คอมพิวเตอร์สำหรับแบบจำลองกระบวนการ

COMPUTERIZED PROCESS SIMULATOR

โดย

นายนิรุตติ อารีชม

นายยุทธพงศ์ ทัพพดุง

นายสันติพงศ์ สิริชัยเจริญกล

วัน เดือน ปี 1 ส.ค. 2540
เลขทะเบียน 037159
เลขเรียกหนังสือ T 58.5 X659 ก.

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต
สาขาวิศวกรรมการวัดคุมทางอุตสาหกรรม
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2538

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

037159

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2538
ภาควิชา เทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรม
คณะ วิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
เรื่อง คอมพิวเตอร์สำหรับแบบจำลองกระบวนการ

ผู้จัดทำ

1. นายนิรุตติ อารีชม รหัสประจำตัว 36013291
2. นายยุทธพงศ์ ทัพพตุง รหัสประจำตัว 36013300
3. นายสันติพงศ์ สิริชัยเจริญกล รหัสประจำตัว 36013311

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(อาจารย์วิริยะ กองรัตน์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คอมพิวเตอร์สำหรับแบบจำลองกระบวนการ
COMPUTERIZED PROCESS SIMULATOR

นายนิรุตติ อารีชม
นายยุทธพงศ์ ทัพผดุง
นายสันติพงศ์ สิริรัยเจริญกล
อ.วิริยะ กองรัตน์ อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2538

บทคัดย่อ

คอมพิวเตอร์สำหรับแบบจำลองกระบวนการ เป็นการวิเคราะห์ผลตอบสนองของระบบจากสมการคุณลักษณะในรูปของฟังก์ชั่นถ่ายโอนโดยจำลองอุปกรณ์ต่าง ๆ ของวงรอบควบคุมออกมาเป็นบล็อคไดอะแกรมแต่ละบล็อค และทำการเชื่อมต่อกับเครื่องควบคุมภายนอก คอมพิวเตอร์จะทำการวิเคราะห์วงรอบควบคุมในลักษณะทฤษฎีเชิงตัวเลข โดยมีเครื่องควบคุมเป็นตัวควบคุม

Abstact

Computerized Process Simulator is system response analysis of transfer function characteristic. Each element of control loop is simulated by each block diagram which interface with external controller (PID unit). Control loop is analysised in numerical theory of computer which control by PID controller.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

เนื้อหา	หน้า
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 ฟังก์ชั่นการถ่ายโอน (Transfer Function)	4
2.2 ระบบอันดับหนึ่ง (First-order system)	7
2.3 ฟังก์ชั่นถ่ายโอนของระบบควบคุมวงรอบปิด (Closed-Loop Transfer Function)	10
2.4 สมการคุณลักษณะของวงรอบการควบคุม (Characteristic Equation of the loop)	13
2.5 ผลตอบสนองที่สภาวะคงที่ของวงรอบการควบคุมแบบปิด (Steady-State Closed-Loop Response)	15
2.6 ตัวอย่างการวิเคราะห์ระบบควบคุมอุณหภูมิทางคณิตศาสตร์	17
บทที่ 3 การจำลองกระบวนการโดย Numerical Math	27
3.1 Simulation of Dynamic Process Models	27
3.2 Runge-Kutta Method	27
3.3 การจัดรูปสมการ	29
3.4 ฟังก์ชั่นถ่ายโอนแบบอันดับหนึ่งที่ต่อแบบอนุกรม	30
บทที่ 4 การทำงานของโปรแกรมและผลการทดลอง	31
4.1 การทดลอง	31
4.2 การทำงานของโปรแกรม	32
- แสดง Flowchart	36
4.3 ผลการทดลอง	43
บทที่ 5 สรุปและบทวิจารณ์	47
ภาคผนวก	
กิตติกรรมประกาศ	
หนังสืออ้างอิง	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปแสดง	หน้า
รูปที่ 1 แสดงส่วนประกอบของ Block diagram	6
รูปที่ 2 แสดง Block diagram ของระบบอันดับหนึ่ง	7
รูปที่ 3 แสดง Block diagram ที่ง่ายขึ้นของระบบอันดับหนึ่ง	7
รูปที่ 4 แสดงผลตอบสนองของระบบอันดับหนึ่งต่ออินพุทที่เป็น unit step	9
รูปที่ 5 Loopควบคุมแบบป้อนกลับสำหรับการควบคุมอุณหภูมิของ Heat exchanger	10
รูปที่ 6 บล๊อคไดอะแกรมวงรอบการควบคุมอุณหภูมิของกระบวนการแลกเปลี่ยนความร้อน	11
รูปที่ 7 ระบบควบคุมอุณหภูมิสำหรับถังกวนให้ความร้อนแบบต่อเนื่อง	18
รูปที่ 8 แสดงบล๊อคไดอะแกรมของวงรอบการควบคุมอุณหภูมิ	23
รูปที่ 9 แสดงบล๊อคไดอะแกรมที่ง่ายขึ้นของวงรอบการควบคุมอุณหภูมิ	23
รูปที่ 10 แสดงบล๊อคไดอะแกรมรวมของฟังก์ชั่นถ่ายโอนอันดับหนึ่ง	30
รูปที่ 11 แสดงบล๊อคไดอะแกรมย่อยของฟังก์ชั่นถ่ายโอนอันดับหนึ่งที่ต่อแบบอนุกรม	30
รูปที่ 12 ลักษณะการต่อใช้งานร่วมกันระหว่าง Hardware กับ Software	34
รูปที่ 13 ลักษณะของเครื่องควบคุมกระบวนการ PID Unit (Omron)	45
รูปที่ 14 แสดงการต่อร่วมกันระหว่างเครื่องควบคุมทางอุตสาหกรรมกับ Computerized Process Simulator	45
รูปที่ 15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของตัวแปรควบคุมกับอุณหภูมิทางออกซึ่งถูกควบคุมด้วยเครื่องควบคุมภายนอก	46
รูปที่ 16 กราฟแสดงความสัมพันธ์หลังจากที่เครื่องควบคุมภายนอกได้ทำการแก้ไข หลังจากที่มีการรบกวนจากภายนอกด้วยคลื่นซายน์	46
รูปที่ 17 แสดงบล๊อคไดอะแกรมของระบบถังกวนที่ได้ทำการจำลอง	47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

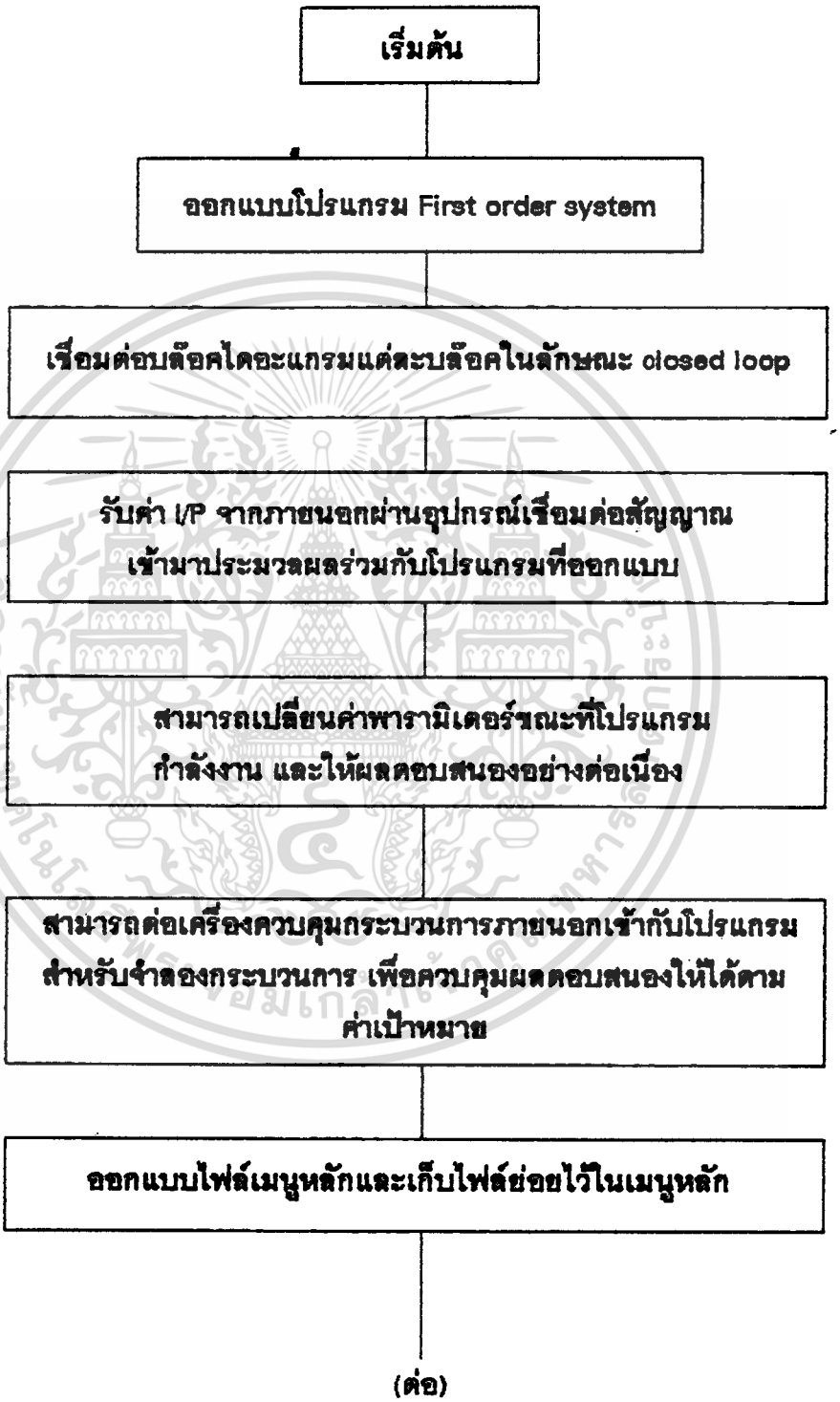
โดยทั่วไป แบบจำลองกระบวนการที่สร้างขึ้น จะเป็นลักษณะของแบบจำลองที่จำลองมาจากกระบวนการจริงแต่มีขนาดเล็กกว่าและเป็นการจำลองทางด้านฮาร์ดแวร์ (Hardware) เสียเป็นส่วนใหญ่ แต่อย่างไรก็ตามในการ จำลองลักษณะดังกล่าวก็ยังเสียค่าใช้จ่ายไม่น้อยเหมือนกัน และหากมีการเปลี่ยน แปลงกระบวนการใหม่ ระบบที่จำลองมาก่อนแล้ว ก็จะใช้ไม่ได้อีก ดังนั้นจึง เกิดมีแนวความคิดว่าน่าจะทำการจำลองกระบวนการออกมาในรูปของซอฟท์แวร์ (software) ซึ่งเป็นลักษณะของการออกแบบโปรแกรมจำลองกระบวนการ การต่อใช้งานของโปรแกรม จะต่อใช้งานร่วมกับเครื่องควบคุมกระบวนการภาย นอกผ่านอุปกรณ์เชื่อมต่อสัญญาณ (A/D & D/A Interface) ลักษณะการจำลองกระบวนการแบบนี้ เราเรียกว่า คอมพิวเตอร์สำหรับแบบจำลองกระบวนการ (Computerized Process Simulator) การจำลองกระบวนการแบบนี้เป็น การนำเอาสมการคุณลักษณะของกระบวนการมาทำการวิเคราะห์ ซึ่งง่ายกว่า การจำลองกระบวนทางด้านฮาร์ดแวร์ ผู้ใช้สามารถที่จะกำหนดค่าพารามิเตอร์ ต่างๆ ของกระบวนการได้ เพื่อที่จะทำการวิเคราะห์ผลตอบสนองเปรียบเทียบ กับกระบวนการจริง ซึ่งจะให้ผลที่เหมือนกันและมีค่าความคลาดเคลื่อน (error) น้อยมาก ขอบเขตของการศึกษา ต้องการศึกษาผลตอบสนองของกระบวนการเมื่อมีการรบกวนจากภายนอก และ ความสามารถของเครื่องควบคุมกระบวนการภายนอกในการแก้ค่าความคลาดเคลื่อน

วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์

1. เพื่อออกแบบโปรแกรมสำหรับจำลองกระบวนการควบคุมอุณหภูมิ
2. เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงของผลตอบสนองของระบบเมื่อมีการรบกวน (Disturbance) จากภายนอก
3. เพื่อศึกษาการทำงานร่วมกันระหว่างโปรแกรมที่ออกแบบ กับเครื่องควบคุมกระบวนการภายนอก PID Unit (omron)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลำดับขั้นการดำเนินงาน



(ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

เนื่องจากกระบวนการที่จะทำการวิเคราะห์ จะอยู่ในรูปของฟังก์ชั่นการถ่ายโอน (Transfer Function) ดังนั้น เราจึงควรทราบถึงคุณลักษณะของฟังก์ชั่นการถ่ายโอนในแต่ละแบบก่อน ว่ามีลักษณะและคุณสมบัติอย่างไร เมื่อเราทราบถึงคุณลักษณะของฟังก์ชั่น การถ่ายโอนแต่ละแบบแล้ว เราก็สามารถที่จะวิเคราะห์ทั้งกระบวนการ โดยการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์ ซึ่งออกมาในรูปของโปรแกรมที่ใช้ในการวิเคราะห์หาผลตอบสนองของระบบ

2.1 ฟังก์ชั่นการถ่ายโอน (Transfer Function)

ฟังก์ชั่นการถ่ายโอนเป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่งในการศึกษาทางด้านพลศาสตร์ของกระบวนการ และการควบคุมแบบอัตโนมัติ ฟังก์ชั่นการถ่ายโอนคืออัตราส่วนของตัวแปรทางออก (output variable) ต่อ ตัวแปรทางเข้า (input variable) ซึ่งตัวแปรทั้งสองจะอยู่ในรูปของการแปลงลาปลาซหรืออยู่ในเทอมของ s-domain โดยทั่วไป ฟังก์ชั่นการถ่ายโอนจะถูกแสดงได้ดังนี้

$$G(s) = \frac{Y(s)}{X(s)} = \frac{K(a_m s^m + a_{m-1} s^{m-1} + \cdots + a_1 s + 1)}{(b_n s^n + b_{n-1} s^{n-1} + \cdots + b_1 s + 1)}$$

เมื่อ

$G(s)$ = ฟังก์ชั่นการถ่ายโอนทั่วไป

$Y(s)$ = ตัวแปรทางออกแบบการแปลงลาปลาซ

$X(s)$ = ตัวแปรทางเข้าแบบการแปลงลาปลาซ

K ,a's และ b's = ตัวคงที่

สมการที่แสดงนี้เป็นสมการที่แสดงถึง ฟังก์ชั่นการถ่ายโอนที่ดีที่สุด โดยที่ K หมายถึงอัตราการขยายของระบบ ส่วนค่าคงที่ตัวอื่น a's และ b's มีหน่วยเป็น (time)^i เมื่อ i คือกำลังของตัวแปรลาปลาซ หน่วยทั่วไปของ s จะขึ้นอยู่กับตัวแปรที่ใช้ในการกำหนดของการแปลงลาปลาซในสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฟังก์ชั่นการถ่ายโอนที่สมบูรณ์ ได้บอกถึงคุณลักษณะทางพลศาสตร์ ค่าสภาวะคงที่ ผลตอบสนองทั้งหมดของระบบ โดยอธิบายได้จากสมการความแตกต่างแบบเชิงเส้น ซึ่งคือคุณลักษณะของระบบ และเป็นสิ่งที่บอกให้รู้ว่าระบบนั้นเสถียรภาพหรือไม่ หรือมีผลตอบสนองต่อทางเข้าแบบแกว่งหรือไม่

คุณสมบัติที่สำคัญของฟังก์ชั่นการถ่ายโอนมีดังนี้

1.ฟังก์ชั่นการถ่ายโอนของระบบทางกายภาพจริง กำลังที่สูงสุดของ s ใน numerator นั้นจะไม่สูงไปกว่า denominator หรือ n > m

2.ฟังก์ชั่นการถ่ายโอนที่ได้จากการแปลงลาปลาซของการเบี่ยนเบนในตัวแปรทางเข้าและตัวแปรทางออกจากจุดเริ่มต้นที่สภาวะคงที่ใด ๆ หรือที่จุดเริ่มต้นที่ไม่เท่ากับศูนย์ จะสนับสนุนการรวมเทอมในการแปลงของตัวแปรทางออก

3.สำหรับระบบที่เสถียรภาพ สภาวะคงที่จะสัมพันธ์กันระหว่างการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรทางออก และ การเปลี่ยนแปลงของตัวแปรทางเข้า ซึ่งสามารถแสดงได้ดังนี้

$$\lim_{s \to 0} G(s)$$

จากทฤษฎีค่าสุดท้าย (final value theorem) ;

$$\lim_{s \to \infty} y(t) = \lim_{s \to 0} sY(s)$$

$$= \lim_{s \to 0} sG(s)X(s)$$

$$= \left[\lim_{s \to 0} G(s)\right] \left[\lim_{s \to 0} sX(s)\right]$$

$$= \left[\lim_{s \to 0} G(s)\right] \lim_{s \to \infty} x(t)$$

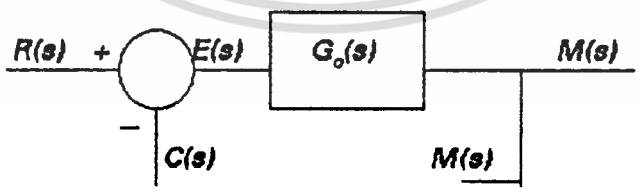
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นั่นหมายถึงการเปลี่ยนแปลงในตัวแปรทางออกหลังจากเวลาผ่านไปนานแล้ว ถ้าระบบนั้น bound สามารถที่จะแทน $s = 0$ ได้ในฟังก์ชั่นการถ่ายโอนที่ค่าสุดท้ายของการเปลี่ยนแปลงทางเข้า

จากลักษณะที่กล่าวมาข้างต้นนี้คือ คุณสมบัติของฟังก์ชั่นการถ่ายโอน แต่ เนื่องจากในการวิเคราะห์หาผลตอบสนองทางคณิตศาสตร์ของฟังก์ชั่นการถ่ายโอน เราจะทำการวิเคราะห์จาก Block diagram ดังนั้นเพื่อความเข้าใจจะขอแนะนำเกี่ยวกับ Block diagram เพียงเล็กน้อย

Blockdiagramเป็นเครื่องมือที่มีประโยชน์มากในการควบคุมขบวนการที่จะแสดงให้เห็นถึง ฟังก์ชั่นการถ่ายโอน ซึ่ง Block แต่ละ Block อาจจะมีฟังก์ชั่นการถ่ายโอนที่แตกต่างกันไป ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับกระบวนการที่ทำการวิเคราะห์ โดยทั่วไป Block diagram จะประกอบไปด้วยส่วนประกอบพื้นฐาน 4 อย่าง ได้แก่ ลูกศร จุดรวม จุดแยก และ Block รูปที่ 1 แสดงให้เห็นถึงส่วนประกอบเหล่านี้ Block diagram ทั้งหมดนี้ถูกจัดขึ้นโดยการรวมกันของส่วนประกอบเหล่านี้ลูกศรมีหน้าที่ชี้ทิศทางการไหลของสัญญาณข่าวสาร เช่น ตัวแปรขบวนการหรือสัญญาณควบคุม จุดรวมแสดงถึงการรวมกันทางพีชคณิตของลูกศรทางเข้า $(E(s)=R(s) - C(s))$ จุดแยก คือตำแหน่งที่ลูกศรมีสัญญาณข่าวสารที่แยกออกและไปบรรจบกับจุดรวมอื่นหรือ Block Block แสดงถึงการกระทำทางคณิตศาสตร์ในฟังก์ชั่นการถ่ายโอนซึ่งจะเริ่มจากสัญญาณทางเข้าไปสู่ทางออกของสัญญาณ

$$M(s) = G_0(s)E(s) = G_0(s)(R(s) - C(s))$$



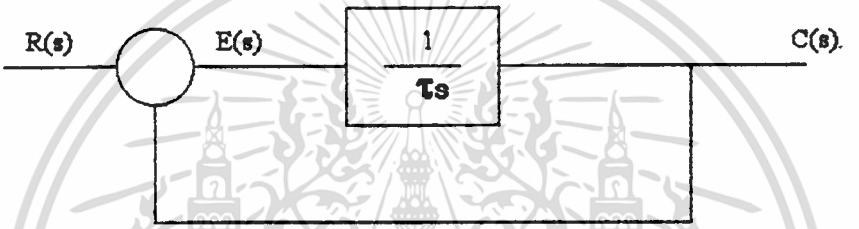
รูปที่ 1 แสดงส่วนประกอบของ Block diagram

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากฟังก์ชั่นการถ่ายโอนของ Block diagram แต่ละ Block มีความสำคัญที่แตกต่างกันไป ดังนั้นเราจึงควรจะศึกษาถึงคุณสมบัติเฉพาะของฟังก์ชั่นการถ่ายโอนที่แสดงออกมาเป็น Block diagram แต่ละแบบ

2.2 ระบบอันดันหนึ่ง (First-order system)

ในการพิจารณาระบบอันดับหนึ่ง เราอาจจะพิจารณาได้จากวงจร R-C หรือจากระบบใด ๆ ก็ได้ ดังแสดงในรูปที่ 2 และ 3



รูปที่ 2 แสดง Block diagram ของระบบอันดับหนึ่ง

รูปที่ 3 แสดง Block diagram ที่ง่ายขึ้นของระบบอันดับหนึ่ง

จาก Block diagram รูปที่ 3 เป็นการใช้กฎการจัดรูปของ Block diagram ทำการเปลี่ยนรูปที่ 2 ให้ดูง่ายและง่ายต่อการทำความเข้าใจ ความสัมพันธ์ของอินพุทและเอาท์พุทของระบบอันดับหนึ่งในกรณีนี้คือ

$$\frac{C(s)}{R(s)} = \frac{1}{\tau s+1} \qquad \text{.....(2-1)}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการวิเคราะห์หาผลตอบสนองของระบบอันดับหนึ่งต่ออินพุท เราสามารถกำหนดอินพุทที่ใช้ในการวิเคราะห์ได้ 3 แบบ คือ unit step, unit ramp, unit impluse โดยกำหนดให้ภาวะแรกเริ่มเป็นศูนย์ ระบบทางกายภาพ(physical system) ต่าง ๆ ที่มี ฟังก์ชั่นการถ่ายโอนเหมือนกัน จะมีผลตอบสนองต่ออินพุทแบบเดียวกันเหมือนกัน และผลตอบสนองทางคณิตศาสตร์นี้สามารถอธิบายถึงคุณสมบัติทางกายภาพของระบบนั้น ๆ ได้

2.2-1 ผลตอบสนองของระบบอันดับหนึ่งต่ออินพุทที่เป็น unit step

ลักษณะผลตอบสนองของระบบอันดันหนึ่งต่ออินพุทที่เป็น unit step จะมีลักษณะสัญญาณอินพุทในโดเมนเวลา (time domain) หรือ r(t) มีค่าเท่ากับ 1 เมื่อทำการแปลงลาปลาซของ unit step จะเท่ากับ 1/s ดังนั้นเมื่อแทนค่า R(s) = 1/s ในสมการ (2-1) จะได้

$$C(s) = \frac{1}{\tau s+1} \cdot \frac{1}{s} \quad \text{.....(2-2)}$$

ใช้วิธีการของเศษส่วนย่อย (partial fraction)

