



การควบคุมเครื่องจักรกลไฟฟ้ากระแสตรงแบบอัตโนมัติ

AUTOMATIC DC MACHINE CONTROL

นายสมพร
นายสืบศักดิ์
นายเสกสรรค์

แก้วปริมประ
ศรีมูลตรี
ฝอยทอง

เลขเรียกหนังสือ... ๗๗ (๘๖๕๓ ๘๖๕๓)
เลขทะเบียน... ๐๔๐๕๘๕
วัน เดือน ปี... ๑๙ ๓๓ ๒๕

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมการวัดคุม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา ๒๕๔๑

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

๐๔๐๕๘๕

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2541

ภาควิชาเทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรม

คณะ วิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การควบคุมเครื่องจักรกลไฟฟ้ากระแสตรงแบบอัตโนมัติ

ผู้จัดทำ

นายสมพร แก้วปริมประ เลขประจำตัว 39013401

นายสืบศักดิ์ ศรีมูลตรี เลขประจำตัว 39013403

นายเสกสรรค์ ฝอยทอง เลขประจำตัว 39013408



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การควบคุมเครื่องจักรกลไฟฟ้ากระแสตรงแบบอัตโนมัติ

นายสมพร แก้วปริมประ

นายสืบศักดิ์ ศรีมูลตรี

นายเสกสรรค์ ฝอยทอง

อ.ไสว พงศ์สวัสดิ์ อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2541

บทคัดย่อ

การควบคุมเครื่องจักรกลไฟฟ้ากระแสตรงแบบอัตโนมัติ เป็นการควบคุมการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง โดยการควบคุมความเร็วของมอเตอร์ที่ใช้ขับเคลื่อนเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ให้มีค่าความเร็วคงที่เพื่อให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้า สามารถรักษาระดับแรงดันไฟฟ้า ที่จ่ายให้กับโหลดที่เป็นโหลดไฟให้มีแสงสว่างคงที่ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของโหลด โดยส่วนของการควบคุมจะใช้การควบคุมแบบป้อนกลับในการควบคุมความเร็วและการกลับทางหมุนของมอเตอร์ที่มีไมโครคอนโทรลเลอร์ 8051 เป็นตัวควบคุมการทำงานการตรวจจับความเร็วและกระแส เพื่อนำไปใช้ในการประมวลผล ในส่วนของวงจรขับเคลื่อนจะใช้วงจรพัลส์วิดท์มอดูเลชัน ควบคุมการนำกระแสและหยุดนำกระแส ของเพอร์เวอร์ทรานซิสเตอร์ที่ต่อกันเป็นแบบบริดจ์

AUTOMATIC DC MACHINE CONTROL

MR.SOMPORN KAEWPRIMPRA

MR.SEAPSAK SRIMOONTREE

MR.SEKSAN FOYTHONG

MR.SAWAI PONGSWATD ADVISOR

1998

ABSTRACT

Automatic DC machine control is used to control the speed of DC motor and DC generator Which supply voltage to load. The close loop control use the encoder feedback to The MCS-51 microcontroller. The driving unit use the PWM technique to drive the bridge transister.

สารบัญ

หน้า

บทที่ 1 บทนำ

1.1 แนวคิดในการจัดทำปริญญานิพนธ์	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 ขอบเขตของโครงการ	1

บทที่ 2 ทฤษฎี

2.1 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง	2
2.2 ลักษณะการคอนโทรลของระบบคิซิมอเตอร์	8
2.3 วงจรพัลส์วิดซ์มอดูเลเตอร์และการทำงาน	19
2.4 การตรวจจับสัญญาณ	21
2.5 การแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัล	24
2.6 การแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณอนาลอก	29
2.7 การรับคำสั่งและการแสดงผล	35
2.8 ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS- 51	40

บทที่ 3 โครงสร้างและการทำงานของวงจร

3.1 หลักการและขั้นตอนการทำงานของวงจรควบคุมความเร็วมอเตอร์	44
---	----

บทที่ 4 การออกแบบและการสร้าง

4.1 วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัล	47
4.2 วงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณอนาลอก	48
4.3 วงจรขับเคลื่อนมอเตอร์	53

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 5 วิธีการใช้งานและการปรับแต่ง

5.1 รูปร่างลักษณะเครื่อง AUTOMATIC DC MACHINE CONTROL	55
5.2 วิธีการใช้เครื่อง	57

บทที่ 6 ผลการทดลองและสรุป

6.1 การทดลองการควบคุม	64
6.2 สรุปผลและปัญหาที่เกิดขึ้น	67

สรุปการพัฒนาโครงการ

ภาคผนวก ก. FLOW CHART

ภาคผนวก ข. DATA SHEET

กิตติกรรมประกาศ

หนังสืออ้างอิง

บทที่ 1

บทนำ

1.1 แนวคิดในการจัดทำปริญญานิพนธ์

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงมีข้อดีที่ให้แรงบิดขณะเริ่มหมุนดี การควบคุมความเร็วทำได้ง่าย แต่เมื่อมอเตอร์ถูกนำไปใช้ในสถานะที่มีโหลดจะพบว่าความเร็วรอบของมอเตอร์จะลดลงและไม่สามารถควบคุมได้ตามที่ต้องการ การควบคุมแบบอัตโนมัติจึงเป็นวิธีการหนึ่งที่นิยมนำมาใช้ในการควบคุมมอเตอร์ซึ่งในโครงการนี้ได้ประยุกต์ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์มาสร้างเป็นตัวควบคุมการทำงานของวงจรขับมอเตอร์ โดยใช้การควบคุมแบบ PID เพื่อควบคุมให้มอเตอร์มีความเร็วรอบที่ค่าคงที่ตามที่ต้องการในในขณะที่มีโหลดขนาดต่าง ๆ

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

- 1.) เพื่อที่จะนำความรู้ในการควบคุมแบบ PID และทฤษฎี Microcontroller มาสร้างตัวควบคุม (Controller)
- 2.) เพื่อศึกษาและรู้จักการออกแบบ Hardware และ Software ของ Microcontroller
- 3.) เพื่อเป็นการปรับค่าของตัวควบคุม (Controller)

1.3 ขอบเขตของโครงการ

การควบคุมเครื่องจักรกลไฟฟ้ากระแสตรงแบบอัตโนมัติเป็นโครงการที่เกี่ยวกับการควบคุมความเร็วและการกลับทางหมุนของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง โดยลักษณะของโครงการจะแบ่งเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนของมอเตอร์ซึ่งจะเป็นที่ควบคุมและส่วนของโหลดคือเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง โดยจะให้มอเตอร์ขับเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง ซึ่งถ้าการจ่ายโหลดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงมีการเปลี่ยนแปลงก็จะทำให้ความเร็วรอบของมอเตอร์เปลี่ยนแปลง ดังนั้นการควบคุมจะควบคุมให้ความเร็วรอบของมอเตอร์คงที่หรือใกล้เคียงกับค่าที่ต้องการมากที่สุด โดยการป้อนคำสั่งการทำงานจะอยู่ในรูปของฟังก์ชันของคำสั่งที่ง่ายต่อความเข้าใจจากใช้งานได้ในระดับหนึ่งคือบอร์ดผ่านไมโครคอนโทรลเลอร์ ขนาดโดยรวมของโครงการจะทัดรัดและสามารถจะประยุกต์ใช้งานได้ในระดับหนึ่ง

บทที่ 2

ทฤษฎี

2.1 ดีซีมอเตอร์

ดีซีมอเตอร์สามารถแบ่งได้เป็นหลายประเภท ขึ้นอยู่กับลักษณะวิธีการสร้างสนามแม่เหล็กของมอเตอร์ และขึ้นอยู่กับพื้นฐานการออกแบบโครงสร้างของอาเมเจอร์ การแบ่งประเภทตามลักษณะการจ่ายสนามแม่เหล็ก แยกออกเป็น 2 แบบ คือ

1. ดีซีมอเตอร์แบบปรับเส้นแรงแม่เหล็กได้
2. ดีซีมอเตอร์แบบเส้นแรงแม่เหล็กมีค่าคงที่

ซึ่งแบบที่เรานำมาใช้ในโครงการเป็นแบบที่ 2 คือ เป็นดีซีมอเตอร์แบบเส้นแรงแม่เหล็กมีค่าคงที่ ดีซีมอเตอร์แบบเส้นแรงแม่เหล็กคงที่

ระบบการกระตุ้นฟลักซ์ของมอเตอร์โดยทั่วไป ในปัจจุบันมักใช้เป็นแบบแม่เหล็กถาวร ในระบบนี้เส้นแรงแม่เหล็กของฟลักซ์มีค่าคงที่ ดังนั้นอัตราส่วนระหว่างกระแสอาเมเจอร์และแรงบิดจะมีค่าคงที่

สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$T = K_t I \quad \text{----- (1)}$$

T คือ แรงบิดของเพลามีหน่วยเป็น นิวตัน - เมตร

K_t คือ ค่าคงที่

I คือ กระแสเป็นแอมแปร์

$$E = K_e \omega \quad \text{----- (2)}$$

E คือ แรงดันย้อนกลับ emf มีหน่วยเป็น โวลต์

ω คือ ความเร็วของมอเตอร์มีหน่วยเป็น เรเดียน / วินาที

K_e คือ ค่าคงที่

โมเดลคณิตศาสตร์ของดีซีมอเตอร์ ระบบนี้จะให้ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสอาเมเจอร์ แรงบิด และความเร็วอยู่ในลักษณะ ดิเนียร์ สมการทางไฟฟ้าของดีซีมอเตอร์แบบนี้เขียนได้เป็น

$$V = K_e \omega + L (di / dt) + Ri \quad \text{----- (3)}$$

เมื่อ V คือ แรงดันที่ป้อนให้กับมอเตอร์

K_e คือ ค่าคงที่ของแรงดันย้อนกลับ

L คือ อินดักแตนซ์ของอาเมเจอร์

R คือ ความต้านทานที่ขั้วของอาเมเจอร์

สมการไดนามิกของมอเตอร์ คือ

$$T_g = J (d\omega / dt) + B\omega + T_f + T_L \quad \text{----- (4)}$$

เมื่อ T_g คือ แรงบิดที่กำเนิดโดยมอเตอร์

J คือ ผลรวมของ โมเมนต์ของแรงเฉื่อยของมอเตอร์

B คือ สัมประสิทธิ์ของวิสคอสแดมป์ปิ้ง

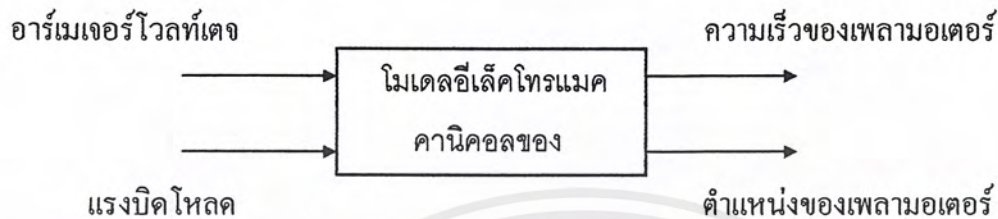
T_f คือ แรงบิดเสียดทานภายใน

T_L คือ แรงบิดโหลด

ข้อดีของมอเตอร์แบบฟีดแบ็คแม่เหล็กถาวร ซึ่งเหนือกว่ามอเตอร์แบบมีโครงสร้างของฟีดแบ็คด้วยการพันของขดลวดคือไม่มีกำลังสูญเสียในฟีดแบ็คมีประสิทธิภาพสูงกว่าและมีขนาดเล็กลงเมื่อเทียบกับมอเตอร์ที่มีขนาดของกำลังม้าเท่ากัน

ดีซีมอเตอร์ที่ใช้ร่วมกับดีซีแอมพลิไฟทั้งในระบบการบังคับตำแหน่งและการบังคับความเร็ว มักจะได้รับการประยุกต์ใช้ เป็นส่วนประกอบสร้างกำลังงานในระบบการนำร่องและระบบการบังคับต่างๆ และเนื่องจากวิทยาการเกี่ยวกับสารแม่เหล็กและการขยายด้วยซิลิคอนสเตท ทำให้ดีซีมอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวรได้รับความนิยมใช้เป็นส่วนประกอบการขับเคลื่อนในระบบการบังคับแบบปิดลูปต่างๆมากขึ้น การออกแบบและการชดเชยระบบดังกล่าวได้อย่างเหมาะสม

จะต้องใช้โมเดลคณิตศาสตร์ของส่วนประกอบทั้งหมดในระบบ ในหัวข้อนี้เราจะได้อธิบายโมเดลของดีซีมอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวรและแบบฟีดแบ็กกระตุ้น



โมเดลอีเล็กทรอนิกส์คานิคอล

ส่วนสำคัญของดีซีมอเตอร์แบบฟีดแบ็กกระตุ้นมีโมเดลดังแสดงในรูปที่ 2.1

R_a : ความต้านทานของอาร์เมเจอร์

L_a : อินдукแตนซ์ของอาร์เมเจอร์

V_g : โวลต์เคจกำเนิดในอาร์เมเจอร์ (โวลต์เคจย้อนกลับ)

R_f : ความต้านทานของฟีดแบ็ก

L_f : อินдукแตนซ์ของฟีดแบ็ก

φ : ช่องว่างอากาศของเส้นแรงสนามแม่เหล็ก

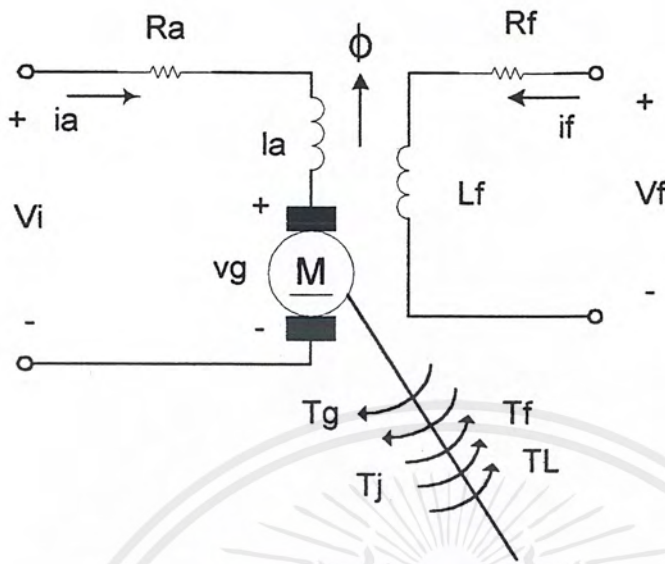
ω : ความเร็วของเพลาอาร์เมเจอร์

T_g : แรงบิดที่พัฒนาขึ้นในมอเตอร์

T_f : แรงบิดเสียดทานของมอเตอร์

T_j : แรงเฉื่อยของมอเตอร์

T_L : แรงบิดโหลดบนเพลาของมอเตอร์



รูปที่ 2.1 แสดงโมเดลของดีซีมอเตอร์แบบฟีดแบ็กแยกกระตุ้น

ขั้นแรกเราจะหาสมการพื้นฐาน โมเดลของดีซีมอเตอร์ได้จากลูปของอาร์เมเจอร์

$$V_i(t) = R_a i_a(t) + L_a \frac{di_a(t)}{dt} + V_g(t) \quad (5)$$

เทอมโวลต์เตจ $V_g(t)$ ในสมการที่ 5 คือโวลต์เตจย้อนกลับของมอเตอร์ซึ่งเกิดขึ้นเมื่อเส้นลวดตัวนำของอาร์มาเจอร์หมุนตัดเส้นแรงแม่เหล็ก ซึ่งเกิดขึ้นโดยกระแสของฟลักซ์ (i_f) ตามกฎของฟาราเดย์ลูปของเส้นลวดตัวนำหมุนในฟลักซ์แม่เหล็กคงที่จะมีการเหนี่ยวนำโวลต์เตจขึ้นในขดลวดนั้น

$$V(t) = \frac{d\lambda(t)}{dt} \quad (6)$$

เมื่อ $\lambda(t)$ เส้นแรงแม่เหล็กที่วิ่งไปยังขดลวดและ t คือเวลาในการหมุนของคอมมิวเตเตอร์ของมอเตอร์ การควบคุมวงจรของแต่ละส่วนของตัวนำในโรเตอร์จะเกิดโวลต์เตจขึ้นในอากาศและความเร็วเชิงมุม $\omega(t)$ หรือเราจะได้ว่า

$$V_g(t) = K \phi(t) \omega(t) \quad \text{-----} (7)$$

สมมติให้กระแสของฟิลด์มีค่าคงที่และไม่คิดถึงส่วนการเปลี่ยนแปลงในเส้นแรงฟิลด์เนื่องจากอาร์มาเจอร์แอคชั่นเส้นแรงฟิลด์ก็มีค่าคงที่ดังนั้นสมการที่ 7 ก็จะกลายเป็น

$$V_g(t) = K_e \omega(t) \quad \text{-----} (8)$$

เมื่อเราสมมติให้เส้นแรงของฟิลด์มีค่าคงที่ แรงบิดของแม่เหล็กไฟฟ้าซึ่งเกิดขึ้นแก่โรเตอร์ของมอเตอร์จะเป็นสัดส่วนกับกระแสอาร์มาเจอร์

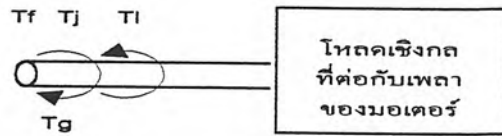
$$T_g(t) = K_t i_a(t) \quad \text{-----} (9)$$

เมื่อ K_t คือ ค่าที่ของแรงบิดของมอเตอร์

กำลังงานเชิงกลที่เกิดขึ้นใน โรเตอร์คือผลคูณของแรงบิดที่เกิดขึ้นและความเร็วเชิงมุม

$$P_g(t) = T_g(t) \omega(t) \quad \text{-----} (10)$$

โรเตอร์และฮีสเตอร์ซิส ดังแสดงในรูปที่ 1.2 แสดงให้เห็นถึงแรงบิดต่างๆที่เกิดขึ้นต่อโหลดมอเตอร์ กำลังงานเชิงกลที่เกิดขึ้นในโรเตอร์ทั้งหมดนี้จะจ่ายไปยังโหลดที่ต่ออยู่กับเพลลาของมอเตอร์ แต่กำลังงานนี้บางส่วนจะสูญเสียไปในมอเตอร์ การสูญเสียเนื่องมาจากแรงเสียดทาน หมายถึง ความหน่วงเนื่องจากลมที่มีต่อโรเตอร์ แรงเสียดทานตัวรองรับโรเตอร์ กระแสที่ไหลวนในเหล็กของ



รูปที่ 2.2 แสดงถึงแรงบิดต่างๆ ที่เกิดขึ้นต่อโหลดของมอเตอร์

$T_g(t)$: แรงบิดของมอเตอร์

$T_f(t)$: แรงบิดที่ต้องชนะการสูญเสียเนื่องจากการเสียดทาน

$T_j(t)$: แรงบิดเพื่อใช้เพิ่มอัตราเร่งแก่ ความเฉื่อยของโหลด

$T_L(t)$: แรงบิดโหลด

ในช่วงเวลาใดๆก็ตาม แรงบิดของมอเตอร์จะต้องเท่ากับและมีทิศทางตรงข้ามกับผลรวมของแรงบิด

$T_f(t)$ $T_j(t)$ และ $T_L(t)$ ดังนั้น

$$T_g(t) = T_f(t) + T_L(t) + J \frac{d\omega(t)}{dt} \quad \text{----- (11)}$$

เมื่อ J คือ ผลรวมของโมเมนต์แรงเฉื่อยของโรเตอร์และโหลดที่ต่ออยู่กับเพลาของมอเตอร์ผลรวมของแรงบิดเสียดทานที่ประกอบกันขึ้นที่เพลาของมอเตอร์ ซึ่งเป็นลิเนียร์ฟังก์ชันกับความเร็วเชิงมุมของโรเตอร์เรียกว่า ส่วนประกอบของวิสคอสฟริกชันและมักจะอยู่ในเทอมที่แยกออกจากฟริกชันอื่นๆ ซึ่งแสดงได้ด้วยสมการต่อไปนี้

$$T_g(t) = T_f(t) + T_L(t) + J \frac{d\omega(t)}{dt} + B\omega(t) \quad \text{----- (12)}$$

เมื่อ B คือ สัมประสิทธิ์ของวิสคอสฟริกชันของมอเตอร์และโหลดที่ต่ออยู่กับเพลาของมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$T_f(t)$ คือ ผลรวมของฟริคชันของโหลดและของมอเตอร์ทั้งหมด มีแรงต้านของลมและการสูญเสียกำลังในเหล็กของเพลามอเตอร์ยกเว้นวิสคอสฟริคชัน

สมการที่ (5), (7), (8) และ (12) เป็นชุดสมการพื้นฐานของดิสทริบิวเตอร์โมเดลและจากสมการเหล่านี้เราสามารถหาค่าทรานสเฟอร์ฟังก์ชันของดิสทริบิวเตอร์ได้ โดยใส่ค่าพารามิเตอร์ทั้งสองข้างของชุดสมการพื้นฐานและเขียนได้ใหม่เป็น

$$V_1(s) - V_g(s) = (R_a + sL_a) I_a(s)$$

$$V_g(s) = K_e \Omega(s)$$

$$T_g(s) = K_t I_a(s)$$

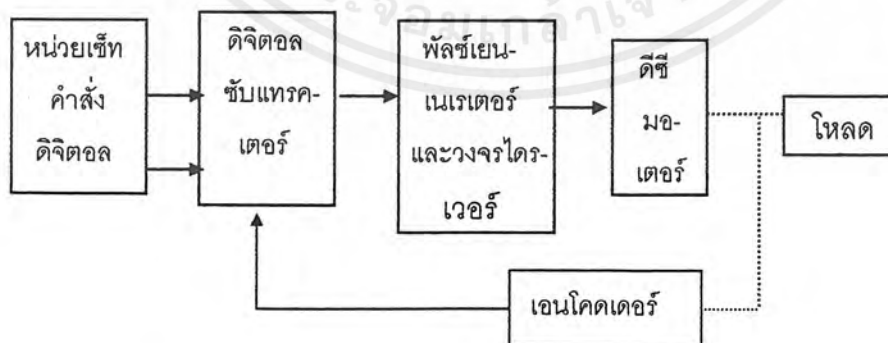
$$T_g(s) - T_f(s) - T_L(s) = (B + sJ) \Omega(s)$$

2.2 ลักษณะการคอนโทรลของระบบดิสทริบิวเตอร์

ระบบดิจิทัลคอนโทรล

ระบบดิจิทัลคอนโทรล คือ ระบบที่คอนโทรลเลอร์ มีฟังก์ชันการแปลงสัญญาณเป็นดิจิทัลทรานสดิวเซอร์ซึ่งสามารถวัดค่าไดนามิกควาริเอเบิลออกมาเป็นสัญญาณดิจิทัลหรือในรูปของสัญญาณแอนะล็อกของไบนารีคือสัญญาณเอาต์พุตของดิจิทัลทรานสดิวเซอร์จะเป็นไค้คไบนารีป้อนกลับไปยังตัวดิจิทัลคอนโทรล เพื่อคอนโทรลให้คุณสมบัติการทำงานของระบบเป็นไปตามที่ต้องการบล็อกระบบของระบบดิจิทัลคอนโทรลของดิสทริบิวเตอร์แสดงได้ในรูปที่ 2.3

ดังนี้



รูปที่ 2.3 แสดงบล็อกไดอะแกรมของระบบดิจิทัลคอนโทรลของดิสทริบิวเตอร์

การคำนวณไดนามิกอินทิเกรชันและดิฟเฟอเรนติเอชัน

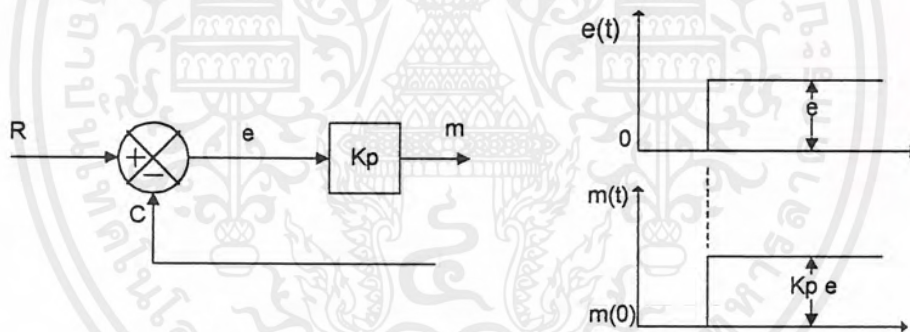
ไดนามิกหรือ time-varying behavior ของโปรเซสและระบบคอนโทรลเป็นคุณสมบัติที่แสดงถึงผลตอบสนองของระบบ ดิจิตอลโปรเซสเซอร์ที่ทำหน้าที่เป็นตัวคอนโทรลเลอร์จะต้องไม่สามารถทำหน้าที่คูณ(ด้วยแฟคเตอร์ที่เป็น proportionnal gain) ได้เท่านั้น ยังต้องทำหน้าที่การอินทิเกรต (reset) และการดิฟเฟอเรนติเอต (rate) ได้ด้วยไมโครโปรเซสเซอร์สามารถทำหน้าที่ดังกล่าวได้

ดิจิตอลคอนโทรลเลอร์หรือไมโครโปรเซสเซอร์ต่างจากอนาลอกคอนโทรลเลอร์คือดิจิตอลคอนโทรลเลอร์จะสุ่มตัวอย่างค่าตัวแปรของโปรเซสเซอร์และให้สัญญาณควบคุมเอาต์พุตค่าจำนวนได้เป็นช่วงสั้น ๆ แทนที่จะเป็นเวลาที่ต่อเนื่อง

1. คุณสมบัติของตัวคอนโทรลเลอร์

1.1 ปรีออปพอร์ชันแนลคอนโทรล

สัญญาณตัวแปรเพื่อการแก้ไขของตัวคอนโทรลเลอร์จะเป็นสัดส่วนกับสัญญาณเออร์เรอร์ ดังแสดงในรูปที่ 2.4 ดังนี้



