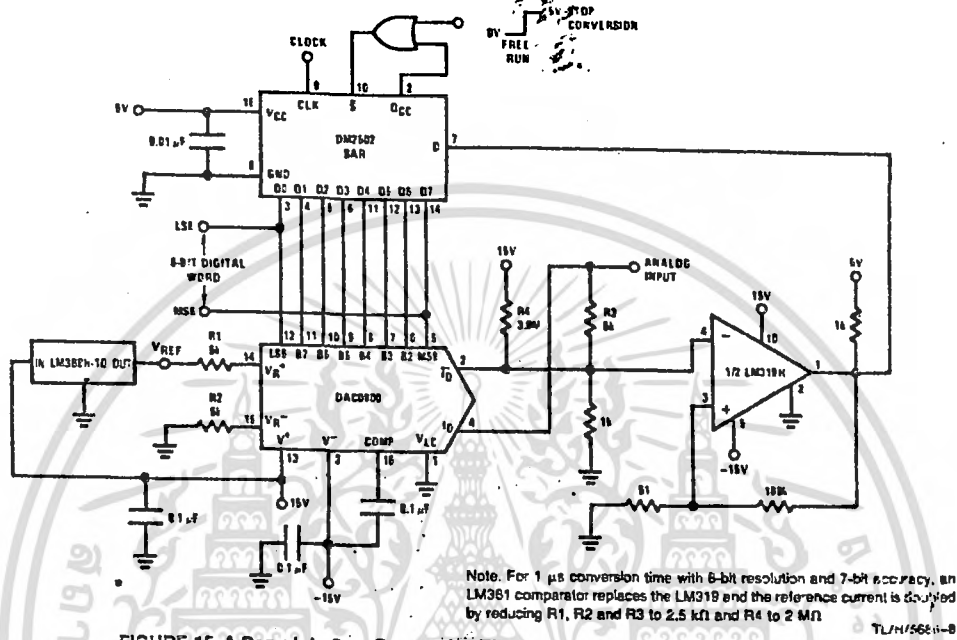


FIGURE 15. A Complete 2 μ s Conversion Time, 8-Bit A/D Converter (Note 4)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8255A OPERATIONAL DESCRIPTION

Mode Selection

There are three basic modes of operation that can be selected by the system software:

- Mode 0 - Basic Input/Output
- Mode 1 - Strobed Input/Output
- Mode 2 - Bi-Directional Bus

When the reset input goes "high" all ports will be set to the input mode (i.e., all 24 lines will be in the high impedance state). After the reset is removed the 8255A can remain in the input mode with no additional initialization required. During the execution of the system program any of the other modes may be selected using a single output instruction. This allows a single 8255A to service a variety of peripheral devices with a simple software maintenance routine.

The modes for Port A and Port B can be separately defined, while Port C is divided into two portions as required by the Port A and Port B definitions. All of the output registers, including the status flip-flops, will be reset whenever the mode is changed. Modes may be combined so that their functional definition can be "tailored" to almost any I/O structure. For instance: Group B can be programmed in Mode 0 to monitor simple switch closings or display computational results. Group A could be programmed in Mode 1 to monitor a keyboard or tape reader on an interrupt-driven basis.