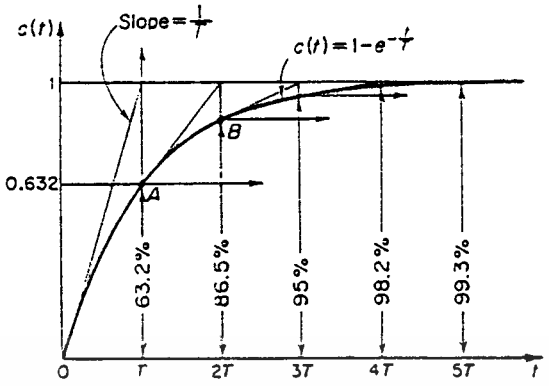
$$C(s) = 1 - \frac{1}{s} \quad \frac{1}{\tau s+1} \text{.....(2-3)}$$

ทำการแปลงกลับลาปลาซ จะได้

$$o(t) = 1-e^{-t/\tau} \quad ; t>0 \text{ .....(2-4)}$$

ซึ่งผลตอบสนองของเอาท์พุท o(t) ต่ออินพุทที่เป็น unit stepในโดเมนเวลา (time domain) สามารถนำมาเขียนเส้นโค้ง (curve) ได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4 แสดงผลตอบสนองของระบบอันดับหนึ่งต่ออินพุทที่เป็น unit step

สมการ (2-4) ทำให้ทราบว่าที่ภาวะแรกเริ่ม t=0 นั้น เอาท์พุท o(t) จะมีค่าเท่ากับศูนย์ และในสภาวะสุดท้าย o(t) จะมีค่าเท่ากับหนึ่งสำหรับที่ t=τ นั้น o(t) จะมีค่า 0.632 หรือผลตอบสนอง o(t) มีค่าเข้าสู่ 63.2% ของค่าสุดท้าย ซึ่งจะเห็นได้โดยง่ายจากการแทนค่า t=τ ในสมการ(2-4)นั่นคือ

$$o(t) = 1 - e^{-1} = 0.632$$

ค่า τ ซึ่งเป็นค่าคงที่ทางเวลา (time constant) ของระบบจะเป็นตัวชี้ถึงความเร็วในการตอบสนองของระบบ นั่นคือหากค่า τ มีค่าน้อย ๆ ความเร็วของผลตอบสนองของระบบจะเร็ว ในทางตรงกันข้ามหากค่าτ มีค่ามาก ๆ ความเร็วของผลตอบสนองของระบบจะช้า คุณสมบัติที่สำคัญอันหนึ่งของ curve ของผลตอบสนองที่เป็น exponential ก็คือ ความชัน (slope) ของเส้นสัมผัส (tangent line) ที่ t=0 ซึ่งหาได้จากการหาอนุพันธ์จากสมการ
(2-4) และให้ t=0 นั่นคือ

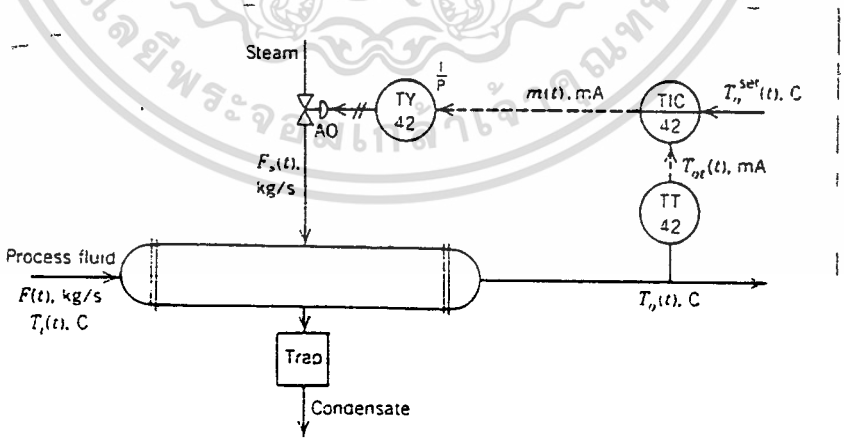
$$\left.\frac{do(t)}{dt}\right|_{t=0} = \frac{1}{\tau} e^{-t/\tau}\Big|_{t=0} = \frac{1}{\tau} \quad .....(2\text{-}5)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอาท์พุทของระบบจะเข้าสู่ค่าสุดท้ายที่ $t = \tau$ ถ้าหากว่าผลตอบสนองรักษาความเร็วที่ภาวะแรกไว้ได้ และจากสมการ (2-5) เราจะเห็นได้ว่า ความชันของเส้นโค้งของผลตอนสนอง c(t) จะลดลงเรื่อย ๆ จาก $1/\tau$ ที่ t=0 ไปเป็นศูนย์ที่ $t=\infty$ รูปที่ 4 แสดงถึงผลตอบสนองของระบบอันดับหนึ่งต่ออินพุทที่เป็น unit step ในช่วงเวลาเท่ากับ 1 คาบเวลาคงที่ทางเวลา ผลตอบสนองของระบบจะมีค่าจาก 0 ไปจนถึง 63.2% ของค่าสุดท้าย เมื่อเวลาผ่านไป 2 คาบเวลาคงที่ทางเวลา ผลตอบสนองจะมีค่า 86.5% ของค่าสุดท้าย และเมื่อ $t=3\tau$, 4τ, 5τ นั้น ผลตอบสนองมีค่า 95% , 98.2% และ 99.3% ของค่าสุดท้ายตามลำดับ ดังนั้นสำหรับ $t>4\tau$ นั้น ผลตอบสนองจะมีค่าอยู่ในช่วง 2% ของค่าสุดท้าย ซึ่งโดยทั่วไปเราถือว่าเมื่อผลตอบสนองมีค่าเข้าสู่ช่วง 2% ของค่าสุดท้าย นั่นแสดงว่าได้เข้าสู่สภาวะคงที่ (steady state) แล้ว นั่นก็คือระบบอันดับหนึ่งจะเข้าสู่สภาวะคงที่เมื่อเวลาผ่านไป 4 ช่วงคาบเวลาคงที่ทางเวลา

2.3 ฟังก์ชั่นถ่ายโอนของระบบควบคุมวงรอบปิด (Closed - Loop Transfer Function)

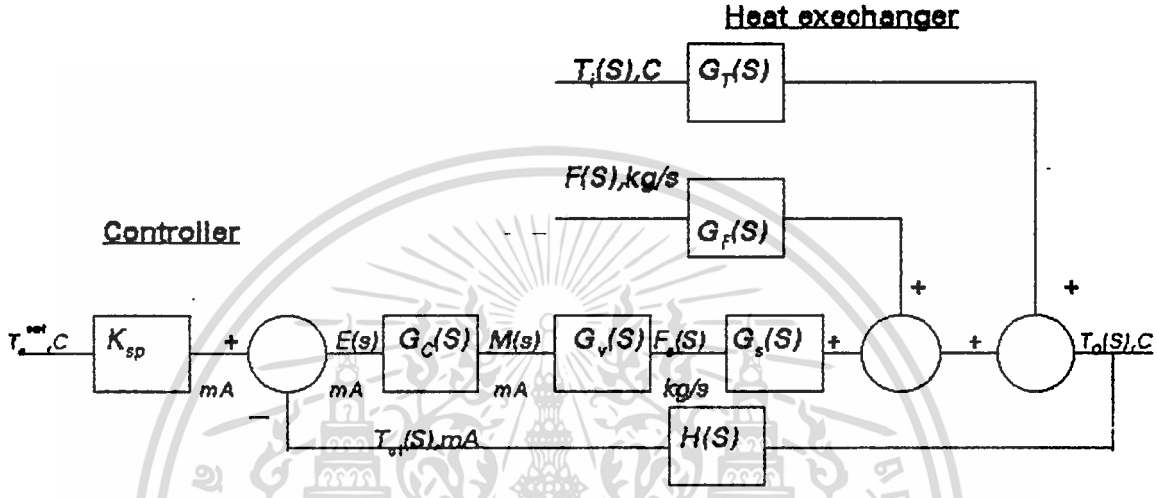
ฟังก์ชั่นถ่ายโอน (transfer function) ที่จะกล่าวในที่นี้เกิดจากการวิเคราะห์จากระบบจริง แล้วจึงนำมาเขียนเป็นบล๊อคของฟังก์ชั่นถ่ายโอน ระบบที่จะทำการศึกษาและวิเคราะห์คือ ตัวอย่างของกระบวนการแลกเปลี่ยนความร้อน



รูปที่5 Loop ควบคุมแบบป้อนกลับสำหรับการควบคุมอุณหภูมิของ Heat exchanger

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 5 เราสามารถที่จะนำมาเขียนเป็นบล๊อคของฟังก์ชั่นถ่ายโอนแต่ละตัวได้ โดยที่พิจารณาจากอุปกรณ์แต่ละตัว จากนั้นก็เขียนบล๊อคฟังชั่นถ่ายโอนของอุปกรณ์แต่ละตัว แล้วจึงทำการวิเคราะห์ทั้งระบบจากบล๊อคที่ได้



รูปที่6 บล๊อคไดอะแกรมวงรอบการควบคุมอุณหภูมิของกระบวนการแลกเปลี่ยนความร้อน

จากบล๊อคไดอะแกรมแบบวงรอบปิด(closed loop) ในรูปที่ 6 ซึ่งในวงรอบหนึ่ง จะพบว่า สัญญาณทางออกคือ ตัวแปรที่ถูกควบคุม $T_o(s)$และสามสัญญาณทางเข้าได้แก่ สัญญาณจากจุดเป้าหมาย$T_o^{set}(s)$ กับอีกสอง สัญญาณรบกวนคือ $T_i(s)$ และ $F(s)$ เริ่มจากอัตราไหลของไอน้ำไปยังจุดอุณหภูมิทางออกผ่านไปที่วงรอบการควบคุม ผลตอบสนองของวงรอบปิดในระบบที่สัญญาณทางเข้าแปรค่าไปจะแตกต่างกับผลตอบสนองเมื่อระบบที่เป็นแบบวงรอบเปิด วงรอบการควบคุมส่วนใหญ่สามารถที่จะถูกเปิดโดยการผลักสวิทช์ที่เครื่องควบคุมจากตำแหน่งอัตโนมัติไปที่ควบคุมด้วยมือเมื่อเครื่องควบคุมอยู่ในตำแหน่งควบคุมด้วยมือ สัญญาณทางออกของเครื่องควบคุมจะไม่มีผลตอบสนองต่อสัญญาณความผิดพลาด และไม่ขึ้นอยู่กับค่าเป้าหมาย และในทางกลับกัน เมื่ออยู่ในตำแหน่งอัตโนมัติ สัญญาณทางออกของเครื่องควบคุมจะถูกแปรค่าไปตามสัญญาณการวัดที่แปรค่าไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เราสามารถที่จะหาฟังก์ชั่นถ่ายโอนแบบวงรอบปิดของวงรอบควบคุมที่สัญญาณทางออกต่อสัญญาณทางเข้าใดๆได้โดยใช้กฎเกณฑ์พีชคณิตของบล็อคไดอะแกรมยกตัวอย่างสมมติว่าเราต้องการที่จะหาผลตอบสนองของอุณหภูมิทางออก$T_o(s)$ต่ออุณหภูมิทางเข้า$T_i(s)$ก็ทำให้การเขียนสมการสำหรับแต่ละบล๊อคที่อยู่ในแต่ละบล๊อคที่อยู่ในไดอะแกรมดังนี้

สัญญาณค่าผิดพลาด $E(s) = K_{sp}T_o^{set}(s) - T_{ot}(s)$

ตัวแปรการจัดการ $M(s) = G_c(s)E(s)$

อัตราไหลของไอน้ำ $F_s(s) = G_v(s)M(s)$

อุณหภูมิทางออก $T_o(s) = G_s(s)F_s(s)+G_F(s)F(s)+G_T(s)T_i(s)$

อุปกรณ์ส่งสัญญาณ $T_{ot}(s) = H(s)T_o(s)$

ต่อไปจะให้อัตราไหลของของไหล และค่าเป้าหมายยังไม่มีการแปรค่าไป ก็คือ ตัวแปรเบี่ยงเบนของทั้งสองนั้นเป็นศูนย์

$$F(s) = 0$$
$$T_o^{set}(s) = 0$$

และทำการยุบตัวแปรที่เกี่ยวข้องเข้าด้วยกันเพื่อที่จะหาสมการที่เป็นความสัมพันธ์ระหว่าง $T_o(s)$ กับ $T_i(s)$

$$T_o(s) = G_s(s)G_v(s)G_c(s)[-H(s)T_o(s)] + G_T(s)T_i(s)$$

จัดสมการใหม่ให้อยู่ในรูป

$$\frac{T_o(s)}{T_i(s)} = \frac{G_T(s)}{1 + H(s)G_s(s)G_v(s)G_c(s)}$$

ซึ่งเป็นฟังก์ชั่นถ่ายโอนแบบวงรอบปิดระหว่างอุณหภูมิทางเข้า และอุณหภูมิทางออกและในทำนองเดียวกันถ้าเราให้$T_i(s)$=0และ$T_o^{set}(s) = 0$ แทนค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในสมการที่ผ่านมา จะได้ฟังก์ชั่นถ่ายโอนแบบวงรอบปิดระหว่างอุณหภูมิทางออก ต่ออัตราไหลของของไหลคือ

$$\frac{T_o(s)}{F(s)} = \frac{G_F(s)}{1 + H(s)G_s(s)G_V(s)G_C(s)}$$

สุดท้ายโดยการให้ $T_i(s) = 0$ และ $F(s) = 0$ จะได้ฟังก์ชั่นถ่ายโอนแบบวงรอบปิดระห่างอุณภูมิทางออกต่อค่าจุดเป้าหมายคือ

$$\frac{T_o(s)}{T_o^{set}(s)} = \frac{G_s(s)G_V(s)G_C(s)K_{sp}}{1 + H(s)G_s(s)G_V(s)G_C(s)}$$

จะเห็นได้ว่าเทอมส่วนของฟังก์ชั่นถ่ายโอนนั้นเหมือนกันทั้งสามสมการ ที่แตกต่างกันก็คือเทอมเศษของฟังก์ชั่นถ่ายโอน ซึ่งเราเรียกรูปแบบของเทอมส่วนนี้ว่า หนึ่งบวกกับผลคูณของแต่ละฟังก์ชั่นถ่ายโอน คือ ผลคูณของบล็อคที่อยู่ในเส้นทางตรงระหว่างทางเข้าที่กำหนดกับทางออกของวงรอบการควบคุม

2.4 สมการคุณลักษณะของวงรอบการควบคุม (Characteristic Equation of the loop)

เทอมส่วนของฟังก์ชั่นถ่ายโอนแบบวงรอบปิด ในระบบควบคุมแบบ ป้อนกลับ จะไม่ขึ้นอยู่กับตัวแปรทางเข้าที่เข้ามาที่ตำแหน่งใด ๆ ก็ตามในวงรอบและจะไม่เป็นผลต่อคุณลักษณะของวงรอบ ผลตอบสนองของวงรอบการควบคุมและเสถียรภาพจะขึ้นอยู่กับEigenvaluesหรือรากของสมการคุณลักษณะ นั่นคือเมื่อเทอมส่วนของฟังก์ชั่นถ่ายโอนของวงรอบควบคุมถูกทำให้เท่ากับศูนย์

$$1 + H(s)G_s(s)G_V(s)G_C(s) = 0$$

จะเป็นสมการคุณลักษณะของวงรอบการควมคุม ซึ่งฟังก์ชั่นถ่ายโอนของเครื่องควบคุมจะถูกรวมอยู่ด้วย และเป็นส่วนที่มีผลอย่างมากแก่สมการคุณลักษณะ นี้คือเหตุผลว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำไมผลตอบสนองของวงรอบการควบคุมสามารถที่จะปรับรูปร่างโดยการปรับแต่งค่าที่เครื่องควบคุม ส่วนอื่น ๆในสมการคุณลักษณะก็จะเป็นอุปกรณ์การวัด-อุปกรณ์ส่งสัญญาณวาล์วควบคุม และส่วนของกระบวนการซึ่งส่วนนี้จะเกิดผลกระทบขึ้นระหว่างผลตอบสนองของตัวแปรที่ถูกควบคุมต่อตัวแปร การจัดการ ในทางกลับกันฟังก์ชั่นถ่ายโอนของกระบวนการที่เป็นความสัมพันธ์ของตัวแปรรบกวนได้แก่ $G_T(s)$ และ $G_L(s)$ ไม่ได้เป็นส่วนหนึ่งของสมการคุณลักษณะ

เพื่อที่จะแสดงให้เห็นสมการคุณลักษณะที่สามารถทราบได้ถึง ผลตอบสนองแบบไม่ถูกขับ (unforced response) ของวงรอบ ต่อไปจะหาผลตอบสนองของวงรอบการควบคุมที่ถูกปิดโดยการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิทางเข้า และทำการแปลงลาปลาซของสัญญาณทางออกจากที่ทราบมาแล้ว สมการคุณลักษณะสามารถที่จะเขียนอยู่ในรูปของสมการโพลิโนเมียลได้ในตัวแปรแบบ การแปลงลาปลาซคือ

$$1 + H(s)G_s(s)G_v(s)G_c(s) = a_n s^n + a_{n-1}s^{n-1} + ... + a_0 = 0$$

เมื่อ $a_n, a_{n-1}, ..., a_0$ เป็นสัมประสิทธิ์ของโพลิโนเมียล โดยการใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ เราสามารถที่จะหารากของโพลิโนเมียลจำนวน n ราก และตัวประกอบได้คือ

$$a_n s^n + a_{n-1}s^{n-1} + ... + a_0 = a_n(s-r_1)(s-r_2)...(s-r_n) = 0$$

เมื่อ$r_1, r_2, ..., r_n$เป็น eigenvalues หรือรากของสมการคุณลักษณะ รากนี้สามารถที่จะเป็นได้ทั้งจำนวนจริงหรือคู่ของจำนวนเชิงซ้อน ซึ่งจะเขียนได้ว่า

$$T_o(s) = \frac{G_T(s)}{1 + H(s)G_s(s)G_v(s)G_c(s)} T_i(s)$$

จากนั้นก็แทนเทอมส่วนในสมการ $T_o(s)$ ด้วยรูปแบบรากของโพลิโนเมียลจะได้ว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$T_o(s) = \frac{\text{(numerator terms)}}{a_n(s-r_1)(s-r_2)...(s-r_n)\ \text{(input terms)}}$$

จากนั้นทำการขยายเป็นเศษส่วนย่อย

$$T_o(s) = \frac{b_1}{s-r_1} + \frac{b_2}{s-r_2} + ... + \frac{b_n}{s-r_n} + \text{(input terms)}$$

เมื่อ$b_1, b_2, ..., b_n$ เป็นสมประสิทธิ์ที่คงที่ ซึ่งสามารถหาได้โดยวิธีการขยายเศษส่วนย่อย และแปลงกลับลาปลาซจะได้

$$T_o(s) = \underbrace{b_1e^{r_1t} + b_2e^{r_2t} + ... + b_ne^{r_nt}}_{\text{Unforced response}} + \underbrace{\text{(input terms)}}_{\text{Forced response}}$$

แสดงให้เห็นแต่ละเทอมของผลตอบสนองแบบไม่ถูกขับที่ประกอบด้วย รากของสมการคุณลักษณะ และจะเห็นว่า สัมประสิทธิ์ $b_1, b_2, ..., b_n$ นั้นขึ้นอยู่กับฟังก์ชั่นขับที่เป็นทางเข้าที่แน่นอน ซึ่งนั่นจะเป็นผลตอบสนองที่แท้จริงของวงรอบการควบคุม อย่างไรก็ตามความเร็วกับเทอมของผลตอบสองแบบไม่ถูกขับที่มีลักษณะลู่ลง ($r_1<0$) หรือลู่ขึ้น ($r_1>0$) หรือแกว่ง (r_1=complex) นั้น สามารถทราบได้ทั้งหมดโดยรากของสมการคุณลักษณะ

2.5 ผลตอบสนองที่สภาวะคงที่ของวงรอบการควบคุมแบบปิด (Steady-State Closed-Loop Response)

จากกระบวนการแลกเปลี่ยนความร้อนในรูปที่ 8 และ บล๊อค ไดอะแกรมในรูปที่ 9 จะเห็นถึงการทำให้เป็นเชิงเส้นของกระบวนการ จุดประสงค์เพื่อหาความสัมพันธ์ที่สภาวะคงที่ของวงรอบการควบคุมแบบปิด ระหว่างตัวแปรทางออกและแต่ละทางเข้าของวงรอบ โดยการนำทฤษฎีค่าสุดท้ายมาใช้กับฟังก์ชั่นถ่ายโอนของวงรอบควบคุมแบบปิด ฟังก์ชั่นถ่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โอนของวงรอบการควบคุมแบบปิดระหว่างอุณหภูมิทางออกต่ออัตราไหลของของไหลในกระบวนการ ได้จาก

$$\frac{T_o(s)}{F(s)} = \frac{G_F(s)}{1 + H(s)G_s(s)G_v(s)G_c(s)} \qquad \text{....(2-6)}$$

กำหนดให้ความสัมพันธ์ระหว่างทางออกและทางเข้าของฟังก์ชั่นถ่ายโอน เป็นความสัมพันธ์ที่สภาวะคงที่ โดยกำหนดให้ $s = 0$ และจากวิธีการทฤษฎีค่าสุดท้ายสามารถกำหนดรูปสมการ (2-6) ใหม่ จะได้

$$\frac{\Delta T_o}{\Delta F_s} = \frac{G_F(0)}{1 + H(0)G_s(0)G_v(0)G_c(0)} \qquad \text{.....(2-7)}$$

เมื่อ ΔT_o เป็นค่าการเปลี่ยนแปลงที่สภาวะคงที่ในอุณหภูมิทางออก , C

ΔF_s เป็นค่าการเปลี่ยนแปลงที่สภาวะคงที่ในของไหลในกระบวนการ , kg/s

ถ้ากำหนดให้กรณีทั่วไปของกระบวนการนี้เป็นเสถียรภาพ ดังนั้น

$G_F(0) = K_F$ อัตราขยายแบบวงรอบเปิดของกระบวนการต่อการเปลี่ยนแปลงของอัตราไหลในกระบวนการ , C/(kg/s)

$G_s(0) = K_s$ อัตราขยายแบบวงรอบเปิดของกระบวนการต่อการเปลี่ยนแปลงของอัตราไหลของไอน้ำ , C/(kg/s)

ในทำนองเดียวกัน วาล์วและอุปกรณ์วัด-อุปกรณ์ส่งสัญญาณก็พิจารณาแบบเดียวกัน

$G_v(0) = K_v$ อัตราขยายของวาล์ว , (kg/s)/mA

$H(0) = K_h$ อัตราขยายของอุปกรณ์วัด-อุปกรณ์ส่งสัญญาณ , mA/C

สุดท้ายเป็นเครื่องควบคุมแบบสัดส่วนอย่างเดียว

$G_c(0) = K_c$ อัตราขยายของเครื่องควบคุม , mA/mA

แทนเทอมเหล่านี้ในสมการ (2-7) จะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\frac{\Delta T_o}{\Delta F_s} = \frac{K_F}{1 + K_h K_s K_v K_c}, \text{ C/(kg/s)} \quad \text{....(2-8)}$$

จากสมการ (2-8) เป็นความสัมพันธ์ที่สภาวะคงที่ระหว่างอุณหภูมิทางออกต่ออัตราไหลของกระบวนการ เมื่ออุณหภูมิทางเข้าคงที่และค่าเป้าหมายไม่เปลี่ยนแปลง