รูปที่ 2.4 แสดงการคอนโทรลเลอร์แบบปรีออปพอร์ชันแนล

$$m = K_p e + m(0) \quad \text{----- (13)}$$

เมื่อ K_p คือ กำลังขยายของตัวคอนโทรลเลอร์แบบปรีออปพอร์ชันแนล

$m(0)$ คือ เอาต์พุตของตัวคอนโทรลเลอร์เมื่อเออร์เรอร์เป็นศูนย์

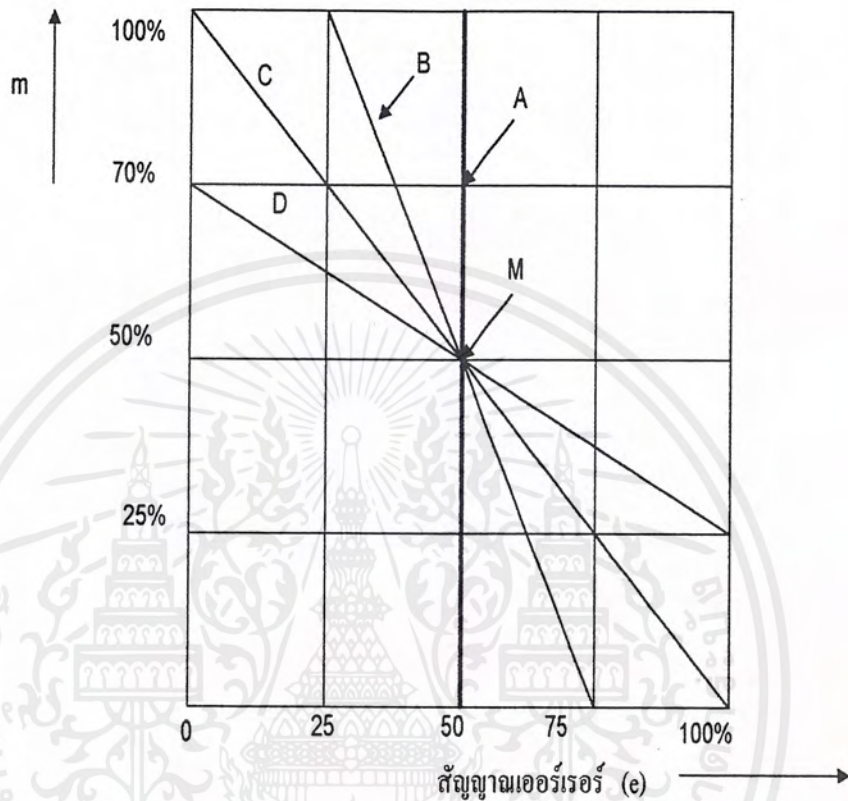
การคอนโทรลแบบนี้มักจะแสดงอยู่ในรูปของปรีออปพอร์ชันแนลแบนด์ (PB) มีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์ ค่า PB คือค่าสัญญาณเออร์เรอร์ที่ทำให้สัญญาณควบคุมเปลี่ยนไป 100 % เมื่อ PB เท่ากับ 50% หมายถึงถ้าสัญญาณเออร์เรอร์เกิดขึ้น 50% สัญญาณควบคุมจะเปลี่ยนไป 100% ดังแสดงในรูปที่

2.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$K_p = (1/K_p) * 100 \quad [\%]$$

สัญญาณควบคุม



รูปที่ 2.5 ปรีอบฟอร์ชันนัลแบนด์

A : PB = 0%	,	$K_p = \infty$	(100/0)
B : PB = 50%	,	$K_p = 2$	(100/50)
C : PB = 100%	,	$K_p = 1$	(100/100)
D : PB = 200%	,	$K_p = 0.5$	(100/200)

จากรูปที่ 2.5 แสดงว่าค่า PB เป็นตัวบอกความไวของการแก้ความผิดพลาดจึงอาจเรียกค่า K_p ว่า ความไวของปรีอบฟอร์ชันนัลคอนโทรลได้อีกชื่อหนึ่ง

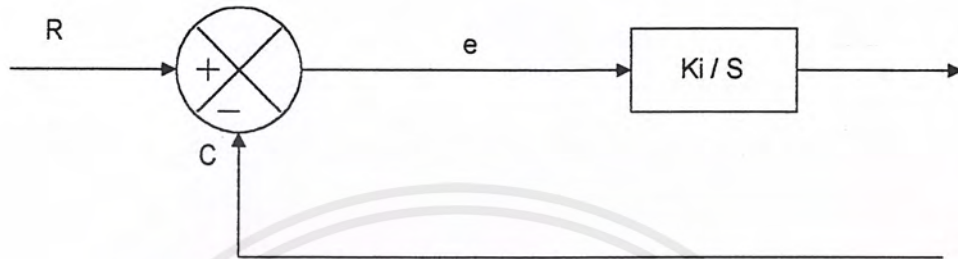
ข้อเสียของการคอนโทรลแบบปรีอบฟอร์ชันนัล คือ กรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงโหลดจะเกิดค่าออฟเซต (ค่าผิดพลาด) ของสัญญาณกระบวนการ (C) ที่สถานะคงที่ โดยเฉพาะกับกระบวนการที่มีไทม์แล็กมากๆ การแก้ไขด้วยการลดค่า PB แต่ไม่สามารถกำจัดค่าได้หมดเพราะถ้าค่า K_p สูงเกินไป

การควบคุมจะเกิดการออสซิลเลชัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อินติกรัลคอนโทรล

การคอนโทรลแบบอินติกรัล ค่าสัญญาณควบคุม (m) จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับค่าอินทิกรัลของสัญญาณเออร์เรอร์ (e) จึงสามารถแก้ค่าออฟเซ็ทได้ การควบคุมแบบนี้บางทีเรียกว่า รีเซ็ทแอนด์ชั่ง



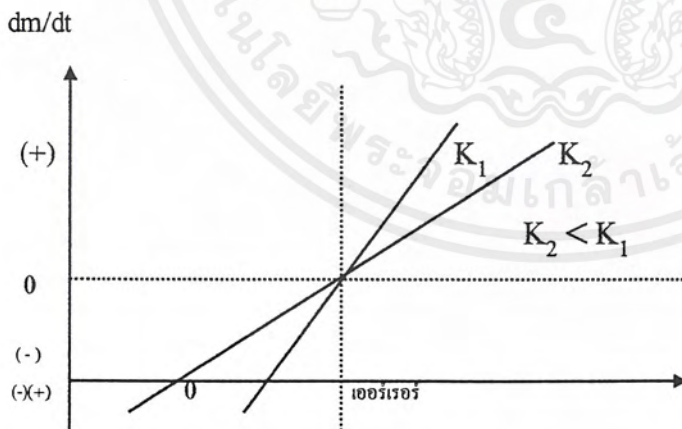
รูปที่ 2.6 การคอนโทรลแบบอินติกรัล

$$\frac{dm}{dt} = K_i e \quad (14)$$

เมื่อ K_i : ค่าคงที่มีหน่วย (%/วินาที/%)

$T_i = 1/K_i$: อินติกรัลไทม์ มีหน่วยเป็น (วินาที)

จากสมการที่ (14) เราหาเอาท์พุทของตัวคอนโทรลเลอร์



รูปที่ 2.7 แสดงอัตราการเปลี่ยนแปลงของเอาท์พุทขึ้นอยู่กับกำลังขยายและเออร์เรอร์

เมื่อเออร์เรอร์คงที่ m เอาท์พุทของคอนโทรลเลอร์จะเป็นฟังก์ชันกับเวลา

เมื่อระบบมี $K_i = K_1$ จะมีอินติกรัลไทม์ $= T_1$

เมื่อระบบมี $K_i = K_2$ จะมีอินติกรัลไทม์ $= T_2$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

T_i (อินทิกรัลไทม์) คือค่าเวลาที่ใช้ในการเพิ่มค่าของสัญญาณควบคุม (m) จนกว่าสัญญาณผลต่างจะหมดไป ดังนั้นถ้าค่า T_i น้อย action จะเกิดเร็ว ทำให้สัญญาณ $e = 0$ เร็วแต่มีข้อเสียที่ว่าถ้าค่า T_i น้อยเกินไปจะทำให้ค่า ξ ของกระบวนการมีค่าต่ำ อาจทำให้ระบบขาดเสถียรภาพ (unstable) ได้ แต่ถ้าให้ T_i มากเกินไป ค่า stabilizing time ของกระบวนการจะยาวเกินไป

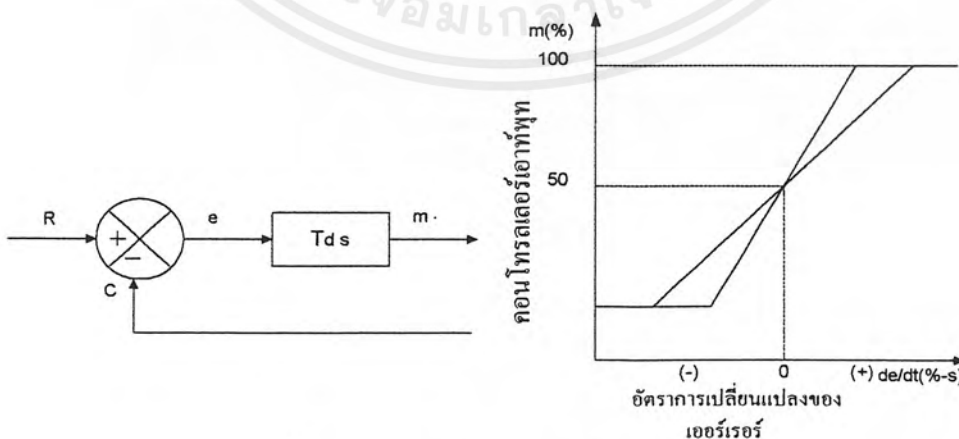
คิริเวทียฟคอนโทรล

การควบคุมแบบนี้เหมาะกับกระบวนการที่มีไทม์แล็กมาก ๆ เพราะสามารถแก้ค่าผิดพลาดโดยการกระทำล่วงหน้าก่อนที่จะมีความผิดพลาดเกิดขึ้น สัญญาณควบคุมจะแปรตามอัตราการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณเออร์เรอร์ (e) การคอนโทรลแบบคิริเวทียฟหรือการคอนโทรลนี้ไม่สามารถนำไปใช้งานแบบเดี่ยวโดดๆ ได้ เพราะว่าเมื่อเออร์เรอร์เป็นศูนย์หรือมีค่าคอนโทรลเลอร์จะไม่ให้สัญญาณเอาต์พุตเลย (หมายถึง $m = 0$ ด้วย)

ดังสมการของ m หาได้ดังนี้

$$m = T_d \frac{de}{dt} + m(0) \quad (15)$$

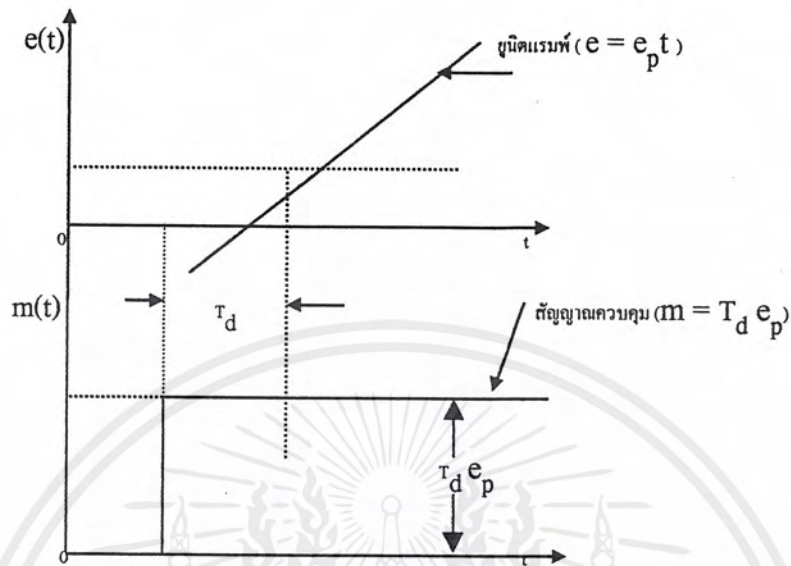
เมื่อ T_d คือ กำลังขยายคองทีของคิริเวทียฟคอนโทรล (% - s / %) หรืออาจเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า คิริเวทียฟไทม์ (มีหน่วยเป็นนาที)



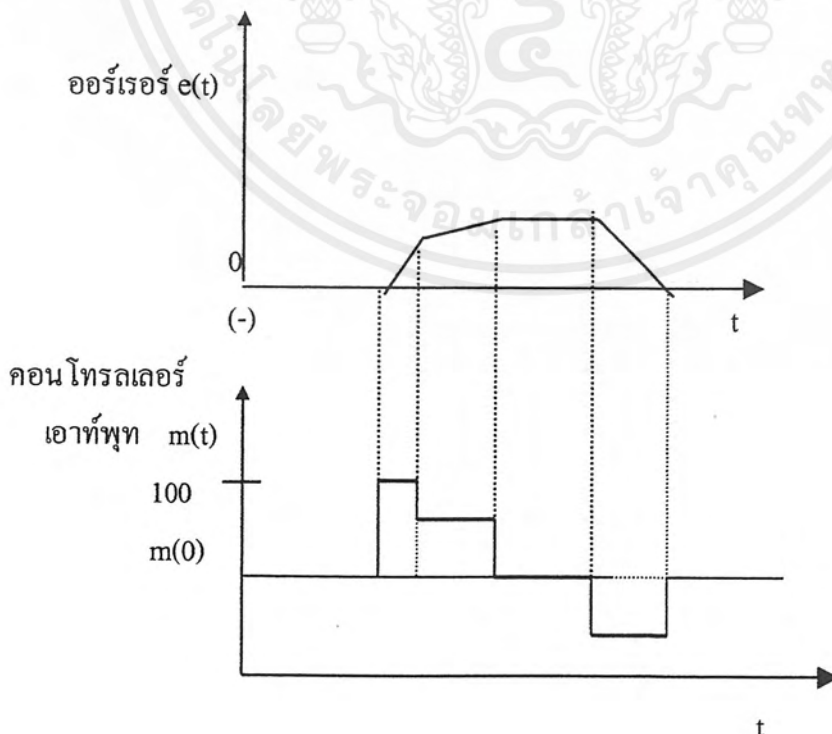
รูปที่ 2.8 แสดงวงจรการควบคุมแบบคิริเวทียฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวคอนโทรลเลอร์แบบดิวิเวทิฟคอนโทรล



T_d คือ เวลาที่สัญญาณควบคุมนำหน้า (lead) สัญญาณเออร์เรอร์อยู่ ค่าสัญญาณเออร์เรอร์ (e) ที่เป็นยูนิตแรมพ์เป็นสัญญาณเออร์เรอร์ที่เกิดจากกระบวนการที่มีช่วงเวลาดำหลังมาก ๆ D - แอคชั่นจะมีผลต่อสัญญาณเออร์เรอร์ (e) มีการเปลี่ยนแปลงเท่านั้น ถ้าสัญญาณเออร์เรอร์คงที่ D - แอคชั่นจะหมดปฏิกิริยาทันที



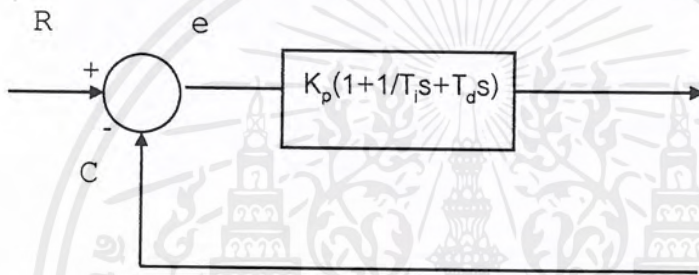
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอาที่พหุของคอนโทรลเลอร์จะขึ้นอยู่กับอัตราการเปลี่ยนแปลงของเออร์เรอร์ และจะไม่ขึ้นอยู่กับค่าเออร์เรอร์ที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลง

ข้อเสียของ D- คอนโทรลเลอร์ คือมีความไวต่อสัญญาณเออร์เรอร์ (e) มาก โดยเฉพาะกรณี T_d ค่ามาก จะทำให้ระบบไม่เสถียรภาพจึงไม่เหมาะสมกับกระบวนการที่มีค่าเวลาดำลั้งน้อย ๆ กระบวนการที่มีการเปลี่ยนแปลงได้ง่าย เช่น ระบบควบคุมการไหลหรือระบบควบคุมความดัน เป็นต้น

ปรียบพอร์ชันนัลอินทิเกรตริเวทีฟคอนโทรล

PID - คอนโทรล คือการรวมระหว่างการควบคุมแบบ P- คอนโทรล I- คอนโทรล D- คอนโทรล เข้าด้วยกันดังแสดงได้ในรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 แสดง PID คอนโทรลเลอร์

การคอนโทรลแบบ PID สามารถแก้ข้อเสียของปรียบพอร์ชันนัลคอนโทรลและลดโอเวอร์ชูท ที่ทำให้เกิดการออสซิลเลท เนื่องจากอินทิเกรตคอนโทรลและจะให้ผลตอบสนองรวดเร็วตามคุณสมบัติของคิรีเวทีฟคอนโทรล

ดิจิตอลคอนโทรลเลอร์

การคำนวณ ไดนามิคอินทิเกรชันและคิฟเฟอเรนติเอชันไดนามิคหรือ time-varying behavior ของโปรเซสและระบบคอนโทรลเป็นคุณสมบัติที่แสดงถึงผลตอบสนองของระบบ ดิจิตอลโปรเซสเซอร์ที่ทำหน้าที่เป็นตัวคอนโทรลเลอร์จะต้องไม่สามารถทำหน้าที่คูณ (ด้วยแฟคเตอร์ที่เป็น proportional gain) ได้เท่านั้น ยังต้องทำหน้าที่การอินทิเกรต (reset) และการคิฟเฟอเรนติเอท (rate) ได้ด้วย ไมโครโปรเซสเซอร์สามารถทำหน้าที่ดังกล่าวได้

ดิจิตอลคอนโทรลเลอร์หรือไมโครโปรเซสเซอร์ ต่างจากอนาลอกคอนโทรลเลอร์คือ ดิจิตอลคอนโทรลเลอร์จะสุ่มตัวอย่าง ค่าตัวแปรของโปรเซส และให้สัญญาณควบคุมเอาต์พุตที่คำนวณได้เป็นช่วงสั้น ๆ แทนที่จะเป็นเวลาต่อเนื่อง

การพัฒนาอัลกอริทึมของดิจิตอลคอนโทรล

การใช้ไมโคร โปรเซสเซอร์เป็นตัวคอนโทรลเลอร์ เราจะต้องรู้วิธีการแปลงรูปแบบการคอนโทรลแบบอนาลอกที่เป็นมาตรฐานให้เป็นดิจิตอลซอฟต์แวร์ เหมือนกับที่เราจะพัฒนารูปแบบการคอนโทรลใหม่ ๆ ขึ้นอย่างไรซึ่งบางกรณีความสามารถของดิจิตอลโปรเซสเซอร์มีข้อได้เปรียบที่ดีกว่าอนาลอกคอนโทรล

ข้อดี ของดิจิตอลโปรเซสเซอร์มีหลายรูปและประกอบด้วยคุณประโยชน์ที่เห็นได้ชัดคือ

1. ให้ไท์มคอนสแตนท์ในหน่วยความจำได้ยาวไม่จำกัดซึ่งทำให้เราสามารถใช้อัลกอริทึมมาตรฐาน ที่มีรีเซ็ตไท์ม (reset time) ยาวผิดปกติได้
2. มีความสามารถที่จะชดเชย (compensate) โปรเซสที่มี dead times ยาวนานได้
3. มีความสามารถที่จะสร้างให้เกิดสมการ deadbeat, สมการ optimum และสมการการคอนโทรลอื่น ๆ ขึ้นได้

การแปลงสมการคอนโทรลจากสมการต่อเนื่อง (contineous) ไปเป็นแบบ sample data (ดิจิตอล) สามารถกระทำได้โดยใช้ Z ทรานสฟอร์ม หรือโดยสมการแตกต่าง (difference equation) ตามปกติวิธีการของสมการแตกต่างจะง่ายที่จะทำความเข้าใจได้ดีกว่า และสร้างขึ้นในรูปแบบง่าย ๆ ซึ่งจะทำให้เกิดความผิดพลาด (error) น้อยด้วย ดังนั้นเราจึงใช้ในการพัฒนาอัลกอริทึมในที่นี้

ฟิลเตอร์แบบล่าหลัง (Lag Filter) อันดับที่หนึ่ง

ในระบบดิจิตอลคอนโทรลเกือบทั้งหมดมีความจำเป็นต้องใช้ออนาลอกฟิลเตอร์ เป็นภาคแรกที่ต้องอยู่ภายนอกเนื่องจากผลของการแปลงป้อน หรือการรบกวนจากควมถี่สูงซึ่งอาจเกิดขึ้นได้ในระบบ sampled data ทั่วๆ ไป ตามปกติเรามักจะใช้วงจรที่เป็นฮาร์ดแวร์ของโลว์พาสฟิลเตอร์ที่มีค่าคงที่ในระบบย่อย (data acquisition) และตามด้วยดิจิตอลฟิลเตอร์ที่ปรับค่าได้ เรามักจะใช้ฟิลเตอร์ทั้งสองแบบในรูปของ first - order lags

ขั้นตอน การหาดิจิตอลอัลกอริทึมด้วยวิธีของสมการผลต่าง (difference equation) มีดังนี้

1. ให้เขียนรูปแบบของทรานสเฟอร์ฟังก์ชันที่หาได้ของสมการคอนโทรลในฟอร์มของอนาลอก โดยใช้สัญลักษณ์ของลาปลาซทรานสฟอร์ม
2. เปลี่ยนสัญลักษณ์ของลาปลาซ (Laplace notation) ไปเป็นรูปแบบของสมการดิฟเฟอเรนเชียล
3. ค่อยจากนั้นแทนด้วยสมการดิฟเฟอเรนเชียลด้วยสมการแตกต่าง โดยใช้การประมาณทาง ดิจิตอล

$$\boxed{Dd/Dx = (Dn - Dn-1)/Ts} \text{ ----- (16)}$$

เมื่อ Ts เป็นช่วงเวลาการ sampling เท่ากับ $Tn - Tn-1$

4. คำนวณหาค่าตัวแปรปัจจุบัน (ที่มีสัญลักษณ์ห้อยด้วย n) โดยใช้ค่าตัวแปรในอดีตที่อยู่ขวามือของสมการเท่านั้น (สัญลักษณ์ที่ห้อยด้วย n-I เมื่อ I มีค่าเท่ากับหรือมากกว่า 1)

PID อัลกอริทึม

รูปของโปรเซสทั่ว ๆ ไปที่มีทรานสเฟอร์ฟังก์ชันของ plant ที่มีคุณลักษณะที่ไม่สมบูรณ์มักจะถูกคอนโทรลด้วย PID อัลกอริทึมที่ใช้กันทั่ว ๆ ไปหรือ PID อัลกอริทึม

PID ในอุดมคติคือผลรวมขององค์ประกอบ ปรีออปอร์ชันนัลอินติกรัล และดิฟเฟอเรนเชียล ซึ่งอยู่ในรูปของลาปลาซทรานฟอร์ม

$$\text{เอาต์พุต/อินพุต} = V/E = K(1 + 1/T_i S + T_d S)$$

ในทางปฏิบัติ ความถี่สูงจะถูกจำกัดด้วยโลว์พาสฟิลเตอร์ (first order lag)

$$\text{โลว์พาสฟิลเตอร์} = 1/1 + T_f S$$

$$\boxed{V/E = (T_2 S + 1/\gamma T_2 S + 1) * K_1 (1 + 1/T_i S)}$$

เมื่อ V = เอาต์พุต (ไปยังมอเตอร์)

E = เออร์เรอร์ (SP - PV)

T_1 = อินทิกรัลไทม์คอนสแตนต์ที่แท้จริง

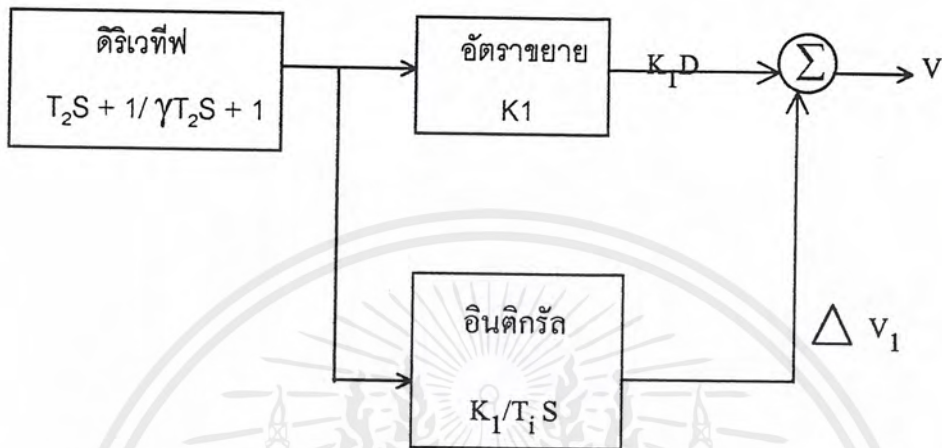
T_2 = คิริเวทไฟไทม์คอนสแตนต์ที่แท้จริง

γ = ค่าคงที่ของแอมพลิฟายด์

S = ลาปลาซอเปอเรเตอร์

K_1 = อัตราขยาย

จากสมการเป็นสมการคอนโทรลที่จะนำไปใช้สร้างซอฟต์แวร์บล็อค และเหมาะสมกับการใช้งานกับไมโครโปรเซสเซอร์ จากรูปที่ 2.9 แสดงถึงบล็อกของ PID ที่จะนำไปสร้างสมการแตกต่าง



อัลกอริทึมการคอนโทรลความเร็วที่มีรูปแบบไม่เกิดการกระเพื่อม (bumpless) เราสามารถจะพัฒนาขึ้นได้ในรูปแบบของ PID ที่แท้จริงด้วยการแก้ไขสมการที่แล้วเพียงเล็กน้อย

$$V/E = (T_2 S + 1 / \gamma T_2 S + 1) (K_1 S + K_1 / T_1) * 1/s$$

ปรับปรุงการคำนวณดิริเวทีฟและอินทิกรัล

เราสามารถจะพัฒนาและปรับปรุงอัลกอริทึมพื้นฐานไปได้หลายรูปแบบ อันหนึ่งที่เราสนใจ คือวิธีการคำนวณความแตกต่างทางดิจิทัลของเทอมดิริเวทีฟ มักจะเกิดปัญหาเกี่ยวกับสัญญาณรบกวน (นอยส์) ในการหาความแตกต่างครั้งแรกด้วยการใช้อัลกอริทึมการกำหนดตำแหน่ง และนอยส์จะเกิดมากขึ้นในการหาความแตกต่างครั้งที่สองด้วยการใช้อัลกอริทึม การกำหนดความเร็ว

การหาความแตกต่างครั้งแรก ๆ (ซึ่งสอดคล้องกับ d/dt ในกรณีอนุพันธ์)

$$\Delta E_n = E_n - E_{n-1}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และการหาสมการแตกต่างครั้งที่สอง (ซึ่งสอดคล้องกับ d/dt^2) คือ

$$\begin{aligned}\Delta^2 E &= \Delta E_n - \Delta E_{n-1} \\ &= (E_n - E_{n-1}) - (E_{n-1} - E_{n-2})\end{aligned}$$

ดังนั้น $\Delta^2 E = E_n - 2E_{n-1} + E_{n-2}$

เนื่องจากการดิฟเฟอเรนเชียลหรือการคำนวณเชิงตัวเลขที่เทียบเท่ากับการดิฟเฟอเรนติเอท กระบวนการหาความแตกต่างที่ค่อนข้างหยาบ ซึ่งเป็นทางนำไปสู่การเกิดความผิดพลาดของข้อมูลและการเกิดนอยส์ ดังนั้นเราจำเป็นต้องทำการกรองสัญญาณนอยส์ออกก่อนที่จะทำการคำนวณการดิริเวทิฟ จากสัญญาณที่ถูก sampled