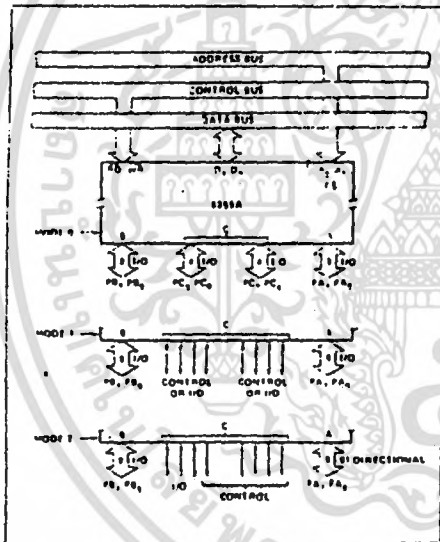


Figure 5. Basic Mode Definitions and Bus Interface

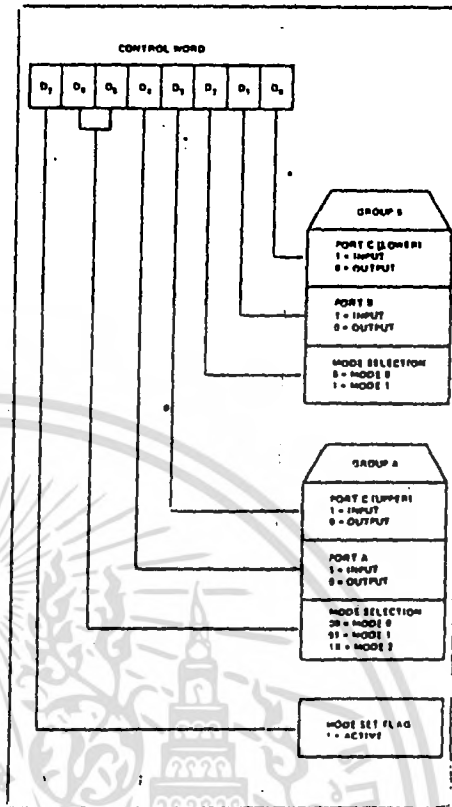


Figure 6. Mode Definition Format

The mode definitions and possible mode combinations may seem confusing at first but after a cursory review of the complete device operation a simple, logical I/O approach will surface. The design of the 8255A has taken into account things such as efficient PC board layout, control signal definition vs. PC layout and complete functional flexibility to support almost any peripheral device with no external logic. Such design represents the maximum use of the available pins.

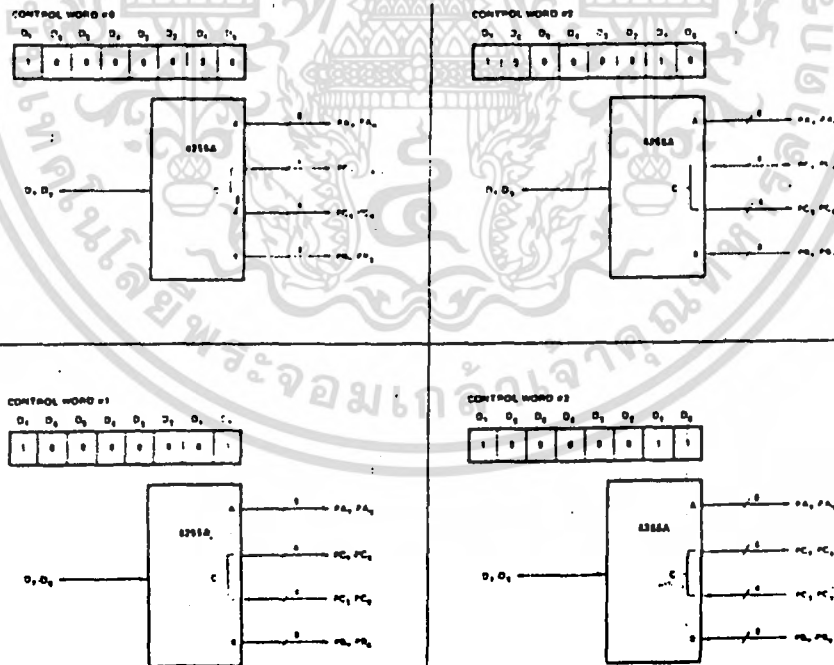
Single Bit Set/Reset Feature

Any of the eight bits of Port C can be Set or Reset using a single OUTPUT instruction. This feature reduces software requirements in Control-based applications.

