



การควบคุมแบบปรับตัวเอง  
SELF-TUNING CONTROL

กฤติกา มหัทธนากุล  
KRITTIKA MAHATTANAKUL  
ศุภกิจ ศุภสวัสดิ์กุล  
SUBHAKIJ SUBHASWADIKUL

ปริญญาโทสำหรับปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชา วิศวกรรมระบบควบคุม  
คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2532

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ภาควิชา วิศวกรรมระบบควบคุม

เรื่อง การควบคุมแบบปรับตัวเอง

จัดทำโดย...

1. นาย กฤติกา มหัทธนกุล 291011

2. นาย ศุภกิจ ศุภสวัสดิ์กุล 291213

..... อาจารย์ที่ปรึกษา  
( อ.พรสุข เทศเจริญ )



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

026920

## เรื่อง การควบคุมแบบปรับตัวเอง

นาย กฤติกา มหัทธนกุล

นาย สุภกิจ สุภสวัสดิ์กุล

อ.พรสุข เทศจรรย์ ...อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2532

### บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์นี้นำเสนอเรื่อง การนำโปรแกรมการควบคุมแบบปรับตัวเองมาควบคุมระบบภายนอก โดยตัวควบคุมที่ใช้สามารถปรับค่าควบคุมการ เปลี่ยนแปลงของพารามิเตอร์ของระบบ ด้วยการใช้การประมาณค่าแบบสี่สแควร์ (least-square estimation) เพื่อตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงของพารามิเตอร์ แล้วจึงหาค่าควบคุมด้วยทฤษฎีทางพีชคณิต และค่าควบคุมที่ได้นี้จะนำสมรรถนะของระบบกลับคืนสู่ค่าที่ค้องการ ซึ่งในที่นี้ระบบที่อ้างจะเป็นระบบจำลองทางอีเลคทรอนิกส์ (electronic process simulator) โดยมีการติดต่อกันระหว่างตัวควบคุมกับระบบผ่านทางตัวแปลงสัญญาณแอนาล็อก เป็นดิจิทัล และดิจิทัลเป็นอนาล็อก (A/D D/A converter) ด้วยโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์



## สารบัญ

บทที่ 1 : บทนำ

บทที่ 2 : ทฤษฎีการควบคุมแบบปรับตัวเอง

2.1 โมเดลของระบบ

2.2 โมเดลของระบบเวลาไม่ต่อเนื่อง

2.3 เสถียรภาพของระบบเวลาไม่ต่อเนื่อง

2.4 การควบคุมปิดลูปของระบบเวลาไม่ต่อเนื่อง ด้วยการกำหนดโพล และ ซีโร

2.5 เสถียรภาพของระบบปิดลูป

2.6 การหาค่าของเร็คกูเลเตอร์

2.7 ทฤษฎีการประมาณค่า

บทที่ 3 : การคำนวณ

บทที่ 4 : การทดลอง

บทที่ 5 : บทสรุป

ภาคผนวก :

ผ.1 โปรแกรม

ผ.2 เงื่อนไขกำลังของเร็คกูเลเตอร์

ผ.3 อัลกอริทึมการคำนวณ

ผ.4 รายละเอียดและข้อกำหนดของ A/D , D/A CONVERTER

กิตติกรรมประกาศ

บรรณานุกรม

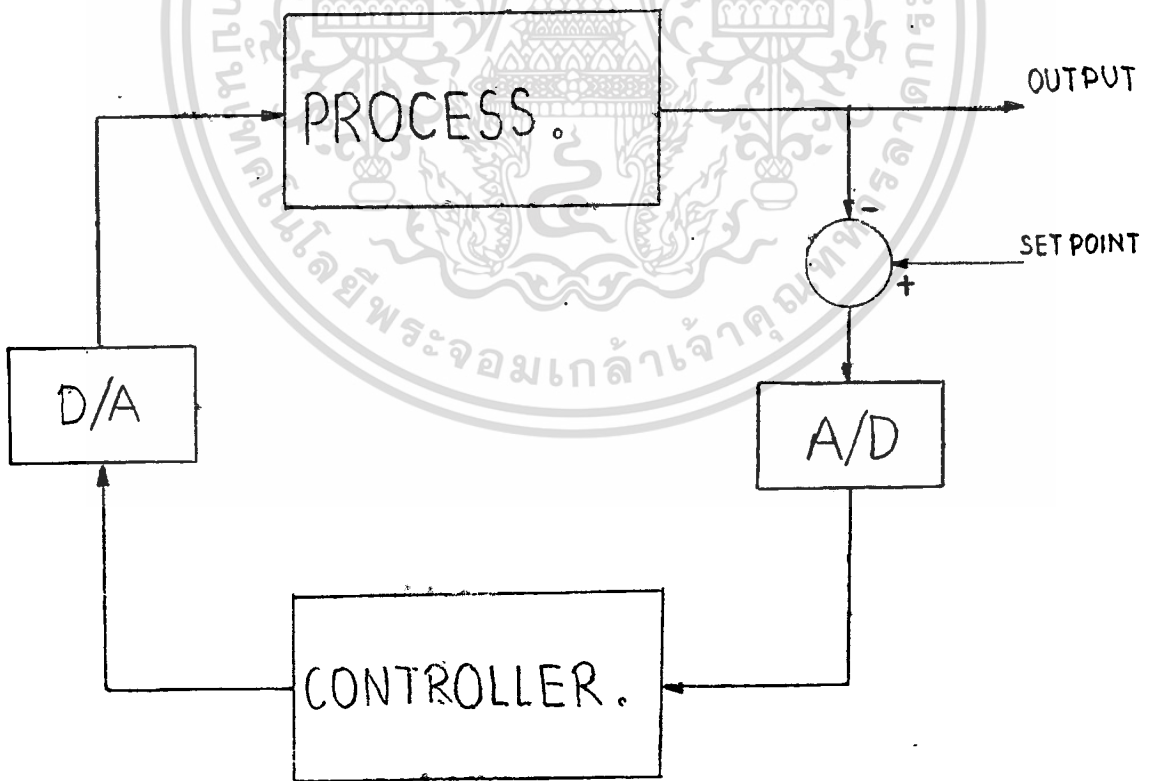
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

026920

## บทที่ 1 : บทนำ

การนำโปรแกรมการควบคุมแบบปรับตัวเองมาใช้ควบคุมระบบภายนอก ในที่นี้ระบบของเราจะหมายถึงระบบจำลองทางอิเล็กทรอนิกส์ (electronic process simulator) ซึ่งสามารถนำสัญญาณอินพุตจากตัวควบคุมภายนอกเข้าสู่วงจรภายใน แล้วให้สัญญาณเอาต์พุตออกสู่ภายนอกเพื่อป้อนกลับให้ตัวควบคุม โดยเราสามารถจะควบคุมคุณสมบัติของระบบจำลองนี้ได้จากภายนอกด้วยการปรับค่าเกน (gain)

สำหรับตัวควบคุม (controller) ที่ใช้จะเป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่เขียนขึ้นด้วยภาษาปาสคาลโดยจะกล่าวถึงในบทต่อไป ดังนั้นการติดต่อระหว่างระบบกับตัวควบคุมจึงต้องใช้ตัวแปลงสัญญาณมาช่วย โดยใช้ตัวแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัลเพื่อแปลงสัญญาณที่รับจากระบบแล้วส่งให้กับตัวควบคุม และใช้ตัวแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นอนาลอกเพื่อแปลงสัญญาณที่รับสัญญาณจากตัวควบคุมแล้วส่งให้กับระบบโดยรายละเอียดทั้งหมดสามารถอธิบายได้ความรูปร่างข้างล่างนี้



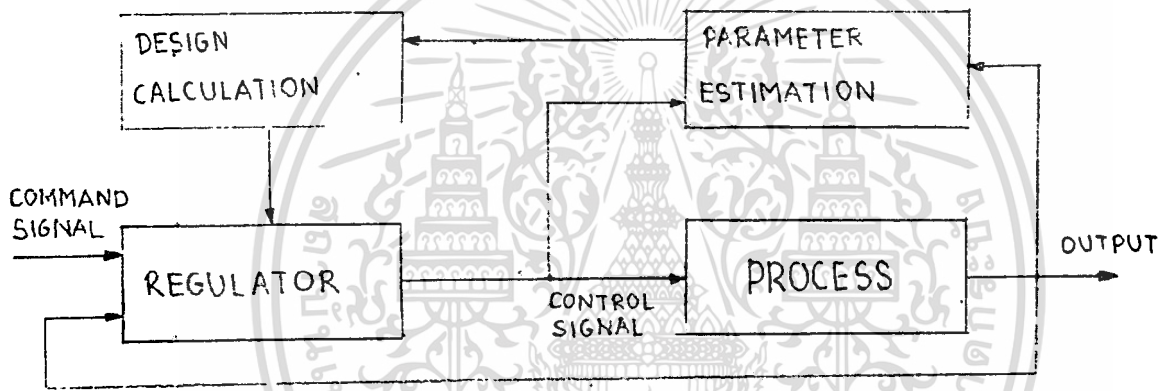
รูปที่ 1 - บล็อกไดอะแกรมของวงจรงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2 : ทฤษฎีของการควบคุมแบบปรับตัวเอง

แม้ว่าการควบคุมแบบ PID จะมีสมรรถนะในการควบคุมสูงอยู่แล้วแต่ก็จะต้องเสียเวลาและค่าใช้จ่ายในการปรับสำหรับตอนเริ่มทำงานถ้าระบบมีพลวัตช้า และมักจะมีสมรรถนะค่อยลง เนื่องจากพารามิเตอร์เปลี่ยนแปลง ดังนั้นจึงได้มีการพัฒนาการควบคุมแบบปรับตัวเองขึ้นมา

วิธีการปรับนั้นมีหลายวิธีแต่วิธีที่ง่ายที่สุดคือ การควบคุมแบบปรับตัวเอง (SELF-TUNING CONTROL) ซึ่งจะเอาอินพุตและเอาท์พุทของระบบไปตรวจสอบหาค่าพารามิเตอร์ของระบบที่เปลี่ยนแปลงไป แล้วนำไปคำนวณค่าควบคุมที่ยังคงรักษา ระบบให้มีสมรรถนะคงเดิม โดยมีโครงสร้างดังรูป



รูปที่ 2 การควบคุมแบบปรับตัว

การทำงานตามโครงสร้างนี้จะเรียกว่า อัลกอริทึมแบบชัดแจ้ง (explicit Algorithm) และถ้าลดขั้นตอนการทำงานให้น้อยลงกว่านี้โดยย่นตัวประมาณค่าไปรวมกับอัลกอริทึมการหาค่าตัวควบคุม จะเรียกว่า อัลกอริทึมแบบแฝง (Implicit Algorithm)

ในบทนี้ได้ยกเรื่องโมเดลของระบบมาไว้เป็นหัวข้อแรก ตามมาด้วยการศึกษาระบบทางเวลาไม่ต่อเนื่อง และเสถียรภาพ แล้วจึงเริ่มกล่าวถึงการควบคุมแบบมีคูลูปอย่างจริงจัง โดยกล่าวถึงแนวทางการควบคุมที่จะทำให้เสถียรภาพของการควบคุมมีคูลูปดีที่สุด แล้วจึงนำทฤษฎีทางพีชคณิตมาใช้หาค่าควบคุม