เราได้เคยกล่าวถึงปัญหาการใช้โลว์พาสฟิลเตอร์แบบอนาลอกและดิจิตอลฟิลเตอร์ในภาคแรก ก่อนทำการคำนวณใด ๆ นอกจากนี้แล้วยังมีเทคนิคที่มักจะใช้กันคือใช้สูตร interpolation โดยกำหนดค่าของหลาย ๆ จุดที่มีช่วงห่างเท่าๆ กันจากนั้นเราก็สามารถจะทำการวิเคราะห์การดิเฟอเรนติเอท ได้ซึ่ง จะให้การดิริเวทิฟที่ราบเรียบมากขึ้น

สูตรอันหนึ่งที่นิยมใช้กันมากคือ อัลกอริทึมการกำหนดความเร็ว คือเทคนิคการหาความแตกต่าง 4 จุด สมมติว่าทั้ง 4 จุด E_n ถึง E_{n-3} มีช่วงห่างเท่ากันหมายถึงช่วงการ sampled เท่ากัน

นิยาม

$$E^* = \frac{E_n + E_{n-1} + E_{n-2} + E_{n-3}}{4}$$

ค่าผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณในอัลกอริทึมนี้จะมีค่าความผิดพลาดต่ำสุด แต่การคำนวณนี้ต้องใช้เพิ่ม หน่วยความจำสำหรับเก็บค่าย้อนหลังของตัวแปร E เพิ่มขึ้นจากเดิม 2 ค่า

การคำนวณอินทิกรัล หรือ ซัมเมชัน จะไม่เกิดปัญหาเกี่ยวกับนอยส์และความผิดพลาด (error) ก็ตาม เรา ก็ยังสามารถแก้ไขให้มีความถูกต้องเที่ยงตรงดีขึ้นได้ สำหรับการอินทิกรัลแบบรูปสี่เหลี่ยมย่อยๆ

$$\sum_{i=0}^n e_i T_s$$

เราสามารถแทนค่าด้วยสูตรของสี่เหลี่ยมคางหมูได้

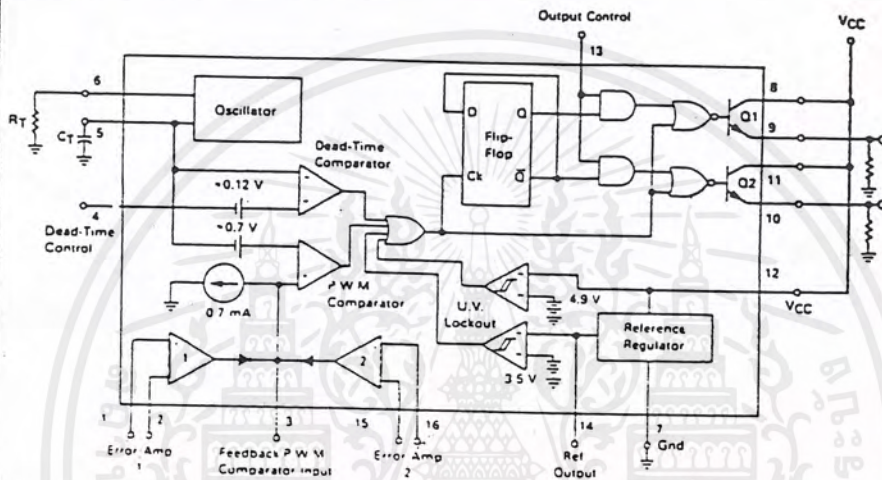
$$\sum_{i=0}^n \frac{e_i + e_{i-1}}{2} \times T_s$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คุณค่าที่ได้จากการปรับปรุงความถูกต้องเที่ยงตรงในการคำนวณให้ดีขึ้นก็จำเป็นต้องใช้เพิ่มหน่วยความจำเพิ่มขึ้นด้วยและใช้เวลาในการคำนวณเพิ่มขึ้นด้วย

2.3 วงจรพัลส์วิดท์มอดูเลเตอร์

ไอซีเบอร์ TL 494 เป็นไอซีที่ออกแบบมาเพื่อใช้ควบคุมการนำกระแสของทรานซิสเตอร์ โดยในส่วนนี้จะป็นวงจรที่กำเนิดความถี่คงที่ค่าหนึ่ง สามารถปรับค่า คิวตี้ไซเคิลของพัลส์ได้ตั้งแต่ แสดงในรูปที่ 2.10 การทำงานของไอซีจะเป็นดังนี้

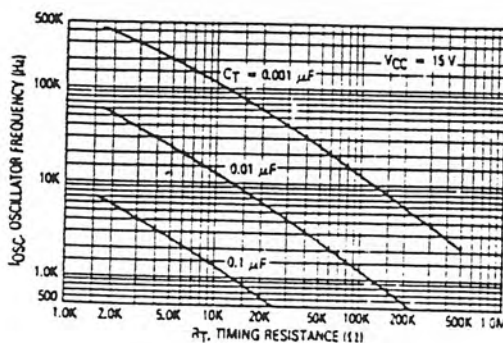


รูปที่ 2.10 แสดงการจัดโครงสร้างภายในและการจัดขาของไอซี TL 494 (ที่มา:Motorola)

การกำหนดคาบเวลาการทำงาน

วงจรของ TL 494 เป็นวงจร PWM ที่มีความถี่คงที่ คาบเวลาการทำงานของเอาต์พุตพัลส์กำหนดโดยค่าของ R_t และ C_t จากภายนอกที่ขา 6 และขา 5 ของไอซี ค่าคาบเวลาการทำงานจะกำหนดได้จาก

$$T = R_t \times C_t / 1.1$$



เอกสารนี้เป็นเอกสารรูปที่ 2.11 แสดงความสัมพันธ์ของค่า R_t , C_t ในการกำหนดความถี่

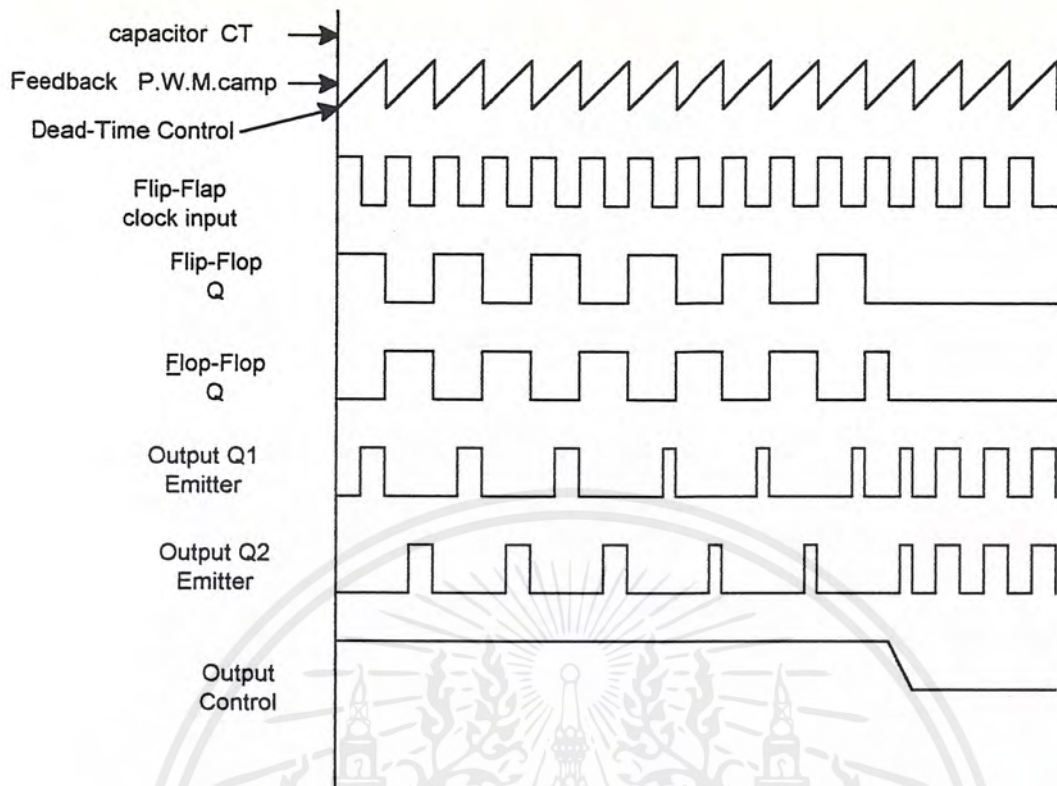
ในการคำนวณใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

040585

การทำงานของ TL 494 ในการคงค่าแรงดัน

ความกว้างเอาต์พุตพัลส์ของไอซี จะได้จากการเปรียบเทียบสัญญาณฟันเลื่อยที่ขา S กับแรงดันที่ได้จากวงจรขยายความแตกต่าง (Error Amp) ทั้ง 2 ตัว PWM Comparator ส่วน นอร์เกต ที่ควบคุมทรานซิสเตอร์เอาต์พุต Q1 และ Q2 จะทำงานก็ต่อเมื่อขา Ck ของ Flip-Flop อยู่ในสถานะ “ Low ” เท่านั้น ซึ่ง จะเป็น “ Low ” ได้ก็ต่อเมื่อแรงดันของสัญญาณฟันเลื่อยมีค่ามากกว่าแรงดันที่มาจาก Error Amp ทั้ง 2 ตัว นั่นคือแรงดันป้อนกลับจากเอาต์พุตของคอนเวอร์เตอร์หากมีค่าสูงขึ้น ความกว้างเอาต์พุตพัลส์ของไอซีจะลดลง ในทางกลับกันแรงดันป้อนกลับมีค่าลดลงความกว้างของพัลส์ของไอซีจะเพิ่มขึ้น

ความกว้างเอาต์พุตพัลส์ของไอซีนี สามารถกำหนดให้มีค่ามากที่สุดหรือมีค่าเท่ากับศูนย์ได้ ด้วยการเปลี่ยนแปลงแรงดันที่เข้าที่ขา 3 จาก 0.5 โวลต์ จนถึง 3.5 โวลต์ ส่วน Error Amp ทั้งสองตัวจะมีช่วงของอินพุตคอมมอนโหมด ตั้งแต่ -0.3 ถึง $(V_{cc}-2)$ โวลต์ และสามารถใช้ตรวจจับแรงดันหรือกระแสที่เอาต์พุตของคอนเวอร์เตอร์ ได้ Error Amp ทั้ง 2 ตัวจะให้เอาต์พุตในลักษณะให้สถานะ “ High ” (Active high) โดยต่อกันอยู่ในลักษณะ OR ที่ขา non-inverting ของ PWM Comparator การต่อกันในลักษณะนี้ Error Amp ตัวที่ทำให้เกิดกว้างเอาต์พุตต่ำสุด จะเป็นตัวควบคุมความกว้างของเอาต์พุตพัลส์ของไอซี



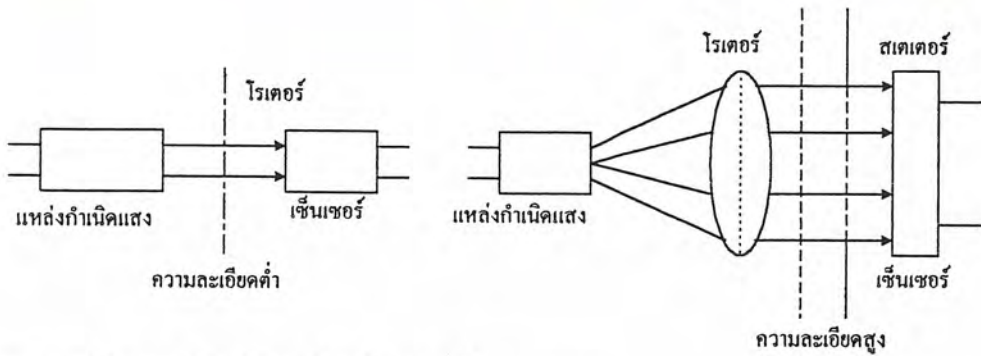
รูปที่ 2.12 แสดงรูปคลื่นลักษณะการทำงานของไอซี TL 494

2.4 การตรวจจับสัญญาณ (senser current)

อินคริเมนต์เอน โคเดอร์

ในระบบการบังคับตำแหน่งหรือความเร็วของมอเตอร์ต้องใช้อินคริเมนต์โคเดอร์หรือเอนโคเดอร์สำหรับรักษาค่าตำแหน่งและสำหรับสร้างสัญญาณป้อนกลับ โดยที่ตัวเอนโคเดอร์จะสร้างสัญญาณพัลส์ที่แปรผันตรงกับการหมุนของเพลตซึ่งสามารถนำไปใช้ในการรับรู้ความเร็วของเพลตมอเตอร์ในรูปของอัตราจำนวนพัลส์ได้

อินคริเมนต์เอนโคเดอร์ประกอบด้วยส่วนที่สำคัญคือตัวกำเนิดแสงงานหมุนงานอยู่กับที่และตัวเซ็นเซอร์บนแผ่นงานหมุนทำเป็นช่องโดยรอบและบนแผ่นอยู่กับที่จะมีช่องสำหรับให้แสงผ่านตรงข้างไปยังตัวเซ็นเซอร์ ถ้าเป็นเอนโคเดอร์ที่ใช้วัดความเร็วค่าไม่ต้องมีแผ่นอยู่กับที่ก็ได้ ส่วนตัวกำเนิดแสงอาจจะเป็นหลอดไฟฟ้า LED



ความละเอียดของอินทรีเมนต์เอนโคเดอร์

ความละเอียดของเอนโคเดอร์คือจำนวนคาบเวลาของสัญญาณเอาต์พุตต่อการหมุนของเพลต 1 รอบ ซึ่งบวกเป็นจำนวนพัลส์ต่อรอบหรือจำนวนไซเคิลต่อ 360 องศา มุมทางเชิงกลหรือไซเคิลต่อองศา เอนโคเดอร์ที่ใช้กันทั่วไปมีค่าความละเอียดตั้งแต่ 15 ถึง 10,000 พัลส์ต่อรอบ

ในทางปฏิบัติเนื่องจากแสงที่ออกจากแหล่งกำเนิดเป็นลำแสงเดี่ยวถ้าเราต้องการให้แสงที่ผ่านช่องไปยังเซ็นเซอร์เป็นเส้นตรงพร้อมๆ กัน(collimation) ก็ทำได้โดยใช้เลนส์หรือ พาราโบลิครีเฟลกเตอร์

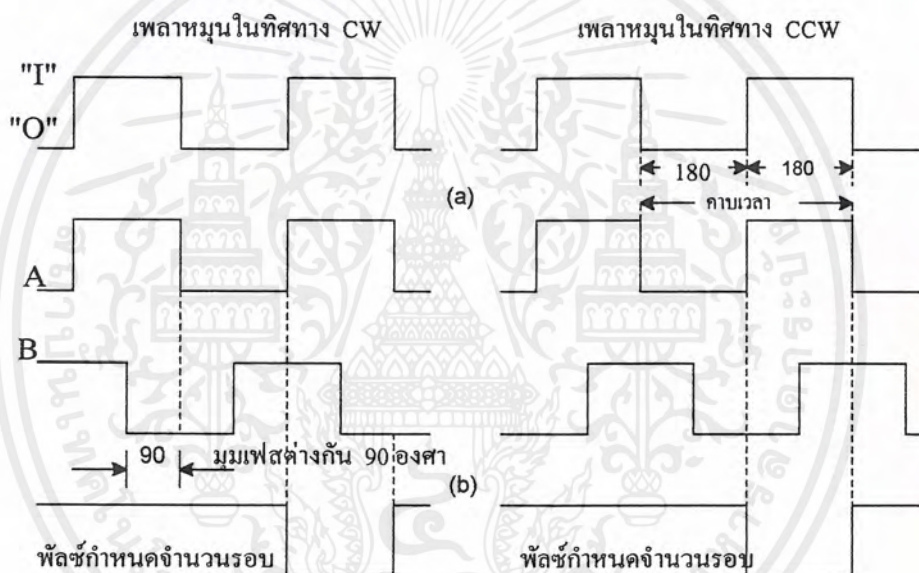
จำนวนพัลส์ต่อ 1 รอบของสัญญาณที่เอนโคเดอร์สร้างออกมาจะเท่ากับจำนวนช่องว่างบนแผ่นจานหมุน และความกว้างของช่องว่างกับความกว้างของแถบที่บระหว่างช่องว่างจะเท่ากัน เพราะฉะนั้นเราสามารถคำนวณหาความกว้างของช่องว่าง (ω) ได้จาก

$$\omega = \frac{\pi D}{2N}$$

เอาต์พุตของเอนโคเดอร์

โดยทั่วไปแล้วสัญญาณเอาต์พุตที่ออกจากเอนโคเดอร์โดยตรงจะมีระดับไม่เพียงพอในการควบคุมหรือสำหรับการประมวลสัญญาณ ดังนั้นจึงต้องมีวงจรขยายและแปลงรูปร่างลูกคลื่นสัญญาณต่อไว้ในตัวเอนโคเดอร์ด้วยเสมอ สัญญาณลูกคลื่นที่ได้จากตัวเซ็นเซอร์ปกติแล้วจะเป็นรูปสัญญาณตามเหลี่ยมหรือรูปสัญญาณซายน์ขึ้นอยู่กับความละเอียดที่ต้องการ รูปสัญญาณเหล่านี้สามารถทำให้เป็นสัญญาณรูปสี่เหลี่ยมได้โดยการต่อตัวคอมพาราเตอร์เข้ากับลิเนียร์แอมพลิไฟของเอนโคเดอร์ก็จะได้อาต์พุตเป็นลูกคลื่นสี่เหลี่ยมตามต้องการ

รูป (a) แสดงถึงลูกคลื่นเอาท์พุทที่เหลื่อมของเอนโคเดอร์ชนิด 1 ช่องไม่ว่าเพลลาจะหมุนในทิศทางใดก็ได้ สัญญาณออกมาเหมือนกันจึงเหมาะที่จะใช้กับงานที่ไม่กำหนดทิศทางเท่านั้น ส่วนในรูป (b) แสดงสัญญาณ 2 ชุดที่ได้จากเอนโคเดอร์ชนิด 2 ช่องเฟสของสัญญาณ 2 ช่องนี้จะต่างกัน 90 องศาทางไฟฟ้าเราเรียกสัญญาณ 2 ช่องนี้ว่าเป็นควอดราเจอร์ (quadrature) กันซึ่งเหมาะจะใช้ในการรับรู้ทิศทางการหมุนของเพลลา หรือใช้ควบคุมระบบที่ซับซ้อนอื่นๆ จากสัญญาณในรูป (b) จะเห็นได้ว่าสัญญาณทั้ง 2 ช่องจะเริ่มจาก 0 ถึง 1 และ 1 ถึง 0 ขึ้นอยู่กับทิศทางการหมุนของแผ่นหมุนของเอนโคเดอร์



รูป a. ตัวอย่างรูปคลื่นเอาท์พุทที่เหลื่อมของอุปกรณ์เอนโคเดอร์ช่องเดียว (ไบไดเร็ก)

b. ตัวอย่างสัญญาณเอนโคเดอร์ 2 ช่องมีมุมเฟสต่างกัน 90° (สองทิศทาง)

ในอินทรีเมนต์เอนโคเดอร์บางชนิดจะมีพัลส์ที่แสดงถึงจำนวนรอบของการหมุนสำหรับใช้เป็นศูนย์ในการอ้างอิงพัลส์ที่ใช้แสดงจำนวนรอบนี้จะเกิดขึ้น 1 พัลส์ต่อ 1 รอบ โดยทั่วไปแล้วใช้บอกถึงตำแหน่งเชิงกลหรือใช้เป็นสัญญาณเคลียร์จำนวนที่นับไว้ในหน่วยเก็บข้อมูล

2.5 การแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัล

(ANALOG TO DIGITAL CONVERTER)

ในการเก็บข้อมูลจากอุปกรณ์เซ็นเซอร์บางชนิดเช่น อุปกรณ์เซ็นเซอร์อุณหภูมิ, ความดัน, กระแส, แรงดัน โดยปกติแล้วข้อมูลที่ได้จากตัวเซ็นเซอร์นี้ จะอยู่ในรูปฟังก์ชันที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่องหรือ ที่เรียกว่าสัญญาณอนาลอก ซึ่งค่าข้อมูลเหล่านี้ไม่สามารถนำไปเก็บไว้หรือนำไปประมวลผลร่วมกันกับตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ได้ ดังนั้นจึงต้องทำการแปลงสัญญาณอนาลอกนี้ไปเป็นสัญญาณดิจิทัลก่อนโดยอุปกรณ์ที่เรียกว่า ตัวแปลงอนาลอกเป็นดิจิทัล

ANALOG TO DIGITAL คอนเวอร์เตอร์หรือ ADC ใช้สำหรับการแปลงสัญญาณอินพุตที่เป็นอนาลอกให้เป็น จำนวนจำกัดของดิจิทัลบิต ผลลัพธ์ที่ได้จะอยู่ในรูปของ WORD ทางดิจิทัลซึ่งกลายเป็นรหัสเลขฐานสองที่แทนระดับแต่ละระดับของสัญญาณอนาลอกในขณะที่ DAC กำลังทำการแปลงอยู่

ความละเอียดของADC จะคล้ายกับDAC กล่าวคือ ถ้าจำนวนบิตทางเอาต์พุตมีหลายบิต ความละเอียด ADC ก็จะทำมากขึ้น

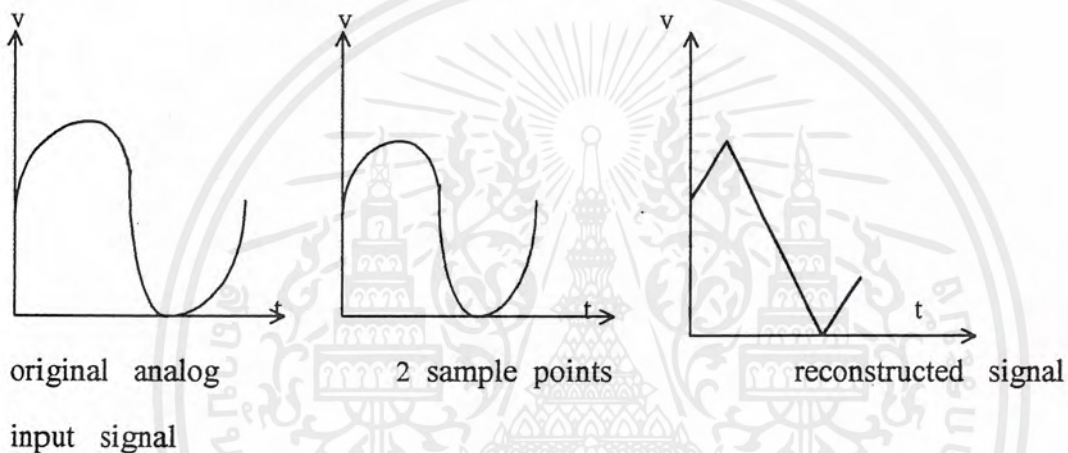
ค่าเวลาการแปลงผัน (Conversion time) เป็นเกณฑ์ที่สำคัญอันหนึ่งของ ADC จะเห็นว่าการแปลงสัญญาณอนาลอก ให้เป็นสัญญาณดิจิทัลไม่ให้เกิดขึ้นโดยทันทีทันใด แต่จะมีการผ่านกระบวนการต่างๆด้วยเหตุที่ผลลัพธ์ต้องการเวลาขณะหนึ่ง ที่จะทำการสุ่มสัญญาณอินพุต และให้สัญญาณดิจิทัลที่เป็นรหัสไบนารี ออกมาที่เอาต์พุต ดังนั้นค่าเวลาการแปลงผัน คือช่วงเวลาที่ต้องการกระบวนการให้เสร็จสิ้นซึ่งมีค่าประมาณ μS สำหรับ DAC ความเร็วสูงและเป็น mS สำหรับ DAC แบบธรรมดาเนื่องจาก การเปลี่ยนแปลง A/D นั้นต้องการกระบวนการเชิงโครโนซ์ ที่แน่นอนและแม่นยำ แหล่งกำเนิดสัญญาณนาฬิกาจึงจำเป็นต้องมีในวงจร

ทฤษฎีการสุ่มตัวอย่าง (sampling theory)

เนื่องจาก ADC ต้องการค่าเวลาขณะหนึ่งที่ใช้ในการแปลงสัญญาณอนาลอกไปเป็น สัญญาณดิจิทัล ช่วงเวลาช่วงหนึ่งจะใช้สำหรับการสุ่มตัวอย่าง(sampling) ของสัญญาณ เช่น ADC สามารถเปลี่ยนเสร็จสมบูรณ์ได้ภายใน 1 mS ดังนั้นมันจะสามารถเปลี่ยนสัญญาณได้ 1000 ครั้งใน 1 วินาที(ในทางทฤษฎี)

อัตราการเปลี่ยนแปลงสัญญาณสูงสุดมีค่าเท่ากับส่วนกลับของค่าเวลาการเปลี่ยน(Conversion rate = $1/\text{conversion time}$)

หรือ 20 Hz ซึ่งจะให้อัตราการสุ่มตัวอย่าง 2 บิต ออกมาในแต่ละไซเคิล เมื่อข้อมูล ตัวคอนเวอร์เตอร์ จะสุ่มตัวอย่างของสัญญาณด้วยอัตราต่ำสุดเป็น 2 เท่าของความถี่สูงสุดของสัญญาณอินพุท ที่เข้ามาอัตรา การสุ่มเรียกว่า Nyquist rate ตัวอย่างเช่น พิจารณาสัญญาณอนาลอกที่เป็นรูปซายน์ 10 Hz จำให้ตัว ADC ตามรูปที่ 2.13 อัตราต่ำสุดของการสุ่มตัวอย่างเป็น $2f$ ดิจิตอลถูกนำมาสร้างเป็นสัญญาณอนาลอก ใหม่โดย DAC สัญญาณอนาลอกตัวใหม่มีลักษณะคล้ายคลึงกับสัญญาณเดิม ถ้าความถี่ 10 Hz เป็น ความถี่สูงสุดที่เข้ามายังตัว ADC ค่าเวลาที่ใช้ในการเปลี่ยนสัญญาณสูงสุดเป็น $1/2f$ นั่นคือ $1/2 \times 10$ หรือ 500 mS เป็นต้น



รูปที่ 2.13 แสดงการสุ่มตัวอย่างสัญญาณอินพุทอนาลอก

ถ้าตัว ADC ไม่สามารถสุ่มตัวอย่างได้เร็วพอต่อสัญญาณอินพุทที่เปลี่ยนแปลงไปข่าวสารข้อมูล ที่บรรจุในสัญญาณอนาลอกทางอินพุทจะสูญหายไป