MODE 0 Port Definition

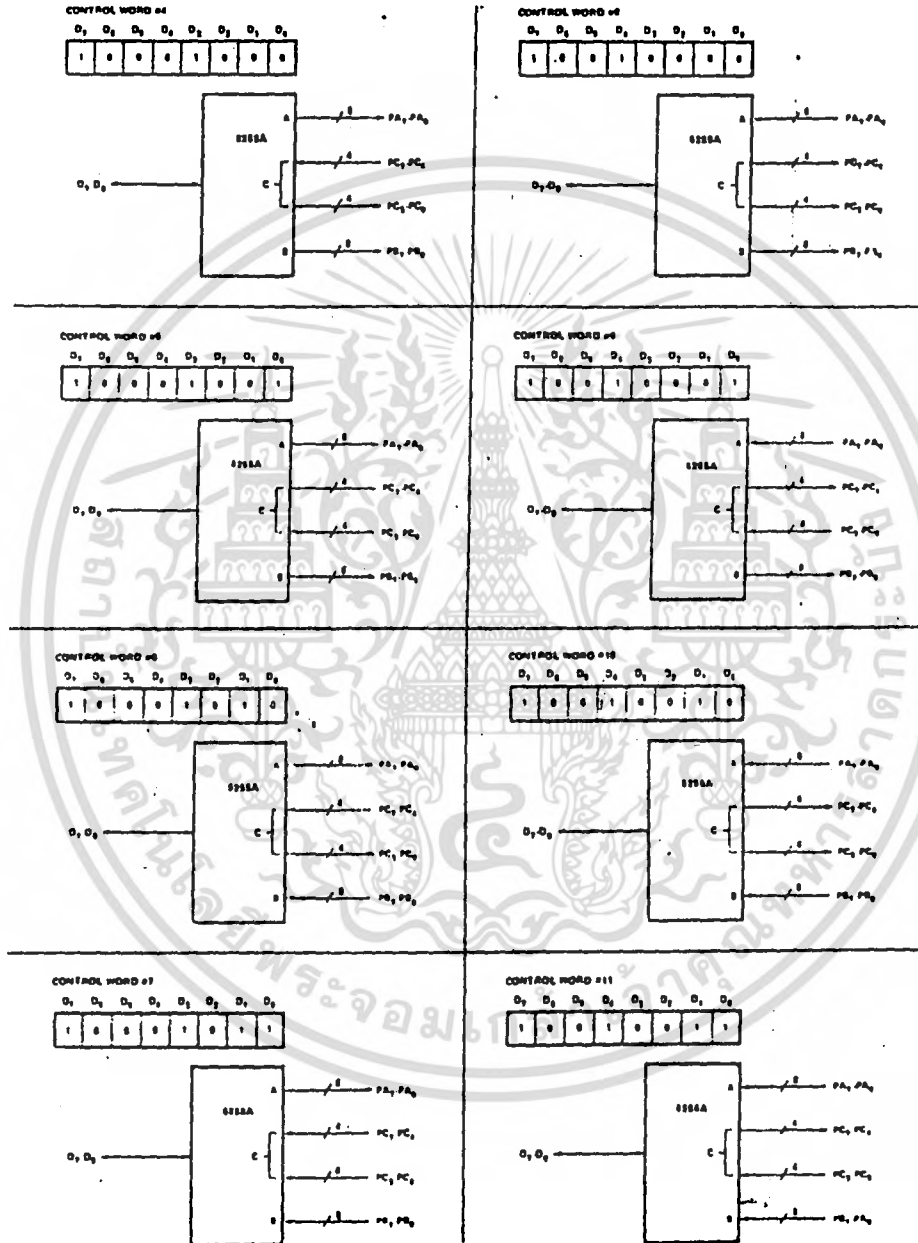
A		B		GROUP A			GROUP B	
D ₄	D ₃	D ₁	D ₀	PORT A	PORT C (UPPER)	#	PORT B	PORT C (LOWER)
0	0	0	0	OUTPUT	OUTPUT	0	OUTPUT	OUTPUT
0	0	0	1	OUTPUT	OUTPUT	1	OUTPUT	INPUT
0	0	1	0	OUTPUT	OUTPUT	2	INPUT	OUTPUT
0	0	1	1	OUTPUT	OUTPUT	3	INPUT	INPUT
0	1	0	0	OUTPUT	INPUT	4	OUTPUT	OUTPUT
0	1	0	1	OUTPUT	INPUT	5	OUTPUT	INPUT
0	1	1	0	OUTPUT	INPUT	6	INPUT	OUTPUT
0	1	1	1	OUTPUT	INPUT	7	INPUT	INPUT
1	0	0	0	INPUT	OUTPUT	8	OUTPUT	OUTPUT
1	0	0	1	INPUT	OUTPUT	9	OUTPUT	INPUT
1	0	1	0	INPUT	OUTPUT	10	INPUT	OUTPUT
1	0	1	1	INPUT	OUTPUT	11	INPUT	INPUT
1	1	0	0	INPUT	INPUT	12	OUTPUT	OUTPUT
1	1	0	1	INPUT	INPUT	13	OUTPUT	INPUT
1	1	1	0	INPUT	INPUT	14	INPUT	OUTPUT
1	1	1	1	INPUT	INPUT	15	INPUT	INPUT

