



การวัดและควบคุมมอเตอร์กระแสตรงด้วยคอมพิวเตอร์

Measurement And Control DC Motor By Computer

โดย

นาย ชีระ ชรรณพิทักษ์ 39013386

นาย บรรพต กนกพงศ์ศักดิ์ 39013389

นาย ไพโรจน์ คุณพรม 39013393

ชื่อ นามสกุล..... ชีระ ชรรณพิทักษ์
เลขเรียกหนังสือ..... ๒๕๖๖
เลขทะเบียน..... ๑๙๖๖
วัน เดือน ปี..... ๑๙ ตค ๖๖

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุมทางอุตสาหกรรม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2541

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

๒-๒๕๖๖

ปริญญาานิพนธ์ ปีการศึกษา 2541
ภาควิชาเทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การวัดและควบคุมมอเตอร์กระแสตรงด้วยคอมพิวเตอร์

Measurement And Control DC Motor By Computer




.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(อาจารย์ ไสว พงศ์สวัสดิ์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 บทนำ	1
1.2 วัตถุประสงค์และขอบเขตของโครงการ	1
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	2
2.1 ทฤษฎีมอเตอร์กระแสตรง	2
2.2 ทฤษฎีการควบคุมแบบพีไอดี	16
2.3 ทฤษฎีการอินเตอร์เฟส	25
บทที่ 3 การออกแบบส่วนควบคุม	30
3.1 โครงสร้างของระบบ	30
3.2 Input / Output Card	30
3.3 การถอดรหัสตำแหน่งพอร์ต	31
3.4 A/D, D/A Converter	32
3.5 ชุดควบคุมความเร็วมอเตอร์	34
3.6 Tacho Generator	38
3.7 หลักการวัดแรงบิด	39
3.8 ไฟล์ซาร์ที่แสดงการทำงานของโปรแกรม	40
3.9 ไฟล์ซาร์ที่ของโหมดการควบคุมด้วยมือ	41
3.10 ไฟล์ซาร์ที่ของโหมดการควบคุมแบบพีไอดี	42
บทที่ 4 ผลการทดลอง	43
4.1 ลักษณะโดยทั่วไปของตัวควบคุม	43
4.2 ผลการทดลอง	46
4.2.1 ผลการทดลองในโหมด Manual Control	46
4.2.2 ผลการทดลองในโหมด PID	49
4.2.3 ผลการทดลองการวัดแรงบิด	52
4.3 สรุปผลการทดลอง	53

ภาคผนวก ก. ข้อกำหนดของไอซีเบอร์ TL 494

ภาคผนวก ข. ข้อกำหนดของไอซี A/D Converter & D/A Converter

ภาคผนวก ค. ข้อกำหนดของไอซีเบอร์ 8255

ภาคผนวก ง Connector Reference & Jumper Setup ของ
A/D Converter และ D/A Converter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวัดและควบคุมมอเตอร์กระแสตรงด้วยคอมพิวเตอร์

โดย นายธีระ ธรรมพิทักษ์
นายบรรพต กนกพงศ์ศักดิ์
นายไพโรจน์ คุณพรม
อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์ ไสว พงศ์สวัสดิ์

บทคัดย่อ

โครงการนี้เป็นการประยุกต์ใช้คอมพิวเตอร์มาเป็นตัวควบคุมและแสดงผลการตอบสนองของความเร็วและแรงบิดของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง เพื่อที่จะวิเคราะห์คุณลักษณะต่างๆและอายุการใช้งานตลอดจนช่วงเวลาของการซ่อมบำรุง โดยในส่วนของโปรแกรมที่ใช้จะพัฒนามาจากโปรแกรมวิชวลเบสิกและเขียนโปรแกรมแสดงผลการควบคุมทั้งแบบปรับแต่งด้วยมือและการปรับแต่งแบบอัตโนมัติ เพื่อควบคุมการทำงานของมอเตอร์ให้มีการหมุนที่ความเร็วรอบคงที่ในสถานะที่มีภาระขนาดต่างๆ

Measurement and Control DC Motor by Computer

By Mr. Teera Tampitak

Mr. Bunpote Kanokpongsak

Mr. Pairoat Khunprom

Advisor Mr Sawai Pongsawatd

Abstract

This project apply the PC as a controller to control and display the speed and torque response of the DC motor and analysis the characteristic, maintenance.

The software to control and display use the visual basic. This software control can use in Manual mode and Automatic mode for control the speed of the motor to constant speed when apply any load.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1 บทนำ

ในปัจจุบันเทคโนโลยีทางด้านไมโครคอมพิวเตอร์มีความก้าวหน้าสูงมาก จึงทำให้มีการนำอุปกรณ์ ซึ่งเกี่ยวกับเทคโนโลยีด้านไมโครคอมพิวเตอร์นี้เข้ามาใช้งานมากขึ้น ทำให้ระบบต่างๆมีประสิทธิภาพสูง อีกทั้งยังสามารถนำไปใช้งานได้สะดวกและสามารถนำไมโครคอมพิวเตอร์นี้ไปเชื่อมโยงกับระบบอื่นๆ ได้อย่างเหมาะสมสำหรับการควบคุมกระบวนการในอุตสาหกรรม การควบคุมแบบอัตโนมัติโดยใช้การป้อนกลับ การวัด และการแสดงผลการทำงานของระบบ โครงการนี้ได้เขียนฟังก์ชันการแสดงผลความเร็ว แสดงผลแรงบิดของมอเตอร์ ในรูปของตัวเลขและกราฟฟิกแสดงที่จอคอมพิวเตอร์พร้อมทั้งมีฟังก์ชันการควบคุมการทำงานของมอเตอร์ และสามารถควบคุมการทำงานของมอเตอร์ในแบบการควบคุมแบบอัตโนมัติโดยใช้การป้อนกลับและการควบคุมด้วยมือผ่านทางหน้าจอคอมพิวเตอร์ได้ ซึ่งเราสามารถนำเอาค่าต่างๆที่ได้นี้มาวิเคราะห์ผลการตอบสนองและหาคุณลักษณะต่างๆของมอเตอร์เพื่อพิจารณาถึงอายุการใช้งานและช่วงเวลาในการซ่อมบำรุงได้

วัตถุประสงค์และขอบเขตของโครงการ

การนำคอมพิวเตอร์มาประยุกต์ใช้งานตรวจวัด และควบคุมการขับเคลื่อนมอเตอร์กระแสตรงจะทำได้โดยการสั่งงานบนหน้าจอคอมพิวเตอร์ซึ่งเขียนจากโปรแกรม Visual Basic โดยจะใช้คอมพิวเตอร์เป็นตัวตั้งการควบคุมการทำงานของมอเตอร์ที่นำสัญญาณผ่านชุดเชื่อมต่อ (Interface) ระหว่างคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์ภายนอกซึ่งในที่นี้มีตัวตรวจวัดความเร็วรอบ (Speed Sensing) ซึ่งใช้ Tacho Generator และชุดตรวจวัดแรงบิด (Torque Sensing) ซึ่งใช้ความต้านทานตรงจับ (Resister และ Filter) สำหรับขอบเขตของโครงการนี้ จะเป็นการเขียน Software เพื่อแสดงผลการทำงานและควบคุมการทำงานให้แก่ชุดควบคุมการขับเคลื่อนมอเตอร์ แล้วนำผลที่ได้แสดงในรูปของตัวเลขและกราฟฟิก เพื่อนำค่าต่างๆมาวิเคราะห์หาขอบเขตการใช้งานของมอเตอร์ต่อไป

บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีมอเตอร์กระแสตรง

มอเตอร์ คือ ตัวเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าให้เป็นพลังงานกล หรือนำพลังงานที่จัดเก็บในเคลื่อนที่ต่าง ๆ ตามต้องการ การทำงานกลที่เกิดขึ้นนี้ ก็อาศัยหลักการที่ว่าเมื่อมีกระแสไหลในตัวนำซึ่งอยู่ในสนามแม่เหล็ก ย่อมทำให้เกิดแรงขึ้น

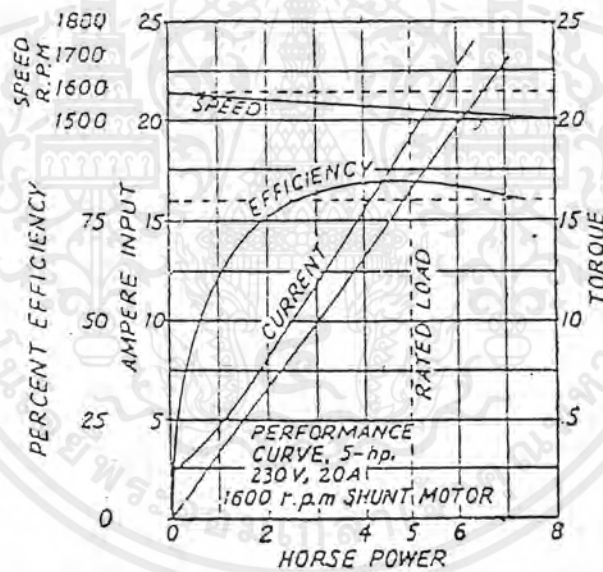
คุณลักษณะของมอเตอร์

Performance curve

คือเส้นกราฟ หรือ curve ที่แสดงคุณลักษณะประจำตัวต่างๆของมอเตอร์แต่ละแบบ โดยแสดงความสัมพันธ์ต่างๆเหล่านั้น เปรียบเทียบกับกำลังม้าที่มอเตอร์จ่ายออกมา อาทิ เช่นความเร็วกับแรงม้า ประสิทธิภาพกับแรงม้า เป็นต้น ในที่นี้จะกล่าวแยกไปตามแบบของมอเตอร์ที่ใช้ดังนี้

มอเตอร์แบบขนาน (Shunt Motor)

มอเตอร์แบบนี้มีคุณลักษณะประจำตัวที่สำคัญอยู่ 4 อย่างคือ แรงบิด กระแส ความเร็ว และ ประสิทธิภาพ ลักษณะประจำตัวของแต่ละตัวเหล่านี้ ต่างก็ plot กับกำลังม้าที่มอเตอร์ส่งออกไป ดังรูป 2.1



รูปที่ 2.1 Performance curve ของมอเตอร์แบบขนาน

จากรูป พบว่าในขณะที่มอเตอร์ไม่ได้รับการทางกล (mechanical Load) นั้น จะมีความเร็วที่ค่าๆหนึ่ง และความเร็วของมอเตอร์จะไม่วิ่งเตลิดไป (run away) จากความเร็วปกติ เมื่อทำการตัดภาระทางกลออกไปทันที อย่างไรก็ตาม ความเร็วของมอเตอร์ ขณะไม่มีภาระ และขณะมีภาระเต็มทีนั้น ไม่ได้แตกต่างกันไปมากนัก ฉะนั้นจึงถือว่ามอเตอร์แบบนี้มีความเร็วคงที่ อย่างไรก็ตาม ความเร็วในช่วงที่นำไปใช้งานนี้ สามารถปรับให้เร็วได้โดยการต่อความต้านทานอนุกรมเข้ากับสนามขนาน (shunt field)

เส้นกราฟที่แสดงจากประสิทธิภาพของเครื่องนั้น ปกติแล้วจะมีรูปร่างเหมือนกันทั้งของเครื่องกำเนิดไฟ และมอเตอร์ และจุดที่มีประสิทธิภาพสูงสุด รูปร่างของ curve นี้เปลี่ยนแปลงไปตามความประสงค์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เส้นกราฟที่แสดงจากประสิทธิภาพของเครื่องนั้น ปกติแล้วจะมีรูปร่างเหมือนกันทั้งของเครื่องกำเนิดไฟ และมอเตอร์ และจุดที่มีประสิทธิภาพสูงสุด รูปร่างของ curve นี้เปลี่ยนแปลงไปตามความประสงค์ของผู้ออกแบบ เส้นกราฟนี้ มักให้เป็นเส้นที่แบนราบพอควร แต่ก็มักจะมีการเปลี่ยนแปลงประสิทธิภาพเล็กน้อย ในช่วงของ Load ระหว่าง 25% ถึง 50% ส่วนจุดที่มีประสิทธิภาพสูงสุดนั้น จะเป็นจุดที่ให้อยู่ใกล้ๆกับช่วงที่ให้ได้รับ Load เต็มที่เท่าที่จะทำได้

จากรูปพบว่า มอเตอร์จะกินกระแสไฟจำนวนหนึ่ง ในขณะที่มอเตอร์ยังไม่จ่าย Load ออกไป ทั้งนี้เพราะต้องนำกำลังไฟจำนวนหนึ่งไปจ่ายให้ส่วนสูญเสียกำลังที่คงที่นั่นเอง

ในการใช้มอเตอร์ ให้เริ่มหมุน(starting)ภาระหรือ(Load)ของมอเตอร์แบบนี้ จะพบว่ามอเตอร์แบบขนานนี้ มีแรงเริ่มหมุนต่ำกว่า มอเตอร์แบบอื่น(มอเตอร์แบบอนุกรมหรือแบบผสม)นั่นคือมีแรงเริ่มหมุนต่ำ ซึ่งไม่ได้หมายความว่า มอเตอร์แบบขนานนี้จะไม่สามารถเริ่มหมุนภาระทางกลที่หนักๆได้ แต่หมายความว่า มอเตอร์แบบอนุกรม และแบบผสมนั้นสามารถที่จะทำให้ภาระทางกลที่หนักๆหมุนได้ โดยที่กินกระแสไฟขณะที่ทำให้เริ่มหมุนน้อยกว่าเมื่อเป็นแบบ Shunt มอเตอร์ นั่นก็คือ การเสื่อราคาของมอเตอร์แบบขนาน จะมีการเสื่อราคามากกว่า ถ้าหากว่านำไปใช้ในการหมุนภาระที่หนักๆในขณะเริ่มแรก ตัวอย่างเช่น ถ้ามอเตอร์แบบขนานต้องเริ่มหมุนภาระที่มีขนาดเป็น 2 เท่าของแรงบิดตามพิกัด(Full Load Torque) นั่นก็หมายความว่า มอเตอร์แบบขนานนี้จะต้องใช้กระแสเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่าด้วย ($T \propto I$) แต่ถ้าต้องเริ่มหมุนภาระที่มีขนาดเป็น 2 เท่าของแรงบิดตามพิกัดของมอเตอร์แบบของอนุกรมนั้นจะปรากฏว่า กระแสที่ใช้จะมีค่าประมาณเพียง 1.5 เท่าของกระแสที่พิกัด($T \propto I^2$)

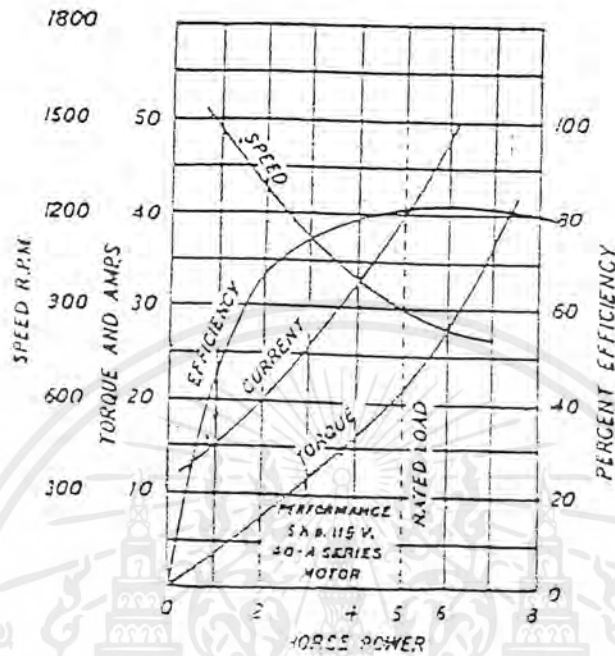
มอเตอร์แบบอนุกรม(Series Motor)

Performance curve ของมอเตอร์แบบนี้ก็คือ มี curve ต่างๆในทำนองเดียวกับ performance curve ของแบบ shunt motor นั่นเอง แต่มอเตอร์แบบอนุกรมนั้น จะมีเส้นกราฟแสดงให้เห็นชัดว่า ความเร็วจะลดลงอย่างมาก เมื่อต้องจ่ายกำลังม้าออกไปมาก ส่วนในขณะที่ไม่ได้จ่ายแรงม้านั้น ความเร็วของมันจะเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว เมื่อเปรียบเทียบกับตอนที่ ต้องจ่ายกำลังไฟเต็มที่ นั่นคือ ความเร็วจะไม่คงที่และจะเปลี่ยนแปลงไปมาก เมื่อต้องจ่ายกำลังกลมาก ฉะนั้น จึงไม่นิยมใช้กับ Load ที่ต้องการให้มีค่าความเร็วคงที่หรือค่อนข้างสม่ำเสมอ

ถ้าหับกระแสค่าหนึ่ง ที่มอเตอร์แบบนี้ใช้ในการทำให้เริ่มหมุน(starting) นั้นจะปรากฏว่า ให้แรงบิดเริ่มแรกมากกว่ามอเตอร์แบบขนานที่ค่ากระแสเดียวกันนี้ ดังนั้นจึงนิยมใช้ ในกรณีที่ต้องการจุด Load เริ่มแรกที่หนักๆเช่นรถประจำถนน(street car) cranes hoist เป็นต้น จากการที่มอเตอร์แบบนี้ มีแรงบิดเริ่มแรกมากมาย ดังนั้น จึงเป็นเอกลักษณ์หรือข้อดีเด่นของมอเตอร์ชนิดนี้ สำหรับงานจุดลาก(traction work) เช่นพวงรถดีเซลราง เป็นต้น มอเตอร์นี้ เมื่อได้รับ Load มากขึ้น ย่อมทำให้ความเร็วลดไป นั่นคือแรงบิดเพิ่มมากขึ้น โดยที่ให้กระแสเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเท่านั้น แต่ถ้าหากว่าใช้มอเตอร์ขนานในงานเช่นนี้ ย่อมทำให้ต้องใช้กระแสเพิ่มขึ้นจำนวนมากมาย เพื่อให้ได้แรงบิดที่เพิ่มมากขึ้นด้วยจำนวนที่เท่ากัน ทั้งนี้เพราะมอเตอร์แบบขนาน มีความเร็วค่อนข้างคงที่ และแรงบิดก็เป็นสัดส่วนโดยตรงกับกระแส($T \propto I$) แต่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไม่รู้จัก street car จะปรากฏว่าฟัดหรือ rating ของมอเตอร์แบบนี้จะน้อยกว่าแบบ shunt มอเตอร์ เมื่ออยู่ในสภาวะที่ได้รับ Load เช่นเดียวกัน



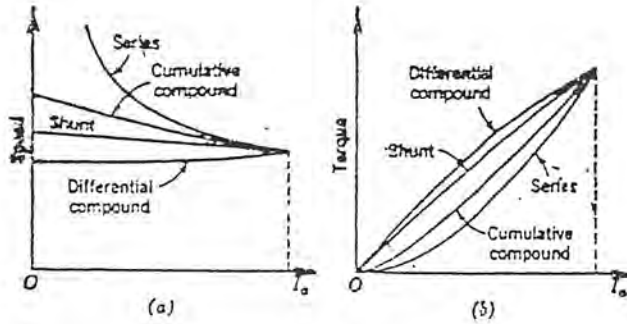
รูปที่ 2.2 Performance curve ของมอเตอร์แบบอนุกรม

จะเห็นได้ว่า ข้อแตกต่างของมอเตอร์อนุกรมกับมอเตอร์แบบขนาน ตามที่ได้กล่าวไปใน Performance curve นั้น จะมีข้อแตกต่างกันมากที่เส้นกราฟของความเร็วจากมอเตอร์ทั้ง 2 แบบดังรูปที่ 2.1 และรูปที่ 2.2 ส่วนเส้นกราฟหรือ curve ของประสิทธิภาพ กระแสและแรงบิด เมื่อเปรียบเทียบกับการกำลังม้าที่ส่งออกมา ต่างก็มีลักษณะคล้ายคลึงกัน ดังรูปที่ 2.1 และรูปที่ 2.2

การเปรียบเทียบคุณลักษณะของมอเตอร์ (Comparison Of Motor Characteristics)

เครื่องกลไฟฟ้าที่มีโครงสร้างเครื่องเดียวกันนั้น ย่อมมี Magnetization curve อันเดียวกัน แม้ว่าเครื่องกลไฟฟ้านั้นจะเป็นมอเตอร์แบบ ขนาน อนุกรม หรือผสมก็ตาม สมมุติว่ามอเตอร์ตัวนี้มีฟัดของแรงเคลื่อนไฟ กระแสอาร์เมเจอร์ ความเร็ว และแรงบิดเหมือนกัน ดังนั้นจึงแสดงให้เห็นได้ว่า คุณลักษณะประจำตัวของมอเตอร์ที่มีโครงสร้างชุดเดียวกันนี้ มีความสัมพันธ์ระหว่าง ความเร็วกับกระแสอาร์เมเจอร์ของมอเตอร์แต่ละแบบได้ดัง รูป 2.3(a) รูปนี้เป็นการแสดงเปรียบเทียบลักษณะประจำตัวของมอเตอร์ทั้ง 3 ชนิด ที่กล่าวมาในตอนต้น เช่นเดียวกัน เมื่อต้องการเปรียบเทียบลักษณะประจำตัวของมอเตอร์ทั้ง 3 ชนิด โดยดูจากคุณลักษณะระหว่างแรงบิด (Torque) กับกระแสอาร์เมเจอร์ ก็ดูได้จากรูป 2.3(b)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 การเปรียบเทียบคุณลักษณะระหว่างแรงบิดและความเร็วของมอเตอร์ที่มีโครงสร้างเดียวกันแต่มีการต่อแบบต่าง ๆ

การเปรียบเทียบของมอเตอร์แบบขนานกับแบบอนุกรม(Comparison of Shunt and Series Motor)

1.มอเตอร์ขนาน(Shunt Motor) คุณลักษณะประจำตัวของมอเตอร์แบบนี้สรุปได้ดังนี้

- ก) มอเตอร์แบบนี้ถือว่ามีความเร็วคงที่อย่างเพียงพอในการใช้งาน
- ข) แรงบิดเริ่มแรก(starting Torque) ของมอเตอร์แบบนี้ ไม่สูงเหมือนกับมอเตอร์แบบอนุกรม เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีที่ต้องกินกระแสไฟเท่าๆกัน

จากเหตุผลในข้อ ก) และ ข) ของมอเตอร์แบบนี้ จึงเห็นทางในการนำมอเตอร์แบบนี้ไปใช้งานคือ

-ใช้กับงานที่ต้องการให้มีความเร็วคงที่โดยประมาณ จากช่วงที่ไม่ได้รับภาระทางกล จนถึงช่วงที่ได้รับภาระทางกลเต็มที่ (Full Load)

-เมื่อต้องการนำใบหมุนหรือใบขับ Load ณ ที่ความเร็วต่างๆกัน โดยที่แต่ละความเร็วนั้นก็คงที่อยู่กับงานแบบหนึ่ง เป็นเวลานานๆที่ต้องการใช้กับงานชนิดนั้น ดังเช่น นำไปใช้กับเครื่องกลึง ซึ่งต้องการให้ความเร็วในการกลึงหรือตัดโลหะแต่ละชนิดที่ความเร็วคงที่ที่แตกต่างกัน จนกว่าจะสำเร็จเป็นงานๆไป ในกรณีเช่นนี้ มอเตอร์แบบขนานนี้ เหมาะที่จะนำมาใช้กับงานชนิดนี้ ทั้งนี้เพราะสามารถทำการควบคุมความเร็วที่ค่าต่างๆที่มอเตอร์ได้อย่างเหมาะสมกับลักษณะของงานแต่ละอย่าง รวมทั้งยังง่ายและประหยัดดีในการบังคับมอเตอร์ด้วย

2.มอเตอร์อนุกรม(Series Motor) คุณลักษณะต่างๆของมอเตอร์ชนิดนี้ได้กล่าวไว้แล้วในตอนต้นเช่นกัน คือในตอนที 2 ดังนั้นจึงสรุปคุณลักษณะที่สำคัญเพื่อนำไปใช้งาน และเพื่อให้เห็นข้อแตกต่างกับมอเตอร์แบบขนานได้ ดังนี้คือ

- ก) มีแรงบิดเริ่มแรกสูงมาก
- ข) มีความเร็วต่ำ เมื่อต้องหมุน Load มากๆ และมีความเร็วสูงมากจนเป็นอันตรายกับตัวมอเตอร์เองเมื่อมี Load ต่ำมาก

ดังนั้นมอเตอร์แบบนี้จึงมักนำไปใช้งานดังต่อไปนี้

-เมื่อต้องการใช้แรงบิดสูงๆ เช่น ใช้ในการขับ hoist cranes รถราง(trams) เป็นต้น

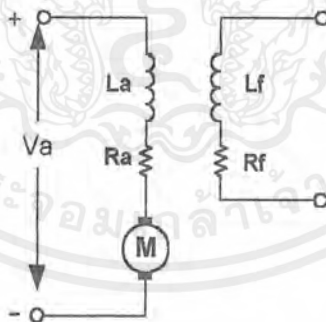
-เมื่อมอเตอร์สามารถต่อโดยตรงกับ Load อาทิเช่น พัดลม ซึ่งความเร็วจะเพิ่มขึ้นได้ก็ต่อเมื่อแรงบิดเพิ่มขึ้น