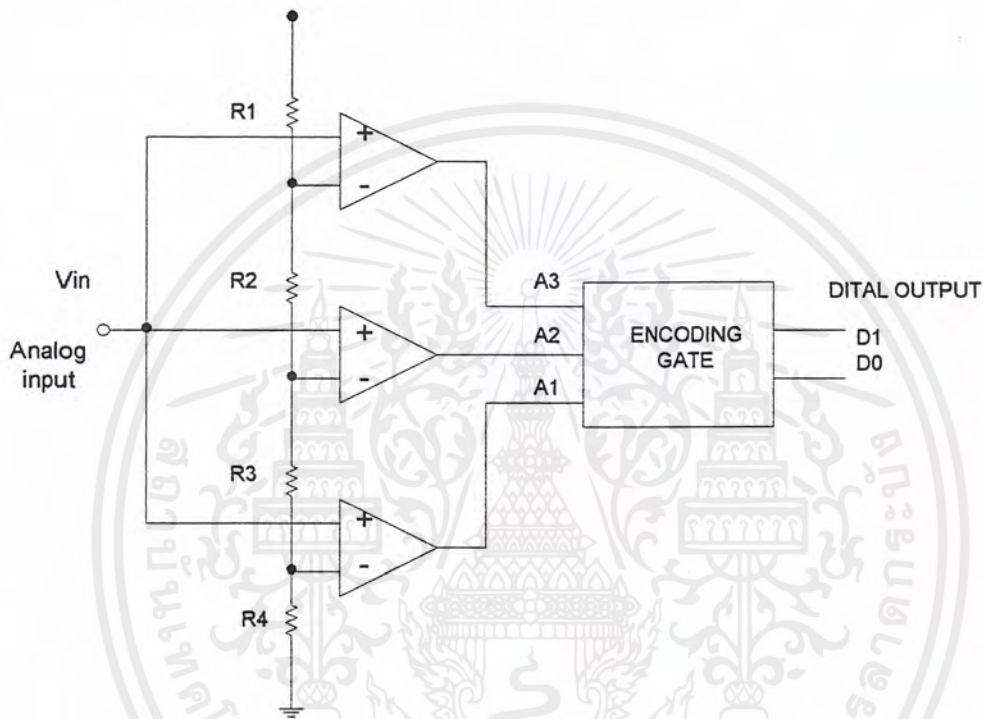
ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ทางอินพุท ค่าเวลาในการเปลี่ยนสัญญาณและอัตราการสุ่มเป็น พารามิเตอร์ของ ADC ที่สำคัญต้องนำมาพิจารณาในการเลือกใช้ ADC

ชนิดของการแปลงอนาลอกเป็นดิจิตอล

1.) PARALLEL COMPARATOR ADC

วงจร PARALLEL COMPARATOR หรือเรียกอีกอย่างว่า SIMULTANEOUS ADC ดัง แสดงในรูปวงจร PARALLEL COMPARATOR ADC

จากรูปที่ 2.14 วงจรตัวต้านทาน R1 ถึง R4 จะทำหน้าที่เป็นตัวแบ่งแรงดันให้แก่ขั้ว INVERTING ของออปแอมป์แต่ละตัวซึ่งตัวออปแอมป์จะทำหน้าที่เป็นตัวเปรียบเทียบแรงดัน (VOLTAGE COMPARATOR) ดังนั้นแรงดันที่ขั้ว INVERTING ก็คือแรงดันอ้างอิง (REFERENCE VOLTAGE) ของตัวเปรียบเทียบแต่ละตัว ซึ่งถ้าแรงดันที่อินพุตขั้ว NON - INVERTING มีค่ามากกว่าแรงดันอ้างอิงก็จะทำให้เอาต์พุตของตัวเปรียบเทียบเปลี่ยนสถานะ จากลอจิก “0” เป็น “1”

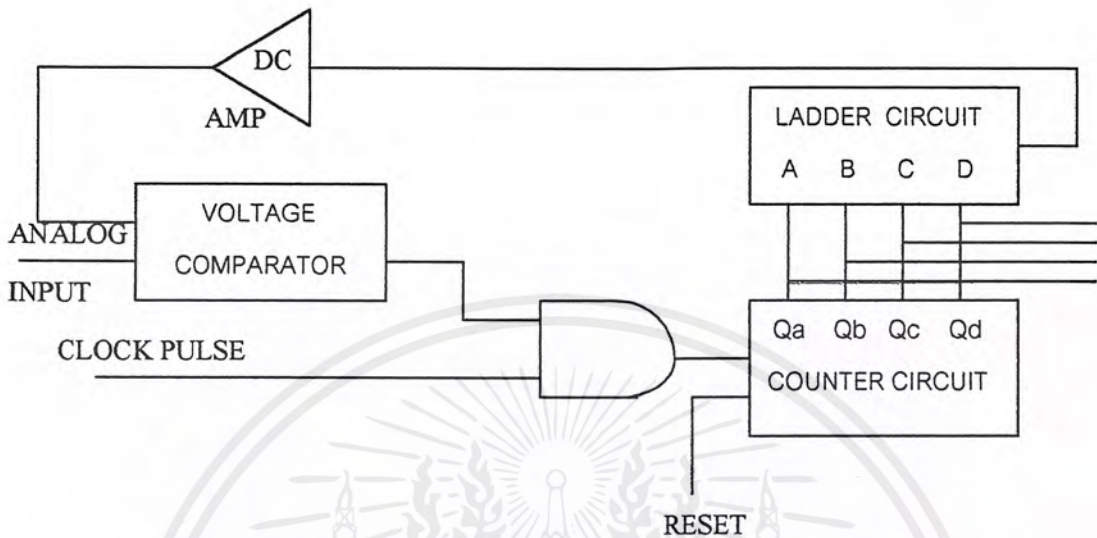


รูปที่ 2.14 แสดงวงจร PARALLEL COMPARATOR ADC

2) COUNTER RAMP ADC

วงจรตามรูปที่ 2.15 เป็นวงจร ADC อีกแบบหนึ่ง ซึ่งอาศัยการทำงานด้วยวงจร DAC ที่ประกอบด้วยวงจรรนับ (COUNTER) กับวงจร R-2R LADDER ผลิตสัญญาณเรมพ์ ซึ่งจะเพิ่มระดับขึ้นตามรหัสเลขไบนารีของการนับทุกครั้งที่มีสัญญาณพัลส์เวลามากระตุ้นวงจรรนับ เอาต์พุตของวงจร LADDER จะถูกต่อเข้ากับวงจรเปรียบเทียบแรงดันโดยอาจจะต่อผ่านวงจร คิซีแอมป์ เพื่อขยายหรือลดขนาดของสัญญาณให้อยู่ในสเกลเดียวกับระดับแรงดันอินพุต ที่ต้องการแปลง และเมื่อค่าระดับสัญญาณเรมพ์มีค่าเกินระดับแรงดันอินพุต เอาต์พุตของวงจรเปรียบเทียบแรงดันจะส่งสัญญาณลอจิกไปควบคุมวงจรรนับ รหัสไบนารีที่อยู่ในวงจรขณะนี้จะใช้เป็นรหัสไบนารีที่แทนระดับแรงดันในอินพุตที่ต้องการ ในกรณีที่ต้องการทำการแปลงใหม่ จะต้องเริ่มต้นการทำงานด้วยการรีเซ็ตใหม่

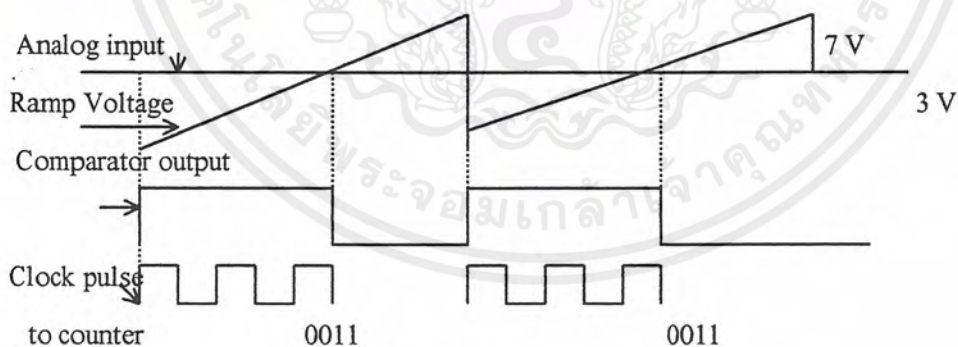
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.15 แสดงวงจร COUNTER RAMP ADC

LINEAR RAMP ADC

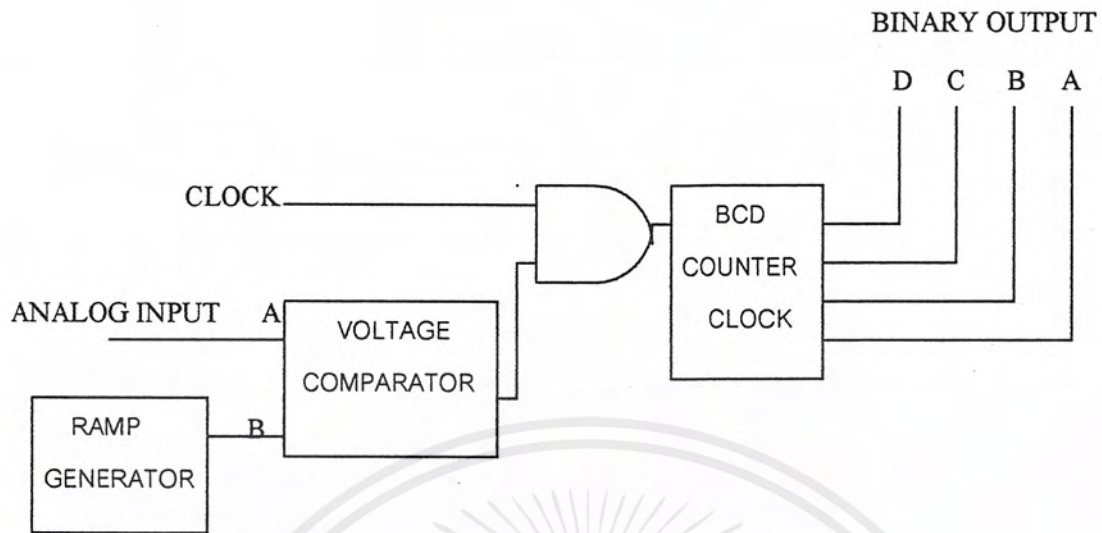
ผังโคแอสแกรมของวงจร ลิเนียร์แรมป์ ADC แสดงดังรูปที่ 2.16 การทำงานจะคล้ายคลึงกับวงจร เคนเตอร์แรมป์ ADC โดยมีการเกิดสัญญาณแรมป์ ซึ่งจะให้รูปสัญญาณเป็นแบบสามเหลี่ยมหรือรูปฟันเลื่อยป้อนให้กับ อินพุตข้างหนึ่งของวงจรเปรียบเทียบแรงดัน



รูปที่ 2.16 แสดงสัญญาณในวงจร LINEAR RAMP ADC

สมมติแรงดัน อินพุต 3 โวลต์ ดังรูปที่ 2.16 และสัญญาณแรมป์เริ่มต้นเพิ่มค่าแรงดันจาก 0 โวลต์ ขึ้นไปเรื่อยๆที่อินพุต B แต่ยังมีค่าต่ำกว่าระดับ A จะทำให้เอาต์พุตของวงจรเปรียบเทียบแรงดัน เป็นลอจิก “1” ทำให้ AND GATE ปล่อยสัญญาณพัลส์ไปยังวงจรรนับ(COUNTER) ที่ระดับแรงดันอินพุต 3 โวลต์ ระดับลอจิกจากวงจรเปรียบเทียบแรงดันเป็นลอจิก “0” วงจรรนับหยุดนับค่าดิจิตอลที่นับได้ในวงจรนี้จะแทนระดับแรงดันอนาล็อกอินพุต วงจร LINEAR RAMP ADC มีความยุ่งยากที่ว่าจะ ต้องใช้เวลาในการนับค่าสูงๆ

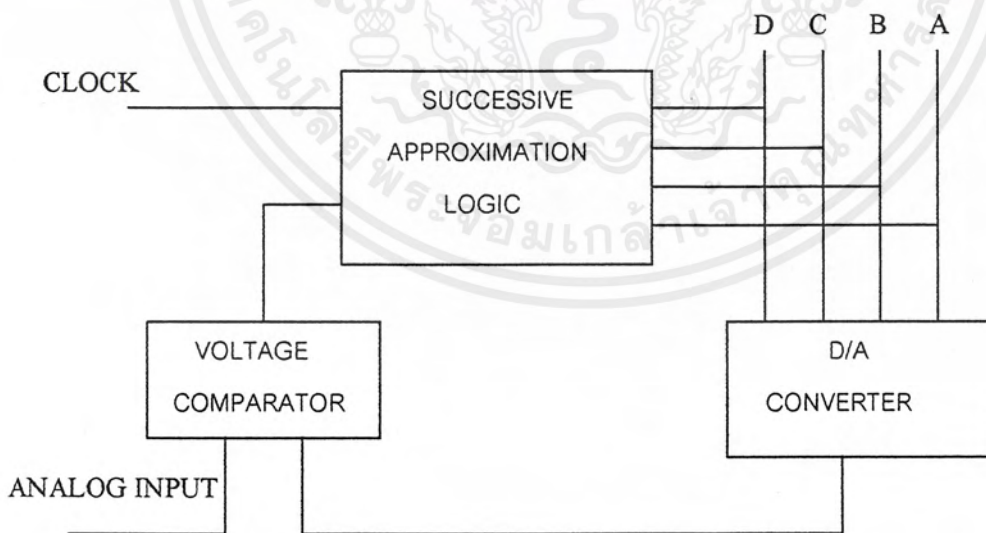
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.17 แสดงผังโคะแกรมของวงจร LINEAR RAMP ADC

4) SUCCESSIVE APPROXIMATE ADC

วงจร SUCCESSIVE APPROXIMATE ADC นี้ประกอบด้วยวงจรเปรียบเทียบแรงดัน วงจร DAC และวงจร SUCCESSIVE APPROXIMATE LOGIC แสดงดังรูปที่ 2.18



รูปที่ 2.18 แสดงผังโคะแกรมของวงจร SUCCESSIVE APPROXIMATE ADC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เทคนิคการประมาณค่าหลายๆครั้งมีชื่อย่อว่า SA ซึ่งย่อมาจากคำว่า SUCCESSIVE APPROXIMATE เป็น ADC ที่ใช้งานได้ดีเนื่องจากมีราคาถูก มีความละเอียดพอสมควร มีความเร็วสูง สามารถใช้แปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอลได้เร็ว มีประสิทธิภาพ หัวใจของ SA คอนเวอร์เตอร์คือ อุปกรณ์ที่เรียกว่า APPROXIMATION REGISTOR

วัฏจักรการแปลงผันเริ่มต้นเมื่อสัญญาณอนาลอกถูกป้อนให้กับคอนเวอร์เตอร์และพัลส์การแปลงเริ่มต้น ถูกป้อนให้กับตัว SAR พัลส์สัญญาณนาฬิกาถูกแรกถูกป้อนให้กับตัว SAR จะ “ON” เอาท์พุทของบิตนัยสูงสุด (MSB) ตัว SAR จะมองไปยังเอาท์พุทของวงจรเปรียบเทียบกับเอาท์พุทของ DAC มีค่ามากกว่าหรือน้อยกว่าสัญญาณอนาลอกทางอินพุท ถ้าแรงดันของ DAC มีค่ามากกว่าวงจรเปรียบเทียบจะยังคงอยู่ในสถานะ “OFF”

ดังนั้น ตัว SAR จะ “OFF” บิตนัยสูง (MSB) และให้ชื่อว่าสถานะ “0” ถ้าแรงดันของ DAC มีค่าน้อยกว่าสัญญาณอนาลอกทางอินพุทวงจรเปรียบเทียบจะยังคงทำงานอยู่ ดังนั้น SAR จะยังคงปล่อยให้บิตนัยสูงสุด “ON” อยู่และเรียกสถานะนี้ว่า “1” ถัดไปตัว SAR จะ “ON” บิตนัยสูงสุด อันดับ 2 และเริ่มทำการตรวจสอบเช่นเดิมอีกครั้งจนกระทั่งทุกบิตถูกพิจารณาหมดตัว SAR จะส่งสัญญาณสิ้นสุดการแปลงผันออกไป

2.6 การแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นสัญญาณอนาลอก

(DIGITAL TO ANALOG CONVERT)

สัญญาณต่างๆที่เราคุ้นเคยหรือสัมผัสได้ในชีวิตประจำวัน เช่น แสง สี อุณหภูมิ ตลอดจนแรงเคลื่อนไฟฟ้าหรือกระแสไฟฟ้า ซึ่งโดยส่วนมากแล้วพารามิเตอร์ของปริมาณทางฟิสิกส์และไฟฟ้านั้นจะมีการเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่อง หรือที่เรียกว่า สัญญาณอนาลอก ซึ่งอยู่ในรูปแบบของฟังก์ชันที่มีการเปลี่ยนแปลงไม่มีที่สิ้นสุด ดังนั้นจึงเป็นการยากที่จะการควบคุมสัญญาณอนาลอก ให้ทำงานตามที่ต้องการหรือต้องการเก็บค่าสัญญาณ ไว้ตลอดในช่วงเวลานานๆเพื่อนำไปใช้ในการคำนวณหรือใช้งานในภายหลังเราจะพบว่าสัญญาณอีกรูปแบบหนึ่งซึ่งไม่เป็นฟังก์ชันของเวลาหรือที่เรียกว่าสัญญาณดิจิตอล สัญญาณดิจิตอลนั้นสามารถที่จะทำความเข้าใจและควบคุมได้ง่ายกว่าสัญญาณอนาลอก

ไมโครคอนโทรลเลอร์ซึ่งมีการรับหรือประมวลผลในรูปของสัญญาณดิจิตอล เมื่อต้องการส่งสัญญาณเอาท์พุทออกไปในรูปของสัญญาณอนาลอกจึงจำเป็นที่จะต้องนำเอาสัญญาณดิจิตอลนั้นมาผ่านอุปกรณ์เชื่อมต่อที่เรียกว่าตัวแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นสัญญาณอนาลอก(DIGITAL TO ANALOG) หรือเรียกย่อๆว่า DACซึ่ง DACนี้สามารถนำไปขับอุปกรณ์ที่เป็นอนาลอก เช่น มอเตอร์, มิเตอร์ หรือ อุปกรณ์ ควบคุมได้โดยตรง

D/A คอนเวอร์เตอร์

D/A คอนเวอร์เตอร์หรือที่เรียกย่อๆว่า DAC เป็นตัวแปลงรหัส เลขฐานสองหรือจากวงจรดิจิทัลใดๆให้กลายเป็นระดับแรงดันอนาล็อกที่มีความสัมพันธ์กับระบบเลขฐานสอง โดยแนวความคิดที่สำคัญของ DAC จะพิจารณาจาก

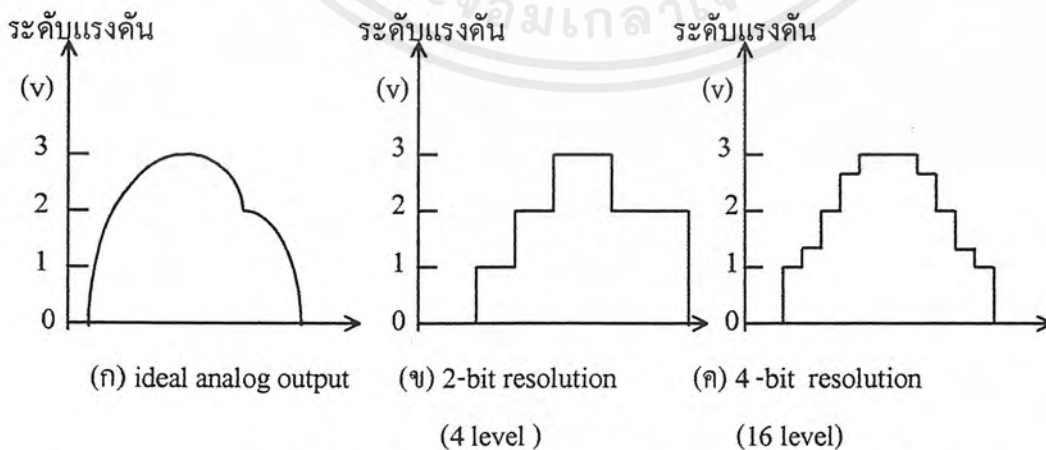
1. ค่าความละเอียด (RESOLUTION)
2. เวลาเข้าสู่สภาวะคงตัว (SETTING TIME)
3. ค่าความแม่นยำ (ACCURACY)

ค่าความละเอียด (RESOLUTION)

ค่าความละเอียดนิยามไว้เป็นระดับแรงดันในแต่ละขั้นที่เอาต์พุตสามารถจะที่จะผลิตออกมาได้ ซึ่งมีความสัมพันธ์โดยตรงต่อจำนวนบิตทางด้านอินพุต ที่อยู่ในรหัสไบนารี เช่น DAC ขนาด 4 บิต จะมีอินพุตอยู่ 4 อินพุตซึ่งมีความละเอียดเท่ากับ 4 จำนวนของระยะ และความแตกต่าง ของระดับสัญญาณอนาล็อกทางด้านเอาต์พุตจะมีค่าเท่ากับ 2^n เมื่อ n = จำนวนบิต ดังนั้น DAC 4 บิต จะมีค่าเท่ากับ $2^4 = 16$ ระดับนั้นหมายถึงสัญญาณเอาต์พุตสามารถถูกแทนด้วยระดับแรงดัน 16 ขั้นด้วยกัน

DAC ขนาด 8 บิต ให้สัญญาณ อนาล็อกทางด้านเอาต์พุตที่ระดับแรงดัน ได้ 2^8 หรือ 256 ระดับ

DAC ขนาด 12 บิต ให้สัญญาณ อนาล็อกทางด้านเอาต์พุตที่ระดับแรงดันได้ 2^{12} หรือ 4096 ระดับ จะเห็นได้ว่าเมื่อ DAC มีขนาดอินพุตบิตมากเท่าไรความถูกต้องของระดับแรงดันอนาล็อก ทางเอาต์พุตที่ DAC สามารถผลิตได้จะมากขึ้นตาม ดังแสดงในรูปที่ 2.19 ดังนี้



รูปที่ 2.19 แสดงความสัมพันธ์ของบิตอินพุตของ DAC กับความละเอียดของแรงดันทางด้านเอาต์พุต

เวลาเข้าสู่สภาวะคงตัว (SETTING TIME)

เวลาเข้าสู่สภาวะคงตัวเป็นค่าของเวลาที่ระดับแรงดันเอาต์พุต เข้าสู่สภาวะคงที่เมื่อรหัสไบนารี ทางด้านอินพุตเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งโดยปกติจะคิดที่สัญญาณทางเอาต์พุตคงที่ ในช่วง $\pm 1/2$ ของ LSB (Least -Significant bit) ของค่าที่คาดว่าจะจะเป็นหลังจากรหัสไบนารีทางด้านอินพุตเปลี่ยนแปลงไป นั่นก็หมายความว่าในเงื่อนไขของการปฏิบัติงานจริงๆ มีความสัมพันธ์กับค่าซึ่งเป็นอยู่ในขณะนั้น ต่อ LSB ของมันเองเช่น DAC ขนาด 8 บิตมีช่วงแรงดันทางเอาต์พุตอยู่ในช่วง 0-10 โวลต์ ดังนั้น LSB มีค่าเท่ากับ $10/2^8$ หรือ 0.039 โวลต์ครึ่งหนึ่งของค่า $10/2^8$ เป็น 0.0195 โวลต์ ดังนั้นค่าที่ระดับแรงดันเอาต์พุตเข้าสู่สภาวะคงที่ควรจะเป็นค่าเวลาเอาต์พุต เพิ่มขึ้นถึง 0.0195 โวลต์ ของค่าระดับที่คาดหมายไว้ โดยปกติค่าเวลาเข้าสู่สภาวะคงตัว มีค่าน้อยกว่า 10 μ s

ค่าความแม่นยำ (ACCURACY)

ในเงื่อนไขปกติค่าความแม่นยำของ DAC คือ บวกหรือลบ ทุกๆ ตำแหน่งจาก $1/2$ ถึง 2 ค่าของ LSB สำหรับ DAC ที่มีค่าความแม่นยำ ± 1 ค่า LSB แรงดันเอาต์พุตสามารถเปลี่ยนแปลงไปในทางบวกหรือลบ ค่าของ 1 บิต ถ้า DAC มีแรงดันเอาต์พุตอยู่ในช่วง 0-5 โวลต์ มีความละเอียดเท่ากับ 12 บิต LSB ควรจะเป็น $5/2^{12}$ หรือ 0.00122 โวลต์ สำหรับทุกๆค่าของรหัสไบนารี ทางด้านเอาต์พุตแรงดันอาจสูงหรือต่ำกว่าค่าที่คาดหมายไว้ 0.00122 โวลต์ ถ้า DAC มีความแม่นยำเท่ากับ ค่าความถูกต้อง LSB ค่าเอาต์พุตสามารถผิดพลาดไปได้ $\pm 0.00122/2$ หรือ ± 0.00061 โวลต์ ซึ่งจะเห็นว่ายิ่งค่าความแม่นยำน้อยเท่าไร ค่าความละเอียดก็จะมากขึ้นตามและมีค่าใกล้เคียงกับค่าเอาต์พุตที่คาดหมายไว้

หลักการเปลี่ยนสัญญาณดิจิตอลไปเป็นสัญญาณอนาลอก มีหลักการดังนี้ คือ Binary weighted และ Binary ladder

Binary - weighted resistor DAC

เทคนิคการจัดนำหนักของรหัสไบนารีเป็นวิธีที่ง่ายที่สุด ของการแปลงดิจิตอลให้เป็นอนาลอก วงจรของ Binary - weighted resistor DAC แสดงดังในรูปวงจร Binary weighted DAC และกราฟแสดงเอาต์พุตของ DAC ต่อสัญญาณดิจิตอล

รหัสไบนารีจะถูกป้อนให้ขาเกทของ อนาลอกสวิทช์ สมมติเมื่อรหัสไบนารีเท่ากับ 0001 สวิตช์ S1 จะปิดลงทำให้มีกระแสไหลจาก VCC ผ่าน R1 กราวด์เสมือนที่ขาลบของ ออปแอมป์