MODE 0 Configurations

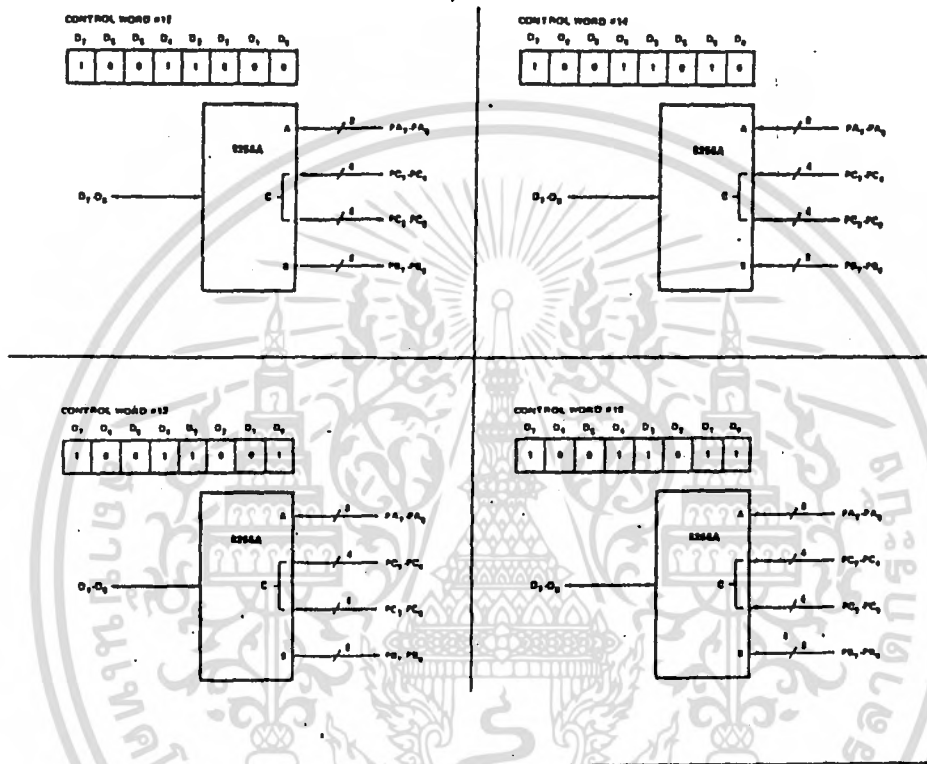


23*308-001

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



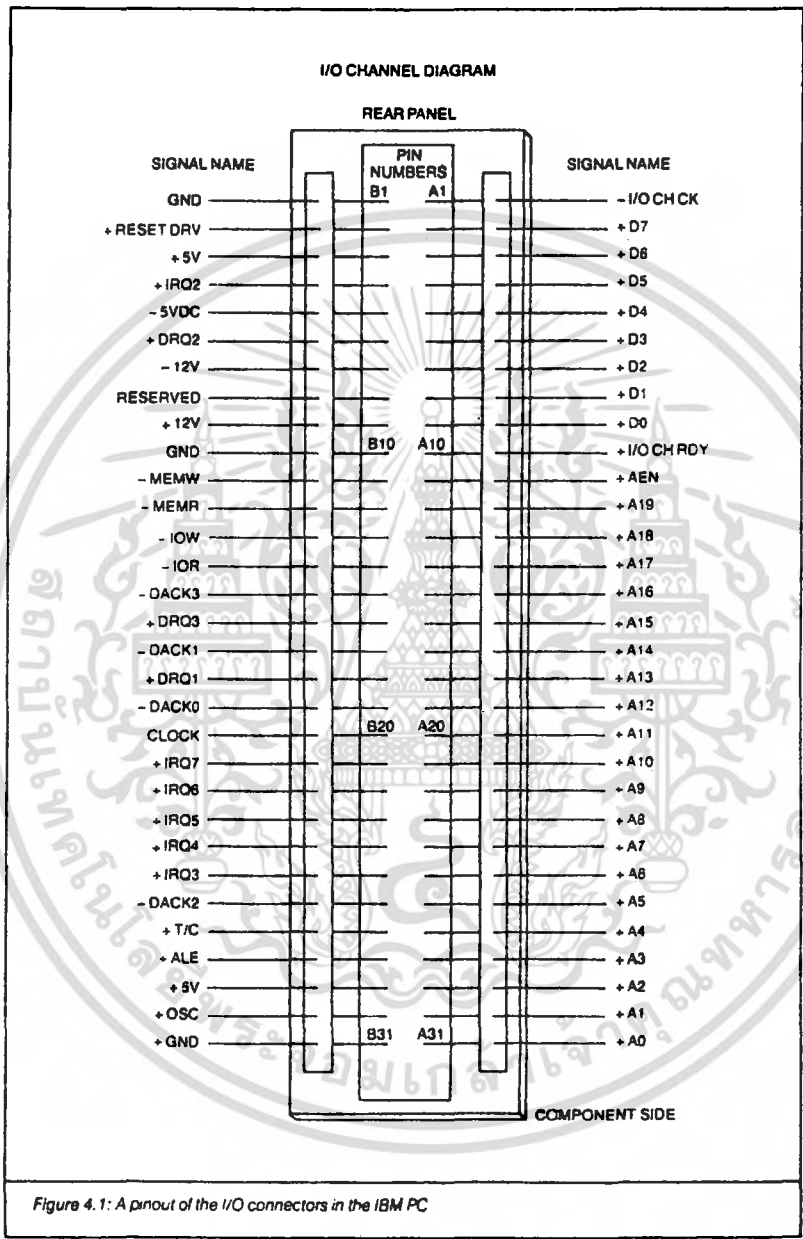
Operating Modes

MODE 1 (Strobed Input/Output). This functional configuration provides a means for transferring I/O data to or from a specified port in conjunction with strobes or "handshaking" signals. In mode 1, port A and Port B use the lines on port C to generate or accept these "handshaking" signals.

Mode 1 Basic Functional Definitions:

- Two Groups (Group A and Group B)
- Each group contains one 8-bit data port and one 4-bit control/data port.
- The 8-bit data port can be either input or output. Both inputs and outputs are latched.
- The 4-bit port is used for control and status of the 8-bit data port.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

APPENDIX 2
WIRE SIZE TABLE

S.N.	Met	SWG	AWG	Bare dia mm	Dia with Enam mm	Area of bare cond sq.mm	R/Km @20 deg C ohms	Wt. kg/km
1	0.07	-	-	0.07	0.086	0.003848	4480	0.0361
2	-	45	41	0.071	0.086	0.003973	4340	0.0369
3	0.08	-	40	0.08	0.097	0.00501	3441	0.0465
4	-	44	-	0.081	0.097	0.005189	3323	0.0481