หลังจากที่ได้กล่าวถึงการควบคุมที่ถูกสมมุติว่าทราบค่าของพารามิเตอร์ของระบบแล้ว จึงมาพูดถึงเรื่องของตัวประมาณค่า โดยตัวประมาณค่าจะเป็นแบบเรคทีวีสแควร์-ลีสสแควร์ (recursive-least square) หลังจากนั้นก็นำแต่ละส่วนมาประกอบกันตามโครงสร้างในหน้าที่ และก็ศึกษาถึงผลของการควบคุมแบบปรับตัวเอง

## 2.1 วมเคิลของระบบ

เมื่อเราต้องการที่จะศึกษาระบบในทางปฏิบัติว่ามีคุณสมบัติอย่างไร ก่อนอื่นจะต้องหาวมเคิลของระบบนั้นขึ้นมาเสียก่อน แล้วจึงทำการควบคุมระบบนั้น ในขั้นแรกเราอาจแบ่งวมเคิลของระบบตามแบบทฤษฎีการควบคุมได้ 2 แบบดังนี้

1) วมเคิลปริภูมิสถานะ (State-space model) หรือวมเคิลภายใน (internal model) เป็นวมเคิลที่แสดงความสัมพันธ์ของแต่ละตัวแปรในระบบในรูปของเมตริกซ์

$$\dot{X} = AX + BY$$

$$Y = CX + DU$$

2) วมเคิลอินพุต-เอาต์พุต (Input-output model) หรือวมเคิลภายนอก (external model) เป็นวมเคิลที่แสดงความสัมพันธ์ของแต่ละตัวแปรในระบบในรูปของฟังก์ชันถ่ายโอน (Transfer Function)

$$\frac{Y(s)}{U(s)} = B(s) = \frac{b_0 + b_1s + b_2s^2 + \dots + b_ns^n}{a_0 + a_1s + a_2s^2 + \dots + a_ns^n}$$

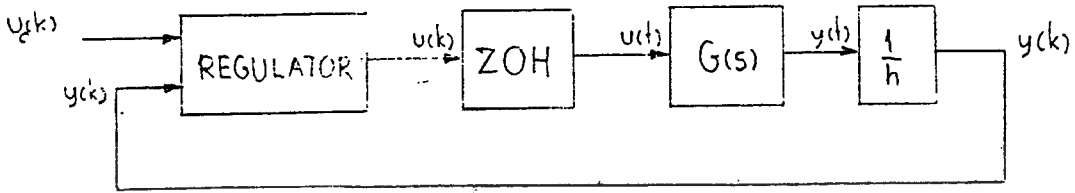
นอกจากจะแบ่งวมเคิลตามชนิดของทฤษฎีการควบคุมแล้ว ยังแบ่งวมเคิลตามการใช้งานได้อีก 2 แบบคือ

1) วมเคิลแบบเร็กกูเลเตอร์ (regulator) ใช้แทนระบบที่มีสัญญาณรบกวนมาก และจุดมุ่งหมายของการควบคุมก็คือ รักษาให้เอาต์พุตคงที่ตลอดเวลา ดังนั้นวมเคิลแบบนี้ต้องมีเทอมของสัญญาณรบกวน (noise) และภาระ (load) รวมอยู่ด้วย

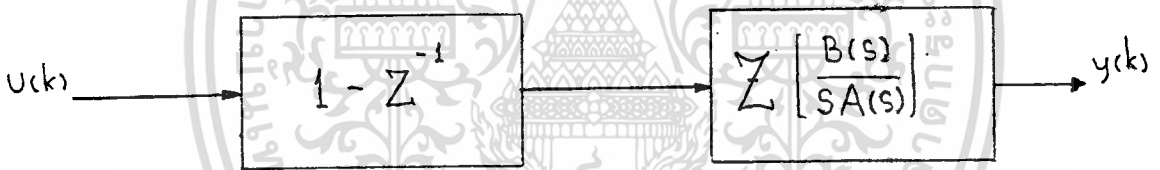
2) วมเคิลแบบเซอร์โว (servo) ใช้แทนระบบที่ต้องการควบคุมสัญญาณเอาต์พุตให้เปลี่ยนแปลงตามอินพุต วัตถุประสงค์ว่าสัญญาณอินพุตเป็นสัญญาณที่ต้องการ และไม่มีสัญญาณรบกวนเข้ามา เป็นสัญญาณที่ต้องการ ดังนั้นจึงจะไม่คิดสัญญาณรบกวน

## 2.2 รูปแบบของระบบเวลาไม่ต่อเนื่อง (Discrete Time Control)

เนื่องจากการควบคุมแบบปรับตัวเองต้องใช้คอมพิวเตอร์ในการควบคุม ดังนั้นจึงต้องแปลงระบบจากแบบเวลาต่อเนื่องให้เป็นเวลาไม่ต่อเนื่อง - และมีโครงสร้างการควบคุมดังรูป



รูปที่ 3 การควบคุมระบบเวลาต่อเนื่องด้วยการควบคุมแบบเวลาไม่ต่อเนื่อง จะเห็นว่ายังมีเหลือส่วนที่เป็นระนาบ S อยู่ที่เดียวคือ  $G(s)$  ดังนั้นจึงต้องทำการแปลงชุดนี้ แล้วคูณจากรูปมาตรฐาน  $B(s)/A(s)$  เมื่อนำมารวมกับ ZOH แล้วแปลงให้อยู่ในระนาบ Z จะมีรูปมาตรฐานดังนี้



รูปที่ 4 การแปลงระบบเวลาต่อเนื่องมาเป็นระบบมาตรฐานแบบเวลาไม่ต่อเนื่อง

## 2.3 เสถียรภาพของระบบเวลาไม่ต่อเนื่อง

สิ่งสำคัญที่สุดในการควบคุมเวลาแบบไม่ต่อเนื่องก็คือ ค่าแห่งของโพลและซีร์ของ  $G^*(z)$  ในระนาบ  $Z$  วัตถุประสงค์สำหรับแต่ละโพลในระนาบ  $S$  จะมีการถ่ายเท (map) ไปเป็นโพลในระนาบ  $Z$  เพียงตัวเดียว (uniqueness) ด้วย  $z = e^{sh}$  หรือโพลที่เสถียร (อยู่ในระนาบ  $S$  ทางครึ่งซ้าย) จะถ่ายเทลงในโพลในวงกลมหนึ่งหน่วย ดังนั้นจะสรุปได้ว่า ระบบทางเวลาต่อเนื่องที่มีโพลเสถียร เมื่อแปลงมาเป็นระบบเวลาไม่ต่อเนื่องแล้วยังคงมีโพลที่เสถียรอยู่ แต่ซีร์จะไม่เป็นเช่นนั้น

ถ้าในระบบไม่มีดีเลย์เศษ (fractional delay) และถ้ากำลังของ  $B(s)$  เท่ากับกำลังของ  $B^*(z^{-1})$  แล้วซีร์ของ  $B^*$  จะอยู่ที่

$$z_i = 1 + hP_i + (h)^2 \quad ; \quad \text{โดย } P_i \text{ เป็นรากที่ } i \text{ ของ } B(s) \text{ และ } (h)^2 \\ = 1 + hP_i \quad \text{เป็นฟังก์ชันประมาณที่มีค่าเข้าใกล้ } 0 \text{ เมื่อ} \\ h \ll 0 \text{ และฟังก์ชันนี้ขึ้นกับ } h^2$$

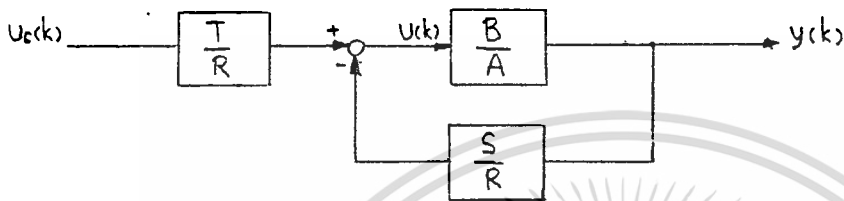
กรณีแสดงว่าระบบที่มีเฟสค่าสุด (minimum phase) หรือที่มี  $P_i < 0$  และถ้ากำลังของ  $B^*$  เท่ากับกำลังของ  $B$  จะมีซีร์ในระบบเวลาไม่ต่อเนื่องอยู่ในเขตเสถียร อย่างไรก็ตามในระบบที่มีการแปลง  $Z$  จะทำให้กำลังของ  $B^* = n-1$  ดังนั้นกรณีจึงใช้ได้กับระบบที่มีโพลมากกว่าซีร์อยู่หนึ่งตัวในระนาบ  $S$  ซึ่งมีระบบในทางปฏิบัติ น้อยมากที่มีเฟสล้าหลังเพียง 90 องศา และโพลในระนาบ  $S$  ที่เกินมานี้จะทำให้เกิดซีร์ในระนาบ  $Z$  วัตถุประสงค์แห่งของซีร์ตัวนี้จะทำให้เกิดปัญหาในอัลกอริทึมการปรับ ตัว เพราะอาจจะอยู่นอกเขตเสถียรก็ได้

ถ้า  $G(s)$  มีโพลมากกว่าซีร์  $p$  ตัว  $G^*(z^{-1})$  จะลู่เข้าสู่  $G^*(z^{-1})$  ที่ทำได้ จาก  $G(s) = s^{-1}$  เช่นมีโพลมากกว่าซีร์ 1, 2 และ 3 ตัวตามลำดับ จะได้เศษของ  $G^*(z^{-1})$  เป็น  $B^* = 1, B^* = 1-z^{-1}, B^* = 1+4z^{-1}+z^{-2}$  ซึ่งจะเห็นว่าจะมีซีร์ที่มีเสถียรที่  $-1$  สำหรับโพลมากกว่าซีร์ 2 ตัว และที่  $-3.73$  สำหรับโพลมากกว่าซีร์ 3 ตัว และเมื่อ  $z$  มากขึ้น ขนาดและจำนวนของซีร์จะเพิ่มมากขึ้นด้วย ดังนั้นจะพบว่าซีร์ที่ไม่เสถียรอาจจะเกิดขึ้นในระบบเดิมที่เคยเสถียรได้ถ้า อัตราการสุ่มตัวอย่างสูงพอ

## 2.4 การควบคุมปิดลูปของระบบทางเวลาไม่ต่อเนื่องด้วยการกำหนดคโพล

เมื่อต้องการควบคุมระบบอย่างสมบูรณ์ ตัวควบคุมจะต้องมีทั้งการป้อนกลับ และการป้อนตรง(feedback and feedforward) ดังนั้นจึงกำหนดค่าให้มีการป้อนกลับด้วยฟังก์ชันถ่ายโอน  $S(z^{-1})/R(z^{-1})$  และป้อนตรงด้วยฟังก์ชันถ่ายโอน  $T(z^{-1})/R(z^{-1})$

