



ปีการศึกษา 2531

การควบคุมอนุมัติของน้ำด้วยระบบคอมพิวเตอร์

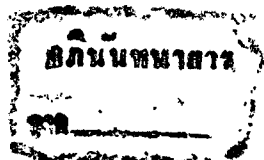
โดย

สุพจน์ วัฒนามาศย์ 28.1274

สมมาศ เลิศวัฒน์กุล 28.1305

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์ พรสุข เทศเจริญ



ปริญญาโทบริหารศึกษา 2531

ภาควิชา ระบบควบคุม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง

เรื่อง การควบคุมอุณหภูมิของน้ำด้วยระบบคอมพิวเตอร์

ผู้จัดทำ

1. สุพจน์ คุณามาตย์ 28.1274
2. สมมาศ เลิศวัฒนกุล 28.1305



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของ 023184 มีการนำไปใช้

## การควบคุมอุณหภูมิของน้ำด้วยระบบคอมพิวเตอร์

สุพจน์ คุณามาตย์

ลมมาศ เลิศวัฒนกุล

อาจารย์ พรสุข เทศเจริญ อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2531

บทคัดย่อ

ในปฏิญานิพนธ์ฉบับนี้เรียบเรียงขึ้นจากผลงานที่ได้จัดทำขึ้น เพื่อเป็นอุปกรณ์สำหรับใช้ในการทดลองควบคุมอุณหภูมิของน้ำด้วยคอมพิวเตอร์ โดยให้มีการรับรู้และเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของน้ำในระบบเป็นค่าศักดาไฟฟ้าด้วยวงจรรบริดจ์ ( BRIDGE CIRCUIT) ที่มีขดลวดต้านทานแปลงค่าตามอุณหภูมิ (RESISTIVE TEMPERATURE DETECTOR ; RTD) ประกอบกับวงจรถยายสัญญาณต่าง (DIFFERENTIAL AMPLIFIER) และวงจรกรองความถี่ (LOW-PASSED FILTER) ซึ่งศักดาไฟฟ้าที่รับรู้จากระบบจะถูกส่งผ่านไปยังคอมพิวเตอร์ เพื่อทำการเปรียบเทียบกับค่าที่ต้องการและคำนวณตามสมการการประมาณค่า PID (PROPORTIONAL INTEGRATION DERIVATIVE) โดยติดต่อผ่านทางวงจรแปลงสัญญาณต่อเนื่องเป็นสัญญาณดิจิทัล (ANALOG TO DIGITAL CONVERTER ; A/D) และวงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณต่อเนื่อง (DIGITAL TO ANALOG CONVERTER ; D/A) แล้วนำข้อมูลที่คำนวณได้มาผ่านวงจรพัลส์วิตที่มอดูเลชัน (PULSE WIDTH MODULATION ; PWM) เพื่อไปกระตุ้นให้โซลิดสเตทรีเลย์ (SOLID STATE RELAY ; SSR) จ่ายพลังงานแก่ขดลวดความร้อนมากหรือน้อยตามข้อมูลจากคอมพิวเตอร์ เป็นอันครบกระบวนการในแต่ละรอบ ซึ่งระบบควบคุมทั้งหมดจะทำงานร่วมกันไปจนกระทั่งได้อุณหภูมิตามค่าที่โปรแกรมไว้ ผลงานทั้งหมดที่ได้จัดทำขึ้นมานี้ จะเป็นแนวทางให้นักศึกษาภาควิชาระบบควบคุมได้เข้าใจกิจการงานของระบบควบคุมอุณหภูมิด้วยคอมพิวเตอร์ ตลอดจนผลจากการควบคุมของระบบเพื่อเป็นแนวทางให้เกิดการพัฒนาระบบได้ในอนาคต หรือนำหลักการนี้ไปเป็นแนวทางในการประยุกต์ใช้ควบคุมระบบอื่น ๆ ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## WATER TEMPERATURE CONTROLLED BY COMPUTER

SUPHOT KUNAMART

SOMMAS LERTWATANAKUL

PONSUK TESCHAREARN ADVISOR

### ABSTRACT

This project is a computer application on water temperature control system. The sensor is a Resistive Temperature Detective (RTD) that vary its resistance by contacted temperature ,so the bridge circuit composes of RTD will generate each voltage in each temperature. This voltage is amplified and decorated by Diffential Amplifier and Low-passed Filter circuit. The measured signal transmit to the computer by Analog to Digital circuit , and the computer compares with the set-point and calculate in PID equation ,then sends the calculated -digital signal back to the system by Digital to Analog circuit. The control signal is changed to be the pulse signal by Pulse Width Modulation technique. This pulse trigs Solid State Relay,that performs like a power-valve ,to let the heater heat the water in the process,depends on the control signal.The project will introduce the students to know about the basic of the computer control system.They can apply this basic on controlling another system in the future.

## สารบัญ

บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	2
2.1 บล็อกไคโดยแกรมของระบบ	2
2.2 สมการ PID	2
2.3 การคำนวณสมการ PID ในระบบดิจิทัล	7
2.4 วิธีการประมาณค่าของซีเกลอร์-นิโคลส์	9
บทที่ 3 การคำนวณและการสร้าง	11
3.1 ฮาร์ดแวร์	11
3.2 ซอฟต์แวร์	29
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง	37
4.1 การหาคุณลักษณะของกระบวนการ	37
4.2 การหาพารามิเตอร์ PID ที่เหมาะสม	41
บทที่ 5 สรุป	45
กิตติกรรมประกาศ	46
หนังสืออ้างอิง	47

บทที่ 1

บทนำ

ในปัจจุบัน ระบบดิจิทัลคอมพิวเตอร์ (Digital Computer System) ได้มีการพัฒนาขึ้นอย่างรวดเร็ว มีความสามารถสูง ทำให้สามารถควบคุมระบบที่ซับซ้อนได้ อีกทั้งยังมีการพัฒนาให้ก้าวหน้าได้อย่างรวดเร็ว กล่าวคือสามารถเพิ่มสมรรถภาพของการควบคุมเพื่อรองรับการขยายตัวของระบบที่จะควบคุมได้ในอนาคต

เนื่องจากความก้าวหน้าอย่างรวดเร็วของเทคโนโลยี VLSI (Very Large-Scale Integration) ทำให้คอมพิวเตอร์มีขนาดเล็กลงและยังมีราคาถูกด้วย ทำให้สามารถได้ผลตอบแทนสูงในขณะที่มีค่าใช้จ่ายต่ำลง ในงานของวิศวกรรมระบบควบคุมในปัจจุบันคอมพิวเตอร์จึงมีบทบาทมากขึ้น มีการนำคอมพิวเตอร์มาใช้งานในด้านการจำลองและวิเคราะห์ระบบควบคุมที่ซับซ้อน (Simulation field) และยังใช้ในงานด้านคำนวณและควบคุมระบบโดยตรง (Computation and Control) ด้วย

จากข้อดีของระบบคอมพิวเตอร์ที่ได้กล่าวมาข้างต้น จึงเป็นการสมควรที่จะให้นักศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิศวกรรมระบบควบคุม ได้มีการศึกษาและปฏิบัติงานควบคุมที่ใช้ระบบดิจิทัลคอมพิวเตอร์เป็นตัวควบคุม ปฏิภาณนิพนธ์นี้ ได้จัดทำผลงานที่มีการควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์ โดยเลือกที่จะให้เป็นระบบควบคุมอุณหภูมิซึ่งอุณหภูมิเป็นคุณสมบัติที่มีลักษณะการหน่วงของเวลา (Delay time) และมีคุณสมบัติความจุ (Capacitance) อันจะเป็นตัวอย่างที่ดีในการศึกษาด้านการควบคุมกระบวนการ (Process control) ไปด้วยในตัว นักศึกษาที่ทำการทดลองจะได้ทราบผลการทดลองจากระบบจริงนอกเหนือไปจากทฤษฎีอันจะทำให้เกิดความกระจ่างในวิชาการมากขึ้นและยังอาจเป็นแนวทางในการพัฒนาให้ระบบควบคุมได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น หรืออาจนำไปประยุกต์ใช้ในงานควบคุมด้านอื่นได้ต่อไปในอนาคต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและหลักการ

#### 2.1 บล็อกไดอะแกรม ของระบบ (Block diagram)

จากรูปที่ 2.1 จะพิจารณาการทำงานของระบบทั้งหมดในแต่ละรอบ Loop) ได้ดังนี้

- ก) วงจรบริดจ์ ที่มี RTD เป็นตัวรับรู้ (Sensor) จะรับรู้อุณหภูมิของน้ำในกระบวนการแล้วแปลงค่าเป็นศักดาไฟฟ้า จากนั้นจะถูกขยายด้วยวงจรขยายผลต่างและกำจัดสัญญาณรบกวนด้วยวงจรกรองความถี่ วงจรทั้งหมดนี้เรียกว่า "ทรานสมิตเตอร์ (Transmitter)"
- ข) สัญญาณศักดาไฟฟ้าจาก ก) จะผ่านเข้าไปในคอมพิวเตอร์โดยผ่านทางวงจรแปลงสัญญาณต่อเนื่องเป็นสัญญาณดิจิทัล
- ค) คอมพิวเตอร์ (ใช้แบบ NEC-PC9801 ขนาด 16 บิต) จะรับเอาค่าสัญญาณดิจิทัลจาก ข) มาทำการเปรียบเทียบกับค่าที่ต้องการ (Set point) และคำนวณตามสมการ PID ที่ได้โปรแกรมเอาไว้
- ง) สัญญาณดิจิทัลที่คอมพิวเตอร์คำนวณแล้วจะผ่านวงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณต่อเนื่องซึ่งจะกลับเป็นค่าศักดาไฟฟ้าอีกครั้งเรียกว่า "สัญญาณควบคุม"
- จ) สัญญาณควบคุมถูกแปลงเป็นสัญญาณพัลส์ด้วยวงจรพัลส์วิดท์มอดูเลชัน และส่งไปกระตุ้นโซลิดสเตทรีเลย์ เพื่อทำหน้าที่คล้ายเป็นวาล์วจ่ายพลังงานไฟฟ้าแก่ชุดลดความร้อน วงจรในส่วนนี้เรียกว่า "แอคทูเอเตอร์ (Actuator)"
- ฉ) ชุดลดความร้อนเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าที่ได้รับเป็นพลังงานความร้อนและถ่ายเทสู่น้ำในกระบวนการเป็นขั้นตอนสุดท้าย

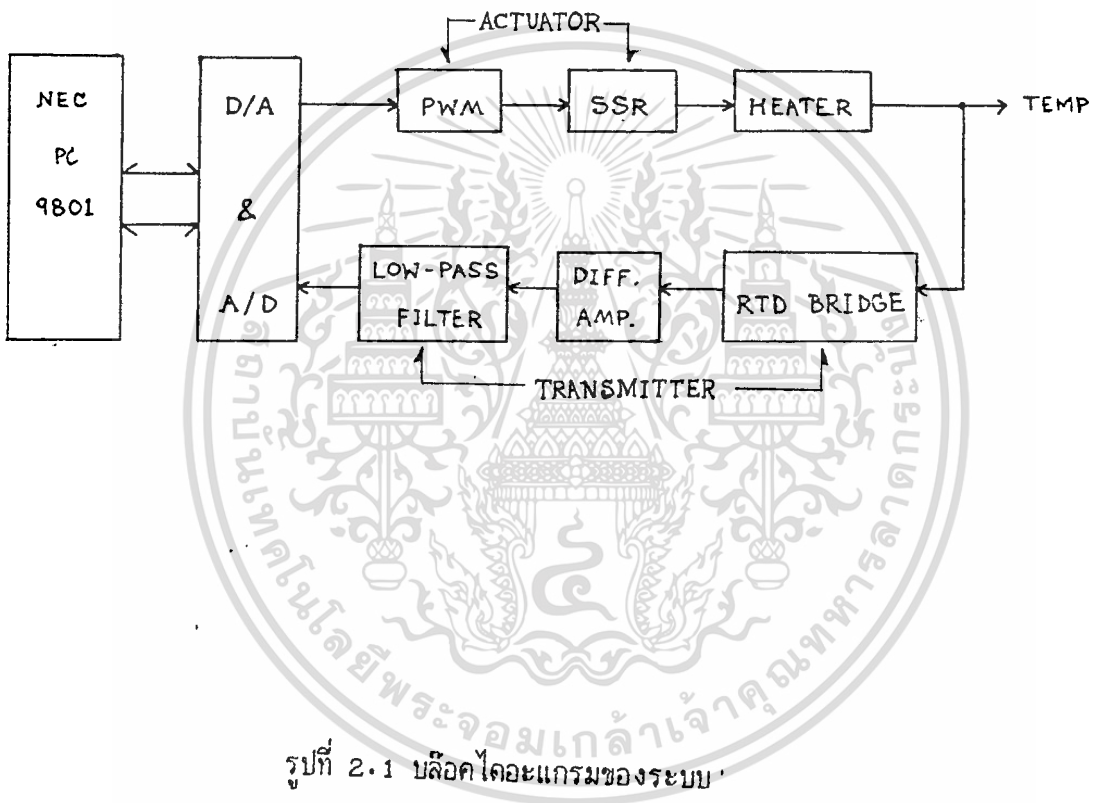
ระบบทั้งหมดจะทำงานตามขั้นตอน ก) ถึง ฉ) หลายรอบจนกระทั่งได้อุณหภูมิของน้ำในกระบวนการ

คงที่ตามที่ต้องการซึ่งโปรแกรมไว้ในคอมพิวเตอร์

#### 2.2 สมการ PID

เป็นการรวมของสมการควบคุม 3 แบบ ได้แก่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 บล็อกไดอะแกรมของระบบ

2.2.1) P (Proportional)

การควบคุมในลักษณะนี้ขนาดสัญญาณควบคุมจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับผลต่างระหว่างค่าที่วัดได้จากระบบกับค่าที่ต้องการ เรียกผลต่างนี้ว่า "ค่าผิดพลาด (Error)." ดังสมการ

$$C(t) = K_p e(t) + B$$

โดย  $C(t)$  = ขนาดสัญญาณควบคุมที่เวลา  $t$

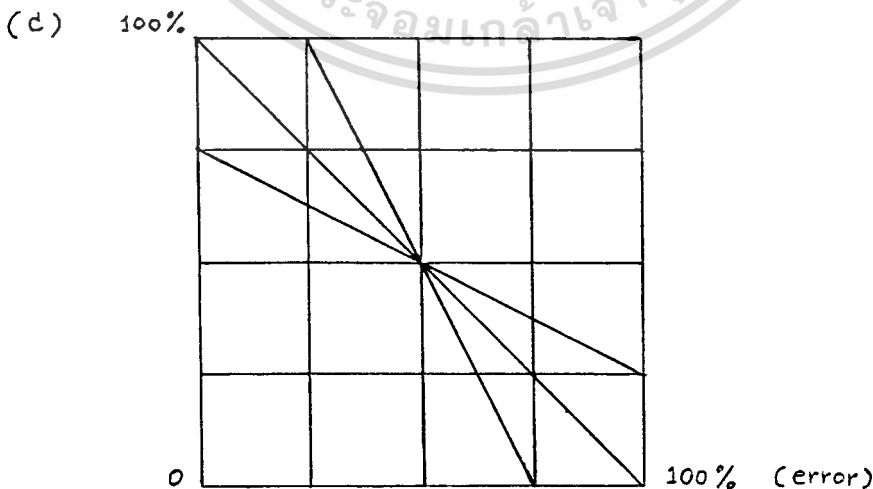
$K_p$  = อัตราขยาย (Gain proportional)