ค่าแรงดัน V_{out} จึงมีค่า

$$V_{out} = (-R_f/R_1)*(-V_{cc})$$

$$= (800/8000)*10$$

$$= 1 \text{ โวลต์}$$

เมื่อรหัสไบนารีเป็น 1010 สวิตช์ S4 และ S2 จะปิด

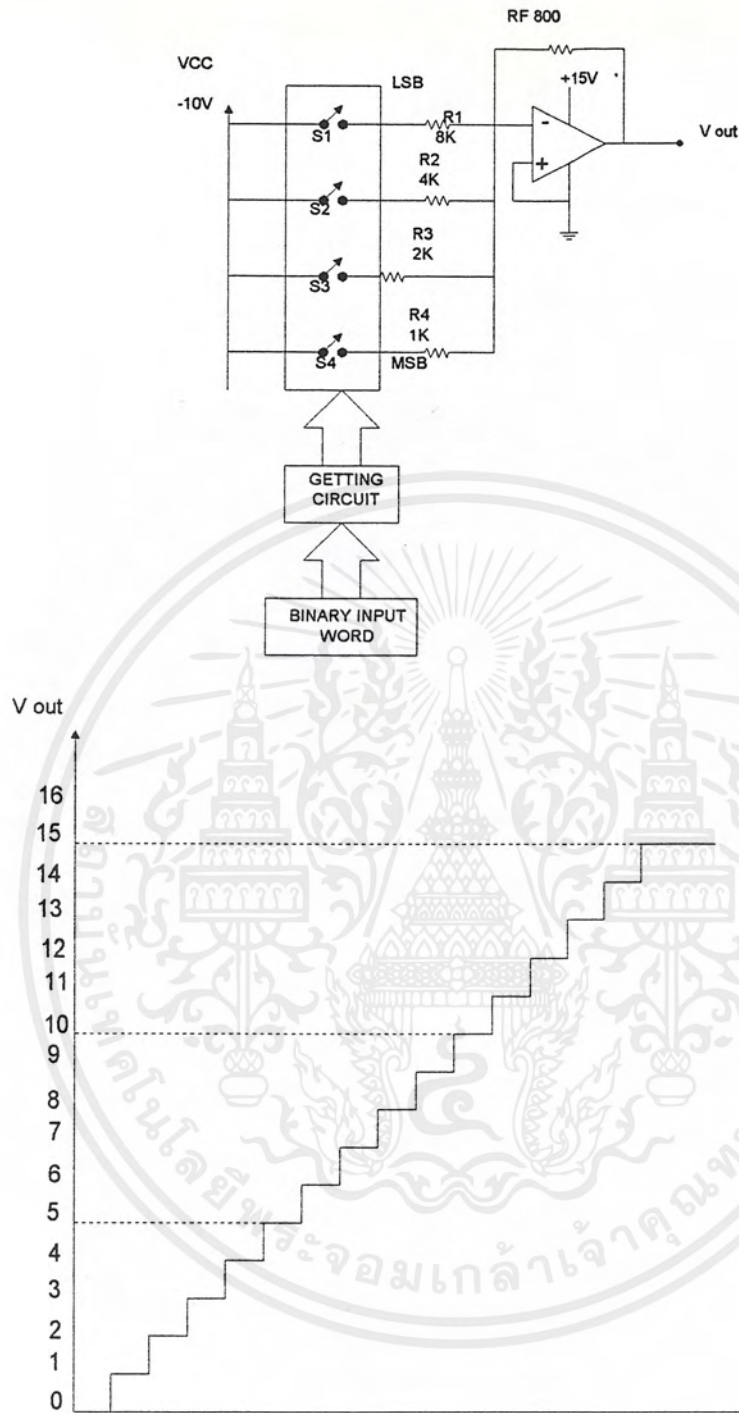
ดังนั้นจะได้ V_{out} เป็น

$$V_{out} = (-V_{cc})*(-R_f/R_2) + (V_{cc})*(-R_f/R_4)$$

$$= (10*800)/4000 + (10*800)/1000$$

$$= 10 \text{ โวลต์}$$





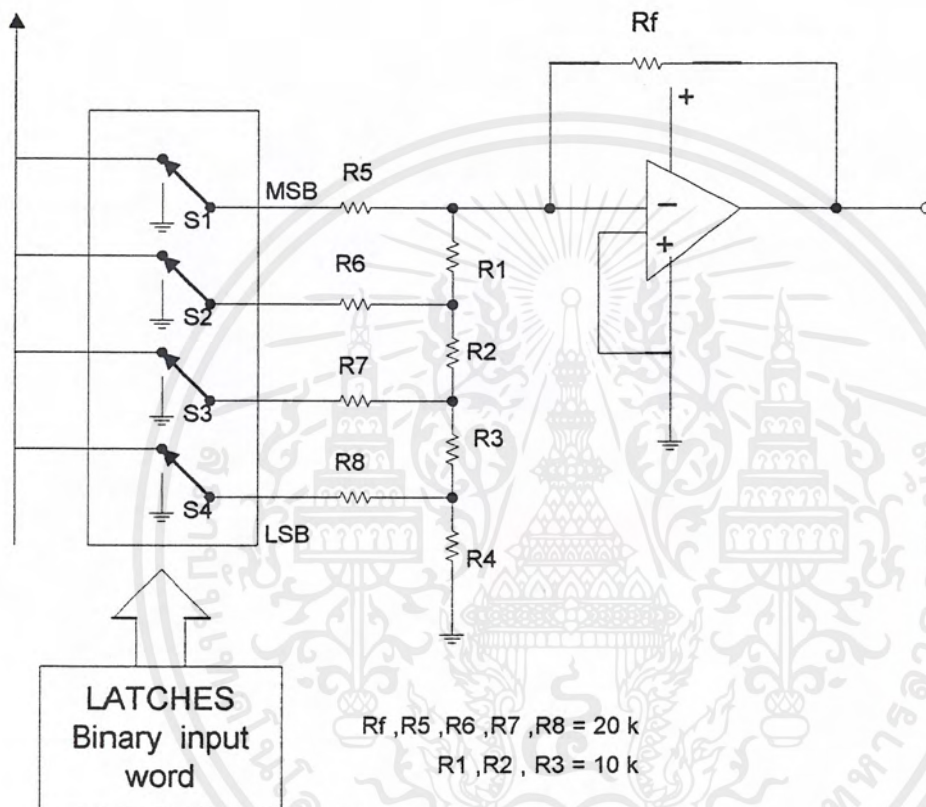
ซึ่งสวิตช์แต่ละตัวสามารถปิดวงจรพร้อมกันได้ เพื่อร่วมกันสร้างสัญญาณอนาล็อกทางเอาต์พุต ที่มีค่าจาก 0 - 15 โวลต์ (0000 = 0, 1111 = 15) ซึ่งจะทำให้การเพิ่ม 1 โวลต์ ต่อ 1 ขั้น

ถึงแม้ Binary - weight resistor DAC จะมีลักษณะวงจรที่ง่ายแต่ก็ไม่สะดวกในการนำไปใช้งาน ถ้าต้องการความละเอียดมากกว่าค่าต้นทางที่ใช้ก็มีค่ามากมายหลายค่าไปด้วย ซึ่งจะเป็นการยุ่งยากในการใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Ladder net work DAC

เทคนิคแลคเคอร์เน็ตเวิร์ค สามารถสร้างแรงดันตามน้ำหนักของรหัสไบนารีโดยอาศัยความต้านทานเพียง 2 ค่าเท่านั้นที่จัดในลักษณะวงจรแบ่งแรงดันหรือที่เรียกว่าไบนารีแลคเคอร์ (Binary ladder) ดังแสดงในรูปที่ 2.20 วงจร Binary ladder



รูปที่ 2.20 Binary Ladder

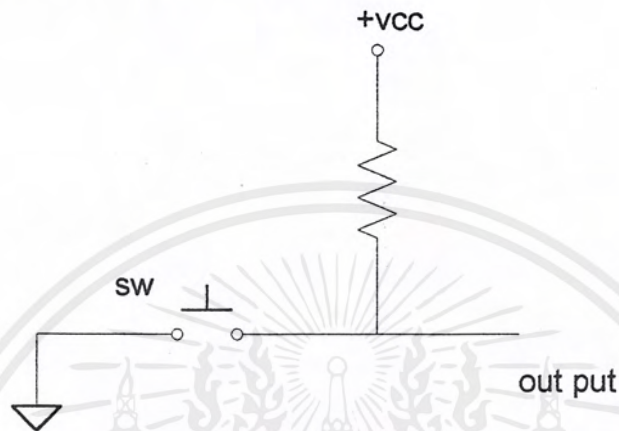
การทำงานของ Ladder network จะคล้ายกับการทำงานของวงจร Binary weighted DAC ข้อดีของวงจร แลคเคอร์ Net work คือสามารถออกแบบได้ง่ายกว่า เนื่องจากใช้ความต้านทาน เพียง 2 ตัวเท่านั้นความถูกต้องก็มีมากกว่าแบบ Binary weighted

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7 การรับคำสั่งและการแสดงผล

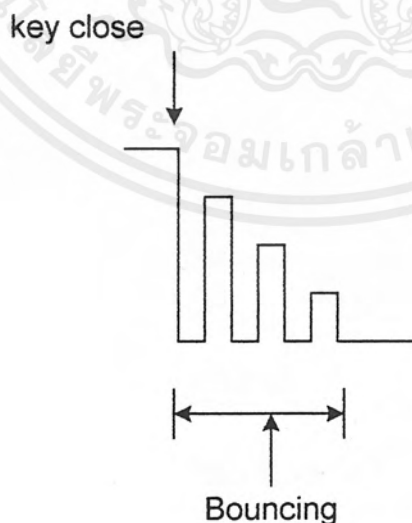
การรับข้อมูลจากคีย์บอร์ด

อุปกรณ์ในการรับข้อมูลที่ใช้คือ คีย์บอร์ด โดยคีย์บอร์ดจะทำหน้าที่ในการรับคำสั่งจากผู้ใช้งาน โดยพื้นฐานของคีย์บอร์ดคือสวิตช์ โดยมีวงจรดังรูปที่ 2.21



รูปที่ 2.21 แสดงวงจรของสวิตช์

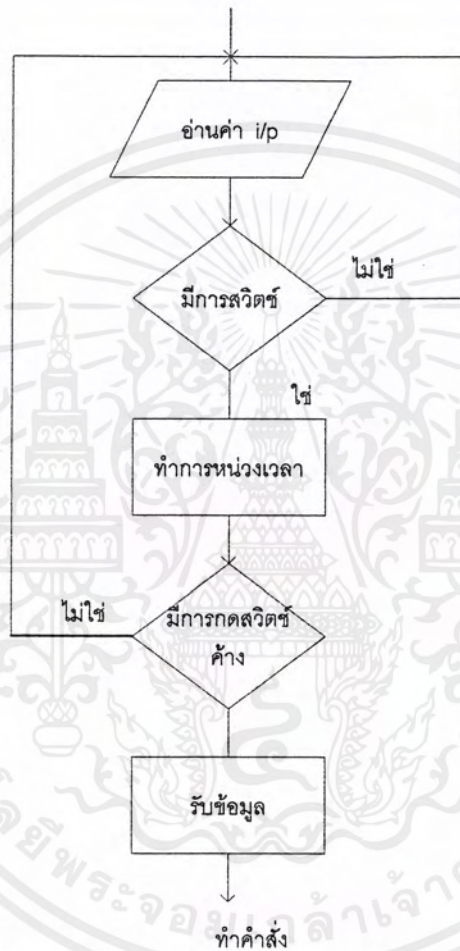
ขณะยังไม่กดสวิตช์ เอาพุทจะมีค่าเท่ากับ +VCC และเมื่อกดสวิตช์ เอาพุทจะมีค่าเท่ากับ 0 โวลต์ เนื่องจากในการกดสวิตช์ โดยทั่วไปจะปรากฏพัลส์ ที่ไม่ต้องการขึ้นมา ซึ่งเกิดจากการกระเด็นของหน้าสัมผัส ปรากฏการณ์นี้เรียกว่า การบาวซ์ (Bounce) ดังรูปที่ 2.22



รูปที่ 2.22 แสดงการเกิดบาวซ์ขณะกดสวิตช์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเกิดบาวซ์จะทำให้การรับข้อมูลผิดพลาดได้ดังนั้นจึงต้องแก้สัญญาณบาวซ์โดยใช้ซอฟต์แวร์ โปรแกรมจะทำงานโดยการตรวจสอบการกดสวิทช์ครั้งแรกแล้วรอระยะเวลาช่วงหนึ่งเพื่อที่จะให้ผ่านช่วงเวลาที่เกิดการบาวซ์ผ่านไปแล้ว ทำการอ่านค่าข้อมูลจากสวิทช์อีกครั้งหนึ่งเพื่อจะนำไปเป็นข้อมูล การแก้สัญญาณบาวซ์นั้นสามารถนำมาเขียนเป็นโฟลว์ชาร์ท ดังรูปที่ 2.23

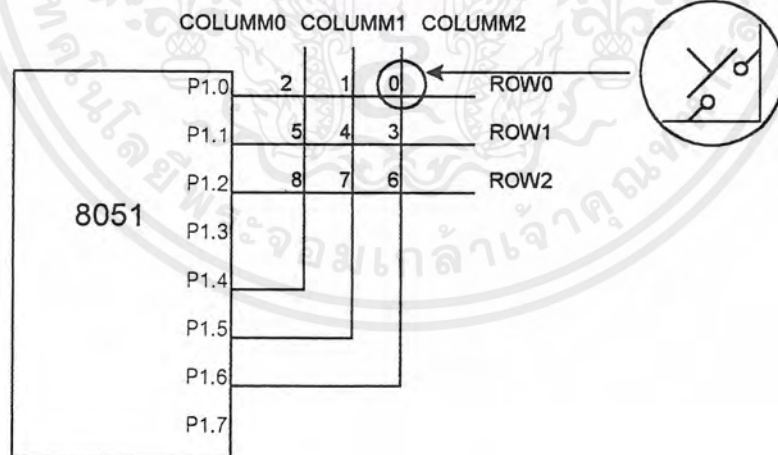


รูปที่ 2.23 โฟลว์ชาร์ทแสดงการแก้สัญญาณบาวซ์

จะเห็นว่าถ้าให้สวิทช์หนึ่งตัวแทนคำสั่ง 1 คำสั่ง จะทำให้เกิดการเปลี่ยนสวิทช์จำนวนมาก รวมทั้งเปลี่ยนสายที่จะใช้ติดต่อกับบอร์ด ดังนั้นจึงใช้คีย์บอร์ดโทรศัพท์ ซึ่งเป็นคีย์บอร์ดแบบเมตริกซ์ ชนิด 4 x 3 ซึ่งมีปุ่มทั้งหมดเพียง 12 ปุ่ม ซึ่งเกือบทั้งหมดปุ่มจะทำหน้าที่รับคำสั่งได้ 2 คำสั่ง และใช้สายติดต่อกับบอร์ดทั้งหมดเพียง 6 เส้น แต่ยังมีสวิทช์เพิ่มเข้ามาอีกหนึ่งตัวเพื่อใช้ในการอินเตอร์รัพท์ เพื่อเข้าสู่การสแกน (scan) คีย์บอร์ด

การรับข้อมูลจากสวิทช์หลายตัวแบบเมตริกซ์ซึ่งเป็นการควบคุมการรับข้อมูลเข้ามาจากคีย์บอร์ด ซึ่งได้จัดวางไว้ในลักษณะแบบเมตริกซ์ โดยการใช้พอร์ตแบบขนานของ 8051 โดยปกติแล้วการควบคุมการรับสัญญาณอินพุตจากกลุ่มของสวิทช์(คีย์บอร์ด) ก็มักจะใช้เส้นสัญญาณเดียวในการจัดการ แต่อย่างไรก็ตามหากว่าจำนวนของสวิทช์มีมากกว่า 8 ตัวแล้ว ก็จะต้องใช้เส้นสัญญาณจากพอร์ตมากกว่าหนึ่งพอร์ตเข้ามาทำหน้าที่ดูแลดังนั้นหากว่าได้มีการจัดวางองค์ประกอบของสวิทช์เป็นแบบเมตริกซ์แล้ว (ดังรูปที่ 2.24) ก็จะทำให้สามารถลดจำนวนของเส้นสัญญาณเหล่านี้ลงได้อย่างมาก

หลักการของโปรแกรมในการตรวจสอบสภาพการกดสวิทช์ จะใช้หลักการ Keyboard Scan โดยเริ่มต้นต้องทำให้สถานะลอจิกของทุกเส้นสัญญาณในแนวคอลัมน์เป็นค่า 1 เสียก่อน จากนั้นจึงจะเริ่มค้นหาค่าลอจิกของเส้นสัญญาณแถวแรก (Row 0) เป็นลอจิก 0 เมื่อได้อ่านค่าข้อมูลของสัญญาณในแนวคอลัมน์เข้ามาตรวจสอบ หากพบว่ามิเส้นสัญญาณใดมีค่าเป็นลอจิกต่ำแสดงว่ามีการกดสวิทช์ที่ต่ออยู่ระหว่างคอลัมน์นั้นกับเส้นสัญญาณในแนวแถวแรก ทำให้สัญญาณทั้งสองในแถวแรกเลย ทำให้สัญญาณทั้งสองเชื่อมต่อเข้าด้วยกัน หากว่าไม่มีเส้นสัญญาณใดเป็นลอจิกต่ำเลยแสดงว่าไม่มีการกดสวิทช์ใดๆ ในแถวแรกเลย จากนั้นก็จะดำเนินการซ้ำเช่นนี้กับเส้นสัญญาณในแถวอื่นๆ อีกในรอบถัดไปจนกระทั่งครบทุกแถว



รูปที่ 2.24 แสดงการต่อวงจร 8051 กับสวิทช์แบบกดติดปล่อยดับ แบบเมตริกซ์

อุปกรณ์แสดงผลโดยใช้จอ LCD

ในปัจจุบัน LCD เป็นที่นิยมกันเป็นอย่างมาก สำหรับการแสดงผลในเครื่องมือเครื่องใช้ต่างๆ ทั้งนี้เนื่องจากความเหมาะสมหลายๆด้านเช่นการใช้กระแสดำ สามารถแสดงผลเป็นอักษรและตัวเลข หรือแสดงเป็นกราฟฟิคสะดวกในการใช้งานกับคอมพิวเตอร์ได้ง่ายเพราะอาศัย หลักการเขียน โปรแกรมเพื่อสั่งงานให้แสดงผล นอกจากนี้ยังมีความสวยงามอีกด้วย

โมดูล LCD ที่ทางกลุ่มเลือกใช้จะเป็นแบบ คอทแมตริก (Dot matrix) ขนาด 20 ตัวอักษร 2 แถว ดังแสดงในคาต้าบุ๊ก(data book) DMC 202

ทำงานโดยการส่งโปรแกรมมาควบคุมให้ LCD ทำตามหน้าที่ที่ต้องการดังนี้เคลียร์ดิสเพลย์(Clear display) โฮมเคอร์เซอร์ (Home cursor), ออน ออฟ เคอร์เซอร์ (On Off cursor)และอื่นๆ แล้วแต่ความต้องการในการใช้งานโปรแกรมควบคุม เมื่อมีคำสั่งส่งไปยัง LCD ในแต่ละครั้งจะต้องรอให้ระบบการทำงานภายในของตัวโมดูลทำงานเรียบร้อยก่อน จึงจะส่งคำสั่งต่อไปได้ซึ่งจะใช้วิธีตรวจสอบบิตซีฟเลก (Busy Flag) ในการใช้งานซึ่งส่วนใหญ่จะใช้กับโปรแกรมจะมีการกำหนดค่าเริ่มต้นไว้ส่วนต้นของโปรแกรม ซึ่งหลังจากนั้นจะเป็นการแสดงผลอ่านและเขียนลงใน DDRAM ต่อไป

การเขียนหรือการอ่านข้อมูลกับโมดูล LCD ก็คือการกำหนดคุณสมบัติต่างๆในการใช้งานของ LCDตามชุดคำสั่งควบคุม และรวมไปถึงการเขียนข้อมูลที่เป็นข้อความ เพื่อให้ปรากฏบนแผงด้วย โดยมีรายละเอียดตามตารางต่อไปนี้

instruction	r/s	r/w	7	6	5	4	3	2	1	0
clear display	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
cursor at home	0	0	0	0	0	0	0	0	1	*
entry mode set	0	0	0	0	0	0	0	1	i/d	s
display on/off	0	0	0	0	0	0	1	d	c	b
display shift	0	0	0	0	0	1	s/c	r/l	*	*
function set	0	0	0	0	1	dl	n	f	*	*
set cgram add	0	0	0	1						
set ddram add	0	0	1							
busy, add.read	0	1	bf							
cgram,ddram wr	1	0								
cgram,ddram rd	1	1								

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเข้าใจพื้นฐาน

1. การเขียนข้อมูลให้กับโมดูล LCD จะแบ่งเป็น 2 ลักษณะคือ คำสั่ง (instruction) และ ข้อมูล(data) โดยจะกำหนดขาสัญญาณ RS คือถ้า $RS = 0$ จะหมายถึง ส่งสัญญาณควบคุม(instruction) หรืออ่านค่า flag สภาพการทำงานของโมดูล LCD และถ้า $RS = 1$ จะหมายถึง การเขียนหรือการอ่านข้อมูลกับ โมดูล LCD
2. หลักการในการเขียนข้อมูลให้โมดูล LCD นี้ คือ เมื่อมีการเขียนข้อมูลไปแล้ว ตัวโมดูล LCD จะต้องใช้เวลาในการทำงานชั่วขณะหนึ่ง (ตามเวลาทำงาน execute time) ซึ่งระบบไมโครฯสามารถตรวจสอบได้จาก Busy Flag (BF) และถ้าเรียบร้อยแล้ว จึงจะสามารถ เขียนข้อมูล อันต่อไปได้ในกรณีที่การต่อวงจรเป็นแบบ I/O port คือไม่สามารถอ่านข้อมูลย้อนกลับได้ ระบบไมโครฯก็จะต้องใช้วิธีการหน่วงเวลาแทน
3. การเขียนข้อมูลให้กับโมดูล LCD นี้ สามารถทำได้ทั้งแบบ 8 บิต และ 4 บิตโดยกรณี 4 บิต จะใช้สายสัญญาณข้อมูลเพียง 4 เส้น คือ DB4-DB7 (ใช้สำหรับระบบไมโครฯ แบบ 4 บิต หรือเพื่อการประหยัดสาย) การเขียนข้อมูลจะกระทำเหมือนกับ 8 bit เพียงแต่ให้เขียน 2 ครั้ง คือ DB4-DB7 ก่อนแล้วตามด้วย DB0-DB3 และจะต้องกำหนดคุณสมบัติตามค่า DLในคำสั่ง Function set ด้วย
4. DDRAM (Display Data Ram) คือหน่วยความจำภายในตัว LCD module ที่เป็น Buffer ของข้อมูลโดยถ้าเขียนรหัส แอสกีใด ๆ ลงไปในหน่วยความจำนี้ ก็จะปรากฏเป็นตัวอักษร ที่แผงแสดงทันที
5. CGRAM (Character Generator Ram) คือหน่วยความจำภายในตัวโมดูล LCD สำหรับเก็บภาพอักษรที่ผู้ใช้สามารถสร้างได้เอง (8 ตัว) โดยจะอ้าง แอดเดรสได้ทั้งหมด 64 byte คือ 8 ตัวอักษรคูณกับ 8 row

LCD PORT

โมดูล LCD แบบ DOT MATRIX มีขาสัญญาณทั้งหมด 14 ขา การใช้งาน LCD PORT นี้จะมีการจัดวงจรในแบบ MEMORY MAP ซึ่งจะช่วยให้การเขียนโปรแกรมทำได้ง่าย โดยจะมองเห็นตำแหน่งต่างๆ เป็นในรูป แอดเดรส ดังสรุปได้ดังนี้

ADDRESS	ลักษณะของ PORT ที่ติดต่อ
FA00H	สำหรับเขียนคำสั่ง (RS = 0, R/W = 0)
FA01H	สำหรับอ่านค่า BUSY (RS = 0, R/W = 1)
FA02H	สำหรับเขียนข้อมูล (RS = 1, R/W = 0)
FA03H	สำหรับอ่านข้อมูล (RS = 1, R/W = 1)

การใช้งาน แบบ DOT MATRIX นี้ จะสามารถเลือกรุ่นใดๆ ก็ได้ ที่มีจำนวนตัวอักษร และจำนวนบรรทัดตามที่ต้องการเพราะใช้สายสัญญาณแบบเดียวกันหมด จะแตกต่างในด้านโปรแกรมเท่านั้น การนับหมายเลขขั้วต่อของ LCD PORT จะไม่เหมือนการนับโดยทั่วไป จึงควรดูให้แน่ใจก่อนการต่อใช้งาน

2.8 ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

8255 input/output port

ตำแหน่งแอดเดรส ของ 8255 จะจัดอยู่ในส่วน MEMORY MAP โดยใช้ แอดเดรส ดังต่อไปนี้

PORT	ADDRESS
PORT A	F800H
PORT B	F801H
PORT C	F802H
CONTROL	F803H

PORT 8255 มีพอร์ต อยู่ทั้งหมด 3 พอร์ตด้วยกันคือ Port A, Port B มีขนาด 8 bit และ Port C โดยที่ PORT C ยังสามารถแบ่งออกเป็นพอร์ต พอร์ตละ 4 bit คือ PC0-PC3 (Port C ล่าง) และ PC4-PC7 (Port C บน)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขาต่างๆ ของ 8255

การต่อ 8255 นั้นจำเป็นต้องเข้าใจการทำงานของแต่ละขา D0-D7 ต่อเข้ากับ Data Bus ของตัว MCS-51 เพื่อใช้สำหรับรับส่งข้อมูลระหว่าง Port กับ Micro Controller CS เป็นสัญญาณในการชี้ตำแหน่งแอดเดรสของ พอร์ต ซึ่งใน 8255 จำเป็นต้องใช้ตำแหน่งของพอร์ตทั้งหมดด้วยกัน 4 ตำแหน่งด้วยกัน

RD เป็นขบวนการรับข้อมูลจากพอร์ต อินพุต เมื่อ CS และ RD เป็น "0"

WR เป็นขบวนการส่งข้อมูลจากพอร์ต เอาท์พุต เมื่อ CS และ WR เป็น "0"

RESET จะทำการ Clear สถานะของ 8255 ทั้งหมดเมื่อเป็น "1" พอร์ตต่างๆ เป็นอินพุตทั้งหมด

A0-A1 เป็นสัญญาณชี้ตำแหน่งแอดเดรสต่อจาก CS โดยเลือกตำแหน่งของพอร์ตภายใน 8255 โดยที่ 8255 แบ่งออกด้วยกัน 4 พอร์ต ด้วยกันคือ Port A , Port B, Port C และ Control Port โดยจะเรียงลำดับดังนี้

A1	A0	ความหมาย
*	*	*
0	0	PORTA
0	1	PORTB
1	0	PORTC
1	1	CONTROL PORT

ตารางการเลือกตำแหน่งของ พอร์ต ภายในของ 8255

การกำหนดการทำงานของ 8255 ก่อนการใช้งานของ 8255 จะต้องส่งรหัสควบคุม (Control Word) เข้าไปยังคอนโทรลพอร์ต ซึ่งเป็นพอร์ตที่ 4 ของ 8255 เพื่อควบคุมการทำงานของ 8255 ว่าให้ทำงานในโหมดไหน และให้แต่ละพอร์ต (Port A,B,C) เป็นอินพุตหรือเอาท์พุต สำหรับที่เรานำมาใช้งานเราใช้โหมด 0 โดยจะกำหนด ให้ PORT A และ PORT C (ล่าง) PC0-PC3 เป็น OUTPUT , PORT B และ PORT C (บน) PC4-PC7 เป็น INPUT ทำได้ด้วยการส่งค่า 8AH ไปยัง CONTROL PORT ก่อนการกำหนด CODE นี้จะกระทำเพียงครั้งเดียว ที่ต้นโปรแกรมก็พอ เพราะ 8255 จะยังคง สภาพที่กำหนดไว้จนกว่าจะไม่มีไฟเลี้ยง