ทำนองเดียวกัน เราสามารถที่จะหาความสัมพันธ์ที่คงที่ระหว่างอุณหภูมิทางออกต่ออุณภูมิทางเข้าได้ โดยกำหนดให้อัตราการไหลของกระบวนการคงที่ และค่าเป้าหมายไม่เปลี่ยนแปลง

$$\frac{\Delta T_o}{\Delta T_i} = \frac{K_T}{1 + K_h K_s K_v K_c}, \text{ C/C} \quad \text{.....(2-9)}$$

สุดท้ายเราสามารถหาความสัมพันธ์ที่สภาวะคงที่ของอุณหภูมิทางออกต่อค่าเป้าหมายเมื่ออัตราการไหลของกระบวนการและอุณหภูมูทางเข้าคงที่ได้ดังนี้

$$\frac{\Delta T_o}{\Delta T_o^{set}} = \frac{K_c K_v K_c K_{sp}}{1 + K_h K_s K_v K_c}, \text{ C/C} \quad \text{.....(2-10)}$$

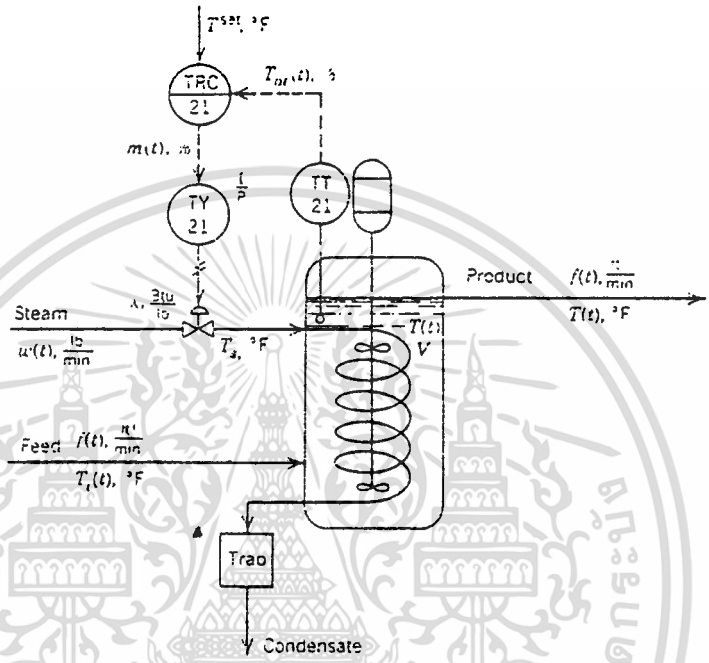
2.6 ตัวอย่างการวิเคราะห์ระบบควบคุมอุณหภูมิทางคณิตศาสตร์

ตัวอย่างต่อไปนี้แสดงถึง การสร้างบล็อคไดอะแกรมสำหรับวงรอบควบคุมอย่างง่าย โดยนำหลักการพื้นฐานทางวิศวกรรมกระบวนการมาใช้

ระบบควบคุมอุณหภูมิของถังกวนให้ความร้อนแบบต่อเนื่อง ถังกวนถูกแสดงในรูปที่ 7 ถูกให้ความร้อนแก่กระบวนการโดยไอน้ำเพื่อที่จะกวนผสมกันให้เกิดการขึ้นรูปของของเหลวที่เป็นผลิตภัณฑ์ในการควบคุมอุณหภูมิเป็นสิ่งที่สำคัญเพราะว่าอุณหภูมิที่สูงเกินไป จะทำให้การเรียงตัวกันของผลิตภัณฑ์ไม่ดี และในขณะที่อุณหภูมิต่ำ ก็จะทำให้การผสมเข้ากันไม่ดีเช่นกัน ถังดังกล่าวถูกให้ความร้อน โดยไอน้ำที่ควบแน่นภายในคอยล์ เครื่องควบคุมที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใช้เป็นแบบ PID ถูกใช้ในการควบคุมอุณหภูมิในถัง โดยจัดการกับตำแหน่งของวาล์วไอน้ำให้เหมาะสม ในที่นี้ต้องการจะหาบล็อคไดอะแกรมที่สมบูรณ์และสมการคุณลักษณะของวงรอบจากข้อมูลสำหรับการออกแบบดังต่อไปนี้



รูปที่ 7 ระบบควบคุมอุณหภูมิสำหรับถังกวนให้ความร้อนแบบต่อเนื่อง

กระบวนการ

วัตถุดิบ

- มีความหนาแน่น ρ เป็น 68.0 lb/ft^3
- ความจุความร้อน C_p เป็น 0.80 BTU/lb °F
- ปริมาตร V ของเหลวในถังปฏิกริยาถูกรักษาให้คงที่ 120 ft^3

คอยล์ประกอบด้วย

- ความยาว 205 ft 4 inch
- ท่อเหล็กเบอร์ 40 น้ำหนัก 10.8 lb/ft
- ความจุความร้อน 0.12 BTU/lb °F
- เส้นผ่านศูนย์กลาง 4.500 inch

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- สัมประสิทธิ์การส่งผ่านความร้อนทั้งหมด U ขึ้นอยู่กับพื้นที่ผิวด้านนอกของคอยล์โดยประมาณ 2.1 BTU/min ft^2 °F
- ไอน้ำมีค่าอิ่มตัวที่แรงดัน 30 psia สามารถที่จะกำหนดให้มีความร้อนแฝงของการควบแน่น λ มีค่าคงที่ 966 BTU/lb

สภาวะในการออกแบบ

- อัตราไหลของวัตถุดิบ f ที่สภาวะการออกแบบเป็น 15 ft^3/min
- อุณหภูมิทางเข้า T_i เป็น 100 °F
- สิ่งที่อยู่ภายในถังจะต้องถูกรักษาอุณหภูมิ T ไว้ที่ 150 °F และเป็นไปได้ที่การเปลี่ยนแปลงของอัตราไหลของวัตถุดิบ และอุณหภูมิที่ทางออกของวัตถุดิบจะเป็นตัวแปรรบกวนของระบบ

อุปกรณ์วัด-อุปกรณ์ส่งสัญญาณของอุณหภูมิ

- อุปกรณ์วัดอุณหภูมิได้ถูกปรับเทียบที่พิกัด 100 - 200 องศาฟาเรนต์ไฮต์ และค่าเวลาคงตัว τ_t เป็น 0.75 min

วาล์วควบคุม

- วาล์วที่ใช้เป็นแบบอีควอลเปอร์เซนต์เทจด้วยพารามิเตอร์ของความเป็นพิกัด α เป็น 50
- อุปกรณ์ขับวาล์วมีค่าเวลาคงตัว τ_v เป็น 0.20 min

<u>วิธีทำ</u>

จุดมุ่งหมายของเรา จะต้องดำเนินการทางสมการเพื่อที่จะอธิบายพฤติกรรมทางพลศาสตร์ของถังวาล์วควบคุมอุปกรณ์วัด-ส่งสัญญาณและเครื่องควบคุม จากนั้นเราจะปรับเป็นเชิงเส้นแปลงลาปลาซเพื่อที่จะหาบล็อคไดอะแกรมของวงรอบต่อไป

สำหรับกระบวนการ

กำหนดให้ความร้อนสูญเสียน้อยมากส่วนการผสมนั้นเป็นไปอย่างสมบูรณ์และปริมาตรและคุณสมบัติทางกายภาพนั้นยังคงที่ สมดุลย์ทางพลังงานของของเหลวในถังเป็นไปตามสมการดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

037159

$$V\rho C_V \frac{dT(t)}{dt} = f(t)\rho C_p T_i(t) + UA[T_s(t) - T(t)] - f(t)C_p T(t)$$

เมื่อ A เป็นพื้นที่ในการส่งผ่านความร้อน , ft^2

$T_s(t)$ เป็นอุณหภูมิของไอน้ำที่ควบแน่น , องศาฟาเรนไฮต์

และสัญลักษณ์อื่นได้ถูกกำหนดในลักษณะของปัญหาสำหรับของเหลวที่อยู่ในถังค่า C_v ในเทอมของการสะสมได้ประมาณให้มีค่าเท่ากับ C_p

กำหนดให้โลหะของคอยล์จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องเป็นอุณหภูมิเดียวกันในขณะที่ควบแน่น สมดุลย์ทางพลังงานที่คอยล์จะได้ดังนี้

$$C_M \frac{dT_s(t)}{dt} = w(t)\lambda - UA[T_s(t) - T(t)]$$

เมื่อ $w(t)$ เป็นอัตราไหลของไอน้ำ , lb/min

C_M เป็นความจุความร้อนของโลหะของคอยล์ , BTU/F

อัตราไหลของไอน้ำคือทางออกของวาล์วควบคุมและเป็นทางเข้าของกระบวนการ และกระบวนการของเราก็ได้ถูกจำลองแบบโดยสมบูรณ์แล้ว

สำหรับวาล์วควบคุม

สมการของวาล์วแบบอีควอลเปอร์เซนต์เทจด้วยแรงดันทางด้านสูงที่คงที่และแรงดันตกที่คงที่ สามารถที่จะเขียนได้ดังนี้

$$w(t) = W_{max}\, \alpha^{vp(t)-1}$$

เมื่อ W_{max} เป็นอัตราไหลสูงที่ไหลผ่านวาล์ว , lb/min

α เป็นพารามิเตอร์ของความเป็นพิกัดของวาล์วแบบอีควอลเปอร์เซนต์เทจ

$vp(t)$ ตำแหน่งของวาล์วในสเกล 0-1

การแปรค่าของแรงดันที่ตกคร่อมวาล์วกับอุณหภูมิของไอน้ำที่ควบแน่น (และ ความดัน) ได้ถูกตัดทิ้งไปในตัวอย่างแบบง่ายนี้ ส่วนอุปกรณ์ขับวาล์วสามารถที่จะจำลองแบบโดยแทนด้วยระบบอันดับหนึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$P(s) = \frac{1/100 M(s)}{\tau_v s+1}$$

เมื่อ $M(s)$ เป็นสัญญาณทางออกของเครื่องควบคุมเป็นเปอร์เซนต์

สำหรับอุปกรณ์วัด-ส่งสัญญาณ *(TT21)*

อุปกรณ์วัด-ส่งสัญญาณ สามารถที่จะแสดงโดยระบบอันดับหนึ่ง

$$\frac{T_{ot}(s)}{T(s)} = \frac{K_t}{\tau_t s+1}$$

เมื่อ$T_{ot}(s)$ เป็นการแปลงลาปลาซของสัญญาณทางออกของอุปกรณ์ส่งสัญญาณ,%

เครื่องควบคุมแบบป้อนกลับ *(TRC21)*

ฟังก์ชั่นถ่ายโอนของเครื่องควบคุมแบบ PID

$$G_c(s) = K_c \left[1 + \frac{1}{\tau_I s} + \tau_D s \right] = \frac{M(s)}{R(s)-T_{ot}(s)}$$

เมื่อ K_c เป็นอัตราขยายของเครื่องควบคุม

τ_I เป็นเวลาอินทริกัล , τ_D เป็นเวลาเดอริเวทีฟ

สมการสำหรับวงรอบการควบคุมอุณหภูมินั้นเสร็จสมบูรณ์แล้วขั้นตอนต่อไปเราจะทำการปรับเป็นเชิงเส้นของสมการที่ได้จำลองแบบและแปลงลาปลาซเพื่อหาบล็อคไดอะแกรมของวงรอบ

$$V\rho C_p \frac{dT(t)}{dt} = f\rho C_p T_i(t) + \rho C_p (\bar{T}_i - \bar{T}) F(t) + UAT_s(t) - (UA + f\rho C_p)T(t)$$

$$C_M \frac{dT_s(t)}{dt} = \lambda W(t) - UAT_s(t) + UAT(t)$$

เมื่อ $T(t), T_s(t), F(t), T_i(t)$,$W(t)$เป็นตัวแปรเบี่ยงเบน จากนั้นแปลงลาปลาซและจัดรูปใหม่จะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$T(s) = \frac{K_F F(s)}{\tau s+1} + \frac{K_i T_i(s)}{\tau s+1} + \frac{K_s T_s(s)}{\tau s+1}$$

$$T_s(s) = \frac{1}{\tau_c s+1} T(s) + \frac{K_W W(s)}{\tau_c s+1}$$

เมื่อ

$$\tau = \frac{V\rho C_p}{UA + \overline{fC_p}} \qquad \tau_c = C_M / UA$$

$$K_F = \frac{\rho C_p (T_i - T)}{UA + \overline{fC_p}} \qquad K_i = \frac{\overline{fC_p}}{UA + \overline{fC_p}}$$

$$K_s = \frac{UA}{UA + \overline{fC_p}} \qquad K_W = \frac{\lambda}{UA}$$

ผลของการปรับเป็นเชิงเส้นที่สมการของวาล์ว คือ

$$W(t) = W_{max}(\ln\alpha)\,\alpha^{VP(t)}\,VP(t)$$
$$= \overline{W(\ln\alpha)}VP(t)$$

เมื่อ $VP(t)$ เป็นตัวแปรเบี่ยงเบนของตำแหน่งวาล์ว แปลงลาปลาซจะได้

$$W(s) = \overline{W(\ln\alpha)}VP(s)$$

รวมสมการนี้กับฟังก์ชั่นถ่ายโอนของอุปกรณ์ขับวาล์ว เราสามารถที่จะตัดเทอม VP(s) ออกไปได้

$$\frac{W(s)}{M(s)} = \frac{K_v}{\tau_v s+1}$$

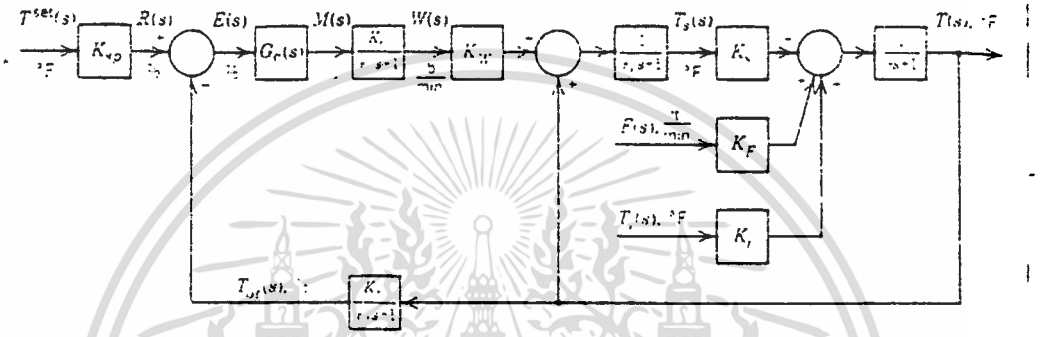
เมื่อ

$$K_v = \overline{W(\ln\alpha)}$$

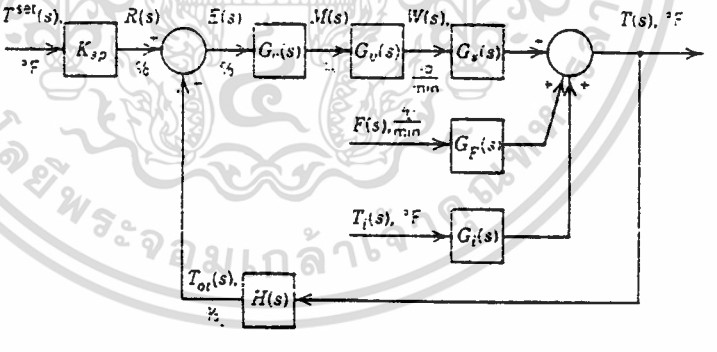
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เราสามารถหาอัตราขยายของอุปกรณ์ส่งสัญญาณได้โดย

$$K_T = \frac{100 - 0}{200 - 100} = 1.0\ \%/\ ^\circ F$$



รูปที่ 8 แสดงบล็อคไดอะแกรมของวงรอบการควบคุมอุณหภูมิ



รูปที่ 9 แสดงบล็อคไดอะแกรมที่ง่ายขึ้นของวงรอบการควบคุมอุณหภูมิ

สำหรับบล็อคไดอะแกรมที่สมบูรณ์ของวงรอบแสดงในรูปที่ 8 ฟังก์ชั่นถ่ายโอนทั้งหมดในไดอะแกรมนี้ได้ถูกพัฒนามาจากก่อนหน้านี้ทั้งสิ้น โดยใช้กฎเกณฑ์ของบล็อคไดอะแกรม เราสามารถที่จะทำให้ง่ายเข้าดังที่แสดงในรูปที่9และฟังก์ชั่นถ่ายโอนที่แสดงไว้ในไดอะแกรม คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$G_P(s) = \frac{K_P(\tau_c s+1)}{(\tau s+1)(\tau_c s+1)-K_s}$$

$$G_i(s) = \frac{K_i(\tau_c s+1)}{(\tau s+1)(\tau_c s+1)-K_s}$$

$$G_s(s) = \frac{K_W K_s}{(\tau s+1)(\tau_c s+1)-K_s}$$

ฟังก์ชั่นถ่ายโอนแบบวงรอบปิดของแต่ละทางเข้าคือ

$$\frac{T(s)}{T^{set}(s)} = \frac{K_{sp}G_C(s)G_V(s)G_s(s)}{1+H(s)G_C(s)G_V(s)G_s(s)}$$

$$\frac{T(s)}{F(s)} = \frac{G_P(s)}{1+H(s)G_C(s)G_V(s)G_s(s)}$$

$$\frac{T(s)}{T_i(s)} = \frac{G_i(s)}{1+H(s)G_C(s)G_V(s)G_s(s)}$$

เมื่อ

$$G_V(s) = \frac{K_V}{\tau_v s+1}$$

$$H(s) = \frac{K_t}{\tau_t s+1}$$

สมการคุณลักษณะของวงรอบ คือ

$$1 + \frac{K_t K_O}{\tau_t s+1}\left[1 + \frac{1}{\tau_I s} + \tau_D s\right]\frac{K_V}{\tau_v s+1}\frac{K_W K_s}{(\tau s+1)(\tau_c s+1)-K_s} = 0$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าเชิงเลขสามารถหาได้ดังนี้

$$K_{sp} = K_t = 1.0\ \%/\ ^\circ F \qquad \tau_t = 0.75\ \text{min} \qquad \tau_v = 0.20\ \text{min}$$

จากข้อกำหนดของคอยล์จะได้

$$A = (250\ \text{ft})\pi \left[\frac{4.500\ \text{ft}}{12}\right] = 241.5\ \text{ft}^2$$

$$C_M = (205\ \text{ft}).\left[\frac{10.8\ \text{lb}}{\text{ft}}\right].\left[\frac{0.12\ \text{Btu}}{\text{lb F}}\right] = 265.7\ \text{Btu}/^\circ F$$

$$\tau = \frac{(120)(68.0)(0.80)}{(2.1)(241.5) + (15)(68)(0.80)} = 4.93\ \text{min}$$

$$\tau_c = \frac{265.7}{(2.1)(241.5)} = 0.524\ \text{min}$$

$$K_F = \frac{(68)(0.80)(100 - 150)}{(2.1)(241.5) + (15)(68)(0.80)} = -2.06\ ^\circ F/(\text{ft}^3/\text{min})$$

$$K_i = \frac{(15)(68)(0.80)}{(2.1)(241.5) + (15)(68)(0.80)} = 0.617\ ^\circ F/\ ^\circ F$$

$$K_s = \frac{(2.1)(241.5)}{(2.1)(241.5) + (15)(68)(0.80)} = 0.383\ ^\circ F/^\circ F$$

$$K_w = \frac{966}{(2.1)(241.5)} = 1.905\ ^\circ F/(\text{lb/min})$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพื่อที่จะหาขนาดของวาล์วควบคุม เราจะใช้เงื่อนไขการออกแบบที่สภาวะคงที่

$$\bar{f}\rho C_p\ \bar{T}_i + UA(\ \bar{T}_s - \ \bar{T}) - \ \bar{f}\rho C_p\ \bar{T} = 0$$

$$\bar{W}\lambda\ - UA(\ \bar{T}_s - \ \bar{T}) = 0$$

$$\bar{T}_s = \frac{(15)(68)(0.80)(150 - 100)}{(2.1)(241.5)} + 150 = 230\ ^\circ F$$

$$\bar{W} = \frac{(2.1)(241.5)(230 - 150)}{966} = 42.2\ \text{lb/min}$$

$$K_v = \frac{(42.2)(\ln 50)}{100} = 1.652\ \text{lbm/min-\%}$$

$$W_{max} = 2\ \bar{W} = 84.4\ \text{lb/min}$$

ด้วยค่าที่เป็นเชิงเลขเหล่านี้ สมการคุณลักษณะคือ

$$s(0.75s+1)(0.20s+1)[(4.93s+1)(0.524s+1)-0.383]$$
$$+ (1.0)K_c.[s + \frac{1}{\tau_I} + \tau_D s^2](1.652)(1.905)(0.383) = 0$$

หรือ

$$0.387s^5 + 3.272s^4 + 7.859s^3 + (6.043 + 1.205K_c\tau_D)s^2$$
$$+ (0.617 + 1.205K_c)s + 1.205K_c/\tau_I = 0$$

ตัวอย่างนี้แสดงให้เห็นถึง หลักการพื้นฐานทางวิศวกรรมกระบวนการที่สามารถนำไปใช้งานได้เพื่อที่จะวิเคราะห์ถึงวงรอบการควบคุมแบบป้อนกลับที่ง่ายได้จากสมการคุณลักษณะเราสามารถศึกษาถึงเสถียรภาพของวงรอบ หรือจากฟังก์ชั่นถ่ายโอนแบบวงรอบปิดได้เราสามารถที่จะคำนวณผลตอบสนองของวงรอบปิดต่อการแปรค่าไปของทางเข้าที่เป็นฟังก์ชั่นขับหรือค่าที่แตกต่างกันไปของพารามิเตอร์ที่ถูกปรับเปลี่ยนในเครื่องควบคุม K_c , τ_I , τ_D ได้เช่นเดียวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การจำลองกระบวนการโดย Numerical Math

3.1 Simulation of Dynamic Process Models

จากโครงงานนี้ เป็นโครงงานที่จำลองระบบควบคุมอุณหภูมิของถังกวนให้ความร้อนแบบต่อเนื่อง (Temperature control of a continuous stirres tank heater) เป็นตัวจำลองคุณลักษณะให้เหมือนจริง และสามารถดูผลตอบสนองของสัญญาณได้ ในการจำลองโดยใช้ Computer นี้เราจะใช้รูปแบบทางคณิตศาสตร์เป็นตัวจำลอง โดยใช้ Numerical Mathematics คำนวณหา Numerical solution of differential จากโครงงานนี้จะใช้วิธีการคำนวณแบบ Runge-Kutta Method

3.2 Runge-Kutta Method

Runge-Kutta Method ได้จากการกระจาย Tayler-series ดังนั้น อันดับ (order) ต่าง ๆ ของวิธีนี้จึงขึ้นอยู่กับจำนวนเทอมที่ใช้จาก Tayler series โดยทั่วไปแล้ว วิธีการของ Runge-Kutta Method จะใช้ อันดับที่ 4 ซึ่งให้ค่าความคลาดเคลื่อนอยู่ในอันดับของ h_5

ในวิธีของ Runge-Kutta Method นั้น จุดเริ่มต้น (initial) จะเริ่มต้นที่(x_i,y_i) ให้คำนวณหา y_{i+1} โดยใช้สมการ

$$y_{i+1} = y_i + \frac{1}{6}[K_1 + 2K_2 + 2K_3 + K_4]$$

เมื่อ

$$K_1 = hf(x_i , y_i)$$

$$K_2 = hf(x_i + \frac{h}{2} , y_i + \frac{K_1}{2})$$

$$K_3 = hf(x_i + \frac{h}{2} , y_i + \frac{K_2}{2})$$

$$K_4 = hf(x_i + h , y_i + K_3)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีนี้เป็นวิธี multi-step ทั้งนี้เพราะค่า x จะเท่ากับ x_i ,

$$x = x_i + \frac{h}{2} \quad \text{และ} \quad x = x_i + h$$

เมื่อนำมาประยุกต์กับโครงงานนี้ ก็จะได้ลำดับดังนี้

1.Initialization ; set $t = t_0$ and $x_i = x_i(t_0)$ for $i = 1, 2, 3, ..., n$

2.Evalution of derivative function :