$e(t)$  = ค่าผิดพลาดที่เวลา  $t$

$B$  = ขนาดสัญญาณควบคุมเมื่อ  $e(t) = 0$

รูป 2.2 แสดงขนาดของสัญญาณควบคุมที่ค่าผิดพลาดต่างๆ จะพบว่าขนาดสัญญาณควบคุมจะสูงสุดที่ 100% ดังนั้นถ้าสัญญาณควบคุมเป็น 100% แล้วถึงจะเพิ่มค่าผิดพลาดก็ไม่มีผลต่อสัญญาณควบคุมและถ้าสัญญาณควบคุมมีค่าต่ำสุดที่ 0% แล้วสัญญาณควบคุมจะแปรตามค่าผิดพลาดในช่วงหนึ่งๆ เท่านั้น เรียกช่วงนี้ว่า PB (Proportional Band) ซึ่งมีค่าเท่ากับส่วนกลับของ  $K_p$  เมื่อค่าผิดพลาดเป็น 0 สัญญาณควบคุมจะมีขนาดเท่ากับ -PB ซึ่งจะใช้ได้ในสภาวะหนึ่งแต่เมื่อมีการเปลี่ยนแปลง (Load change) หรือมีการรบกวน (Disturbance) ค่า PB นี้จะต้องแก้ไข

การควบคุมตามสมการ P จะได้ค่าผิดพลาดไม่เท่ากับ 0 เรียกค่าผิดพลาดนี้ว่า "ออฟเซต (Off-set)"



รูป 2.2 สัญญาณควบคุมตามสมการ Proportional

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2) I (Integral) .

การควบคุมลักษณะนี้ ขนาดสัญญาณควบคุมจะขึ้นกับลักษณะ เดิมของค่าผิดพลาดจากระบบ และค่าที่ตั้งไว้มากกว่าขนาดของความผิดพลาดเอง ลักษณะเดิมนี้อาจวัดจากพื้นที่ใต้กราฟของกราฟ ระหว่างค่าผิดพลาดและเวลา นั่นคือขนาดของสัญญาณควบคุมจะเป็นอัตราส่วนกับพื้นที่ใต้กราฟตั้งแต่ เริ่มต้นจนถึงเวลาปัจจุบันเป็นไปตามสมการดังนี้

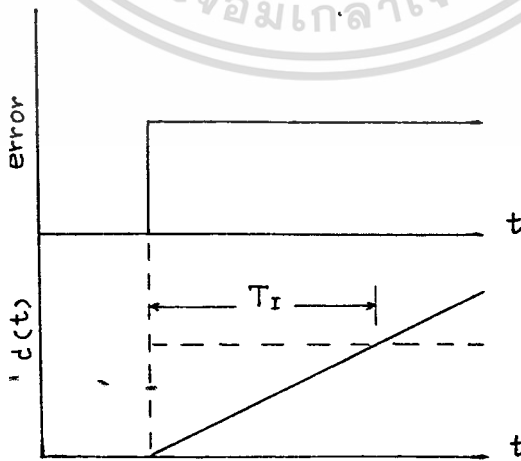
$$C(t) = 1/T_i \int_0^t e(t) dt$$

โดย  $C(t)$  = ขนาดสัญญาณควบคุมที่เวลา  $t$

$T_i$  = ค่าคงที่ (Integral time)

$e(t)$  = ค่าผิดพลาดที่เวลา  $t$

พิจารณาตามรูป 2.3 จะเห็นว่าการควบคุมแบบนี้ขึ้นกับลักษณะ เดิมของค่าผิดพลาดจึง เป็นไปได้ที่ขณะที่ค่าผิดพลาดเป็น 0 แล้ว แต่ยังมี การเปลี่ยนแปลงของสัญญาณควบคุม เนื่องจากยังมี ลักษณะ เดิมของค่าผิดพลาดอยู่ จึงทำให้สามารถแก้ไขขนาดสัญญาณควบคุมเมื่อค่าผิดพลาดเป็น 0 ให้มีค่าเหมาะสมแก่ระบบได้ถึงแม้จะมีการรบกวนระบบก็ตามนั้นคือสามารถกำจัดค่าออฟเซตให้หมด ไปได้แต่จะมีข้อเสียที่ขณะเริ่มต้นทำงานจะเกิด "โอเวอร์ชูต(Oven-shoot)" สูงมากไม่เหมาะ ที่จะทำงานตัวเดียวแต่ควรใช้ร่วมกับการควบคุมแบบอื่น



รูป 2.3 ลักษณะควบคุมตามสมการ Integral

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.3) D (Derivative)

การควบคุมลักษณะนี้ ขนาดของสัญญาณควบคุมจะขึ้นกับอัตราการเปลี่ยนแปลงของค่าผิดพลาดในขณะนั้น จะไม่ขึ้นกับขนาดค่าผิดพลาดเลยดังนั้นจึงเป็นไปได้ที่ค่าผิดพลาดจะเป็น 0 ในขณะที่สัญญาณควบคุมมีค่า เป็นไปตามสมการ

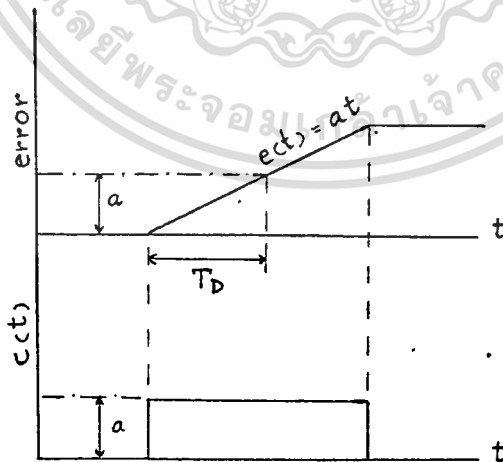
$$C(t) = T_d \left[ \frac{de(t)}{dt} \right]$$

โดย  $C(t)$  = สัญญาณควบคุมที่เวลา  $t$

$T_d$  = ค่าคงที่ (Derivative time)

$e(t)$  = ค่าผิดพลาดที่เวลา  $t$

จากรูป 2.4 จะเห็นว่าการควบคุมแบบนี้ ถ้าหากไม่มีการเปลี่ยนแปลงของค่าผิดพลาดก็จะมีสัญญาณควบคุม จึงจะต้องใช้ร่วมกับการควบคุมแบบอื่นเสมอ แต่มีข้อดีในช่วงการเริ่มต้นควบคุม (Transient)



รูป 2.4 สัญญาณควบคุมตามสมการ Derivative

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะเห็นว่าสมการ PID จะรวมเอาข้อดีของการควบคุมทั้ง 3 แบบที่กล่าวมาจึงเป็นการควบคุมที่ให้ประสิทธิภาพสูงสุดซึ่งจะมีรูปแบบสมการดังนี้

$$m(t) = K_p \{ e(t) + 1/T_i \int_0^t e(t) dt + T_d [de(t)/dt] \}$$

โดย  $m(t)$  = สัญญาณควบคุมที่เวลา  $t$

$K_p$  = อัตราขยาย (Proportional gain)

$T_i$  = ค่าคงที่ (Integral time)

$T_d$  = ค่าคงที่ (Derivative time)

$e(t)$  = ค่าผิดพลาดที่เวลา  $t$

### 2.3 การคำนวณสมการ PID ในระบบดิจิตอล

ในระบบดิจิตอลจะมีการสุ่มตัวอย่าง (Sample) ค่าตัวแปรของระบบมาทำการคำนวณโดยมีช่วงเวลาการสุ่ม (Sampling time) คงที่ ดังนั้นการคำนวณตามสมการ PID ในระบบดิจิตอลจะทำได้ทำในทุกช่วงเวลา  $T_s$  เท่านั้น ไม่ได้ทำแบบต่อเนื่อง จึงต้องแปลงสมการ PID เพื่อโปรแกรมในระบบดิจิตอลต่อไป โดยจะแยกพิจารณาสมการดังนี้

#### 2.3.1) สมการอินทิกรัล (I)

$$C(t) = \int_0^t e(t) dt$$

พิจารณารูป 2.5 พบว่าค่า  $C(t)$  ก็คือพื้นที่ใต้กราฟนั่นเอง ซึ่งถ้าแบ่งช่วงเวลาออกเป็นช่วงเล็กๆ ช่วงละ  $T_s$  จะสามารถประมาณพื้นที่ดังกล่าวได้ด้วยผลรวมของผลคูณระหว่างค่าผิดพลาดที่เวลา  $T_s$  ใดๆกับค่าคงที่  $T_s$  หรืออธิบายดังสมการ

$$e(t) = T_s e_0 + T_s e_1 + T_s e_2 + \dots + T_s e_h \quad ; \quad h=t/T_s$$

$$= T_s \sum_{i=0}^h e_i \dots \dots \dots (2.3.1)$$

โดย  $T_s$  = ค่าเวลาสุ่ม

$e_i$  = ค่าผิดพลาดที่เวลาสุ่มลำดับที่  $i$

#### 2.3.2) สมการ Derivative (D)

$$C(t) = de(t)/dt$$

พิจารณารูป 2.6 พบว่าค่า  $C(t)$  คือผลต่างระหว่างค่าผิดพลาดที่ช่วงเวลาเล็กๆ ( $dt$ ) ค่าหนึ่งหารด้วยค่าของช่วงเวลานั้น ซึ่งสามารถแทนค่าของช่วงเวลาเล็กๆนี้ได้ด้วยค่าของ  $T_s$

ดังนั้นจะได้ว่า

$$de(t)/dt = [e(k) - e(k-1)] / T_s \dots\dots\dots(2.3.2)$$

พิจารณาสมการ PID

$$m(t) = K_p \left\{ e(t) + 1/T_i \int_0^t e(t)dt + T_d [de(t)/dt] \right\}$$

แทนค่าจากสมการ (2.3.1) และ (2.3.2) จะได้

$$m(k) = K_p \left\{ e(k) + 1/T_i [T_s \sum_{i=0}^k e_i] + T_d [e(k) - e(k-1)] / T_s \right\}$$

$$m(k-1) = K_p \left\{ e(k-1) + 1/T_i [T_s \sum_{i=0}^{k-1} e_i] + T_d [e(k-1) - e(k-2)] / T_s \right\}$$

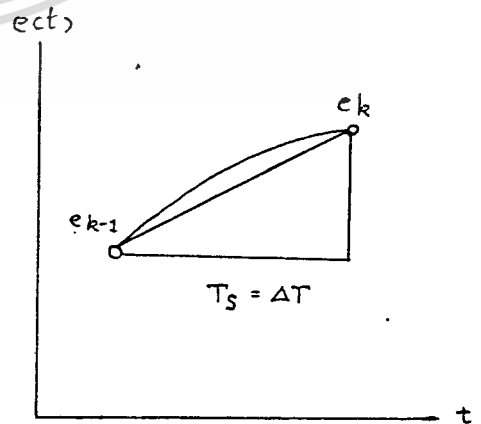
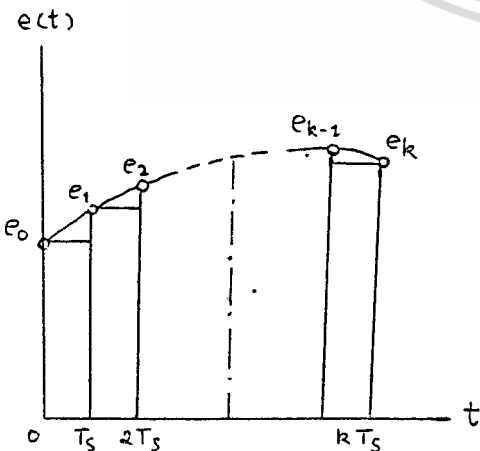
$$\begin{aligned} m(k) - m(k-1) &= K_p \left\{ e(k) + T_s/T_i e(k) + T_d/T_s e(k) - T_d/T_s e(k-1) - e(k-1) \right. \\ &\quad \left. - T_d/T_s e(k-1) + T_d/T_s e(k-2) \right\} \\ &= K_p \left\{ [1 + (T_s/T_i) + (T_d/T_s)] e(k) - [1 + (2T_d/T_s)] e(k-1) \right. \\ &\quad \left. + [T_d/T_s] e(k-2) \right\} \end{aligned}$$

ดังนั้น  $m(k) = m(k-1) + \alpha e(k) + \beta e(k-1) + \gamma e(k-2)$

โดย  $\alpha = K_p [1 + (T_s/T_i) + (T_d/T_s)]$

$$\beta = -K_p [1 + 2(T_d/T_s)]$$

$$\gamma = K_p (T_d/T_s)$$



รูปที่ 2.5

รูปที่ 2.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาติให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



## 2.4 วิธีการประมาณค่าของซีเกลอร์-นิโคลส์ (Ziegler-Nichols)

ในการควบคุมตามสมการ PID จำเป็นจะต้องหาพารามิเตอร์  $K_p, T_i, T_d$  ให้เหมาะสมกับกระบวนการ เพื่อให้การควบคุมเป็นไปอย่างถูกต้องและมีประสิทธิภาพ ซึ่งพารามิเตอร์เหล่านี้จะหาได้ต่อเมื่อทราบทรานสเฟอ์ฟังก์ชัน (Transfer function) ของกระบวนการเสียก่อน แต่การจะหาทรานสเฟอ์ฟังก์ชันของกระบวนการ (ในที่นี้คือกระบวนการต้มน้ำ) จริงๆ นั้น เป็นไปได้ยากมาก เพราะจะมีตัวแปรกระบวนการมากมาย ดังนั้นจึงใช้ทฤษฎีการประมาณค่าของซีเกลอร์-นิโคลส์ ซึ่งจะประมาณทรานสเฟอ์ฟังก์ชันของระบบเหลือเพียง

$$T = (r/S) e^{-Ls} P$$

โดย  $T$  = เอาท์พุทของกระบวนการ

$R$  = อินพุทที่จ่ายให้กระบวนการ

$r$  = อัตราการเปลี่ยนแปลงเอาท์พุทต่อเวลา

$L$  = เวลาหน่วงในหน่วยวินาที

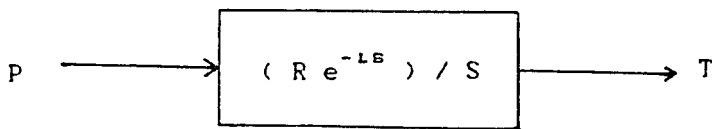
ซึ่งทรานสเฟอ์ฟังก์ชันนี้จะใกล้เคียงกับกระบวนการต้มน้ำพอสมควร จึงพอจะใช้ได้ในการหาค่าพารามิเตอร์เริ่มต้น โดยให้อินพุท ( $P$ ) คือพลังงานที่จ่ายจากขดลวด และเอาท์พุท ( $T$ ) คืออุณหภูมิของน้ำในกระบวนการ