ตัวควบคุมนี้เราอาจจะเรียกว่าเร็กกูเลเตอร์(regulator)มีโครงสร้างดังนี้



รูปที่ 5 บล็อกไดอะแกรมของเร็กกูเลเตอร์

$$R(z^{-1})U(k) = T(z^{-1})U_c(k) - S(z^{-1})Y(k) \quad 2.4.1$$

โดย  $U$  เป็นสัญญาณควบคุม(control signal) และ  $U_c$  เป็นสัญญาณคำสั่ง(command signal) หรือสัญญาณอ้างอิงในระบบแบบเร็กกูเลเตอร์ ระบบปิดลูปมีความสัมพันธ์ดังนี้;

$$G(z^{-1}) = Y(k)/U(k) = B(z^{-1})/A(z^{-1}) \quad 2.4.2$$

ดังนั้นเมื่อทำการควบคุมปิดลูปจะได้

$$\begin{aligned} G_m(z^{-1}) &= Y(k)/U_c(k) = B_m(z^{-1})/A_m(z^{-1}) \\ &= TB/(AR+BS) \end{aligned} \quad 2.4.3$$

$G$  เป็นทรานสเฟอร์ฟังก์ชันของระบบที่ต้องการควบคุม  $G_m$  เป็นทรานสเฟอร์ฟังก์ชันที่ให้สมรรถนะตามต้องการ จากสมการที่ 2.4.3 จะเห็นว่าโดยทั่วไปแล้วกำลังของ  $A_m$  มักจะน้อยกว่ากำลังของ  $AR+BS$  ดังนั้นแสดงว่าจะต้องมีองค์ประกอบบางตัวที่หักล้างกันได้ และจากทฤษฎีทางปริภูมิสเทจจะเห็นว่าเร็กกูเลเตอร์ตามสมการที่ 2.4.1 มีความสัมพันธ์กับการรวมกันของตัวสังเกต(observer)และตัวป้อนกลับสเทจ(state feedback) แต่จะไม่มีความสัมพันธ์กับ  $U_c$  ดังนั้นในทรานสเฟอร์ฟังก์ชันของระบบปิดลูป จะไม่มีโพลในเมฆลของตัวสังเกต  $A_o$  เพราะ  $A_o$  อยู่ในเร็กกูเลเตอร์แต่เมื่อมาเกี่ยวข้องกับ  $U_c$  ก็จะหักล้างกันไป สมการจึงเปลี่ยน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นทรานสเฟอร์ฟังก์ชันของระบบปิดลูปที่สมบรูณ์ดังนี้;

$$TB/AR+BS = BmAo/AmAo$$

2.4.2



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.5 เสถียรภาพของระบบปิดลูป

เมื่อพิจารณาผลของ  $U_c$  ต่อ  $Y$  แล้ว มาพิจารณาผลของ  $U_c$  ต่อ  $U$  บ้าง จากสมการที่ 2.4.2 และ 2.4.3 จะได้

$$U(k)/U_c(k) = A(z^{-1})B_m(z^{-1})/B(z^{-1})A_m(z^{-1}) \quad 2.5.1$$

จะเห็นว่าในกรณีที่  $B, A_m$  อยู่นอกเขตเสถียรในระนาบ  $Z$  จะทำให้  $U$  เกิดการกระเพื่อมหรือไม่เสถียรก็ได้ และเนื่องจาก  $A_m$  เป็นโพลของระบบปิดลูปที่เราต้องการ ดังนั้นมันจะต้องเสถียรอย่างแน่นอน จึงเหลือ  $B$  ซึ่งเป็นซีโรของระบบเปิดลูปที่กลายเป็นตัวสำคัญในการกำหนดลักษณะของสัญญาณควบคุม ซึ่งถ้า  $B$  เสถียร  $U$  ก็จะไม่เสถียรด้วย แต่ถ้า  $B$  มีองค์ประกอบที่ไม่เสถียรจะต้องหาทางกำจัดไม่ให้ตัวที่ไม่เสถียรมีผล โดยแยก  $B$  เป็นองค์ประกอบ

$$B = B^+ \cdot B^- \quad \text{โดย } B^+ \text{ เป็นองค์ประกอบที่เสถียร}$$

$$\text{และ } B^- \text{ เป็นองค์ประกอบที่ไม่เสถียร}$$

การกำจัดเทอมที่ไม่เสถียรนั้นเกิดขึ้นจากการหักล้างระหว่าง  $B$  กับ  $B_m$  โดย การหักล้างเกิดขึ้นได้ 3 วิธีดังนี้

1. หักล้างซีโรทุกตัวของ  $B$  (หักล้างทั้งตัวที่เสถียร และตัวที่ไม่เสถียร) จากสมการที่ 2.4.5 โดย  $R$  ต้องแบ่งเป็น

$$R = R_1 \cdot B$$

และจะทำให้เทอมของ  $B$  ในเศษและส่วนทางค่านซ้ายของสมการหักล้างกัน จะได้

$$TB/B(AR_1+S) = B_m/A_m \gggggg T/AR_1+S = B_m/A_m$$

จึงเห็นว่า  $B_m$  ไม่มีเทอมของ  $B$  อยู่ ดังนั้นเมื่อเขียนอยู่ในรูปของ  $U$  กับ  $U_c$  จะได้

$$U(k)/U_c(k) = A \cdot B_m / B \cdot A_m$$

ซึ่งเห็นได้ว่า  $B_m$  ไม่หักล้าง  $B$  ทำให้  $B$  ที่มีเทอมที่ไม่เสถียรบนอยู่มีผลทำให้  $U$  ไม่เสถียรตาม

2. หักล้างเฉพาะซีโรที่ไม่เสถียร  $B^-$

$$R \text{ แบ่งเป็น } R_2 \cdot B \text{ จะได้}$$

$$TB^+B^-/B^-(AR_2+B^+S) = B_m/A_m \gggggg TB^+ / AR_2+S = B_m/A_m$$

ดังนั้น  $B_m$  ต้องมีเทอมของ  $B^+$  ด้วย จะได้ว่า  $B_m = B^+ \cdot B_{m2}$  และ

$$(A/B^-B^+) \cdot (B^+B_{m2}/A_m) \gggggg A \cdot B_{m2}/B^-A_m$$

จะเห็นว่าถ้าหักล้างซีโรที่ไม่เสถียร ซีโรที่ไม่เสถียรนั้นยังคงมีผลต่อ  $U$  อยู่

3. ทักลางเฉพาะซีร์ที่เสถียร  $B^+$

$R$  แบ่งเป็น  $R_3$  .  $B^+$  จะได้

$$TB^+B^-/B^+(AR_3+B^-S) = B_m/Am \ggggg TB/AR_3+B^-S = B_m/Am$$

ดังนั้น  $B_m$  ต้องมีเทอมของ  $B^-$  อยู่ด้วย ภัย  $B_m = B^- \cdot B_m3$  เป็นผลให้ได้ว่า

$$(A/B^-B^+) \cdot (B^-B_m3/Am) = A \cdot B_m2/B^+Am$$

จะเห็นว่าตัว  $B_m$  มีส่วนของ  $B$  ที่ไม่เสถียร จะทำให้เกิดอาการแกว่งงาน  $U$  หายไป แต่จะเกิดผลของซีร์ที่ไม่เสถียรในระบบปิดลูป ซึ่งจะมีผลน้อยกว่ากรณีที่  $B^-$  เป็นผลลัพธ์

อาจสรุปได้ว่า เพื่อรักษาเสถียรภาพของสัญญาณควบคุม  $U$  จะต้องหักลางซีร์ที่เสถียรของระบบเปิดลูปด้วยการทำให้ซีร์ของระบบปิดลูปมีเทอมที่ไม่เสถียรซึ่งจะเห็นอีกว่า การแกว่งของ  $U$  ขึ้นกับการกำหนดซีร์ของระบบปิดลูปว่าเป็นอย่างไร ดังนั้นจะเห็นว่าเราได้กำหนดขอบเขตของค่าของ เร็กกูเลเตอร์ให้แคบลงแล้ว และต่อไปจะได้กล่าวถึงการหาค่าของ เร็กกูเลเตอร์อย่างละเอียดมากยิ่งขึ้นในหัวข้อ 2.6

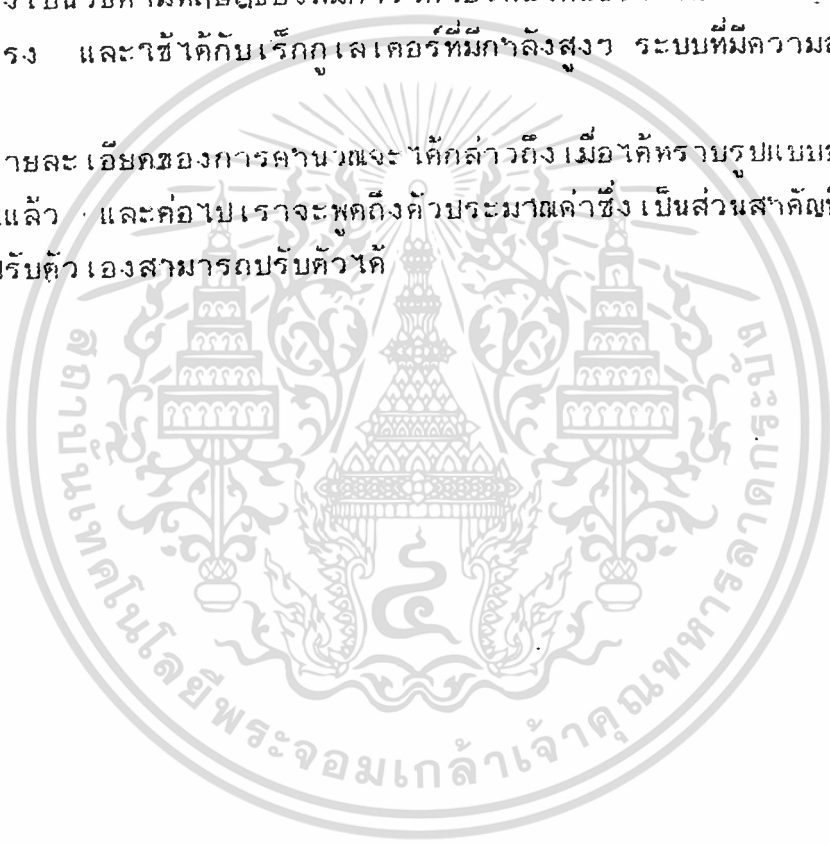




มีหลายวิธีที่จะแก้สมการ 2.6.1 วิธีที่ 1 เป็นวิธีเทียบสัมประสิทธิ์ ิทยเอาสมการ 2.6.1 เป็นเงื่อนไขกำลังของพหุนาม 5 เพื่อให้ทราบว่ากำลังของพหุนามมีผลแต่ละตัวเป็นอย่างไร เมื่อทราบว่าพหุนามมีกำลังเท่าใดแล้วก็ทดลองไป แล้วเทียบสัมประสิทธิ์แก้สมการออกมาโดยค่าที่ได้จะเป็นค่า R, S เพียงค่าเดียวที่ตรงความค่ากำหนดของการ เป็นตัวบ่งกลับ ซึ่งเหมาะสมที่จะใช้สำหรับพหุนามที่มีกำลังค่า เพราะเมื่อใช้กับพหุนามมีกำลังสูง จะทำให้แก้สมการหาค่า R, S ได้ยาก ซึ่งอาจต้องอาศัยกฎของแครเมอร์(kramer's rule) เข้าช่วย