(a) for $i = 1, 2, 3, ..., n$ calculate

$$K_{1,i} = \Delta t\, f_i(x_1, ..., x_{n,t})$$

(b) for $i = 1, 2, 3, ..., n$ calculate

$$K_{2,i} = \Delta t\, f_i\left(x_1 + \frac{1}{2} K_{1,1}, ..., x_n + \frac{1}{2} K_{1,n}, t + \frac{1}{2}\Delta t\right)$$

(c) for $i = 1, 2, 3, ..., n$ calculate

$$K_{3,i} = \Delta t\, f_i\left(x_1 + \frac{1}{2} K_{2,1}, ..., x_n + \frac{1}{2} K_{2,n}, t + \frac{1}{2}\Delta t\right)$$

(d) for $i = 1, 2, 3, ..., n$ calculate

$$K_{4,i} = \Delta t\, f_i(x_1 + K_{3,1}, ..., x_n + K_{3,n}, t + \Delta t)$$

3.Increment the state Variales ;

for $i = 1, 2, 3, ..., n$,let

$$x_i\Big|_{t+\Delta t} = x_i\Big|_t + \frac{1}{6}(K_{1,i} + 2K_{2,i} + 2K_{3,i} + K_{4,i})$$

let $t = t + \Delta t$

4.If t is less than or equal to t_{max} , repeat from step 2 Otherwise exit

การจำลองการควบคุม (Control Simulation) ที่ใช้ในโครงงานแบบ First-order lag

$$\frac{Y(s)}{X(s)} = \frac{K}{\tau s + 1}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ Y(s) = output

X(s) = input

K = gain

τ = time constant

3.3 การจัดรูปสมการ

$$\tau sY(s) + Y(s) = KX(s)$$

สมมติให้ initial conditions เท่ากับศูนย์ และใช้ real differentiation theorem ของ Laplace transforms ดังนั้นสามารถเขียนให้อยู่ในรูป Time domain ได้ดังนี้

$$\tau \frac{dy(t)}{dt} + y(t) = Kx(t)$$

Finally , we solve for the highest derivative

$$\frac{dy(t)}{dt} = \frac{1}{\tau}[Kx(t) - y(t)]$$

เมื่อได้รับสมการดิฟเฟอร์เรนเชียล (differential equation) ก็นำไปประยุกต์ใช้กับ Runge-Kutta-simpson Method จะได้ดังนี้

float first-order (y_i , y_o , K , τ , st)

$$y_o = y_o + \frac{1(st)*(K_1 + 2K_2 + 2K_3 + K_4)}{6}$$

$$K_1 = \frac{[(K*y_i) - y_o]}{\tau} ;$$

$$K_2 = \frac{[(K*y_i) - (y_o + 0.5*st*K_1]}{\tau} ;$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

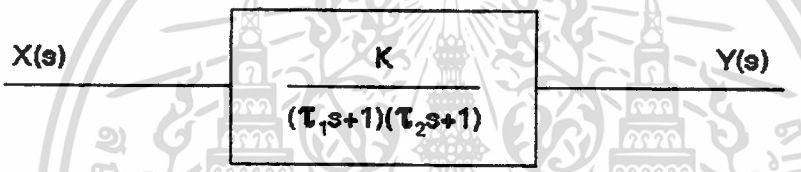
$$K_3 = \frac{[(K*y_i) - (y_o + 0.5*st*K_2)]}{\tau} ;$$

$$K_4 = \frac{[(K*y_i) - (y_o + 0.5*st*K_3)]}{\tau} ;$$

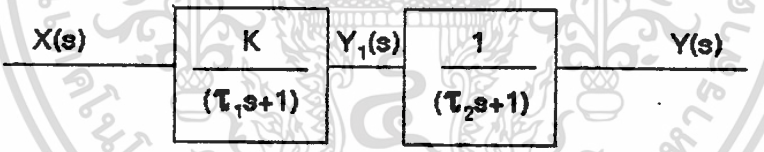
return y_o ;

3.4 ฟังก์ชั่นถ่ายโอนแบบอันดับหนึ่งที่ต่อแบบอนุกรม

แสดงด้วยบล๊อคไดอะแกรมต่อไปนี้ และสามารถกระทำโดยใช้วิธีการ Runge-Kutta กับสมการต่อไปนี้



รูปที่ 10 แสดงบล๊อคไดอะแกรมรวมของฟังก์ชั่นถ่ายโอนอันดับหนึ่ง



รูปที่ 11 แสดงบล๊อคไดอะแกรมย่อยของฟังก์ชั่นถ่ายโอน อันดับหนึ่งที่ต่อแบบอนุกรม

$$\frac{dy_1(t)}{dt} = \frac{1}{\tau_1}[Kx(t) - y_1(t)]$$

$$\frac{dy(t)}{dt} = \frac{1}{\tau_2}[y_1(t) - y(t)]$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
การทำงานของโปรแกรมและผลการทดลอง

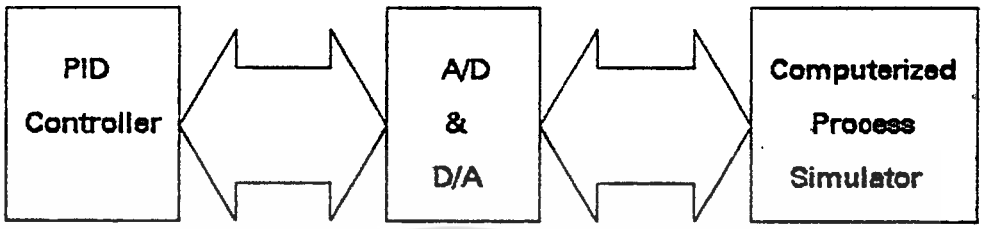
4.1 การทดลอง

การจำลองแบบกระบวนการด้วยคอมพิวเตอร์นี้ ถูกออกแบบโดยการใช้ภาษาซีในการเขียนโปรแกรม ซึ่งอยู่ในรูปของ file.exe การวิเคราะห์ของระบบจะเป็นการวิเคราะห์จากสมการคุณลักษณะในรูปของฟังก์ชั่นการถ่ายโอน(Transfer Function) ทีละบล็อคจากนั้นจึงส่งค่าผ่านอุปกรณ์เชื่อมต่อสัญญาณ (A/D & D/A Interface Card) เข้าสู่เครื่องควบคุมกระบวนการ ในการทดลองของ Project ชิ้นนี้ ใช้เครื่องควบคุมกระบวนการแบบ PLC (SYSMAC C500 omron) สัญญาณที่ถูกส่งผ่านอุปกรณ์เชื่อมต่อสัญญาณเข้าสู่เครื่องควบคุม กระบวนการถือว่าเป็นค่า PV ของระบบและค่าที่ออกจากเครื่องควบคุมกระบวนการจะได้ค่า MV ออกมา และถูกส่งผ่านอุปกรณ์เชื่อมต่อสัญญาณอีกครั้ง โดยอุปกรณ์เชื่อมต่อสัญญาณจะเปลี่ยนค่า MV ในรูปของสัญญาณ Analog(1-5v) เป็นสัญญาณ Digital 12 บิท จากนั้นสัญญาณก็จะเข้าไปประมวลผลร่วมกับโปรแกรม Simulator ที่ออกแบบและจะส่งค่าออกมาแสดงผลที่จอคอมพิวเตอร์ในรูปของกราฟพีค กราฟพีคที่ได้จะแสดงการเปลี่ยนแปลง Output ของระบบ (T_o) และ % การปิด-เปิดของวาล์วควบคุม (% MV) ต่อเวลาที่เปลี่ยนไปในแต่ละรอบของการคำนวณ เนื่องจากเป็นการวิเคราะห์ในรูปของ Numerical Math เวลาที่เกิดขึ้นคือเวลาในการคำนวณในแต่ละรอบ มิใช่เวลาที่แท้จริง (Real time) การทำงานของโปรแกรมร่วมกับเครื่องควบคุมภายนอกก็จะเป็นเช่นนี้ไปเรื่อย ๆ จนกว่าจะได้ค่าที่เข้าใกล้ค่าเป้าหมาย (Set Point) โดยที่ค่าเป้าหมายนี้ สามารถที่จะเปลี่ยนแปลงได้จากเครื่องควบคุมกระบวนการ

ค่าพารามิเตอร์ของฟังก์ชั่นการถ่ายโอนในแต่ละบล็อคมีผลตอบสนองต่อระบบทั้งนี้จากการทดลอง หากมีการเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ไป จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงที่ Output ของระบบ และ % MV ไปทันที ดังนั้นหากต้องการคาดการณ์ผลที่จะเกิดขึ้นกับระบบ เมื่อมีการเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ก็สามารถ ทำได้ง่าย แต่เนื่องจากค่าพารามิเตอร์ของฟังก์ชั่นถ่ายโอน เป็นค่าที่ได้จากการคำนวณมาจากคุณลักษณะของระบบ เช่น ความหนาแน่น ρ ของวัตถุดิบ หรือขนาดของคอยล์ เป็นต้น ก่อนที่เราจะทำการเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ เราต้องทำการคำนวณค่าคุณลักษณะต่าง ๆ ออกมาเป็นค่าพารามิเตอร์ของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฟังก์ชั่นถ่ายโอนก่อนจึงค่อยเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ของแต่ละบล็อคไดอะแกรม ภายในโปรแกรมที่ได้ออกแบบมา



รูปที่ 12 ลักษณะการต่อใช้งานร่วมกันระหว่าง Hardware กับ Software

4.2 การทำงานของโปรแกรม

เริ่มต้นการทำงานของโปรแกรม เมื่อเราเรียกไปยัง file.exe ของโปรแกรมที่ออกแบบ โปรแกรมจะเข้าสู่เมนูหลัก (Main Menu) ซึ่งในเมนูหลักจะประกอบไปด้วย ไฟล์ย่อย (sub file) 4 ไฟล์ คือ

1. ไฟล์ Guide for you
2. ไฟล์ Set value
3. ไฟล์ Run
4. ไฟล์ Quit

ก่อนที่เราจะเข้าสู่ไฟล์ย่อยทั้ง 4 ไฟล์ เราต้องกด F10 เพื่อเป็นการเรียกไปยังไฟล์ย่อยทั้ง 4 ไฟล์ โดยแต่ละไฟล์จะเรียงลำดับตั้งแต่ 1-4 ซึ่ง โปรแกรมจะออกจากเมนูหลัก ก็ต่อเมื่อเราเลือกไฟยังไฟล์ Run หรือ Quit ก่อนสิ้นสุดการทำงานของโปรแกรมจะมีการเก็บค่าสุดท้าย (Save data) ทั้งนี้ ค่าที่เก็บไว้จะได้แก่ ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆเช่นK_v หรือ K_w เป็นต้น จุดประสงค์ของการเก็บสุดท้ายไว้เพื่อต้องการให้โปรแกรมทำงานครั้งต่อไปมีผลตอบสนองเหมือนกับครั้งสุดท้ายก่อนที่จะออกจากโปรแกรม โดยไม่ต้องเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ใด ๆ เลย จุดประสงค์อีกอย่างหนึ่ง ก็เพื่อเป็นการป้องกันขณะที่โปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำลังทำงาน หากเกิดไฟตกหรือไฟดับมีผลทำให้คอมพิวเตอร์หยุดทำงาน ค่าพารามิเตอร์ก็ยังคงสถานะเดิม ไม่เปลี่ยนแปลง เมื่อทำการเรียก โปรแกรมมาทำงานอีกครั้ง

การทำงานของไฟล์ย่อยทั้ง 4 ไฟล์ สามารถอธิบายได้ดังต่อไปนี้

- ไฟล์ Guide for you ประกอบไปด้วย 2 ไฟล์ย่อยคือ

1.Information เป็นการแนะนำให้รู้จักโปรแกรม รวมไปถึงวิธีการเล่นโปรแกรมนี้เราสามารถออกจาก Information ได้โดยการกด ESC โปรแกรมก็จะกลับเข้ามาสู่เมนูหลัก

2.Blockdiagram เป็นการแสดง Blockdiagram ของทั้งโปรแกรม ที่ได้ทำการวิเคราะห์ และเราก็สามารถออกจาก Block diagram ได้โดยการกด ESC โปรแกรมก็จะกลับเข้าสู่เมนูหลัก

- ไฟล์ Set value เมื่อเรียกไปยังไฟล์นี้ โปรแกรมจะแสดงค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ออกมา ซึ่งเราสามารถที่จะเปลี่ยนแปลงค่าจากค่าที่กำหนด ก็ได้โดยการเลื่อนลูกศรขึ้นไปยังค่าที่ต้องการจะเปลี่ยน จากนั้นทำการเพิ่มหรือลดค่าโดยการกดแป้น + หรือ - ตามลำดับ แต่ถ้าเราไม่ต้องการเปลี่ยนค่าใด ๆ โปรแกรมก็จะถือว่าค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ถูกกำหนดไว้แล้วเหมือนเดิม การออกจากไฟล์นี้สามารถทำได้โดยการกด ESC หรือ "Q" ก็ได้ โปรแกรมจะกลับสู่เมนูหลัก

-ไฟล์ Run การทำงานของขั้นตอนนี้จะเกิดหลังจากที่มีการ Set value โดยจะเริ่มจากการนำค่าต่าง ๆ จากฟังก์ชั่นการถ่ายโอนที่ต่อกันอยู่มาทำการคำนวณ ค่าคำนวณได้จะถูกส่งออกมาแสดงเป็นกราฟฟิคและจะแสดงค่าออกมาไปพร้อมกัน ค่าที่แสดงและถูกพล็อตเป็นกราฟ ได้แก่ อุณหภูมิทางออก (T_o) และ %การปิด-เปิดของวาล์ว (%MV) เมื่อทำงานครบ 1 รอบการทำงาน ก็จะรอรับค่าใหม่เข้ามาประมวลผลร่วมในโปรแกรมอีกต่อไปเรื่อย ๆ ถ้าเราต้องการหยุดการทำงาน ก็ทำได้โดยการกด "Q" เมื่อโปรแกรมหยุดทำงาน กราฟที่แสดงออกมา ก็เป็นสภาวะการทำงานสภาวะสุดท้ายเราสามารถดูค่าของกราฟร่วมกับเวลาได้ โดยการกดคีย์ <- หรือ -> การเลื่อนตำแหน่งแบบนี้จะทำให้ทราบค่าของเวลาในแต่ละช่วงได้ ถ้าหากต้องการจะ Run โปรแกรมใหม่ เราก็เลือกไปที่ Run ใหม่อีกครั้ง โปรแกรมก็จะเริ่มทำงาน ในการกลับเข้าสู่เมนูหลัก ก็สามารถทำได้โดยการกด ESC หรือกด "Q" อีกครั้งหลังจากที่หยุดการทำงานของโปรแกรมแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ไฟล์ Quit จะเป็นการหยุดการทำงานของทุก ๆ ไฟล์ ซึ่งในไฟล์ Quit จะมีโปรแกรการรับคีย์ "Q" ดังนั้นถ้าต้องการจะหยุดการทำงานของโปรแกรม นอกจากจะเลือกไปที่ไฟล์ Quit แล้ว เรายังสามารถกระทำได้โดยการกดคีย์ "Q" โปรแกรมก็จะหยุดทำงานเช่นเดียวกัน

ทั้ง 4 ไฟล์ที่กล่าวมานี้ เป็นไฟล์ย่อยที่อยู่ในเมนูหลัก ซึ่งในแต่ละไฟล์ย่อยยังมีโปรแกรมย่อยของแต่ละไฟล์อยู่ด้วย ซึ่งจะกล่าวในลำดับต่อไป

ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมย่อยที่จะกล่าวถึงต่อไปนี้ จะแบ่งขั้นตอนหลักออกได้ดังนี้

1. การเลื่อนดูค่า (Scan value)

จะเริ่มจากการรอรับการกดคีย์ <-หรือ-> เมื่อมีการกดคีย์ดังกล่าว โปรแกรมก็จะแสดงเส้นออกมาที่หน้าจอคอมพิวเตอร์ โดยจะอ่านค่าของอุณหภูมิ ทางออก (T_o) และ% การปิด-เปิดวาล์ว (%MV) แสดงไปที่หน้าจอคอมพิวเตอร์พร้อม ๆ กันเราสามารถเลื่อนเส้นดังกล่าวไปทางซ้ายหรือขวาของจอก็ได้ โดยการกดคีย์ <- หรือ -> หากต้องการจะกลับเข้าสู่เมนูหลัก ก็ทำได้โดยการกด ESC หรือ "Q"

2. การพล็อตกราฟ (Plot value)

เป็นการแสดงกราฟออกมาที่หน้าจอคอมพิวเตอร์ เมื่อมีการ Run โปรแกรมก็จะส่งค่าออกมาเพื่อพล็อตกราฟ การพล็อตกราฟจะพล็อตจากทางซ้ายไปขวา โดยจะมีการตรวจสอบว่า กราฟที่ได้เลื่อนไปจนสุดจอของคอมพิวเตอร์ทางขวาหรือยัง ถ้ายังเลื่อนไม่ถึงก็จะพล็อตไปเรื่อย ๆ แต่ถ้ากราฟถูกพล็อตไปจนถึงสุดขอบจอทางขวาแล้วโปรแกรมก็จะสั่งให้มีการเลื่อน (shift) ค่าสุดท้ายไปทางซ้ายและรอรับค่าต่อไปกลับมาพล็อตต่อไปอีก จะสังเกตุได้ว่าเมื่อกราฟถูกพล็อตไปจนถึงสุดขอบจอทางขวาเมื่อไร จะเกิดการเลื่อนของกราฟไปทางซ้าย ตลอดเวลาที่การทำงานของโปรแกรมยังไม่สิ้นสุด จนกว่าที่เราจะหยุดการทำงานของโปรแกรม กราฟก็จะหยุดพล็อต จุดที่พล็อตเป็นจุดสุดท้ายทางขวาสุดของจอคอมพิวเตอร์ก็คือ ค่าสุดท้ายนั่นเอง

3. การคำนวณ (Calculate)

เป็นขั้นตอนของการรับค่าเข้ามาประมวลร่วมกับโปรแกรม การคำนวณค่าจะเริ่มจาก โปรแกรมจะรอรับค่าจากเครื่องควบคุมกระบวนการภายนอก ค่าที่ส่งมาจากเครื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

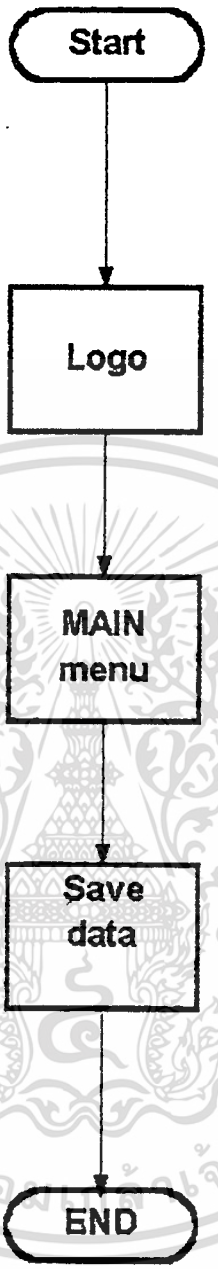
ควบคุมกระบวนการจะต้องผ่านอุปกรณ์เชื่อมต่อสัญญาณค่าเชิงตัวเลข (Digital signal) จะถูกส่งผ่านออกมาจากอุปกรณ์เชื่อมต่อสัญญาณ เข้ามาประมวลผลร่วมกับโปรแกรม จากนั้นก็จะส่งค่าออกไปแสดงผลและส่งค่าออกไปยังเครื่องควบคุมกระบวนการ โดยผ่านทางอุปกรณ์เชื่อมต่อ จากนั้นก็จะรอรับค่าใหม่อีกครั้ง การทำงานจะเป็นเช่นนี้ไปเรื่อย ๆ จนกว่าที่เราจะหยุดการทำงานของโปรแกรม

4. การแสดงค่า (Show value)

เป็นการแสดงค่าออกมาที่หน้าจอคอมพิวเตอร์ ค่าที่แสดงออกมามีทั้งค่าอุณหภูมิทางออก (T_o) , %การปิด-เปิดของวาล์ว (%MV)และเวลาแต่ละรอบของการคำนวณ (time) ขั้นตอนการแสดงค่าจะเริ่มจากการกำหนดสัญญาณทางเข้าเป็นจำนวนเต็ม (integer) และจำนวนจริง (float) จากนั้นจะเปลี่ยนให้เป็นอักขระ (characor) ค่าอักขระก็จะถูกส่งเข้าไปในโปรแกรมเพื่อการประมวลผล

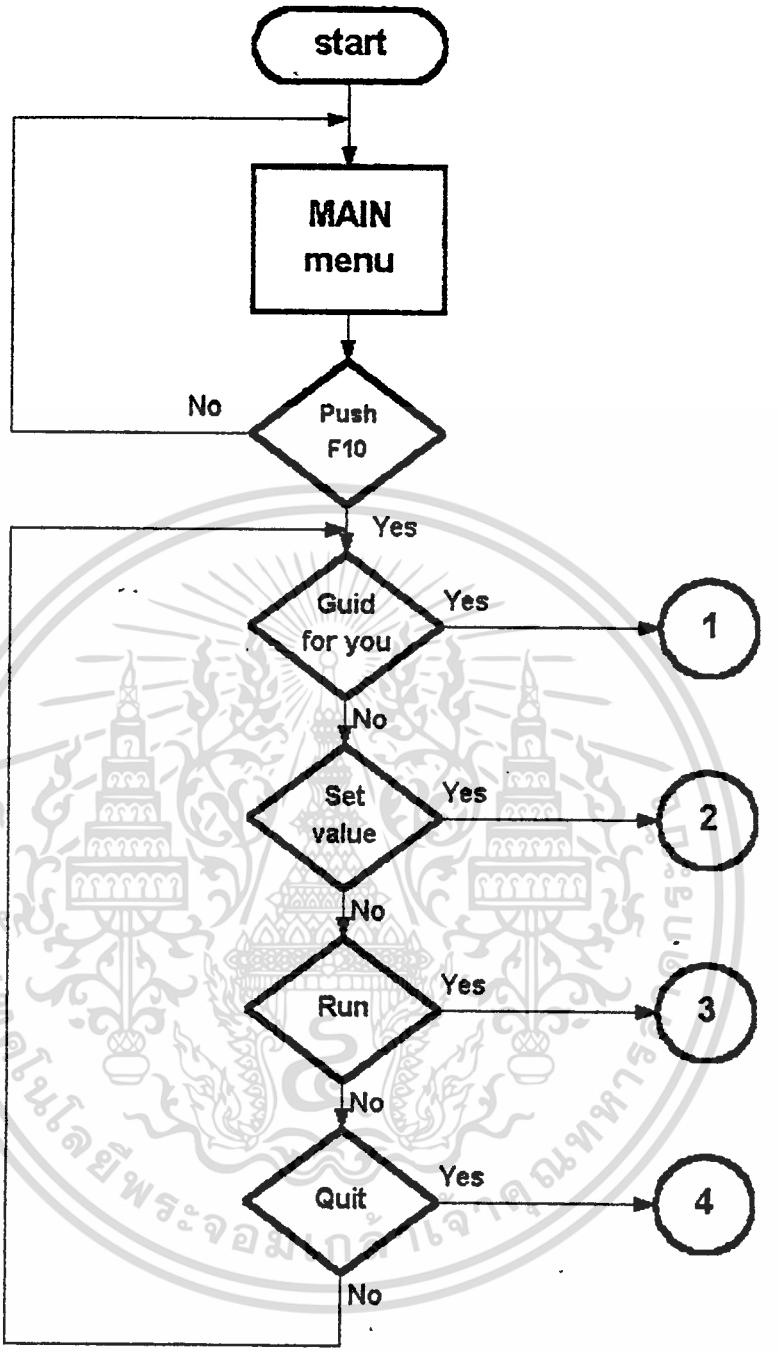
ขั้นตอนทั้งหมดที่กล่าวมานี้ เพื่อให้เกิดความเข้าใจได้ง่าย อาจจะพิจารณาจากแผนผังการทำงาน (Flow chart) ของแต่ละขั้นตอนก็ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