5	0.09	-	39	0.09	0.107	0.006318	2729	0.0585
6	-	43	-	0.091	0.109	0.006567	2626	0.061
7	0.10	-	-	0.1	0.117	0.007854	2195	0.074
8	-	-	38	0.101	0.119	0.007967	2164	0.07
9	-	42	-	0.102	0.119	0.008107	2127	0.075
10	0.11	-	-	0.11	0.13	0.009503	1814	0.0869
11	-	41	-	0.112	0.132	0.00981	1758	0.0908
12	-	-	37	0.113	0.135	0.01005	1716	0.0931
13	0.12	-	-	0.12	0.14	0.01131	1524	0.1034
14	-	40	-	0.122	0.142	0.011675	1477	0.1079
15	-	-	36	0.127	0.147	0.01267	1361	0.1168
16	0.13	-	-	0.13	0.15	0.013273	1299	0.1215
17	-	39	-	0.132	0.152	0.0137	1258	0.1262
18	0.14	-	-	0.14	0.163	0.015394	1120	0.1416
19	-	-	35	0.142	0.165	0.01589	1085	0.1467
20	0.15	-	-	0.15	0.173	0.01767	975.6	0.1625
21	-	38	-	0.152	0.175	0.01824	945.2	0.1679
22	0.16	-	34	0.16	0.183	0.02014	856	0.1849
23	0.17	-	-	0.17	0.196	0.0227	759	0.2096
24	-	37	-	0.173	0.198	0.02343	735.9	0.2202
25	0.18	-	33	0.18	0.206	0.0254	678.8	0.2349
26	0.19	-	-	0.19	0.216	0.02835	608.1	0.2676
27	0.193	36	-	0.193	0.218	0.02927	589.1	0.2686
28	0.20	-	-	0.20	0.226	0.03142	548.8	0.2897
29	-	-	32	0.203	0.229	0.03243	531.6	0.297
30	-	35	-	0.213	0.241	0.03575	482.2	0.3281