อีกวิธีหนึ่ง เป็นวิธีตามทฤษฎีของสมการตรีโกณมิติซึ่งจะเป็นวิธีที่ใช้ทฤษฎีทางพีชคณิตตรีโกณมิติ และใช้ได้กับเร็กกูเลเตอร์ที่มีกำลังสูง ระบบที่มีความละเอียดสูงว่าคืออย่างนี้

สำหรับรายละเอียดของการคำนวณจะได้กล่าวถึง เมื่อได้ทราบรูปแบบของรูปเคลื่อนที่แน่นอนแล้ว และต่อไปเราจะพูดถึงตัวประมวลผลซึ่งเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้การควบคุมแบบปรับตัวเองสามารถปรับค่าได้



## ๒.๗ ทฤษฎีการประมาณค่า

ในที่นี้เราจะใช้การประมาณค่าแบบเรีคคิวซีฟ ลีสสแควร์ (recursive least-square) การเลือกโครีทีเรียน (criterion) ของเรีคคิวซีฟ ลีสสแควร์ คือการจัดโมเดลให้กำลังสองของความผิดพลาดระหว่างโมเดลของเอาท์พุทและจากค่าที่เราสังเกตมามีค่าน้อยที่สุด พิจารณาโมเดลที่เป็นพารามิเตอร์เชิงเส้นดังนี้

$$\phi(t) = \theta_1 x_1(t) + \theta_2 x_2(t) + \dots + \theta_n x_n(t)$$

หรือให้ 
$$\phi(t) = x(t) \cdot \theta + e(t) \quad 2.7.1$$

ซึ่ง  $\theta$  คือ ค่าเวกเตอร์จำนวน  $n$  ค่าของพารามิเตอร์ที่ไม่ทราบค่า

$x(t)$  คือ เวกเตอร์ของข้อมูลที่ทราบค่า

$e(t)$  คือ ความผิดพลาดทางด้านสถิติไม่ขึ้นกับค่า  $x_i(t)$

$\phi(t)$  คือ ค่าเอาท์พุทของการสังเกต

สมมติว่าเรามีการสังเกตเข้ามา  $N$  ค่า โดยที่  $N > n$  จากสมการที่ 2.7.1 จะได้ว่า

$$\phi_N = X_N \cdot \theta + e_N \quad 2.7.2$$

โดยที่  $\phi_N, e_N$  มีขนาดจำนวน  $N$  เวกเตอร์

และ  $X_N$  คือ เมทริกซ์ขนาด  $N * n$  มิติ

การประมาณค่าของ  $\theta$  คือ การทำให้ค่าของฟังก์ชัน (lost function)

$L = \sum_{t=1}^N e^2(t)$  มีค่าน้อยที่สุด โดย  $e(t)$  เป็นโมเดลของความผิดพลาด

$\phi(t) - x(t) \cdot \theta$  ซึ่งจะแปรค่าตาม  $\theta$  เราจะสามารถแสดงสมการลีสสแควร์ได้ว่า

$$\theta^{\sim} = (X_N^t \cdot X_N)^{-1} \cdot X_N^t \cdot \phi_N \quad 2.7.3$$

ดังนั้นจากสมการที่ 2.7.2 จะได้

$$\begin{aligned} \theta^{\sim} &= (X_N^t \cdot X_N)^{-1} \cdot X_N^t \cdot (X_N \theta + e_N) \\ &= \theta^{\sim} + (X_N^t \cdot X_N)^{-1} \cdot X_N^t \cdot e_N \end{aligned} \quad 2.7.4$$

แต่ค่าของ  $x_i(t)$  และ  $e(t)$  จะไม่ขึ้นต่อกัน ดังนั้นค่าคาดหวังของ  $\theta^{\sim}$  จะขึ้นอยู่กับค่าความคาดหวังของ  $e_N$  ถ้าเราสมมติให้ค่าเท่ากับ 1 ได้ และค่าเฉลี่ย

ของ  $e$  จะถูกประมาณค่าได้เป็น  $E\{\theta^{\sim}\}$  ก็คือ  $\theta$  เป็นค่าที่แท้จริงของเวกเตอร์พารา

มิเตอร์ในกรณีเช่นนี้เราจึงเรียกว่าเป็นการประมาณแบบไม่มีไบแอส (bias) แม้ว่ากรณีใดๆทั้งนั้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ยิ่งกว่านั้นในกรณีที่  $e(t)$  คือ สัญญาณรบกวนขาว (white noise) ซึ่งการประมาณแบบลิสสแควร์สามารถแสดงได้ว่าค่าของความแปรปรวนมีค่าน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับการประมาณค่าแบบไม่มีไบแอสชนิดอื่น และความแม่นยำจะขึ้นกับโควาเรียนซ์เมตริกซ์ (covariance matrix) ด้วย

$$E \{ (e^{\sim} - e) \cdot (e^{\sim} - e)^{-1} \} = \rho^2 (X_N^T X_N)^{-1} \quad 2.7.5$$

$\rho^2$  คือ ความแปรปรวนของ  $e(t)$

จากสมการที่แสดงมานี้จะเหมาะกับขบวนการแบบแบทช์ ซึ่งจำนวนของข้อมูลและการคำนวณจะเพิ่มขึ้นเป็น  $N$  แสดงว่าตามทฤษฎีนี้จะไม่เหมาะสมสำหรับการนำมาใช้ในการควบคุมแบบปรับตัวเอง เมื่อการคำนวณไม่ควรจะเพิ่มตามเวลา

ตามคุณสมบัติที่ต้องการนี้เราใช้สมการในรูปแบบของเรีคคิวซีฟที่เราสามารถจำกัดการคำนวณในรูปแบบของแต่ละการส่งออกของข้อมูลครั้งล่าสุด โดยไม่มีมิติของ  $X^T \cdot X$  ที่จะเพิ่มขึ้นถึง  $N$

$$S(t) = (X_{t-1}^T \cdot X_{t-1}) \quad 2.7.6$$

เมื่อ  $X_{t-1}$  คือ เมตริกซ์ของข้อมูลที่เรารวค่าซึ่งจะขึ้นกับเวลา  $t$  จากสมการที่ 2.7.2 เราจะเขียนในรูปแบบได้ดังนี้

$$\begin{bmatrix} \phi_{t-1} \\ \phi(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_{t-1} \\ X(t) \end{bmatrix} \theta + \begin{bmatrix} e_{t-1} \\ e(t) \end{bmatrix} \quad 2.7.7$$

$e^{\sim}(t)$  เป็นการประมาณของ  $n$  เวกเตอร์ใช้สำหรับข้อมูลทั้งหมดที่ขึ้นกับเวลา  $t$  จาก 2.7.3 จะเขียนเป็น

$$\begin{aligned} e^{\sim}(t) &= S(t)^{-1} [ X_{t-1}^T \cdot \phi_{t-1} + x(t) \cdot \phi(t) ] \\ &= S(t)^{-1} [ S(t-1) \cdot e^{\sim}(t-1) + x(t) \cdot \phi(t) ] \quad 2.7.8 \end{aligned}$$

แต่  $S(t) = S(t-1) + x(t) \cdot x^T(t)$

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้น } e^{\sim}(t) &= S(t)^{-1} [ S(t) e^{\sim}(t-1) - x(t) x^T(t) e^{\sim}(t-1) + x(t) e(t) ] \\ &= e^{\sim}(t-1) + S(t)^{-1} x(t) [ \phi(t) - x^T(t) e^{\sim}(t-1) ] \quad 2.7.9 \end{aligned}$$

สมมติให้  $S(t)^{-1} \cdot x(t) = K(t)$

จะได้รูปแบบของเรีคคิวซีฟ  $e^{\sim}$  คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ  $e^{\sim}(t) = e^{\sim}(t-1) + K(t) [ \phi(t) - x^T(t) e^{\sim}(t-1) ]$  ครั้งที่ 2.7.10

$K(t)$  คือ เวกเตอร์ขนาด  $n$  หรือเรียกว่า คาร์มานเกน

การประมาณค่าพารามิเตอร์จะต้องใช้ข้อมูลที่เป็นค่าปัจจุบันสำหรับแต่ละพารามิเตอร์ที่อยู่ในรูปของการป้อนกลับ

$$\begin{bmatrix} \text{new} \\ \text{estimate} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \text{old} \\ \text{estimate} \end{bmatrix} + (\text{gain}) \cdot (\text{prediction error of old model})$$

2.7.11

เราสมมติให้ส่วนกลับของ  $s(t)$  คือ  $P(t)$

$$\begin{aligned} P(t) &= [S(t-1) + x \cdot x^t]^{-1} \\ &= [P(t-1) - P(t-1)x \cdot x^t P(t-1)] / [1 + x^t P(t-1)x] \end{aligned} \quad 2.7.12$$

จากทฤษฎีของ RLS ในสมการที่ 2.7.10 จะได้

$$K(t) = [P(t-1) \cdot x(t)] / [1 + x^t(t) \cdot P(t-1) \cdot x(t)] \quad 2.7.13$$

$$P(t) = [1 - K(t)x^t(t)] \cdot P(t-1) \quad 2.7.14$$

จากสมการที่ 2.7.13 และ 2.7.14 นี้จะเห็นได้ว่าไม่จำเป็นต้องมีการอินเวอร์สเมตริกซ์ โดยที่  $s^{-1}$  ที่ปรากฏอยู่เพียงหลังจากการได้มีการสังเกต  $n$  แต่เรามักนิยมให้ค่าเริ่มต้นของอัลกอริทึมนี้เป็น  $P(0)$  เป็นรูปแบบของเมตริกซ์ทแยงมุม  $n \times n$  ซึ่งเราสามารถเลือกค่าเริ่มต้นเท่าใดก็ได้ แต่ถ้า  $P(0)$  มีค่ามาก สมมติตามวิทยานิพนธ์เราใช้  $10^5$  จะมีผลทำให้การเปลี่ยนแปลงค่าเริ่มต้นของ  $\hat{s}(t)$  เปลี่ยนแปลงเข้าสู่การประมาณค่าพารามิเตอร์ที่แท้จริงได้อย่างรวดเร็วกว่า ถ้า  $P(0)$  น้อยๆ จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของ  $\hat{s}(t)$  เป็นไปอย่างช้าๆ แต่การที่กำหนดค่าเริ่มต้นที่มากๆ เราจำเป็นที่จะต้องจำกัดการควบคุม เพื่อป้องกันการเปลี่ยนแปลงในตอนเริ่มต้นที่มีค่ามากๆ

จาก  $s(t) = \sum x(i)x^t(i)$  ดังนั้นขนาดของ  $s$  จะมีค่าเริ่มต้นที่น้อยๆ แต่จะมีแนวโน้มเข้าสู่ค่าอนันต์ ดังนั้นขนาดของ  $K$  จะมีแนวโน้มเข้าสู่ 0 และ  $\hat{s}(t)$  จะเป็นค่าเวกเตอร์คงที่ ซึ่งถ้าเป็นจริงดังนี้ ค่าพารามิเตอร์ที่แท้จริงจากการประมาณจะคงที่ แต่ในทางปฏิบัติเราต้องการอัลกอริทึมที่ติดตามการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์อย่างช้าๆ (คือตัวควบคุมแบบปรับตัวเองยังคงมีการปรับตัวอยู่)