รูปที่ 2.7.1 จะแสดงบล็อกไดอะแกรมของระบบนี้ และรูป 2.7.2 แสดงผลตอบสนองขณะไม่มีการควบคุม (Opened loop) ซึ่งจะสามารถหาค่า  $r$  และ  $L$  ได้จากการทดลองจากกระบวนการจริง ๆ

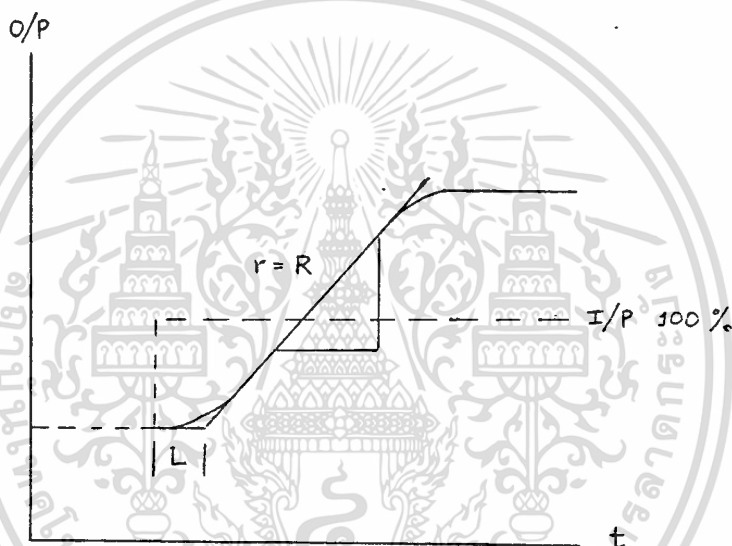
ให้  $R = r /$  เปอร์เซนต์ของอินพุทที่จ่ายให้โดยไม่มีการควบคุม

จากทฤษฎีนี้จะประมาณค่าพารามิเตอร์  $K_p, T_i, T_d$  เพื่อจะได้ผลตอบสนองเมื่อมีการควบคุม (Closed loop) ได้ดังนี้

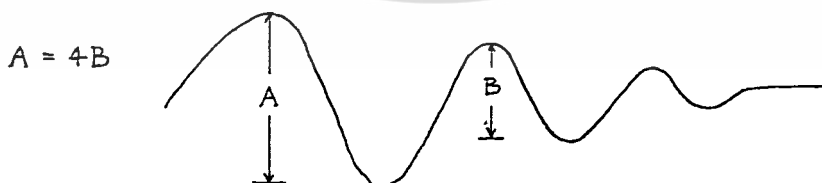
mode	$K_p$	$T_i$	$T_d$
P	$1/RL$	-	-
PI	$0.9/RL$	$3.3L$	-
PID	$1.2/RL$	$2L$	$0.5L$



รูป 2.7.1 บล็อกโดยแกรม



รูป 2.7.2 ผลตอบสนองขณะไม่มีการควบคุม



รูป 2.7.3 ผลตอบสนองขณะมีการควบคุม

รูปที่ 2.7 ทฤษฎีการประมาณค่า PID ของซีเกลอร์-นิโคลส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### บทที่ 3

#### การคำนวณและการสร้าง

ในปฏิยานิพนธ์นี้สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วนคือฮาร์ดแวร์ (Hardware) และ ซอฟต์แวร์ (Software) ซึ่งจะกล่าวโดยละเอียดดังนี้

#### 3.1 ฮาร์ดแวร์

ฮาร์ดแวร์ คือ กระบวนการที่ต้องการควบคุมและอุปกรณ์เชื่อมโยง (INTERFACE) ระหว่างคอมพิวเตอร์และกระบวนการที่ต้องการควบคุม จากรูปที่ 3.1 จะมีส่วนต่าง ๆ ของฮาร์ดแวร์ดังนี้

3.1.1 ถังน้ำ

3.1.2 ตัวรับรู้ RTD.

3.1.3 วงจรขยายและปรับปรุงสัญญาณ

3.1.4 วงจรกรองสัญญาณรบกวน

3.1.5 วงจรแปลงสัญญาณเพื่อติดต่อกับคอมพิวเตอร์

3.1.6 วงจรแอกทูเอเตอร์

3.1.7 ขดลวดความร้อน

สามารถอธิบายวิธีการสร้างและคำนวณของแต่ละวงจรได้ดังนี้

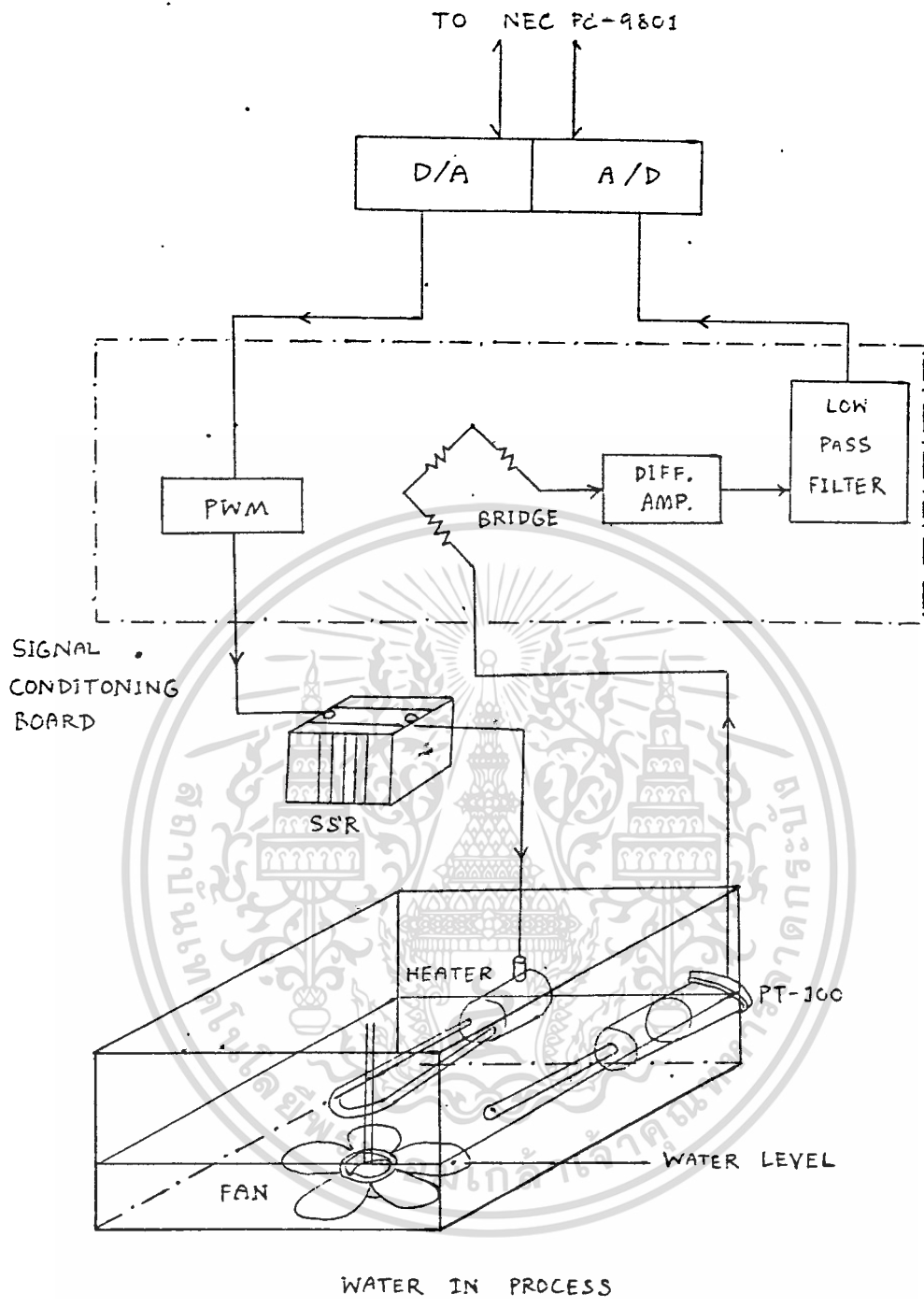
3.1.1 ถังน้ำ มีลักษณะและอุปกรณ์ที่ติดตั้งด้วย ดังรูปที่ 3.1 คือประกอบด้วยมอเตอร์เป็นตัวขับใบพัดเพื่อกวนน้ำให้เกิดการไหลวน ทำให้ขดลวดความร้อนจ่ายความร้อนได้ทั่วถึง

3.1.2 ตัวรับรู้ RTD เป็นค่าความต้านทานที่แปรค่าได้ตามอุณหภูมิโดยมาจากหลักการที่ว่า "ค่าความต้านทานของโลหะบริสุทธิ์ (PURE METALS) จะเปลี่ยนค่าเป็นอัตราส่วนกับอุณหภูมิเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลง" โลหะที่ใช้ในการตรวจจับนั้นมีทองแดง นิกเกิล(Nickle) และแพลตตินัม (Platinum) โดยความต้านทานของแต่ละอุณหภูมิสามารถหาได้โดย

$$R_t = R_0(1 + \alpha T)$$

เมื่อ  $R_t$  = ค่าความต้านทานเมื่ออุณหภูมิ  $T$  °C

$R_0$  = ค่าความต้านทานที่อุณหภูมิอ้างอิง (Reference temperature) โดยปกติจะเป็นค่า  
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.1 ฮาร์ดแวร์ของระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุณหภูมิห้อง

$\alpha$  = ค่าเฉลี่ยของสัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานไฟฟ้าต่ออุณหภูมิของโลหะแต่ละชนิด

$$t = (t - t_0) \text{ } ^\circ\text{C}$$

ในปฏิญานิพนธ์นี้ใช้ RTD ชนิด Pt100 ซึ่งทำจากโลหะแพลตตินัมและมีค่าความต้านทาน 100 โอห์มที่  $0^\circ\text{C}$  และค่า  $\alpha = 0.004$

จะเห็นว่าเราสามารถแปลงค่าอุณหภูมิเป็นค่าความต้านทานได้แล้วจึงนำไปประกอบในวงจรบริดจ์ดังรูปที่ 3.8 โดยใช้ค่า  $R_2 = R_3 = 10$  กิโลโอห์ม และ  $R_4 = 110$  โอห์มที่ใช้ค่า  $R_2 = R_3 = 10$  กิโลโอห์มเพื่อให้มีกระแสไหลในวงจรบริดจ์น้อยที่สุดคือมี  $I_R$  หรือพลังงานสูญเสียใน RTD มีน้อย ไม่ทำให้ค่าที่วัดเกิดการผิดพลาดและที่ใช้  $R_4 = 110$  โอห์มเพื่อให้วงจรบริดจ์สมดุลเมื่อนำมีอุณหภูมิ  $25^\circ\text{C}$  หรืออธิบายโดยสมการ

$$\begin{aligned} R_t &= R_0(1 + \alpha t) \\ &= 100[1 + 0.004(25 - 0)] \\ &= 110 \text{ โอห์ม} \end{aligned}$$

จากนั้นจะนำสัญญาณศักดาไฟฟ้าจากวงจรบริดจ์ไปเข้าวงจรขยายผลต่างต่อไป

### 3.1.3 วงจรขยายและปรับปรุงสัญญาณ

วงจรมีลักษณะดังรูปที่ 3.8 สัญญาณจากวงจรบริดจ์จะมาเข้าวงจรขยายผลต่างของสัญญาณศักดาไฟฟ้า ซึ่งมีค่าดังนี้

$$INS = K(V_u - V_r)$$

$V_u$  คือ ค่าศักดาไฟฟ้าที่อุณหภูมิ  $t^\circ\text{C}$

$V_r$  คือ ค่าศักดาไฟฟ้าที่อุณหภูมิ  $25^\circ\text{C}$

$K$  คือ ค่าอัตราขยาย จะใช้ค่าเท่าไรจะกล่าวต่อไปในเรื่องการปรับปรุงสัญญาณ

เพราะฉะนั้นถ้านำมีอุณหภูมิ  $25^\circ\text{C}$  แล้ว สัญญาณ  $INS$  จะเป็นศูนย์

วงจรขยายผลต่างสัญญาณจะใช้ไอซีเบอร์ INA 101 AM ของ BURR-BROWN

ซึ่งเป็นไอซีขยายผลต่างสัญญาณที่ต่ำ ๆ เนื่องจากตัวมันมีคุณสมบัติที่ดีหลายอย่าง ดังนี้

- มีค่าการเปลี่ยนแปลงสัญญาณตามอุณหภูมิต่ำมาก คือ  $0.25 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- มีค่าออฟเซตของสัญญาณต่ำ (LOW OFFSET VOLTAGE) คือ  $25 \mu\text{V}$
- มีคุณสมบัติเชิงเส้นตรงหรือช่วงทำงานสูง (HIGH-LINEARITY)
- มีค่าซีเอ็มอาร์ (HIGH CMR) คือ 106 dB ที่ 60 Hz
- มีค่าความต้านทานที่ด้านรับสัญญาณสูง (HIGH INPUT IMPEDANCE) คือ

$10^{10}$  โวลท์

สำหรับอัตราขยายของไอซีเบอร์นี้มีค่า เท่ากับ  $[1 + (40\text{K}/\text{RG})]$

สำหรับปริมาณอินพุตที่ได้ต่อชุดการยกระดับสัญญาณ จากวงจรขยายผลต่างสัญญาณด้วย ซึ่งมีไว้ใช้งานเมื่อต้องการสัญญาณที่มีจุดเริ่มค่าน้อยกว่า 0 โวลท์ ชุดยกระดับสัญญาณนี้ใช้ไอซีออปแอมป์เบอร์ 356 ซึ่งมีอัตราขยายเป็น 3 ดังรูปที่ 3.3

เนื่องจากเราต้องการสัญญาณก่อนเข้าวงจรแปลงสัญญาณเป็นดิจิตอล เป็นสัญญาณ 0-5 โวลท์ ดังนั้นเราต้องทำการปรับปรุ่สัญญาณดังนี้