-ในกรณีที่ Load นั้น ไม่จำเป็นต้องให้ความเร็วคงที่ เมื่อได้รับ Load มากขึ้น ซึ่งเป็นตัวทำให้ความเร็วลดลงไปนั้น กลับกลายเป็นข้อดีของมอเตอร์อีกด้วย เพราะวามอเตอร์จะไม่กินไฟเพิ่มขึ้นมากทั้งๆที่แรงบิดหรือ Torque นั้นต้องใช้มาก ดังตัวอย่างเช่น ถ้าต้องการให้แรงบิดเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่า กลับปรากฏว่ากำลังไฟที่มอเตอร์ต้องการเพิ่มขึ้นนั้นเป็นแค่เพียง 50 ถึง 60 เปอร์เซ็นต์เท่านั้น

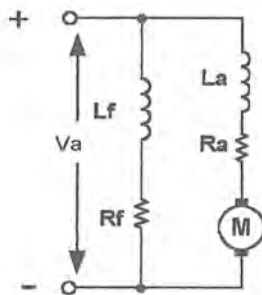
-มอเตอร์แบบอนุกรมนี้ไม่ควรนำไปใช้กับ Load ที่มีโอกาสจะเกิดค่า Load น้อยๆขึ้นมา ดังนั้นจึงไม่ควรนำไปใช้กับปั๊มหนีศูนย์กลาง(Centrifugal pump) หรือขับ Load ชนิดที่ใช้สายพานเป็นตัวจุด เป็นต้น

การแบ่งชนิดของมอเตอร์กระแสตรงตามลักษณะการกระตุ้น

1. มอเตอร์กระแสตรงแบบแยกขดกระตุ้น (Separately Exited motor)
 2. มอเตอร์กระแสตรงแบบกระตุ้นด้วยตัวเอง (Self Exited motor) ซึ่งแยกได้เป็น 3 ลักษณะ คือ
 - มอเตอร์กระแสตรงแบบ Shunt motor
 - มอเตอร์กระแสตรงแบบ Series motor
 - มอเตอร์กระแสตรงแบบ Compound motor
- ชนิด Short Shunt
 - ชนิด Long Shunt

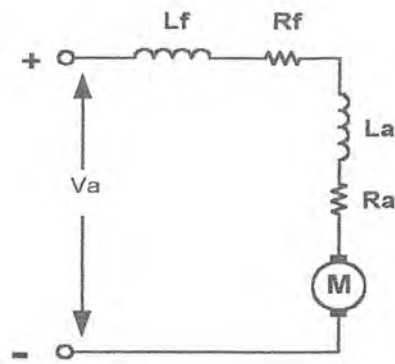


รูปที่ 2.4 มอเตอร์กระแสตรงแบบแยกขดกระตุ้น



รูปที่ 2.5 มอเตอร์กระแสตรงแบบ Shunt

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 มอเตอร์กระแสตรงแบบSeries

สมการคุณลักษณะสมบัติของมอเตอร์กระแสตรงแบบแยกขดกระตุ้น มีลักษณะดังนี้

$$V_f = R_f i_f + L_f \frac{di}{dt}$$

กระแสแอมแปร์หาได้จาก

$$V_a = R_a i_a + L_f \frac{di}{dt}$$

แรงดันกลับหรือที่เรียกว่า สปีดโวลต์เตจ (Speed Voltage)

$$E_b = K_v \omega i_f$$

ทอร์กที่เพลลาของมอเตอร์คือ

$$T_d = K_t i_f i_a$$

ทอร์กที่เพลลาของมอเตอร์จะต้องเท่ากับโหลดทอร์กดังสมการ

$$T_d = J \frac{d\omega}{dt} + B\omega + T_L$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำหนดให้

$$\omega = \text{motor speed [rad/s]}$$

$$B = \text{Viscous friction constan [Nm/rad/s]}$$

$$K_v = \text{ค่าคงที่ของแรงดัน [V/A - rad/s]}$$

$$K_t = \text{ค่าคงที่ของทอร์ค}$$

$$L_a = \text{ค่าเหนี่ยวนำของอาร์มาเจอร์ [H]}$$

$$L_f = \text{ค่าเหนี่ยวนำของฟิลด์ [H]}$$

$$R_a = \text{ค่าความต้านทานของอาร์มาเจอร์ [\Omega]}$$

$$R_f = \text{ค่าความต้านทานของฟิลด์ [\Omega]}$$

$$T_L = \text{Load Torque [Nm]}$$

ภายใต้สภาวะอิมิตัวความแตกต่างทางเวลาของสมการที่ผ่านมาจะเท่ากับศูนย์และเฉลี่ยเมื่อ

$$V_f = R_f I_f$$

$$E_b = K_v \omega I_f$$

$$V_a = R_a I_a + E_b$$

$$= R_a I_a + K_v \omega I_f$$

$$T_d = K_t I_a$$

$$= B \omega + T_L$$

สภาวะอิมิตัวจะเท่ากับสมการกำลัง (Power developed) หาได้จาก

$$P_d = T_d \omega$$

ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสของฟิลด์ $[I_f]$ และแรงดันป้อนกลับ $[E_b]$ จะไม่ลิเนียร์เนื่องจากการอิมิตัวสนามแม่เหล็ก ความเร็วของมอเตอร์กระแสตรงแบบแยกขดกระตุ้นหาได้จากสมการ

$$\omega = \frac{V_a - R_a I_a}{K_v I_f}$$

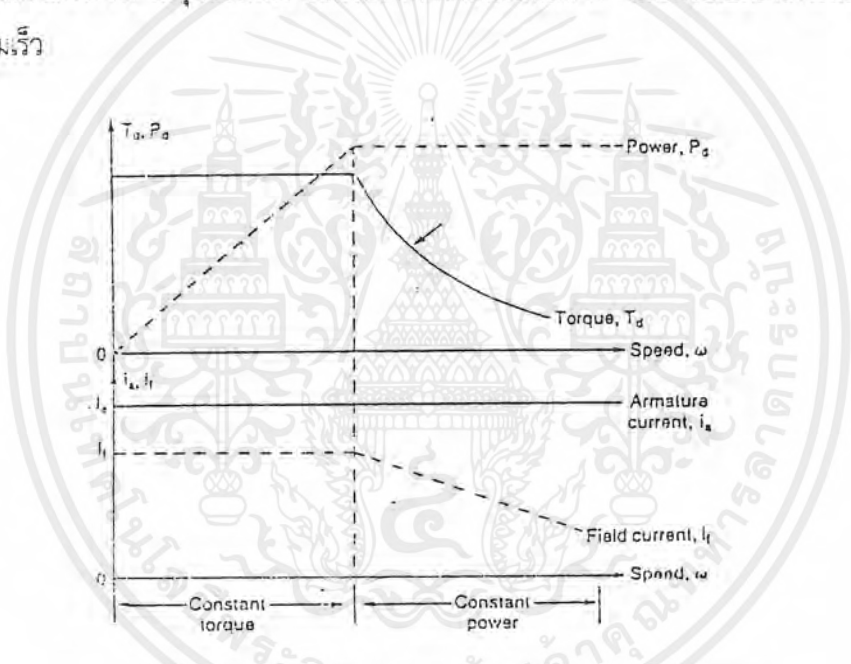
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{เมื่อ } I_f = \frac{V_f}{R_f}$$

จากสมการดังกล่าวความเร็วของมอเตอร์สามารถปรับเปลี่ยนได้ดังต่อไปนี้

1. ควบคุมแรงเคลื่อนที่ไออนให้กลับอาเนเจอร์
2. ควบคุมกระแสฟลด์
3. ควบคุมทอร์คได้โดยการควบคุมกระแสอาร์เมเจอร์และกระแสฟลด์ให้คงที่ที่รู้จักกันในนามอัตราเร็วฐาน (Base Speed)

ในการควบคุมอัตราความเร็วฐานเมื่อต้องการทอร์คที่จะต้องควบคุมกระแสอาร์เมเจอร์และกระแสฟลด์ให้คงที่และทำการปรับเปลี่ยนแรงดัน (Va) ในการควบคุมความเร็ว สำหรับความเร็วที่สูงกว่าอัตราความเร็วฐานมักจะทำการควบคุมแรงดันอาร์เมเจอร์ให้เท่ากับแรงดันที่กััด และปรับเปลี่ยนกระแสฟลด์เพื่อควบคุมความเร็ว



รูปที่ 2.7 คุณลักษณะของมอเตอร์กระแสตรงแบบแยกขดกระตุ้น

จากรูปจะแสดงคุณสมบัติของทอร์ค , กำลัง (Pd) , กระแสอาร์เมเจอร์ , กระแสฟลด์เมื่อเทียบกับความเร็ว รูปที่ 2.6 แสดงถึงวงจรมอเตอร์กระแสตรงแบบ Series สมการที่สภาวะอิมิตัวหาได้จาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned}
 E_b &= K_v \omega I_a \\
 V_a &= R_a I_a + E_b \\
 &= R_a I_a + K_v \omega I_a \\
 T_d &= K_t I_a I_f \\
 &= B \omega + T_L
 \end{aligned}$$

ความเร็วของมอเตอร์กระแสตรงแบบ Series หาได้จาก

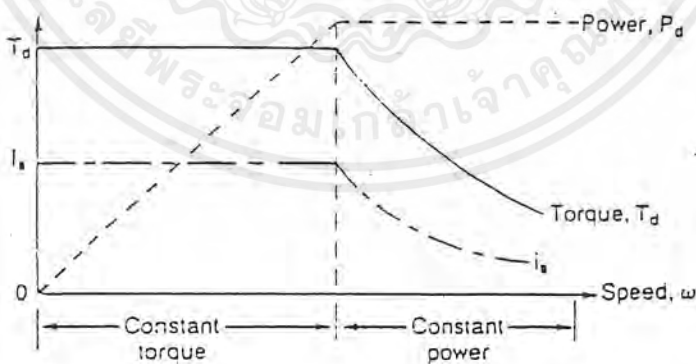
$$\omega = V_a - \frac{R_a I_a}{K_v I_a}$$

ความเร็วสามารถเปลี่ยนได้ 2 ลักษณะคือ

1. ควบคุมแรงดันที่ป้อนให้กับอาร์เมเจอร์, V_a
2. ควบคุมกระแสอาร์เมเจอร์, I_a

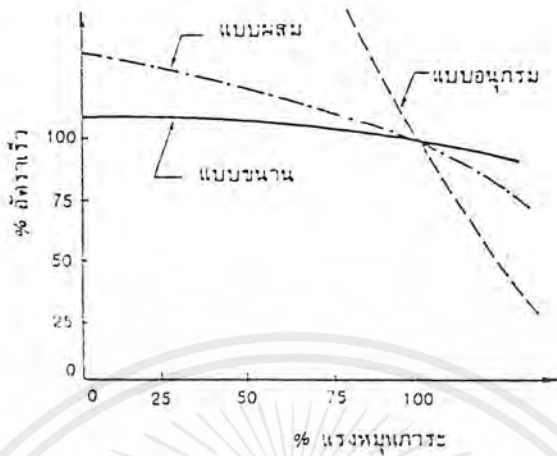
แบบ Series มีทอร์กที่สูงในขณะสตาร์ท

สำหรับการควบคุมอัตราความเร็วฐานจะปรับเปลี่ยนแรงดันที่ป้อนให้อาร์เมเจอร์เพื่อควบคุมให้ทอร์กคงที่ที่แรงดันพิกัดของอาร์เมเจอร์ความสัมพันธ์ของความเร็วและทอร์กจะเป็นไปโดยคุณสมบัติทางธรรมชาติซึ่งกำลังของมอเตอร์(ทอร์ก×ความเร็ว) จะคงที่ซึ่งทอร์กจะเพิ่มขึ้นการทำงานที่โหลดน้อยๆมอเตอร์กระแสตรงแบบ Series จะให้ความเร็วที่สูงมากซึ่งมอเตอร์แบบ Series จะต้องไม่ทำงานเมื่อปราศจากโหลด

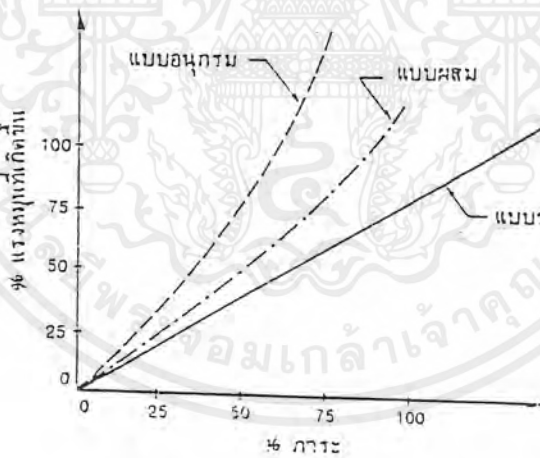


รูปที่ 2.8 แสดงคุณสมบัติมอเตอร์กระแสตรงแบบ Series

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.9 แสดงเส้นโค้งลักษณะสมบัติอัตราเร็วของมอเตอร์ ขนาน อนุกรม และผสม



รูปที่ 2.10 แสดงเส้นโค้งลักษณะแรงหมุนของมอเตอร์ แบบ ขนาน อนุกรม และผสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แรงบิด

แรงบิด (Torque) ก็คือการหมุนหรือการบิดของโมเมนต์ของแรงๆหนึ่งที่ทำให้กระทำรอบแกนอันหนึ่ง วัดได้จากผลคูณของแรงกับรัศมี ณ ที่จุดแรงไปกระทำ

พิจารณาวงล้อที่มีรัศมี r เมตร มีแรง F นิวตันมากระทำบนวงล้อนี้ จึงทำให้เกิดการหมุนด้วยความเร็ว S รอบ/วินาที

$$\text{แรงบิด} = F \times r \text{ นิวตัน- เมตร}$$

งานที่ได้จากหนึ่งรอบจากแรงนี้

$$= \text{แรง} \times \text{ระยะทาง}$$

$$= F \times 2\pi r \text{ จูลส์}$$

งานที่ทำต่อวินาที

$$W = F \times 2\pi r \times S$$

$$= F \times r \times 2\pi S$$

$$2\pi S = \text{มุมเป็น } \theta \text{ เรเดียนต่อวินาที}$$

$$F \times r = \text{แรงบิด } T$$

งานที่ทำต่อวินาที

$$= T \times \theta \text{ จูลส์}$$

กำลังที่เกิดขึ้น

$$= T \times \theta \text{ วัตต์}$$

แรงที่เกิดขึ้นในอาร์เมเจอร์ (Armature Torque Of a Motor)

ให้ T_m เป็นแรงบิดที่เกิดขึ้นจากอาร์เมเจอร์ เมื่อมอเตอร์วิ่งด้วยความเร็ว S รอบ/วินาที โดย T_m เป็น นิวตัน-เมตร

$$\text{งานที่ทำต่อวินาที} = T_m \times 2\pi S \text{ จูลส์}$$

$$\text{หรือกำลังที่เกิดขึ้น} \quad P_m = T_m \times 2\pi S \text{ วัตต์}$$

เรารู้ว่ากำลังไฟที่ได้เปลี่ยนไปเป็นกำลังกลในอาร์เมเจอร์ คือ

$$= E_b I_a$$

$$(1)=(2) \quad T_m \times 2\pi S = E_b I_a$$

$$E_b = \phi ZS (P/a) = K'_o \phi S$$

$$T_m = K'_o \phi I_a / 2\pi = K'_t \phi I_a$$

$$\text{เมื่อ} \quad K_t = K'_o / 2\pi = \text{ค่าคงที่แรงบิด (Torque)}$$

$$S = \text{ความเร็ว (r.p.s.)}$$

$$T_m = 0.159 K'_o \phi I_a \text{ นิวตัน-เมตร}$$

$$= 0.0162 K'_o \phi I_a \text{ กิโลกรัม-เมตร}$$

$$(1 \text{ กิโลกรัม} - \text{น.น} = 9.81 \text{ นิวตัน})$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ $K'_e = ZP/a =$ ค่าคงที่ทางไฟฟ้า

$$T_m = T \propto \phi I_a$$

a) ในกรณีของ series motor $T = I_a^2$

b) สำหรับ shunt motor motor $T = I_a$

$$T = E_b I_a / 2\pi S \quad \text{N-m}$$

$$= 0.159 E_b I_a / S \quad \text{N-m}$$

$$= 0.0162 E_b I_a / S \quad \text{Kg-m}$$

เมื่อ S เป็นความเร็ว (r.p.s.)

แรงบิดที่แกน (Shaft Torque)

แรงบิดที่เกิดขึ้นในอาเมเจอร์นั้น ไม่ได้นำไปใช้งานเลยทีเดียว ทั้งนี้เพราะต้องจ่ายให้กับการสูญเสียอันเนื่องมาจาก iron และ friction ใน motor

แรงบิดที่เอาไปใช้งานก็คือแรงบิดที่แกน T_{sh}

กำลังม้าที่ได้จากแกนหมุนของมอเตอร์ก็คือ B.H.P. นั้นเอง ซึ่งเป็นกำลังม้าที่ได้จากการ brake

motor

$$\text{B.H.P. (metric)} = (T_{sh} \times 2\pi S) / 73505$$

$$T_{sh} = (735.5 \times \text{B.H.P.}) / 2\pi S$$

เมื่อ S = ความเร็ว (r.p.s.)

$T - T_{sh}$ ก็คือ lost torque

$$\text{Lost Torque } T_L = 0.159 \times (\text{iron และ fraction losses/S}) \quad \text{N-m}$$

$$= 0.0162 \times (\text{iron และ fraction losses/S}) \quad \text{Kg-m}$$

ข้อสังเกต ค่า E_b หาได้จาก

$$1) E_b = V - I_a R_a$$

$$2) E_b = \phi ZS (P/a)$$

ทอร์คเริ่มหมุน

ทอร์คเริ่มหมุนของมอเตอร์ขนานเป็นปฏิกิริยาโดยตรงกับกระแสอาร์เมเจอร์ขณะเริ่มหมุนและเส้นแรงแม่เหล็กในสนามแม่เหล็กตามสมการ

$$T_{St} = K \phi I_{aSt}$$

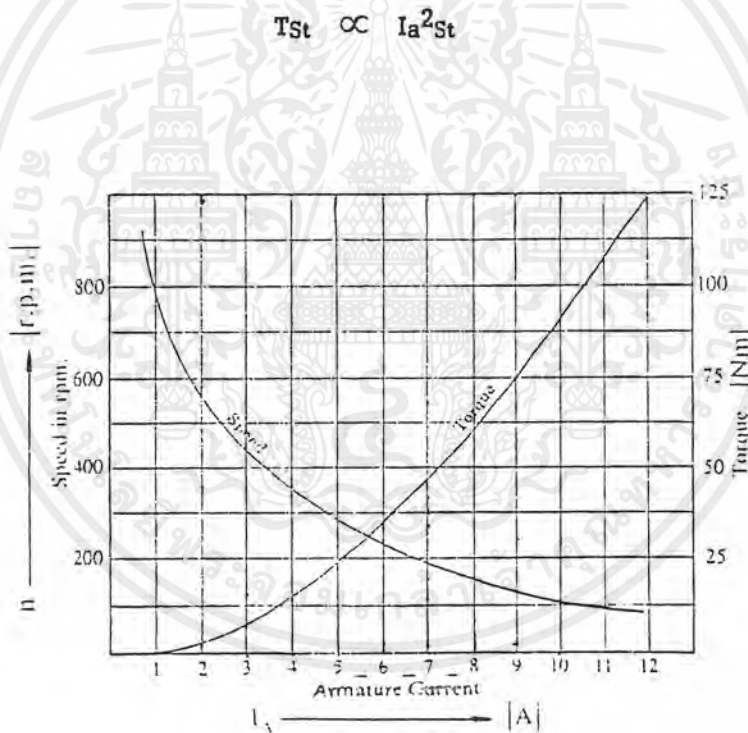
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ด้วยเหตุที่เส้นแรงแม่เหล็กคงที่ตลอดเวลา ไม่ว่าโหลดที่มอเตอร์หมุนจะเพิ่มขึ้นหรือลดลงมากน้อยเพียงใดก็ตาม ดังนั้นทอร์กเริ่มหมุนของมอเตอร์ขนานจึงเป็นปริมาณโดยตรงกับกระแสอาร์เมเจอร์ขณะเริ่มหมุนตามสมการ

$$T_{st} \propto I_{ast}$$

เมื่อ T_{st} = ทอร์กเริ่มหมุน, I_{ast} = กระแสอาร์เมเจอร์ขณะเริ่มหมุน
 ϕ = เส้นแรงแม่เหล็กในสนามแม่เหล็ก (คงที่)

กรณีของมอเตอร์อนุกรม กระแสลดลวดอนุกรม (เส้นแรงแม่เหล็กในสนามแม่เหล็ก) ไม่คงที่ จะเปลี่ยนแปลงไปตามกระแสอาร์เมเจอร์ซึ่งเปลี่ยนแปลงไปตามโหลด ($I_D = I_A = I_M$) จนกระทั่งวงจรแม่เหล็กถึงจุดอิ่มตัวทอร์กเริ่มหมุนของมอเตอร์อนุกรมจึงเป็นปริมาณโดยตรงกับกระแสอาร์เมเจอร์ยกกำลังสองตามสมการ



รูปที่ 2.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับทอร์กของมอเตอร์อนุกรมซึ่งเปลี่ยนแปลงไปตามกระแสอาร์เมเจอร์

ด้วยเหตุนี้ทอร์กเริ่มหมุนของมอเตอร์อนุกรมจึงเพิ่มขึ้นทันทีทันใด ตามการเพิ่มขึ้นของกระแสอย่างรวดเร็วกว่ามอเตอร์ขนาน จากกราฟแสดงให้เห็นถึงรูปร่างลักษณะของ "กราฟทอร์ก" ของมอเตอร์อนุกรม ซึ่งจะเห็นอย่างชัดเจนว่า ระยะเริ่มแรกนั้นการเพิ่มขึ้นของทอร์กรวดเร็วว่าการเพิ่มของกระแส ภายหลังจากวงจรแม่เหล็กถึงจุดอิ่มตัวที่กระแสสูงกว่าเดิมเรียบร้อยแล้ว กราฟจะเป็นเส้นตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

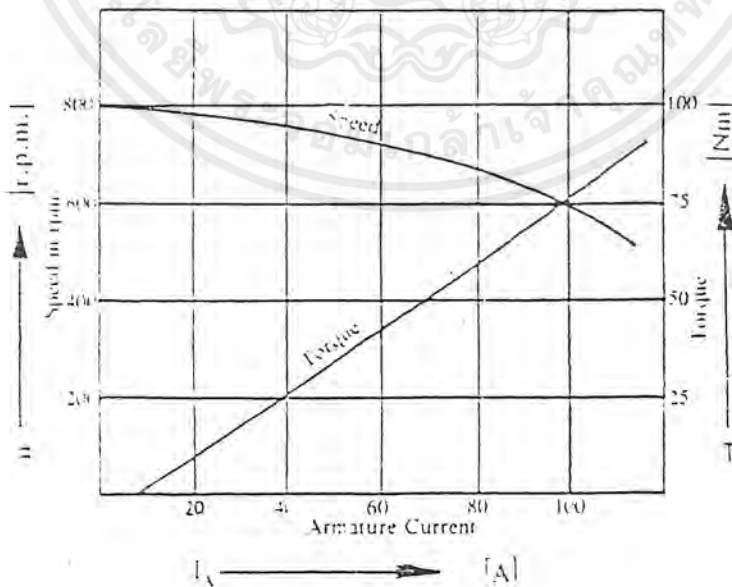
มอเตอร์ขณะเริ่มหมุนที่กระแสเต็มโวลต์จะให้ทอร์กหมุนขึ้นเท่ากับทอร์กหมุนขับของมอเตอร์ขณะ
ที่กระแสเต็มโวลต์ที่ความเร็วรอบปกติ ดังนั้นทอร์กหมุนขับของมอเตอร์ ณ โวลต์ใด ๆ อาจพิจารณาได้
จากทอร์กเริ่มหมุนของมอเตอร์

จะอย่างไรก็ตาม ถ้าเพิ่มโวลต์ให้แก่มอเตอร์ทั้งสอง จะพบว่าด้วยขนาดทอร์กหมุนขับที่เพิ่มขึ้นเท่า
กันนี้ มอเตอร์อนุกรมจะกินกระแสน้อยกว่าและให้กำลังหมุนขับโวลต์น้อยกว่ามอเตอร์ชานาน ทั้งนี้เพราะว่า
เมื่อเพิ่มโวลต์ความเร็วรอบของมอเตอร์อนุกรมจะลดลง ขณะที่มอเตอร์ชานานหมุนด้วยความเร็วรอบคงที่

ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับทอร์ก

ตามที่ได้กล่าวมาแล้วว่า ทอร์กของอนุกรมมีความไวอย่างมากต่อความเปลี่ยนแปลงของความเร็ว
รอบ กล่าวคือ ทอร์กจะมีค่ามากที่สุดก็ต่อเมื่อความเร็วรอบน้อยที่สุด ดังนั้นขณะที่ให้มอเตอร์อนุกรมหมุน
ขับโวลต์หนักๆ ความเร็วรอบจะลดลง ทั้งกระแสอาร์เมเจอร์และเส้นแรงแม่เหล็กของมอเตอร์จะเพิ่มขึ้น มี
ผลทำให้ทอร์กเพิ่มขึ้นอย่างมากและด้วยขนาดกำลังหมุนขับที่น้อยที่สุดที่อาจเพิ่มให้แก่มอเตอร์ได้ขณะนี้