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

S.N.	Met	SWG	AWG	Bare dia mm	Dia with Enam mm	Area of bare cond sq.mm	R/Km @20 deg C ohms	Wt. kg/km
31	0.22	-	-	0.22	0.249	0.03801	453.6	0.3516
32	-	-	31	0.227	0.254	0.04039	426.9	0.3676
33	0.23	-	-	0.23	0.262	0.04155	415.0	0.3847
34	-	34	-	0.234	0.264	0.04289	402.0	0.3932
35	0.25	-	-	0.25	0.279	0.04909	351.2	0.4453
36	-	33	30	0.254	0.287	0.05067	340.3	0.4650
37	0.27	-	-	0.27	0.302	0.05726	301.1	0.5204
38	-	32	-	0.274	0.307	0.0591	291.7	0.5408
39	-	-	29	0.286	0.323	0.06422	268.5	0.5931
40	-	31	-	0.295	0.33	0.06818	252.9	0.6245
41	0.30	-	-	0.30	0.335	0.07069	243.9	0.6455
42	-	30	-	0.315	0.351	0.07791	221.3	0.7121
43	0.32	-	28	0.32	0.358	0.08098	212.9	0.7367
44	-	29	-	0.345	0.384	0.09372	184.0	0.8559
45	0.35	-	-	0.35	0.389	0.09621	179.2	0.895
46	-	-	27	0.361	0.401	0.1021	168.8	0.9341
47	-	28	-	0.376	0.417	0.1110	155.3	1.014
48	0.38	-	-	0.38	0.422	0.1134	152.0	1.041
49	0.4	-	-	0.40	0.447	0.1257	137.2	1.157
50	-	-	26	0.405	0.45	0.1288	133.9	1.171
51	-	27	-	0.417	0.462	0.1363	126.5	1.245
52	0.45	-	-	0.45	0.498	0.159	108.4	1.45
53	-	-	25	0.455	0.503	0.1624	106.2	1.483
54	-	26	-	0.457	0.505	0.1642	105.0	1.499
55	0.5	-	-	0.5	0.554	0.1964	87.8	1.796
56	-	25	-	0.508	0.561	0.2027	85.1	1.851
57	-	-	24	0.511	0.564	0.2047	84.2	1.871
58	0.55	-	-	0.55	0.605	0.2376	72.6	2.174
59	-	24	-	0.559	0.612	0.2452	70.3	2.233
60	-	-	23	0.573	0.627	0.2582	66.8	2.357

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

S.N.	Met	SWG	AWG	Bare dia mm	Dia with Enam mm	Area of bare cond sq.mm	R/Km @20 deg C ohms	Wt. kg/km
61	0.6	-	-	0.6	0.655	0.2827	61.0	2.57
62	-	23	-	0.61	0.665	0.2919	59.1	2.655
63	-	-	22	0.644	0.701	0.3255	53.0	2.95
64	0.65	-	-	0.65	0.709	0.3318	52.0	3.218
65	0.7	-	-	0.7	0.759	0.3848	44.8	3.505
66	-	22	-	0.711	0.770	0.3973	43.4	3.607
67	-	-	21	0.723	0.782	0.4105	42.0	3.733
68	0.75	-	-	0.75	0.808	0.4418	39.0	4.000
69	0.8	-	-	0.8	0.861	0.5027	34.3	4.556
70	-	21	20	0.813	0.874	0.5189	33.2	4.702
71	0.85	-	-	0.85	0.914	0.5674	30.4	5.148
72	0.9	-	-	0.9	0.963	0.6362	27.1	5.743
73	-	-	19	0.912	0.975	0.6527	26.4	5.906
74	-	20	-	0.914	0.978	0.6567	26.3	5.939
75	0.95	-	-	0.95	1.016	0.7088	24.3	6.41
76	1.0	-	-	1.0	1.067	0.7854	21.95	7.07
77	-	19	-	1.016	1.082	0.8107	21.27	7.324
78	-	-	18	1.024	1.092	0.8231	20.95	7.435
79	1.1	-	-	1.1	1.17	0.9503	18.14	8.584
80	-	-	17	1.15	1.222	1.038	16.61	9.386
81	1.2	-	-	1.2	1.273	1.131	15.24	10.19
82	-	18	-	1.219	1.293	1.167	14.77	10.537
83	-	-	16	1.291	1.367	1.309	13.18	11.692
84	1.3	-	-	1.3	1.377	1.327	12.98	11.976
85	1.4	-	-	1.4	1.478	1.539	11.2	13.872
86	-	17	-	1.422	1.501	1.589	10.85	14.313
87	-	-	15	1.45	1.529	1.65	10.45	14.883
88	1.5	-	-	1.5	1.582	1.704	10.11	15.356
89	1.6	-	-	1.6	1.684	2.011	8.575	18.118
90	-	16	-	1.626	1.709	2.075	8.307	18.678