- หาค่าสัญญาณที่อุณหภูมิ  $100^\circ\text{C}$

$$\text{จากความสัมพันธ์} \quad R_t = R_0 (1 + \alpha t)$$

จะได้ค่าความต้านทานที่  $100^\circ\text{C}$  เท่ากับ 140 โอห์ม

และจะได้ค่าสัญญาณที่ออกจากวงจรปริตจ์ตามรูปที่ 3.3 ดังนี้

$$V \text{ ที่ } 100^\circ\text{C} = 5 \left[ \frac{10\text{K}}{40\text{K} + 140} \right] = 4.131 \text{ V}$$

และเมื่อผ่านวงจรขยายผลต่างสัญญาณ ซึ่งเรากำหนดให้ค่าอัตรา

ขยายเท่ากับ 1 ก่อนจะได้

$$V \text{ ผลต่างที่ } 100^\circ\text{C} = 4.931 - 5 \left[ \frac{10\text{K}}{15\text{K} + 110} \right] = -1.46 \times 10^{-2} \text{ V}$$

$$= \text{หาค่าสัญญาณที่อุณหภูมิ } 25^\circ\text{C}$$

ที่อุณหภูมินี้วงจรปริตจ์จะสมดุล เพราะฉะนั้นสัญญาณที่อุณหภูมิ  $25^\circ\text{C}$

จะเป็น 0 โวลท์

- จากค่าสัญญาณเราได้ค่าความชันของความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณกับอุณหภูมิ

เมื่ออัตราขยายเป็น 1 ได้ คือ

$$\text{ค่าความชัน} = [(1.46 \times 10^{-2} - 0) / (100 - 0)] = 1.46 \times 10^{-4} \text{ V}$$

- เราต้องการช่วงสัญญาณ 0-5 V เพราะฉะนั้นจะได้ค่าความชันที่เราต้อง

การ คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{ค่าความชันที่ต้องการ} = [(5 - 0)/(100 - 0)] = 5 \times 10^{-2} \text{ V}$$

$$\text{ดังนั้นต้องใช้ค่าอัตราขยาย} = [(5 \times 10^{-2}) / (1.46 \times 10^{-4})] = 342$$

สำหรับชุดยกกระดบสัญญาณมีอัตราขยายเป็น 3 เท่าแล้ว ดังนั้นเราจะได้อัตรา

ขยายของ INA 101 เป็น  $342/3 = 114$

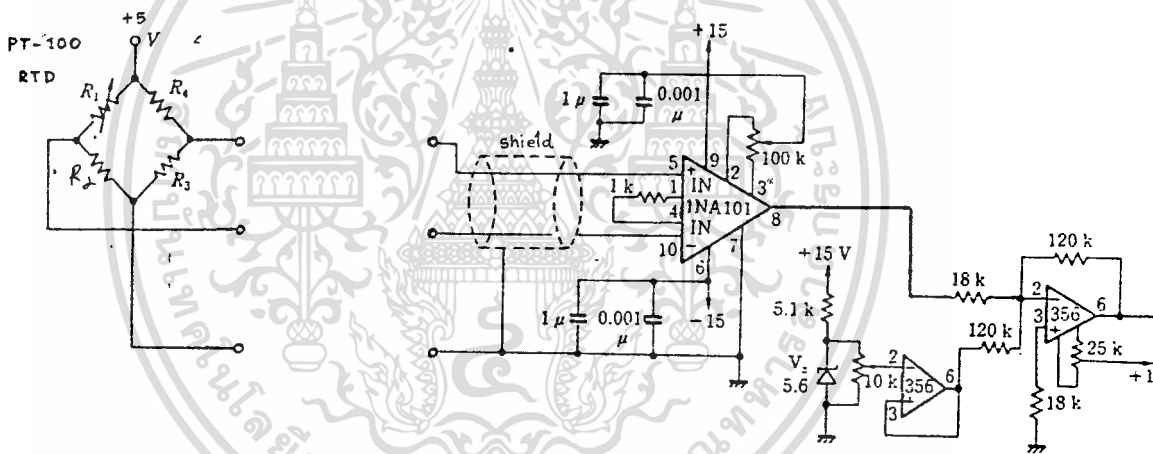
$$\text{จากค่าอัตราขยายของ INA 101} = 1 + 40\text{K}/R_G$$

$$\text{เพราะฉะนั้นเราจะต้องปรับ } R_G = 40\text{K}/(114-1)$$

$$= 354 \text{ โอห์ม}$$

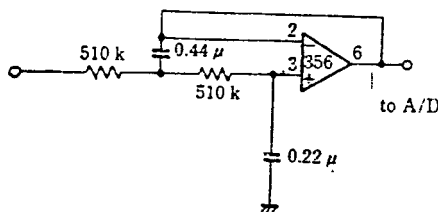
เมื่อปรับค่าต่าง ๆ ดังที่คำนวณแล้ว จะได้ค่าสัญญาณที่อุณหภูมิ  $25^\circ\text{C} - 100^\circ\text{C}$  อยู่

ในช่วง 0-5 V ตามต้องการ



รูปที่ 3.2 วงจรบริดจ์ที่ประกอบด้วย RTD

รูปที่ 3.3 วงจรขยายและปรับปรุณสัญญาณ



รูปที่ 3.4 วงจรรองความถี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.1.4 วงจรกรองความถี่

เมื่อได้สัญญาณอยู่ในช่วง 0-5v จะผ่านวงจรกรองความถี่เพื่อกำจัดสัญญาณรบกวนดังในรูป

3.4 จาก B-A โดยที่ทรานสเฟอ์ฟังก์ชัน (Transfer function) ของวงจร นี่คือ

$$V_o(s) = 1 / [ (S R_2 \cdot C_2 C_1) + (2 R_2 C_2 S) + 1 ]$$

จะได้

$$= 1 / \sqrt{R_1 R_2 C_1 C_2}$$
$$= R_2 C_2 / \sqrt{R_1 R_2 C_1 C_2}$$

เราจะหาความถี่ของ  $R_1, R_2, C_1, C_2$  ให้ได้ค่าตามบิ่่งแฟกเตอร์ (Damping factor ;  $\zeta$ ) เท่ากับ 0.707 ซึ่งเป็นค่าที่ดีที่สุด จากนั้นจึงหาค่า  $R_1, R_2, C_1, C_2$  ตามค่าที่ต้องการ

ในที่นี้เพื่อให้ได้

$$\omega_n = 6.3$$

จะได้

$$R_1 = R_2 = 510 \text{ K}$$

$$C_1 = 0.44 \text{ F}$$

$$C_2 = 0.22 \text{ F}$$

และจากความถี่ระหว่าง dB กับความถี่ (Bode plot) จะเห็นว่า เป็นวงจรกรองความถี่สูงคือกำจัดสัญญาณรบกวนทิ้งไป เพื่อให้วงจร A/D ทำงานได้อย่างถูกต้อง

### 3.1.5 วงจรแปลงสัญญาณเพื่อติดต่อกับคอมพิวเตอร์

จะประกอบไปด้วยส่วนต่าง ๆ ดังรูปที่ 3.5 ซึ่งจากรูปจะสามารถแบ่งเป็นส่วนต่างๆดังนี้

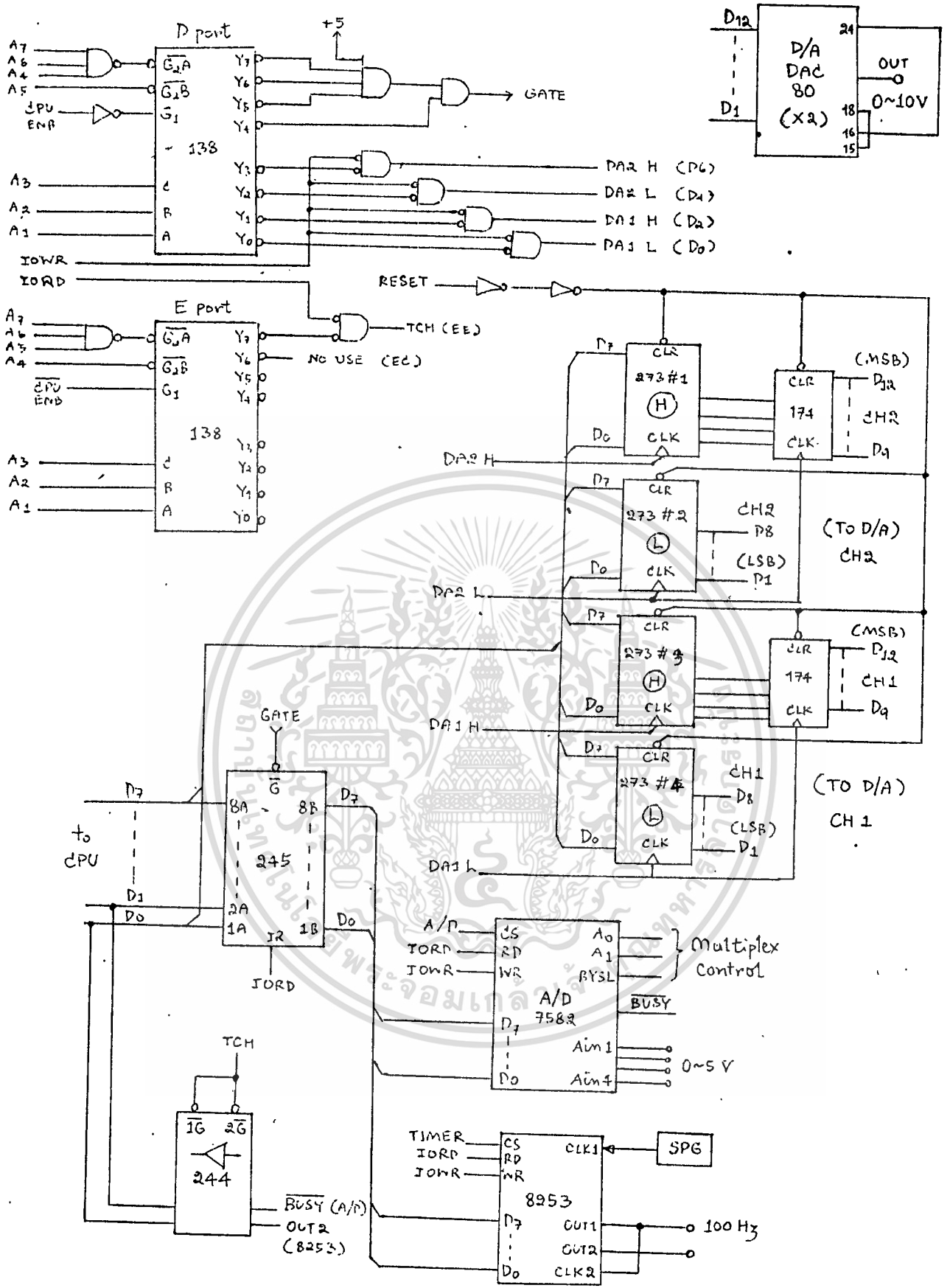
- ก) ส่วนถอดรหัส
- ข) ส่วนแปลงสัญญาณอนาลอคเป็นดิจิตอล; A/D
- ค) ส่วนแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นอนาลอค: D/A
- ง) ส่วนพักข้อมูล
- จ) ส่วนจ่ายสัญญาณนาฬิกา (Clock)

ก) ส่วนถอดรหัส

ในส่วนนี้เป็นการถอดรหัสสัญญาณอ้างอิงหมายเลขพอร์ท (Address bus) และสัญญาณควบคุม (Control bus) จากหน่วยประมวลผลกลางของคอมพิวเตอร์ (CPU) โดยใช้ไอซีเบอร์

74138 ซึ่งการทำงานของมันเป็นดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 วงจร A/D และ D/A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

G2A เป็น Low (0)

G2B เป็น Low (0)

G1 เป็น High (1)

และ

C	B	A	Y7	Y6	Y5	Y4	Y3	Y2	Y1	Y0
0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0
0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1
0	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1
0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1
1	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1
1	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1
1	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1
1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1

เพราะฉะนั้นจากรูปร่างเราจะได้พอร์ทต่าง ๆ ดังนี้

พอร์ท A/D Converter คือ D8H

พอร์ท D/A Converter คือ DOH , D2H , D4H , D6H

พอร์ท 8253 (ตัวกำเนิดสัญญาณนาฬิกา) คือ DAH , DCH , DEH

พอร์ท TCH (Timer Status Check) คือ EEH

ข) ส่วนแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตอล

ในส่วนนี้ใช้ไอซีเบอร์ A/D 7582 ซึ่งสามารถรับสัญญาณอนาล็อกได้ 4 ช่อง (Channel) เป็น

สัญญาณดิจิตอล 16 บิต

ขาคำคัญที่ใช้มีดังนี้

- CS ถ้าได้รับสัญญาณ Low(0) ไอซีจะทำงาน ซึ่งขาคำนี้คือขาพอร์ท D8 นั่นเอง
- RD ต่อกับขา IORD ของ CPU
- WR ต่อกับขา IOWR ของ CPU

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของอินพุททาวเวอร์ อินพุททอว์เวอร์ จำกัด ผู้จัดทำให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A0	A1	Ain (Channel)
0	0	1
0	1	2
1	0	3
1	1	4

ในที่นี้ A0 ,A1 คือค่าที่ได้จากข้อมูลที่ส่งผ่านพอร์ท D2 ดังรูป 3.5

- BUSL เป็นตัวบอกว่าข้อมูลเป็น 8 บิตบนหรือ 8 บิตล่างซึ่งมีการทำงานดังนี้

BYSL High (1) คือ ข้อมูล 8 บิตบน (ไบท์สูง)

BYSL Low (0) คือ ข้อมูล 8 บิตล่าง (ไบท์ต่ำ)

ค) ส่วนแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นอนาล็อค

ส่วนนี้ใช้ไอซีเบอร์ DAC80 2 ตัว นั่นคือมี 2 ช่อง ไอซีเบอร์นี้จะแปลงสัญญาณดิจิตอลขนาด 12 บิตเป็นสัญญาณอนาล็อคได้หลายแบบดังตารางต่อไปนี้

Output Voltage Range	Digital Input Code	Connect Pin 15 to	Connect Pin 16 to	Connect Pin 17 to	Connect Pin 19 to
± 10V	Complementary Offset Binary	19	24	20	15
± 5V	Complementary Offset Binary	18	24	20	NC
± 2.5V	Complementary Offset Binary	18	24	20	20
10V *	Complementary Binary	18	24	21*	NC
5V	Complementary Binary	18	24	21*	20
± 1 mA	Complementary Offset Binary	NC	24	20	NC
- 2 mA	Complementary Binary	NC	24	21*	NC