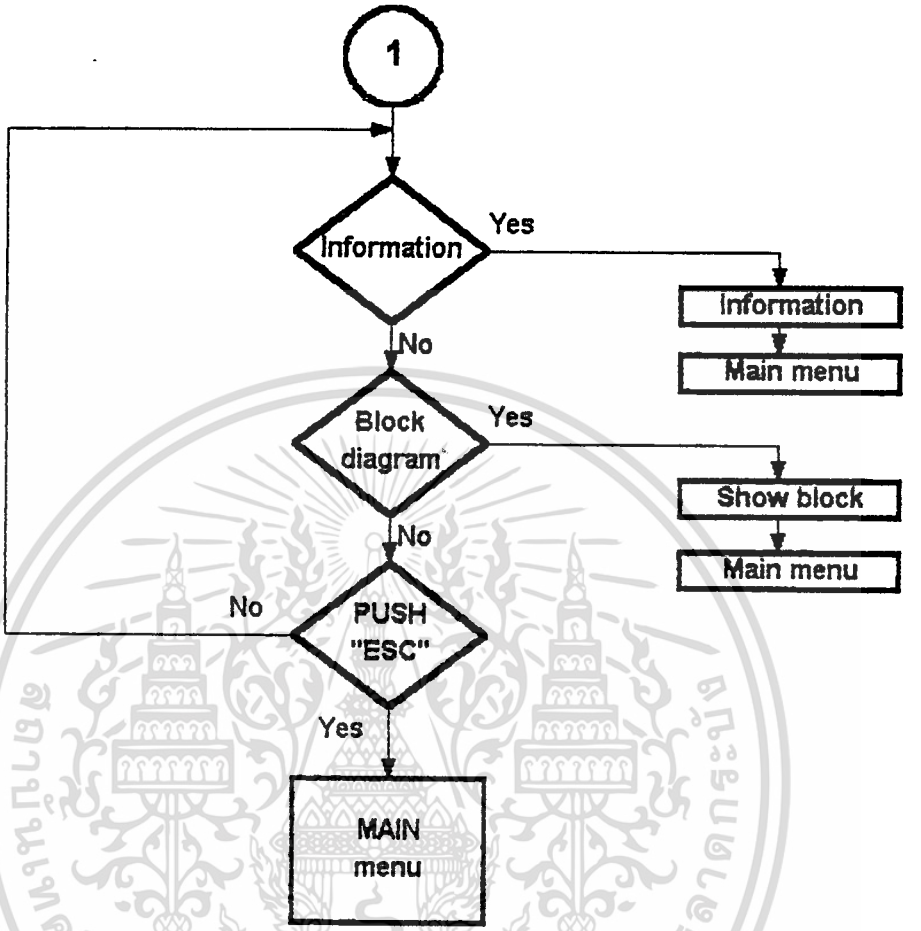
main

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

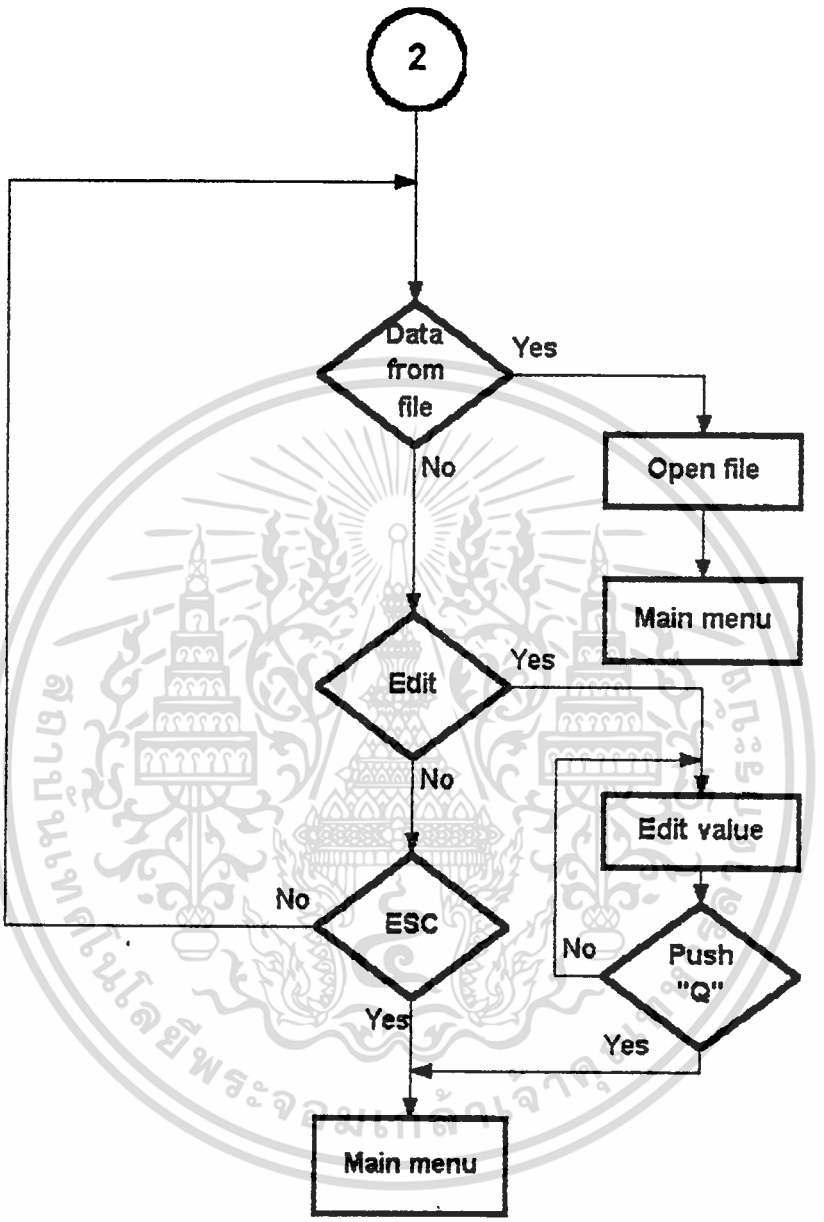


Main menu

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

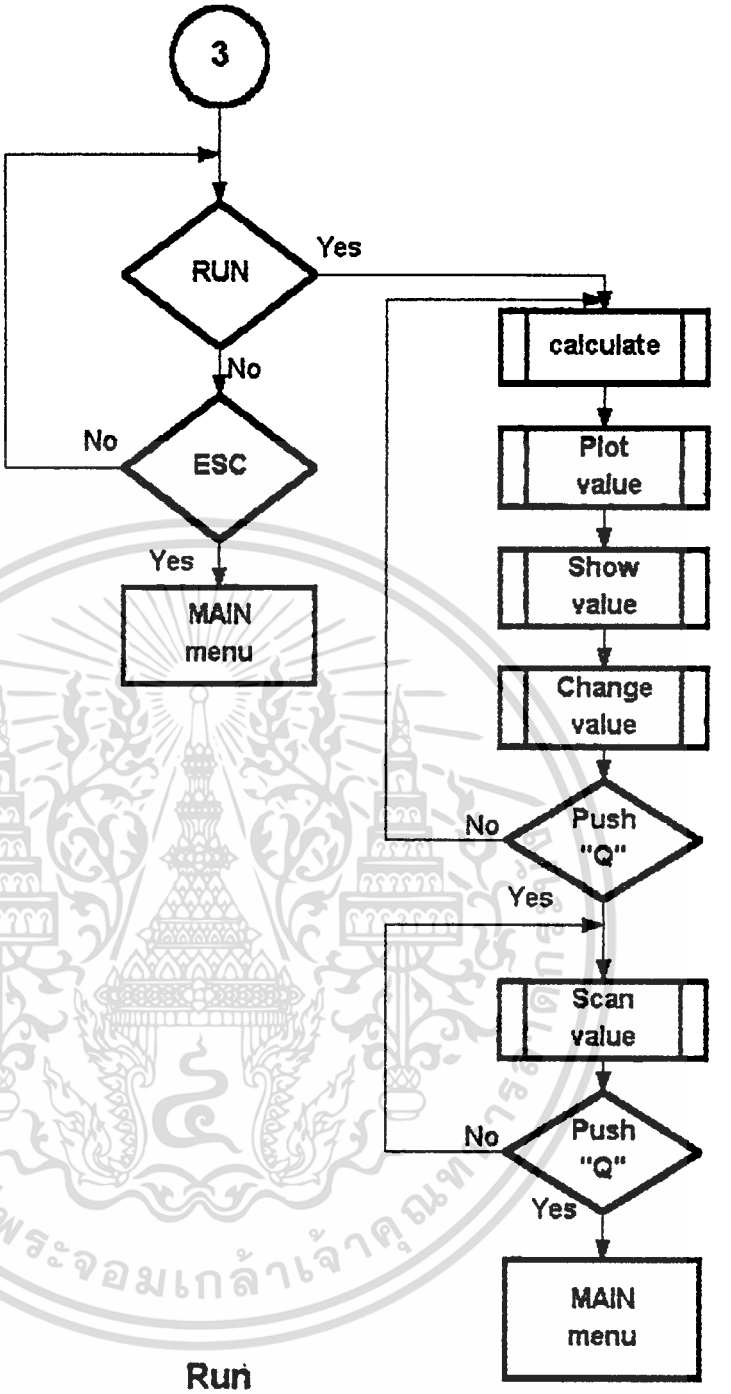


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

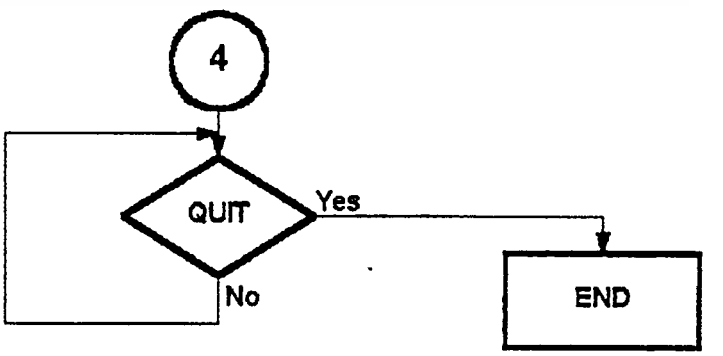


Edit value

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

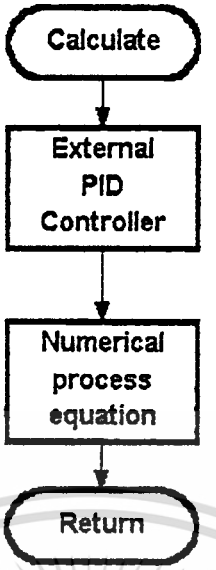


Run

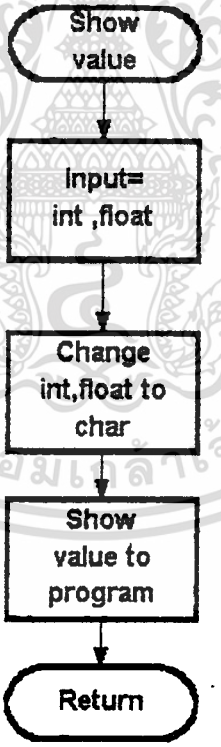


Quit

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

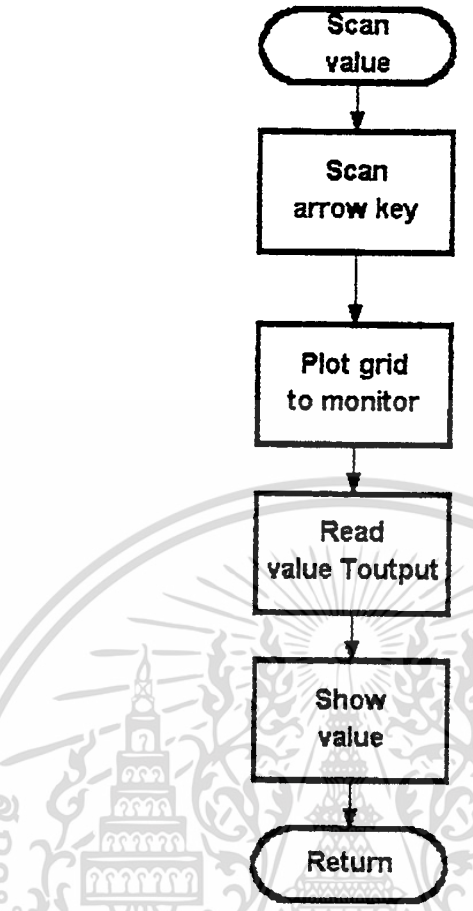


Calculate

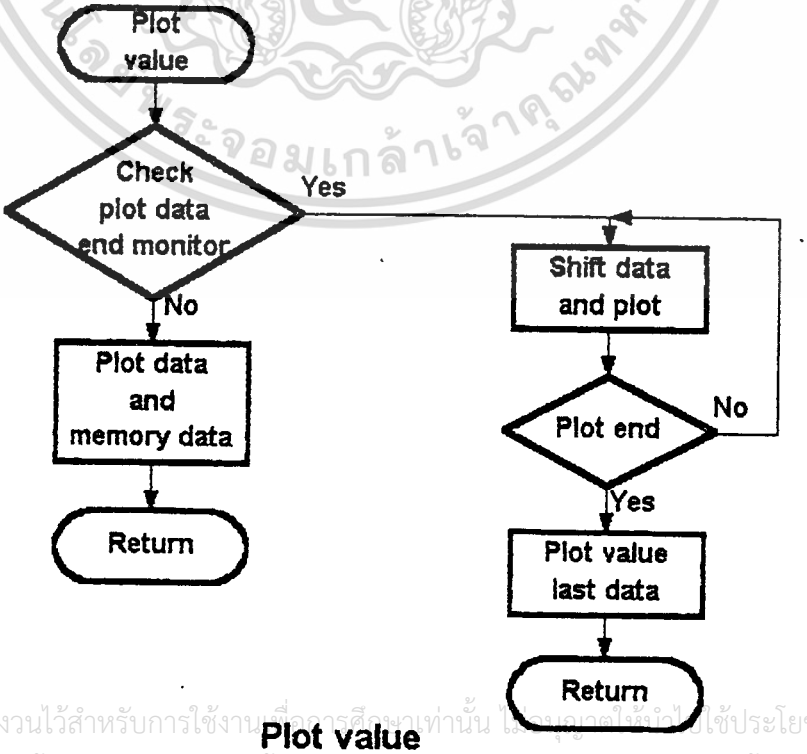


Show value

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Scan value



Plot value

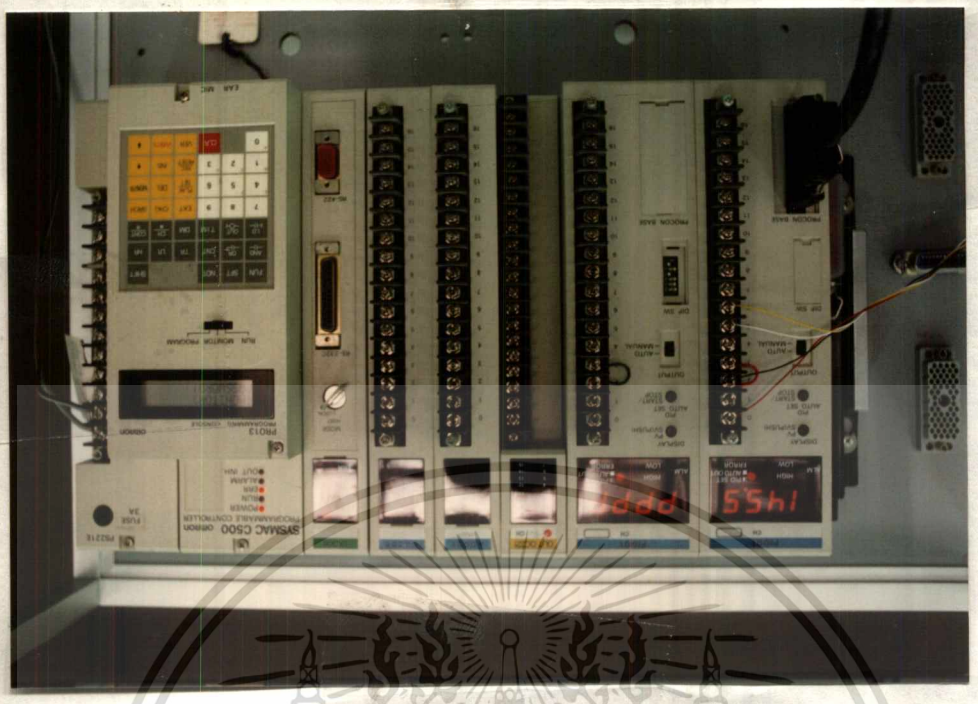
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 ผลการทดลอง

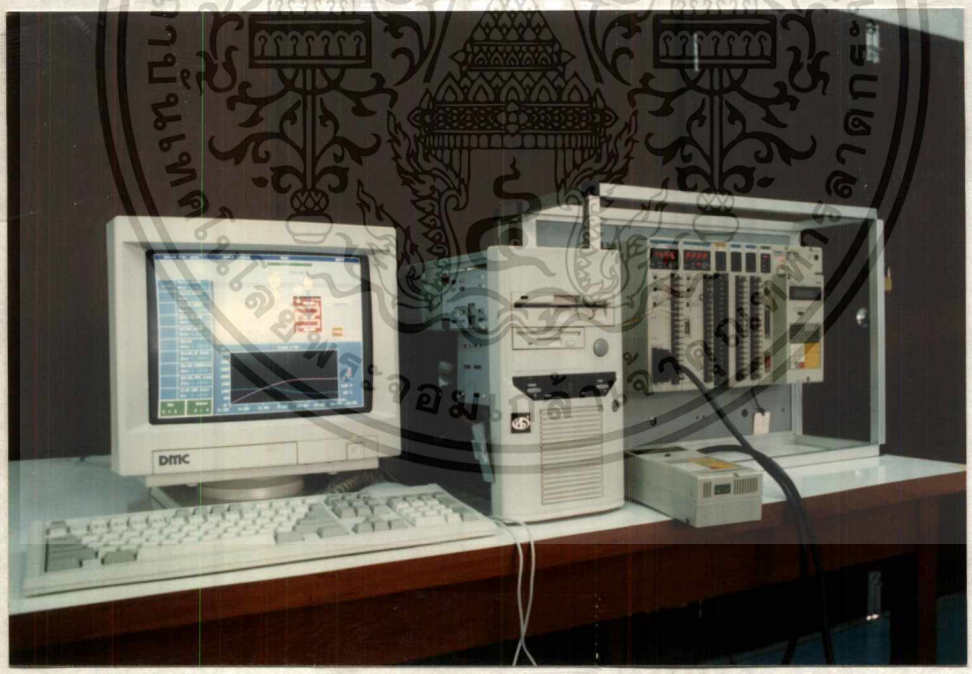
จากการทดลอง โดยทำการจำลองกระบวนการออกมาในรูปของฟังก์ชั่นถ่ายโอน (Transfer Function) โดยจำแนกออกเป็นฟังก์ชั่นถ่ายโอนของถัง Reactor,วาล์วควบคุม อุปกรณ์วัด - ส่งสัญญาณ ซึ่งทั้งหมดต่อกันเป็นวงรอบควบคุม จะรับสัญญาณรบกวนอันเนื่องมาจากอุณหภูมิ และ อัตราไหลของของเหลวทางเข้าของกระบวนการ ผ่านอุปกรณ์เชื่อมต่อสัญญาณ ทางช่องสัญญาณ A/D ทำนองเดียวกัน ตัวแปรที่ถูกควบคุมของกระบวน การจะถูกส่งผ่านอุปกรณ์เชื่อมต่อสัญญาณทางช่องสัญญาณ D/A สัญญาณอนาลอกที่ได้จะอยู่ระหว่าง 1-5 โวลท์จะถูกส่งเข้าไปในเครื่องควบคุมPID Unit (omron) และเครื่องควบคุม จะให้ค่าตัวแปรควบคุมออกมา ผ่านทางช่องสัญญาณ A/D ของอุปกรณ์เชื่อมต่อ สัญญาณที่สัญญาณทางเข้า เราจะพบว่าเครื่องควบคุมสามารถควบคุมสัญญาณทาง ออก นั่นก็คือ อุณหภูมิทางออก(T_o)ได้ตามค่าเป้าหมาย (Set point)ซึ่งกำหนด โดยเครื่องควบคุมได้อย่างถูกต้องและเมื่อมีการรบกวน(Disturbance)จากภายนอกคือเปลี่ยนสัญญาณจากอุณหภูมิทางเข้า (T_i) หรือ อัตราไหล (F) ของของเหลวไป เครื่องควบคุมก็ยังสามารถที่จะควบคุมให้ได้ ค่าอุณหภูมิทางออกตามค่าเป้าหมายอย่างถูกต้องเช่นเดียวกัน

นอกจากนี้ยังทดลองรบกวนกระบวนการ โดยกำหนดให้อุณหภูมิทางเข้าหรืออัตราไหลของของเหลว จากแหล่งจ่ายไฟตรง (Power Supply) ไปเป็น เครื่องกำเนิดสัญญาณ (Signal Generator) โดยกำหนดให้ตัวแปรรบกวนเป็น ลูกคลื่นซายน์ความถี่ 0.1 เฮิร์ซ ผลปรากฏว่า เครื่องควบคุมภายนอกก็สามารถควบคุมให้อุณหภูมิทางออกมีค่าตามค่าเป้าหมายได้อย่างถูกต้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

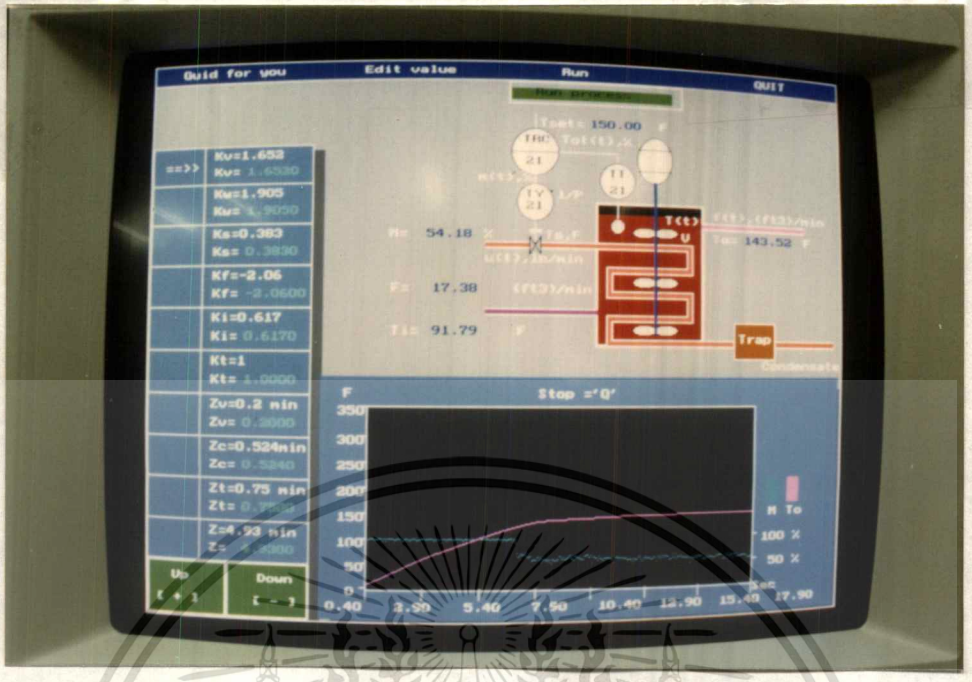


รูปที่ 13 ลักษณะของเครื่องควบคุมกระบวนการ PID Unit (Omron)