เช่นเดียวกับกรณีของมอเตอร์ชานานถึงแม้ว่าเส้นแรงแม่เหล็กและความเร็วรอบจะคงที่ก็ตาม เมื่อให้
หมุนขับโวลต์หนักๆ ทอร์กจะเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของกระแสอาร์เมเจอร์ ขณะเดียวกันขนาดของกำลังขับ
ของมอเตอร์จะเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของทอร์กหมุนขับเช่นกัน ถ้าเปรียบเทียบมอเตอร์ชานานกับมอเตอร์
อนุกรมแล้ว จะพบว่าด้วยขนาดของโวลต์ที่ต้องการหมุนขับที่เท่ากันจะต้องหมุนขับด้วยมอเตอร์ชานานที่มี
ขนาดกำลังมากกว่ามอเตอร์อนุกรมมากต่อมาก(มอเตอร์ชานานใหญ่กว่ามอเตอร์อนุกรม) และที่โวลต์หนักๆ
มอเตอร์ชานานจะสามารถที่จะหมุนขับโวลต์ด้วยความเร็วรอบที่ต่ำกว่าพิกัดตามขนาดของมอเตอร์ได้ นอกเสีย
จากโวลต์เบาๆที่ความเร็วรอบคงที่ตามพิกัดของมอเตอร์เท่านั้น รูปที่ 2.11 และ 2.12 เป็นการเปรียบเทียบ
กราฟทอร์กและกราฟความเร็วระหว่างมอเตอร์อนุกรม(รูปที่ 2.11)กับมอเตอร์ชานาน (รูปที่ 2.12)



รูปที่ 2.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ความเร็วรอบ กับ กราฟทอร์ก ของมอเตอร์ชานาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 ทฤษฎีการควบคุมแบบพีไอดี

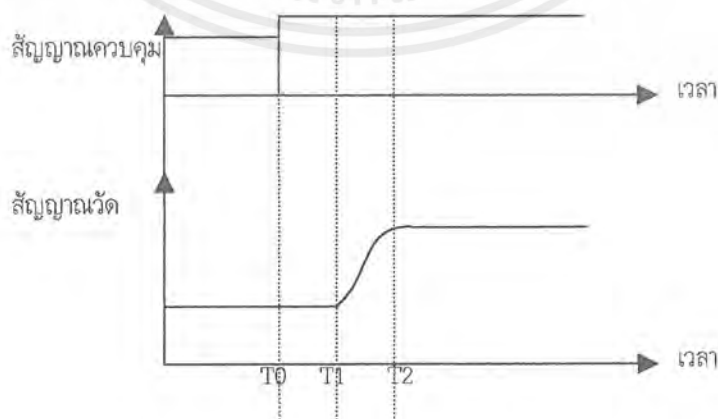
การควบคุมพีไอดีที่ใช้ในระบบควบคุมอัตโนมัติจะทำหน้าที่เปรียบเทียบหาค่าความแตกต่าง (ความคลาดเคลื่อน) ระหว่างค่าเอาต์พุตจริงของระบบกับค่าของอินพุตอ้างอิงจากนั้นจะสร้างสัญญาณควบคุมขึ้นเพื่อที่จะไปทำให้ค่าคลาดเคลื่อนมีค่าลดลงจนเป็นศูนย์หรือมีค่าน้อยที่สุด ลักษณะของการสร้างสัญญาณควบคุมของตัวควบคุมนี้จะเรียกว่า "กริยาควบคุม(Control Action)"

1.ธรรมชาติของการควบคุม

ตามรูปที่ 2.13 เมื่อสัญญาณควบคุมเปลี่ยนแปลงอย่างทันทีทันใดที่เวลา $T=T_0$ สัญญาณของตัวแปรโปรเซสจะคงเดิมจนถึงเวลา T_1 ตัวแปรโปรเซสจะค่อยๆเปลี่ยนไปจนกระทั่งถึงเวลา T_2 ลักษณะนี้เรียกว่า โปรเซสมีความช้าในการตอบสนอง(Process time lag) ซึ่งอาจแบ่งได้เป็น Dead time และ Capacity lag time ซึ่งจะอธิบายได้ดังต่อไปนี้

1) *Dead time* คือ ช่วงเวลาที่นับจากขณะที่สัญญาณควบคุมเปลี่ยนแปลงไปจนกระทั่งสัญญาณวัดของตัวแปรเริ่มเปลี่ยนแปลง ดังในรูปที่ 13 Dead time มีค่าเท่ากับ T_1-T_0 โดยทั่วไปแล้ว Dead time มักเกิดกับวัตถุที่เคลื่อนที่จากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งทำให้ Dead time ขึ้นอยู่กับความเร็วและระยะทางในการเคลื่อนที่ของวัตถุ เราอาจเรียก Dead time ได้ว่าเป็น Distance Velocity lag หรือ Transportation lag ในการควบคุม Dead time จะเป็นเวลาที่ตัวควบคุมต้องรอเพื่อที่จะทราบผลของการเปลี่ยนแปลงสัญญาณควบคุมที่ตัวควบคุมได้ส่งออกไปแล้ว ยิ่ง Dead time มีค่ามาก ตัวควบคุมยิ่งต้องรอนานขึ้น Dead time ทำให้การควบคุมยากขึ้น

2) *Capacity lag* ความเร็วในการตอบสนองประเภทนี้จะเป็นตัวจำกัด อัตราการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณวัด ไม่ให้มีความมากเกินไป ยิ่ง Capacity lag มีค่ามากอัตราการเปลี่ยนแปลงสูงสุดของสัญญาณวัด ยิ่งมีค่าน้อย ช่วงสภาวะที่เปลี่ยนแปลงจากสภาวะสมดุลย์ (Steady state) เดิมไปสู่สภาวะใหม่จะนานขึ้น รูปที่ 13 คือช่วงระยะระหว่าง T_1 กับ T_2 ในการควบคุมถ้าโปรเซสมีค่า Capacity lag ยิ่งมากสัญญาณวัดจะยิ่งเปลี่ยนแปลงไปอย่างช้าๆ ตัวควบคุมสามารถเปลี่ยนแปลงค่าสัญญาณควบคุมไปต่อต้านการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณได้ง่ายยิ่งขึ้น

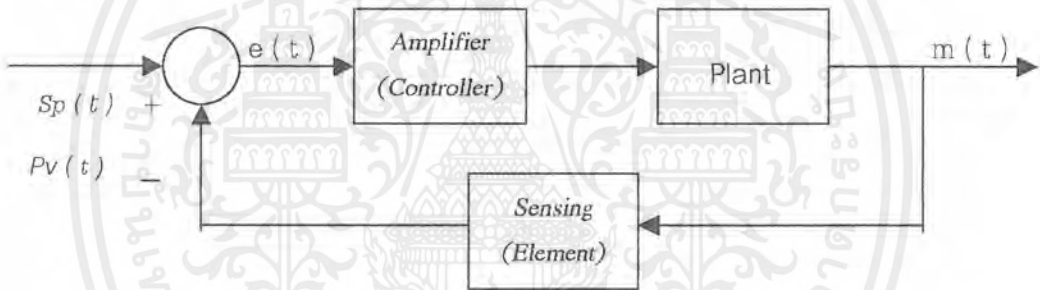


รูปที่ 2.13 ความช้าในการตอบสนองต่อสัญญาณควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ความหมายของการควบคุมอัตโนมัติ

ตัวควบคุมจะทำหน้าที่ตรวจวัดสัญญาณค่าคลาดเคลื่อน ซึ่งส่วนมากจะเป็นสัญญาณระดับต่ำ ดังนั้น จึงต้องมีแอมพลิฟายเพื่อทำหน้าที่ขยายสัญญาณค่า คลาดเคลื่อนนี้ให้มีระดับสูงเพียงพอและเอาท์พุทของตัวควบคุมจะถูกส่งไปยังตัวกระทำ(Actuator)เช่น มอเตอร์ไฟฟ้า วาล์ว นิวแมติกส์ หรืออื่น ๆ เป็นต้น รูปที่ 2.14 แสดงถึงบล็อกไดอะแกรมของตัวควบคุมซึ่งต่อร่วมกับอุปกรณ์วัดสัญญาณ(Sensing Element) ตัวควบคุมในที่นี้จะประกอบไปด้วยอุปกรณ์ตัววัดคลาดเคลื่อน (Error Detector) และแอมพลิฟาย สำหรับอุปกรณ์ตัววัดสัญญาณนั้นเป็นอุปกรณ์ซึ่งทำหน้าที่แปลงสัญญาณเอาท์พุทไปเป็นสัญญาณที่เหมาะสม เช่น ระยะเวลาที่ แรงดัน หรือสัญญาณไฟฟ้าซึ่งจะสำหรับเปรียบเทียบค่าของสัญญาณเอาท์พุทกับสัญญาณอ้างอิงได้ อุปกรณ์วัดสัญญาณนี้จะอยู่ในส่วน ป้อนกลับ(Feedback Path)ของระบบลูปปิด(Close Loop)ส่วนค่าที่กำหนดไว้(Set Point)ของตัวควบคุมนั้นจะถูกแปลงให้เป็นสัญญาณอินพุทอ้างอิง ที่มีหน่วยเดียวกับสัญญาณป้อนกลับที่ได้จากอุปกรณ์วัดสัญญาณเมื่ออุปกรณ์วัดค่าคลาดเคลื่อนตรวจวัดค่าคลาดเคลื่อนระหว่างสัญญาณอินพุทอ้างอิงและสัญญาณป้อนกลับได้แล้วก็จะส่งค่าคลาดเคลื่อนนี้ ไปยัง แอมพลิฟายเพื่อขยายค่าคลาดเคลื่อนให้มีระดับสูงพอที่จะไปทำให้ตัวกระทำในระบบทำงานได้



รูปที่ 2.14 การควบคุมแบบลูปปิดหรือแบบอัตโนมัติ

3. กรียาของการควบคุม

ตัวควบคุมที่ใช้ในงานอุตสาหกรรมสามารถจำแนกออกได้ตามลักษณะของกรียาการควบคุมได้ดังนี้

- 1.กรียาควบคุมแบบสองตำแหน่ง Two-Position
- 2.กรียาควบคุมแบบ Proportional
- 3.กรียาควบคุมแบบ Integral
- 4.กรียาควบคุมแบบ Derivative
- 5.กรียาควบคุมแบบ Proportional plus Integral
- 6.กรียาควบคุมแบบ Proportional plus Derivative
- 7.กรียาควบคุมแบบ Proportional plus Integral plus Derivative

ตัวควบคุมอัตโนมัติที่ใช้ในงานอุตสาหกรรมนั้นส่วนใหญ่จะใช้ไฟฟ้าหรือแรงดันของของไหลเช่น น้ำ มันหรือลมเป็นแหล่งจ่ายกำลัง ดังนั้นตัวควบคุมอัตโนมัติจึงจะแบ่งออกตามลักษณะของกำลังงานในการทำงานของระบบได้ เช่น ตัวควบคุมแบบนิวแมติกส์ (Pneumatic) ตัวควบคุมแบบไฮดรอลิก (Hydraulic)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

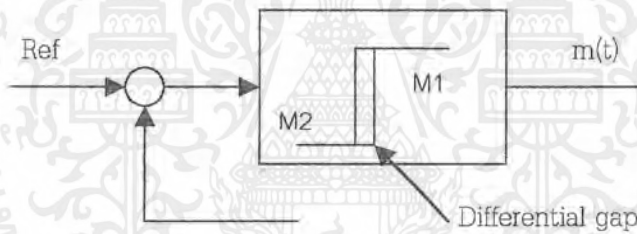
หรือ ตัวควบคุมแบบอิเล็กทรอนิกส์เป็นต้น การตัดสินใจว่าจะเลือกใช้ตัวควบคุมแบบไหน จะต้องพิจารณาจากธรรมชาติของระบบ สภาพการทำงาน ความปลอดภัย ความเที่ยงตรง ความไวใจได้ ราคา ขนาด และน้ำหนัก และอื่นๆเป็นต้น

3.1 ภัยควบคุมแบบสองตำแหน่ง (Two-position)

ในระบบการควบคุมแบบสองตำแหน่งนั้นตัวกระทำจะทำงานในตำแหน่งคงที่ที่เพียงสองตำแหน่งเท่านั้นในบางครั้งจึงมีชื่อเรียกง่ายๆว่า On และ Off การควบคุมแบบสองตำแหน่งนี้จะเป็นการควบคุมแบบง่ายและราคาไม่แพง ดังนั้นจึงนิยมใช้กันอย่างกว้างขวางในการควบคุมทางอุตสาหกรรมกำหนดให้ตัวควบคุมของสัญญาณเอาต์พุตเป็น $m(t)$ และ สัญญาณค่าคลาดเคลื่อนเป็น $e(t)$ ฉะนั้นในการควบคุมแบบสองตำแหน่ง สัญญาณ $m(t)$ จะมีค่าอยู่เพียงค่าสูงสุดหรือค่าต่ำสุดเท่านั้น โดยจะขึ้นอยู่กับว่าสัญญาณค่าคลาดเคลื่อนมีค่าเป็นบวกหรือเป็นลบนั่นคือ

$$m(t)=M1 \text{ สำหรับ } e(t) > 0$$

$$m(t)=M2 \text{ สำหรับ } e(t) < 0$$



รูปที่ 2.15 Block diagram ของตัวควบคุมหรือแบบ On-Off

รูปที่ 2.15 แสดงถึง block diagram ของตัวควบคุมแบบสองตำแหน่ง และสำหรับช่วงซึ่งสัญญาณค่าคลาดเคลื่อนเปลี่ยนแปลงไปก่อนเกิดการเปลี่ยนแปลงตำแหน่ง (switching) ของการควบคุม นั้นเรียกว่า Differential gap ดังแสดงในรูป ช่วง differential gap นี้เอาต์พุตของตัวควบคุม $m(t)$ จะยังคงรักษาค่าเดิมอยู่จนกระทั่งสัญญาณค่าคลาดเคลื่อนเปลี่ยนแปลงไปเล็กน้อยจากค่าศูนย์ในบางกรณี Differential gap นั้นเป็นผลจากการเสียดทานที่ไม่ได้คิดไว้ก่อนแต่ในบางครั้งก็ต้องทำให้มีช่วง Differential gap เพื่อป้องกัน On-Off บ่อยเกินไป

3.2 ภัยควบคุมแบบ Proportional

ข้อเสียของการควบคุมแบบ On-Off คือการแกว่งของค่าตัวแปรโปรเซสรอบๆค่าเป้าหมายเนื่องจากสัญญาณควบคุมมีแค่สองค่า(On หรือ Off)ขณะที่สัญญาณวัดมีค่าเข้าใกล้ค่าเป้าหมายสัญญาณควบคุมจะมีค่ามากหรือน้อยเกินไปไม่สมดุลย์กับค่าความผิดพลาด เพื่อจะกำจัดแกว่งเราจึงควรกำหนดให้สัญญาณควบคุมมีสัดส่วนเหมาะสมกับขนาดความคลาดเคลื่อนขณะที่สัญญาณวัดมีค่าเข้าใกล้ค่าเป้าหมาย การ



ควบคุมที่ใช้หลักการนี้เราเรียกว่า Proportional Control ความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณขาออก $m_p(t)$ กับ สัญญาณขาเข้า $Sinp(t)$ ที่ค่าเป้าหมาย $Soutp(t)$ โดยแสดงได้ดังนี้

$$m_p(t) = K_p e(t) + b$$

$m_p(t)$ = สัญญาณขาออก

$e(t)$ = ค่าคลาดเคลื่อน ($Soutp(t) - Sinp(t)$)

$Soutp(t)$ = ค่าเป้าหมาย

$Sinp(t)$ = สัญญาณเข้า

B = สัญญาณควบคุมขณะไม่มีความผิดพลาด ($Soutp = Sinp$)

K_p = Proportional Gain (%)

อัตราการตอบสนองต่อการคลาดเคลื่อนของ Proportional ถูกกำหนดด้วยค่า Proportional Gain (K_p) เราให้ค่าจำกัดความของ Proportional Gain ว่าเป็นเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของสัญญาณขาเข้า (กรณีค่าเป้าหมายคงที่) ทำให้สัญญาณขาออกเปลี่ยนแปลงไป 100%

ในการควบคุมแบบ Proportional โดยทั่วไปสัญญาณของโปรเซสจะมีค่าเท่ากับค่าเป้าหมายที่สภาวะการทำงานและสภาพแวดล้อมที่สภาวะใดสภาวะหนึ่งเท่านั้น ถ้าสภาวะการทำงานและสภาพแวดล้อมเปลี่ยนแปลงไปจากค่านี้ คือเกิดสิ่งรบกวน สัญญาณวัดจะมีค่าต่างไปจากค่าเป้าหมายที่สภาวะสมดุลย์ ค่าความแตกต่างระหว่างสัญญาณวัดกับค่าเป้าหมายที่สภาวะสมดุลย์ เรียกว่า ออฟเซต (offset) ขนาดของออฟเซตขึ้นอยู่กับขนาดของสิ่งรบกวน (Disturbance) และค่า K_p ยิ่ง K_p มีค่าน้อย ออฟเซตยิ่งมีค่ามาก ในทางกลับกัน ถ้า K_p มีค่ามาก ออฟเซตจะมีค่าลดลง แต่อย่างไรก็ดีถ้าค่า $K_p = \infty$ สัญญาณการวัดก็จะเกิดการแกว่ง เนื่องจากกรณีนี้กริยา Proportional จะทำงานเหมือนเป็น On-Off

ข้อดีของกริยา Proportional เมื่อเทียบกับการควบคุมแบบสองตำแหน่งตัวแปรโปรเซสจะมีเสถียรภาพดีกว่า (ไม่แกว่ง) ถ้าเราปรับ K_p ได้เหมาะสม แต่มีข้อเสียคือเกิดออฟเซต การควบคุมแบบนี้จะเหมาะกับโปรเซสที่สิ่งรบกวนขนาดไม่มากนัก Dead time มีค่าน้อยและ Capacity lag มีขนาดปานกลาง

3.3 กริยาควบคุมแบบ Integral

ในการควบคุมแบบ Integral นั้นค่าของเอาท์พุทของตัวควบคุม $m_i(t)$ จะมีความสัมพันธ์กับค่าคลาดเคลื่อน $e(t)$ ดังนี้

$$\frac{d}{dt} m_i(t) = K_i e(t)$$

$$m_i(t) = K_i \int e(t) dt$$

เมื่อ K_i = Integral Gain ที่สามารถปรับค่าได้

การควบคุมแบบ Integral เป็นกริยาหนึ่งที่ใช้กันบ่อยๆในระบบการควบคุมโดยมีพื้นฐานเกี่ยวเนื่องกับเหตุการณ์ในอดีตของค่าเออเรอร์ซึ่งเกิดขึ้นในการผันแปรทางการควบคุมของการควบคุมนี้ สามารถเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า " โทมตรีเซต (Reset) " ถ้าการควบคุมแบบ Proportional กำหนดการป้อนกลับบนพื้นฐานของค่าคลาดเคลื่อนในอดีตที่เกิดขึ้นตั้งนั้นเป็นไปได้อ่า เมื่อขณะใดขณะหนึ่งถ้าค่าของเออเรอร์เป็นศูนย์แล้วการควบคุมแบบ Integral ยังคงถูกป้อนกลับอยู่เพราะเกิดจากค่าคลาดเคลื่อนในอดีต จากนั้นเราสามารถมองเห็นภาพของกริยาแบบนี้ในเทอมของ Integral สามารถคำนวณจากพื้นที่สุทธิ (net area) ภายใต้เส้นกราฟค่าคลาดเคลื่อนต่อเวลา การกระทำเอาท์พุทถูกพบว่าเป็นการคูณด้วยค่าคงที่ซึ่งเรียกว่า "Integral Gain" ดังนี้

$$m(t) = K_I A_e(t) + b_I(0)$$

$A_e(t)$ = พื้นที่สุทธิของค่าคลาดเคลื่อนต่อเวลาคำนวณจากเวลา $t=0$

$B_I(0)$ = สัญญาณควบคุมขณะไม่มีคลาดเคลื่อน ที่เวลา $t=0$

กริยาควบคุมแบบ Integral สามารถกำหนดเอาท์พุทอัตโนมัติเพื่อเผชิญการเปลี่ยนแปลงของโหลดได้

3.4 กริยาควบคุมแบบ Derivative

การกระทำในกริยาควบคุมแบบนี้ถูกพิจารณาว่าเป็น การปฏิบัติการของการควบคุมอยู่บนพื้นฐานของอัตราเวลาของการเปลี่ยนแปลงค่าคลาดเคลื่อน ในกรณีที่ค่าคลาดเคลื่อนที่แท้จริงเป็นศูนย์ การกระทำ Derivative ยังจะให้การตอบสนองได้เฉพาะอัตราการเปลี่ยนแปลงค่าคลาดเคลื่อนซึ่งขึ้นอยู่กับอัตราการเปลี่ยนแปลงค่าคลาดเคลื่อนนั้นทำให้เรียกบ่อยๆว่า "เรทแอชั่น (rate action)" การตอบสนองของการปฏิบัติ Derivative จะไม่ขึ้นอยู่กับค่าคลาดเคลื่อนในขณะนี้โดยเฉพาะแต่จะขึ้นอยู่กับอัตราการเปลี่ยนแปลงของค่าคลาดเคลื่อนในขณะนั้นแต่เพื่อให้กระจายเอาท์พุท จำเป็นต้องปรับค่าบางสิ่ง โดยค่าคลาดเคลื่อนที่กำลังเปลี่ยนแปลงแบบ รวดเร็ว นั้นจะประกันได้ว่าเอาท์พุท จะไม่เป็นศูนย์ เว้นเสียแต่ว่าจะมีเงื่อนไขอื่น



รูปที่ 2.16 ในกรณีที่ค่าคลาดเคลื่อนเป็นศูนย์ แต่เอาท์พุทดีริเวทีฟที่มีการตอบสนอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราการเปลี่ยนแปลงของค่าคลาดเคลื่อนสามารถถูกประมาณโดยการเอาผลต่างระหว่างค่าคลาดเคลื่อนสองค่าหารด้วยความต่างของเวลา ดังนี้

$$m_d(t) = K_D \frac{e_p(t_1) - e_p(t_0)}{t_1 - t_0}$$

K_D = Delevative Gain

$e_p(t_1)$ = ค่าคลาดเคลื่อนที่เวลา t_1

$e_p(t_0)$ = ค่าคลาดเคลื่อนที่เวลา t_0

สังเกตได้ว่ามีเทอมเอาที่พหุของการควบคุมออกมาเมื่อมีอัตราที่เปลี่ยนแปลงค่าคลาดเคลื่อน เริ่มต้นเป็นศูนย์ด้วยเหตุนี้การควบคุมแบบ Derivative จะไม่ใช้งานแบบโดดเดี่ยวเพราะว่าจะไม่ตอบสนองที่ค่าคลาดเคลื่อนคงที่ (fixed error)

4. การรวมกริยาของการควบคุม

4.1 กริยาควบคุมแบบ Proportional Plus Integral

กริยาการควบคุมแบบนี้สามารถจะแสดงได้ด้วยสมการดังต่อไปนี้

$$m_{PI}(t) = K_p e(t) + K_p K_i \int_0^t e(t) dt$$

K_p และ K_i เป็นค่าที่ปรับได้ โดยการปรับ K_i นั้นจะเป็นการปรับกริยาควบคุม Integral ส่วนการปรับค่าของ K_p นั้นจะมีผลต่อส่วน Proportional ซึ่ง Proportional จะมี Offset ถ้าเกิดมีสิ่งรบกวนโปรเซส (Disturbance) เพื่อจะกำจัด offset โดยพนักงานไม่จำเป็นต้องคอยปรับตัวควบคุมบ่อยๆ เราจำเป็นต้องให้ตัวควบคุมที่สามารถปรับค่า Bias โดยอัตโนมัติ ขนาดของกริยา Integral ขณะใดขณะหนึ่งจะไม่สัมพันธ์กับค่าคลาดเคลื่อนในขณะนั้น แต่จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับขนาดของค่าคลาดเคลื่อนสะสม ผลของกริยา Integral จะเหมือนกับการปรับค่า Bias จนกระทั่งค่าคลาดเคลื่อนหมดไป อัตราการตอบสนองของกริยา Integral ขึ้นอยู่กับการปรับค่า K_i ยิ่ง K_i มีค่าน้อยลง การตอบสนองยิ่งจะเร็วขึ้น ข้อดีของการเพิ่มกริยา Integral จะเสมือนการเพิ่ม Capacity Lag เข้าไปในระบบควบคุมตัวแปรโปรเซส เปลี่ยนแปลงค่าเข้าสู่เป้าหมายได้ช้าลง กริยาการควบคุมแบบ Proportional Plus Integral จึงเหมาะสมกับโปรเซสที่ค่อนข้างไวอยู่แล้วคือทั้ง Dead time และ Capacity lag มีค่าน้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การควบคุมแบบ Proportional Plus Derivative

การควบคุมแบบ Proportional Plus Derivative จะอยู่ในรูปของสมการต่อไปนี้

$$m_{PD}(t) = K_p e(t) + K_p K_D \frac{de(t)}{dt}$$

ค่าของ K_p และ K_D นั้นจะเป็นค่าที่สามารถปรับได้และในบางครั้งจะเรียกการควบคุมแบบ Derivative ว่า rate control ทั้งนี้เพราะขนาดของสัญญาณเอาต์พุตของการควบคุมจะเป็นสัดส่วนกับอัตราการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณค่าคลาดเคลื่อนการควบคุมแบบ Derivative มีลักษณะของการคาดการณ์ล่วงหน้า โดยที่ K_D จะเป็นช่วงเวลาซึ่งการควบคุมแบบ Derivative ล้าหน้าการควบคุม Proportional แต่อย่างไรก็ตามการควบคุมแบบ Derivative จะคาดการณ์ล่วงหน้าไม่ได้ถ้าการกระทำนั้น ยังไม่เกิดขึ้นถึงแม้ว่าการควบคุมแบบ Derivative มีข้อดีคือมีลักษณะของการคาดการณ์ล่วงหน้าแต่มันก็มีข้อเสียคือมันจะขยายสัญญาณรบกวน (noise) และอาจจะเป็นสาเหตุให้เกิด saturation ในตัวกระทำได้ นอกจากนี้ตัวควบคุมแบบ Derivative ยังไม่สามารถจะใช้ตัวเดียวโดดได้เพราะการควบคุมของมันจะมีผลเฉพาะช่วงของทรานเซียนต์(transient) เท่านั้น