\* Optional, no connection necessary

ในที่นี้เราต้องการสัญญาณอนาล็อค 0 - 10 v เพราะฉะนั้นการต่อวงจรจะเป็นดังรูป 3.5

และค่าสัญญาณอนาล็อคจะสัมพันธ์กับสัญญาณดิจิตอลดังตารางต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ประกอบการเรียนการสอนเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Code Type	Input Code (Note 7)		Output State	Unipolar Output Ranges												
	MSB	LSB		* 0V to 10V	0V to 5V	0 mA-2 mA 0 mA-1.25 mA										
Unipolar	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Full-Scale	9.9976V	4.9988V	-1.9995 mA	
Complementary	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1 LSB ON	0.0024V	0.0012V	-0.0005 mA	
Binary	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	Zero-Scale	0.0000V	0.0000V	0.0000 mA	
Code Type	Input Code (Note 7)		Output State	Bipolar Output Voltage Ranges												
	MSB	LSB		± 10V	± 5V	± 2.5V	± 1 mA									
Bipolar	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Full-Scale	9.9951V	4.9976V	2.4988V	-0.9995 mA
Complementary	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	Half-Scale	0.0000V	0.0000V	0.0000V	0.0000 mA
Binary	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1 LSB ON	-9.9951V	-4.9976V	-2.4988V	0.9995 mA
	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	Zero-Scale	-10.0000V	-5.0000V	-2.5000V	1.0000 mA

Note 7: Logic input sense is such that an active low (VIN = 0.8V) turns a given bit ON and is represented as a logic "0" in the table

ค่าพอร์ทที่ใช้มีดังนี้

DOH คือ ไบท์ต่ำของ D/A ช่อง 1 (DA1L)

D2H คือ ไบท์สูงของ D/A ช่อง 1 (DA1H)

D4H คือ ไบท์ต่ำของ D/A ช่อง 2 (DA2L)

D6H คือ ไบท์สูงของ D/A ช่อง 2 (DA2H)

ง) ส่วนพักข้อมูล ประกอบด้วย

- ไอซีเบอร์ 244 ,245 ซึ่งเป็น Octal 3-State buffer เป็นส่วนพักสัญญาณดิจิทัลที่รับมาแล้วรอจนกว่าคอมพิวเตอร์จะส่งสัญญาณต้องการรับจึงส่งข้อมูลนี้ออกไป โดย 245 จะส่งได้ 2 ทางทั้งไปและกลับ แต่ 244 จะส่งได้ทางเดียว

- ไอซีเบอร์ 273 ซึ่งเป็น Octal D-Flip Flops โดยการทำงานจะเป็นดังนี้คือ การส่งข้อมูลให้วงจร D/A จะส่ง 4 บิตบนก่อนทางพอร์ท DA2H หรือ DA1H ซึ่งข้อมูลจะออกจาก 273#1,#3 ไปยัง 174 จากนั้นจึงส่งข้อมูล 8 บิตล่างทางพอร์ท DA2L หรือ DA1L ข้อมูล 4 บิตบนจะออกจาก 174 ไปพร้อมกับข้อมูล 8 บิตล่างจาก 273#2,#4 พร้อมกันเป็น 12 บิตให้แก่วงจร

เอกสาร D/A เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากการเลือกช่องและไบท์สูง-ต่ำ ของ A-D Converter นั้น ใช้ข้อมูลจากพอร์ท DA1H เพราะฉะนั้นจะส่งข้อมูลผ่าน 273#3 (ข้อมูล 4 บิตบนของพอร์ท DA1H) เพื่อไปควบคุม AD7582

จ) ส่วนสัญญาณนาฬิกา (Clock)

ในที่นี้ใช้ไอซีเบอร์ 8253 ซึ่งเป็น Programed Timer/Counter

มีขาที่สำคัญดังนี้

-CS จะต่อกับสัญญาณเลือกพอร์ท DA, DC และ DE

-RD ต่อกับ IORD

-WR ต่อกับ IOWR

-AO, A1 เป็นขาที่เลือกเรจิสเตอร์ (Register) ใน 8253 ซึ่งมี 4 แบบคือ

	AO	A1
COUNTER #0	0	0
COUNTER #1	0	1
COUNTER #2	1	0
Control Register	1	1

ในส่วนนี้เราจะใช้เฉพาะ Counter #1, #2 และ Control Register ซึ่งมี พอร์ท DAH, DCH, DEH ตามลำดับ

- ขา CLK1 จะมีสัญญาณจาก Signal Pulse Generator ที่มีความถี่ 1MHz

บ่อนให้

- ขา OUT1 จะส่งสัญญาณให้ขา CLK2 โดยต่อกันโดยตรง

### 3.2.6 วงจรแอกูเอเตอร์

เป็นส่วนของการทำงานของขดลวดความร้อนให้จ่ายพลังงานเป็นเปอร์เซ็นต์มาก-น้อยตามสัญญาณควบคุม ที่ได้คำนวณมาแล้วโดยคอมพิวเตอร์ วงจรในหน่วยนี้ประกอบไปด้วย

- ก) วงจรพัลส์วิตช์มอดูเลชัน
- ข) วงจรโซลิตสเตอร์เลีย

สามารถอธิบายการทำงานของวงจรทั้งสอง ได้ดังนี้

- ก) วงจรพัลส์วิตช์มอดูเลชัน

เป็นวงจรที่จะแปลงสัญญาณควบคุมซึ่งเป็นสัญญาณอนาลอคให้เป็นสัญญาณพัลส์ที่มีขนาดของคาบเป็นสัดส่วนโดยตรงกับขนาดของสัญญาณควบคุม จะสามารถแบ่งเป็นหน่วยย่อยได้ 4 หน่วยดังนี้

- ส่วนกำเนิดสัญญาณฟันปลา (Saw-tooth generator) จากรูป 3.6 ซีเนอร์ไดโอด  $ZD_1, ZD_2$  จะทำตัวเป็นออสซิลเลเตอร์ (Oscillator) จากนั้นจะผ่านวงจรความต้านทานและตัวเก็บประจุซึ่งจะให้ค่าเวลาที่คงที่เท่ากับ  $R_1, C_1$  ผลที่ได้จากวงจรส่วนนี้จะเป็นสัญญาณฟันปลาที่มีขนาดเท่ากับค่าเบรคดาวน์ (Break down) ของ  $ZD_1, ZD_2$  (5.6 v) และมีขนาดของคาบเท่ากับค่าคงที่  $R_1, C_1$  ( $R_1$  อยู่ในช่วง 6-7 M,  $C_1=0.47 F$ ) หรือประมาณ 3 วินาที

- ส่วนยกระดับสัญญาณฟันปลา ประกอบด้วยบัฟเฟอร์แอมพลิฟายเออร์ที่ใช้ 741 ประกอบขึ้นมา ซึ่งจะให้ศักดาไฟฟ้าตามค่าเบรคดาวน์ของ  $ZD_3$  (7.5 v) และสามารถแปรเปลี่ยนอยู่ในช่วงนี้ได้ด้วย  $R_2$  วงจรส่วนนี้จะรวมกับสัญญาณฟันปลาทำให้สัญญาณอยู่ในระดับที่เป็นค่าลบเพื่อเตรียมจะเข้าไปในส่วนวงจรขยายแบบอินเวอร์ตดังต่อไปนี้

- วงจรขยายแบบอินเวอร์ตที่ตั้งจะขยายสัญญาณฟันปลาให้มีขนาดอยู่ในช่วง 0-10 v ตามขนาดของสัญญาณควบคุม เพื่อเตรียมจะเข้าวงจรคอมพารเตเตอร์ (Comparator) ต่อไป

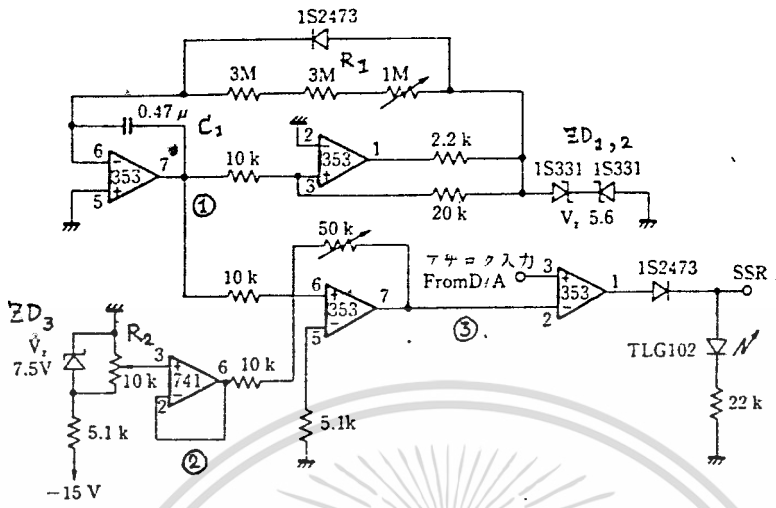
- วงจรคอมพารเตเตอร์ จะทำการเปรียบเทียบสัญญาณควบคุมกับสัญญาณฟันปลาทำให้ได้สัญญาณเป็นพัลส์ที่มีคาบกว้างหรือแคบตามขนาดของสัญญาณควบคุม โดยมีแอมพลิฟูดคงที่

รูปของสัญญาณที่จุดต่าง ๆ ในวงจรพัลส์วิตช์มอดูเลชันจะเป็นดังรูป 3.7

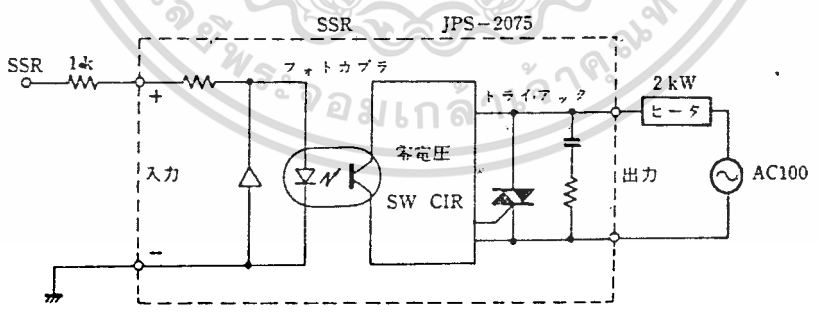
- ข) โซลิตสเตอร์เลีย

จะใช้โซลิตสเตอร์เลีย ซึ่งมีวงจรเสมือนดังรูป 3.8 สามารถอธิบายการทำงานของคร่าว ๆ ได้ดังนี้คือ สัญญาณพัลส์ที่เป็นอินพุตจะมากกระตุ้นให้ออปโตทรานซิสเตอร์ (Opto-

transister) ไปกระตุ้นวงจรสวิทช์ซึ่งให้จ่ายพลังงานตามค่าบของสัญญาณพัลส์ที่เป็นอินพุตนั้น ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

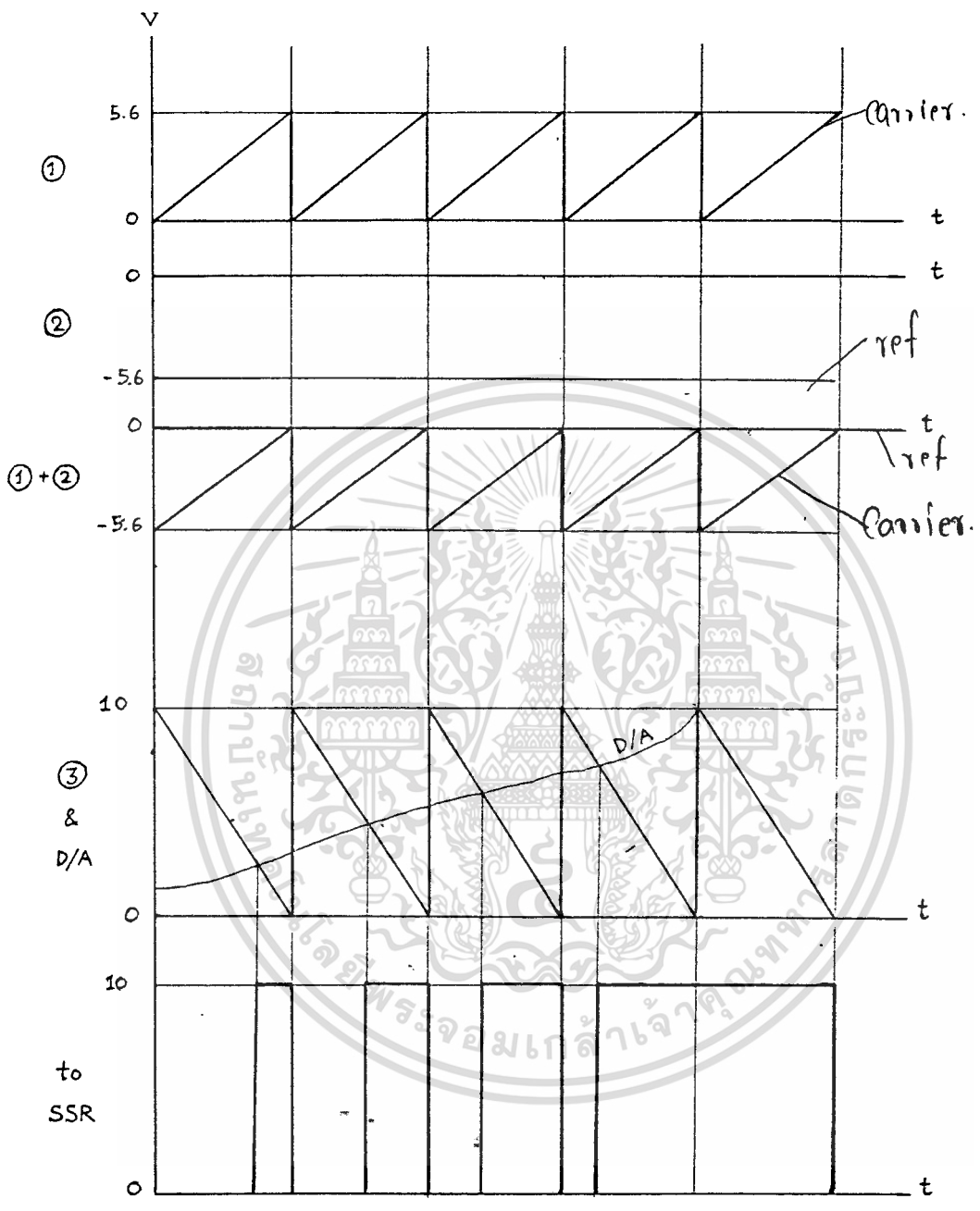


รูปที่ 3.๗ วงจรนำสัญญาณวัดที่มอดดูเลขขึ้น



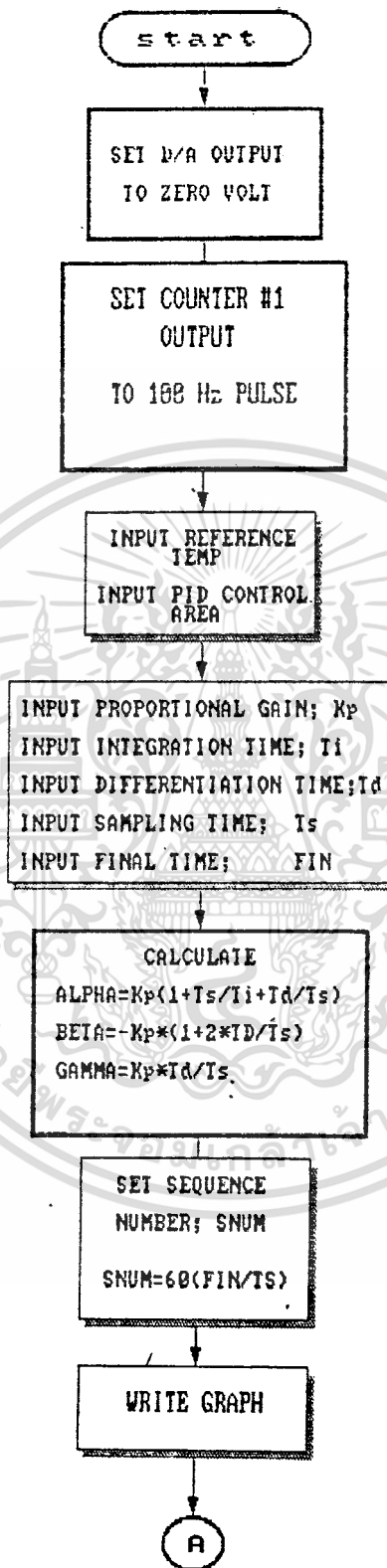
รูปที่ 3.8 วงจรเสมือนของโซลิตสเตทรีเลย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