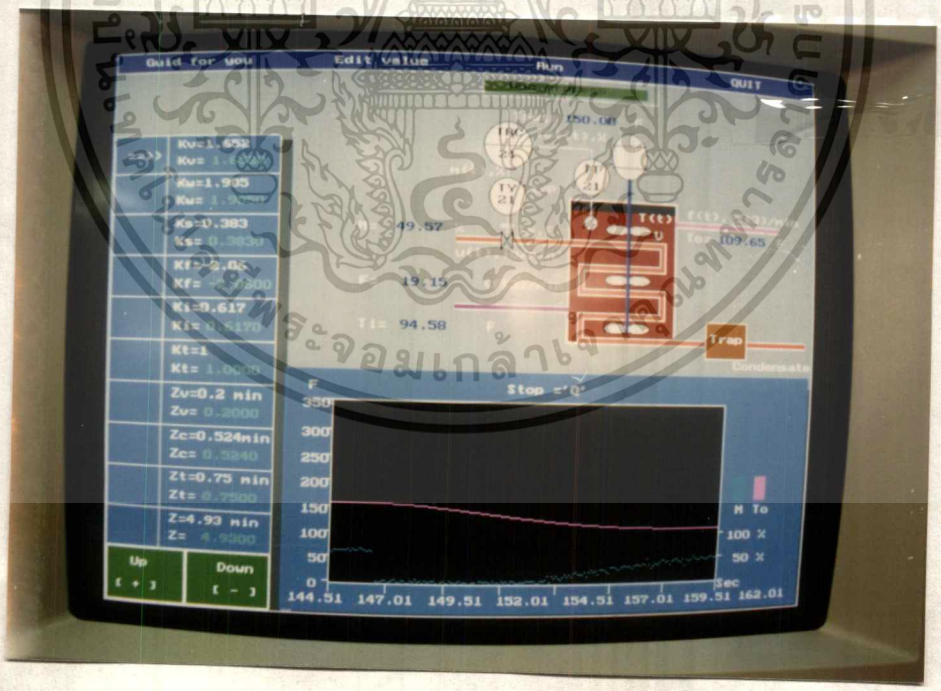


รูปที่ 14 แสดงการต่อร่วมกันระหว่างเครื่องควบคุมทางอุตสาหกรรม
กับ Computerized Process Simulator

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

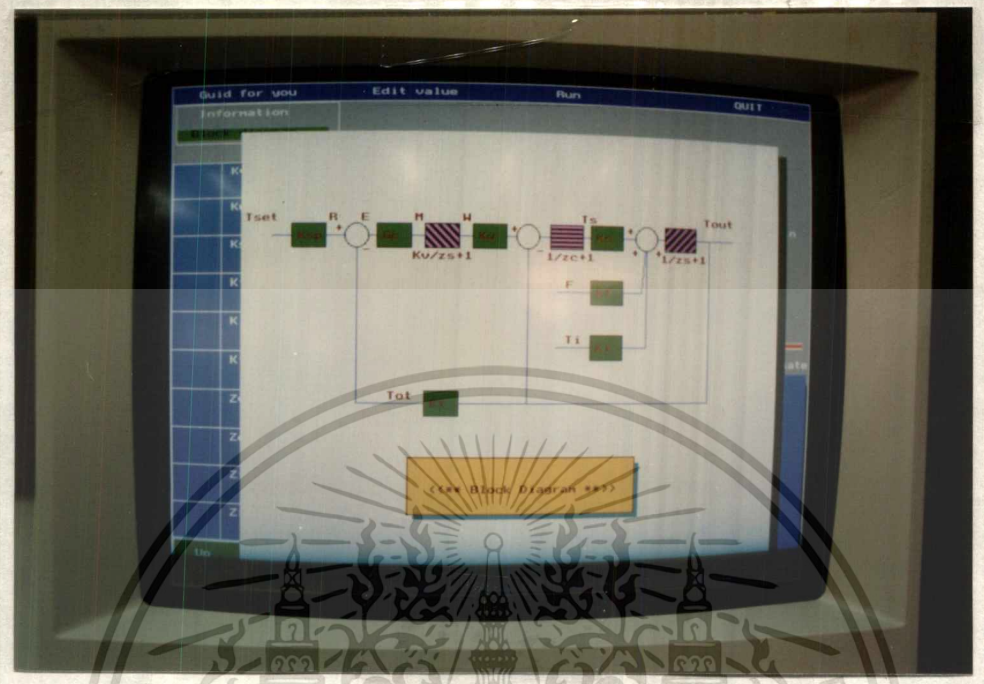


รูปที่ 15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของตัวแปรควบคุมกับอุณหภูมิทางออก ซึ่งถูกควบคุมด้วยเครื่องควบคุมภายนอก



รูปที่ 16 กราฟแสดงความสัมพันธ์หลังจากที่เครื่องควบคุมภายนอกได้ทำการแก้ไข หลังจากที่มีการรบกวนจากภายนอกด้วยคลื่นซายน์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 17 แสดงบล็อคไดอะแกรมของระบบถังกวนที่ได้ทำการจำลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปและบทวิจารณ์

การจำลองกระบวนการด้วยคอมพิวเตอร์ในปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นกระบวนการควบคุมอุณหภูมิของถังกวน โดยอาศัยการวิเคราะห์เชิงเลขคณิต (Math Numerical) จากสมการคุณลักษณะที่แสดงออกมาในรูปของ ฟังก์ชั่นถ่ายโอน (Transfer Function) ซึ่งค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ในกระบวนการสามารถที่จะเปลี่ยนแปลงได้ โดยเครื่องควบคุมภายนอกจะควบคุมให้ผลตอบสนองเป็นไปตามข้อกำหนด แต่ทั้งนี้กระบวนการที่จำลอง มีข้อจำกัดอยู่ที่ เราไม่สามารถที่จะเปลี่ยนแปลงรูปแบบของกระบวนการไปได้ โดยรูปแบบของการจำลองจะเป็นการคำนวณทางเชิงเลขคณิต ซึ่งเป็นไปตามลำดับของบล๊อคไดอะแกรมที่ต่อ หากมีความประสงค์ที่จะเปลี่ยนลำดับของบล๊อคไดอะแกรมไป ปริญญานิพนธ์นี้ไม่สามารถจะตอบสนองให้ได้ เพราะโปรแกรมออกแบบมาให้ทำงานเป็นไปตามลำดับของแผนผังการทำงาน (Flow chart) อีกทั้งไม่สามารถที่จะเพิ่มบล๊อคไดอะแกรมของฟังก์ชั่นถ่ายโอนตามต้องการได้ถ้าหากมีความประสงค์จะเพิ่มหรือลดบล๊อไดอะแกรมจริงเราต้องไปกระทำที่ตัวของโปรแกรม(Source file)ถ้าจะพูดให้เข้าใจง่าย ๆก็คือปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ไม่ได้ถูกออกแบบมา เพื่อรองรับกับทุกกระบวนการที่ต้องการวิเคราะห์ผลตอบสนอง เช่นเดียวกับโปรแกรมสำเร็จรูปที่มีในปัจจุบันซึ่งเรารู้จักในชื่อของ"Simulink" แต่ถ้าพิจารณาให้ดีจะพบว่าโปรแกรม Simulink ถึงแม้จะสามารถวิเคราะห์ผลตอบสนองได้ทุกกระบวนการที่ต้องการวิเคราะห์ก็จริง อีกทั้งในปัจจุบัน ได้มีการสร้าง Driver ของโปรแกรม Simulink ให้สามารถต่อใช้งานกับเครื่องควบคุมจากภายนอกได้ แต่ทั้งนี้ เนื่องจากความใหม่ของเทคโนโลยี ทำให้ Driver ตัวนี้มีราคาแพง ดังนั้น เป็นเรื่องไม่คุ้มที่จะซื้อ Driver เพื่อนำมาต่อวิเคราะห์หาผลตอบสนองของกระบวนการแต่สำหรับปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สามารถที่จะต่อเครื่องควบคุมภายนอกร่วมกับโปรแกรมที่ออกแบบมาเพื่อนำไปประมวลผลร่วมกัน และจากการทดลอง เครื่องควบคุมภายนอก คือ PID Unit (omron) ก็สามารถที่จะแก้ค่าผิดพลาด (error)ของกระบวนการได้อย่างถูกต้อง ให้ผลตอบสนองทางสัญญาณออกมีค่าตามค่าเป้าหมาย (Set point) ที่ตั้งไว้ทุกประการ การเชื่อมต่อระหว่างเครื่องควบคุมภายนอก กับ โปรแกรมที่ออกแบบ เป็นลักษณะของการเชื่อมระหว่าง Hardware กับSoftware เราต้องเชื่อมต่อกันโดยตรงได้ การเชื่อมต่อจะต้องเชื่อมต่อผ่านอุปกรณ์เชื่อมต่อสัญญาณ (A/D & D/A Interface)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์เชื่อมต่อสัญญาณ(A/D & D/A Interface)ที่ใช้ร่วมกับโปรแกรมที่ออกแบบในปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นอุปกรณ์เชื่อมต่อสัญญาณ PCL-818 ซึ่งเป็นอุปกรณ์สำเร็จจะมีตัวแปลงสัญญาณอนาลอกให้เป็นค่าเชิงเลขจำนวน 16 ช่องทาง โดยมีความละเอียด (Resolution) ขนาด 12 บิทที่ระดับแรงดันทางเข้าที่สามารถโปรแกรมได้หลายค่า เช่น 0-5 1-10 โวลท์ เป็นต้น และแปลงค่าของเชิงเลขขนาด 12 บิท เช่นเดียวกันออกสู่ภายนอกที่ระดับแรงดันเท่ากับทางเข้าจำนวน 2 ช่องทางออก การติดต่อระหว่างอุปกรณ์เชื่อมต่อสัญญาณกับคอมพิวเตอร์จะติดต่อผ่านทางบัสข้อมูล (Data Bus)มีการกำหนดพารามิเตอร์ก่อนการใช้งาน (Initialized) เล็กน้อย

ทั้งนี้ ถึงแม้ว่าโปรแกรมที่ออกแบบมานี้มิได้ออกแบบมาเพื่อรองรับกับทุกกระบวนการที่จะวิเคราะห์ก็จริง แต่โปรแกรมหลัก ๆ เช่น โปรแกรมระบบอันดับหนึ่ง (First order system) หรือ โปรแกรมการเก็บค่า เป็นต้น ก็สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้ต่อไป หากจะพัฒนาโปรแกรมวิเคราะห์กระบวนการให้สามารถทำงานรองรับ กับ กระบวนการที่หลากหลายมากขึ้น แม้ว่าจะไม่สามารถจะทำงานได้เท่ากับโปรแกรม Simulink ก็ตาม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
#include <graphics.h>
#include <dos.h>
#include <conio.h>
#include <bios.h>
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
/***************************** card *****************************/
int port = 0x300;            /* SET I/O PORT BASE ADDRESS */
int MaxCH = 15;
void InitPCL818(void);
int ADC(int ch);
void DAC(int ch, int data);
        /***************************** menu *********************************/
#define no_choice 5
#define no_menu   4
#define up_arrow 0x4800
#define down_arrow 0x5000
#define left_arrow 0x4B00
#define right_arrow 0x4D00
#define Return 0x1C0D
#define escape 0x011B
#define F10    0x4400
#define alt_x  0x2D00
 typedef struct heading {
      char *choice;
   };
 typedef struct menu_struct{
        int frame[4];
        int row[no_choice];
        int col;
        struct heading item[no_choice];
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        int last_choice;
        };
void initialize_graphics_mode(void);
void close_graphics_mode(void);
void draw_rectangle(int lt,int tp,int rt,int bt);
void draw_line(int x1,int y1,int x2,int y2);
void draw_circle(int xc,int yc,int stangle,int endtangle,int radius,int color);
void draw_ellipe(int xc,int yc,int stangle,int endtangle,int xradius,int yradius,int color);
void draw_fill_rectangle(int lt,int tp,int rt,int bt);
void erase_fill_rectangle(int lt,int tp,int rt,int bt);
void background_fill_rectangle(int lt,int tp,int rt,int bt);
void set_fill_pattern(int pattern,int color);
void set_color(int color);
void out_text_xy(int x,int y,char text[]);
int get_max_x(void);
int get_max_y(void);
void menu_assignment(void);
void display_main_menu(void);
void display_menu(int menu_no);
void select_menu(int menu_no,int choice_no);
void select_menu_choice(int menu_no,int choice_no);
void unselect_menu(int menu_no,int choice_no);
int read_key(int key);
void inverse(int menu_no,int choice_no);
void normal(int menu_no,int choice_no);
void infor(void);
void block(void);
struct menu_struct menus[no_menu];
  int start=4,
      one_choice_width=20;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        /*************************************************************************/
        /********************************** DATA ************************/
  /* FIRST_ORDER */
  float vid[600],vod[800];
  int readkey(void);
  float k1,k2,k3,k4;
  float l1,l2,l3,l4;
  float p1,p2,p3,p4;
  float j1,j2,j3,j4;
  float o1,o2,o3,o4;
  float v1,v2,v3,v4;
     float t,t0,Vm;
     float st,n,h;
          /*******      data  system     *******/
     float r,e,o,a1,m,y,w,x1,x2,x3,x4,x5,x6;
     float ksp,kw,kt,ki,ks,kf,ko,kv;
     float f,ti,to,y1,top,ts,tset;
     float zi,zv,zo,z,zt,azd,zd;
          /*************************************/
  float plot(float ti,float vi,float vo,float Vmax);
  float  first_order(float yi,float yo,float k,float z,float st);
  float  first_order1(float yi1,float yo1,float k1,float z1,float st1);
  float  first_order2(float yi2,float yo2,float k2,float z2,float st2);
  float  first_order3(float yi3,float yo3,float k3,float z3,float st3);
  float  first_order4(float yi4,float yo4,float k4,float z4,float st4);
  float lead_lag1(float xi,float y1,float zd,float zg,float st);
  float lead_lag2(float xi,float y1,float zd,float zg);
  void po_scope(void);
/*****************************DISPLAYVALU*********************************/
  int shift,eshift;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
void diff_sw(void);
 void soore_sw(char sw1[80],int x1,int y1,int x2,int y2,float soore_sw);
 void print_soore(char sw1[80],int x1,int y1,int x2,int y2,float value);
 void print_scantset(char sw1[80],int x1,int y1,int x2,int y2,float value);
 void print_scanto(char sw1[80],int x1,int y1,int x2,int y2,float value);
 void print_tset(char sw1[80],int x1,int y1,int x2,int y2,float value);
 void print_to(char sw1[80],int x1,int y1,int x2,int y2,float value);
 void print_ti(char sw1[80],int x1,int y1,int x2,int y2,float value);
 void print_f(char sw1[80],int x1,int y1,int x2,int y2,float value);
 void print_soore_time(float value);
 void   monitor(void);
 void edit_value(void);
 void  draw_picture(void);
 void scan_value(void);
 void set_arrow(void);
 void logo(void);
        /************************openclosefile*********************************/
void  read_file(void);
void  o_c_file(void);
void file_value(void);
FILE *datafile;
struct datatype{
            float dkv;float dkwfloat dks;float dkf;float dki;float dkt;float dzv;float dzc;
        float dzt;float dz;


             }old;
 /************************   end  ***********************/
 main()
{
   int a;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
 /************* system *****************/
   r=0;e=0;o=0;a1=0;m=0;y=0;w=0;x1=0;x2=0;x3=0;x4=0;x5=0;x6=0;
   ksp=1;kw=1.905;kt=1;ki=0.617;ks=0.383;kf=-2.06;ko=2;kv=1.652;
   f=15;ti=100;to=0;y1=0;top=0;ts=0;
   zi=0.822;zv=0.2;zo=0.524;z=4.93;zt=0.75;azd=0.0261;zd=0.261;
  Vm=350; t0=0; tset=150; st=0.05; k1=0;k2=0;k3=0;k4=0; l1=0;l2=0;l3=0;l4=0
p1=0;p2=0;p3=0;p4=0;
   j1=0;j2=0;j3=0;j4=0;o1=0;o2=0;o3=0;o4=0;v1=0;v2=0;v3=0;v4=0;
 /************************************/
initialize_graphics_mode();
        logo();
        background_fill_rectangle(1,1,getmaxx()-1,getmaxy()-1);
        diff_sw();
        monitor();
        draw_picture();
        menu_assignment();
        display_main_menu();
        select_menu_choice(0,1);
        close_graphics_mode();
        return (0);
   }
void initialize_graphics_mode(void)
 {
        int gdriver = DETECT,gmode,errorcode;
        initgraph(&gdriver,&gmode,"");
        errorcode=graphresult();
   if (errorcode !=grOk)
   {
        printf("graphics error : %s\n", grapherrormsg(errorcode));
        printf("press any key to halt :");
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        getchar();
        exit(1);
      }
    }
  void close_graphics_mode(void)
    {
      closegraph();
    }
  void draw_rectangle(int lt,int tp,int rt,int bt)
    {
      rectangle(lt,tp,rt,bt);
    }
  void draw_fill_rectangle(int lt,int tp,int rt,int bt)
    {
     set_fill_pattern(1,GREEN);
     bar(lt,tp,rt+25,bt);
    }
  void erase_fill_rectangle(int lt,int tp,int rt,int bt)
    {
     set_fill_pattern(1,7);
     bar(lt,tp,rt+25,bt);
    }
  void set_fill_pattern(int pattern,int color)
    {
     setfillstyle(pattern,color);
    }
  void set_color(int color)
    {
     setcolor(color);
    }
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
void out_text_xy(int x,int y,char text[])
  {
   outtextxy(x,y,text);
  }
/* int get_max_x(void)
  {
   return (getmaxx());
  }
 int get_max_y(void)
  {
   return (getmaxy());
  } */
 void menu_assignment(void)
  {
    int one_part;
    one_part = (getmaxx()/no_menu);

    menus[0].frame[0]=start;
    menus[0].frame[1]=one_choice_width;
    menus[0].frame[2]=start+one_part;
    menus[0].frame[3]=one_choice_width+one_choice_width*2;
    menus[0].row[0]=6;
    menus[0].row[1]=26;
    menus[0].row[2]=46;
    menus[0].row[3]=66;
    menus[0].row[4]=86;
    menus[0].col=start;
    start +=one_part;
    menus[0].item[0].choice= "   Guid for you   ";
    menus[0].item[1].choice= "   information   ";
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
menus[0].item[2].choice= "  Block diagram ";
menus[0].item[3].choice= " ";
menus[0].item[4].choice= " ";
menus[0].last_choice=2;
menus[1].frame[0]=start;
menus[1].frame[1]=one_choice_width;
menus[1].frame[2]=start+one_part;
menus[1].frame[3]=one_choice_width+one_choice_width*2;
menus[1].row[0]=6;
menus[1].row[1]=26;
menus[1].row[2]=46;
menus[1].row[3]=66;
menus[1].row[4]=86;
menus[1].col=start;
start +=one_part;
menus[1].item[0].choice= "    Edit value    ";
menus[1].item[1].choice= " Set value        ";
menus[1].item[2].choice= " Data from file  ";
menus[1].item[3].choice= " ";
menus[1].item[4].choice= " ";
menus[1].last_choice=2;
menus[2].frame[0]=start;
menus[2].frame[1]=one_choice_width;
menus[2].frame[2]=start+one_part;
menus[2].frame[3]=one_choice_width+one_choice_width*1;
menus[2].row[0]=6;
menus[2].row[1]=26;
menus[2].row[2]=46;
menus[2].row[3]=66;
menus[2].row[4]=86;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    menus[2].col=start;
    start +=one_part;
    menus[2].item[0].choice= "      Run        ";
    menus[2].item[1].choice= "   Run process    ";
    menus[2].item[2].choice= " ";
    menus[2].item[3].choice= " ";
    menus[2].item[4].choice= " ";
    menus[2].last_choice=1;
    menus[3].frame[0]=start;
    menus[3].frame[1]=one_choice_width;
    menus[3].frame[2]=start+one_part;
    menus[3].frame[3]=one_choice_width+one_choice_width*1;
    menus[3].row[0]=6;
    menus[3].row[1]=26;
    menus[3].row[2]=46;
    menus[3].row[3]=66;
    menus[3].row[4]=86;
    menus[3].col=start;
    start +=one_part;
    menus[3].item[0].choice= "       QUIT       ";
    menus[3].item[1].choice= "  Exit    ALT X ";
    menus[3].item[2].choice= " ";
    menus[3].item[3].choice= " ";
    menus[3].item[4].choice= " ";
    menus[3].last_choice=1;
  }
void display_main_menu(void)
 {
  int i;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    set_fill_pattern(1,BLUE);
    bar(1,1,getmaxx()-1,18);
    draw_rectangle(0,0,getmaxx(),19);
    for(i=0; i<no_menu; i++ ){
        out_text_xy(menus[i].col,menus[i].row[0],
                menus[i].item[0].choice);
    }
 }
void display_menu(int menu_no)
{
   int i;
   draw_rectangle(menus[menu_no].frame[0],menus[menu_no].frame[1],
                menus[menu_no].frame[2],menus[menu_no].frame[3]);

    for(i=0; i<no_choice; i++) {
        out_text_xy(menus[menu_no].col,menus[menu_no].row[i],
                menus[menu_no].item[i].choice);
    }
 }
void select_menu(int menu_no,int choice_no)
 {
  int new_menu_no,
      new_choice_no=0;
  int i;
   out_text_xy(menus[0].col,menus[0].row[0],
                menus[0].item[0].choice);
   out_text_xy(menus[1].col,menus[1].row[0],
                menus[1].item[0].choice);
   out_text_xy(menus[2].col,menus[2].row[0],
                menus[2].item[0].choice);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    out_text_xy(menus[3].col,menus[3].row[0],
                menus[3].item[0].choice);
    out_text_xy(menus[4].col,menus[4].row[0],
                menus[4].item[0].choice)
     display_menu(menu_no);
      for(;;){
  i= read_key(0);
    switch(i){

          case left_arrow : if(menu_no==0)
                              new_menu_no=no_menu-1;
                            else new_menu_no=menu_no-1;
                            unselect_menu(menu_no,choice_no);
                            select_menu(new_menu_no,1);
                              break;