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เรามีอยู่หลายทาง จากสมการที่ 2.7.10 ในการที่จะจัดการให้มีการปรับตัว อยู่ตลอดเวลาอย่างช้าๆ แต่ที่นิยมใช้คือ การให้ความสำคัญของข้อมูลเก่าลดลง และ ให้ความสำคัญกับข้อมูลปัจจุบันมากกว่าโดยใช้ค่าแฟกเตอร์การลืม ( forgetting factor ) โดยที่  $0 < \beta \leq 1$  , และมีค่าเท่ากับ  $\sum_{i=0}^{\infty} \beta^{i-1} \cdot e^2(i)$

การจะทำให้มีค่าต่ำที่สุดตามทฤษฎี RLS จาก 2.7.13 , 2.7.14 คือ

$$K(t) = [P(t-1)x(t)] / [\beta + x^t(t)P(t-1)x(t)]$$

$$P(t) = [1 - K(t)x^t(t)] \cdot P(t-1) / \beta$$

จากกรณีนี้ขนาดของ P และขนาดของ K จะไม่มีทางเป็น 0 ได้เพื่อที่  $e(t)$  สามารถเปลี่ยนค่าสำหรับเวลา  $t$  ที่มากๆได้

ถ้าค่าฟังก์ชันการลืมน้อย เช่น 0.95 จะทำให้มีผลของการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว แต่ถ้ามีค่าเป็น 0.999 จะเปลี่ยนแปลงไปอย่างช้าๆ

การประมาณค่าที่จะใช้ในการทดลองต่อไปนี้ จะมีสัญลักษณ์ที่แตกต่างจาก ทฤษฎีที่กล่าวมาข้างต้นบ้าง ซึ่งทฤษฎีข้างต้นนี้ได้อ้างอิงจากบรรณานุกรม (4) ส่วน สัญลักษณ์ที่นำมาใช้ในการทดลองนั้นได้อ้างอิงจากบรรณานุกรม (2)

### บทที่ 3 : การคำนวณ

#### 3.1 รมเคิลเบ็คลบ

เราถือว่าระบบที่เราต้องการควบคุมเป็นระบบอันดับสอง และมีทรานสเฟอ์ฟังก์ชันดังนี้

$$[ K_p \cdot \omega_0^2 ] / [ s^2 + 2x_i \omega_0 \cdot s + \omega_0^2 ]$$

เพราะมีคุณสมบัติครอบคลุกระบบเกือบทุกชนิด เมื่อแปลงมาเป็นรมเคิลทางเวลาไม่ต่อเนื่อง จะต้องรวมกับ ZOH แล้วจึงทำการแปลง Z จะได้รมคิลเป็น

$$\begin{aligned} & [ b_1 z^{-1} + b_2 z^{-2} ] / [ 1 + a_1 z^{-1} + a_2 z^{-2} ] \\ \text{โดย} \quad & s_1 = 1 - \alpha \cdot (\beta + (x_i \cdot \omega_0 \cdot \gamma / \omega_{gd})) \\ & s_2 = \text{sqr}(\alpha) + \alpha \cdot ((x_i \cdot \omega_0 \cdot \gamma / \omega_{gd}) - \beta) \\ & b_1 = K_p \cdot s_1 \\ & b_2 = K_p \cdot s_2 \\ & a_1 = -2 \cdot \alpha \cdot \beta \\ & a_2 = \text{sqr}(\alpha) \end{aligned}$$

จะเห็นว่าในการคำนวณหารมเคิลทางระบบเวลาไม่ต่อเนื่อง เราสามารถกำหนดคุณสมบัติได้จาก  $x_i$  และ  $\omega_0$

#### 3.2 รมคิลบ็คลบ

เรากำหนดให้เป็นรมเคิลทางระบบทาง เวลาไม่ต่อเนื่องอยู่แล้วคือ

$$\begin{aligned} & [ d_1 z^{-1} + d_2 z^{-2} ] / [ 1 + c_1 z^{-1} + c_2 z^{-2} ] \\ \text{โดย} \quad & c_1 = -2 \cdot \exp(-x_i s \cdot \omega_0 \cdot h) \cdot \cos[\omega_0 s \cdot h \cdot \text{sqr}(1 - \text{sqr}(x_i s))] \\ & c_2 = \exp(-2 \cdot x_i s \cdot \omega_0 \cdot h) \end{aligned}$$

เรากำหนดให้ซีร็องระบบบ็คลบอยู่ใกล้จุดกำเนิด (origin) และมีอัตราขยายไฟตรงเป็น 1 เช่นกัน เราสามารถกำหนดคุณสมบัติของระบบได้ด้วยค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$x_{1s}$  และ  $w_{0s}$  ดังนั้นจะได้ว่า

$$d_1 = 0.9(1+c_1+c_2)$$

$$d_2 = 0.1(1+c_1+c_2)$$

### ๓.๒ โมเดลของตัวประมาณค่า

พิจารณาสมการความสัมพันธ์ของระบบปิดลูป

$$y(k)/u(k) = [b_1 z^{-1} + b_2 z^{-2}] / [1 + a_1 z^{-1} + a_2 z^{-2}]$$

เขียนในรูปสมการผลต่างจะได้

$$y(k) = -a_1 y(k-1) - a_2 y(k-2) + b_1 u(k-1) + b_2 u(k-2)$$

ดังนั้นโมเดลการประมาณค่าจะต้องอยู่ในรูปเดียวกับโมเดลของระบบจริง ซึ่งมีความสัมพันธ์ดังนี้

$$y(k) = \tilde{e}(k) \cdot \phi(k+1)$$

โดย  $\phi(k+1) = [-y(k) \quad -y(k-1) \quad u(k) \quad u(k-1)]$

$$\tilde{e}(k) = [ \tilde{a}_1 \quad \tilde{a}_2 \quad \tilde{b}_1 \quad \tilde{b}_2 ]$$

ทำการประมาณค่าพารามิเตอร์ ตามขั้นตอนต่อไปนี้

๑) กำหนดค่าเริ่มต้น  $k=2$ ,  $P(2)=10^5$ ,  $\phi(2)=[0 \ 0 \ 0 \ 0]$ ,

$$y(2)=y(1)=u(2)=u(1)=1$$

เพราะโมเดลของระบบของเราเป็นโมเดลเวลาไม่ต่อเนื่องอันดับสอง ซึ่งต้องการค่าเริ่มต้น 2 ค่า

๒)  $\phi(3) = [-y(2) \quad -y(1) \quad u(2) \quad u(1)]$

๓)  $K(k) = P(k) \phi^T(k+1) [\lambda + \phi(k+1) P(k) \phi^T(k+1)]^{-1}$

$$K(2) = P(2) \phi^T(3) [\lambda + \phi(3) P(2) \phi^T(3)]^{-1}$$

๔) นำข้อมูลเก่า  $\phi(3)$  ไปลงใน  $G(z^{-1})$  จะได้  $y(3)$  เป็นเอาต์พุต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่เผยแพร่โดยศูนย์วิจัยและพัฒนาระบบอัตโนมัติและหุ่นยนต์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ศูนย์ฯ ขอสงวนสิทธิ์ในขอบเขตการใช้งานของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เทียบสัมประสิทธิ์ได้ว่า

$$r_0 = \tilde{b}_1$$

$$r_1 = \frac{[\tilde{b}_1 \tilde{b}_2 c_2 - \tilde{b}_1 c_2 + \tilde{b}_2 c_1 - \tilde{a}_2 \tilde{b}_1 - \tilde{b}_2 c_1 - \tilde{b}_2 \tilde{a}_1 - \tilde{b}_2 / \tilde{b}_1]}{\tilde{a}_1 + \tilde{b}_1 \tilde{a}_2 - \tilde{b}_2 / \tilde{b}_1}$$

$$s_0 = c_1 + \tilde{a}_1 + (\tilde{b}_2 - r_1) / \tilde{b}_1$$

$$s_1 = \tilde{b}_2 c_2 - \tilde{a}_2 r_1$$

2) กรณีไม่หักล้าง B จากสมการ  $AR+BS = A_m A_0$  ในพ.5 จะได้

$$\deg R = \deg A_0 + \deg A_m - \deg A$$

$$\deg S = \deg A - 1$$

$$\deg A_0 \geq 2 \deg A - \deg A_m - 1$$

$$\deg A_0 \geq 4 - 2 - 1 = 1$$

$$A_0 = z$$

$$\deg S = 2 - 1 = 1$$

$$S = s_0 z + s_1$$

$$\deg R = 1 + 2 - 2 = 1$$

$$R = r_0 z + r_1$$

ถ้าสังเกตจะพบว่า  $\deg A_0$  จะเป็น 1 เพื่อให้กำลังทางด้านขวาเหลือกับ

กำลังทางด้านซ้ายแทนค่าลงใน  $AR+BS$  จะได้

$$(z^2 + \tilde{a}_1 z + \tilde{a}_2)(r_0 z + r_1) + (\tilde{b}_1 z + \tilde{b}_2)(s_0 z + s_1) = (z^2 + c_1 z + c_2) \cdot z$$

เทียบสัมประสิทธิ์จะได้ว่า

$$r_0 = 1$$

$$r_1 = -\tilde{b}_2 \cdot s_1 / \tilde{a}_1$$

$$s_0 = (c_1 - \tilde{a}_2 - r_1) / \tilde{b}_1$$

$$s_1 = [c_2 - \tilde{a}_2 - \tilde{b}_2(c_1 - \tilde{a}_1) / \tilde{b}_1] / [\tilde{b}_1 - (\tilde{a}_1 - \tilde{b}_2 / \tilde{b}_1) \tilde{b}_2 / \tilde{a}_2]$$

#### บทที่ 4 : การทดลอง

ในตอนเริ่มต้น เมื่อเราพัฒนาโปรแกรมการควบคุมแบบปรับตัวเองได้ แล้ว เราจะมีโปรแกรมที่ใช้ในการควบคุม A/D , D/A Board โดยตอนแรกเราจะกำหนดว่าให้นำค่าที่ผ่านเข้ามายัง A/D Board นี้เก็บไว้ในไฟล์ ซึ่งเราได้สร้างมันขึ้นมาให้เป็นไฟล์ของข้อมูล และเราจะนำค่าข้อมูลนี้มาเป็นอินพุทของตัวควบคุม จากนั้นตัวควบคุมก็จะคำนวณค่าที่ได้รับผ่านมาจากไฟล์ของข้อมูลเข้ามา และไปเก็บไว้ที่ไฟล์ของข้อมูลอีกไฟล์หนึ่ง ซึ่งไฟล์นี้จะเก็บค่าเอาที่พุดจากตัวควบคุมเพื่อผ่าน D/A Board (PCL-726) และค่าที่ผ่านมานี้จะนำไปเป็นอินพุทของระบบ

จากการทดลองเราพบว่า เราสามารถที่จะ RUN โปรแกรมนี้ได้ แต่เนื่องจากค่าอินพุทของโปรแกรมตัวควบคุม ที่ผ่านมาจาก A/D Board (PCL-714) มีค่าคงที่ เนื่องจากว่าค่าอินพุทนี้เป็นค่าที่คอมพิวเตอร์สร้างขึ้นมา ดังนั้นเมื่อนำค่านี้ไปคำนวณในโปรแกรมการควบคุมแบบปรับตัวเองแล้ว ปรากฏว่าค่าของเอาต์พุทจากโปรแกรมซึ่งได้รับมาจาก D/A Board มีค่าผิดพลาดเกิดขึ้นมาก คือไม่สามารถที่จะให้ค่าตาม SET POINT ที่ตั้งไว้ เพราะว่าระบบของเราในขณะนี้ เป็นระบบเปิดอยู่