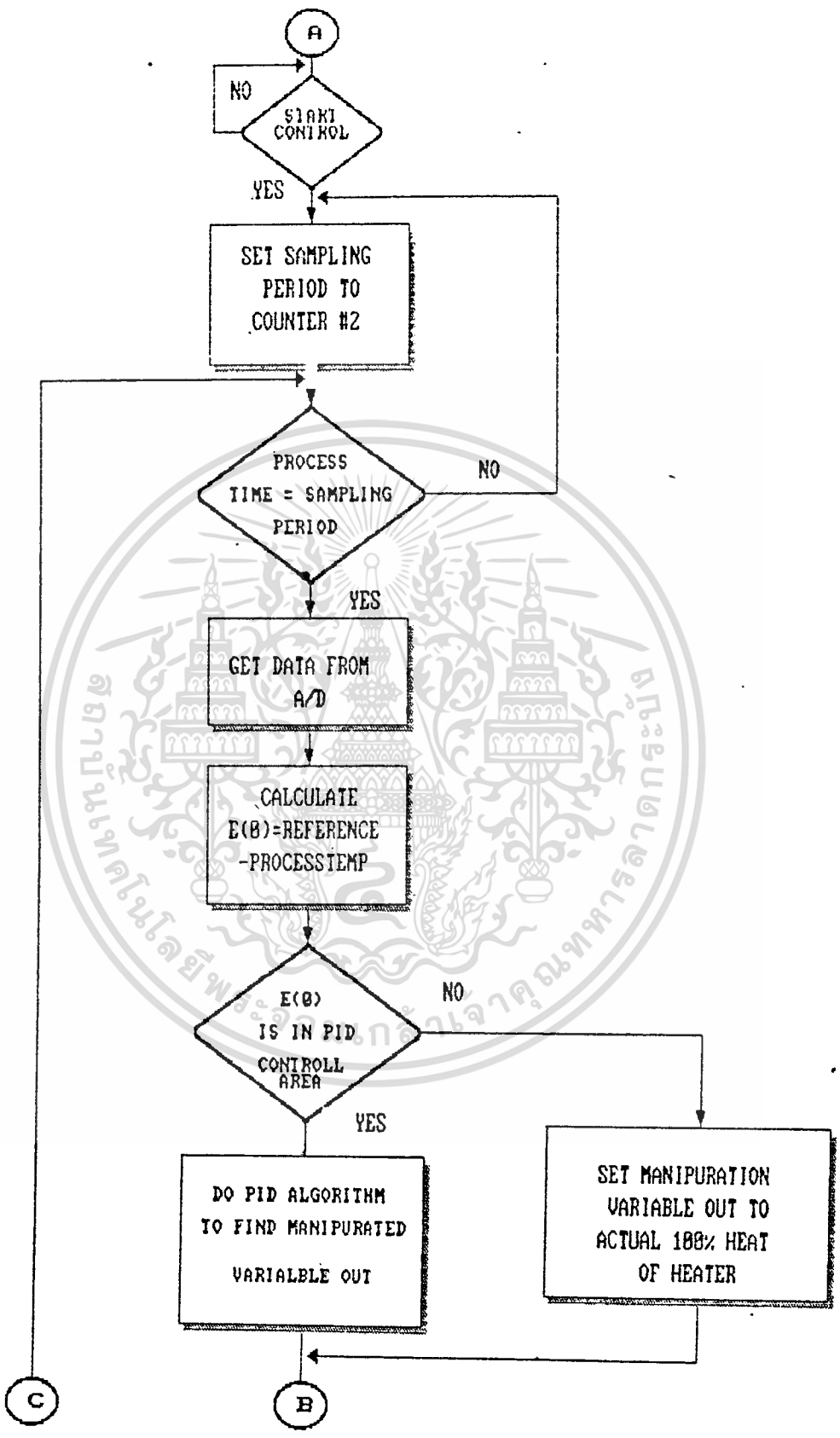
รูปที่ 3.7 สัญญาณที่จุดต่าง ๆ ในวงจรพัลส์วิดท์มอดูเลชั่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

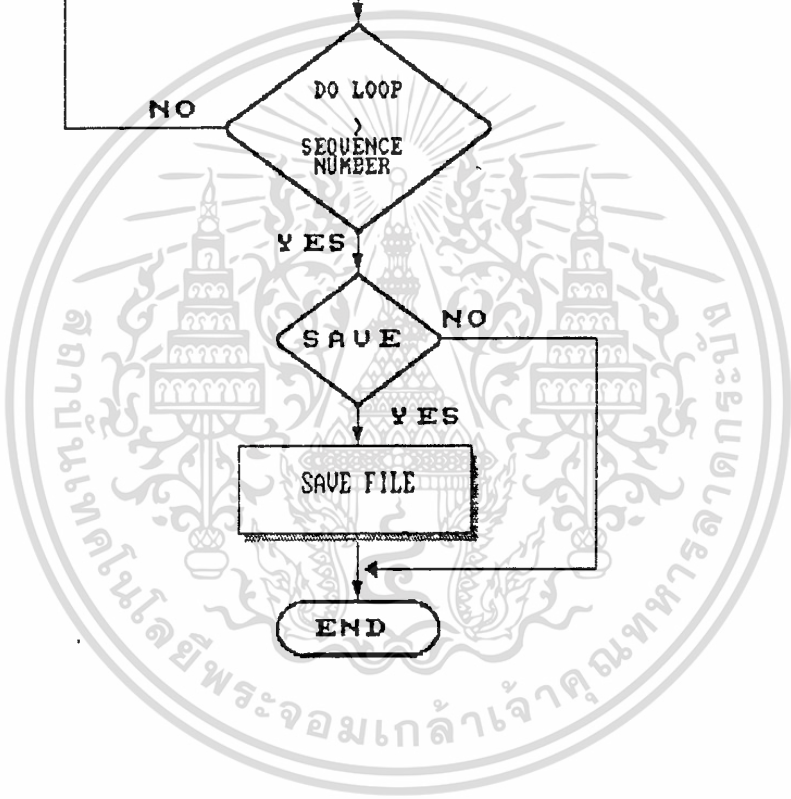
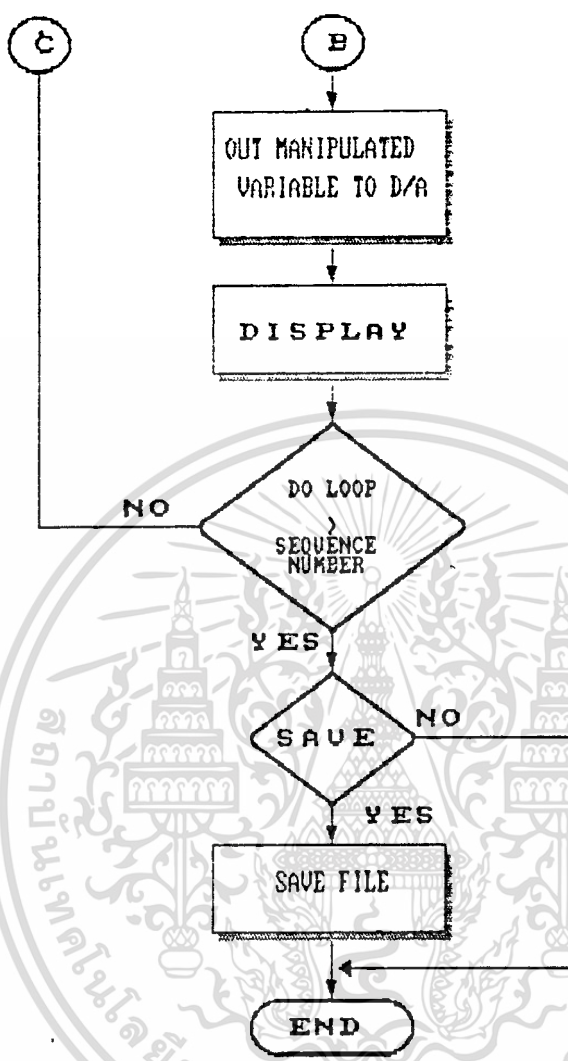


รูปที่ 3.9 ไฟล์ซาร์ตของส่วนซอฟต์แวร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง 3.2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและศักดาไฟฟ้า

อุณหภูมิ ( $^{\circ}\text{C}$ )	ศักดาไฟฟ้า (v)
34	0.932
36	0.961
37	1.040
38	1.134
39	1.230
40	1.327
41	1.432
42	1.519
43	1.615
44	1.713
45	1.852
46	1.945
47	2.030
48	2.12
49	2.24
50	2.32
51	2.41
52	2.52
53	2.61
54	2.69
55	2.84
56	2.90
57	3.02
58	3.11
59	3.19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2 ซอฟต์แวร์

ซอฟต์แวร์ คือ ส่วนของโปรแกรมที่ทำการรับข้อมูลเข้ามาคำนวณตามสมการควบคุมของกระบวนการและส่งค่าที่คำนวณแล้วออกไป ซึ่งในปฏิญานิพนธ์นี้ใช้ภาษาเบสิก (NBB BASIC) บนคอมพิวเตอร์ NEC-PC9801

ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมสามารถเขียนเป็นโฟว์ชาร์ต (Flow chart) ได้ ดังรูป 3.9 จากโฟว์ชาร์ตจะเห็นว่าในโปรแกรมจะต้องมีค่าคงที่หรือสมการที่ต้องกำหนดในการควบคุมดังนี้

#### 3.2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าศักดาไฟฟ้าที่วัดได้กับค่าอุณหภูมิของระบบ

หาได้โดยจ่ายพลังงานความร้อนให้ระบบแล้วอ่านอุณหภูมิและค่าศักดาไฟฟ้าก่อนเข้าวงจร A/D (หรือศักดาไฟฟ้าจากชุดทรานสมิตเตอร์) แล้วนำมาประมาณค่าสมการความสัมพันธ์ดังกล่าวด้วยวิธีการประมาณเชิงเส้น (Linear regression) ซึ่งจากกระบวนการนี้จะมีข้อมูลดังตาราง 3.2.1 และจะได้ความสัมพันธ์ดังสมการ

$$\text{ค่าศักดาไฟฟ้า} = (\text{อุณหภูมิ} - 26.2604) / 10.2072$$

#### 3.2.2 ค่าพารามิเตอร์ของสมการ PID

ได้แก่  $K_p$ ,  $T_i$ ,  $T_d$  ซึ่งหาได้โดยการจ่ายพลังงานความร้อนให้ระบบแล้วอ่านค่าอุณหภูมิที่เปลี่ยนไปตามเวลา ดังทฤษฎีการหาพารามิเตอร์เริ่มต้นของสมการ PID ตามวิธีซีเกลอร์-นิโคลส์ ดังที่กล่าวไว้ในบทที่ 2 ซึ่งจะกล่าวถึงในเรื่องของการทดลองต่อไป

#### 3.2.3 ค่า $T_s$

คือ ช่วงเวลาการวัดค่าข้อมูลจากกระบวนการ ควรตั้งให้เหมาะสมกับกระบวนการ โดยดูจากอัตราการเพิ่มอุณหภูมิของน้ำในกระบวนการเทียบกับเวลา

#### 3.2.4 ค่าเวลาการสิ้นสุดการควบคุม (Final time)

คือ ช่วงเวลาที่มีการควบคุมเกิดขึ้นซึ่งช่วงเวลานี้ควรตั้งให้เหมาะสมกับอัตราการเพิ่มอุณหภูมิของน้ำในกระบวนการเทียบกับเวลา และระดับของอุณหภูมิที่ต้องการ