case right_arrow : if(menu_no==no_menu-1)
                              new_menu_no=0;
                            else new_menu_no=menu_no+1;
                            unselect_menu(menu_no,choice_no);
                            select_menu(new_menu_no,1);
                            break;
          case up_arrow : if(choice_no==1)
                              new_choice_no=menus[menu_no].last_choice;
                            else new_choice_no=choice_no-1;
                            normal(menu_no,choice_no);
                            inverse(menu_no,new_choice_no);
                            choice_no=new_choice_no;
                            break;
         case down_arrow : if(choice_no==menus[menu_no].last_choice)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                    new_choice_no=1;
                else new_choice_no=choice_no+1;
                normal(menu_no,choice_no);
                inverse(menu_no,new_choice_no);
                choice_no=new_choice_no;
                break;
case Return: switch(menu_no){
            case 0 :switch(choice_no){
                case 1 :infor();
                        break;
                case 2 :block();
                        break;
                        };
                        break;
            case 1: switch(choice_no){
                case 1 :edit_value();
                        break;
                case 2 :read_file();
                        file_value();
                        break;
                       };
                       break;
            case 2: switch(choice_no){
                case 1 :monitor();
                         po_scope();
                         break;
                       };
                       break;
            case 3: switch(choice_no){
                case 1 :close_graphics_mode();
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                    o_o_file();
                    exit(0);
                    break;
                  };
                  break;
                  }
          case escape:  unselect_menu(menu_no,choice_no);
                display_main_menu();
                    select_menu_choice(menu_no,choice_no);
                    exit(0);
                    break;
          case  alt_x:  o_o_file();
                    exit(0);
                    break;
        }   /* sw  */
      }     /*for1  */
}  /*select_menu*/
void inverse(int menu_no,int choice_no)
 {
   draw_fill_rectangle(menus[menu_no].col+2,
                menus[menu_no].row[choice_no],
                menus[menu_no].col+124,
                menus[menu_no].row[choice_no]+10);
   set_color(0);
   out_text_xy(menus[menu_no].col,menus[menu_no].row[choice_no],
                menus[menu_no].item[choice_no].choice);
   set_color(15);
 }
void normal(int menu_no,int choice_no)
 {
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    erase_fill_rectangle(menus[menu_no].col+2,
                         menus[menu_no].row[choice_no],
                         menus[menu_no].col+124,
                         menus[menu_no].row[choice_no]+10);
    out_text_xy(menus[menu_no].col,menus[menu_no].row[choice_no],
                menus[menu_no].item[choice_no].choice);
  }
 void unselect_menu(int menu_no,int choice_no)
 {
   normal(menu_no,choice_no);
   set_color(7);
   display_menu(menu_no);
   set_color(15);
 }
int read_key(int key)
 {
  return bioskey(key);
 }
 void infor(void)
 {
     /*  shadow  */
     setfillstyle(1,8);
     bar(80,60,610,465);
    /*   plan    */
     setfillstyle(1,15);
     bar(70,50,600,450);
/********************** BLOCK DIAGRAM ********************/
     set_color(9);
     settextstyle(TRIPLEX_FONT,HORIZ_DIR,2);
     out_text_xy(250,80," INFORMATION   ");
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    settextstyle(TRIPLEX_FONT,HORIZ_DIR,1);
    out_text_xy(95,120,"1.Should before open sub-menu for set value.This ");
    out_text_xy(95,135,"  menu inculde two sub-menu. ");
    out_text_xy(95,150,"  1.1 Edit value for set parameter value befor   ");
    out_text_xy(95,165,"  run program.  ");
    out_text_xy(95,180,"  1.2 Old data for take parameter value to alculated  ");
    out_text_xy(95,210,"2.When you chose and set value in stepI,you can");
    out_text_xy(95,225,"  choose runmode for see result program you can  ");
    out_text_xy(95,240,"  edit gain parameter when progrem is operating  ");
    out_text_xy(95,255,"  by push Arrow [UP] [DOWN].When you choose desire ");
    out_text_xy(95,270,"  parameter,you can edit parameter value by push  ");
    out_text_xy(95,285,"  Arrow + or -.Arrow + is used to increase value, ");
    out_text_xy(95,300,"  If you push Arrow -, value is decreased.Program  ");
    out_text_xy(95,315,"  will take value to caloulate andinstant display. ");
    out_text_xy(95,330,"  If you would like to sometime response,youmust be  ");
    out_text_xy(95,345,"  push 'Q'response is break and push Arrow + or -  ");
    out_text_xy(95,360,"   for shift to see desire response value.Response");
    out_text_xy(95,375,"  will be{is see}display between temperture and time.");
    settextstyle(DEFAULT_FONT,HORIZ_DIR,1);
    delay(3000);
    getch();
/***************        menu        ***************/
    set_color(15);
    setfillstyle(1,7);
    bar(65,49,620,466);

    diff_sw();
    monitor();
    draw_picture();
}
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
void block(void)
 {
    /*   shadow   */
    setfillstyle(1,8);
    bar(80,60,610,465);
   /*    plan     */
    setfillstyle(1,15);
    bar(70,50,600,450);
/********************** BLOCK DIAGRAM ********************/
/*  draw_rectangle(int lt,int tp,int rt,int bt);  */
  set_color(9);
  draw_line(100,150,550,150);  /*  line main1  */
  draw_line(180,300,525,300);  /*  line main2  */
  draw_line(370,200,455,200);  /*  line main3  */
  draw_line(370,250,460,250);  /*  line main4  */
  draw_line(180,150,180,300);  /*  line ver1   */
  draw_line(342,150,342,300);  /*  line ver2   */
  draw_line(525,150,525,300);  /*  line ver3   */
  draw_line(460,150,455,200);  /*  line ver4   */
  draw_line(460,150,460,250);  /*  line ver5   */
  draw_circle(180,150,0,360,10,0);/* circle1*/
  draw_circle(342,150,0,360,10,0);/* circle2*/
  draw_circle(460,150,0,360,10,0);/* circle3*/

 /* b ksp */
  setfillstyle(1,2);
  bar(120,140,150,160);
  set_color(4);
  out_text_xy(125,147,"Ksp");
  out_text_xy(75,130,"Tset");
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
 out_text_xy(155,130,"R");
 out_text_xy(160,140,"+");
 set_color(0);
 draw_rectangle(119,139,151,161);
/* b go */
 setfillstyle(1,2);
 bar(200,140,230,160);
 set_color(4);
 out_text_xy(205,147,"Go");
 out_text_xy(75,130,"Tset");
 out_text_xy(185,130,"E");
 out_text_xy(185,160,"-");
 set_color(0);
 draw_rectangle(199,139,231,161);
/* b kv */
 setfillstyle(5,13);
 bar(245,140,275,160);
 set_color(4);
 out_text_xy(233,165,"Kv/zs+1");
 out_text_xy(235,130,"M");
 set_color(0);
 draw_rectangle(244,139,276,161);
/* b kw */
 setfillstyle(1,2);
 bar(290,140,320,160);
 set_color(4);
 out_text_xy(295,147,"Kw");
 out_text_xy(280,130,"W");
 out_text_xy(325,140,"+");
 set_color(0);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
 draw_rectangle(289,139,321,161);
/* b 1/zos+1 */
 setfillstyle(2,13);
 bar(365,140,395,160);
 set_color(4);
 out_text_xy(360,165,"1/zo+1");
 out_text_xy(395,130,"Ts");
 out_text_xy(350,160,"-");
 set_color(0);
 draw_rectangle(364,139,396,161);
/* b ks */
 setfillstyle(1,2);
 bar(405,140,435,160);
 set_color(4);
 out_text_xy(410,147,"Ks");
 out_text_xy(440,140,"+");
 out_text_xy(445,160,"+  +");
 set_color(0);
 draw_rectangle(404,139,436,161);
/* b 1/zs+1  */
 setfillstyle(4,13);
 bar(480,140,510,160);
 set_color(4);
 out_text_xy(475,165,"1/zs+1");
 out_text_xy(520,130,"Tout");
 set_color(0);
 draw_rectangle(479,139,511,161);
/* b kf  */
 setfillstyle(1,2);
 bar(405,190,435,210);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
  set_color(4);
  out_text_xy(410,197,"Kf");
  out_text_xy(380,190,"F");
  set_color(0);
  draw_rectangle(404,189,436,211);
 /* b ki  */
  setfillstyle(1,2);
  bar(405,240,435,260);
  set_color(4);
  out_text_xy(410,247,"Ki");
  out_text_xy(380,240,"Ti");
  set_color(0);
  draw_rectangle(404,239,436,261);
 /* b kt  */
  setfillstyle(1,2);
  bar(245,290,275,310);
  set_color(4);
  out_text_xy(250,297,"Kt");
  out_text_xy(210,290,"Tot");
  set_color(0);
  draw_rectangle(244,289,276,311);
  /******** block *********/
  setfillstyle(1,3);
  bar(235,355,455,405);
  setfillstyle(1,14);
  bar(230,350,450,400);
  set_color(4);
  draw_rectangle(229,349,451,401);
  out_text_xy(250,375,"<<** Block Diagram **>>");
   getch();
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
/***************        menu        ***************/
    set_color(15);
    setfillstyle(1,7);
    bar(65,49,620,466);
    diff_sw();
    monitor();
    draw_picture();
}
void draw_line(int x1,int y1,int x2,int y2)
{
     line(x1,y1,x2,y2);
}
void background_fill_rectangle(int lt,int tp,int rt,int bt)
{
  set_color(15);
  draw_rectangle(0,0,getmaxx(),getmaxy());
  set_fill_pattern(1,7);
  bar(lt,tp,rt,bt);
}
void draw_circle(int xc,int yc,int stangle,int endtangle,int radius,int color)
{
     setcolor(color);
     circle(xc,yc,radius+1);
     setcolor(15);
     pieslice(xc,yc,stangle,endtangle,radius);
}
void draw_ellipe(int xc,int yc,int stangle,int endtangle,int xradius,int yradius,int color)
{
     setcolor(color);
     ellipse(xc,yc,stangle,endtangle,xradius+1,yradius+1);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        setcolor(15);
        fillellipse(xo,yo,xradius,yradius);
    }
void select_menu_choice(int menu_no,int choice_no)
{     int i;
  for(;;){
   i= read_key(0);
            if(F10==i)
                  {
                  select_menu(menu_no,choice_no);
                  }
            else
                  {
                  select_menu_choice(menu_no,choice_no);
                  }
          }
}
/************************** Scope ************************************/
void po_scope(void)
 {
    int key;
    int quit=0;
    r=0;e=0;o=0;a1=0;m=0;y=0;w=0;x1=0;x2=0;x3=0;x4=0;x5=0;x6=0;
    Vm=350;
    t0=0;
    tset=150;
    st=0.05;
    top=0;ts=0;
    k1=0;k2=0;k3=0;k4=0;
    l1=0;l2=0;l3=0;l4=0;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
 p1=0;p2=0;p3=0;p4=0;
 j1=0;j2=0;j3=0;j4=0;
 o1=0;o2=0;o3=0;o4=0;
 v1=0;v2=0;v3=0;v4=0;
t=t0;n=0;
shift=95; /****diff_sw******/
set_arrow();
do
{
        setviewport(0,0,getmaxx(),getmaxy(),1);
           /*--------diff_sw-----------*/
        score_sw("Kv= ",55,95,145,113,kv);
        score_sw("Kw= ",55,130,145,145,kw);
        score_sw("Ks= ",55,165,145,180,ks);
        score_sw("Kf= ",55,200,145,215,kf);
        score_sw("Ki= ",55,235,145,250,ki);
        score_sw("Kt= ",55,270,145,285,kt);
        score_sw("Zv= ",55,305,145,320,zv);
        score_sw("Zo= ",55,340,145,355,zo);
        score_sw("Zt= ",55,375,145,390,zt);
        score_sw("Z= ",55,410,145,425,z);
          /*--------print Temp-----------*/
        print_tset("Tset=",349,53,465,63,tset);
        print_ti("Ti=",219,233,332,243,ti);
        print_f("F=",219,197,327,207,f);
        print_to("To=",509,153,601,165,to);
         /*----------print Time----------*/
        print_score_time(t);
         /*-----------------------*/
        setviewport(201,300,550,450,1);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
  plot(n,t,top,Vm);
  if( n>349)
  {
    n=plot(n,t,top,Vm);
  }
  t=st+t;
  n++;
  r++;
setviewport(0,0,getmaxx(),getmaxy(),1);
  key=readkey();
  switch(key)
  {
     case 0x4800 :  if(shift<=95)
                    {
                  setcolor(9);
                    outtextxy(5,95," ==>> " );
                    setcolor(15);
                    shift=410;
                    outtextxy(5,410," ==>> " );
                    break;
                   }
                    else
                   {
                    shift=shift-35;
                 setcolor(15);
                    outtextxy(5,shift," ==>> " );
                 setcolor(9);
                    outtextxy(5,shift+35," ==>> " );
                    break;
                   }
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        case 0x5000 :  if(shift>=410)
                        {
                       setcolor(9);
                         outtextxy(5,410," ==>>" );
                         setcolor(15);
                         shift=95;
                         outtextxy(5,95," ==>>" );
                         break;
                       }
                         else
                       {
                         setcolor(9);
                         outtextxy(5,shift," ==>>" );
                         setcolor(15);
                         shift=shift+35;
                         outtextxy(5,shift," ==>>" );
                         break;
                       }
        case 0x4e2b :
                      if(shift==95)
                       {
                         kv=kv+0.005;sound(2000);delay(50);nosound();break; /* kv+"e"
*/
                       }
                      if(shift==130)
                       {
                         kw=kw+0.005;sound(2000);delay(50);nosound();break; /* kw+"r"
*/
                       }
                      if(shift==165)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
  {
   ks=ks+0.005;sound(2000);delay(50);nosound();break; /* ks+"t"  */
  }
 if(shift==200)
  {
   kf=kf+0.01;sound(2000);delay(50);nosound();break; /* kf+"y"  */
  }
 if(shift==235)
  {
   ki=ki+0.0005;sound(2000);delay(50);nosound();break; /* ki+"u"  */
  }
 if(shift==270)
  {
   kt=kt+0.1;sound(2000);delay(50);nosound();break; /* kt+"i"  */
  }
 if(shift==305)
  {
   zv=zv+0.01;sound(2000);delay(50);nosound();break; /* zv+"o"  */
  }
 if(shift==340)
  {
   zo=zo+0.005;sound(2000);delay(50);nosound();break; /* zo+"p"  */
  }
 if(shift==375)
  {
   zt=zt+0.01;sound(2000);delay(50);nosound();break; /* zt+"z"  */
  }
 if(shift==410)
  {
   z=z+0.02;sound(2000);delay(50);nosound();break; /* z+"o"  */
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                    }
        case 0x4a2d :
                    if(shift==95)
                     {
                      kv=kv-0.005;sound(2000);delay(50);nosound(); break; /* kv-"s"  */
                     }
                    if(shift==130)
                     {
                      kw=kw-0.005;sound(2000);delay(50);nosound(); break; /* kw-"d"
*/
                     }
                    if(shift==165)
                     {
                      ks=ks-0.005;sound(2000);delay(50);nosound(); break; /* ks-"f"  */
                     }
                    if(shift==200)
                     {
                      kf=kf-0.01;sound(2000);delay(50);nosound(); break; /* kf-"g"  */
                     }
                    if(shift==235)
                     {
                      ki=ki-0.0005;sound(2000);delay(50);nosound(); break; /* ki-"h"  */
                     }
                    if(shift==270)
                     {
                      kt=kt-0.1;sound(2000);delay(50);nosound(); break; /* kt-"j"  */
                     }
                    if(shift==305)
                     {
                      zv=zv-0.01;sound(2000);delay(50);nosound(); break; /* zv-"k"  */
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                    }
                   if(shift==340)
                    {
                     zc=zc-0.005;sound(2000);delay(50);nosound(); break; /* zc-"l"  */
                    }
                   if(shift==375)
                    {
                     zt=zt-0.01;sound(2000);delay(50);nosound(); break; /* zt-"x"  */
                    }
                   if(shift==410)
                    {
                     z=z-0.02;sound(2000);delay(50);nosound(); break; /* z-"v"  */
                    }

          case 0x2e7a : tset+=1;break; /* grey +  */
          case 0x2d78 : tset-=1; break; /* grey -  */
          case 0x1071 : quit=1;scan_value(); break; /* 'Q' */

          case  alt_x : exit(0); /* EXIT TO PROGRAM */
                        break;
        }
     delay(50);  /******** real time **********/
    } while (!quit); /* key "Q" to exit */
    clearviewport();
    setfillstyle(1,0);
    bar(201,300,550,450);
   setviewport(0,0,getmaxx(),getmaxy(),1);
 }
        /*************************************************************/
int readkey()
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
{
   int keyoheok;
   keyoheok = bioskey(1);
   if(keyoheok)
      return bioskey(0);
   else
      return 0;
}
float plot(float n,float vi,float vo,float Vmax)
 {
        float time,vout,vin,vop,vip,m;
        vout=(150/Vmax)*vo;
/*      vin=(150/Vmax)*vi;                */
        vop=(150-vout);
/*      vip=(150-vin);                    */
        if(n<350)
        {
        /
                vod[n]=vop;
        }
        else
        {
                for(m=0;m<349;m=m+1)
{
                        putpixel(m,vod[m],0);
                        putpixel(m,vod[m+1],13);
                        vod[m]=vod[m+1];
                }
                         vod[349]=vop;
                         putpixel(349,vod[348],0);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                        putpixel(349,vod[349],13);
}
n=350;
    return n;
 }
 float  first_order(float yi,float yo,float k,float z,float st)
{
        yo=yo+(st/6)*(k1+2*k2+2*k3+k4);
        k1=((k*yi)-yo)/z;
        k2=(k*(yi)-(yo+0.5*st*k1))/z;
        k3=(k*(yi)-(yo+0.5*st*k2))/z;
        k4=(k*(yi)-(yo+st*k3))/z;
  return yo;
 }
void diff_sw(void)
{
    /**** Shadow ******/
    set_fill_pattern(1,8);
    bar(151,85,160,getmaxy()-1);
   /********** kv **********/
    draw_rectangle(1,80,150,115);
    set_fill_pattern(1,9);
    bar(2,81,149,114);
    outtextxy(60,85,"Kv=1.652");
    /************ Kw *********/
    draw_rectangle(1,115,150,150);
    set_fill_pattern(1,9);
    bar(2,116,149,149);
    outtextxy(60,120,"Kw=1.905");
    /************** Ks **********/
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    draw_rectangle(1,150,150,185);
    set_fill_pattern(1,9);
    bar(2,151,149,184);
    outtextxy(60,155,"Ks=0.383");
    /*************** Kf **********/
    draw_rectangle(1,185,150,220);
    set_fill_pattern(1,9);
    bar(2,186,149,219);
    outtextxy(60,190,"Kf=-2.06");
    /************ Ki *************/
    draw_rectangle(1,220,150,255);
    set_fill_pattern(1,9);
    bar(2,221,149,254);
    outtextxy(60,225,"Ki=0.617");
    /************* Kt ************/
    draw_rectangle(1,255,150,290);
    set_fill_pattern(1,9);
    bar(2,256,149,289);
    outtextxy(60,260,"Kt=1");
/*************** Zv ************/
    draw_rectangle(1,290,150,325);
    set_fill_pattern(1,9);
    bar(2,291,149,324);
    outtextxy(60,295,"Zv=0.2 min");
    /*************** Zo **********/
    draw_rectangle(1,325,150,360);
    set_fill_pattern(1,9);
    bar(2,326,149,359);
    outtextxy(60,330,"Zo=0.524min");
    /************** Zt ************/
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
draw_rectangle(1,360,150,395);
set_fill_pattern(1,9);
bar(2,361,149,394);
outtextxy(60,365,"Zt=0.75 min");
/************** Z ***********/
draw_rectangle(1,395,150,430);
set_fill_pattern(1,9);
bar(2,396,149,429);
outtextxy(60,400,"Z=4.93 min");
/************** Tset ***********/
draw_rectangle(1,430,150,478);
draw_rectangle(2,431,149,477);
set_fill_pattern(1,2);
bar(3,432,148,476);
outtextxy(25,440,"Up");
outtextxy(10,460,"[ + ]");
outtextxy(105,440,"Down");
outtextxy(100,460,"[ - ]");
outtextxy(350,55,"Tset=");
outtextxy(460,55,"F");
outtextxy(510,155,"To=");
outtextxy(600,155,"F");
outtextxy(220,200,"F =");
outtextxy(325,200,"(ft3)/min");
outtextxy(220,235,"Ti  =");
outtextxy(330,235,"F");
/*****  LINE  ********/
draw_line(50,80,50,430);
draw_line(75,430,75,478);
draw_line(76,430,76,478);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    draw_line(74,430,74,478);
    /*********************/
}
void score_sw(char sw1[80],int x1,int y1,int x2,int y2,float score_sw)
{   char sw2[80];
    setfillstyle(1,9);
    bar(x1,y1,x2,y2);
    sprintf(sw2,"%.4f",score_sw);
    setcolor(15);
    outtextxy(60,y1+5,sw1);
    setcolor(10);
    outtextxy(90,y1+5,sw2);
}
void print_tset(char print1[80],int x1,int y1,int x2,int y2,float value)
{   char print2[80];
    setfillstyle(1,7);
    bar(x1,y1,x2,y2);
    sprintf(print2,"%.2f",value);
    setcolor(15);
    outtextxy(350,55,print1);
    setcolor(1);
    outtextxy(395,55,print2);
    setcolor(15);
    outtextxy(460,55,"F");
}
void print_ti(char print1[80],int x1,int y1,int x2,int y2,float value)
{   char print2[80];
    setfillstyle(1,7);
    bar(x1,y1,x2,y2);
    sprintf(print2,"%.2f",value);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        setcolor(15);
        outtextxy(220,235,print1);
        setcolor(1);
        outtextxy(255,235,print2);
        setcolor(15);
        outtextxy(330,235,"F");
}
void print_f(char print1[80],int x1,int y1,int x2,int y2,float value)
{   char print2[80];
        setfillstyle(1,7);
        bar(x1,y1,x2,y2);
        sprintf(print2,"%.2f",value);
        setcolor(15)  ;
        outtextxy(220,200,print1);
        setcolor(1);
        outtextxy(275,200,print2);
        setcolor(15);
        outtextxy(325,200,"(ft3)/min");
}
void print_to(char print1[80],int x1,int y1,int x2,int y2,float value)
{   char print2[80];
        setfillstyle(1,7);
        bar(x1,y1,x2,y2);
        sprintf(print2,"%.2f",value);
        setcolor(15);
        outtextxy(510,155,print1);
        setcolor(1);
        outtextxy(540,155,print2);
        setcolor(15);
        outtextxy(600,155,"F");
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
}
void print_soantset(char print1[80],int x1,int y1,int x2,int y2,float value)
{    char print2[80];
     float vi,vp;
     setfillstyle(1,7);
     bar(x1,y1,x2,y2);
     vp=(350*value)/150;
     vi=350-vp;
     sprintf(print2,"%.2f",vi);
     setcolor(15);
     outtextxy(350,55,print1);
     setcolor(1);
     outtextxy(395,55,print2);
     setcolor(15);
     outtextxy(460,55,"F");
}
void print_soanto(char print1[80],int x1,int y1,int x2,int y2,float value)
{    char print2[80];
     float vi,vp;
     setfillstyle(1,7);
     bar(x1,y1,x2,y2);
     vp=(350*value)/150;
     vi=350-vp;
     sprintf(print2,"%.2f",vi);
     setcolor(15);
     outtextxy(510,155,print1);
     setcolor(1);
     outtextxy(540,155,print2);
     setcolor(15);
     outtextxy(600,155,"F");
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
}
void print_score_time(float value)
{    char print1[80];
     char print2[80];
     char print3[80];
     char print4[80];
     char print5[80];
     char print6[80];
     char print7[80];
     char print8[80];
     setfillstyle(1,9);
     bar(165,460,630,470);
     sprintf(print1,"%.2f",value-17.5);
     sprintf(print2,"%.2f",value-15);
     sprintf(print3,"%.2f",value-12.5);
     sprintf(print4,"%.2f",value-10);
     sprintf(print5,"%.2f",value-7.5);
     sprintf(print6,"%.2f",value-5);
     sprintf(print7,"%.2f",value-2.5);
     sprintf(print8,"%.2f",value);
     setcolor(15);
     outtextxy(166,462,print1 );
     outtextxy(226,462,print2 );
     outtextxy(287,462,print3 );
     outtextxy(347,462,print4 );
     outtextxy(407,462,print5 );
     outtextxy(464,462,print6 );
     outtextxy(521,462,print7 );
     outtextxy(576,462,print8 );
}
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
void   monitor(void)
 {
    /******* Shadow *******/
    setfillstyle(1,8);
    bar(170,285,637,478);
          /******/
    setfillstyle(1,9);
    bar(160,275,635,476);
    outtextxy(555,323,"Stop ='Q' ");
    draw_rectangle(200,299,551,451);
    setfillstyle(1,0);
    bar(201,300,550,450);
  /**** scale y ***/
    line(200, 299,195,299);
    line(200, 323,195, 323);
    line(200, 344,195, 344);
    line(200, 365,195, 365);
    line(200, 386,195, 386);
    line(200, 407,195, 407);
    line(200, 428,195, 428);
    line(200, 449,195, 449);
    outtextxy(180,285,"F" );
    outtextxy(175,299,"350" );
    outtextxy(175,323,"300" );
    outtextxy(175,344,"250" );
    outtextxy(175,365,"200" );
    outtextxy(175,386,"150" );
    outtextxy(175,407,"100" );
    outtextxy(175,428," 50" );
    outtextxy(175,449," 0" );
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
 /***  scale x ***/
   line(200,450,200,460);
   line(249,450,249,460);
   line(299,450,299,460);
   line(349,450,349,460);
   line(399,450,399,460);
   line(449,450,449,460);
   line(499,450,499,460);
   line(551,450,551,460);
   outtextxy(553,450,"Sec" );
}
                    /************** Edit value ********************/
void edit_value(void)
{
   int key;
   int quit=0;
   kw=1.905;kt=1;ki=0.617;ks=0.383;kf=-2.06;kv=1.652;
   zv=0.2;zc=0.524;z=4.93;zt=0.75;
   eshift=95;
   set_arrow();
  do
  {
        setviewport(0,0,getmaxx(),getmaxy(),1);
           /*--------diff_sw-----------*/
        score_sw("Kv= ",55,95,145,113,kv);
        score_sw("Kw= ",55,130,145,145,kw);
        score_sw("Ks= ",55,165,145,180,ks);
        score_sw("Kf= ",55,200,145,215,kf);
        score_sw("Ki= ",55,235,145,250,ki);
        score_sw("Kt= ",55,270,145,285,kt);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
score_sw("Zv= ",55,305,145,320,zv);
score_sw("Zo= ",55,340,145,355,zo);
score_sw("Zt= ",55,375,145,390,zt);
score_sw("Z= ",55,410,145,425,z);
key=readkey();
switch(key)
{
    case 0x4800 :  if(eshift<=95)
                   {
                setcolor(9);
                   outtextxy(5,95," ==>> " );
                   setcolor(15);
                   eshift=410;
                   outtextxy(5,410," ==>> " );
                   break;
                   }
                   else
                   {
                   eshift=eshift-35;
                setcolor(15);
                   outtextxy(5,eshift," ==>> " );
                setcolor(9);
                   outtextxy(5,eshift+35," ==>> " );
                   break;
                   }
  case 0x5000 :  if(eshift>=410)
                   {
                setcolor(9);
                   outtextxy(5,410," ==>> " );
                   setcolor(15);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                    eshift=95;
                    outtextxy(5,95," ==>>" );
                    break;
                   }
                    else
                   {
                    setcolor(9);
                    outtextxy(5,eshift," ==>>" );
                    setcolor(15);
                    eshift=eshift+35;
                    outtextxy(5,eshift," ==>>" );
                    break;
                   }
        case 0x4e2b :
                   if(eshift==95)
                    {
                    kv=kv+0.005;sound(2000);delay(50);nosound();break; /* kv+"c"
*/
                    }
                   if(eshift==130)
                    {
                    kw=kw+0.005;sound(2000);delay(50);nosound();break; /* kw+"r"
*/
                    }
                   if(eshift==165)
                    {
                    ks=ks+0.005;sound(2000);delay(50);nosound();break; /* ks+"t"  */
                    }
                   if(eshift==200)
                    {
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                kf=kf+0.01;sound(2000);delay(50);nosound();break; /* kf+"y"  */
              }
            if(eshift==235)
              {
                ki=ki+0.0005;sound(2000);delay(50);nosound();break; /* ki+"u"  */
              }
            if(eshift==270)
              {
                kt=kt+0.1;sound(2000);delay(50);nosound();break; /* kt+"i"  */
              }
            if(eshift==305)
              {
                zv=zv+0.01;sound(2000);delay(50);nosound();break; /* zv+"o"  */
              }
            if(eshift==340)
              {
                zc=zc+0.005;sound(2000);delay(50);nosound();break; /* zc+"p"  */
              }
            if(eshift==375)
              {
                zt=zt+0.01;sound(2000);delay(50);nosound();break; /* zt+"z"  */
              }
            if(eshift==410)
              {
                z=z+0.02;sound(2000);delay(50);nosound();break; /* z+"o"  */
              }
        case 0x4a2d :
            if(eshift==95)
              {
                kv=kv-0.005;sound(2000);delay(50);nosound(); break; /* kv-"s"  */
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    }
  if(eshift==130)
    {
     kw=kw-0.005;sound(2000);delay(50);nosound(); break; /* kw-"d"
*/