4.3 การควบคุมแบบ Proportional Plus Integral Plus Derivative

การควบคุมแบบนี้ได้จากการรวมเอาการควบคุมแบบ proportional การควบคุมแบบ Integral และการควบคุมแบบ Derivative เข้าด้วยกัน การควบคุมแบบ PID สามารถจะแสดงในรูปของสมการต่อไปนี้

$$m_{PID}(t) = K_p e(t) + K_p K_D \frac{de(t)}{dt} + K_p K_I \int_0^t e(t) dt$$

การควบคุมแบบ Integral ในการควบคุมแบบ Proportional Plus Integral จะทำให้ต้องควบคุมค่าตอบสนองต่อค่าคลาดเคลื่อนช้าลงกรณีที่โปรเซสช้าอยู่แล้ว อาจจำเป็นต้องเพิ่มการควบคุมแบบ Derivative เพื่อลดความช้าของระบบควบคุมการเพิ่มการควบคุมแบบ Derivative เข้าไปในการควบคุมแบบ Proportional Plus Integral จะทำให้ผลตอบสนองของระบบต่อสิ่งรบกวนไวขึ้น สัญญาณการเปลี่ยนแปลงสู่ค่าเป้าหมายไวขึ้น ข้อดีของการควบคุมแบบ Proportional Plus Integral Plus Derivative คือระบบการควบคุมจะตอบสนองต่อสิ่งรบกวน (Disturbance) ไวขึ้นทำให้เสถียรภาพในการควบคุมแบบ Proportional Plus Integral สำหรับโปรเซสที่ตอบสนองช้าการควบคุมแบบนี้เหมาะสำหรับโปรเซสที่มี Capacity lag มาก Dead time ขนาดไม่มากนัก

5. การปรับค่าของกริยาการควบคุม

การปรับค่าตัวควบคุมเป็นสิ่งที่จะต้องจำเป็นสำหรับการควบคุมที่ดีที่สุด ในหัวข้อนี้จะได้นำเสนอวิธีการปรับค่าตัวควบคุมเพื่อให้ได้ผลตอบสนองที่ดี วิธีการปรับค่าตัวควบคุมนั้นมีหลายวิธี แต่ไม่มีวิธีไหนที่เป็นที่ยอมรับกันว่าดีที่สุด กล่าวคือบางวิธีจะต้องพิจารณาจากผลตอบสนองของระบบ และอาศัยคณิตศาสตร์ในการพิจารณาโดยทั่วไปแล้วการปรับค่าของตัวควบคุมจะพิจารณาจากเงื่อนไขในโดเมนความถี่ซึ่งจะอยู่ในรูปของ gain margin และ phase margin เงื่อนไขในโดเมนเวลาที่นิยมใช้เพื่อการปรับค่าตัวควบคุมมีดังนี้

1. อัตราการเสื่อม 1 / 4 (quarter decay) กล่าวคือ peak overshoot อันแรก (maximum overshoot) ของผลตอบสนองของระบบที่มีการ oscillate จะต้องมามีค่าเท่ากับ 1 / 4 รูปที่ 3 แสดงถึงเงื่อนไขนี้

2. ดัชนีแสดงสมรรถนะแบบ Integral of square error (ISE) ที่มีค่าน้อยที่สุดดัชนีแสดงสมรรถนะแบบนี้แสดงด้วยสมการ

$$ISE = \int_0^{\infty} [e(t)]^2 dt = \text{น้อยที่สุด}$$

โดยที่ $e(t)$ = ค่าความคลาดเคลื่อน

3. ดัชนีแสดงสมรรถนะแบบ Integral of absolute error (IAE) ที่มีค่าน้อยที่สุดสมการของดัชนีแสดงสมรรถนะแบบนี้คือ

$$AE = \int_0^{\infty} |e(t)| dt = \text{น้อยที่สุด}$$

4. ดัชนีแสดงสมรรถนะแบบ Integral of time multiplied absolute error (ITAE) ที่มีค่าน้อยที่สุดนั่นเอง

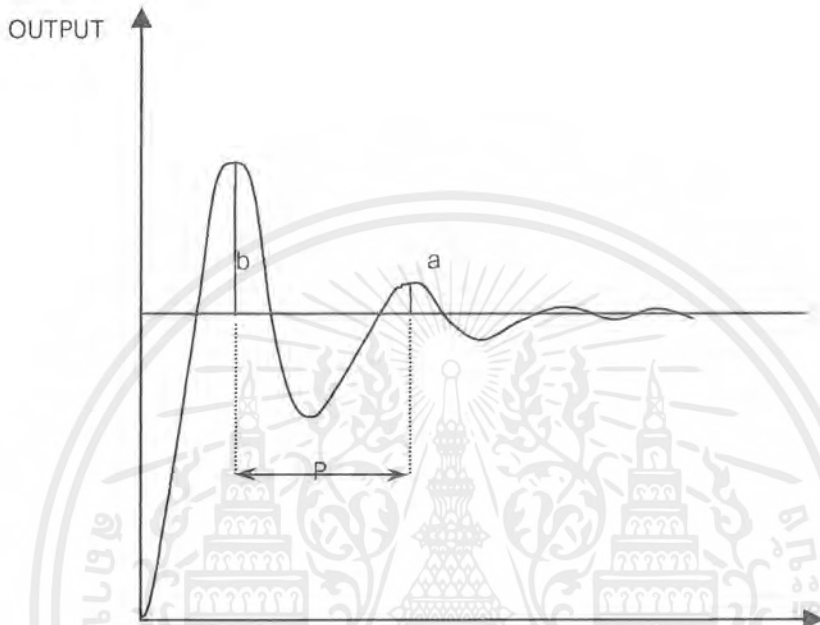
$$ITAE = \int_0^{\infty} t|e(t)| dt = \text{น้อยที่สุด}$$

เงื่อนไขทั้งสี่แบบที่กล่าวมานี้แบบแรกจะเป็นแบบที่สะดวกเพราะสามารถวัดได้จากผลตอบสนองของระบบโดยตรง ส่วนแบบที่สองถึงแบบที่สี่นั้นจะมีข้อดีคือมีความแม่นยำสูงกว่าแบบแรกกล่าวคือค่าต่างๆของตัวควบคุมอาจจะมีหลายค่าที่ทำให้ผลตอบสนองมีอัตราการเสื่อม 1 / 4 แต่จะมีเพียงค่าเดียวที่ทำให้เงื่อนไขแบบที่สองหรือแบบที่สามหรือแบบที่มีค่าน้อยที่สุด

เงื่อนไขแบบอัตราการเสื่อม 1 / 4 นั้นจะเป็นเงื่อนไขที่ดีในการประนีประนอมระหว่าง rise time ที่เร็วและ setting time ที่น้อย สำหรับเงื่อนไขแบบที่สองถึงแบบที่สี่นั้นเนื่องจากว่าผลตอบสนองของระบบแต่ละระบบจะไม่เหมือนกัน ดังนั้นค่าดัชนีของแต่ละแบบนี้สามารถจะอธิบายได้ดังนี้คือ เงื่อนไขแบบที่สองซึ่งเป็นดัชนีแสดงสมรรถนะแบบ ISE นั้นถ้าค่าคลาดเคลื่อนมากค่าของดัชนีแสดงสมรรถนะก็จะมากดังนั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำให้ดัชนีแสดงสมรรถนะแบบนี้มีค่าน้อยที่สุดก็คือผลตอบสนองของระบบจะต้องมี rise time ที่น้อยมาก ซึ่งทำให้มีข้อเสียคือมี overshoot สูง สำหรับเงื่อนไขแบบ ITAE ซึ่งเป็นค่าของเวลาคูณกับค่าความคลาดเคลื่อนนั้น ถ้าต้องการทำให้มีค่าน้อยที่สุดแล้วผลตอบสนองของระบบจะต้องมี setting time ที่น้อยและมีอัตราการทวนสูง ส่วนเงื่อนไขแบบ IAE นั้นจะมีคุณลักษณะใกล้เคียงกับเงื่อนไขแบบอัตราการเสื่อม 1 / 4



รูปที่ 2.17 ผลตอบสนองของระบบที่อัตราเสื่อมกัน 1/4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 การ INTERFACE

INPUT/OUTPUT CARD

ลักษณะทั่วไปของ PC CARD เป็นลักษณะของ PC CARD ใช้เชื่อมต่อกับเครื่อง PC เพื่อขยายระบบอินพุตและระบบเอาต์พุตให้ใช้งานได้มากยิ่งขึ้นซึ่งสามารถที่จะรับสัญญาณอินพุตและให้สัญญาณเอาต์พุตออกมาได้ทั้งในรูปแบบของ Digital ทำให้มีการอ่อนตัวในการนำไปประยุกต์ใช้งานในด้านต่างๆได้มากยิ่งขึ้น ซึ่งมีไอซี 8255 (PROGRAMMABLE PHERIPHERALINTERFACE) จำนวน 2 ตัว ซึ่งสามารถที่จะใช้โปรแกรมให้เป็นได้ทั้งอินพุตและเอาต์พุตตามต้องการของผู้ใช้เองได้ทั้งหมด 6 พอร์ต หรือ 48 บิต 1/0 ในรูปของสัญญาณ DIGITALนั่นเอง

การใช้งาน 8255 (PROGRAMMABLE PHERIPHERAL INTERFACE)

ไอซี 8255 (PROGRAMMABLE PHERIPHERAL INTERFACE) เป็นไอซีประกอบด้วยพอร์ตใช้งานถึง 3 พอร์ตและ พอร์ตควบคุม (CONTROL PORT) อีก 1 พอร์ต รวมเป็น 4 พอร์ต ซึ่งไอซี 8255 สามารถที่จะโปรแกรมให้เป็นได้ทั้งอินพุตและเอาต์พุต ได้ทั้ง 2 ตัว หรือ 48 บิต 1/0 โดยการกำหนดที่ พอร์ตควบคุม(CONTROL PORT) ซึ่งการโปรแกรมเพียงแต่ส่งค่า CONTROL WORD-CODE ไปให้ พอร์ตควบคุมเพื่อกำหนดการทำงานของ 8255 ซึ่งมีรายละเอียดและมีตัวอย่างการโปรแกรมหดังนี้ คือ

D0 กำหนดการทำงานของพอร์ต C ล่าง (PC0-PC3) คือ

ถ้าเป็น 1 หมายถึงให้เป็น Input

ถ้าเป็น 0 หมายถึงให้เป็น Output

D1 กำหนดการทำงานของพอร์ต B (PB0- PB7)

ถ้าเป็น 1 หมายถึงให้เป็น Input

ถ้าเป็น 0 หมายถึงให้เป็น Output

D2 กำหนดโหมดการทำงานของพอร์ต C ล่างและพอร์ต B คือ

ถ้าเป็น 0 หมายถึงให้พอร์ต C ล่างและพอร์ต B ทำงานในโหมด 0

ถ้าเป็น 1 หมายถึงให้พอร์ต C ล่างและพอร์ต B ทำงานในโหมด 1

D3 กำหนดการทำงานของพอร์ต C บน (PC4-PC7) คือ

ถ้าเป็น 1 หมายถึงให้เป็น Input

ถ้าเป็น 0 หมายถึงให้เป็น Output

D4 กำหนดการทำงานของพอร์ต A (PA0-PA7) คือ

ถ้าเป็น 1 หมายถึงให้เป็น Input

ถ้าเป็น 0 หมายถึงให้เป็น Output

D6, D5 กำหนดโหมดการทำงานของพอร์ต C บนและพอร์ต A คือ

ถ้าเป็น 00 หมายถึงให้พอร์ต C บนและพอร์ต A ทำงานในโหมด 0

ถ้าเป็น 01 หมายถึงให้พอร์ต C บนและพอร์ต A ทำงานในโหมด 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้าเป็น 1x หมายถึงให้พอร์ต C บนและพอร์ต A ทำงานในโหมด 2

D7 กำหนด MODESET FLAG คือ

ถ้าเป็น 1 หมายถึง ACTIVE ซึ่งต้องกำหนดให้บิตนี้เป็น 1 เสมอ

ถ้าเป็น 0 หมายถึง NON-ACTIVE

ตัวอย่างเช่น เราต้องการให้ทั้ง 3 พอร์ต ของ 8255 (PA,PB,PC) เป็นเอาต์พุตทั้งหมดจะได้ดังนี้คือ

D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
1	0	0	0	0	0	0	0

ดังนั้นจะได้ Control Word Code = 80H

2. วงจร ANALOG TO DIGITAL CONVERTOR

หลักการการทำงานของวงจร

ไอซี ADC 0804 จะทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณจากอนาล็อกให้เป็นสัญญาณดิจิตอลโดยใช้หลักการสุ่มรับสัญญาณ Analog ทางอินพุต (Sampling) แล้วนำขนาดของสัญญาณ Analog นั้นมาเปรียบเทียบกับค่าแรงดันอ้างอิงของวงจรนี้แล้วจึงเปลี่ยนค่าข้อมูลเป็นแบบดิจิตอลซึ่งความเร็วในการสุ่มของขนาดสัญญาณ (Sampling Rate) สามารถกำหนดได้จากความถี่ของสัญญาณนาฬิกา ซึ่งสามารถกำหนดได้โดยวงจร R2 และ C5 โดยมีความสัมพันธ์กันดังนี้คือ

$$F=1/(1.1 RC)$$

เมื่อ F คือ ค่าความถี่ขนาดของสัญญาณไอซี ADC 0804

R คือ ค่าความต้านทาน R2 ในวงจร

C คือ ค่าความจุ C5 ในวงจร

ความสัมพันธ์ของอินพุตและเอาต์พุตของไอซี ADC0804

ไอซี ADC0804 จะใช้การเปรียบเทียบขนาดของสัญญาณอินพุตกับแรงดันอ้างอิงของวงจรแล้วจึงเปลี่ยนข้อมูลแบบดิจิตอลซึ่งมีความสัมพันธ์กันดังนี้

-ถ้าค่าของขนาดสัญญาณอนาล็อกอินพุตเท่ากับขนาดแรงดันอ้างอิงจะได้ข้อมูลมีค่าเป็นครึ่งหนึ่ง

-ถ้าค่าของขนาดสัญญาณอนาล็อกอินพุตมีค่าเป็น 2 เท่าของแรงดันอ้างอิงจะได้ข้อมูลมีค่าสูงสุดซึ่งขนาดของสัญญาณอินพุตจะถูกกำหนดโดยค่าตัวแปรต่างๆดังนี้

1)แรงดันอ้างอิงของวงจร (Voltage Reference หรือ Vref/2)

แรงดันอ้างอิงของวงจรนี้ เป็นจุดอ้างอิงมาตรฐานของวงจรเป็นตัวกำหนดความเที่ยงตรงในการเปลี่ยนของสัญญาณอนาล็อกให้เป็นสัญญาณดิจิตอลซึ่งวงจรต้องการแรงดันอ้างอิงที่มีความเที่ยงตรงสูง เพราะหาก แรงดันอ้างอิงของวงจรไม่มีความเที่ยงตรงแน่นอนมีการเปลี่ยนแปลง แล้วการทำงานของวงจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก็จะมีการเปลี่ยนแปลงตามด้วยนั่นก็คือ จะส่งผลให้ค่าของสัญญาณข้อมูลดิจิตอลที่ได้ก็จะเปลี่ยนแปลงขึ้นๆ ลงๆ ตามไปด้วยถึงแม้ว่าสัญญาณอินพุตจะมีขนาดคงที่ก็ตาม และแรงดันอ้างอิงของวงจรนี้ยังเป็นตัวกำหนดค่าสูงสุดของสัญญาณ อินพุตบวกของวงจรโดยค่าสัญญาณอินพุตบวกให้มีค่าสูงสุดประมาณ 2 เท่าของแรงดันอ้างอิงโดยมีจุดเริ่มที่สัญญาณอินพุตของวงจรเสมอซึ่งบน Board นั้นใช้ไอซี LM336 เป็นตัวสร้างสัญญาณอ้างอิงแรงดันขนาด 2.5 V ซึ่งเป็นแรงดันอ้างอิงที่ทำให้ไอซี ADC 0804 รับสัญญาณอินพุตสูงสุด +5 V แต่ผู้ใช้สามารถใช้แรงดันอ้างอิงกับ วงจรได้ทั้งสองแบบคือ

1.1 แรงดันอ้างอิงจากตัวบอร์ดเองมีขนาด 2.5 V

1.2 แรงดันจากภายนอกซึ่งกำหนดจากผู้ใช้งานโดยต่อเข้ามาทางขั้วต่อซึ่งแรงดันอ้างอิงจะมีขนาดระหว่าง 0.0-2.5 V

2) สัญญาณอินพุตลบ (Voltage Input - หรือ VI-)

แรงดันอินพุตลบนี้เป็นตัวกำหนดอินพุตด้านต่ำของวงจรหรือจุดเริ่มต้นการตอบรับสัญญาณอินพุตนั่นเองโดยสัญญาณอินพุตลบสามารถกำหนดได้ให้มีค่าไม่เกินแรงดันอ้างอิงสูงสุดของวงจร (2.5 V) สามารถกำหนดอินพุตได้ทั้งสองแบบตามความต้องการคือ

-สัญญาณอินพุตลบจากตัวบอร์ดเองโดยกำหนดไว้ในระดับกราวด์ของวงจรหรือ 0V จนถึงระดับแรงดัน ประมาณ 2 เท่าของแรงดันอ้างอิงของวงจร

-สัญญาณอินพุตลบจากภายนอกซึ่งจุดรับสัญญาณจะต่อผ่านเข้ามายังขั้วต่อ Connector CN4 และสัญญาณอินพุตลบนี้จะกำหนดโดยผู้ใช้งานโดยต้องกำหนดให้มีค่าไม่เกินแรงดันอ้างอิงของวงจรเสมอ

3) สัญญาณอินพุตบวก (Voltage Input+ หรือ VI+)

แรงดันอินพุตบวกนี้ก็คือค่าแรงดันอินพุตของวงจรมันเองซึ่งกำหนดให้มีค่าสูงสุดไม่เกินค่าที่วงจร ADC รับได้ซึ่งต้องเป็นค่าแรงดันที่มีค่าอยู่ในช่วงบวกด้วยเนื่องจากไอซี ADC ไม่สามารถรับสัญญาณที่มีค่าเป็นลบได้สัญญาณอินพุต บวกนี้จะมีค่าประมาณ 2 เท่าของแรงดันอ้างอิงค่าสูงสุดของอินพุตบวกต้องมีค่าต่ำกว่า +5.0 V ด้วยเสมอ

3. การทำงานของวงจร DIGITAL TO ANALOG CONVERTOR

หลักการการทำงานของวงจร

ไอซี ADC จะทำหน้าที่นำข้อมูลอินพุตแบบดิจิตอลมาเปรียบเทียบกับแรงดันอ้างอิงของวงจรแล้วเปลี่ยนเป็นสัญญาณอนาล็อกออกทางเอาต์พุต ซึ่งขนาดของสัญญาณเอาต์พุตที่ได้จะมีความสัมพันธ์กับขนาดของข้อมูล

อินพุตแบบเป็นสัดส่วนเชิงเส้น (Linear) โดยขนาดของสัญญาณเอาต์พุตนั้นสามารถแบ่งขนาดออกได้เป็นช่วงๆ (Step) ตามขนาดของไอซี DAC ในแต่ละช่วงของการเปลี่ยนแปลงของจำนวนข้อมูลอินพุตว่าเมื่อค่าข้อมูลเพิ่มขึ้น 1 ระดับขนาดของสัญญาณเอาต์พุตเพิ่มขึ้นเท่าไรถ้าไอซี DAC มีจำนวนบิตมากค่าความละเอียดก็จะมาก ถ้าไอซี DAC มีจำนวนบิตน้อยค่าความละเอียดก็จะน้อยตามไปด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความสัมพันธ์ของอินพุตและเอาต์พุตของไอซี DAC

ไอซี DAC จะใช้การเปรียบเทียบข้อมูลแบบดิจิทัลกับแรงดันอ้างอิงของวงจรแล้วจึงเปลี่ยนขนาดของ ข้อมูลอินพุตนั้นกลับเป็นสัญญาณแบบอนาล็อกส่งออกจากเอาต์พุตซึ่งขนาดของข้อมูลอินพุต กับ ขนาดของสัญญาณเอาต์พุตมีความสัมพันธ์ดังนี้คือ

- ถ้าขนาดของข้อมูลอินพุตมีค่าสูงสุด (เป็นลอจิก 1 ทั้งหมดทุกบิต)จะได้ขนาดของสัญญาณอนาล็อกเอาต์พุตมีค่าเป็น 2 เท่าของแรงดันอ้างอิงของวงจร
- ถ้าค่าของข้อมูลอินพุตมีค่าเป็นครึ่งหนึ่งของข้อมูลสูงสุดจะได้ขนาดสัญญาณอนาล็อกเอาต์พุตมีค่าเท่ากับค่าของแรงดันอ้างอิงของวงจร

ซึ่งขนาดของสัญญาณเอาต์พุตของวงจรถูกกำหนดโดยค่าตัวแปรต่างๆดังนี้คือ

การกำหนดค่าของข้อมูลเพื่อกำหนดขนาดของสัญญาณเอาต์พุต

การที่เราจะสามารถกำหนดค่าของข้อมูลอินพุตของไอซี DAC เพื่อให้ได้ขนาดของสัญญาณเอาต์พุตตามความต้องการของเราเนิ่นก่อนอื่นเราต้องทราบความสามารถของไอซี DAC เสียก่อนว่าสามารถให้ค่าสัญญาณเอาต์พุตต่อ Step เป็นเท่าไรเสียก่อนแล้วจึงหว่าหากเราต้องการได้ค่าสัญญาณเอาต์พุตขนาดเท่านี้แล้วต้องใช้กี่ Step จึงจะได้ขนาดของสัญญาณตามความต้องการซึ่งค่า Step นี้สามารถกำหนดได้จากจำนวนบิตข้อมูลของไอซี DAC ที่เราใช้ในวงจร ถ้าเราใช้ไอซี DAC ขนาด 8 บิต จะได้ค่าของข้อมูลอยู่ระหว่าง 00H-FFH หรือ 0-255 นั่นก็คือไอซี DAC สามารถให้สัญญาณเอาต์พุตเป็นช่วงๆทั้งหมด 256 ช่วง (0-255) นั่นเอง ซึ่งเมื่อเราทราบค่า ไอซี DAC มีค่า Step ทั้งหมดเท่าไรแล้ว ก็สามารถทราบได้ว่าใน 1 Step จะได้ขนาดของสัญญาณเอาต์พุตต่อ 1 Step เป็นเท่าไรโดยสามารถหาได้จากสูตร

$$STEP=ANALOG\ MAX / DAC\ STEP$$

เมื่อ

- Step คือ ค่าของขนาดสัญญาณอนาล็อกเอาต์พุตต่อ 1 ช่วงข้อมูล
- Analog maximum คือ ค่าของขนาดสัญญาณอนาล็อกเอาต์พุตสูงสุดที่ใช้ในวงจร
- DAC Step คือ ค่าของจำนวน Step ของไอซี DAC ที่ใช้ในวงจรโดยถ้าใช้ไอซี DAC0832 (DAC ขนาด 8 บิต) DAC Step มีค่าเป็น 256 และเราจะสามารถหาค่าข้อมูลได้จากสูตร

$$DATA= Vout / STEP$$

เมื่อ

- คือ ค่าของข้อมูลที่ต้องการหา
- คือ ค่าของขนาดสัญญาณอนาล็อกเอาต์พุตที่ต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับภารกิจการงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- คือ ค่าของขนาดสัญญาณอนาล็อกเอาต์พุตต่อ 1 ช่วงข้อมูล
 - ใช้ไอซี DAC ขนาด 8 บิต (DAC0832)
 - ใช้แรงดันอ้างอิงของวงจร ($V_{ref} / 2$) เป็น 5V
 - ให้ขนาดสัญญาณเอาต์พุตมีขนาดสูงสุด +10
- จะได้ค่าของสัญญาณเอาต์พุตต่อ 1 Step เป็น

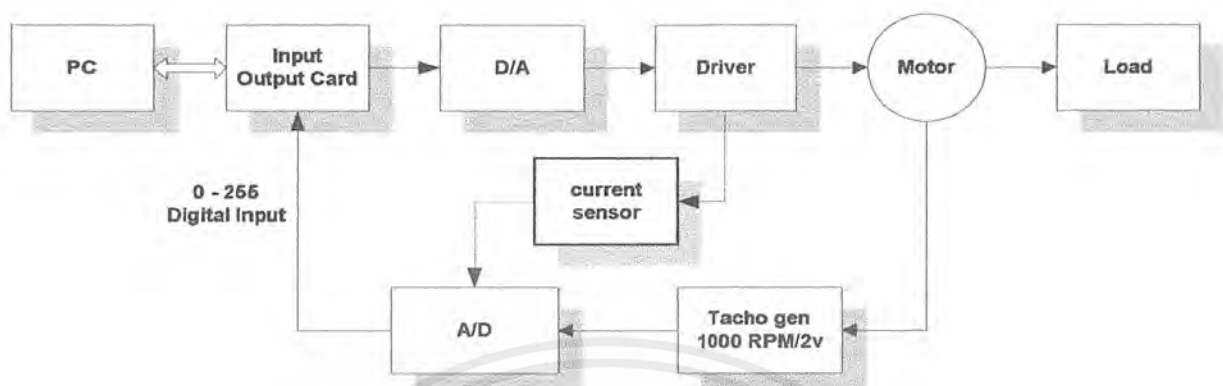
$$\text{Step} = 10 / 256$$

จะเห็นได้ว่าเราได้ค่าของสัญญาณเอาต์พุตต่อ Step มีค่าประมาณ 0.0391 หรืออาจกล่าวได้ว่าหากเราให้ข้อมูลอินพุตกับวงจรด้วยค่า 01H (00000001B) เราจะได้สัญญาณเอาต์พุตมีขนาดประมาณ 0.0391 ดังนั้นหากเราต้องการได้ขนาดของสัญญาณเอาต์พุตมีค่าเป็น 5.00V เราต้องให้ค่าข้อมูลกับวงจรเป็น

$$\begin{aligned} \text{DATA} &= 5.00 / 0.0391 \\ &= 128 \text{ (7FH หรือ 01111111B)} \end{aligned}$$