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

S.N.	Met	SWG	AWG	Bare dia mm	Dia with Eenam mm	Area of bare cond sq.mm	R/Km @20 deg C ohms	Wt. kg/km
91	-	-	14	1.628	1.712	2.081	8.285	18.758
92	1.8	-	-	1.8	1.892	2.545	6.775	22.93
93	-	15	13	1.829	1.92	2.627	6.564	23.64
94	2.0	-	-	2.0	2.096	3.142	5.488	28.24
95	-	14	-	2.032	2.129	3.243	5.317	29.15
96	-	-	12	2.053	2.149	3.309	5.211	29.74
97	-	-	11	2.304	2.408	4.172	4.136	37.48
98	-	13	-	2.337	2.441	4.289	4.02	38.56
99	2.5	-	-	2.5	2.611	4.909	3.512	44.07
100	-	-	10	2.588	2.7	5.261	3.277	47.26
101	-	12	-	2.642	2.756	5.48	3.146	49.22
102	-	-	9	2.906	3.028	6.632	2.6	60.0
103	-	11	-	2.946	3.068	6.818	2.529	61.0
104	3.0	-	-	3.0	3.119	7.069	2.439	63.0
105	-	10	-	3.251	3.383	8.302	2.077	74.0
106	-	-	8	3.264	3.396	8.366	2.061	75.0
107	3.5	-	-	3.5	3.637	9.621	1.792	86.0
108	-	9	-	3.658	3.8	10.51	1.641	94.0
109	-	-	7	3.665	3.807	10.55	1.634	95.0
110	4.0	-	-	4.0	4.155	12.57	1.372	113.0
111	-	8	-	4.064	4.219	12.97	1.329	116.0
112	-	-	6	4.115	4.27	13.3	1.297	119.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งาน 166 การศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

APPENDIX.3

TRANSFORMERS AND CHOKE LAMINATIONS

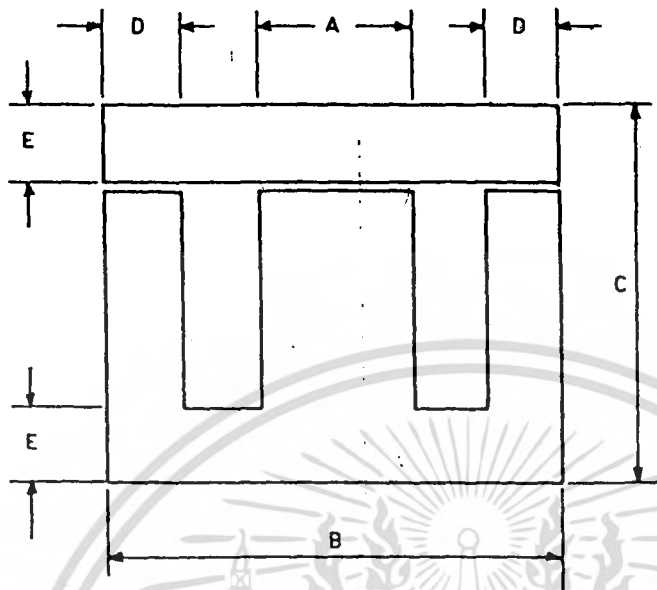
STANDARD TYPES

Type	Ref.	[refer fig A 3.1-3.2]							
No	Drg	A cm	B cm	C cm	D cm	E cm	Ac sq.cm	Aw sq.cm	Ap cm**4
17	A3.1	1.27	3.81	3.18	0.635	0.635	1.61	1.2	1.95
12A	,,	1.59	4.76	3.97	0.794	0.794	2.52	1.884	4.75
21	,,	1.59	5.08	5.398	0.794	0.794	2.52	3.32	8.36
10	,,	1.59	6.033	5.398	0.953	0.953	2.52	4.43	11.2
10A	,,	1.59	6.033	5.398	0.953	0.953	2.52	4.43	11.2
1	,,	1.673	6.429	5.715	0.794	0.794	2.789	6.543	18.2
74	,,	1.753	5.239	4.366	0.873	0.873	3.063	2.28	6.98
23	,,	0.905	5.175	4.763	0.953	0.953	3.63	2.72	9.88
11	,,	1.905	7.62	5.715	0.953	0.953	3.63	7.26	26.4
11A	,,	1.905	7.62	6.667	0.953	0.953	3.63	9.07	32.9
2	,,	1.905	7.62	7.623	0.953	0.953	3.63	10.89	39.52
30	,,	2.0	6	5	1.0	1.0	4.0	3.0	12.0
31	,,	2.223	6.668	5.356	1.11	1.11	4.94	3.71	18.3
45	,,	2.223	6.668	5.556	1.11	1.11	4.94	3.71	18.3
15	,,	2.54	7.62	6.35	1.27	1.27	6.45	4.84	31.2
44	,,	2.54	7.62	6.35	1.27	1.27	6.45	4.84	31.2
14	,,	2.54	8.41	6.67	1.35	1.27	6.45	6.55	42.2
4	,,	2.54	9.68	9.68	1.35	1.27	6.45	15.85	102.2
33	,,	2.8	8.4	7.0	1.4	1.4	7.84	5.88	46.1
3	,,	3.175	9.525	7.94	1.59	1.59	10.08	7.54	76.0
13	,,	3.175	10.16	8.89	1.27	1.27	10.08	14.11	142.3
4A	,,	3.334	10.48	8.73	1.67	1.67	11.12	10.26	114.0