    }
  if(eshift==165)
    {
     ks=ks-0.005;sound(2000);delay(50);nosound(); break; /* ks-"f"  */
    }
  if(eshift==200)
    {
     kf=kf-0.01;sound(2000);delay(50);nosound(); break; /* kf-"g"  */
    }
  if(eshift==235)
    {
     ki=ki-0.0005;sound(2000);delay(50);nosound(); break; /* ki-"h"  */
    }
  if(eshift==270)
    {
     kt=kt-0.1;sound(2000);delay(50);nosound(); break; /* kt-"j"  */
    }
  if(eshift==305)
    {
     zv=zv-0.01;sound(2000);delay(50);nosound(); break; /* zv-"k"  */
    }
  if(eshift==340)
    {
     zo=zo-0.005;sound(2000);delay(50);nosound(); break; /* zo-"l"  */
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                    }
                  if(eshift==375)
                    {
                     zt=zt-0.01;sound(2000);delay(50);nosound(); break; /* zt-"x"  */
                    }
                  if(eshift==410)
                    {
                     z=z-0.02;sound(2000);delay(50);nosound(); break; /* z-"v"  */
                    }
          case  alt_x: o_o_file();
                       exit(0);
                       break;
          case 0x1071 : quit=1; break; /* 'Q' */
        }
    } while (!quit); /* key "Q" to exit */
}
     /*-------------------- Draw picture ----------------*/
void  draw_picture(void)
{
        /******* Fram *********/
     draw_rectangle(400,130,500,250);
     draw_rectangle(401,131,499,249);
     setfillstyle(1,0);
     bar(402,132,498,248);
     setfillstyle(1,4);
     bar(402,140,498,248);
     outtextxy(465,140,"T(t)" );
     outtextxy(480,155,"V" );
       /******** Pipe  ti ********/
     line(301,220,401,220);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
line(301,225,401,225);
setfillstyle(1,5);
bar(301,221,401,224);
 /********* Pipe to *********/
line(500,145,600,145);
line(500,150,600,150);
setfillstyle(1,13);
bar(499,146,600,149);
outtextxy(510,135,"f(t),(ft3)/min" );
/********** Pipe strem *******/
line(301,165,490,165);
line(301,170,485,170);
setfillstyle(1,12);
bar(301,166,490,169);
outtextxy(301,175,"u(t),lb/min" );
outtextxy(355,155,"Ts,F" );
outtextxy(365,120,"1/P" );
outtextxy(295,105,"m(t),%");
setcolor(0);
outtextxy(345,120,"TY" );
outtextxy(345,130,"21" );
setcolor(15);
line(490,165,490,190);
line(485,170,485,185);
setfillstyle(1,12);
bar(486,169,489,189);
line(410,185,485,185);
line(415,190,490,190);
setfillstyle(1,12);
bar(410,186,489,189);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
line(410,185,410,210);
line(415,190,415,205);
setfillstyle(1,12);
bar(411,186,414,206);
line(415,205,490,205);
line(410,210,485,210);
setfillstyle(1,12);
bar(411,206,489,209);
line(490,205,490,230);
line(485,210,485,225);
setfillstyle(1,12);
bar(486,209,489,229);
line(410,225,485,225);
line(415,230,490,230);
setfillstyle(1,12);
bar(410,226,489,229);
line(410,225,410,250);
line(415,230,415,245);
setfillstyle(1,12);
bar(411,227,414,246);
line(415,245,630,245);
line(410,250,630,250);
setfillstyle(1,12);
bar(411,246,630,249);
draw_reotangle(530,230,570,260);
setfillstyle(1,6);
bar(531,231,569,259);
outtextxy(535,240,"Trap");
outtextxy(558,262,"Condensate");
/***************** Controler ************/
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
setfillstyle(1,7);
bar(340,165,350,170);
setfillstyle(1,15);
bar(340,156,350,154);
setcolor(0);
line(340,160,340,175);
line(350,160,350,175);
line(340,160,350,175);
line(350,160,340,175);
line(345,168,345,157);
setcolor(15);
line(345,164,345,50);
line(360,85,420,85);
line(420,85,420,150);
draw_circle(345,130,0,360,15,0);
draw_circle(345,85,0,360,20,0);
draw_circle(420,150,0,360,5,0);
draw_circle(420,110,0,360,15,0);
draw_ellipe(455,90,0,360,15,20,0);
   /******* turbine l *******/
draw_ellipe(445,155,0,360,10,3,0);
draw_ellipe(445,197,0,360,10,3,0);
draw_ellipe(445,237,0,360,10,3,0);
 /******** turbine r *******/
draw_ellipe(465,155,0,360,10,3,0);
draw_ellipe(465,197,0,360,10,3,0);
draw_ellipe(465,237,0,360,10,3,0);
setcolor(0);
outtextxy(337,120,"TY" );
outtextxy(337,130,"21" );
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
      outtextxy(335,70,"TRC" );
      outtextxy(337,90,"21" );
      line(325,85,365,85);
      outtextxy(413,100,"TT" );
      outtextxy(413,115,"21" );
      setcolor(15);
      outtextxy(370,70,"Tot(t),%" );
      setcolor(0);
      line(440,80,470,80);
      line(440,100,470,100);
      setcolor(15);
      setfillstyle(1,1);
      bar(454,110,456,240);
 }
void soan_value(void)
   {   int key,n,quit;
   n=0;
   quit=0;
 do
 {
    setviewport(201,300,550,450,1);
    key=readkey();
     switch(key){
           case left_arrow : if(n==0)
                              {
                               line(0,0,0,150);
                          setviewport(0,0,getmaxx(),getmaxy(),1);
                            /*   print_scantset("Tset=",349,53,465,63,vid[n]);*/
                               print_scanto("To=",509,153,601,165,vod[n]);
                              break;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                }
               else
               {
                 n=n-1;
                 setcolor(0);
                 line(n+1,0,n+1,150);
                 setcolor(15);
                 line(n,0,n,150);
        /*       putpixel(n,vid[n],0);
                 putpixel(n+1,vid[n+1],3);   */
                 putpixel(n,vod[n],0);
                 putpixel(n+1,vod[n+1],13);
             setviewport(0,0,getmaxx(),getmaxy(),1);
        /*       print_scantset("Tset=",349,53,465,63,vid[n]);   */
                 print_scanto("To=",509,153,601,165,vod[n]);
                 }
                 break;
case right_arrow : if(n==349)
                 {
                 line(n,300,n,450);
                 setviewport(0,0,getmaxx(),getmaxy(),1);
             /*    print_scantset("Tset=",349,53,465,63,vid[n]);*/
                 print_scanto("To=",509,153,601,165,vod[n]);
                 break;
                 }
                else
                 {
                  n=n+1 ;
                  setcolor(0);
                  line(n-1,0,n-1,150);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                    setcolor(15);
                    line(n,0,n,150);
                /*  putpixel(n,vid[n],0);
                    putpixel(n-1,vid[n-1],3);  */
                    putpixel(n,vod[n],0);
                    putpixel(n-1,vod[n-1],13);
                setviewport(0,0,getmaxx(),getmaxy(),1);
                /*    print_xcantset("Tset=",349,53,465,63,vid[n]);  */
                    print_xcanto("To=",509,153,601,165,vod[n]);
                    break;
                    }
            case 0x1071 : quit=1;
                    break; /* 'Q' */
            case  alt_x : exit(0);
                    break;    /* EXIT TO PROGRAM */
        }
    } while (!quit); /* key "Q" to exit */
 }
void set_arrow(void)
{
   setcolor(9);
   outtextxy(5,130," ==>>" );
   outtextxy(5,165," ==>>" );
   outtextxy(5,200," ==>>" );
   outtextxy(5,235," ==>>" );
   outtextxy(5,270," ==>>" );
   outtextxy(5,305," ==>>" );
   outtextxy(5,340," ==>>" );
   outtextxy(5,375," ==>>" );
   outtextxy(5,410," ==>>" );
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
   setcolor(15);
   outtextxy(5,95," ==>>" );
}
 void logo(void)
 {
    setfillstyle(1,7);
    bar(0,0,getmaxx(),getmaxy());
    setfillstyle(1,1);
    bar(30,30,605,175);
    setfillstyle(1,0);
    bar(25,25,600,170);
    rectangle(26,26,599,168);
/*************** KING MONGKUT'S ***************/
    settextstyle(GOTHIC_FONT,HORIZ_DIR,10);
    setcolor(4);
    out_text_xy(30,25," KMITL  ");
    setcolor(15);
    settextstyle(DEFAULT_FONT,HORIZ_DIR,1);
 /*****************************/
    setfillstyle(1,1);
    bar(105,195,500,260);
    setfillstyle(1,0);
    bar(100,190,495,255);
    rectangle(101,191,494,253);
    delay(2000);
    setcolor(14);
    out_text_xy(150,200,"      FACULTY    OF    ENGINEER ");
    out_text_xy(150,215," <<<< INSTRUMENT      ENGINEER >>>>");
    out_text_xy(150,230,"              PRESENT  ");
    out_text_xy(150,245,"  COMPUTERIZED  PROCESS  SIMULATER");
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
  /*****************************/
    delay(2000);
    setfillstyle(1,1);
    bar(30,290,605,465);
    setfillstyle(1,0);
    bar(25,285,600,460);
    setcolor(15);
    rectangle(26,286,599,459);
    rectangle(26,286,599,320);
    delay(2000);
    setcolor(14);
    out_text_xy(130,300,"                    BY");
    out_text_xy(130,350,"  Mr.NIRUT        ARRECHOM          36013291");
    out_text_xy(130,380,"  Mr.YUTTHAPONG   TUPPADUNG         36013300");
    out_text_xy(130,410,"  Mr.SANTIPONG    SIRICHAICHAROENKOL  36013311");
    delay(3000);
    getch();
 }
/***************************** open close  file *********************/
 void  o_c_file(void)
{
 /* open file */
    datafile=fopen("old_data.dat","wb");
          old.dkv= kv;
          old.dkw= kw;
          old.dks= ks;
          old.dkf= kf;
          old.dki= ki;
          old.dkt= kt;
          old.dzv= zv;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        old.dzo= zo;
        old.dzt= zt;
        old.dz= z;
    fwrite(&old,sizeof(struct datatype),1,datafile);
}
void  read_file(void)
{
      datafile=fopen("old_data.dat","rb");
      rewind(datafile);
        fread(&old,sizeof(struct datatype),1,datafile);
          kv=old.dkv;
          kw=old.dkw;
          ks=old.dks;
          kf=old.dkf;
          ki=old.dki;
          kt=old.dkt;
          zv=old.dzv;
          zo=old.dzo;
          zt=old.dzt;
           z=old.dz;
/*        printf("*************************************\n");
          printf(" kv=%f\n",old.dkv);
          printf(" kw=%f\n",old.dkw);
          printf(" ks=%f\n",old.dks);
          printf(" kf=%f\n",old.dkf);
          printf(" ki=%f\n",old.dki);
          printf(" kt=%f\n",old.dkt);
          printf(" zv=%f\n",old.dzv);
          printf(" zo=%f\n",old.dzo);
          printf(" zt=%f\n",old.dzt);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
            printf(" z=%f\n",old.dz);
            printf("*****************************************\n");
            printf(" end\n ");  */
}
void file_value(void)
{
    int key;
    int quit=0;
    eshift=95;
    set_arrow();
   do
   {
          setviewport(0,0,getmaxx(),getmaxy(),1);
             /*--------diff_sw----------*/
          score_sw("Kv= ",55,95,145,113,kv);
          score_sw("Kw= ",55,130,145,145,kw);
          score_sw("Ks= ",55,165,145,180,ks);
          score_sw("Kf= ",55,200,145,215,kf);
          score_sw("Ki= ",55,235,145,250,ki);
          score_sw("Kt= ",55,270,145,285,kt);
          score_sw("Zv= ",55,305,145,320,zv);
          score_sw("Zo= ",55,340,145,355,zo);
          score_sw("Zt= ",55,375,145,390,zt);
          score_sw("Z= ",55,410,145,425,z);
          key=readkey();
          switch(key)
          {
              case 0x4800 :  if(eshift<=95)
                             {
                          setcolor(9);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                outtextxy(5,95," ==>>" );
                setcolor(15);
                eshift=410;
                outtextxy(5,410," ==>>" );
                break;
              }
                else
              {
                eshift=eshift-35;
            setcolor(15);
                outtextxy(5,eshift," ==>>" );
            setcolor(9);
                outtextxy(5,eshift+35," ==>>" );
                break;
              }
case 0x5000 :  if(eshift>=410)
              {
            setcolor(9);
                outtextxy(5,410," ==>>" );
                setcolor(15);
                eshift=95;
                outtextxy(5,95," ==>>" );
                break;
              }
                else
              {
                setcolor(9);
                outtextxy(5,eshift," ==>>" );
                setcolor(15);
                eshift=eshift+35;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                    outtextxy(5,eshift," ==>>" );
                    break;
                  }
        case 0x4e2b :
                  if(eshift==95)
                   {
                    kv=kv+0.005;sound(2000);delay(50);nosound();break; /* kv+"e"
*/
                   }
                  if(eshift==130)
                   {
                    kw=kw+0.005;sound(2000);delay(50);nosound();break; /* kw+"r"
*/
                   }
                  if(eshift==165)
                   {
                    ks=ks+0.005;sound(2000);delay(50);nosound();break; /* ks+"t"  */
                   }
                  if(eshift==200)
                   {
                    kf=kf+0.01;sound(2000);delay(50);nosound();break; /* kf+"y"  */
                   }
                  if(eshift==235)
                   {
                    ki=ki+0.0005;sound(2000);delay(50);nosound();break; /* ki+"u"  */
                   }
                  if(eshift==270)
                   {
                    kt=kt+0.1;sound(2000);delay(50);nosound();break; /* kt+"i"  */
                   }
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                if(eshift==305)
                  {
                   zv=zv+0.01;sound(2000);delay(50);nosound();break; /* zv+"o"  */
                  }
                if(eshift==340)
                  {
                   zo=zo+0.005;sound(2000);delay(50);nosound();break; /* zo+"p"  */
                  }
                if(eshift==375)
                  {
                   zt=zt+0.01;sound(2000);delay(50);nosound();break; /* zt+"z"  */
                  }
                if(eshift==410)
                  {
                   z=z+0.02;sound(2000);delay(50);nosound();break; /* z+"o"  */
                  }
        case 0x4a2d :
                if(eshift==95)
                  {
                   kv=kv-0.005;sound(2000);delay(50);nosound(); break; /* kv-"s"  */
                  }
                if(eshift==130)
                  {
                   kw=kw-0.005;sound(2000);delay(50);nosound(); break; /* kw-"d"
*/
                  }
                if(eshift==165)
                  {
                   ks=ks-0.005;sound(2000);delay(50);nosound(); break; /* ks-"f"  */
                  }
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                if(eshift==200)
                  {
                   kf=kf-0.01;sound(2000);delay(50);nosound(); break; /* kf-"g"  */
                  }
                if(eshift==235)
                  {
                   ki=ki-0.0005;sound(2000);delay(50);nosound(); break; /* ki-"h"  */
                  }
                if(eshift==270)
                  {
                   kt=kt-0.1;sound(2000);delay(50);nosound(); break; /* kt-"j"  */
                  }
                if(eshift==305)
                  {
                   zv=zv-0.01;sound(2000);delay(50);nosound(); break; /* zv-"k"  */
                  }
                if(eshift==340)
                  {
                   zo=zo-0.005;sound(2000);delay(50);nosound(); break; /* zo-"l"  */
                  }
                if(eshift==375)
                  {
                   zt=zt-0.01;sound(2000);delay(50);nosound(); break; /* zt-"x"  */
                  }
                if(eshift==410)
                  {
                   z=z-0.02;sound(2000);delay(50);nosound(); break; /* z-"v"  */
                  }
        case  alt_x: o_o_file();
                     exit(0);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                    break;
            case 0x1071 : quit=1; break; /* 'Q' */
        }
    } while (!quit); /* key "Q" to exit */
}
/************************    end    **********************/
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ จะสำเร็จมิได้ถ้าขาดบุคคลที่ให้ความช่วยเหลือหลาย ๆ ท่าน ผู้จัดทำขอขอบคุณ อาจารย์วิริยะ กองรัตน์ซึ่งให้ความช่วยเหลือมาโดยตลอด เริ่มจากให้คำแนะนำ คำปรึกษา รวมไปถึงร่วมทดลองและช่วยชี้แจงข้อบกพร่อง อีกทั้งผู้จัดทำขอขอบคุณ คุณสมพงษ์ วรรณศิริ ที่ให้คำแนะนำเกี่ยวกับอุปกรณ์เชื่อมต่อสัญญาณ และที่จะลืมเสียมิได้ ขอขอบคุณเพื่อน ๆ ทุกคนที่ให้กำลังใจมาโดยตลอด รวมไปถึงกาแฟทุกแก้ว ข้าวทุกถุง และมาม่าทุกห่อ ขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้ด้วย

คณะผู้จัดทำ

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หนังสืออ้างอิง

[1] Carlos A. Smith, Armando B. Corripio, PRINCIPLE ANDPRACTICE OF AUTOMATIC PROCESS CONTROL, JOHN WILEY & SONS, INC 1985

[2] Steven C. Chapra, Raymond P.Canale, NUMERICAL METHODS FOR ENGINEERS, MC.GRAW-HILL, INC 1988

[3] ผศ.กิตติ ตรีเศรษฐ์,การควบคุมระบบควบคุมเชิงเส้น เล่ม 1, พิมพ์ครั้งที่ 5 เมษายน 2537

[4]มนตรี พจนารถลาวัณย์, การเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ด้วยเทอร์โบซี, บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด

[5]ธันวา ศรีประโมง , การเขียนโปรแกรมภาษาซี สำหรับวิศวกรรม, โครงการตำราวิชาการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร , พิมพ์ครั้งที่สาม 2537

[6] สมพัฒน์ รุ่งตะวันเรืองศรี, เรียนรู้ คอมพิวเตอร์กราฟิกส์ 2 มิติด้วยภาษาซี, บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้