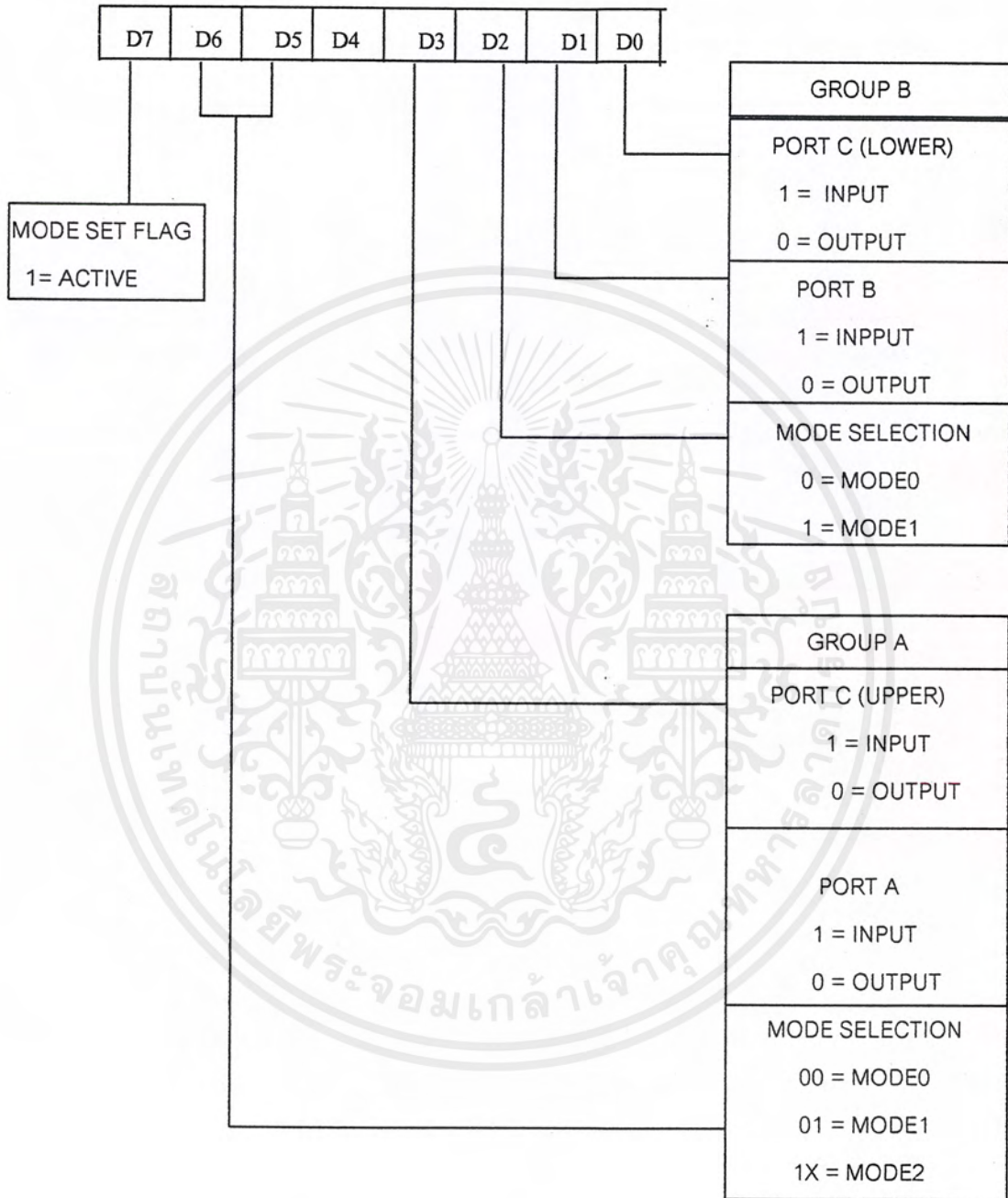
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางสรุปของ 8255 (MODE SUMMARY)

PORT--A	PORT-- B	PORT-- Co-C3	PORT-- C4-C7	CONTROL CODE HEX
OUT	OUT	OUT	OUT	80
OUT	OUT	OUT	IN	88
OUT	OUT	IN	OUT	81
OUT	OUT	IN	IN	89
OUT	IN	OUT	OUT	82
OUT	IN	OUT	IN	8A
OUT	IN	IN	OUT	83
IN	IN	IN	IN	8B
IN	OUT	OUT	OUT	90
IN	OUT	OUT	IN	98
IN	OUT	IN	OUT	91
IN	OUT	IN	IN	99
IN	IN	OUT	OUT	92
IN	IN	OUT	IN	9A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความหมายของบิต ต่างๆ ใน CONTROL PORT แสดงดังรูปที่ 2.25
CONTROL WORD

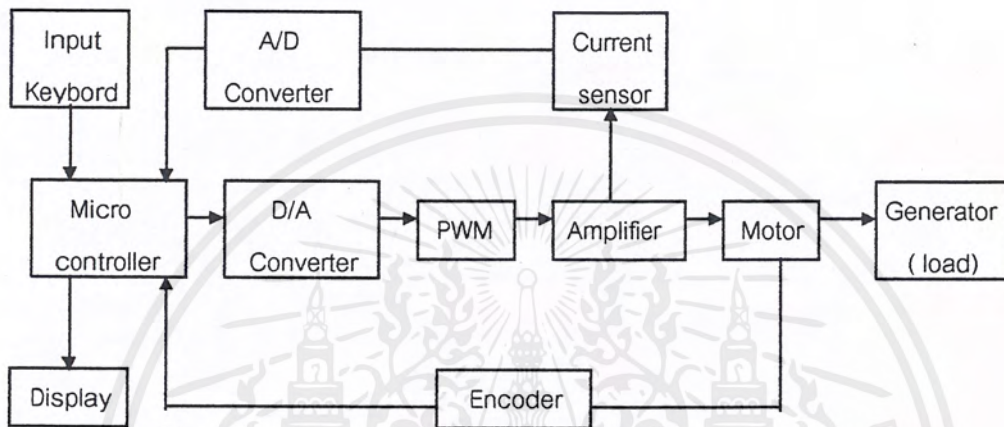


รูปที่ 2.25 แสดงค่าบิตของคอนโทรลพอร์ต

บทที่ 3

หลักการและขั้นตอนการทำงานของวงจรควบคุมความเร็วมอเตอร์

3.1 ลักษณะของโครงงานของระบบควบคุมความเร็วมอเตอร์



รูปที่ 3.1 ระบบโดยรวมของโครงงาน

ส่วนประกอบของระบบคอนโทรลความเร็วมอเตอร์แสดงได้ในปฏิกิริยาของรูปที่ ซึ่งประกอบด้วย 11 บล็อกด้วยกัน คือ:

- (1) MICROCONTROLLER
- (2) DIGITAL TO ANALOG CONVERTER
- (3) PULSE WIDTH MODULATION (PWM)
- (4) AMPLIFIER
- (5) ANALOG TO DIGITAL CONVERTER
- (6) CURRENT SENSOR
- (7) ENCODER
- (8) INPUT COMMAND
- (9) DISPLAY
- (10) MOTOR
- (11) GENERATOR

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลักการและขั้นตอนการทำงาน

บล็อกไดอะแกรมแสดงแผนผังการทำงานของวงจรควบคุมความเร็วมอเตอร์กระแสตรงแสดงในรูปที่ 3.1 โดยหลักและขั้นตอนการทำงานของแต่ละบล็อกไดอะแกรม มีดังนี้

ส่วนรับคำสั่งจากภายนอก (Command I/P)

เป็นส่วนที่รับคำสั่งจากผู้ใช้ โดยคำสั่งจะประกอบด้วย

- ความเร็วในการหมุน
- ทิศทางในการหมุน
- หยุดการทำงานของมอเตอร์กระแสตรง
- ค่ากระแสและแรงบิด
- เซ็ตค่า K_p, K_i, K_d
- เซ็ตค่า PV, SP

ซีพียู (CPU)

ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 โดยส่วนนี้จะเป็นส่วนที่รับคำสั่ง(อินพุต) ผ่านทางคีย์บอร์ด แล้วนำคำสั่งที่ได้มาประมวลผลและส่งสัญญาณในรูปสัญญาณดิจิทัล เพื่อควบคุมแรงดันในช่วง 0.5 ถึง 3.5 โวลต์ เพื่อควบคุมให้ได้ความเร็วและทิศทางในการหมุนตามที่ต้องการ และเพื่อความแม่นยำในการควบคุมซีพียู (CPU) จะมีการรับค่าความเร็วในการหมุนที่แท้จริง และค่ากระแสเพื่อใช้ในการควบคุมด้วยโดยค่าความเร็วในการหมุนที่แท้จริงจะนำมาเปรียบเทียบกับค่าความเร็วที่ต้องการเพื่อปรับค่าความเร็วให้มีความเร็วตามต้องการซึ่งรายละเอียดของโปรแกรมการควบคุมความเร็วและทิศทางของมอเตอร์กระแสตรงจะได้กล่าวในบทต่อไป นอกจากนี้ CPU ยังทำค่าความเร็วในการหมุนและค่ากระแส ซึ่งอยู่ในรูปของเลขฐานสองมาแปลงเป็นเลข BCD และส่งค่าออกเพื่อแสดงผลทางจอ LCD ในรูปของรหัสแอสกี

วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัล (A/D)

ส่วนนี้ทำหน้าที่ในการแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัล

วงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณอนาลอก (D/A)

ส่วนนี้ทำหน้าที่ในการแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณอนาลอก

วงจรพัลส์วidthโมดูเลชั่น (PWM)

ส่วนนี้มีหน้าที่ควบคุมกระแสและ โวลต์เตจที่ใช้ในการขับเคลื่อนมอเตอร์ เพื่อให้ได้ค่าความเร็วตามที่ต้องการ

วงจรขยาย (Amplifier)

ทำหน้าที่ปรับปรุงและขยายสัญญาณให้เหมาะสมก่อนที่จะป้อนเข้าไปขับดีซีมอเตอร์

วงจรวัดกระแส (Current Sensor)

เป็นส่วนที่ทำหน้าที่วัดค่ากระแสที่จ่ายให้มอเตอร์กระแสตรง โดยจะนำค่าที่วัดได้ส่ง ไปให้ ซีพียู (CPU) เพื่อใช้ในการควบคุมและแสดงผลต่อไป

มอเตอร์กระแสตรง (DC motor)

เป็นส่วนที่ถูกควบคุมซึ่งเป็นแบบเส้นแรงแม่เหล็กคงที่ ระบบการกระตุ้นฟลักซ์ของมอเตอร์ โดยใช้เป็นแบบแม่เหล็กถาวร

วงจรรับความเร็ว (Encoder)

ทำหน้าที่ในการตรวจจับความเร็วจริงที่วัดได้จากมอเตอร์ เพื่อนำสัญญาณที่ตรวจจับได้ป้อน กลับไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อทำการประมวลผลเพื่อควบคุมความเร็วให้ได้ตาม ต้องการ

เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง (DC generator)

เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงถูกต่อคัปปลิ้งกับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ซึ่งทำหน้าที่จ่ายพลังงานให้กับโหลดซึ่งเป็นหลอดไฟ

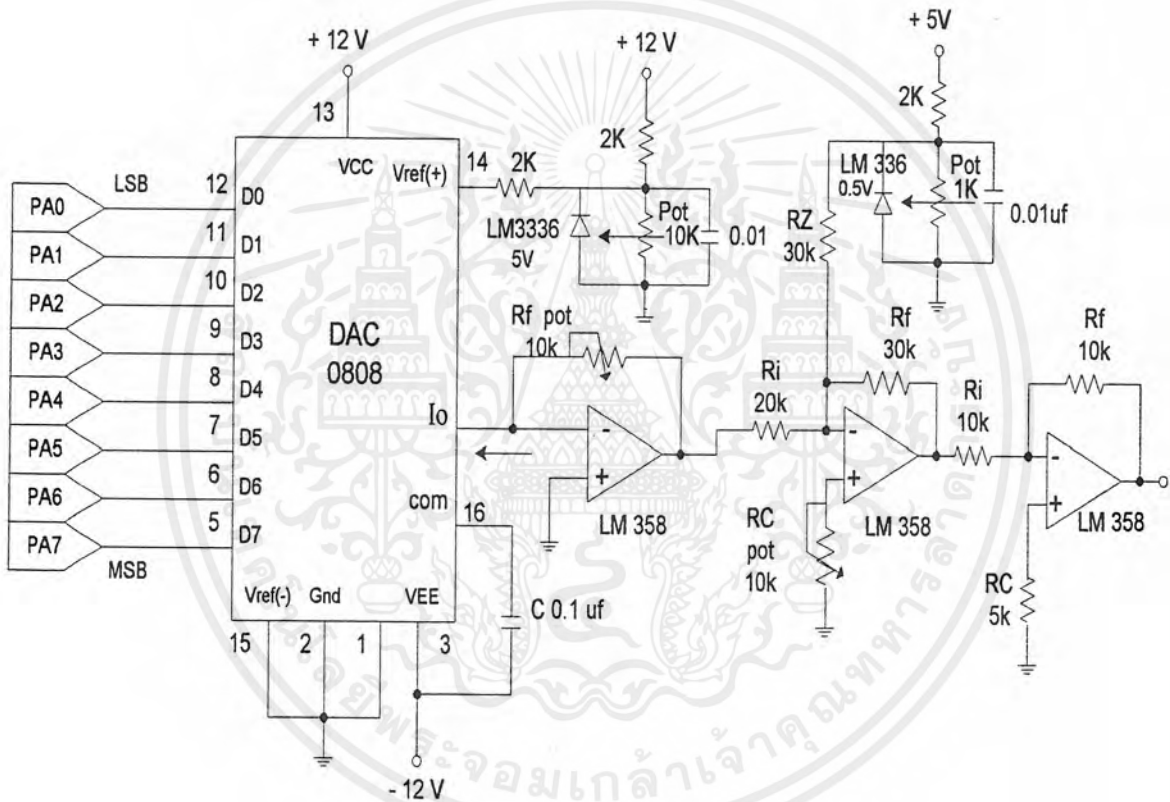
ส่วนแสดงผล (Display)

ใช้จอ LCD แสดงค่าความเร็ว ค่ากระแสที่อาเมเจอร์และค่าแรงบิดโดยรับค่าต่างๆเหล่านี้ มาจากซีพียู (CPU) ในรูปของรหัสแอสกี

4.2 การออกแบบวงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณอนาลอก

DAC ที่ใช้ในโครงงาน

วงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณอนาลอกจะใช้เป็นตัวเชื่อมต่อระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์ 80C31 วงจรพัลส์วิดท์มอดูเลชัน ซึ่ง DAC ที่ใช้จะรับค่าดิจิทัล อินพุต ตั้งแต่ 00H ถึง FFH โดยจะให้แรงดันอนาลอกเอาต์พุตจาก 0 ถึง 3.5 โวลต์ DAC ที่ใช้เป็นเบอร์ DAC 0808 โดยปกติสัญญาณออกที่ขา 4 ของ DAC 0808 จะเป็นกระแสเมื่อต้องการทำให้เป็นแรงดันก็ได้ โดยการใช้วงจรแปลงกระแสเป็นแรงดันวงจรต่อใช้งาน ดังแสดงในรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 แสดงวงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณอนาลอกต่อร่วมกับวงจรแปลงกระแสเป็นแรงดัน

วงจรปรับแรงดัน 0.5 - 3.5 โวลต์

สัญญาณมิลลิโวลต์ ที่จะนำไปควบคุมให้มอเตอร์หมุนที่ความเร็วตามต้องการ มีค่าจาก 0%-100% ซึ่งได้จากการคำนวณสมการ PID ตามสมการที่ 1

$$mV = m + K_p \left(1 + \frac{1}{T_i} \int e(+)dt + T_d \frac{de(t)}{dt} \right) \text{ ----- ①}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ mV = สัญญาณควบคุมที่จะส่งไปควบคุมมอเตอร์

m = ค่าคงที่เมื่อค่า error เป็นศูนย์

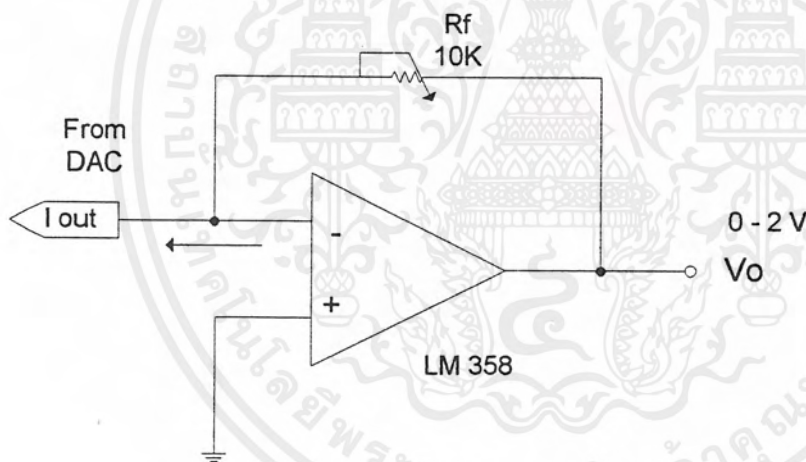
K_p = ค่า propotional gain

T_d = ค่า Derivative Time Constant

$e(t)$ = ค่า error

T_i = ค่า Integrat Time Constant

สัญญาณมิลลิโวลต์นี้จะถูกประมวลผลโดยตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อส่งให้กับวงจรแปลงดิจิตอลเป็นอนาลอกที่ใช้ IC DAC 0808 มีความละเอียด 8 บิตโดยกำหนดให้ค่าที่ได้จากสมการ PID มีค่า 0 ถึง 100 ในเลขฐาน 10 หรือ 00 ถึง 64 ในเลขฐาน 16 ซึ่งเมื่อแปลงเป็นสัญญาณอนาลอก แล้วจะให้ มีค่าจาก 0 โวลต์ ถึง 2 โวลต์ โดยวงจรแปลงกระแสเป็นแรงดัน



รูปที่ 4.3 แสดงวงจรแปลงกระแสเป็นแรงดัน

จากรูปที่ 4.3 จะได้ความสัมพันธ์ V_s แรงดัน output (V_o) ดังนี้

$$V_o = \frac{I_{ref} \times R_F \times D}{2^n} \quad \text{-----} \textcircled{2}$$

$$= \frac{V_{ref} \times R_F \times D}{R_{ref} \times 2^n} \quad \text{-----} \textcircled{3}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ $V_{ref} =$ แรงดันอ้างอิงของ DAC

$R_f =$ ความต้านทานป้อนกลับ

$D =$ ค่าแปลงจากเลขฐาน 16 เป็นเลขฐาน 10

$n =$ ค่าความละเอียดของ DAC

โดยเมื่อกำหนดให้ $V_{ref} = 5$ โวลต์, $R_{ref} = 1 \text{ k}\Omega$, $n = 8$

แทนค่าลงในสมการที่ 3

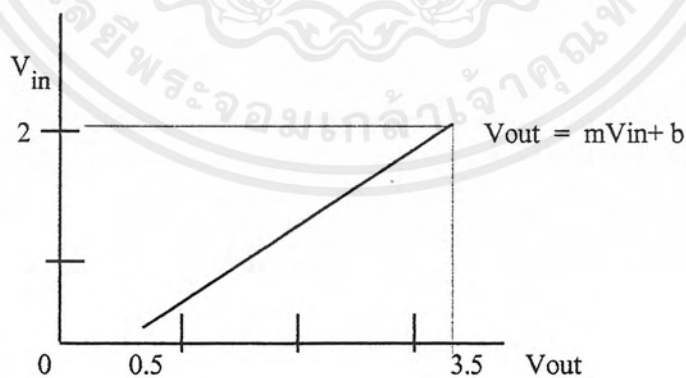
$$V_o = \frac{5 \times R_f \times D}{2 \times 10^3 \times 256}$$

เมื่อต้องการให้ $V_o = 2$ โวลต์ เมื่อค่า $m_v = 100\%$ หรือ 64H

$$\begin{aligned} \text{จะหาค่า } R_f &= \frac{2 \times 2 \times 10^3 \times 256}{5 \times 100} \\ &= 2.048 \text{ k}\Omega \end{aligned}$$

แรงดันที่ได้จากวงจรแปลงกระแสเป็นแรงดันนี้จะป้อนให้กับวงจรพัลส์วิตช์มอดูเลชัน เพื่อปรับค่าความถี่ไซเคิล ให้มีค่าตั้งแต่ 0% - 100% เพื่อควบคุมการนำกระแสของทรานซิสเตอร์สวิตช์ โดยที่วงจรพัลส์วิตช์ มอดูเลชันต้องการแรงดัน 0.5 ถึง 3.5 โวลต์ เพื่อปรับค่าความถี่ไซเคิลจาก 0% ถึง 100% แต่แรงดันที่ได้จากวงจรแปลงดิจิตอลเป็นอนาลอก มีค่า 0 ถึง 2 โวลต์ ดังนั้นจึงต้องออกแบบวงจรปรับแรงดันจาก 0 ถึง 2 โวลต์ เป็น 0.5 ถึง 3.5 โวลต์

การออกแบบวงจร



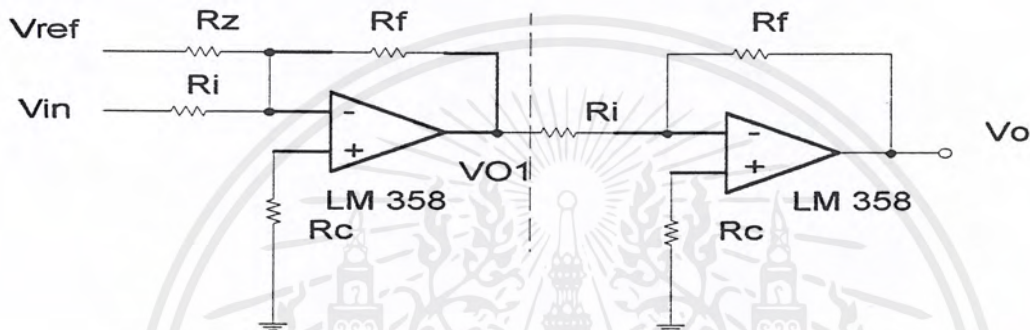
รูปที่ 4.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง V_{in} กับ V_{out} ของวงจร

การออกแบบจะใช้ความสัมพันธ์ของสมการเส้นตรงคือ

$$V_{out} = mV_{in} + b \quad \text{-----} \textcircled{4}$$

ซึ่งเราสามารถทราบค่าความสัมพันธ์เกณฑ์การขยายวงจร คือค่าความชันเนื่องจากค่าความชันมีค่าเท่ากับ อัตราส่วนแรงดัน เอาต์พุต ต่อแรงดันอินพุต

วงจรขยายผลรวมซึ่งประกอบด้วยวงจรขยายผลรวมอินพุตและวงจรอินเวอร์เตอร์แสดงได้ ดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 แสดงวงจรขยายผลรวมและวงจรอินเวอร์เตอร์

จากรูปที่ 4.5 วงจรขยายผลรวมและวงจรอินเวอร์เตอร์จะได้

$$V_{O1} = (R_f/R_i) \times V_{in} + (R_f/R_z)V_{ref} \quad \text{-----} \textcircled{5}$$

$$V_o = (R_f/R_i)V_{O1} \quad \text{-----} \textcircled{6}$$

จากสมการที่ 5 เมื่อเปรียบเทียบกับสมการเส้นตรง

$$m = R_f/R_i \quad \text{-----} \textcircled{7}$$

$$b = (R_f/R_z)V_{ref} \quad \text{-----} \textcircled{8}$$

เนื่องจากแรงดันอินพุตของวงจรคือ 0 - 2 โวลต์ และแรงดันเอาต์พุตของวงจรคือ 0.5-3.5 โวลต์

$$m = V_{out}/V_{in} = [(V_{out(max)} - V_{out(min)}) / (V_{in(max)} - V_{in(min)})]$$

$$m = \frac{3.5 - 0.5}{2 - 0} = 1.5$$

จากสมการที่ 7 เมื่อกำหนดให้ $R_f = 30 \text{ k}\Omega$

$$R_i = R_f/m = \frac{30 \text{ k}\Omega}{1.5} = 20 \text{ k}\Omega$$

แทนค่า m หาค่า b เมื่อ $V_{in} = 0$ โวลต์ และ $V_{out(min)} = 0.5$ โวลต์ ในสมการที่ 4

$$0.5 = 1.5 \times 0 + b$$

$$b = 0.5$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการ $\frac{R_f}{R_z} \times V_{ref} = b$ โดยกำหนดให้ $V_{ref} = 0.5$ โวลต์

$$\begin{aligned} R_z &= \frac{R_f}{b} \times V_{ref} \\ &= \frac{30}{0.5} \times 0.5 \end{aligned}$$

$$R_z = 30 \text{ k}$$

เนื่องจากออปแอมป์ มีคุณสมบัติไม่เป็นไปอย่างอุดมคติ คือ ความสมดุลระหว่างขาบวกและขาลบของออปแอมป์ไม่สมดุลกัน ดังนั้นจึงต่อความต้านทาน RC ที่ขาบวกของออปแอมป์เพื่อชดเชยกระแสเพื่อให้เกิดความสมดุลโดยที่ค่าความต้านทานที่ต่อเข้าไปนี้จะไม่มีผลต่อ V_o ค่า RC หา ได้จากการวัดค่า V_s , V_{ref} , V_{o1} , และ V_{in} ลงกราวด์ ซึ่งจะทำให้ค่า R_z , R_i , R_f ต่อขนานกันอยู่

$$\begin{aligned} RC &= R_z // R_i // R_f \\ &= \frac{1}{\frac{1}{30 \text{ k}} + \frac{1}{30 \text{ k}} + \frac{1}{20 \text{ k}}} \\ &= 8.571 \text{ k}\Omega \end{aligned}$$

ทดสอบค่าจากการคำนวณ

$$V_{out} = \frac{R_f}{R_i} \times V_{in} + \frac{R_f}{R_z} \times V_{ref}$$

เมื่อ $V_{in} = 2$ โวลต์

$$\begin{aligned} V_{out} &= \frac{30}{20} \times 2 + \frac{30}{30} \times 0.5 \\ &= 3.5 \text{ โวลต์} \end{aligned}$$

เมื่อ $V_{in} = 0$ โวลต์

$$\begin{aligned} V_{out} &= \frac{30}{20} \times 0 + \frac{30}{30} \times 0.5 \\ &= 0.5 \text{ โวลต์} \end{aligned}$$