ในขั้นตอนต่อมา เราได้เขียนโปรแกรมขึ้นมาใหม่อีกโปรแกรมหนึ่ง โดยเราจะรวมโปรแกรมที่ผ่านมาให้อยู่ในโปรแกรมเดียวกันหมด เพื่อให้เหมาะสมในการใช้ควบคุมระบบภายนอก

จากการทดลองโดยมีการให้ค่าแก่ A/D Board เราพบว่าโปรแกรมของเราสามารถให้ค่าผ่าน D/A Board ออกมาได้เป็นที่น่าพอใจมาก

## บทที่ 5 : บทสรุป

จากการทดลองต่อตัวควบคุมเข้ากับระบบจริงๆ พบว่าในโปรแกรมได้ขาดหายไปหนึ่งส่วน คือส่วนที่ไว้คิดคำนวณ ค่าพารามิเตอร์ของระบบจริงคือค่า  $K_p$  , damping ratio , natural frequency -เป็นต้น จึงทำให้โปรแกรมไม่สามารถทำงานได้สมบูรณ์

ดังนั้นจึงควรมีการเขียนโปรแกรมเพิ่มเติมเข้าไปในโปรแกรมที่มีอยู่เดิมอีก 1 ส่วน คือส่วนที่ใช้คำนวณหาค่าพารามิเตอร์ เพื่อทำให้โปรแกรมสามารถใช้งานกับระบบจริงได้สมบูรณ์



## ภาคผนวก

- ผ.1 โปรแกรม
- ผ.2 เงื่อนไขกำลังของเร็คทูลิเตอร์
- ผ.3 อัลกอริทึมการคำนวณ
- ผ.4 รายละเอียดและข้อกำหนดของ A/D , D/A CONVERTER



## ผ.1 โปรแกรม .



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

{This program,STCMAN.FAS,is self-tuning control simulation program that the method used to calculate parameter of controller bases on PARAMETER EQUALIZATION}

PROGRAM HEAD;

USES CRT;

type

POL7= array[0..7] of real; POLPOL=array[1..4,1..4] of real;  
POL4= array[1..4] of real; POL9 =array[0..9] of real;

var

dh,d:integer;  
x : real;  
base : word;  
din : word;  
AA:FILE OF REAL;  
str:string[255];  
QOO,LOOPSTEP,XISTEP,UcSTEP:REAL;  
POLA,POLB,POLC,POLD,POLV,POLZ,POLG,POLCO,POLL,POLM,LAMDN:POL7;  
DECA,DEGB,DEGC,DEGU,DEGV,DEGW,DEGZ,DEGX,DEGY,DEGB,DEGC,DEGL,DEGM: INTEGER;  
I,J,N,W,F,E,K,L,MINPK,G,Q,MAXLW,MAXMZ: INTEGER;  
LAM,leafA,leafB,leafC,LEAFG,LEFCO,LEFAFO,LEAFU,LEAFW,LEAFV,LEAFZ,LEAFX: REAL;  
LEAFY,LEAFM,LEAFL,SUMGR,stop,randa: REAL;  
Kp,wo,XI,wos,XIS,Z1,Z2,Ynew,h: REAL;  
THETA,Ka,PHI,Y,Uc,U:pol4;  
POLAR,POLDS,POLARPS,POLBmc,POLAmc:pol9;  
p:polpol;  
bi,b2,a1,a2,c1,c2,d1,d2,r0,r1,s0,s1,t0,t1,nu,de,am3,am2,am1,am0,  
x3,x2,x1,x0: real;  
POLW,POLK,POLAm,POLAO,POLXX,POLBm,POLR,FOLT,POLS:POL7;  
DEGAO,DEGAam,DEGXX,loop1,loop2,MINPK,DEGM,DOU,DOY,CDUc,  
DEGR,DESS,DEGT,DEGAR,DEGRS,DEGBmc,DEGAmc: INTEGER;  
LEAFAm,LEAFBm,LEAFX,LEAFR,LEAFBmc,LEAFAmc,LEAFAR,LEAFBS,LEAFT,  
LEAFS,LEAFR: REAL;  
SELECT: INTEGER;

PROCEDURE INDATA(VAR KP,WO,XI,WOS,XIS,H,Z1,Z2:REAL);

BEGIN

CLRSKR;  
WRITELN(' Kp,wo\*2');  
WRITELN(' OPEN LOOP PROCESS G(S)= -----');  
WRITELN(' s^2+2wi.xi.s+wo^2');  
WRITELN('PROCESS PARAMETER');  
WRITELN(' Kp = ');

```

WRITELN('      xi (0<xi<1) =');
WRITELN('      wo(sec)   =');
WRITELN;
WRITELN('                                     d1q^1+d2q^2');
WRITELN('CLOSED LOOP SYSTEM   Hs(q^1) = -----');
WRITELN('                                     1 + c1q^1 + c2q^2');
WRITELN('SYSTEM PARAMETER');
WRITELN('      xis(0<xis<1) =');
WRITELN('      wos(sec)     =');
WRITELN('Sampling time     h =');
WRITELN('Observer pole    AO = z1q^1 + z2q^2');
WRITELN('For cancel B      AO = 1');
WRITELN('For not cancel B  AO = q');
GOTOXY(21,5);READLN(KP);
GOTOXY(21,6);READLN(XI);
GOTOXY(21,7);READLN(WO);
GOTOXY(21,13);READLN(XIS);
GOTOXY(21,14);READLN(WOS);
GOTOXY(21,15);READLN(H);

```

END;

```

PROCEDURE OPENLOOP( WO,XI,KP,H:REAL;VAR B1,B2,A1,A2:REAL);
VAR

```

```

OMEGAD,ALPHA,BETA,GAMMA,S1,S2:REAL;
BEGIN

```

```

OMEGAD:=WO*(SQRT(1-SQR(XI)));
ALPHA:=EXP(-XI*WO*H);
BETA:=COS(OMEGAD*H);
GAMMA:=SIN(OMEGAD*H);
S1:=1-ALPHA*(BETA+(XI*WO*GAMMA/OMEGAD));
S2:=SQR(ALPHA)+ALPHA*((XI*WO*GAMMA/OMEGAD)-BETA);
A1:=-2*ALPHA*BETA;
A2:=-SQR(ALPHA);
B1:=KP*S1;
B2:=KP*S2;

```

END;

```

PROCEDURE CLOSEDLOOP( WOS,XIS,H:REAL;VAR D1,D2,C1,C2:REAL);
BEGIN

```

```

C1:=-2*EXP(-XIS*WOS*H)*COS(WOS*H*SQRT(1-SQR(XI)));
C2:=EXP(-2*XIS*WOS*H);
D1:=0.5*(1+C1+C2);
D2:=0.1*(1+C1+C2);

```

END;

```

PROCEDURE TEETA(VAR THETA:POL4;Ka,phi:pol4;Ynew:real);
VAR

```

```

i:integer;PHITHEA:REAL;
begin
PHITHEA:=0;
FOR i:=1 TO 4 DO
begin
PHITHEA:=PHITHEA + PHI[i]*THETA[i];
end;
FOR i:=1 TO 4 DO
THETA[i]:=THETA[i]+Ka[i]*(Ynew-PHITHEA);
end;

```

```

PROCEDURE FP(VAR P:FOLPOL;Ka,PHI:POL4;RAMDA:REAL);
VAR
KPHI,IKPHI,PEE:FOLPOL;i,j,l,m:integer;
begin
FOR i:=1 TO 4 DO
FOR j:=1 TO 4 DO
KPHI[i,j]:=Ka[i]*PHI[j];
FOR i:=1 TO 4 DO
FOR j:=1 TO 4 DO
IF i=j THEN IKPHI[i,j]:=1-KPHI[i,j]
ELSE IKPHI[i,j]:=-KPHI[i,j];
FOR i:=1 TO 4 DO
FOR l:=1 TO 4 DO
begin
PEE[i,l]:=0;
FOR m:=1 TO 4 DO
PEE[i,l]:=PEE[i,l]+IKPHI[i,m]*P[l,m];
end;
FOR i:=1 TO 4 DO
FOR j:=1 TO 4 DO
P[i,j]:=PEE[i,j]/RAMDA;
end;

```

```

PROCEDURE GAIN(VAR Ka,PHI:POL4;P:FOLPOL;RAMDA:REAL);
VAR
FPHI:POL4;i,j:integer;PHIPPHI:REAL;
begin
FOR j:=1 TO 4 DO
begin
PPHI[j]:=0;
FOR i:=1 TO 4 DO
PPHI[j]:=PPHI[j]+P[j,i]*PHI[i];

```

```

end;
PHIPPHI:=0;
FOR j:=1 TO 4 DO
PHIPPHI:=PHIPPHI+PHI [j]*PPHI [j];
FOR j:=1 TO 4 DO
Ka [j] :=PPHI [j] / (RAMDA+PHIPPHI);
end;

```

```

PROCEDURE INITIAL (VAR PHI, THETA, Y, Uc, U: POL4; VAR F: POLPOL; VAR RAMDA: REAL);
VAR

```

```

    i, j: INTEGER;
begin
    Y[4]:=0; Uc [4] :=0; U [4] :=0; LOOP1:=0;
    FOR I:=3 DOWNT0 1 DO
        begin
            Y [I] :=1;
            Uc [I] :=1;
            U [I] :=1;
            LOOP1:=1;
        end;
    PHI [1] :=-Y [3]; PHI [2] :=-Y [2]; PHI [3] :=U [3]; PHI [4] :=U [2];
    FOR I:=1 TO 4 DO
    FOR J:=1 TO 4 DO
        IF I=J THEN P [I, J] :=10E+5 ELSE P [I, J] :=0;
    gotoxy (1, 19);
    WRITE ('forgeting factor LAMDA='); READLN (RAMDA);
    FOR I:=1 TO 4 DO THETA [I] :=1;
end;