contd.....

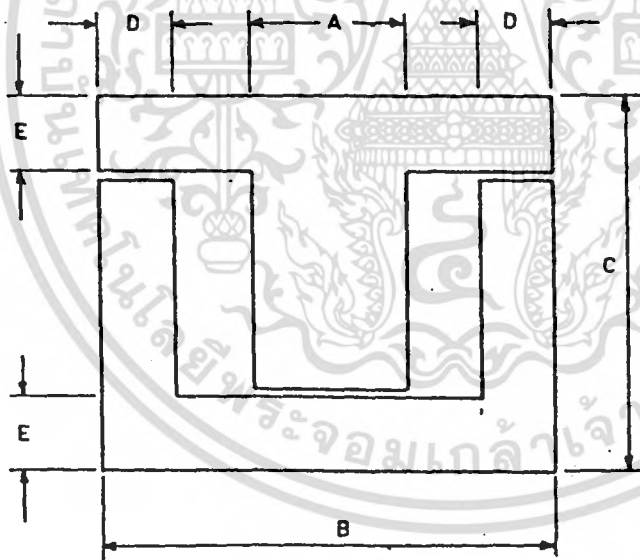
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Type	Ref.	[refer fig A 3.1-3.2]							
No	Drg	A cm	B cm	C cm	D cm	E cm	Ac sq.cm	Aw sq.cm	Ap cm**4
16	A3.1	3.81	11.43	9.53	1.905	1.905	14.5	10.89	158.0
5	,,	3.81	12.07	9.53	1.905	1.905	14.5	12.73	184.5
6	,,	3.81	12.7	11.43	1.905	1.905	14.5	19.35	280.8
7	,,	5.08	15.24	12.54	2.54	2.54	25.8	18.95	488.9
④	,,	5.08	15.24	12.7	2.54	2.54	25.8	19.35	499.5
8	,,	5.08	18.41	17.25	2.54	2.54	25.8	51.23	1322
34	A3.2	1.59	7.94	6.35	1.275	1.275	2.5	6.68	16.3
9	,,	2.223	8.26	6.35	1.11	0.794	4.4	9.1	44.9
9A	,,	2.223	8.26	6.35	1.11	1.11	4.9	7.9	38.9
4AX	,,	2.38	9.05	8.096	1.11	1.11	5.6	13.07	74.1
75	,,	2.54	10.16	8.57	1.275	1.275	6.5	15.26	98.4
35A	,,	3.81	15.87	13.34	1.905	1.905	14.5	39.34	570.4
8B	A3.1	7.62	23.50	19.69	3.81	3.81	58.1	65.52	3804
100	,,	10.17	35.56	25.4	5.08	5.08	103.2	116.1	11988



E AND I TYPE

FIG. A-3-1



I AND U TYPE

FIG. A-3-2

DIFFERENT TYPE OF STAMPINGS

เอกสารอ้างอิง

JAMES W. COFFRON, THE IBM PC CONNECTION

W.R. RUNYAN, Semiconductor Measurements and Instrument., PP.153-186, McGraw-Hill Kogakusha, Ltd., 1975.

บ.ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด, คู่มือไอซี CMOS 4000 SERIES., หจก.เอช-เอน การพิมพ์, 2528

บ.ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด, คู่มือไอซี TTL., หจก.นำอักษรการพิมพ์, 2529

เปรมจิตร วิสุทธศิริ. "พื้นฐานวงจรเอทดี ดีทูเอ" เซมิคอนดักเตอร์อิเล็กทรอนิกส์ 102(2523): หน้า 272-279.

เปรมจิตร วิสุทธศิริ. "พื้นฐานวงจรเอทดี ดีทูเอ" เซมิคอนดักเตอร์อิเล็กทรอนิกส์ 103(2523): หน้า 302-303.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้