เมื่อได้ข้อมูลจากระบบตามข้อ 3.2.1 ถึง 3.2.4 แล้ว จะสามารถเขียนสมการเบสิกบนเครื่อง NEC-PC9801 ได้ดังต่อไปนี้

```

1010 ' THIS PART IS I/O PORT DEFINITION
1020 '
1030 '&H D0 EQU D/A CHANNEL 1 LOWER PORT
1040 '&H D2 EQU D/A CHANNEL 1 HIGHER PORT
1050 'UPPER 4 BIT OF D/A CH1 HIGHER PORT SELECT 1 CHANNEL IN FOUR A/D CHANNEL
1060 '&H D4 EQU D/A CHANNEL 2 LOWER PORT
1070 '&H D6 EQU D/A CHANNEL 2 HIGER PORT
1080 'UPPER 4 BIT OF D/A CH2 HIGHER PORT DO NOT USE
1090 '
1100 '&H D8 EQU A/D PORT
1110 '
1120 '&H DA EQU TIMER COUNTER 1 PORT
1130 '&H DC EQU TIMER COUNTER 2 PORT
1140 '&H DE EQU TIMER CONTROL PORT
1150 '
1160 '&H EE EQU SAMPLING TIMER CHECK PORT AND ETC.
1170 '
1180 'TEMPU=-2.83969+19.4638*V
1190 'TEMPD=-4.33618+20.1346*V
1200 'TEMPM=-3.78113+19.8628*V <----- USE
1210 '
1220 DIM E(10),M(10),N(10),A1$(10),TEMP1(3600)
1230 DEFINT C,I
1240 '
1250 ' THIS PART SET D/A OUTPUT TO ZERO VOLT
1260 OUT &HD2,&HF 'D/A CH1 HIGHER PORT
1270 OUT &HD0,&HFF 'D/A CH1 LOWER PORT
1280 OUT &HD6,&HF 'D/A CH2 HIGHER PORT
1290 OUT &HD4,&HFF 'D/A CH2 LOWER PORT
1300 '
1310 ' THIS PART SET COUNTER 1 TO 100 Hz OSCILLATION
1320 ' COUNT DATA IS 10000(DECIMAL) AND 10000(DECIMAL) IS 2710(HEXA DECIMAL)
1330 OUT &HDE,&H76 'CONTROL DATA IS &H 76 ,MODE 3 RATE GENERATION
1340 OUT &HDA,&H10 'LOWER DATA
1350 OUT &HDA,&H27 'HIGHER DATA
1360 '
1370 ' COEFFICIENT INPUT ROUTINE *****
1380 INPUT"REFERENCE TEMP. = ## DEGREE";TEMP
1390 INPUT"PID CONTROL AREA ##% = ";PP
1400 V=(TEMP-26.2604)/10.2072 :REF=4095*V/5!
1410 PID=PP*REF/100
1420 LPRINT"REF.TEMP= ";TEMP,"REF.VOLT= ";V,"REF.NUM= ";REF,"PID= ";PID
1430 INPUT"PROPORTIONAL GAIN KP= ";KP
1440 INPUT"INTEGRATION TIME TI= ";TI
1450 INPUT"DIFFERENTIATION TIME TD= ";TD
1460 INPUT"SAMPLING TIME TS = [SEC]";TS
1470 INPUT"FINAL TIME = ## MINUTE";FIN
1480 ALPHA=KP*(1+TS/TI+TD/TS) :BETA=-KP*(1+2*TD/TS) :GAMMA=KP*TD/TS
1490 SNUM=INT(60*FIN/TS)
1500 LPRINT"KP=";KP,"TI=";TI,"TD=";TD,"TS=";TS
1510 PRINT"ALPHA=";ALPHA,"BETA=";BETA,"GAMMA=";GAMMA
1520 GOSUB *GRAPH
1530 ITS=100!>TS :PRINT ITS
1540 SAMPH=ITS*256 :SAMPL=ITS MOD 256
1550 PRINT"SAMPLING HIGH DATA = ";SAMPH,"SAMPLING LOW DATA = ";SAMPL

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

1560 INPUT"KEY IN Y IF FID START --> ";A$
1570 IF A$<>"Y" THEN 1560
1580 E(1)=0 :E(2)=0 :M(1)=0
1590 CO=1 :CI=128
1600 GOSUB *DISP
1610 '
1620 '*****
1630 ' THIS PART SET SAMPLING PERIOD TO COUNTER 2
1640 OUT &HDE,&HB4 'CONTROL DATA IS &H B4 ,MODE 2 SINGLE SHOT
1650 OUT &HDC,SAMPL 'LOWER DATA
1660 OUT &HDC,SAMPH 'HIGHER DATA
1670 '
1680 '***** START
1690 I=0
1700 MM=4095
1710 MANIH=MM*256 :MANIL=MM MOD 256
1720 GOSUB *TMCHK 'TIMER CHECK
1730 GOSUB *MESURT 'DATA MEASUREMENT
1740 IF I=0 THEN TIME$="00:00:00"
1750 LOCATE 60,0,0:PRINT TIME$
1760 GOSUB *SENU
1770 TEMP1(I)=26.2604+10.2072*V1
1780 E(0)=REF-CD1
1790 IF E(0)<=PID THEN GOSUB *RPID
1800 GOSUB *MANIOUT 'MANIPULATED VARIABLE
1810 GOSUB *DISET
1820 I=I+1
1830 IF I<=SNUM THEN 1720
1840 '***** FINAL OPERATION *****
1850 '
1860 COPY 3
1870 PRINT"DO YOU SAVE CONTROL RESULT (Y/N) ? ---> ";:INPUT YY$
1880 IF YY$<>"Y" THEN 1920
1890 PRINT"INPUT FILE NAME (####) ---> ";:INPUT FL$
1900 GOSUB *FMAKE
1910 PRINT"SAVE COMPLETE PROGRAM END"
1920 END
1930 '
1940 '
1950 '***** SUBROUTINES *****
1960 *RPID '----- PID ALGORITHM
1961 LOCATE 60,20:PRINT USING "E(0)= ####.###";E(0)
1962 LOCATE 60,21:PRINT USING "E(1)= ####.###";E(1)
1963 LOCATE 60,22:PRINT USING "E(2)= ####.###";E(2)
1970 M(0)=M(1)+ALPHA*E(0)+BETA*E(1)+GAMMA*E(2)
1980 M(0)=M(0)+.5
1990 MM=INT(M(0))
2000 LOCATE 60,23:PRINT USING "M(0)= ####.###";M(0)
2010 '
2020 IF MM>4095 THEN MM=4095
2030 IF MM<0 THEN MM=0
2040 MANIH=MM*256 :MANIL=MM MOD 256
2050 E(2)=E(1) :E(1)=E(0) :M(1)=MM
2060 RETURN
2070 '
2080 *TMCHK '----- hardware timer check

```

```

2090 C1=INP(&HEE)      'STATUS READ
2100 CE=C1 AND &H1
2110 'PRINT C1,CE
2120   IF CE=1 THEN 2090
2130 RETURN
2140 '
2150 *MESURT      '----- data measurement
2160 '*****      for channel 1
2170 '
2180 OUT &HD2,&HO      'A/D CHANNEL 1 IS SELECTED
2190 OUT &HDB,&HFF     'CONVERSION START ,DATA &H FF IS A DUMMY
2200 OUT &HD2,&HBO     'BYSL SET HIGH LEVEL
2210 C1=INP(&HDB)      'STATUS READ
2220 CE=C1 AND &HBO
2230 'PRINT C1,CE
2240   IF CE=12B THEN 2210
2250 CH1H=INP(&HDB)   'HIGHER DATA READ
2260 CH1L=CH1H AND 15
2270 OUT &HD2,&HO     'BYSL SET LOW LEVEL
2280 CH1L=INP(&HDB)   'LOWER DATA READ
2290 'RETURN
2300 '*****      for channel 2
2310 '
2320 OUT &HD2,&H2O     'A/D CHANNEL 2 IS SELECTED
2330 OUT &HDB,&HFF     'CONVERSION START ,DATA &H FF IS A DUMMY
2340 OUT &HD2,&HAO     'BYSL SET HIGH LEVEL
2350 C1=INP(&HDB)     'STATUS READ
2360 CE=C1 AND &HBO
2370   IF CE=12B THEN 2350
2380 CH2H=INP(&HDB)   'HIGHER DATA READ
2390 CH2L=CH2H AND 15
2400 OUT &HD2,&H2O     'BYSL SET LOW LEVEL
2410 CH2L=INP(&HDB)   'LOWER DATA READ
2420 '
2430 '*****      for channel 3
2440 'no support
2450 '*****      for channel 4
2460 'no support
2470 RETURN
2480 '
2490 '
2500 *MANIOUT '----- manipulated variable out
2510 MAH=NOT MANIH :MAH=MAH AND &HF
2520 MAL=NOT MANIL :MAL=MAL AND &HFF
2530 OUT &HD2,MAH      'D/A CH1 HIGHER DATA
2540 OUT &HDO,MAL      'D/A CH1 LOWER DATA
2550 OUT &HD6,MAH      'D/A CH2 HIGHER DATA
2560 OUT &HD4,MAL      'D/A CH2 LOWER DATA
2570 RETURN
2580 '
2590 *SENU '----- separate data of each channel to numerical data
2600 CD1=CH1H*256+CH1L 'FOR CHANNEL 1
2610 CD2=CH2H*256+CH2L 'FOR CHANNEL 2
2620 V1=5!*CD1/4095    'CONVERT TO VOLTAGE
2630 V2=5!*CD2/4095    'CONVERT TO VOLTAGE
2640 RETURN
2650 '

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

2660
2670 *GRAPH *****
2680 X0=30 : Y0=350 : VKAL=350
2690 TREF=INT(4.375*(TEMP-20))
2700 SNUM=INT(60*FIN/TS)
2710 MPLY=INT(600/SNUM)
2720 HTAL=INT(MPLY*SNUM)
2730 HDIV=INT(10*HTAL/FIN)
2740 'PRINT TREF,SNUM,MPLY,HTAL,HDIV
2750 SCREEN 3,0,0,0
2760 'PAINT (0,0),1
2770 LINE(X0,Y0)-(X0,Y0-VKAL)
2780 FOR X=X0+HDIV TO X0+HTAL STEP HDIV
2790 LINE(X,Y0)-(X,Y0-B)
2800 NEXT X
2810 LINE(X0,Y0)-(X0+HTAL,Y0)
2820 LINE(X0,Y0-TREF)-(X0+20,Y0-TREF),2
2830 FOR Y=43.75 TO VKAL STEP 43.75
2840 LINE(X0,Y0-Y)-(X0+10,Y0-Y)
2850 NEXT Y
2860 VMAX=350
2870 SCREEN 3,0,1,0
2880 LINE(X0,Y0)-(X0,Y0-VMAX)
2890 FOR X=X0+HDIV TO X0+HTAL STEP HDIV
2900 LINE(X,Y0)-(X,Y0-B)
2910 NEXT X
2920 LINE(X0,Y0)-(X0+HTAL,Y0)
2930 FOR Y=43.75 TO VMAX STEP 43.75
2940 LINE(X0,Y0-Y)-(X0+10,Y0-Y)
2950 NEXT Y
2960 RETURN
2970
2980

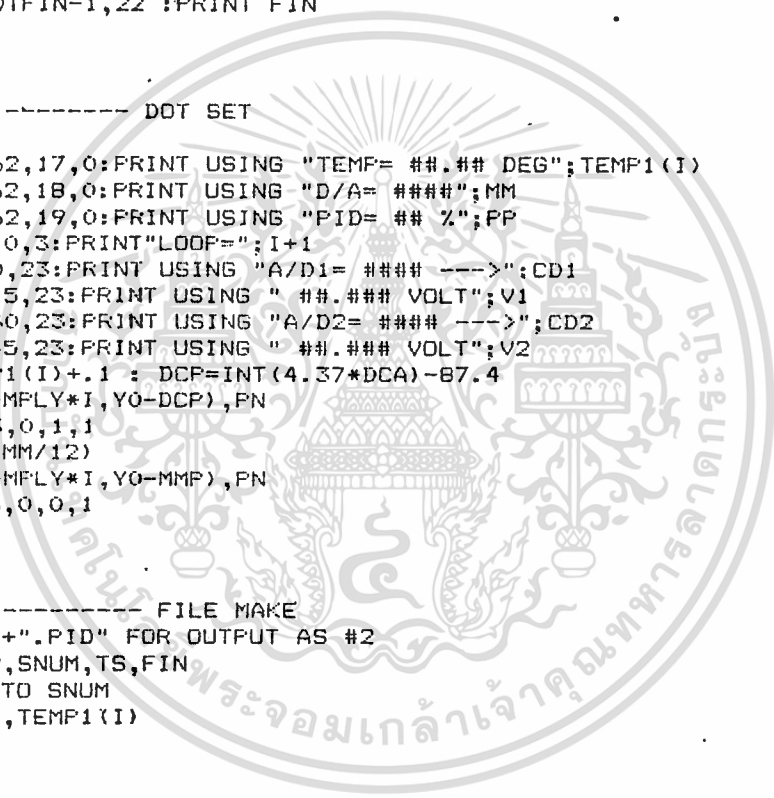
```



```

2990 *DISP '*****
3000 CLS 1
3010 CONSOLE 0,25,0,0 :SCREEN 3,0,0,1
3020 K=0
3030 FOR J=0 TO 21 STEP 2.625
3040 VX=100-10*K
3050 LOCATE 0,J:PRINT VX
3060 K=K+1
3070 NEXT J
3080 DTFIN=INT((HTAL+30)*77/640)
3090 LOCATE 3,22 :PRINT "0"
3100 LOCATE DTFIN-1,22 :PRINT FIN
3110 RETURN
3120 '
3130 '
3140 *DISET '----- DOT SET
3150 PN=7
3160 LOCATE 62,17,0:PRINT USING "TEMP= ##.## DEG";TEMP1(I)
3170 LOCATE 62,18,0:PRINT USING "D/A= ####";MM
3180 LOCATE 62,19,0:PRINT USING "PID= ## %";PP
3190 LOCATE 10,3:PRINT"LOOP="; I+1
3200 LOCATE 0,23:PRINT USING "A/D1= #### ---->";CD1
3210 LOCATE 15,23:PRINT USING " ##.### VOLT";V1
3220 LOCATE 30,23:PRINT USING "A/D2= #### ---->";CD2
3230 LOCATE 45,23:PRINT USING " ##.### VOLT";V2
3240 DCA=TEMP1(I)+.1 : DCP=INT(4.37*DCA)-87.4
3250 PSET (X0+MPLY*I,Y0-DCP),PN
3260 SCREEN 3,0,1,1
3270 MMP=INT(MM/12)
3280 PSET (X0+MPLY*I,Y0-MMP),PN
3290 SCREEN 3,0,0,1
3300 RETURN
3310 '
3320 '
3330 *FMAKE '----- FILE MAKE
3340 OPEN FL$+"PID" FOR OUTPUT AS #2
3350 WRITE #2,SNUM,TS,FIN
3360 FOR I=0 TO SNUM
3370 WRITE #2,TEMP1(I)
3380 NEXT I
3390 CLOSE #2
3400 RETURN

```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากโปรแกรมที่ได้กล่าวมาจะมีขั้นตอนการทำงานดังนี้

1260-1290 เป็นการส่งข้อมูลให้กับ D/A เพื่อให้ส่งสัญญาณควบคุม 0 v ไปยังวงจร แอคทูเอเตอร์

1310 -1350 เป็นการควบคุม Counter#1 ของ ไอซี 8253 ให้ทำงานในโหมด 3 คือ ผลิตสัญญาณสี่เหลี่ยม (Square wave) ที่มีความถี่เท่ากับ 100 Hz ซึ่งสัญญาณนี้จะป้อนให้แก่ Clock ของ Counter#2 ต่อไป

1380 -1390 คอมพิวเตอร์จะรับค่าอุณหภูมิที่ต้องการและพื้นที่การควบคุม PID มาไว้ใน โปรแกรม

1400 คอมพิวเตอร์คำนวณค่าอุณหภูมิที่ต้องการเป็นค่าศักดาไฟฟ้า โดยอาศัยสมการ ความสัมพันธ์ระหว่างศักดาไฟฟ้าที่วัดได้กับอุณหภูมิตามข้อ 3.2.1 แล้วแปลงค่าศักดาไฟฟ้าจริง ให้เป็นค่าที่อยู่ในรูปของข้อมูลดิบจาก A/D

\* หมายเหตุ ข้อมูลดิบจาก A/D เป็นข้อมูลขนาด 12 บิต คือแบ่งออกเป็น 12 หรือ 4095 สถานะ เนื่องจากสัญญาณเข้า A/D มีค่า 0-5 v เพราะฉะนั้น ค่าข้อมูลดิบมีค่าเท่ากับ (4095/5) คูณกับค่าศักดาที่วัดได้