บทที่ 3 การออกแบบส่วนควบคุม

3.1 โครงสร้างของระบบ



รูปที่ 3.1 Block Diagram โครงสร้างของระบบการควบคุมมอเตอร์กระแสตรงด้วยคอมพิวเตอร์

การทำงานของ Block Diagram

คอมพิวเตอร์ส่งและรับข้อมูลติดต่อผ่านทาง Input Output Card โดยจะส่งสัญญาณดิจิทัลออกมา เพื่อเปลี่ยนเป็นสัญญาณอนาล็อก โดยวงจร Digital To Analog Converter เพื่อนำสัญญาณอนาล็อกที่ได้ ซึ่งเป็นแรงดันกระแสตรงไปทำการควบคุมการขับมอเตอร์กระแสตรง โดยใช้ วงจร Pulse Width Modulation ในการเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบของมอเตอร์ ซึ่งความเร็วรอบของมอเตอร์ที่ได้ จะถูกเปลี่ยนเป็นแรงดัน โดย Tacho Generator ค่าแรงดันที่ได้จะถูกเปลี่ยนเป็นสัญญาณดิจิทัล โดยผ่านวงจร Analog To Digital Converter นำค่าดิจิทัลที่ได้ เพื่อให้คอมพิวเตอร์คำนวณ และแสดงผลเป็นรูปภาพฟลักและตัวเลข ส่วนการวัดแรงบิดนั้นอาศัยหลักการวัดจากกระแสอาร์เมเจอร์ของมอเตอร์ผ่านตัวต้านทาน 1 โอห์ม

3.2.Input/Output Card 8255

Address ของ 8255 ในการรับข้อมูล

- 1B0 H = PORT A ของ 8255
- 1B1 H = PORT B ของ 8255
- 1B2 H = PORT C ของ 8255
- 1B3 H = PORT CONTROL ของ 8255

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการส่งข้อมูล ADDRESS ของ 8255

1B4 H = PORT A ของ 8255

1B5 H = PORT B ของ 8255

1B6 H = PORT C ของ 8255

1B7 H = PORT CONTROL ของ 8255

กำหนดการทำงานของ PORT ต่างๆดังนี้

PORT A: DATA

PORT B: ADDRESS

PORT C: ล้าง: CONTROL SIGNAL

3.3.การทำงานของวงจรถอดรหัสตำแหน่งพอร์ต

เนื่องจากพอร์ตควบคุมแต่ละพอร์ตมักจะมีวงจรถควบคุมที่แตกต่างกันดังนั้นตำแหน่งการติดต่อกับส่วนอินพุทและเอาต์พุทก็ย่อมต้องมีความแตกต่างกันด้วยดังนั้นวงจร ADC และ DAC จึงต้องมีวงจรถอดรหัสตำแหน่งพอร์ตใช้งานที่สามารถทำการเปลี่ยนแปลงให้ตรงกับตำแหน่งการเชื่อมต่อกับพอร์ตควบคุมต่างๆเหล่านั้นได้ทุกพอร์ต ซึ่งพอร์ตที่เราใช้สามารถที่จะกำหนดเบอร์พอร์ตใช้งานได้ถึง 256 ตำแหน่ง จึงสามารถเชื่อมต่อกับพอร์ตควบคุมต่างๆได้อย่างไม่มีปัญหา

หลักการการทำงานของวงจร

วงจรใช้ไอซี 74LS138(U1) 74LS156(U2) 74LS32(U3 และ U10) และ JUMPER (JP1-JP5) ต่อร่วมกันเป็นวงจรถอดรหัสตำแหน่งพอร์ตโดยใช้ไอซี 74LS138 เป็นตัวกำหนดตำแหน่งพอร์ตชั้นนอกไอซี 74LS156 เป็นตัวกำหนดตำแหน่งพอร์ตชั้นในซึ่งทั้ง 2 ชั้นยังสามารถแบ่งออกเป็น BANK สูง และ BANK ต่ำ โดยมี JUMPER JP1,JP2 ทำหน้าที่เลือกตำแหน่ง BANK ของพอร์ตชั้นนอกกว่าจะให้ทำงานใน BANK สูงหรือ BANK ต่ำซึ่งตำแหน่งของพอร์ตที่ได้จากวงจรถุดนี้จะถูกต่อไปยัง JUMPER JP5 โดยมีตำแหน่งพอร์ตดังนี้คือ

JUMPER JP5 SET	เบอร์พอร์ตใน BANK ต่ำ	เบอร์พอร์ตใน BANK สูง
SHORT 1-2 ONLY	00 H - 0F H	80 H - 8F H
SHORT 3-4 ONLY	10 H - 1F H	90 H - 9F H
SHORT 5-6 ONLY	0 H - 2F H	A0 H - AF H
SHORT 7-8 ONLY	30 H - 3F H	B0 H - BF H
SHORT 9-10 ONLY	40 H - 4F H	C0 H - CF H
SHORT 11-12 ONLY	50 H - 5F H	D0 H - DF H
SHORT 13-14 ONLY	60 H - 6F H	E0 H - EF H
SHORT 15-16 ONLY	70 H - 7F H	F0 H - FF H

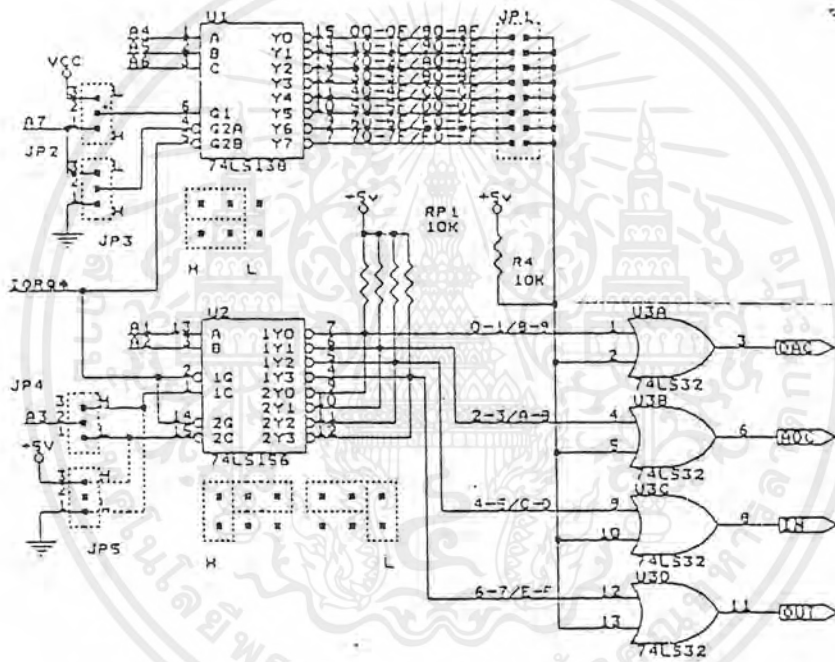
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากนี้ยังมี JUMPER JP3 และ JP4 ทำหน้าที่เลือก BANK ของตำแหน่งพอร์ตพอร์ตชั้นใน โดยมีตำแหน่งดังนี้คือ

วงจรที่ทำงานในตำแหน่งพอร์ตนี้	เบอร์พอร์ตใน BANK ต่ำ	เบอร์พอร์ตใน BANK สูง
วงจรภาคเอาต์พุตแบบอนาล็อก(DAC)	XX0 H - XX1 H	XX8 H -XX9 H
วงจรอินพุตแบบอนาล็อก(ADC)	XX2 - XX3 H	XXA H - XXB H

วงจรภาคเอาต์พุตแบบอนาล็อก(DAC) มีตำแหน่งพอร์ตควบคุมเป็น 88H - 89 H

วงจรภาคอินพุตแบบอนาล็อก (ADC) มีตำแหน่งพอร์ตควบคุมเป็น 8AH - 8B H

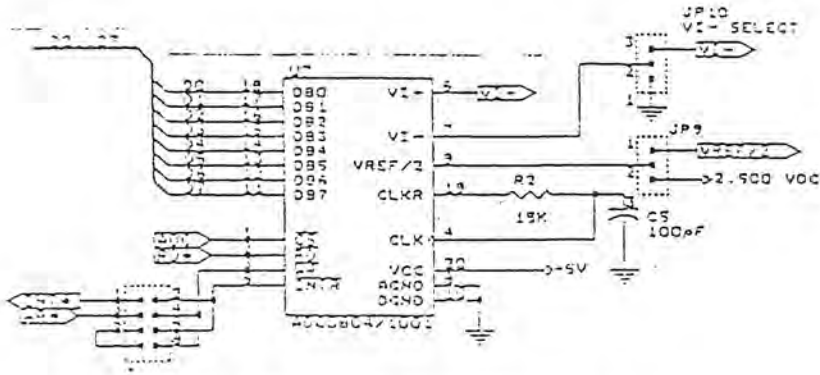


รูปที่ 3.2 วงจรถอดรหัสตำแหน่ง Port

3.4 การทำงานของวงจร ANALOG TO DIGITAL CONVERTOR

ภาคอินพุตแบบอนาล็อกนี้ใช้ไอซี ADC (ANALOG TO DIGITAL CONVERTOR) ทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณ อนาล็อกให้เป็นสัญญาณดิจิทัลซึ่งใช้ไอซี ADC 0804 (ADC ขนาด 8 บิต) ซึ่ง ไอซี ADC0804 สามารถรับสัญญาณอินพุตแบบอนาล็อกได้สูงกว่า +5 V หรือถ้าต้องการให้รับสัญญาณอินพุตได้สูงกว่า +5V แล้วก็สามารถทำได้โดยการเพิ่มวงจรขยายเข้าไปทางภาคหน้าของวงจรนี้ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 วงจร Analog to Digital Converter

การทำงานของวงจร DIGITAL TO ANALOG CONVERTER

ภาคเอาต์พุตแบบอนาล็อกนี้ใช้ไอซี DAC (DIGITAL TO ANALOG CONVERTOR)เป็นส่วนประกอบที่สำคัญของวงจร โดยใช้ไอซี DAC จะทำหน้าที่ตรงข้ามกับไอซี ADC กล่าวคือ มันจะทำหน้าที่เปลี่ยนข้อมูลแบบดิจิทัล ให้เป็นสัญญาณเอาต์พุตแบบอนาล็อก ซึ่งในวงจร DAC ผู้ใช้สามารถเลือกใช้ไอซี DAC ได้ 2 ขนาด คือ DAC 0832 ซึ่งเป็นไอซี DAC ขนาด 8 บิต หรือ DAC 1232 ซึ่งเป็นไอซี DAC ขนาด 12 บิต ซึ่งไอซี DAC นี้จะให้สัญญาณเอาต์พุตออกมาเป็นแบบอนาล็อกแต่ขนาดของสัญญาณที่ได้ยังมีขนาดต่ำไปไม่สามารถนำไปใช้ควบคุมการทำงานของวงจรอื่นได้โดยตรงต้องสังเคราะห์ขยายสัญญาณเอาต์พุตให้สูงขึ้นก่อนนำไปใช้งาน

1. แหล่งจ่ายไฟเลี้ยง DAC

แหล่งจ่ายไฟจะเป็นตัวกำหนดขนาดสูงสุดของสัญญาณอนาล็อกเอาต์พุตที่สามารถทำได้โดยผู้ใช้สามารถเลือกได้ 2 ทางคือ

1.1 แหล่งจ่ายไฟเลี้ยงจากตัวบอร์ดเอง เป็นแรงดันไฟตรงแบบ บวก ลบ และ กราวด์ เพื่อป้อนวงจร ADC ซึ่งมี ค่าประมาณ 10 VDC ซึ่งแรงดันในส่วนนี้สร้างขึ้นจากไอซี MAX232 ในวงจร DAC โดยตรงอยู่แล้วแต่การเลือกใช้แหล่งจ่ายไฟในตัวบอร์ดนี้มีข้อจำกัดอย่างหนึ่งคือ จะได้ขนาดของสัญญาณเอาต์พุตสูงสุดมีค่าไม่เกิน +10 V

1.2 แหล่งจ่ายไฟเลี้ยงจากภายนอกต้องเป็นแรงดันไฟตรงที่ผ่านการ RECTIFIER และ FILTER แล้วเท่านั้นค่าแรงดันจากภายนอกจะต่อผ่านเข้ามาทางขั้วต่อ CONNECTOR CN3 โดยผู้ใช้สามารถกำหนดให้มีค่าสูงสุดได้ +15VDC ใช้ในวงจรเราใช้ +10 VDC

2. แรงดันอ้างอิงของวงจร (Voltage Reference หรือ Vref/2)

แรงดันอ้างอิงของวงจรนี้เป็นจุดอ้างอิงมาตรฐานของวงจร เป็นตัวกำหนดความเที่ยงตรงในการเปลี่ยนของสัญญาณดิจิทัลให้เป็นสัญญาณอนาล็อก ซึ่งวงจรต้องการแรงดันอ้างอิงที่มีความเที่ยงตรงสูง เพราะหากแรงดัน อ้างอิงของวงจรไม่มีความเที่ยงตรงแน่นอนมีการเปลี่ยนแปลงแล้วการทำงานของวงจรก็จะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

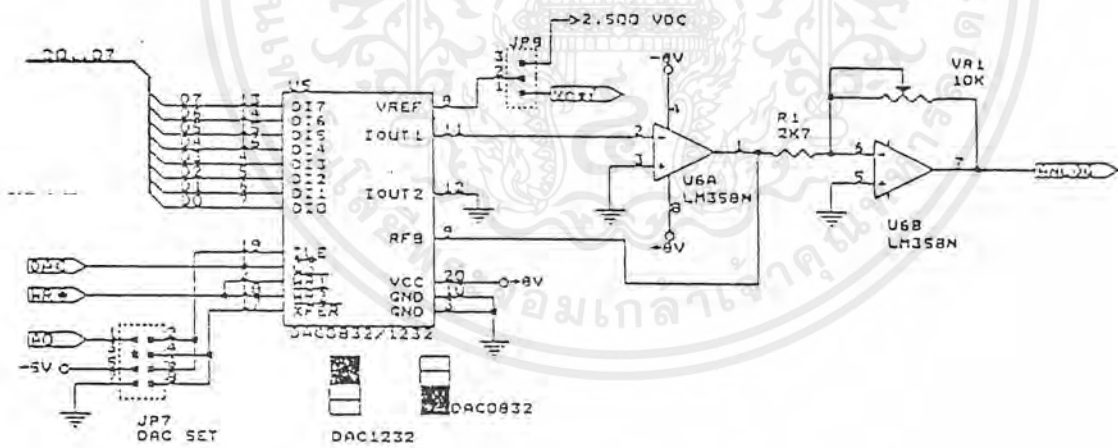
เปลี่ยนแปลงตามตัวนี้ก็คือ จะส่งผลให้ค่าของสัญญาณเอาต์พุตที่ได้เปลี่ยนแปลงขึ้นลงตามไปด้วยถึงแม้ว่าข้อมูล อินพุตที่ป้อนให้อีซี DAC จะมีขนาดคงที่ก็ตาม และแรงดันอ้างอิงของวงจรนี้ยังเป็นตัวกำหนดสัดส่วนของข้อมูลอินพุตและสัญญาณเอาต์พุตอีกด้วย แรงดันอ้างอิงจากภายนอกซึ่งต่อผ่านเข้ามาทางขั้วต่อ CONNECTOR CN5 โดยแรงดันอ้างอิงนี้ต้องเป็นโพตรงมีค่าสูงสุดได้ไม่เกิน -10 V และต้องควบคุมให้มีค่าน้อยกว่าแรงดันของแหล่งจ่ายไฟที่ป้อนให้กับวงจร DAC เสมอ

3.ค่าเกณฑ์การขยายของวงจร OP-AMP

เนื่องจากสัญญาณเอาต์พุตที่ได้จากไอซี DAC นั้นมีขนาดต่ำไม่สามารถนำไปใช้งานได้โดยตรง จึงต้องใช้วงจรขยายขนาดของสัญญาณให้สูงขึ้นดังนั้นเกณฑ์การขยายของวงจรจึงเป็น ตัวกำหนดอัตราส่วน ของขนาดสูงสุดที่ต้องการด้วย

4.ค่าของข้อมูลอินพุต (DATA)

ค่าของข้อมูลอินพุตนี้เป็นตัวกำหนดขนาดของสัญญาณเอาต์พุตโดยตรงซึ่งค่าของตัวแปรอื่น ๆ นั้นเรากำหนดเพียงครั้งเดียวแล้วกำหนดคงที่ไว้ที่ตำแหน่งนั้นเลย แต่ค่าของข้อมูลอินพุตนี้สามารถเปลี่ยนแปลงขึ้นลงได้ตลอดเวลา เพื่อควบคุมขนาดของสัญญาณเอาต์พุตในช่วงเวลาต่างๆ ตามความต้องการซึ่งถ้าค่าของข้อมูลมีค่ามาก ก็จะได้ขนาดของสัญญาณเอาต์พุตมาก แต่ถ้าค่าของข้อมูลมีค่าน้อยก็จะทำให้ได้ขนาดของสัญญาณเอาต์พุตน้อยตามไปด้วยเช่นกัน

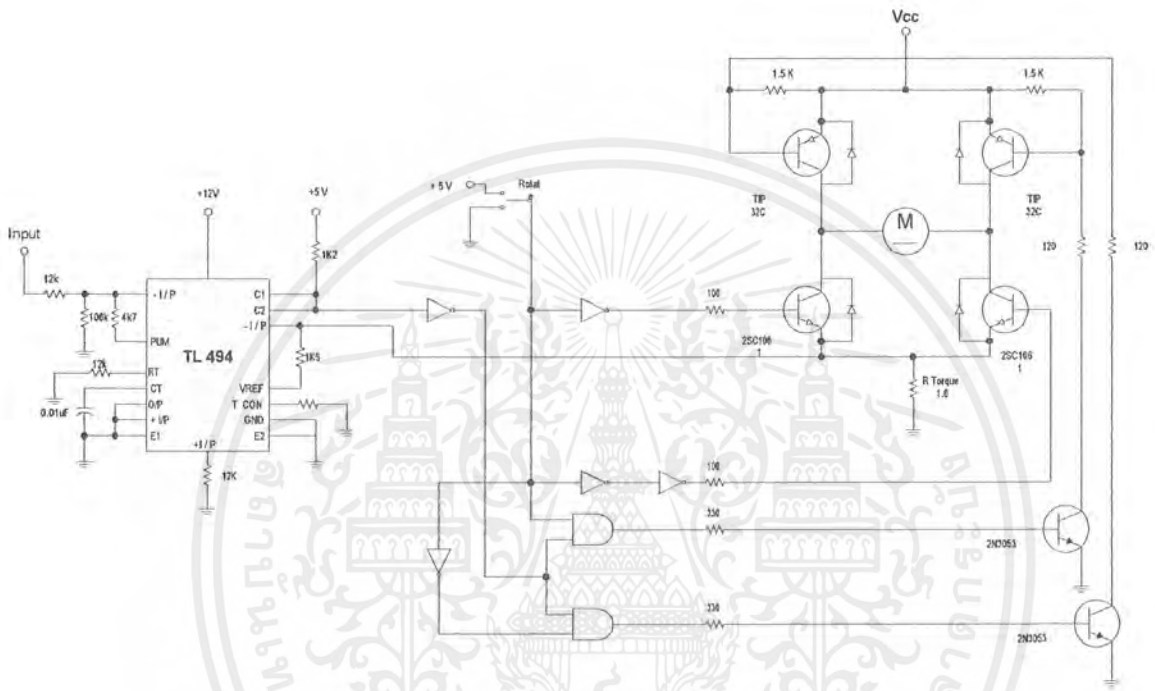


รูปที่ 3.4 วงจร Digital to Analog converter

3.5 ชุดควบคุมความเร็วของมอเตอร์

ในโครงงานนี้ได้จัดทำ ภาค Driver ขึ้นมาโดยใช้หลักการของ Pulse Width Modulation ซึ่งมี ICTL 494 ผลิตพัลส์ ที่มีค่า RT และ CT กำหนดค่าความถี่ที่เหมาะสม โดยไม่ทำให้ Motor เกิดการฮอสซิลเลท ชุด PWM นี้ควบคุมความเร็วมอเตอร์โดยการเปลี่ยนความกว้างของพัลส์ ซึ่งรับ Input มาจากภาคเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Digital to Analog-ของคอมพิวเตอร์ เมื่อความกว้างพัลส์เปลี่ยนไปทำให้ค่า Duty Cycle มีค่าเปลี่ยนไปด้วย ถ้ามีค่าสูงขึ้นทำให้ Transistor On นาน ยิ่งถ้า Duty cycle มีค่า 100% ทำให้ TR นำกระแสได้ 100 % เช่นกัน แรงดันที่ตกคร่อม Motor เท่ากับ $V_a - V_{ce}$ หรือ ประมาณค่าเท่ากับ V_a ดังนั้นความเร็วของมอเตอร์จึงเปลี่ยนตามค่า Duty Cycle จากการสวิตช์นำกระแสของ Transistor TIP32 สำหรับการหมุนซ้ายหรือขวาของมอเตอร์ขึ้นอยู่กับ Logic 0 หรือ 1

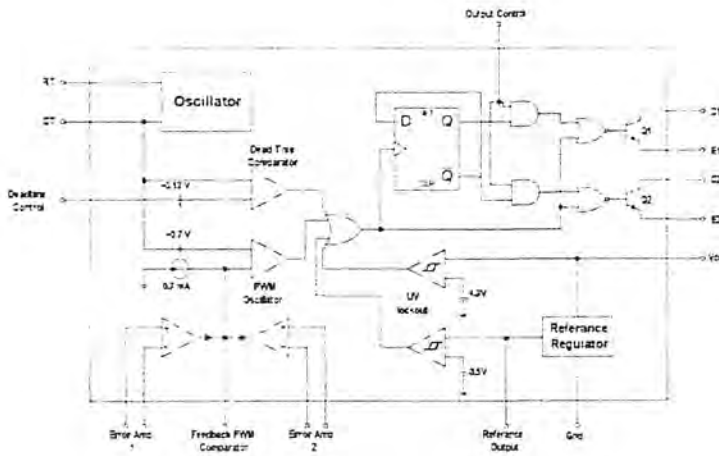


รูปที่ 3.5 วงจรควบคุมความเร็วมอเตอร์โดยใช้ Pulse Width Modulation

ไอซีเบอร์ TL 494 สำหรับโหมดควบคุมจากแรงดัน

ไอซีเบอร์ TL 494 เป็นไอซีที่ออกแบบมาเพื่อใช้ควบคุมการทำงานของคอมพิวเตอร์ โดยทำงานด้วยโหมดควบคุมจากแรงดัน ซึ่งจะได้นำมาเป็นตัวอย่างการทำงานสำหรับวงจรควบคุมด้วยวิธีควบคุมจากแรงดัน โครงสร้างภายในและการจัดขาของ TL 494 แสดงในรูปที่ 3.6 การทำงานของไอซีจะเป็นดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

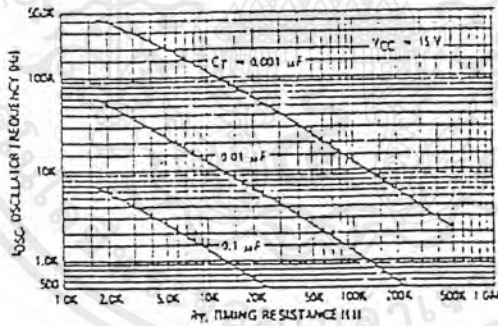


รูปที่ 3.7 แสดงการทำงานโครงสร้างภายในและการจัดขาของไอซี TL 494 (ที่มา : Motorola)