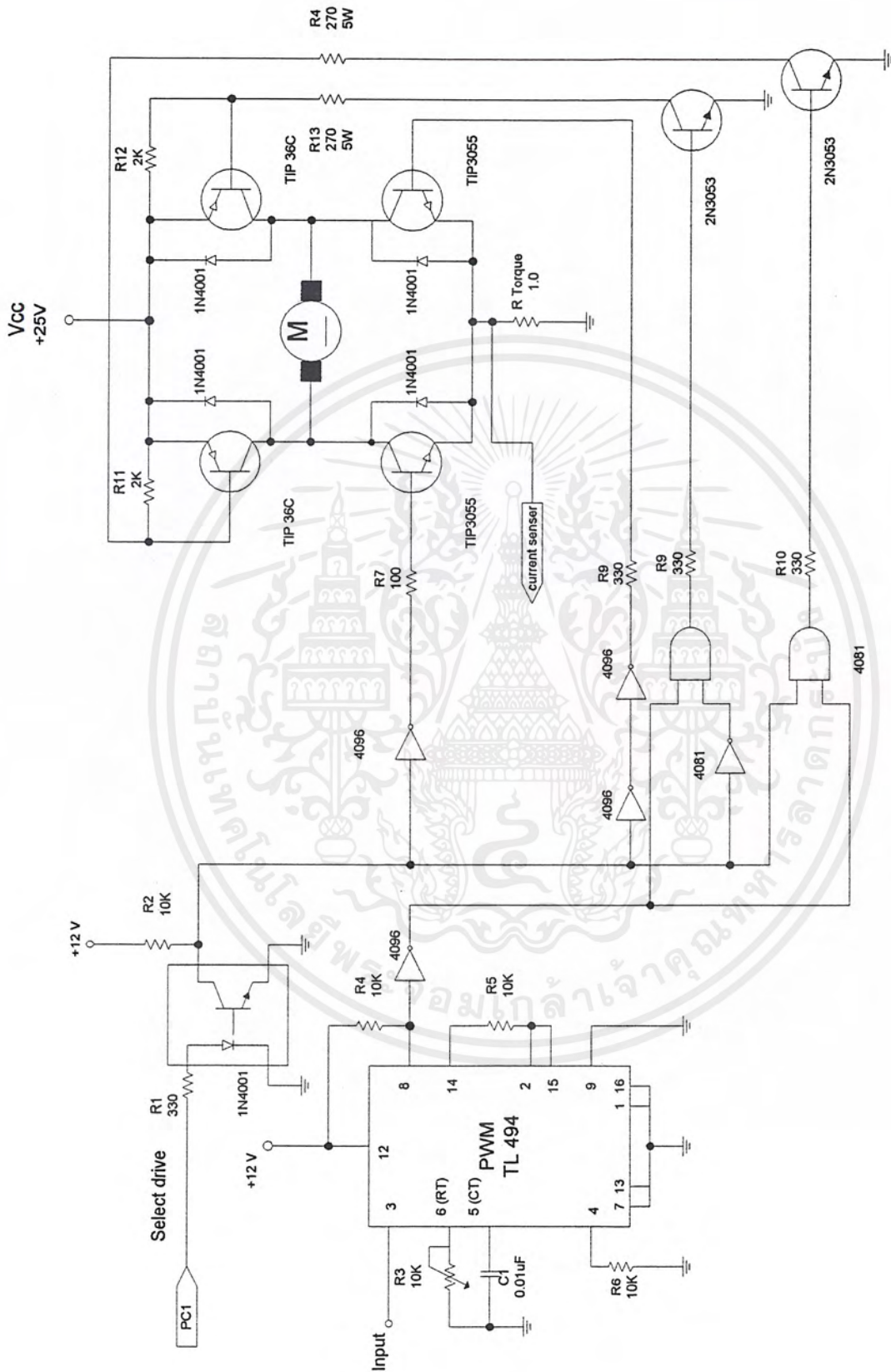
ในส่วนของวงจรอินเวอร์เตอร์จะเป็นวงจรกลับขั้วแรงดัน V_s V_{o1} ให้เป็นบวกโดยจะเลือกใช้ $R_f = 10 \text{ k}\Omega$, $R_i = 10 \text{ k}\Omega$ และ $RC = R_f // R_i = 5 \text{ k}\Omega$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 การออกแบบวงจรขับเคลื่อนมอเตอร์

วงจรขับเคลื่อนที่ใช้ในโครงการ

วงจรขับเคลื่อนมอเตอร์จะทำหน้าที่ประมวลสัญญาณเอาต์พุตจากไมโครคอนโทรลเลอร์แรงดันที่ได้จากการประมวลผลของสัญญาณผิดพลาดที่มีค่า 0.5–3.5 โวลต์ จะถูกป้อนให้กับ IC IL494 ซึ่งเป็นไอซีพัลส์วidthมอดูเลชัน ที่มีการเปลี่ยนค่าดีวตี้ไซเคิลจาก 0% - 100% โดยค่าดีวตี้ไซเคิลนี้จะเปลี่ยนแปลงแบบสัดส่วนกับแรงดันที่ได้จากการประมวลผลของสัญญาณผิดพลาด ค่าดีวตี้ไซเคิลนี้จะนำไปควบคุมการนำกระแสและหยุดนำกระแส ของคู่เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์เพื่อรักษาให้มอเตอร์มีความเร็วและทิศทางการหมุนตามต้องการ วงจรของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ 4 ตัว ถูกจัดให้อยู่ในรูปของ Wheat stone bridge โดยแขนตรงกันข้ามของวงจร bridge จะใช้คู่ของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ที่ตรงข้ามกัน (NPN กับ PNP) โดยมีวงจรลอจิก สำหรับควบคุมการทำงานของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ เพื่อให้การหมุนของมอเตอร์เป็นไปในทิศทางตามต้องการ ความต้านทาน R SENS ใช้ตรวจับกระแสซึ่งจะขึ้นอยู่กับแรงดันที่ตกคร่อมความต้านทาน ตามความสัมพันธ์ วงจรขับเคลื่อนแสดงดังรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 วงจรขับเคลื่อนมอเตอร์ที่ใช้ในโรงงาน

บทที่ 5

วิธีการใช้งานและการปรับแต่ง

5.1 ชุดควบคุมเครื่องกลไฟฟ้ากระแสตรงแบบอัตโนมัติ

เครื่องควบคุมเครื่องกลไฟฟ้ากระแสตรงแบบอัตโนมัติ แบ่งเป็น 2 ส่วนคือ

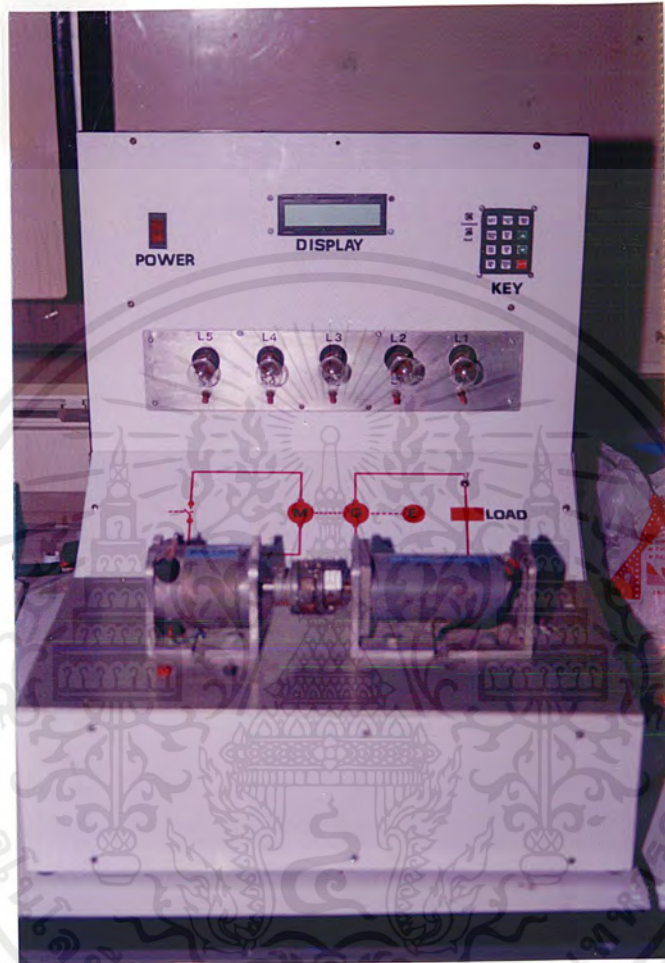
- 1.) ชุดควบคุม
- 2.) ชุดเครื่องกลไฟฟ้ากระแสตรง

1.ชุดควบคุม เป็นการควบคุมแบบ PID ซึ่งจะรับคำสั่งควบคุมจากผู้ใช้ผ่านทางคีย์บอร์ด โดยมีจอ LCD แสดงผลการใช้งานมีรูปวงจรรูปที่ 5.1



รูปที่ 5.1 รูปวงจรชุดควบคุม

2. ชุดเครื่องกลไฟฟ้ากระแสตรง เป็นชุดที่ถูกควบคุมโดยจะเป็นมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงต่อขับปลั๊กกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง มีรูปภาพดังรูปที่ 5.2

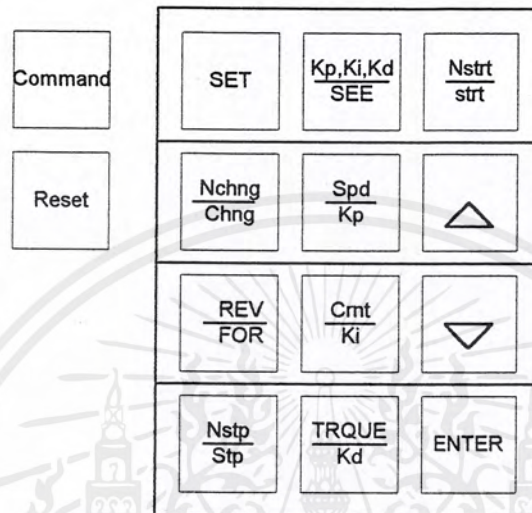


รูปที่ 5.2 แสดงชุดเครื่องกลไฟฟ้ากระแสตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 วิธีการใช้เครื่อง

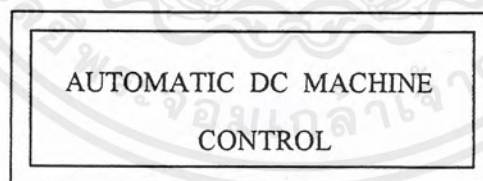
การป้อนคำสั่งเพื่อควบคุมการทำงานของเครื่อง โดยผ่านทางคีย์สวิตช์แบบ 12 คีย์ และสวิตช์รวมอีก 2 คีย์ ซึ่งลักษณะของคีย์สวิตช์ต่างๆแสดงดังรูปที่ 5.3



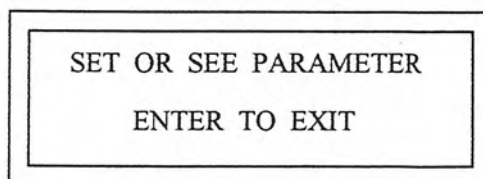
รูปที่ 5.3 แสดงคีย์สวิตช์ แบบ 12 คีย์ ที่ใช้ในโครงการ

ลำดับขั้นการใช้เครื่อง

- 1.) เสียบปลั๊ก แล้วเปิดสวิตช์ Power ที่ display ที่ LCD จะแสดงข้อความเพื่อแสดงว่าเครื่องพร้อมทำงาน



- 2.) กดสวิตช์ **Command** เพื่อเข้าสู่โหมดการป้อนคำสั่งที่ Display จะแสดงข้อความ



- 2.1) ถ้ากด **SET** จะเข้าสู่โหมดการเซตค่าพารามิเตอร์ต่างๆ

2.2) ถ้ากด จะเข้าสู่โหมดการตั้งค่าพารามิเตอร์ต่างๆ

2.3) ถ้ากด
 จะเป็นการสั่งให้เครื่องเริ่มทำงานที่ display จะแสดงข้อความ

MODE CONTROL
START NOW

2.3.1) ถ้าต้องการเข้าสู่การเริ่มทำงานกด

2.3.2) ถ้าไม่ต้องการเริ่มการทำงานให้กด
 อีกครั้งหนึ่ง

2.4) ถ้ากด
 จะเป็นการสั่งให้เครื่องหยุดทำงาน display จะแสดงข้อความ

STOP
ARE YOU SURE ?

2.4.1) ถ้าต้องการให้มอเตอร์หยุดทำงานก็ให้กด

2.4.2) ถ้าไม่ต้องการหยุดก็ให้กด
 อีกครั้งหนึ่ง

2.5) กด เพื่อออกจากโหมดการป้อนคำสั่ง

3.) โหมด จะเข้าสู่โหมดการเซตค่าพารามิเตอร์ ซึ่ง display จะแสดงข้อความ

SET PARAMETER CHNG
FOR . REV. KP. Ki . Kd.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1) ถ้ากด

Nchng
Chng

 แล้ว display จะแสดงข้อความในการเปลี่ยนทิศทางการหมุนดังนี้

Change Motor run ARE YOU SURE ?

3.1.1) ถ้าต้องการให้มอเตอร์กลับทิศทางการหมุนกด

ENTER

3.1.2) ถ้าไม่ต้องการ ให้กด

Nchng
Chng

 อีกครั้ง

3.2) ถ้ากด

REV
FOR

 เป็นการกำหนดทิศทางการหมุนให้กับมอเตอร์ display จะแสดงข้อความ

MOTOR RUN FORWARD ARE YOU SURE ?

3.2.1) ถ้ากด

ENTER

 จะเข้าสู่การเซตค่าความเร็วตามที่ต้องการที่ display จะแสดงข้อความ

FOR SP = RPM ENTER TO EXIT

จากนั้นให้กด

▲

 เพื่อเพิ่มค่าหรือกด

▼

 เพื่อลดค่า

ถ้าต้องการออกจากการเซตค่าความเร็วให้กด

ENTER

3.2.2) ถ้ากด REV
FOR อีกครั้งหนึ่ง display จะแสดงข้อความ

MOTOR RUN REVERSE
ARE YOU SURE ?

จากนั้นกด ENTER เพื่อเข้าสู่การเซ็ทค่าความเร็ว display จะแสดงข้อความ

REV. SP = RPM
ENTER TO EXIT

จากนั้นกด ▲ หรือกด ▼ เพื่อเพิ่มหรือลดค่าความเร็วตามลำดับ

ถ้าต้องการออกจากการเซ็ทค่าให้กด ENTER

3.3) กด SPd
Kp เป็นการเซ็ทค่า K_p display จะแสดงข้อความ

GAIN K_p = %
ENTER TO EXIT

จากนั้นให้กด ▲ หรือ ▼ เพื่อเพิ่มหรือลดค่า K_p ตามลำดับ
กด ENTER เพื่อออกจากการเซ็ทค่า K_p

3.4) ถ้ากด Cmt
Ki เข้าสู่การเซ็ทค่า K_i display จะแสดงข้อความ

GAIN K_i = %
ENTER TO EXIT

จากนั้นให้กด หรือ เพื่อเพิ่มหรือลดค่า K_i

กด เพื่อออกจากการเซตค่า K_i

3.5) ถ้ากด เข้าสู่การเซตค่า K_d display จะแสดงข้อความ

GAIN K_d = %
ENTER TO EXIT

จากนั้นให้กด หรือ เพื่อเพิ่มหรือลดค่า K_d

กด เพื่อออกจากการเซตค่า K_d

3.6) กด ENTER เพื่อออกจากการเซตค่าพารามิเตอร์

4.) กด เพื่อเข้าสู่โหมดการดูค่าพารามิเตอร์

กด K_p , K_i , K_d อีกครั้ง เพื่อดูค่า K_p , K_i , K_d display จะแสดงข้อความ

gain K_p = 000 %
 K_i = 000 % K_d = 000 %

กด เพื่อออกจากการดูค่า gain K

4.2) กด เพื่อดูค่าความเร็ว ซึ่งค่าความเร็วจะแสดง 2 ค่า คือ

spd
Kp

ค่าที่ตั้งไว้ (SP) และค่าที่มอเตอร์หมุนอยู่ (PV) พร้อมทั้งแสดงทิศทางการหมุนที่ display จะแสดงข้อความ

Speed	SP = 0000 RPM
FOR	PV = 0000 Rpm

กด เพื่อออกจากการดูค่าความเร็ว

4.3) กด
 เพื่อดูค่ากระแสที่ display จะแสดงข้อความ

CURRENT = 0.0000 AMP
ENTER TO EXIT

กด เพื่อออกจากการดูค่ากระแส

4.4) กด
 เพื่อดูค่าแรงบิด display จะแสดงข้อความ

TORQUE = N-M
ENTER TO EXIT

กด เพื่อออกจากการดูค่าแรงบิด

เมื่อออกจากโหมดการป้อนคำสั่ง ถ้าหากมีการสั่งให้เครื่องทำงาน display จะแสดงค่าความเร็วที่เห็นไว้กับค่าความเร็วที่มอเตอร์หมุนอยู่จริง พร้อมทั้งทิศทางการหมุน

Speed SP = 0000 RPM
FOR PV = 0000 RPM

ถ้าต้องการเข้าสู่การป้อนคำสั่งอีกก็ให้กด **Command** แล้วกด **ENTER**

ถ้าหากไม่มีการสั่งให้เครื่องทำงาน display จะแสดงข้อความ

STOP MODE
PRESS COMMAND

เครื่องจะรอให้กด **Command** เพื่อเข้าสู่การป้อนคำสั่ง

เมื่อเครื่องทำงานผิดปกติ ซึ่งในที่นี้จะตรวจจับเฉพาะกระแสของมอเตอร์โดยมอเตอร์จะทนกระแสได้ไม่เกิน 2 แอมป์ เมื่อใดก็ตามที่มีกระแสไหลผ่านมอเตอร์ถึง 2 แอมป์ จะมีการหน่วงเวลาชั่วคราวแล้วตรวจดูว่ากระแยังไหลเกิน 2 แอมป์ อยู่หรือไม่ ถ้ากระแยังเกิน 2 แอมป์อยู่ เครื่องจะแสดง alarm display จะแสดงข้อความ

SYSTEM ALARM
PRESS RESET

ให้ตรวจสอบหาข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้นแล้วกด Reset เพื่อเริ่มต้นการทำงานของเครื่องใหม่

บทที่ 6

ผลการทดลองและสรุป

การทดสอบการทำงาน

การทดสอบการทำงานแยกเป็น 2 แบบคือ

- 1.) การทดสอบการควบคุมความเร็วมอเตอร์เมื่อไม่มีภาระงาน
- 2.) การทดสอบการควบคุมความเร็วมอเตอร์ในสภาวะที่มีภาระงาน

1.) การทดสอบการควบคุมความเร็วมอเตอร์เมื่อไม่มีภาระงาน

การทดสอบการควบคุมความเร็วโดยการเปลี่ยนแปลงค่าความเร็วรอบมอเตอร์ที่ค่าต่าง ๆ โดยที่ระบบยังไม่มีภาระงาน ซึ่งจากการทดลองจะเห็นได้ว่าค่าความเร็วรอบของมอเตอร์ จะเปลี่ยนแปลงไปตามค่าความเร็วรอบที่ตั้งไว้ แสดงดังตารางที่ 1

SP	PV
500	496
800	803
1000	992
1300	1313
1500	1495

ตารางที่ 1 แสดงผลตอบสนองทางความเร็วขณะที่มอเตอร์หมุนในทิศทาง FORWARD

เมื่อ $K_p = 20\%$ $K_i = 110\%$

SP	PV
500	581
800	793
1000	1010
1300	1296
1500	1502

ตารางที่ 2 แสดงผลตอบสนองทางความเร็วขณะที่มอเตอร์หมุนในทิศทาง REVERSE

เมื่อ $K_p = 25\%$ $K_i = 110\%$

จากตารางที่ 1 และตารางที่ 2 เป็นการเปลี่ยนแปลงค่าความเร็วเพื่อดูผลตอบสนองทางความเร็วของมอเตอร์ โดยการปรับค่า K_p ที่ 20% และ K_i ที่ 110% จากการทดลองในขณะที่มอเตอร์เริ่มหมุนจะเกิดความเร็วเกิน จากนั้นความเร็วรอบของมอเตอร์จะแกว่งรอบ ๆ เพื่อเข้าหาความเร็วรอบที่ตั้งไว้ในที่สุด

2.) การทดสอบการควบคุมความเร็วในสถานะที่มีภาระงาน

การทดสอบการควบคุมความเร็วในสถานะที่มีภาระงาน โดยมอเตอร์จะต่อคัปปลิ้งอยู่กับเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง ทำให้แรงดันเอาต์พุตแปรค่าตามค่าความเร็วรอบที่ใช้ขับเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง จากนั้นจะใช้หลอดไฟเป็นภาระงาน โดยถ้าจำนวนหลอดไฟเพิ่มมากขึ้น จะแสดงถึงว่าภาระงานเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากหลอดไฟที่ใช้ ขนาด $12\text{ V} / 7\text{ W}$ ดังนั้นจึงทำการทดสอบที่ความเร็วรอบ 1000 รอบ / นาที, 1300 รอบ / นาที และ 1500 รอบ / นาที ผลที่ได้ดังตารางที่ 3 และ ตารางที่ 4

SP	PV	จำนวนภาระงาน (หลอดไฟ)				
		L1	L2	L3	L4	L5
1000	994	ON	ON	ON	ON	-
1300	1296	ON	ON	ON	ON	-
1500	1495	ON	ON	ON	-	-

ตารางที่ 3 การทดสอบการควบคุมความเร็วของมอเตอร์ในสถานะที่มีภาระงานขณะที่มอเตอร์หมุนในทิศทาง FORWARD ที่ $K_p = 50\%$ $K_i = 100\%$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SP	PV	จำนวนภาระงาน (หลอดไฟ)				
		L1	L2	L3	L4	L5
1000	996	ON	ON	ON	ON	-
1300	1292	ON	ON	ON	ON	ON
1500	1442	ON	ON	ON	ON	-

ตารางที่ 4 การทดสอบการควบคุมความเร็วของมอเตอร์ ในสภาวะที่มีภาระงานขณะมอเตอร์หมุนในทิศทาง REVERSE ที่ $K_p = 50\%$ $K_i = 100\%$

จากการทดลองในตารางที่ 3 และ ตารางที่ 4 เป็นการทดสอบความเร็วรอบของมอเตอร์ในสภาวะที่มีภาระงาน โดยเมื่อภาระงานมีจำนวนเพิ่มขึ้นค่าความเร็วรอบของมอเตอร์จะลดลง และจะค่อย ๆ ปรับค่าความเร็วเข้าสู่ค่าที่ต้องการได้ เมื่อภาระงานมีจำนวนมากผลตอบสนองทางความเร็วของมอเตอร์จะลดลง สามารถปรับค่า K_p ให้สูงขึ้นอีกได้ เพื่อเพิ่มความเร็วของผลตอบสนอง แต่ต้องไม่ทำให้มอเตอร์เกิดการออสซิลเลตได้

สรุปผลและปัญหาที่เกิดขึ้น

1.) การทดสอบการควบคุม

1.1) การทดสอบการควบคุมขณะไม่มีโหลด

ขณะที่ไม่มีโหลดที่ความเร็วค่าต่ำๆ การควบคุมจะไม่ค่อยดีทั้งนี้เนื่องมาจากความละเอียดของตัวแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณอนาล็อกซึ่งยังมีความละเอียดไม่พอ ทำให้สัญญาณควบคุม มี Step การเปลี่ยนที่กว้าง ดังนั้นการควบคุมเข้าสู่ค่าเป้าหมายจึงยังไม่แม่นยำพอ และในส่วน of ตัวเครื่องกลไฟฟ้าเองก็ตาม ซึ่งมีการคัปปลิงกันระหว่างมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง กับเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง ดังนั้นค่าความถี่และค่าแรงเฉื่อยของโรเตอร์และอาร์เมเจอร์ของมอเตอร์และเครื่องกำเนิดไฟฟ้าก็มีผลต่อการเริ่มหมุนทั้งสิ้น

1.2) การทดลองการควบคุมขณะมีโหลด

ขณะที่มีโหลด เมื่อโหลดมีขนาดเพิ่มขึ้นการเข้าสู่สภาวะคงตัวของความเร็วก็ยิ่งนานขึ้น แต่ทั้งนี้ ก็ขึ้นอยู่กับค่าการปรับค่า gain K ต่างๆ ที่เหมาะสม ซึ่งการปรับค่า gain K ไม่ได้มีสูตรตายตัว ดังนั้นผลการควบคุมจะดีหรือไม่ขึ้นกับความสามารถและประสบการณ์ของผู้ควบคุมเอง และสภาพของตัวที่ถูกควบคุมด้วยเป็นสำคัญ

2.) ปัญหาของเรื่องระบบกราวด์

ในส่วน of ระบบกราวด์ระหว่างชุด POWER กับชุดควบคุมที่ไม่ได้แยกกันโดยเด็ดขาด จะมีผลต่อระบบการควบคุม เนื่องจากชุดควบคุมจะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ซึ่งมีความไวต่อสัญญาณรบกวนรบกวนรบกวนที่เกิดขึ้นจากการเหนี่ยวนำของมอเตอร์หรือสนามแม่เหล็กซึ่งจะทำให้การทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์มีความผิดพลาดได้ อาจแก้ปัญหาได้โดยการใช้อุปกรณ์เชื่อมต่อ

3.) สาเหตุอื่นๆ

ในส่วน of ค่าโมเมนต์ความเฉื่อยของมอเตอร์กับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ค่าความถี่ของแบริงของมอเตอร์และเครื่องกำเนิดก็มีส่วนสำคัญต่อผลของการควบคุม อาจแก้ปัญหาได้โดยมีการหล่อลื่นที่ดี และออกแบบในส่วน of โมเมนต์ความเฉื่อยของแกนโรเตอร์และอาร์เมเจอร์ที่เหมาะสม