1410 คอมพิวเตอร์จะคำนวณหาขอบเขตพื้นที่การควบคุม PID ในรูปข้อมูลดิบเช่นกัน

1430 - 1470 คอมพิวเตอร์จะรับค่าพารามิเตอร์ของสมการ PID ได้แก่  $K_p, T_i, T_d$  และรับค่า  $T_s$  กับค่าเวลาสิ้นสุดการควบคุมด้วย

1480 คอมพิวเตอร์ทำการคำนวณค่า ALPHA , BETA , GRAMMA เพื่อเป็นการคำนวณ สมการ PID ในระบบดิจิตอล ดังที่อธิบายในบทที่ 2

1530 -1550 คอมพิวเตอร์คำนวณค่าการลุ่มตัวอย่างให้ Counter#2

1630 -1660 ควบคุม Counter#2 ให้ทำงานในโหมด 2 ซึ่งจะผลิตสัญญาณที่มีคาบ เวลาเท่ากับ  $T_s$

1720 -1730 ทำการรับข้อมูลจาก A/D โดยคาบเวลาของการรับข้อมูลเท่ากับ  $T_s$

1780 -1790 ทำการคำนวณหาค่าผิดพลาดภายใต้พื้นที่การควบคุม โดยถ้าค่าผิดพลาดอยู่เหนือพื้นที่การควบคุมจะส่งสัญญาณให้ลดลดความร้อนจ่ายพลังงาน 100 % แต่ถ้าค่าผิดพลาดอยู่ในพื้นที่ควบคุมจะส่งสัญญาณให้จ่ายพลังงาน 0% และถ้าค่าผิดพลาดอยู่ในพื้นที่การควบคุมจะส่งไปค่า

ควบคุมตามสมการ PID

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1800 คอมพิวเตอร์ส่งค่าที่คำนวณได้ไปยัง D/A

1830 คอมพิวเตอร์ตรวจสอบว่าถึงเวลาสิ้นสุดหรือยังถ้ายังไม่สิ้นสุดก็จะรับข้อมูล

และคำนวณตามโปรแกรมไปตลอด

1860 เป็นการเก็บบันทึกผลการควบคุม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### การทดลองและผลการทดลอง

#### 4.1 การหาค่าคุณลักษณะของกระบวนการ

ทำการทดลองโดยจ่ายพลังงานแก่ชุดหลอดความร้อน 100% แล้ววัดอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงในช่วงเวลาต่าง ๆ โดยจัดอุปกรณ์ดังรูป 4.1 ซึ่งจากการทดลองจะได้ข้อมูลดังนี้

เวลา (นาที)	อุณหภูมิ ( $^{\circ}\text{C}$ )
0.0	35.0
0.5	35.0
1.0	35.25
1.5	36.0
2.0	36.4
2.5	37.0
3.0	37.3
3.5	38.0
4.0	38.4
4.5	39.0
5.0	39.4
5.5	40.0
6.0	40.3
6.5	40.9
7.0	41.4
7.5	42.0
8.0	42.3
8.5	42.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลา (นาที)	อุณหภูมิ (°C)
9.0	43.3
9.5	43.9
10.0	44.2
10.5	44.8
11.0	45.1
11.5	45.6
12.0	46.0
12.5	46.6
13.0	47.0
13.5	47.4
14.0	47.9
14.5	48.2
15.0	48.7
15.5	49.1
16.0	49.8
16.5	50.1
17.0	50.5
17.5	51.0
18.0	51.25
18.5	51.9
19.0	52.1
19.5	52.6
20.0	53.1
20.5	53.4
21.0	54.1
21.5	54.25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลา (นาที)	อุณหภูมิ (°C)
22.0	54.8
22.5	54.95
23.0	55.4
23.5	56.0
24.0	56.2
24.5	56.55
25.0	57.0
25.5	57.45
26.0	57.8
26.5	58.2
27.0	58.55
27.5	59.1
28.0	59.35
28.5	59.85
29.0	60.1
29.5	60.5
30.0	60.9

จากตารางผลการทดลอง จะได้สมการการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิกับเวลาเป็นดังนี้

$$\begin{aligned} \text{อุณหภูมิ (}^{\circ}\text{C)} &= 0.90366 \times \text{นาที} + 34.9543 \text{ (}^{\circ}\text{C)} \\ &= 0.015061 \times \text{วินาที} + 34.9543 \text{ (}^{\circ}\text{C)} \end{aligned}$$

ซึ่งจะพบว่ากระบวนการมีค่าเวลาหน่วง (L) และค่าอัตราเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ

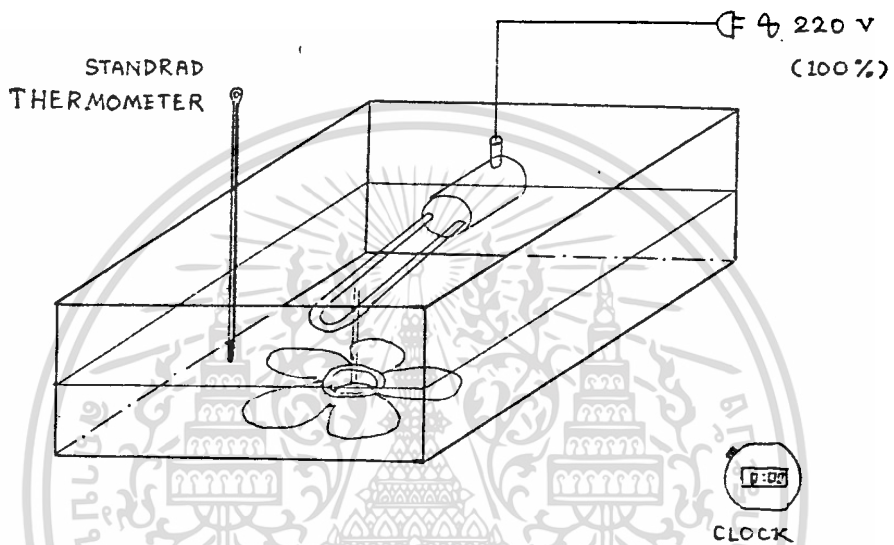
ต่อเวลา (n) ดังนี้

$$L = 3.03433 \text{ วินาที}$$

$$n = R \text{ (เพราะว่าจ่ายพลังงานแก่ขดลวดความร้อน 100\%)}$$

$$= 0.015061 \text{ }^{\circ}\text{C/วินาที}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 การทดลองหาอัตราเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิต่อเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.2 การหาพารามิเตอร์ PID ที่เหมาะสม

##### 4.2.1 การหาค่าเริ่มต้นโดยวิธีของซีเกลอร์-นิโคลส์

$$K_p = 1.2 / R_L = 26.2582$$

$$T_I = 2L = 6.06860$$

$$T_D = 0.5L = 1.51717$$

ผลจากการโปรแกรมพารามิเตอร์ PID เหล่านี้ ในการควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ ที่ 45 °C จะได้ผลการควบคุมดังรูป 4.2.1 ซึ่งจะเห็นได้ว่าผลการควบคุมจะมีขนาดของการแกว่งน้อยลงเรื่อยๆ โดยจะลู่เข้าสู่อุณหภูมิ 45 °C หลังจากเวลามากกว่า 30 นาทีขึ้นไป

##### 4.2.2 การทดลองแปรค่า $T_I$ เพื่อให้ได้ผลการควบคุมที่ดีขึ้น

จาก 4.2.1 ผลการควบคุมค่อนข้างจะเข้าสู่อุณหภูมิที่ต้องการได้ช้า เมื่อพิจารณาจากระบบทั้งหมดโดยรวมแล้ว จะพบว่า การจะลดเวลาช่วงนี้ให้สั้นลงควรลดค่าโอเวอร์ชูตลง เพื่อให้ขนาดของการแกว่งในคาบต่อๆ ไปลดลง ซึ่งจะทำให้ได้โดยเพิ่มค่าของ  $T_I$  ลง (ลดอัตราขยายของซูดอินติเกรท) โดยคงค่า  $K_p$ ,  $T_D$  ไว้ที่ค่าเดิม ผลจากการเพิ่มค่าของ  $T_I$  จาก 6.06866 เป็น 6.5 จะได้ผลการควบคุมดังรูป 4.2.2 จะพบว่าระบบมีโอเวอร์ชูตลดลงและมีขนาดของการแกว่งลดลงไปด้วย แต่เมื่อเพิ่มค่าของ  $T_I$  ลงไปอีกจาก 6.5 เป็น 6.95 จะได้ผลการควบคุมดังรูป 4.2.3 ซึ่งระบบจะมีโอเวอร์ชูตลดลงแต่มีขนาดของการแกว่งเพิ่มขึ้นจนมีแนวโน้มจะลู่ออกจากอุณหภูมิที่ต้องการ

สรุปว่าพารามิเตอร์ PID ที่เหมาะสมควรมีค่าดังนี้

$$K_p = 26.2582$$

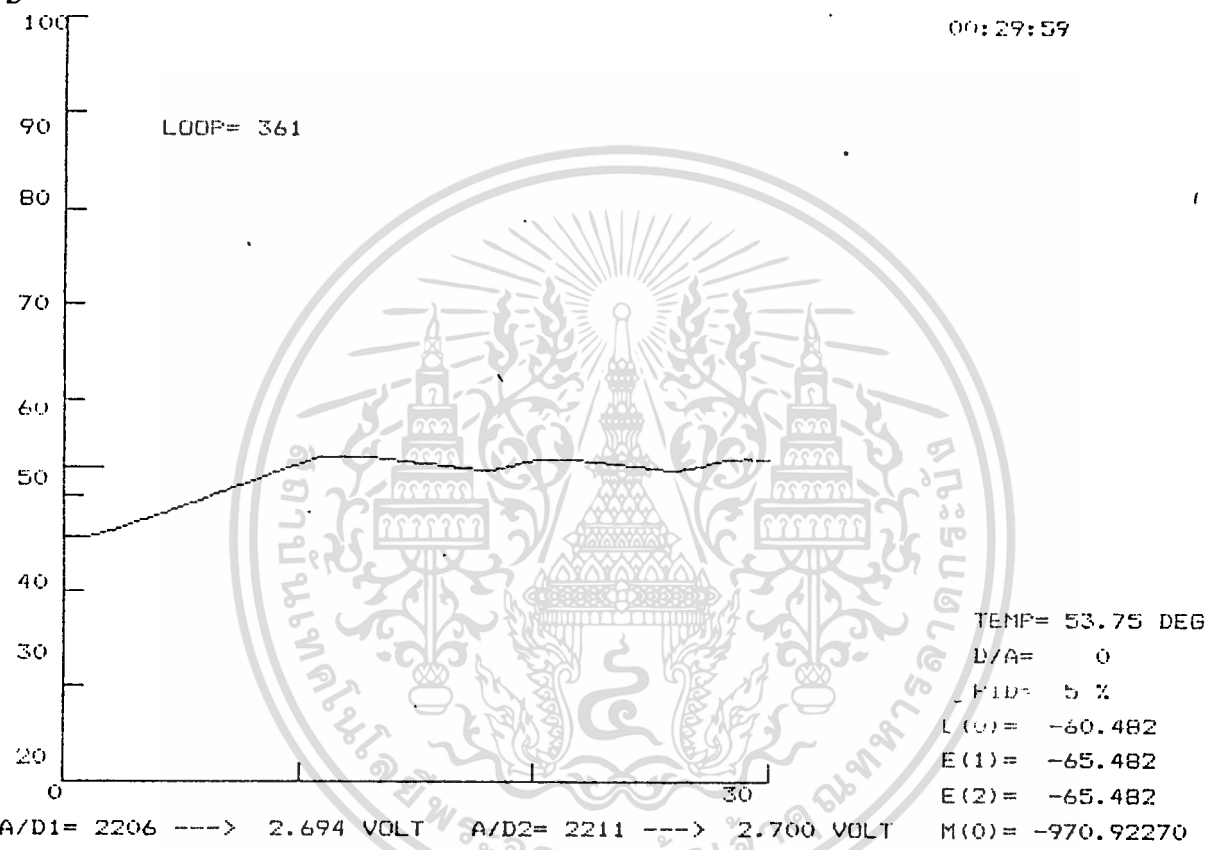
$$T_I = 6.5 - 6.9$$

$$T_D = 1.51717$$





REF.TEMP= 53                      REF.VOLT= 2.61968                      REF.NUM= 2145.52  
 PID= 107.276  
 KP= 26.2582    T1= 6.95                      TD= 1.51717    TS= 5'



รูปที่ 4.2.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุป

จากการทดลองจะเห็นว่ามิชข้อจำกัดทางฮาร์ดแวร์คือการจ่ายพลังงานสูงสุดได้ตามความสามารถสูงสุดของขดลวดความร้อนและไม่มีระบบหล่อเย็นเมื่อต้องการลดความร้อน ดังนั้นจึงเป็นข้อจำกัดขีดความสามารถของการควบคุม

นอกจากนี้ยังมีข้อผิดพลาดในเครื่องมือวัดและการอ่านข้อมูล ได้แก่การอ่านค่าอุณหภูมิจากเทอร์โมมิเตอร์ชนิดปรอทซึ่งสเกลของมิเตอร์ไม่สามารถวัดให้ละเอียดได้เป็นต้น ข้อผิดพลาดเหล่านี้ทำให้ข้อมูลที่จะนำมาใช้ในการควบคุมคลาดเคลื่อนด้วย เป็นเหตุให้การควบคุมไม่อยู่ในลักษณะที่สมบูรณ์เต็มที่

อย่างไรก็ตาม การทดลองนี้ก็สามารถเป็นแนวทางการวิเคราะห์ให้เห็นถึงลักษณะของการควบคุมอุณหภูมิและการปรับปรุง เพื่อให้ได้ผลตอบสนองตามที่ต้องการได้



### กิตติกรรมประกาศ

- ขอขอบพระคุณ อาจารย์พรสุข เทศเจริญ ที่ได้ให้คำปรึกษาอันมีค่ามาโดยตลอด
- ขอขอบพระคุณ อาจารย์ ฮาชาเช จากมหาวิทยาลัยโตโก
- ขอขอบพระคุณเพื่อนนักศึกษารุ่นที่ 24 คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่เป็นกำลังใจให้กันและกันอยู่เสมอ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## หนังสืออ้างอิง

1. " Temperature Control by Computer ", TOKAI UNIVERSITY. 261 P. 1987
2. F.G Shinsky , " Process-Control Systems ", McGraw-Hill Book Company , 349 P., 1979
3. James W. Coffion , " Z80 Applications ", SYBEX, 295 P., 1983
4. Karl J. Astrom , " Computer Controlled System ", Prentice-Hall International Editions, 430 P., 1984
5. Howard M. Berlin , "Design of OP-AMP Circuits ", Howard W Sams & Co , Inc. , 221 P., 1980