การกำหนดคาบเวลาการทำงาน

วงจรของ TL 494 เป็นวงจร PWM ที่มีความถี่คงที่ คาบเวลาการทำงานของเอาต์พุตพัลส์ กำหนดโดยค่าของ R_t และ C_t จากภายนอกที่ขา 6 ของไอซีค่าคาบเวลาการทำงานจะกำหนดได้จาก

$$T = R_t C_t / 1.1$$



รูปที่ 3.8 แสดงความสัมพันธ์ของค่า $R_t C_t$ ในการกำหนดความถี่

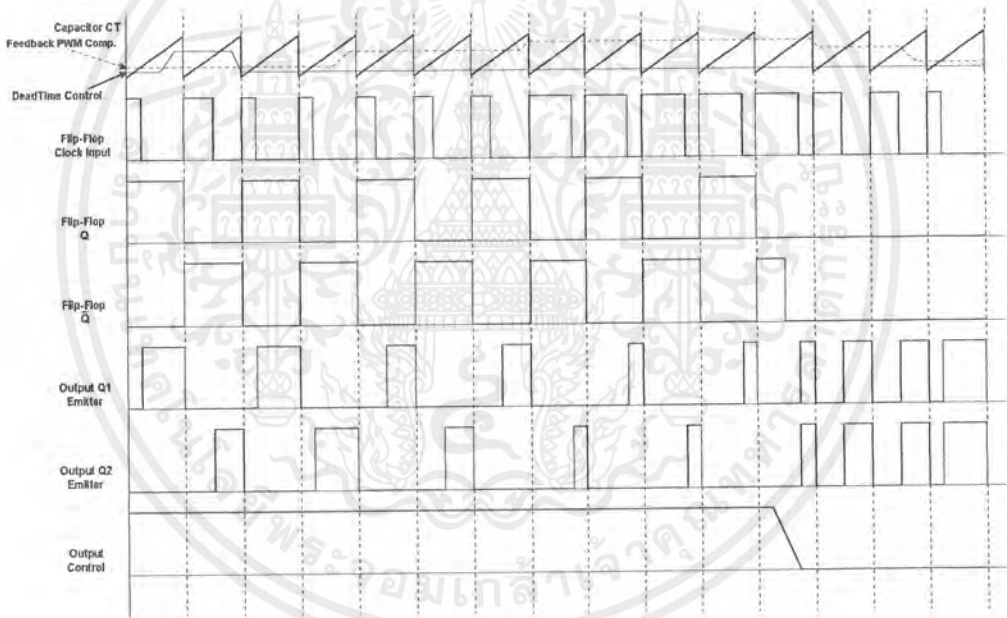
การทำงานของไอซีในการคงค่าแรงดันของคอนเวอร์เตอร์

ความกว้างเอาต์พุต ของไอซี จะได้จากการเปรียบเทียบสัญญาณฟันเลื่อยที่ขา S กับแรงดันที่ได้จากวงจรขยายความแตกต่าง (Error Amp) ทั้ง 2 ตัวที่ PWM Comparator ส่วน NOR เกทที่ควบคุมทรานซิสเตอร์เอาต์พุต Q1 และ Q2 จะทำงานก็ต่อเมื่อขา Ck ของ Flip - Flop อยู่ในสถานะ "Low" เท่านั้น ซึ่ง Ck จะเป็น " Low " ได้ก็ต่อเมื่อแรงดันของสัญญาณฟันเลื่อยมีค่ามากกว่าแรงดันที่มาจาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ErrorAmp ทั้ง 2 ตัวนั้นคือแรงดันบ่อนกลับจากเอาต์พุทของคอนเวอร์เตอร์ หากมีค่าสูงขึ้นความกว้างเอาต์พุทพัลส์ของไอซีจะลดลง ในทางกลับกัน แรงดันบ่อนกลับหากมีค่าลดลงความกว้างเอาต์พุทพัลส์ของไอซีจะเพิ่มขึ้น

ความกว้างของเอาต์พุทพัลส์ของไอซีนี้สามารถกำหนดให้มีค่ามากที่สุดหรือมีค่าเท่ากับศูนย์ได้ด้วยการเปลี่ยนแปลงแรงดันที่ขา 3 จาก 0.5 โวลต์ จนถึง 3.5 โวลต์ ส่วน ErrorAmp ทั้งสองตัวจะมีช่วงของอินพุทคอนมอนโหมด ตั้งแต่ -0.3 ถึง ($V_{cc} - 2$) โวลต์ และสามารถใช้ตรวจจับแรงดันหรือกระแสเอาต์พุทของคอนเวอร์เตอร์ได้ ErrorAmp ทั้ง 2 ตัวจะให้เอาต์พุทในลักษณะให้สถานะ " High " (Active High) โดยต่อกันอยู่ในลักษณะ OR ที่ขา non - inverting ของ PWM Comparator การต่อกันในลักษณะนี้ Error Amp ตัวที่ทำให้เกิดความกว้างเอาต์พุทต่ำสุด จะเป็นตัวควบคุมความกว้างของเอาต์พุทพัลส์ของไอซี



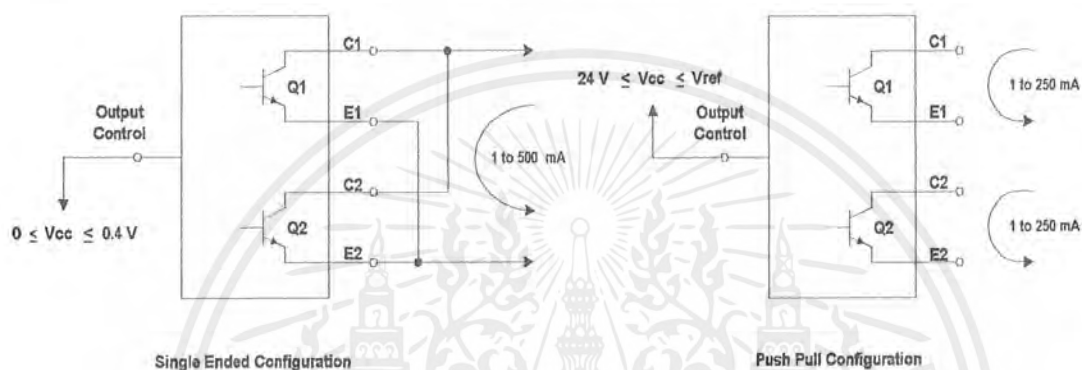
รูปที่ 3.9 แสดงรูปคลื่นลักษณะการทำงานของ TL 494

การกำหนดค่าเวลาเมื่อ Td

TL 494 สามารถให้ผู้ใช้กำหนดค่าเวลาเมื่อ t_d ของวงจรถัดเองด้วยการต่อแรงดันระหว่าง 0 ถึง 3.3 โวลต์ที่ขา 4 ของไอซี อย่างไรก็ตามหากแรงดันที่ขา 4 มีค่าเท่ากับ 0 โวลต์ ค่าเวลาเมื่อต่ำสุดของไอซีจะไม่ต่ำกว่า 4 % ของค่าคาบเวลาการทำงานเนื่องจากมีแรงดันออฟเซต 120 มิลลิโวลต์ต่ออยู่ภายใน ดังนั้นช่วงเวลา t_{on} สูงสุดของคอนเวอร์เตอร์ที่ได้จากไอซีจะเท่ากับ 48 % ของค่าคาบเวลาเมื่อต่อขา 13 (output control) เข้ากับขา (+ 5 Vref) และมีค่าเท่ากับ 96 % ของค่าคาบเวลาเมื่อต่อขา 13 ลงกราวด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเลือกใช้ Q1 และ Q2 ของไอซีสามารถทำงานได้ 2 โหมด คือ ทำงานพร้อมกันหรือสลับกันทำงาน ซึ่งสามารถเลือกการทำงานได้ที่ขา 13 (Output Control) โดยขณะที่ Ct ดิสชาร์จเอาต์พุทของ Dead Time Comparator จะให้พัลส์ออกมา Ck จะมีสถานะเป็น " High " โดยการต่อเข้ากับขา 4 (+ 5 Vref) Q1 และ Q2 ถ้ากำหนดให้ขา 13 มีสถานะเป็น " Low " โดยการต่อลงกราวด์ (ยกเลิก Flip Flop) Q1 และ Q2 จะทำงานพร้อมกันและสามารถขนาน Q1 และ Q2 เข้าด้วยกันได้ ถ้าต้องการให้นำกระแสได้มากขึ้น ในกรณีนี้คาบเวลาการทำงานจะมีค่าเท่ากับค่าคาบเวลาของสัญญาณพื้นเลี้ยงของไอซี (ช่วงเวลานำกระแสสูงสุดเท่ากับ 96 % ของค่าคาบเวลา)



รูปที่ 3.10 แสดงลักษณะการเลือกใช้เอาต์พุทของ TL 494

TL 494 ต้องการไฟเลี้ยงในช่วง $7 \leq V_{cc} \leq 40$ โวลต์ มีแรงดันอ้างอิงภายใน $V_{ref} = 5$ โวลต์ และสามารถจ่ายกระแสได้ถึง 10 มิลลิแอมป์ เพื่อใช้กับวงจรภายนอกได้โดยมีค่าความถูกต้อง = 15 % ความคลาดเคลื่อนทางอุณหภูมิมีค่าน้อยกว่า 50 มิลลิโวลต์เมื่อทำงานในช่วง 0 ถึง 70°C

3.6 การทำงานของ Tacho Generator

Tacho Generator ใช้เป็นตัววัดความเร็วของเพลามอเตอร์แล้วส่งออกมาให้เห็น โดยการต่อเอาต์พุทโวลต์เตจของ Tacho Generator เข้ากับโวลต์มิเตอร์แล้วอ่านความเร็วของการหมุนของมอเตอร์ ในรูปของโวลต์เตจ D.C. Tacho Generator เหมือนกับ D.C. Motor แต่การทำงานตรงกันข้าม ซึ่งมีทั้งชนิดมีแปรงถ่านและไม่มีแปรงถ่าน สำหรับชนิดมีแปรงถ่านยังแบ่งออกได้เป็นชนิดมีแกนเหล็กและไม่มีแกนเหล็ก (iron core) และชนิดขดลวดหมุน (moving coil) คุณลักษณะพื้นของ Tacho Generator คือจะให้เอาต์พุทโวลต์เตจเป็นสัดส่วนกับความเร็วของโรเตอร์ ดังนั้นคุณลักษณะทางไดนามิกส์ของ Tacho Generator สามารถหาได้จาก สมการ

$$e_g(t) = K_g d\Phi$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$Eg(t)$ = เอาร์ทพัลส์โวลต์เตจ (โวลต์)

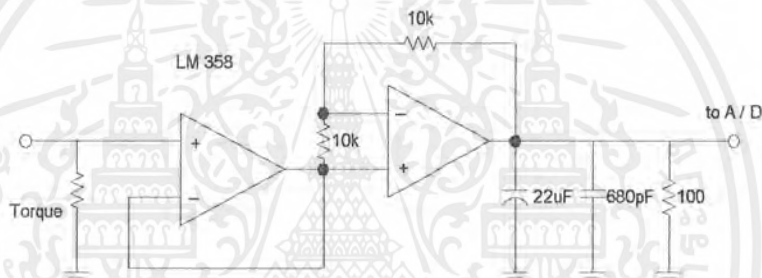
Kg = ค่าคงที่ของTacho Generator (Volts/rpm x Minute)

ϕ = ความเร็วโรเตอร์ (rad/sec)

d = ระยะการเคลื่อนที่ของโรเตอร์ (rad)

3.7 หลักการในการวัด Torque

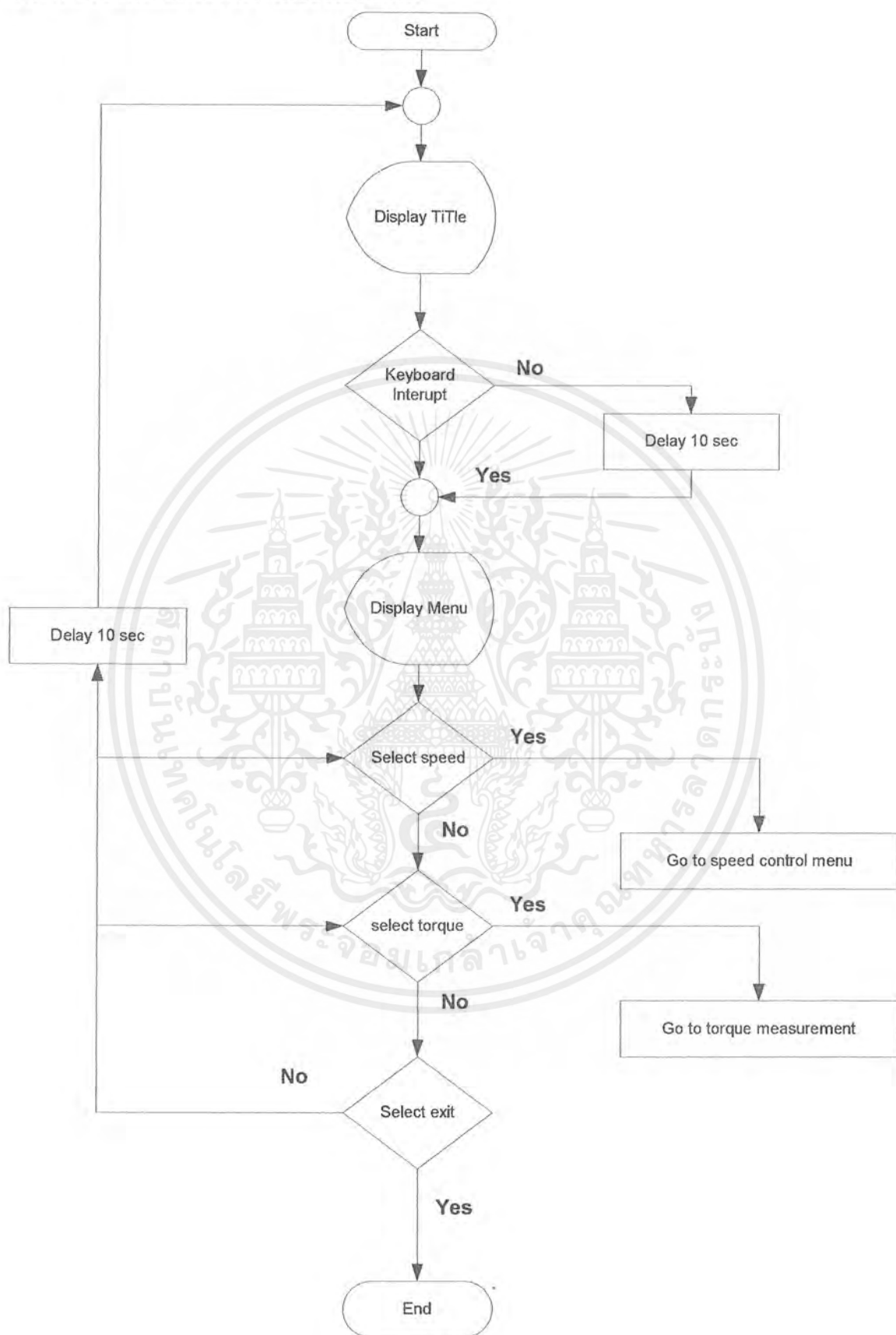
เนื่องจากสัญญาณที่ตกคร่อม R 1 Ohm นั้นจากการวัดสัญญาณด้วยสโคปแล้วจะไม่ใช่รูปคลื่นที่เรียบจึงต้องทำการ Filter ก่อนที่จะส่งสัญญาณที่ได้เข้าวงจร ADC ให้ได้ค่าที่เสถียรภาพเพื่อที่จะทำให้ Computer แสดงกราฟ Torque ที่ถูกต้อง



รูปที่ 3.11 วงจรแสดงการ Filter สัญญาณที่วัดจากแรงบิด

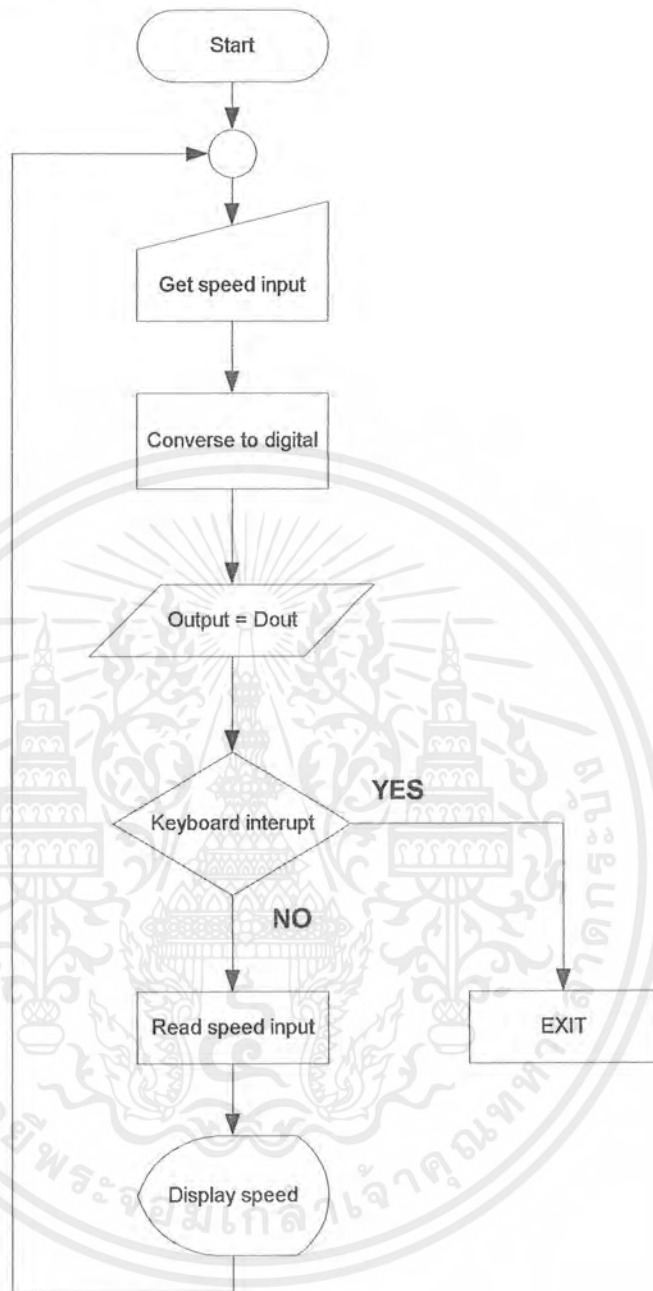
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.8 ไฟล์ชาร์ตแสดงการทำงานของโปรแกรม



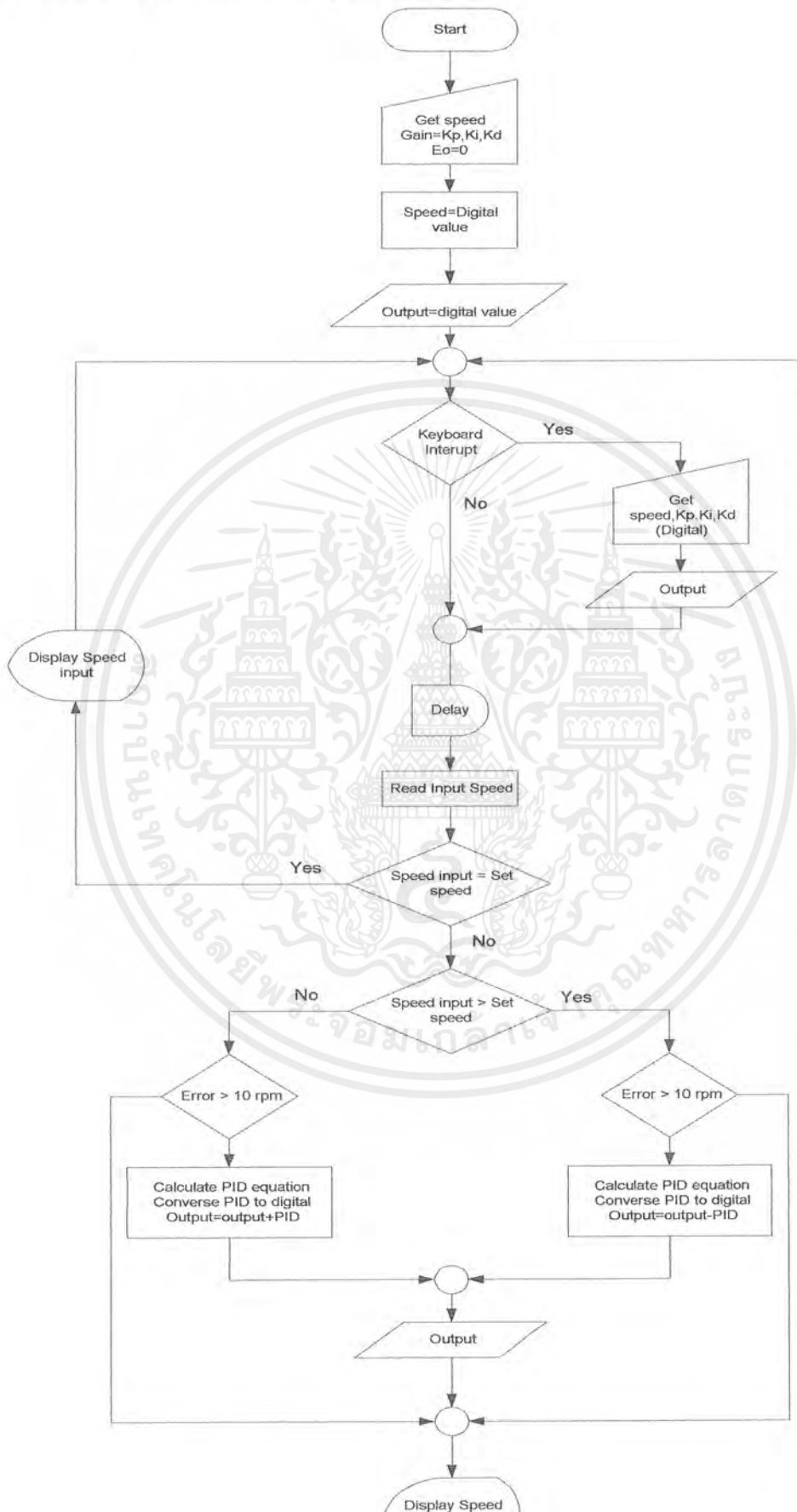
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.9 โฟล์วชาร์ทของโหมดการควบคุมด้วยมือ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.10 โพลีซาร์ทของโหมดการควบคุมแบบพีไอดี