```

```

BEGIN
    ASSIGN (AA, 'REALDATA');
    REWRITE (AA);

    INDATA (KP, WD, XI, WOS, XIS, H, Z1, Z2);
    OPENLOOP (WO, XI, KP, H, B1, B2, A1, A2);
    CLOSEDLOOP (WOS, XIS, H, D1, D2, C1, C2);
    INITIAL (PHI, THETA, Y, Uc, U, F, RAMDA);
    clrscr;
    writeln ('      at loop=');
    writeln ('      step Xi=');
    writeln ('change Uc to =');

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

writeln('to excite estimator');
gotoxy(15,1); readln(loopstep);
gotoxy(15,2); readln(Xistep);
gotoxy(15,3); readln(Ucstep);
clrscr;
writeln('SELECT WHICH PAIR OF PARAMETER & SIGNAL YOU WANT TO PLOT');
writeln;
writeln;
writeln('1 FOR (a1,THETA2) ');
writeln('2 FOR (U,Y) ');
writeln;
writeln('SELECT: ');
gotoxy(9,7); readln(select);
clrscr;
for i:=1 to 3 do
begin
    u[i]:=1;
    y[i]:=1;
end;
Uc[4]:=1;
WHILE Y[4] <> Ucstep DO
begin
{FOR loop: :=1 TO 100 DO}
    loop1:=loop1+1;
begin
IF LOOP1 = LOOPSTEP THEN
BEGIN
    XI:=XI+XISTEP;
    OPENLOOP(WO,XI,KP,H,B1,B2,A1,A2);
END;
IF 1.LOOP1 = LOOPSTEP THEN Uc[4]:=UcSTEP;
FOR I:=0 TO 7 DO
begin
    POLAm[I]:=0; POLA[I]:=0; POLA0[I]:=0;
    POLBm[I]:=0; POLB[I]:=0;
end;
POLAm[2]:=1; POLA[2]:=1;
POLAm[1]:=c1; POLBm[1]:=d1; POLA[1]:=THETA[1]; POLB[1]:=THETA[3];
POLAm[0]:=c2; POLBm[0]:=d2; POLA[0]:=THETA[2]; POLB[0]:=THETA[4];
POLA0[1]:=z1;
POLA0[0]:=z2;
GAIN(KA,PHI,P,RAMDA);

base:=#220; { read A/D port from 714 }
port[base+10]:=10; { * }
port[base+11]:=1; { * }

din:=pctxw[base+4]; { * }
Ynew:=5*(din-8192)/8192; { * }

```

```

am1:=THETA[2]*r0+THEIA[1]*r1+THETA[3]*s1+THETA[4]*s0;
am0:=THETA[2]*r1+THETA[4]*s1;
GOTOXY(1,7);
writeln('am2=',am2:7,'ci=',ci:7);
writeln('am1=',am1:7,'c2=',c2:7);
writeln('em0=',am0:7,'o=';0:7); - - -

```

```
end;
```

```
END;
```

```
GOTOXY(1,11);
```

```
writeln('s0=',s0);
```

```
writeln('s1=',s1);
```

```
writeln('t0=',t0);
```

```
writeln('t1=',t1);
```

```
writeln('r0=',r0);
```

```
writeln('r1=',r1);
```

```
U[4]:=-r1*U[3]/r0+t0*Uc[4]/r0+t1*Uc[3]/r0-s0*Y[4]/r0-s1*Y[3]/r0;
```

```
base:=$200; { write D/A port to 726 }
```

```
x:=U[4]*4095/100; {*
```

```
i:=trunc(x); {*
```

```
dh:=i div 256; {*
```

```
dl:=i mod 256; {*
```

```
port[base+0]:=dh; {*
```

```
port[base+1]:=dl; {*
```

```
gotoxy(1,1);
```

```
writeln('loop1=',loop1);
```

```
writeln;
```

```
GOO:=LOOP1;
```

```
{The third and fourth values are those to be plotted by plot.exe}
```

```
IF SELECT = 1 THEN WRITE(AA,GOO,A1,THETA[1]);
```

```
IF SELECT = 2 THEN WRITE(AA,GOO,U[4],Y[4]);
```

```
end;
```

```
CI RSDR;
```

```
WRITELN('FINISHED COMPUTING SELF-TUNING PROGRAM');
```

```
WRITELN('TYPE (PLOT) AT DOS PROMPT TO PLOT PARAMETER');
```

```
close(aa);
```

```
END.
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

TEETA(THETA,KA,PHI,Ynew);
PP(P,KA,PHI,RANDA);
GOTOXY(1,2);
writeln('a1=',a1:7,'theta[1]=',theta[1]:7);
writeln('a2=',a2:7,'theta[2]=',theta[2]:7);
writeln('b1=',b1:7,'theta[3]=',theta[3]:7);
writeln('b2=',b2:7,'theta[4]=',theta[4]:7);
IF ABS(THETA[4]/THETA[3])>1
THEN
  BEGIN
    GOTOXY(1,6);
    write('CANCEL B degA0 =1 A0=q T=A0');{READLN;}
    nu:=THETA[3]*THETA[4]*c2-(THETA[3]*c2+THETA[4]*c1-THETA[2]
    *THETA[3]-THETA[4]*c1-THETA[4]*THETA[1]-sqrt(THETA[4])/THETA[3]);
    de:=THETA[1]+THETA[3]*THETA[2]-THETA[4]/THETA[3];
    r1:=nu/de;
    s1:=THETA[4]*c2-THETA[2]*r1;
    s0:=c1+THETA[1]+(THETA[4]-r1)/THETA[3];
    r0:=THETA[3];
    t0:=1;
    t1:=0;
    am3:=r0;
    am2:=THETA[1]*r0+r1+THETA[3]*s0;
    am1:=THETA[2]*r0+THETA[1]*r1+THETA[3]*s1+THETA[4]*s0;
    am0:=THETA[2]*r1-THETA[4]*s1;
    x3:=THETA[3];
    x2:=THETA[3]*c1+THETA[4];
    x1:=THETA[3]*c2+THETA[4]*c1;
    x0:=THETA[4]*c2;
    GOTOXY(1,7);
    writeln('am3=',am3:7,'x3=',x3:7);
    writeln('am2=',am2:7,'x2=',x2:7);
    writeln('am1=',am1:7,'x1=',x1:7);
    writeln('am0=',am0:7,'x0=',x0:7);
  END
ELSE
  BEGIN
    GOTOXY(1,6);
    WRITE('NOT CANCEL B degA0=0 A0 =1 T=Bm');{READLN;}
    nu:=c2-THETA[2]-THETA[4]*(c1-THETA[1])/THETA[3];
    de:=THETA[3]-(THETA[1]-THETA[4]/THETA[3])*THETA[4]/THETA[2];
    s1:=nu/de;
    r1:=-THETA[4]*s1/THETA[2];
    s0:=(c1-THETA[1]+r1)/THETA[3];
    r0:=1;
    t0:=0;
    t1:=1;
    am2:=THETA[1]*r0+r1+THETA[3]*s0;
  END

```

พ.2 เงื่อนไขกำลังของเร็กกูเลเตอร์

1) กรณีที่หักล้าง  $B^+$  จาก  $AR + BS = B^+AmAo$  ulyทว่าไปแล้ว  $\deg S \leq \deg R$  เพราะตัวป้อนกลับจะต้องเป็นอันที่เกรเตอร์ไม่มีเป็นค่าคงที่ และ  $\deg B \leq \deg A$  จะได้ว่า

$$\deg AR = \deg (AR+BS) = \deg B^+AmAo$$

ดังนั้น  $\deg R = \deg B^+ + \deg Ao + \deg Am - \deg A$  \*\*\*\*

และจาก  $T = BmAo/B^-$

จะได้ว่า  $\deg T = \deg Bm + \deg Ao - \deg B^-$  \*\*\*\*

จากทฤษฎีของสมการโคโรแพนโดม สมการ  $AX+BY = C$  จะมีคำตอบเมื่อ ห.ร.ม. ของ  $A$  และ  $B$  ทหาร  $C$  ได้ และถ้า  $Xo, Yo$  เป็นคำตอบเฉพาะจะได้คำตอบทั่วไปคือ

$$X = Xo + QB$$

$$Y = Yo - QA$$

ulyทว่า  $X$  และ  $Y$  ต้องจริงตามเงื่อนไขดังนี้

$$\deg X < \deg B \quad \text{และ} \quad \deg Y < \deg A$$

ดังนั้นจาก  $AR + BS = B^+AmAo$  จะได้ว่า

$$\deg R < \deg B \quad \text{และ} \quad \deg S < \deg A$$

ถ้าเลือก  $\deg S = \deg A - 1$  เมื่อนำมารวมกับ  $\deg R \geq \deg S$  จะได้

$$\deg B^+ + \deg Ao + \deg Am - \deg A \geq \deg A - 1$$

$$\deg Ao \geq 2\deg A - \deg Am - \deg B^+ - 1$$
 \*\*\*\*

2) กรณีที่ไม่หักล้าง  $B^+$  จาก  $AR+BS = AoAm$  และ  $\deg S \leq \deg R$

และ  $\deg B \leq \deg A$  จะได้ว่า

$$\deg R = \deg (AR+BS) = \deg AmAo$$

ดังนั้น  $\deg R = \deg Ao + \deg Am - \deg A$  \*\*\*\*

และจาก  $T = BAmAo/B$

จะได้ว่า  $\deg T = \deg Bm + \deg Ao - \deg B$  \*\*\*\*

และจากสมการ  $AX + BY = C$   $\deg X < \deg B$  และ  $\deg Y < \deg A$

ดังนั้นจาก  $AR+BS = AmAo$  จะได้ว่า  $\deg R < \deg B$  และ  $\deg S < \deg A$

ถ้าเลือก  $\deg S = \deg A - 1$  เมื่อพิจารณารวมกับ  $\deg R > \deg S$  จะได้ว่า

$$\deg Ao + \deg Am + \deg A \geq \deg A - 1$$

$$\deg Ao \geq 2\deg A - \deg Am - 1$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### พ.3 อัลกอริทึมการคำนวณ

การหาค่า  $g, p, q, r, s$  จากสมการ

$$ap + bq = g$$

$$ar + bs = 0$$

เราจะพิจารณาสมการ  $ap + bq = g$  จะเห็นว่าถ้าตัวใดตัวหนึ่งเป็น 0 อีกตัวจะเท่ากับ  $g$  ดังนั้นขั้นตอนการคำนวณ จะต้องทำการลดรูป reduce echelon จนผลลัพธ์มีผลตัวใดตัวหนึ่งเป็น 0 จักรูปสำหรับการคำนวณอัลกอริทึมได้ดังนี้

$$F = \begin{bmatrix} a & b \end{bmatrix}$$

$$V = \begin{bmatrix} p & r \\ q & s \end{bmatrix}$$

$$FV = \begin{bmatrix} g & 0 \end{bmatrix}$$

1. ให้  $V = I$  ( unit matrix )
2. ถ้า  $a$  หรือ  $b$  ตัวใดตัวหนึ่งเป็น 0 ให้เข้ามาที่ 7 ถ้าไม่ให้เลือกผลลัพธ์มีผลตัวที่มีกำลังน้อยกว่ามา
3. เอาสัมประสิทธิ์ของผลลัพธ์มีผลตัวกำลังมากที่สุด หาค่าด้วยสัมประสิทธิ์ของผลลัพธ์มีผลตัวกำลังน้อยได้
4. เอากำลังของผลลัพธ์มีผลตัวกำลังมากที่สุด ลบด้วยกำลังของผลลัพธ์มีผลตัวกำลังน้อยได้  $n$
5. เอาผลลัพธ์มีผลตัวกำลังมากที่สุด ลบด้วย  $\Lambda^n * \text{ผลลัพธ์มีผลตัวกำลังน้อย}$  และทำเช่นเดียวกับคอลัมน์ใน  $V$  ที่สัมพันธ์กัน เช่นถ้าเอา  $a-b$  จะต้องเอา  $p-r$  และ  $q-s$
6. กลับบทบาท 2
7. ระหว่าง  $a$  และ  $b$  ตัวที่ไม่เป็น 0 จะเป็น  $g$  และใช้ค่า  $V$  ตามต้องการ
8. หยุด

**พ.4 รายละเอียดและข้อกำหนดของ A/D , D/A CONVERTER**

( PCL-714 A/D BOARD )

( PCL-726 D/A BOARD )



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1. INTRODUCTION TO THE PCL-714

### 1.1, General Description

The PCL-714 Super-Lab card is a high performance analog/digital I/O card that offers 5 most desirable measurement and control functions on a single board.