สรุปการพัฒนาโครงการ

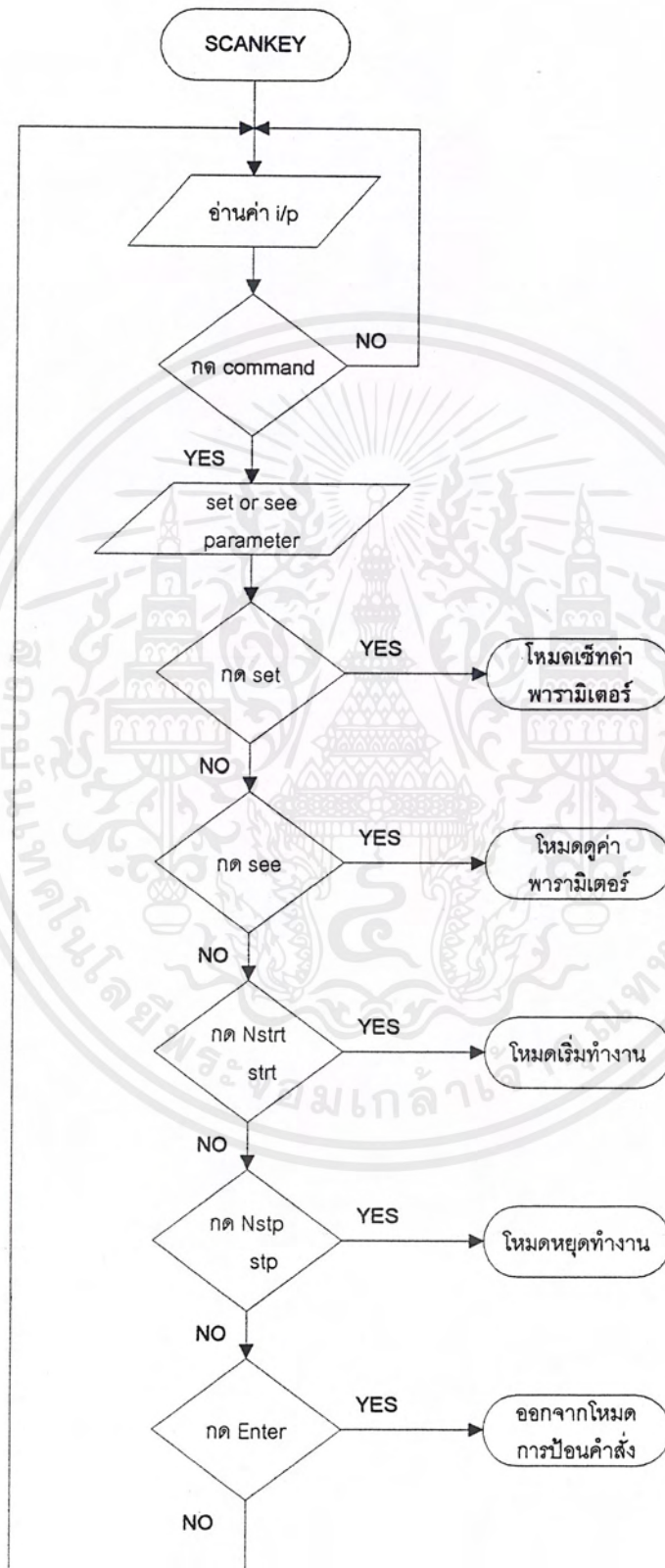
โครงการการควบคุมเครื่องจักรกลไฟฟ้ากระแสตรงแบบอัตโนมัติ ทำขึ้นเพื่อแสดงการควบคุมเครื่องจักรกลไฟฟ้ากระแสตรง โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งเป็นแบบดิจิทัลคอนโทรล โดยมีการควบคุมแบบ PID ในส่วนของการควบคุม ส่วนที่เชื่อมต่อระหว่างสัญญาณดิจิทัลกับสัญญาณอนาล็อก ที่มีความละเอียดเพียง 8 บิต ซึ่งถ้าใช้ในการควบคุมจริงๆ แล้วความละเอียดในระดับนี้ถือว่ายังไม่พอเพียง จึงทำให้การควบคุมยังไม่เที่ยงตรงพอและในส่วนของสัญญาณป้อนกลับความเร็วที่ใช้เอนโคเดอร์ แล้วให้ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นตัวจับเวลา ทำการนับพัลส์ ซึ่งในส่วนของฐานเวลาของไมโครคอนโทรลเลอร์ก็มีส่วนสำคัญสามารถวัดความเร็วป้อนกลับ ต่อความแม่นยำของสัญญาณป้อนกลับ ซึ่งมีผลต่อการสร้างสัญญาณควบคุม ซึ่งในโครงการนี้ไม่ได้ทำการแยกกันอย่างเด็ดขาด ซึ่งมีผลตอบสนองทำให้การควบคุมเกิดการผิดพลาดไปบ้าง ดังนั้นโครงการนี้จึงยังต้องมีการปรับปรุงและยังต้องมีการพัฒนาอีก เพื่อความเหมาะสมต่อไป

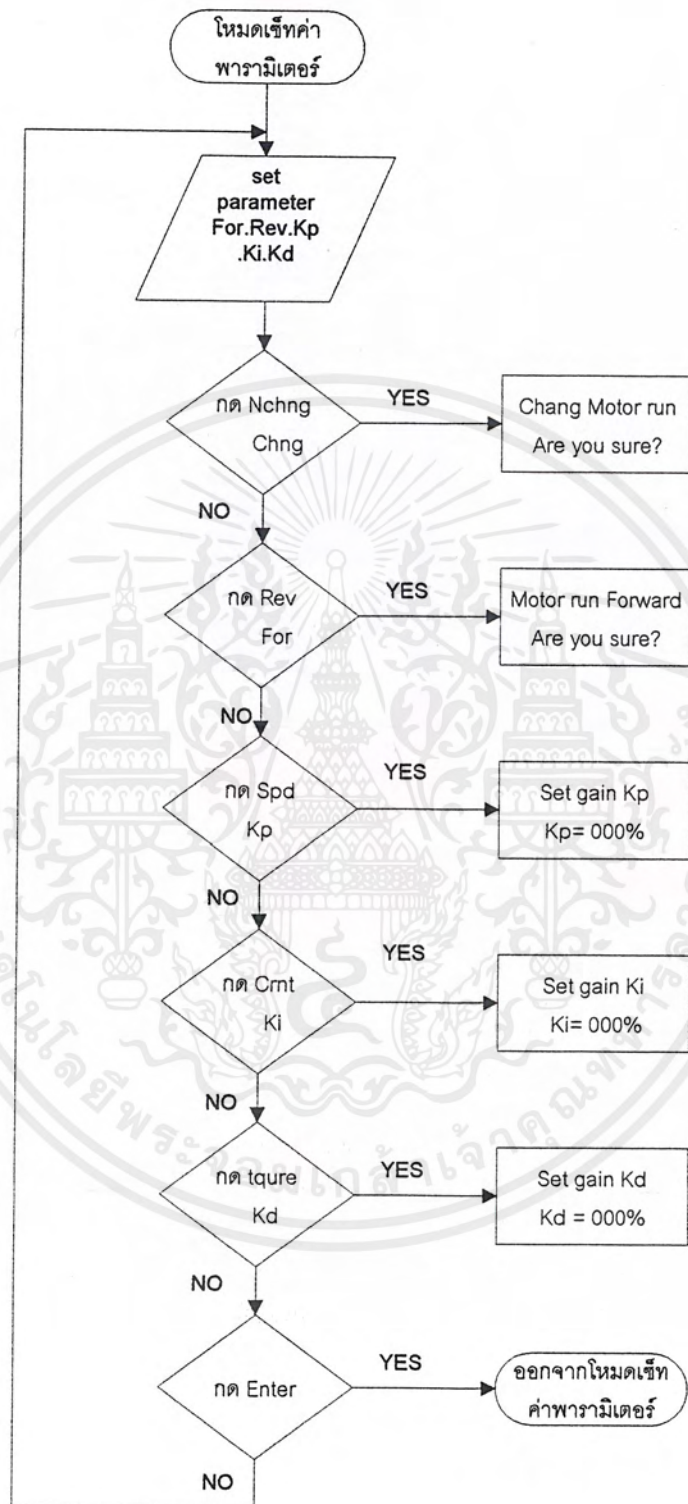


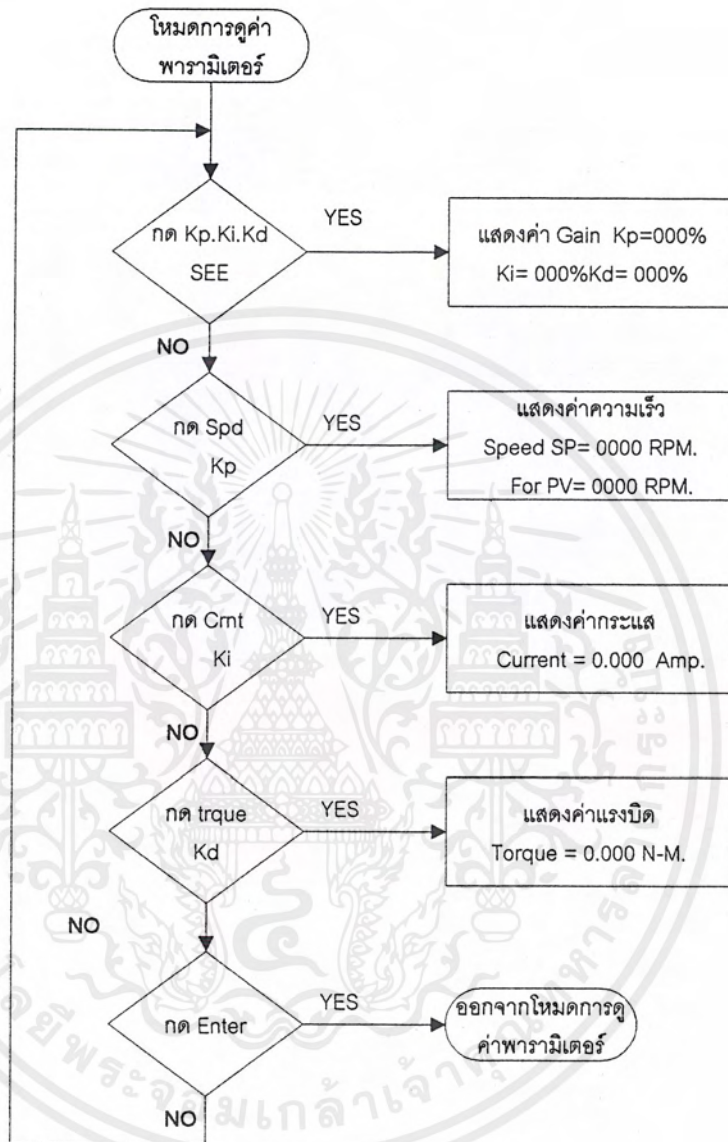


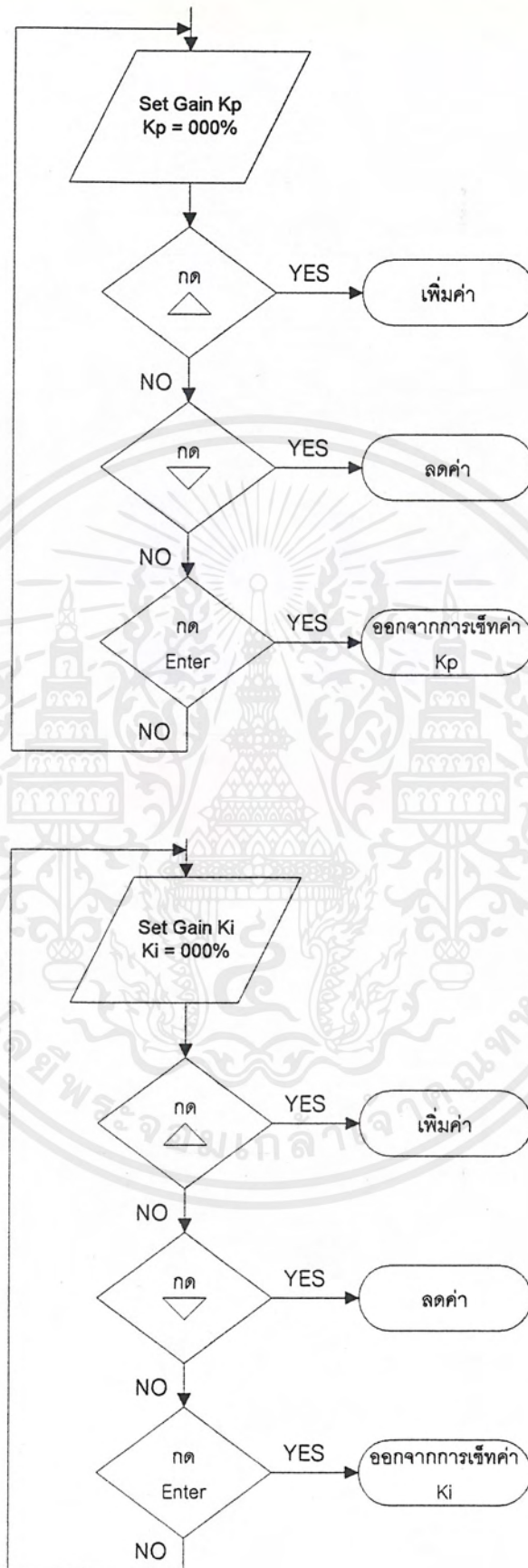
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FLOWCHART ของโปรแกรมส่วน KEYBOARD

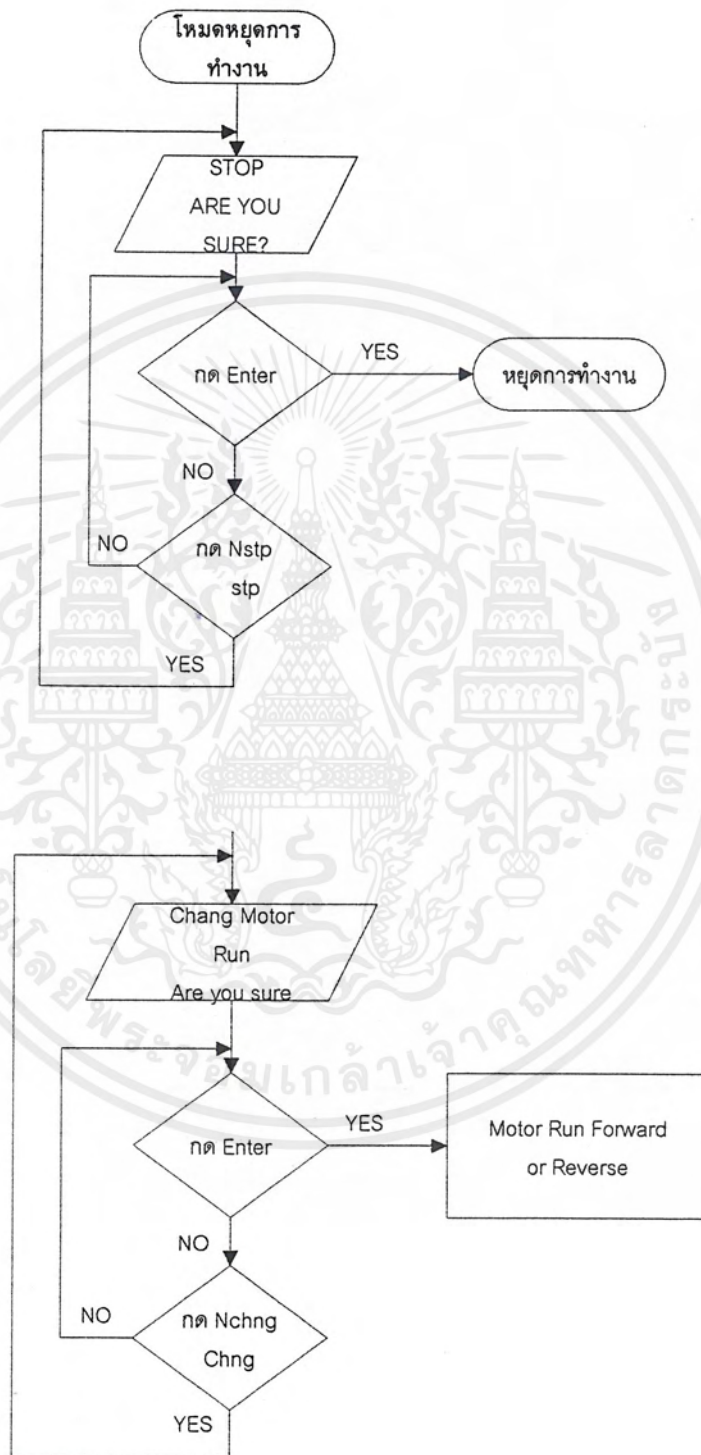








เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DMC202

• Display Format(20character ×2line) • Display Fonts(5×8dots) • Driving Method(1/4D)

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

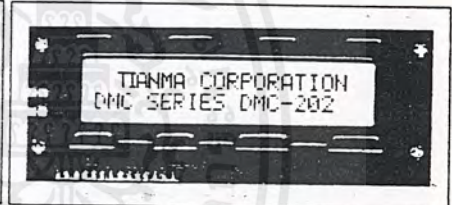
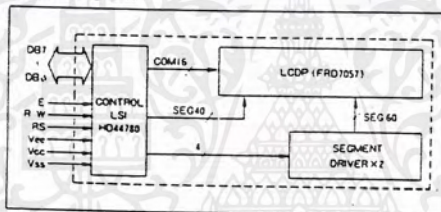
Item	Symbol	Test Condition	Standard Value			Unit
			min.	typ.	max.	
Power Supply Voltage for Logic	$V_{CC} - V_{SS}$		0		7	V
Power Supply Voltage for LCD Drive	$V_{CC} - V_{EE}$		0		13.5	V
Input Voltage	V_i		V_{SS}		V_{CC}	V
Operating Temperature	T_a		0		+50	°C
Storage Temperature	T_{stg}		-20		+70	°C

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

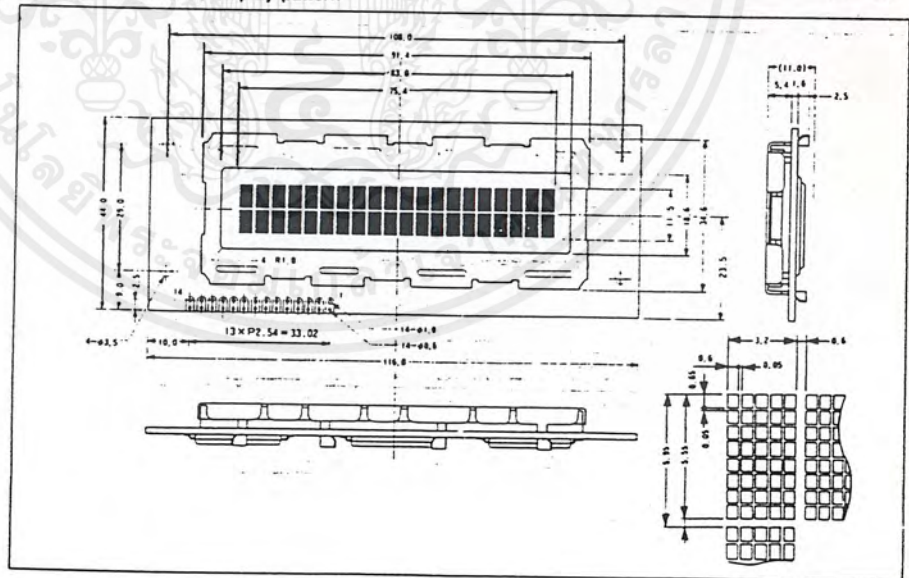
Item	Symbol	Test Condition	Standard Value			Unit
			min.	typ.	max.	
Input "High" Voltage	V_{IH}		2.2	-	V_{CC}	V
Input "Low" Voltage	V_{IL}		-0.3		0.6	V
Output "High" Voltage	V_{OH}	$I_{OH}=0.205\text{mA}$	2.4			V
Output "Low" Voltage	V_{OL}	$I_{OL}=1.2\text{mA}$			0.4	V
Power Supply Current	I_{CC}	$V_{CC}=5.0\text{V}$	1.5	3.0		mA

• $V_{CC}=5.0\text{V} \pm 5\%$, $T_a=25^\circ\text{C}$

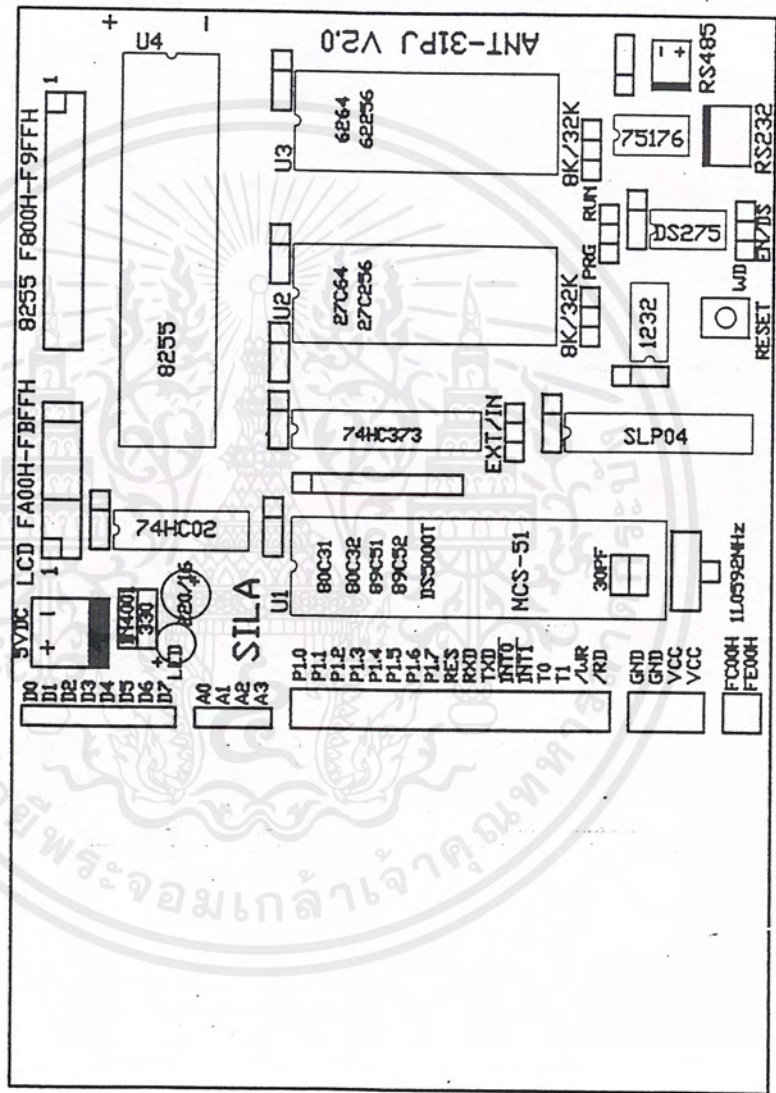
Block diagram



External dimensions / Display pattern



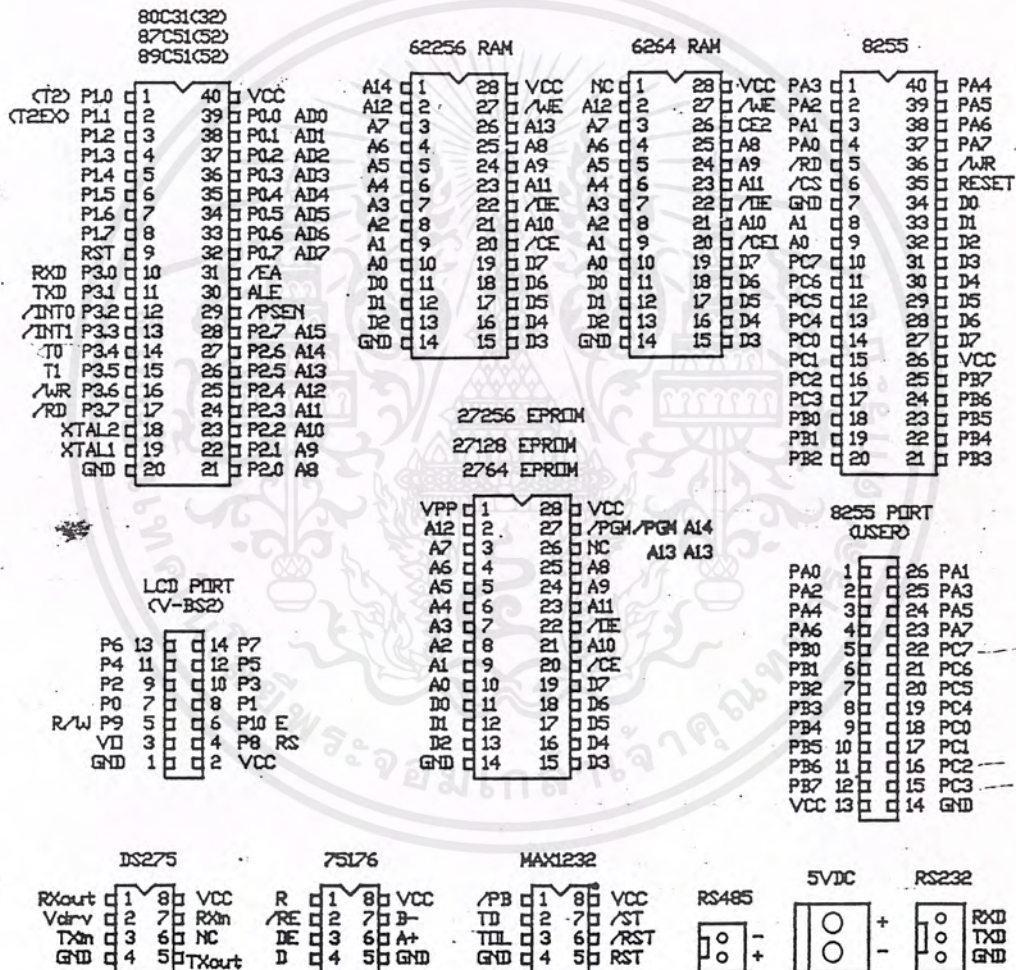
ภาพแสดงตำแหน่งต่างๆ บนบอร์ด ANT-31PJ V2.0



ANT31PJ Top Overlay

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพแสดงรายละเอียดของ CONNECTOR



กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้คงไม่สามารถที่จะสำเร็จลุล่วงไปได้ถ้าไม่ได้รับความช่วยเหลือจาก อาจารย์ ไสว พงศ์สวัสดิ์ ที่คอยให้คำปรึกษาและช่วยแก้ไขปัญหาดังต่าง ๆ ด้วยดีตลอดเวลา เพื่อนนักศึกษาภาควิชาเทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรม ที่คอยให้คำปรึกษาและคำแนะนำต่าง ๆ และเพื่อนนักศึกษาคณะสาธารณสุข มหาวิทยาลัยมหิดลที่คอยช่วยเหลือในการพิมพ์และให้คำแนะนำพร้อมทั้งกำลังใจ สุดท้ายขอขอบคุณภาควิชา เทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังที่ได้เอื้อเฟื้อในเรื่องเครื่องมือและอุปกรณ์ต่าง ๆ ในการทำโครงการที่ให้ประสบผลสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หนังสืออ้างอิง

1. โยธิน เปรมปรางค์, “ระบบเซอร์โวมอเตอร์และอิเล็กทรอนิกส์คอนโทรลมอเตอร์”, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2533
2. สุนทร วิฑูรพจน์, “ การโปรแกรมภาษาแอสเซมบลีของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล 8051”, บริษัทซีเอ็ดยูเคชั่น, 2537
3. พันธุ์ศักดิ์ พุฒิมานิตพงศ์, “ ปฏิบัติการอปแอมป์และการใช้งาน”, บริษัทเจริญรุ่งเรือง, 2540
4. มัณฑนา ปราการสมุทร, “ การเขียนชุดคำสั่งภาษา C”, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2534
5. ธนัท ชัยยุทธ, กณพ แก้วพิชัย , “ ดิจิตอลพื้นฐาน”, บริษัทซีเอ็ดยูเคชั่น, 2534
6. C51 COMPILER OPTIMAZING 8051C COMPILER AND LIBRARY REFERENCE
7. “ คู่มือการทดลองชุดฝึกไมโครคอมพิวเตอร์ในภาคอุตสาหกรรม”, บริษัทถาวรคอมพิวเตอร์ จำกัด
8. “ คู่มือ/เทียบไอซี TTL”, บริษัทซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด
9. สุวัฒน์ คั่น “ เทคนิคและการออกแบบสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลาย”, บริษัท เอนเทคไทย จำกัด, 2521