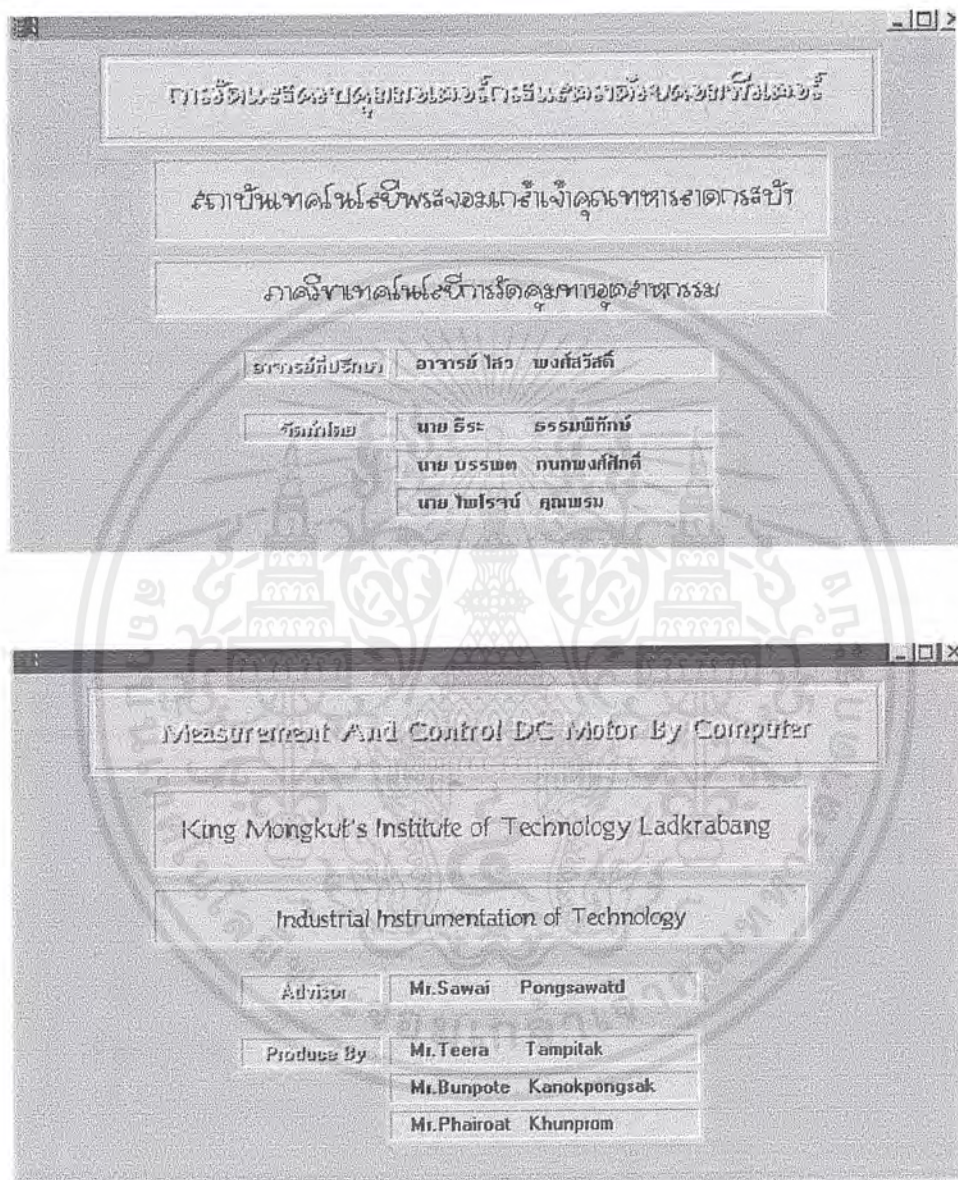


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

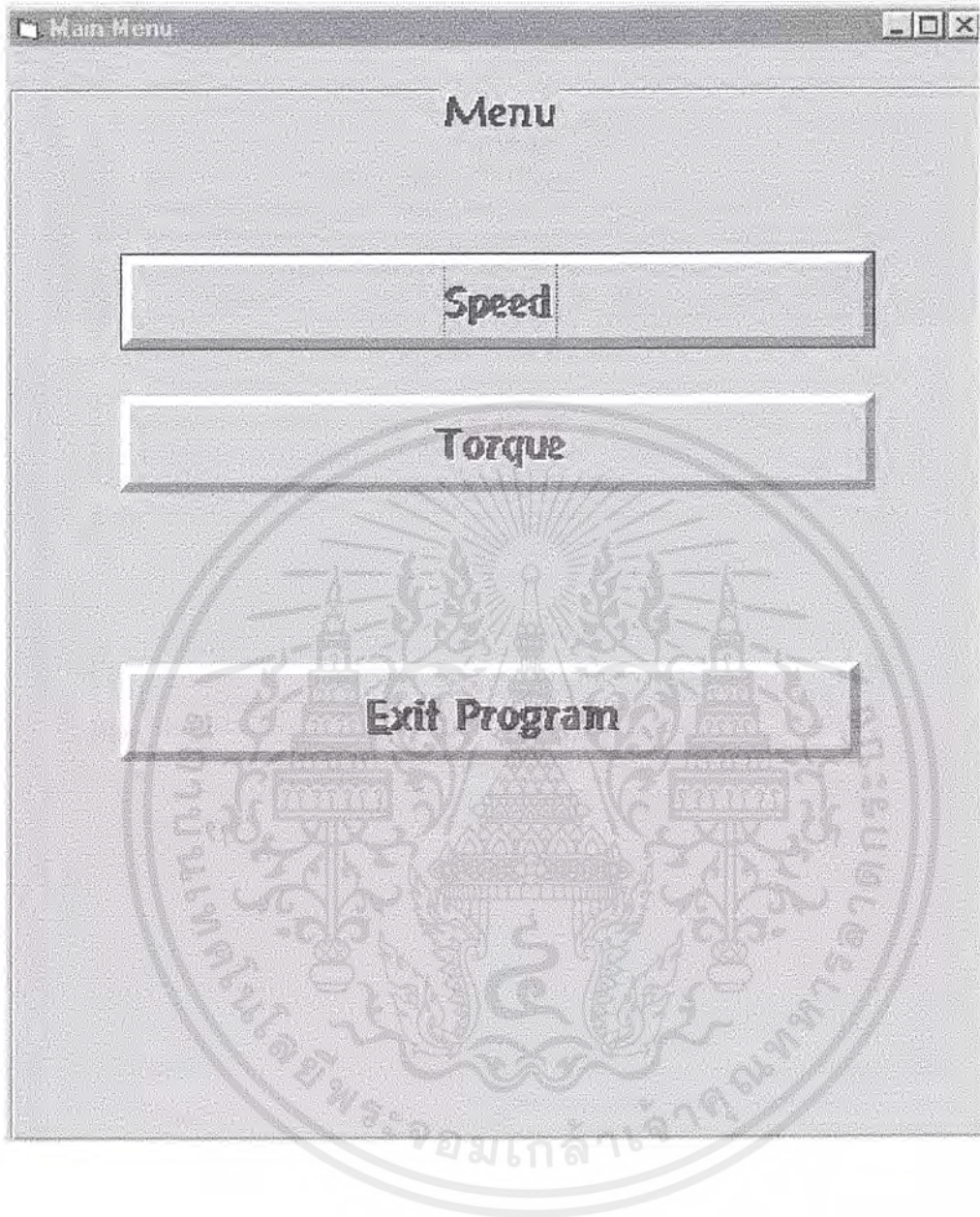
ผลการทดลอง

4.1 ลักษณะโดยทั่วไป



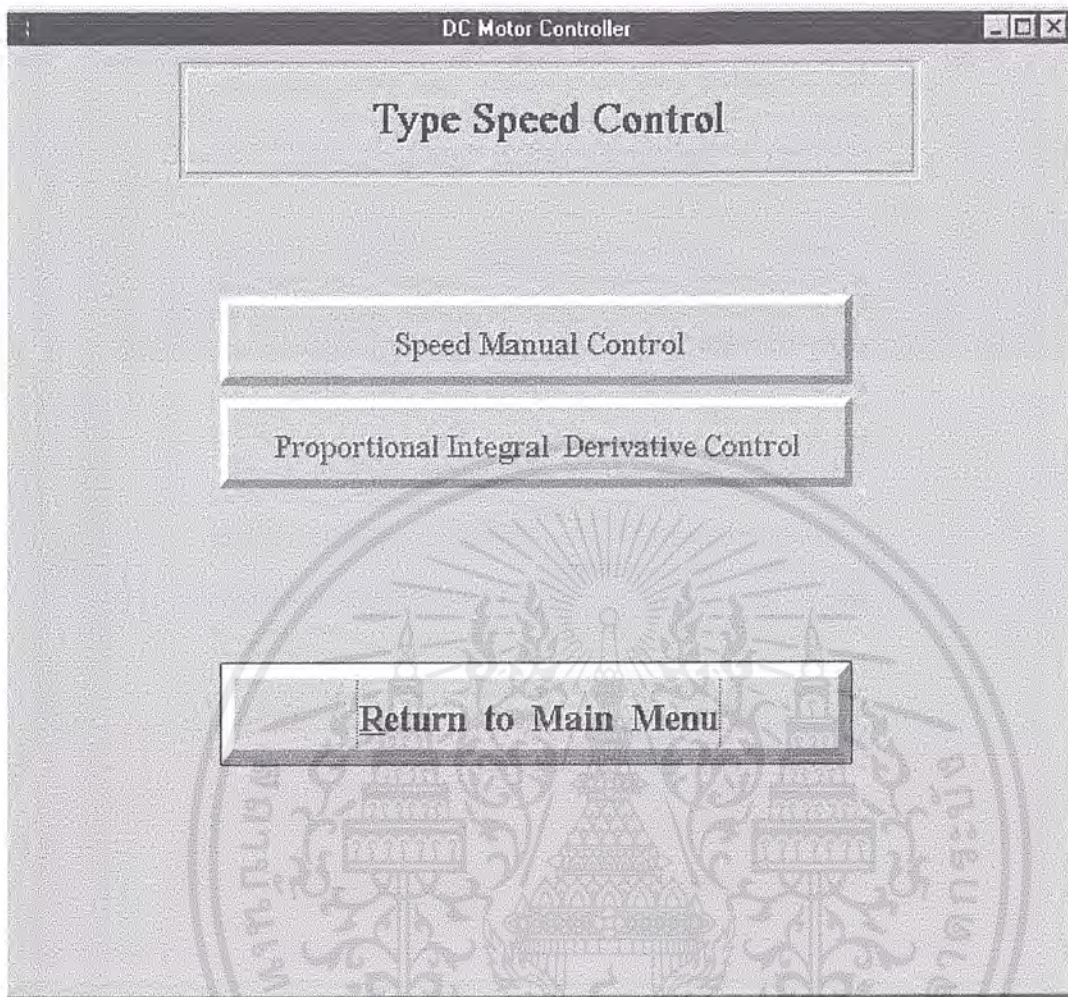
รูปที่ 4.1 หน้าจอเมื่อเริ่มเข้าสู่การทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 หน้าจอเมนูหลัก

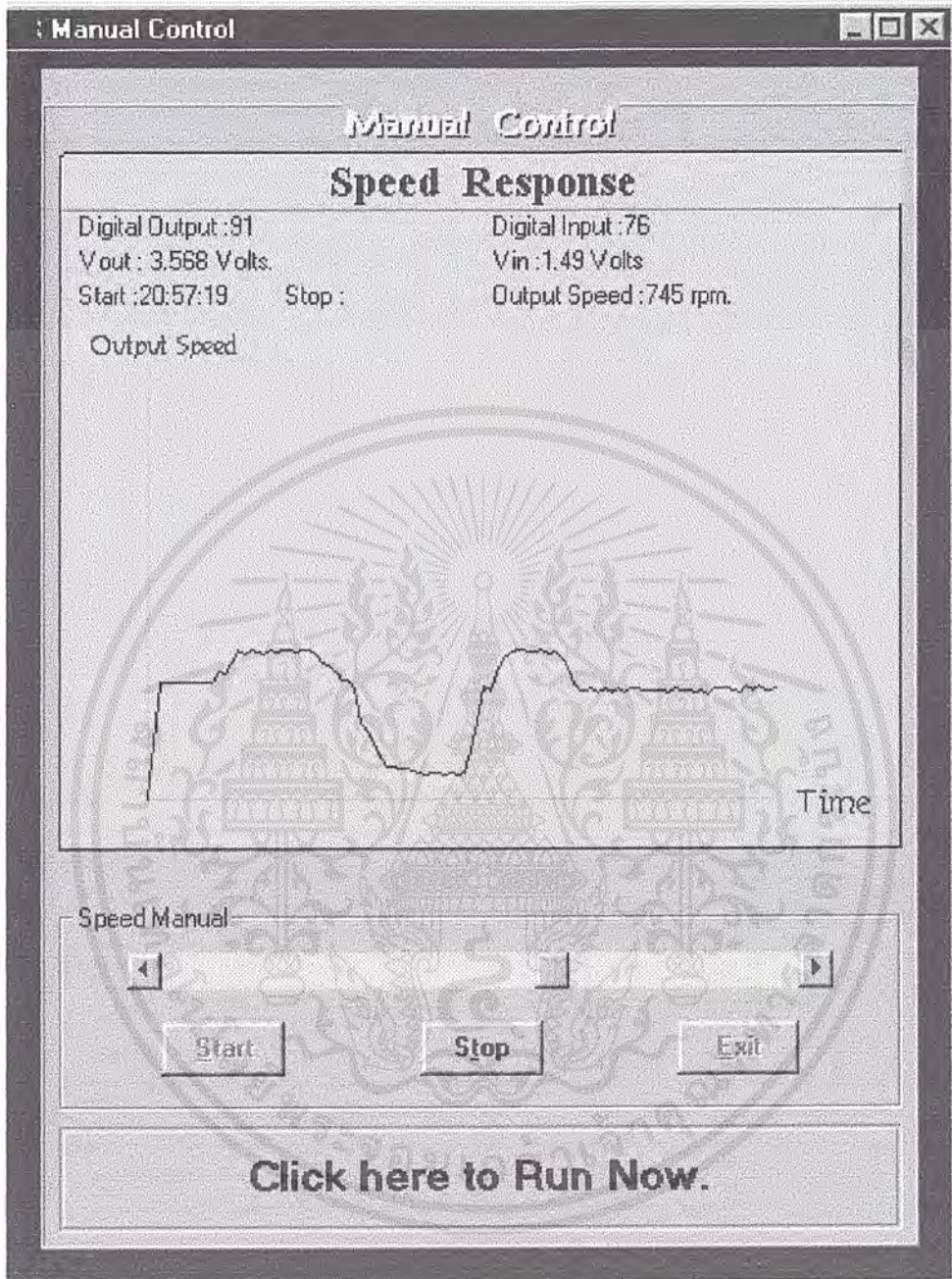
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 หน้าจอเมนูหลักของส่วนควบคุมความเร็ว

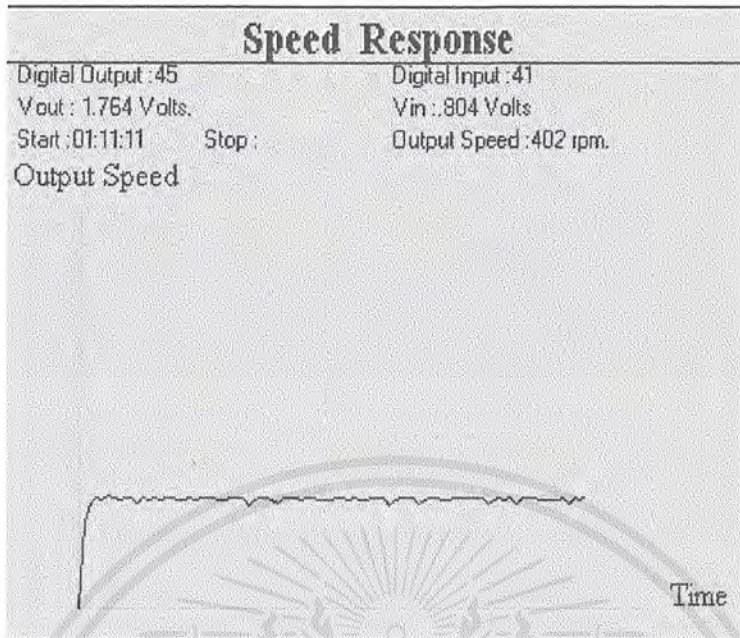
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ผลการทดลองในการปรับ ความเร็วรอบด้วย Manual Control

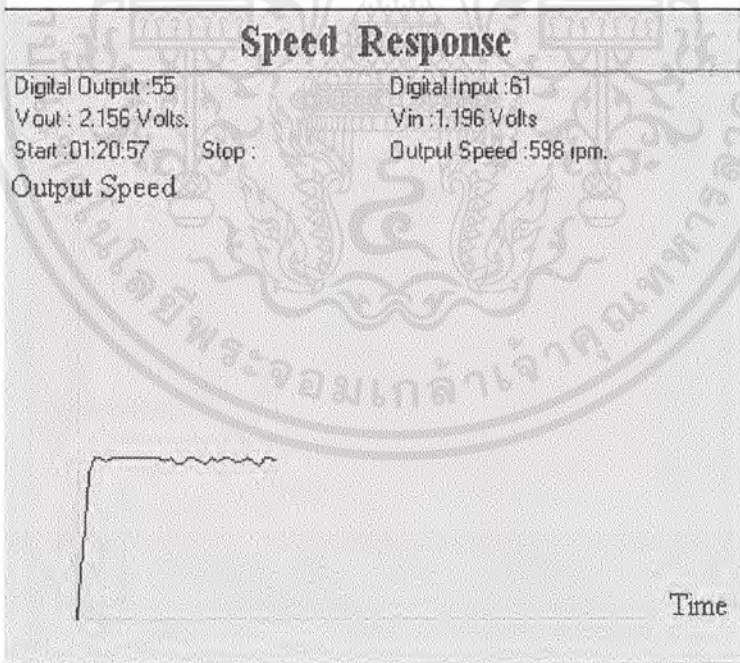


รูปที่ 4.4 แสดงการปรับความเร็วรอบให้เปลี่ยนแปลงโดยการปรับ Scroll Bar

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

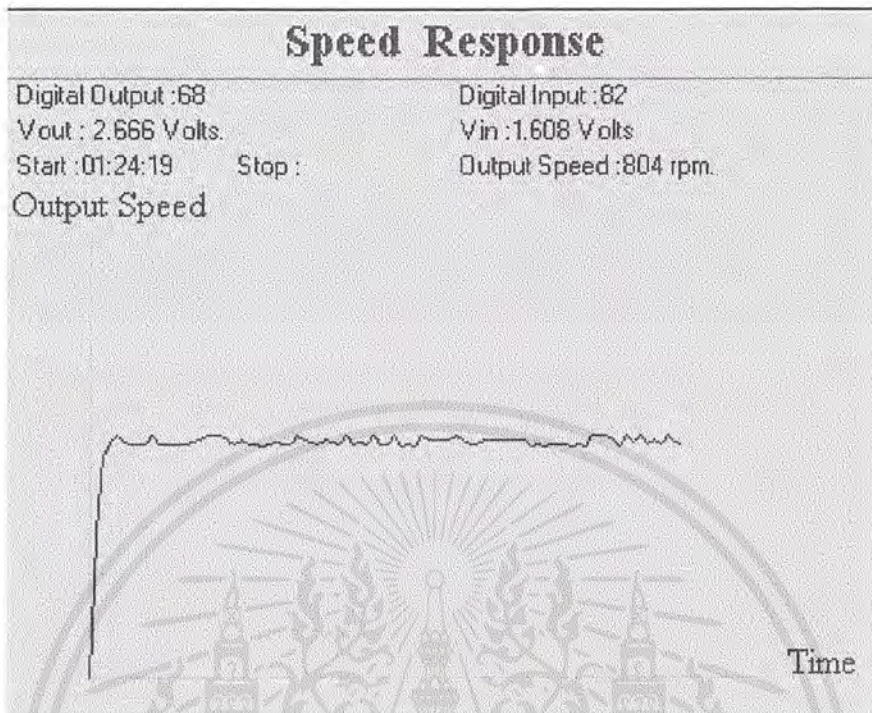


รูปที่ 4.5 การปรับ Speed motor ด้วย Manual ที่ความเร็วรอบ 400 rpm

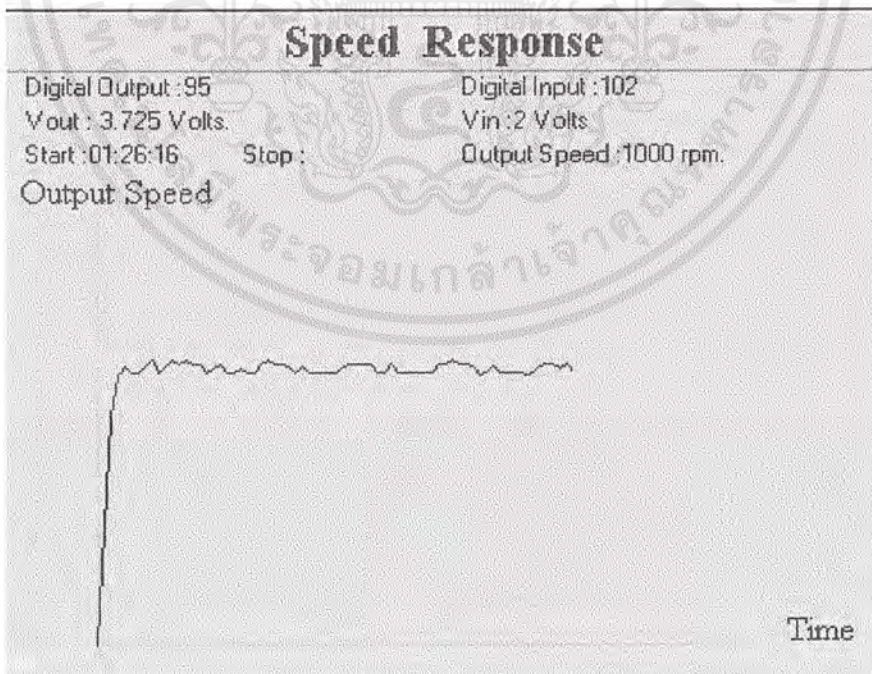


รูปที่ 4.6 การปรับ Speed motor ด้วย Manual ที่ความเร็วรอบ 600 rpm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



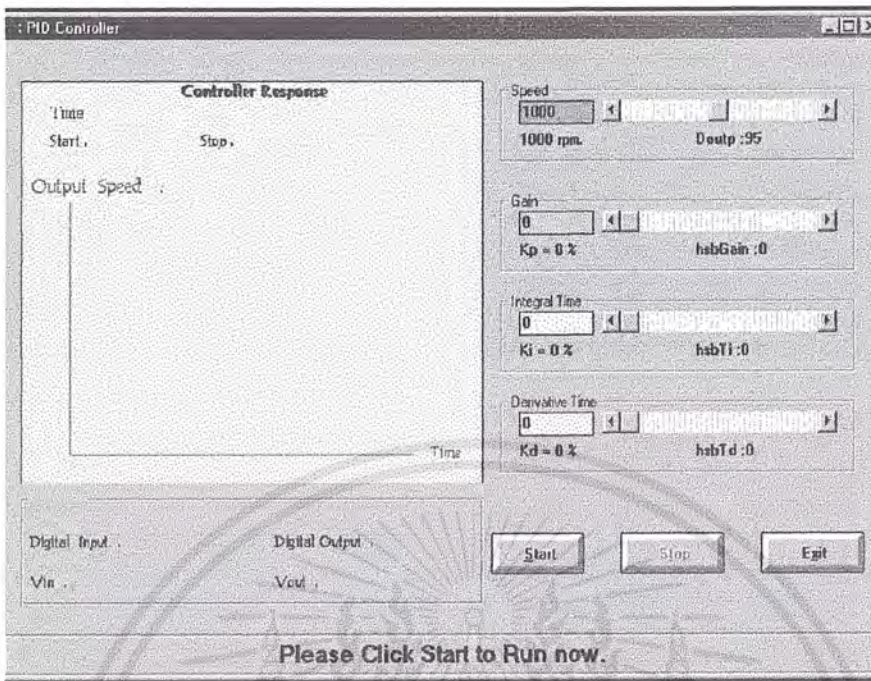
รูปที่ 4.7 การปรับ Speed motor ด้วย Manual ที่ความเร็วรอบ 800 rpm



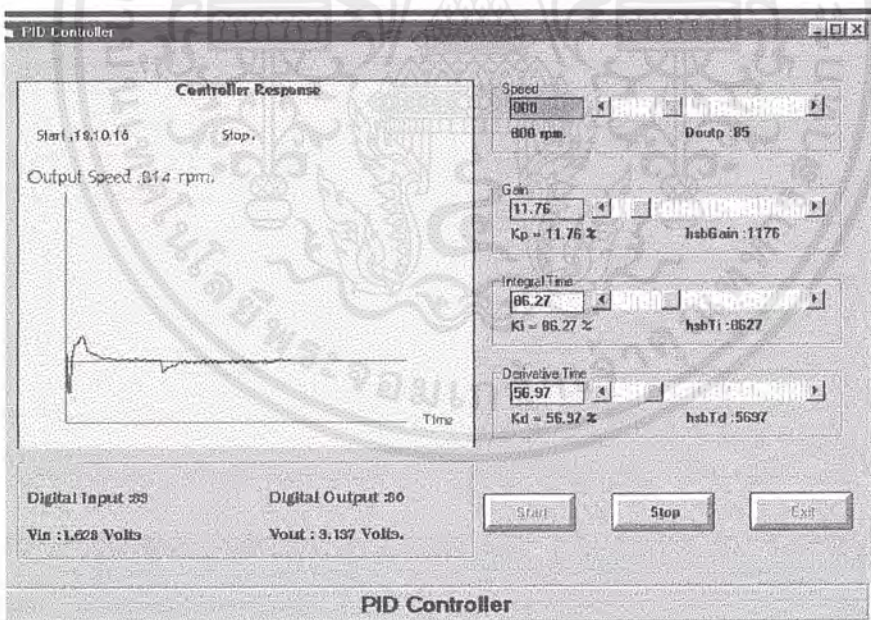
รูปที่ 4.8 การปรับ Speed motor ด้วย Manual ที่ความเร็วรอบ 1000 rpm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 ผลการทดลองของชุดคอนโทรลเลอร์

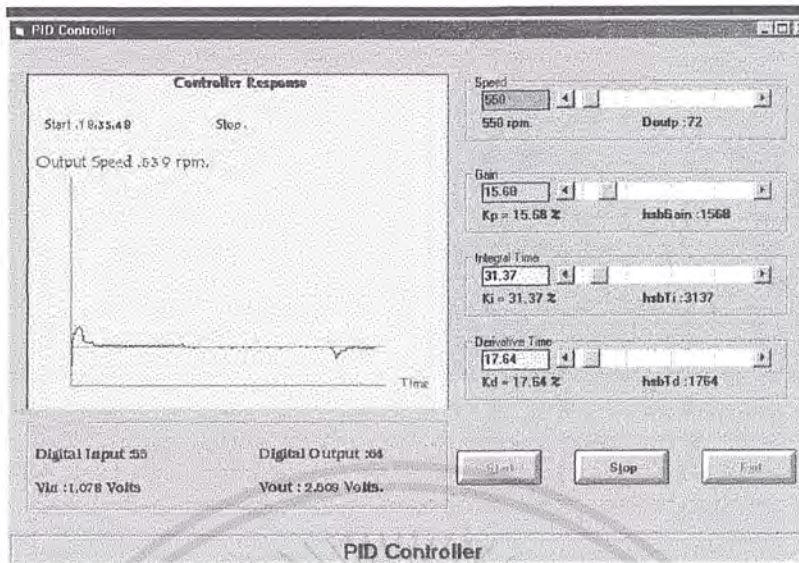


รูปที่ 4.9 แสดงหน้าจอของ PID Controller

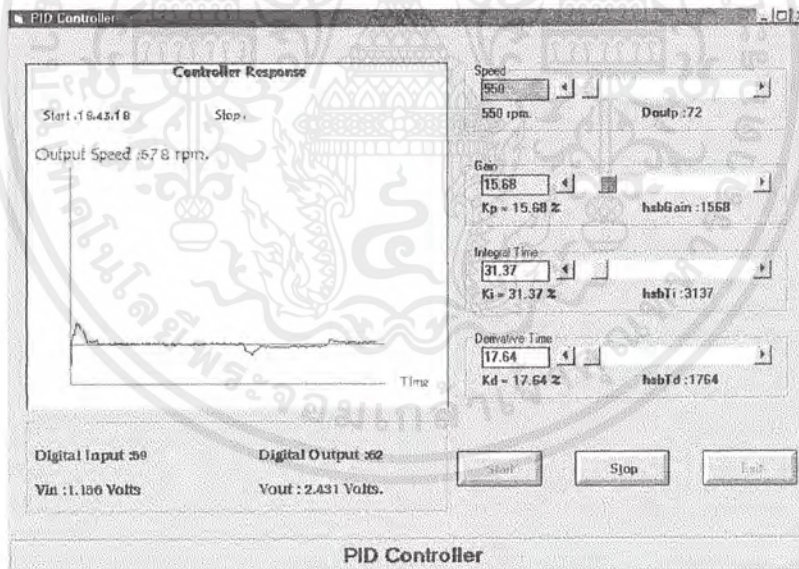


รูปที่ 4.10 การตอบสนองที่ความเร็ว 800 RPM $K_p=11.76\%$ $K_i=86.27\%$ $K_d=56.97\%$
เมื่อมีภาระ 40 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