Its versatile functions include 16 differential analog inputs, 2 analog outputs (one is optional), 16 digital inputs, 16 digital outputs and a programmable interval timer.

Designed with engineering advancement and user satisfaction in mind, this full size card specially offers 14 bit resolution for both D/A and A/D conversion and turns the IBM PC\* into a high precision voltage measurement and signal analysis instrument. In addition to its highly condensed features, the versatility of the card can be further enhanced with the use of optional daughter cards such as PCLD-780, PCLD-782 and PCLD-785.

The PCLD-785 is a 16-channel relay output card which can be driven by the digital output of the PCL-714 card. The PCLD-782 is a 16-channel opto-isolated digital input card which provides an easy way to input digital data to the PCL-714. The PCLD-780 wiring terminal board allows analog and/or digital I/O's be easily connected to the PCL-714. All three daughter boards can be connected

directly to the PCL-714 via 20 pin flat ribbon cables.

As a further convenience in your application, the PCL-714 card is also supported by the PC-LabDAS, a menu driven data acquisition software and the UnkelScope, a powerful waveform analysis software.

Together with all the features and supports, the PCL-714 is intended to provide a total and cost effective solution for your application need.

\* IBM PC is a trademark of International Business Machines Corporation.

## 1.2. Features, Applications and Specifications

### Features

- . 16 differential analog input with 14 bit resolution
- . 2 analog output with 14 bit resolution
- . Hardware successive approximation for faster conversion time and higher throughput
- . A/D conversion time less than 40 microseconds
- . 16 digital input channels
- . 16 digital output channels
- . All digital input and output channels are

- TTL compatible
- . Programmable interval timer
  - . Programmable pacer trigger

### Applications

- . Industrial measurements/automation
- . Laboratory measurements/automation
- . Signal analysis
- . Process control/monitoring
- . Contact closure monitoring
- . Switch panel status sense
- . Industrial on/off control
- . BCD interface
- . Digital I/O control
- . Period and pulse width measurement
- . Event and frequency counting

### Specifications

#### Analog to Digital

Input Range : -5V to +5V  
Input Channels : 16 differential  
Accuracy : 0.15% max. at 25 deg.C.  
Input Impedance: > 10 mega Ohms  
Conversion Time: < 40 microseconds  
Resolution : 14 bits

#### Digital to Analog

Output Range : Bipolar -5V to +5V  
Output Channels: 1 standard, 1 optional  
Accuracy : 0.1% max. at 25 deg.C.  
Settling time : < 30 microsecond for 5V  
step  
Resolution : 14 bits

#### Digital Input

Input Low Level : Min. -0.5V, max. 0.8V

Input High Level: Min. 2.0V, max. 5.0V  
Input Loading : 0.2 mA at 0.4V  
Input Hysteresis: Typical 0.4V, min. 0.2V

#### Digital Output

Output Low Level : Max. 0.5V at 24 mA  
(sink) Max. 0.4V at 12 mA  
Output High Level: Min. 2.0V at 15 mA  
(source) Min. 2.4V at 3 mA  
Driving Capacity : 15 TTL's at least

Power Consumption : < 800 mA at 5V  
< 50 mA at +12V  
< 50 mA at -12V

#### General

Dimensions : 13 3/8" x 3 3/4"  
34 cm x 9.5 cm  
Bus : IBM PC bus  
Slot : One 62-pin slot  
I/O Port Base Address :  
Hex 200 - hex 3F0  
I/O Port Space Occupied: 12

+-----+  
| CAUTION |  
+-----+

The PCL-714 Super-Lab Card uses 4052 CMOS chips as multiplexer for analog input channels. Do not apply any voltage higher than +12.5V or lower than -5.5V. Out of limit input voltage may cause permanent damage to the multiplexer.

## 1. GENERAL INFORMATION

### 1.1. Description

The PCL-726 provides six analog output channels on a single PC-BUS add-on card. Each channel can be set individually to any of the following ranges: 0 to 5V, 0 to 10V, +/-5V, +/-10V and 4 to 20mA current output. Designed for rugged environment, the PCL-726 is an ideal and economical solution for industrial application requiring multiple analog voltage and/or current output channels.

In addition to the analog output, PCL-726 also provides 16 channels of digital output and 16 channels of input. The D/I and D/O ports are TTL compatible and designed to be fully compatible with the available daughter boards those offer convenient solution to industrial ON/OFF control and sensing application. These daughter boards include PCLD-782 Isolated D/I Board, PCLD-785 Relay Output Board and PCLD-786 SSR & Relay Driver Board.

A utility program disk is supplied with the purpose to minimize user's software effort. The disk contains ready-to-run calibration program, demonstration program as well as program examples.

### 1.2. Features

- 6 independent D/A output channels.
- 12 bit resolution, double buffered D/A converters.
- Multiple voltage ranges: +/- 10V, +/- 5V, 0 to 10V, 0 to 5V and 4 to 20 mA current loop (sink).
- All D/A outputs will be at 0 volt initial state after RESET or POWER-ON at either bipolar or unipolar mode.
- 16 digital input and 16 digital output channels. They are all TTL compatible.

- \* D/I and D/O ports are fully compatible with the valid PC-LabCard daughter boards :
  - PCLD-782 16 channel opto-isolated D/I board.
  - PCLD-785 16 channel relay output board..
  - PCLD-786 8 channel SSR output & 8 channel relay driver board.
- \* Furnished utility software disk contains :
  - Calibration program.
  - Demonstration program.
  - Program examples.
- \* DIP switch selectable wait state (0/2/4/6 wait states) insertion to ensure the compatibility with very high speed PC's.
- \* Screw terminal board (PCLD-780 or PCLD-781) available for D/A output signal wiring.

### 1.3. Specifications

#### 1.3.1. Analog Output

Channels : 6 channels.

Resolution : 12 Bits. Double buffered.

Output range : 0 to +5V (unipolar)  
 0 to +10V (unipolar)  
 +/- 5V (bipolar)  
 4 to 20mA current loop (sink); ✕  
 +/- 10V with external DC or AC reference.

Reference voltage :

Internal : -5V (+/- 0.05V)  
 -10V (+/- 0.05V)

External : DC or AC, +/- 10V max.

Conversion type : 12 bit monolithic multiplying.

Analog devices : AD7541AKN or equivalent.

Linearity : +/- 1/2 bit.

Accuracy : +/- 0.012% full scale range.

Temperature draft : 2 PPM/deg C full scale range

Settling time : 70 usec max. with OP-07 output amplifiers.  
(5 usec max. with OP-37 output amplifiers upon special request.)

Current loop : 4 to 20 mA constant current sink.

Voltage output drive : +/- 5mA max.

Current loop excitation voltage : Minimum +8V, maximum 36V for 4 to 20mA current loop.

Reset (power-on status) : All D/A channels will be at 0 volt output after reset or power-on, either bipolar or unipolar mode.

1.3.2. Digital Input

Channel : 16 bits.

Level : TTL compatible.

Input low : 0.8V max.

Input high : 2.0V min.

Input load : -0.4mA max. at 0.5V.  
0.05mA max. at 2.7V.

### 1.3.3. Digital Output

Channel : 16 bits.

Level : TTL compatible.

Output low : 0.5V max. when sink 8mA.

Output high : 2.4V min. when source 0.05mA.

### 1.3.4. General Specifications

Power consumption : +5V : 500mA typ., 1A max.  
+12V : 50mA typ., 110mA max.  
-12V : 14mA typ., 90mA max.

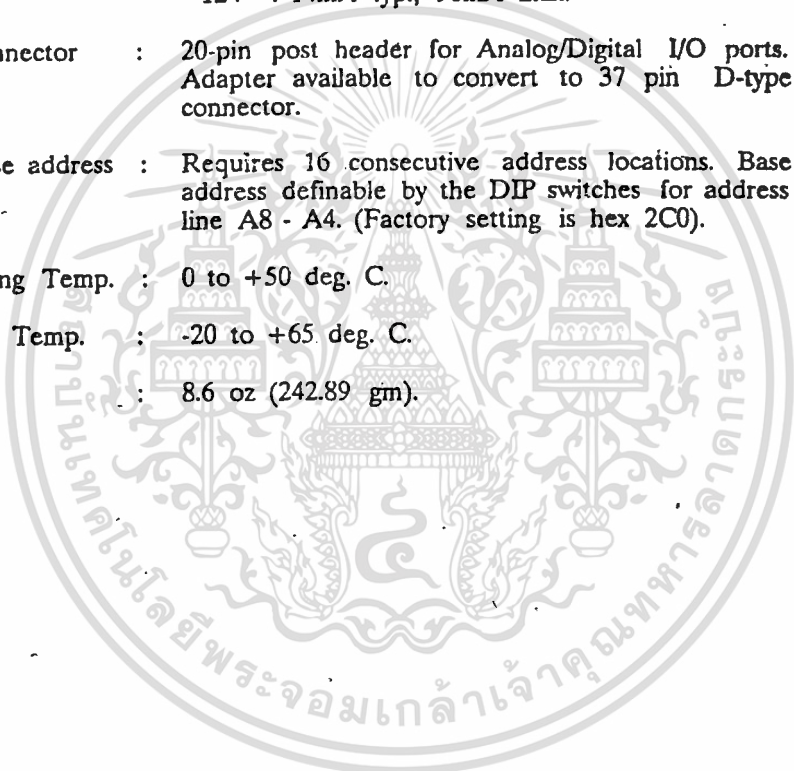
I/O connector : 20-pin post header for Analog/Digital I/O ports.  
Adapter available to convert to 37 pin D-type connector.

I/O base address : Requires 16 consecutive address locations. Base address definable by the DIP switches for address line A8 - A4. (Factory setting is hex 2C0).

Operating Temp. : 0 to +50 deg. C.

Storage Temp. : -20 to +65 deg. C.

Weight : 8.6 oz (242.89 gm).



## กิติกรรมประกาศ

โน้มนามผู้จัดทำขอขอบพระคุณ อาจารย์ พรสุข เทตเจริญ และ อาจารย์  
จงกล งามวิวิทย์ สำหรับการดูแลเอาใจใส่และกำลังใจในการทำงานเป็นอย่างสูง  
รวมทั้ง บุคคลอื่นๆที่มีส่วนช่วยทั้งในด้านข้อคิดเห็น และคำแนะนำ จนทำให้  
โครงการนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี



1. Prof. K.J.Astrom and B.Wittenmark, Ph.D. : -"Self-tuning  
Controllers based on Pole-zero Placement" IEE Proceeding  
vol.127,PT , No.3, MAY 1980
2. Prof. K.J.Astrom and B.Wittenmark, Ph.D. : "Computer  
Controlled System Theory and Design", Prentice-Hall  
International, 1984
3. Kucera : " Discrete Linear Control " Prague Academic,  
1979
4. C.J.Harris : "Self-tuning and Adaptive Control" IEE  
series 15, 1981