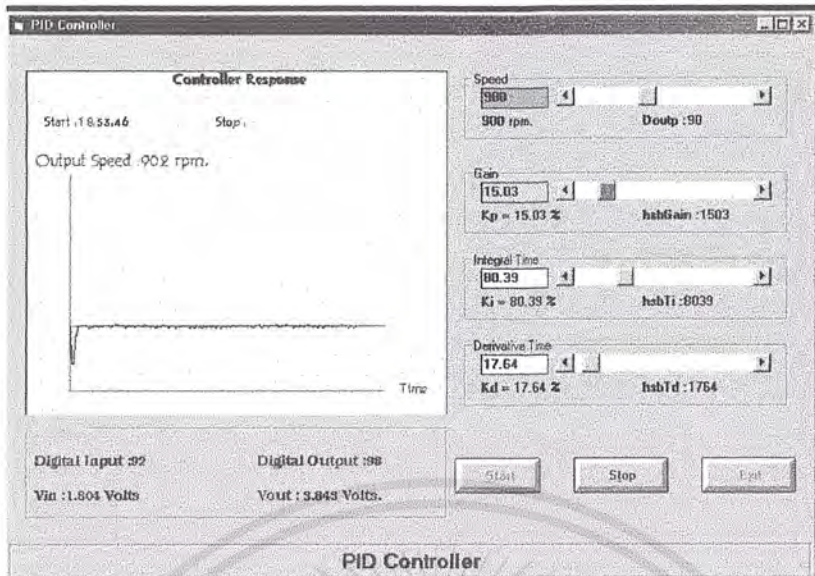


รูปที่ 4.11 การตอบสนองที่ความเร็ว 550 RPM $K_p=15.68\%$ $K_i=31.37\%$ $K_d=17.64\%$
เมื่อมีการะจาก 60 %

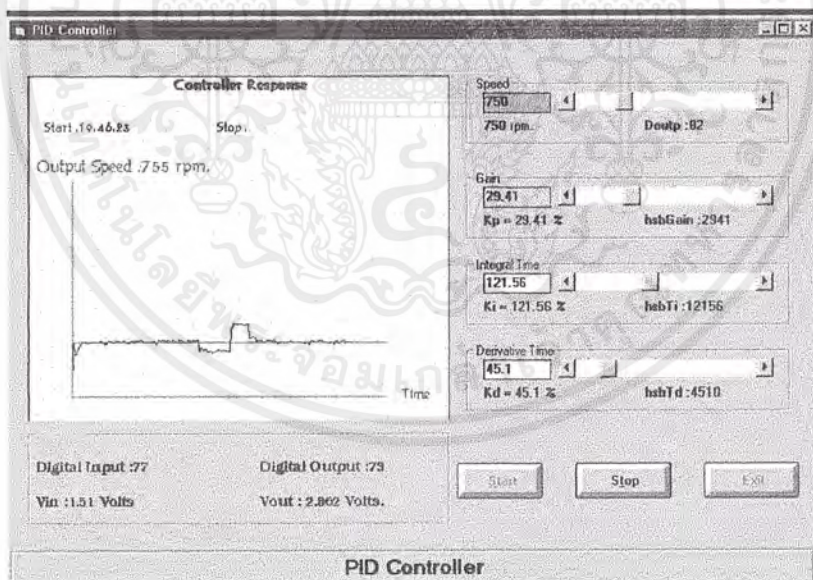


รูปที่ 4.12 การตอบสนองที่ความเร็ว 550 RPM $K_p=15.68\%$ $K_i=31.37\%$ $K_d=17.64\%$
เมื่อเปลี่ยนการะจาก 50 % เป็น 30%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



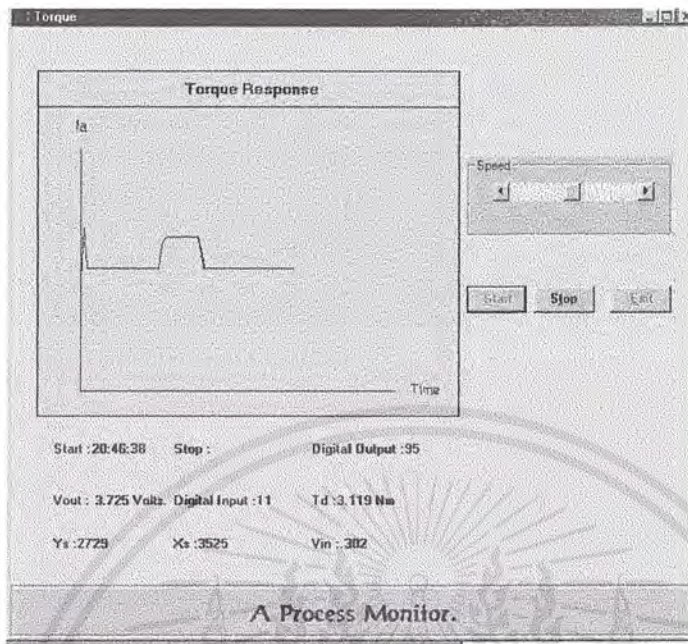
รูปที่ 4.13 การตอบสนองที่ความเร็ว 900 RPM $K_p=15.03\%$ $K_i=80.39\%$ $K_d=17.64\%$ เมื่อมีการะจาก 60 %



รูปที่ 4.14 การตอบสนองที่ความเร็ว 750 RPM $K_p=29.41\%$ $K_i=121.56\%$ $K_d=45.1\%$ เมื่อเปลี่ยนการะจาก 60 % เป็น 20 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 ผลการทดลองการวัดแรงบิดจากกระแสอาร์เมเจอร์



รูปที่ 4.15 แสดงผลของการวัดแรงบิดจากกระแสอาร์เมเจอร์ที่ความเร็วรอบ 1000 RPM เมื่อมีภาระ 50 %



รูปที่ 4.16 แสดงผลของการวัดแรงบิดจากกระแสอาร์เมเจอร์ที่ความเร็วรอบ 750 RPM เมื่อมีภาระ 50 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปผลการทดลอง

จากโครงการนี้สามารถนำคอมพิวเตอร์มาประยุกต์ใช้ในการตรวจวัดและควบคุมการขับเคลื่อนมอเตอร์กระแสตรง โดยสามารถส่งงานทางหน้าจอคอมพิวเตอร์ผ่านชุดเชื่อมต่อระหว่างคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์ภายนอก ซึ่งใช้ Tacho Generator ในการตรวจวัดความเร็วรอบ และใช้ตัวต้านทานในการตรวจจับสำหรับการวัดแรงบิด ซึ่งโครงการนี้ เป็นการเขียน Software เพื่อให้คอมพิวเตอร์แสดงผลการทำงานและควบคุมการทำงานชุดควบคุมการขับเคลื่อนมอเตอร์ โดยสามารถนำผลการวัดความเร็วรอบและแรงบิดที่ได้มาแสดงในรูปแบบกราฟฟิกและตัวเลข สำหรับการวัดความเร็วรอบมีการควบคุม 2 แบบ คือ

1. โหมดการควบคุมแบบ Manual
2. โหมดการควบคุมแบบ PID

โหมดการควบคุมแบบ Manual นั้นสามารถรับความเร็วรอบของมอเตอร์กระแสตรงได้โดยใช้ Scholl Bar ในการควบคุม

โหมดการควบคุมแบบ PID นั้นเป็นการควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ให้คงที่ คือเมื่อมอเตอร์ได้รับการจะทำให้ความเร็วรอบของมอเตอร์เปลี่ยนไป เราสามารถทำให้ความเร็วรอบของมอเตอร์คงที่ได้เมื่อมีการปรับค่า PID ที่เหมาะสม



ภาคผนวก ก.

ข้อกำหนดของไอซีเบอร์ TL494

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



MOTOROLA

6001 110

TL494
TL495

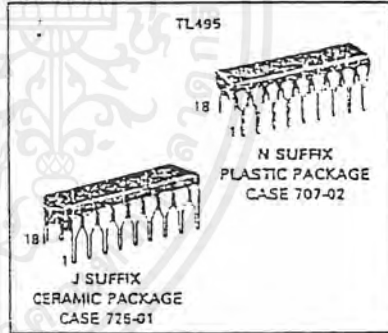
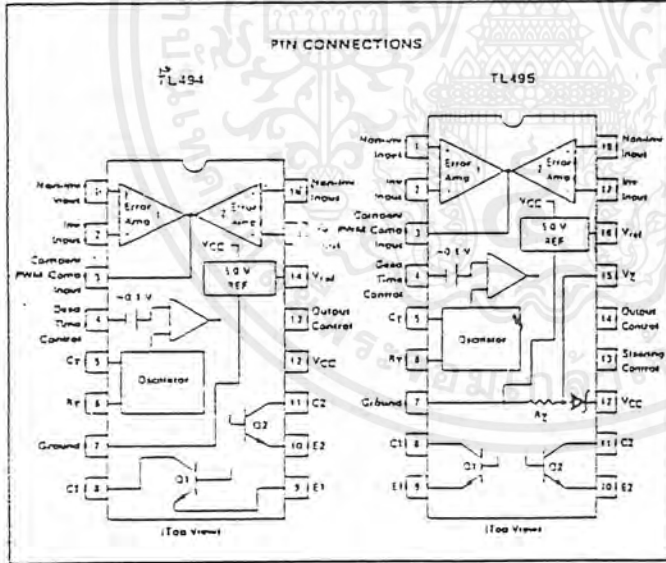
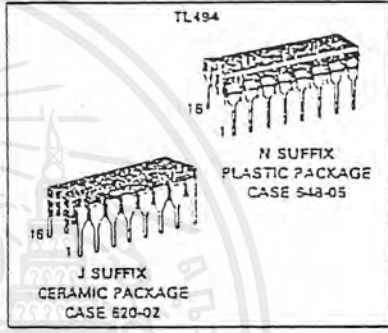
Specifications and Applications Information

SWITCHMODE PULSE WIDTH MODULATION CONTROL CIRCUITS

The TL494 and TL495 are fixed frequency, pulse width modulation control circuits designed primarily for Switchmode power supply control. These devices feature:

- Complete Pulse Width Modulation Control Circuitry
- On-Chip Oscillator With Master Or Slave Operation
- On-Chip Error Amplifiers
- On-Chip 5 Volt Reference
- Adjustable Dead-Time Control
- Uncommitted Output Transistors For 200 mA Source Or Sink
- Output Control For Push-Pull Or Single-Ended Operation
- On-Chip 32 Volt Zener (TL495 Only)
- Output Steering Control (TL495 Only)

SWITCHMODE PULSE WIDTH MODULATION CONTROL CIRCUITS
SILICON MONOLITHIC INTEGRATED CIRCUITS



The TL494C/495C are specified over the commercial operating range of 0°C to 70°C. The TL494I/495I are specified over the industrial range of -25°C to 85°C. The TL494M is specified over the full military range of -55°C to 125°C.

ORDERING INFORMATION

Device	Temperature Range	Package
TL494CN	0 To 70°C	Plastic DIP
TL494CJ	0 To 70°C	Ceramic DIP
TL494IN	-25 To 85°C	Plastic DIP
TL494IJ	-25 To 85°C	Ceramic DIP
TL494MJ	-55 To 125°C	Ceramic DIP
TL495CN	0 To 70°C	Plastic DIP
TL495CJ	0 To 70°C	Ceramic DIP
TL495IN	-25 To 85°C	Plastic DIP
TL495IJ	-25 To 85°C	Ceramic DIP

MOTOROLA LINEAR/INTERFACE DEVICES

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FIGURE 1 — BLOCK DIAGRAM

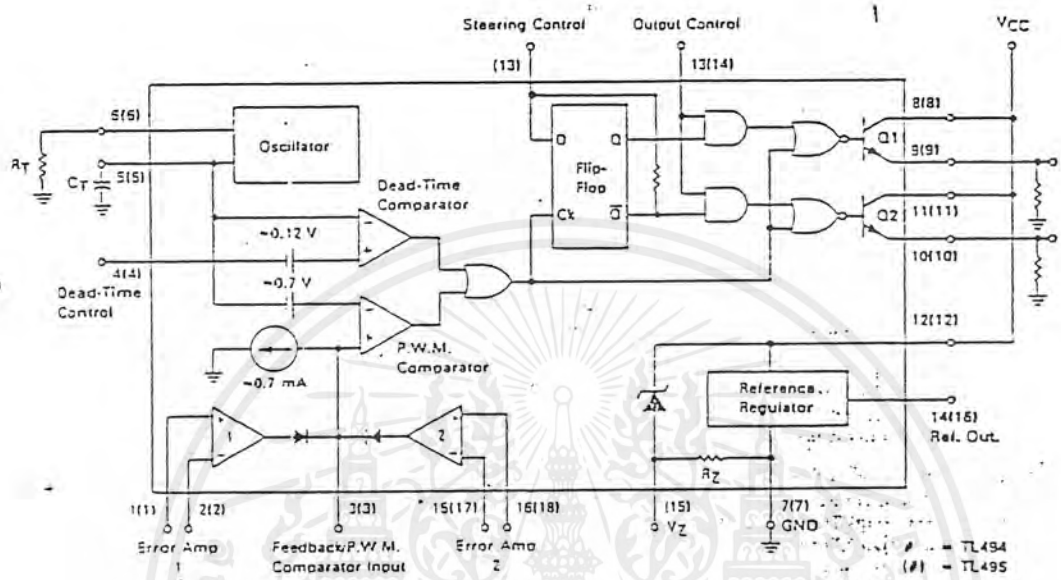
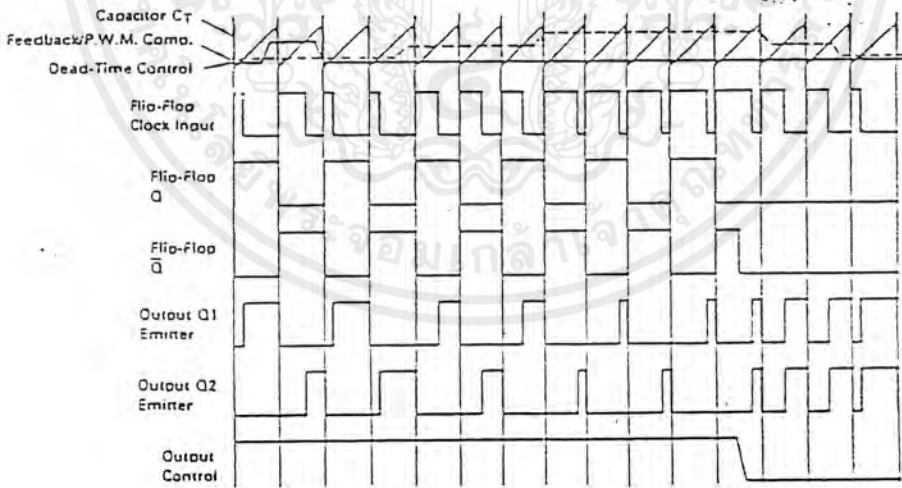


FIGURE 2 — TIMING DIAGRAM



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TL494, TL495

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($V_{CC} = 15\text{ V}$, $f_{osc} = 10\text{ kHz}$ unless otherwise noted.)

For typical values $T_A = 25^\circ\text{C}$, for min/max values T_A is the operating ambient temperature range that applies unless otherwise noted.

Characteristic	Symbol	TL494M			TL494C, TL495C, I			Unit
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
OUTPUT SECTION								
Collector Off-State Current ($V_{CC} = 40\text{ V}$, $V_{CE} = 40\text{ V}$)	$I_{C(off)}$	—	2.0	100	—	2.0	100	μA
Emitter Off-State Current ($V_{CC} = 40\text{ V}$, $V_C = 40\text{ V}$, $V_E = 0\text{ V}$)	$I_{E(off)}$	—	—	-150	—	—	-100	μA
Collector-Emitter Saturation Voltage Common-Emitter ($V_E = 0\text{ V}$, $I_C = 200\text{ mA}$) Emitter-Follower ($V_C = 15\text{ V}$, $I_E = -200\text{ mA}$)	$V_{sat(C)}$	—	1.1	1.5	—	1.1	1.3	V
	$V_{sat(E)}$	—	1.5	2.5	—	1.5	2.5	V
Output Control Pin Current Low State ($V_{OC} \leq 0.4\text{ V}$) High State ($V_{OC} = V_{ref}$)	I_{OCL}	—	10	—	—	10	—	μA
	I_{OCH}	—	0.2	3.5	—	0.2	3.5	mA
Output Voltage Rise Time ($T_A = 25^\circ\text{C}$) Common-Emitter (See Figure 13) Emitter-Follower (See Figure 14)	t_r	—	100	200	—	100	200	ns
		—	100	200	—	100	200	ns
Output Voltage Fall Time ($T_A = 25^\circ\text{C}$) Common-Emitter (See Figure 13) Emitter-Follower (See Figure 14)	t_f	—	25	100	—	25	100	ns
		—	40	100	—	40	100	ns

Characteristic	Symbol	TL494/TL495			Unit
		Min	Typ	Max	
ERROR AMPLIFIER SECTIONS					
Input Offset Voltage (V_O (Pin 3) = 2.5 V)	V_{IO}	—	2.0	10	mV
Input Offset Current (V_O (Pin 3) = 2.5 V)	I_{IO}	—	5.0	250	nA
Input Bias Current (V_O (Pin 3) = 2.5 V)	I_{IB}	—	0.1	1.0	μA
Input Common-Mode Voltage Range ($V_{CC} = 7.0\text{ V}$ to 40 V)	V_{ICR}	-0.3	—	$V_{CC} - 2.0$	V
Open-Loop Voltage Gain ($\Delta V_O = 3.0\text{ V}$, $V_O = 0.5$ to 3.5 V , $R_L = 2.0\text{ k}\Omega$)	A_{VOL}	70	95	—	dB
Unity-Gain Crossover Frequency ($V_O = 0.5$ to 3.5 V , $R_L = 2.0\text{ k}\Omega$)	f_c	—	350	—	kHz
Phase Margin at Unity-Gain ($V_O = 0.5$ to 3.5 V , $R_L = 2.0\text{ k}\Omega$)	ϕ_m	—	65	—	deg.
Common-Mode Rejection Ratio ($V_{CC} = 40\text{ V}$)	CMRR	55	90	—	dB
Power Supply Rejection Ratio ($\Delta V_{CC} = 33\text{ V}$, $V_O = 2.5\text{ V}$, $R_L = 2.0\text{ k}\Omega$)	PSRR	—	100	—	dB
Output Sink Current (V_O (Pin 3) = 0.7 V)	I_{O-}	0.3	0.7	—	mA
Output Source Current (V_O (Pin 3) = 3.5 V)	I_{O+}	-2.0	-4.0	—	mA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FIGURE 4 — OSCILLATOR FREQUENCY versus TIMING RESISTANCE

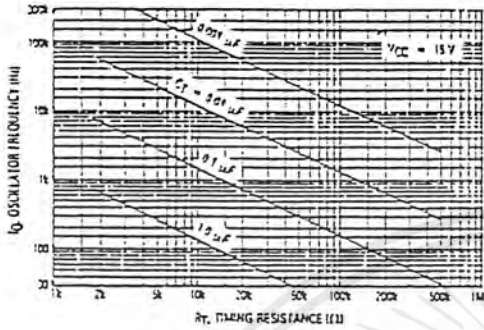


FIGURE 5 — OPEN LOOP VOLTAGE GAIN AND PHASE versus FREQUENCY

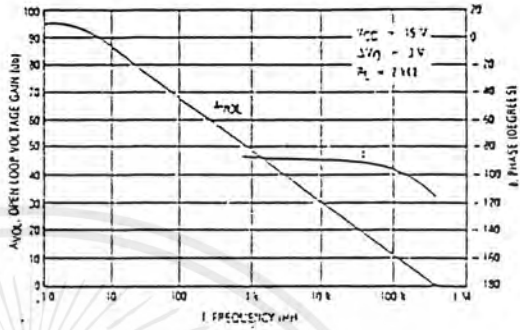


FIGURE 6 — PERCENT DEAD TIME versus OSCILLATOR FREQUENCY

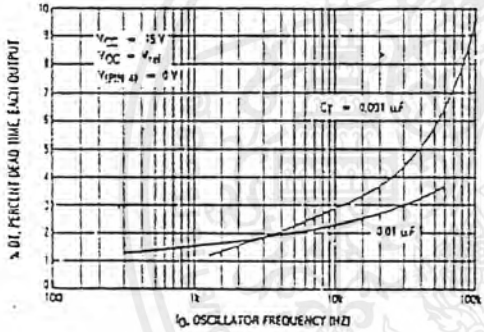


FIGURE 7 — PERCENT DUTY CYCLE versus DEAD-TIME CONTROL VOLTAGE

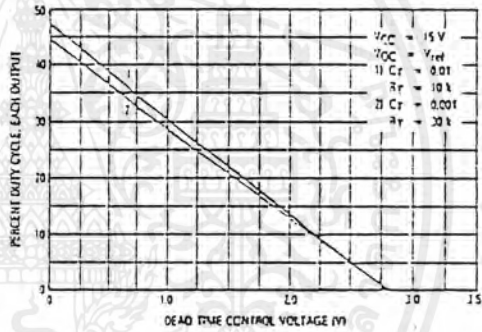


FIGURE 8 — EMITTER-FOLLOWER CONFIGURATION. OUTPUT-SATURATION VOLTAGE versus EMITTER CURRENT

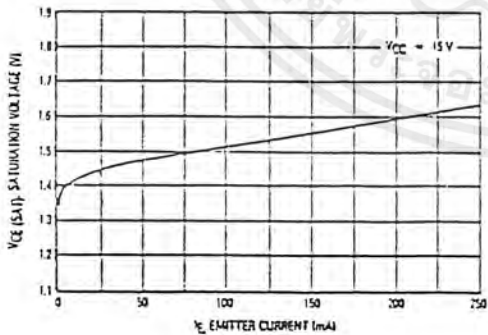
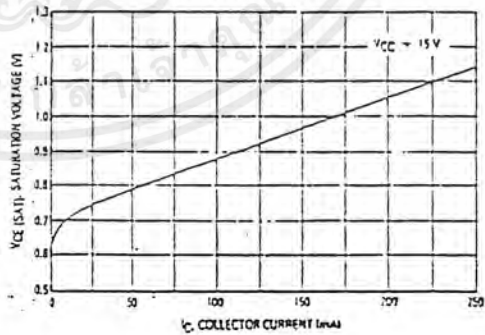


FIGURE 9 — COMMON-EMITTER CONFIGURATION. OUTPUT-SATURATION VOLTAGE versus COLLECTOR CURRENT



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.

ข้อกำหนดของไอซี A/D Converter & D/A Converter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ADC0801/ADC0802/ADC0803/ADC0804/ADC0805 8-Bit μ P Compatible A/D Converters

General Description

The ADC0801, ADC0802, ADC0803, ADC0804 and ADC0805 are CMOS 8-bit successive approximation A/D converters that use a differential potentiometric ladder—similar to the 256R products. These converters are designed to allow operation with the NSC800 and INS8080A derivative control bus with TRI-STATE[®] output latches directly driving the data bus. These A/Ds appear like memory locations or I/O ports to the microprocessor and no interfacing logic is needed.

Differential analog voltage inputs allow increasing the common-mode rejection and offsetting the analog zero input voltage value. In addition, the voltage reference input can be adjusted to allow encoding any smaller analog voltage span to the full 8 bits of resolution.

Features

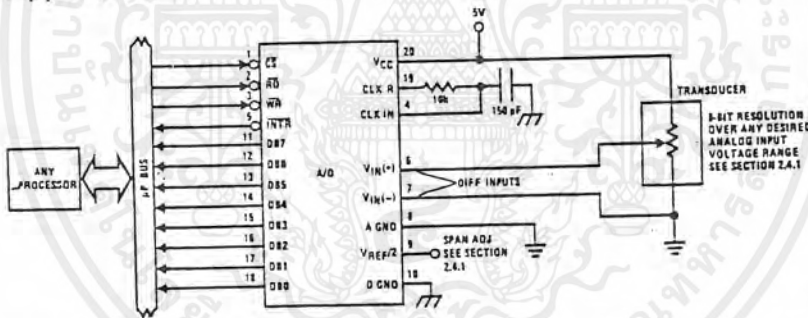
- Compatible with 8080 μ P derivatives—no interfacing logic needed - access time - 135 ns
- Easy interface to all microprocessors, or operates "stand alone"

- Differential analog voltage inputs
- Logic inputs and outputs meet both MOS and TTL voltage level specifications
- Works with 2.5V (LM336) voltage reference
- On-chip clock generator
- 0V to 5V analog input voltage range with single 5V supply
- No zero adjust required
- 0.3" standard width 20-pin DIP package
- 20-pin molded chip carrier or small outline package
- Operates ratiometrically or with 5 V_{DC} , 2.5 V_{DC} , or analog span adjusted voltage reference

Key Specifications

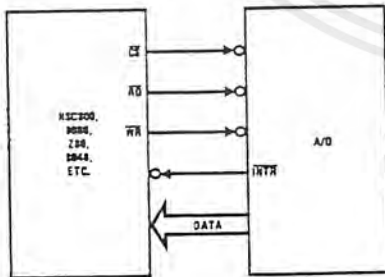
- Resolution 8 bits
- Total error $\pm 1/4$ LSB, $\pm 1/2$ LSB and ± 1 LSB
- Conversion time 100 μ s

Typical Applications



TL/H-5671-1

8080 Interface



TL/H/5671-31

Error Specification (Includes Full-Scale, Zero Error, and Non-Linearity)

Part Number	Full-Scale Adjusted	$V_{REF}/2 = 2.500 V_{DC}$ (No Adjustments)	$V_{REF}/2 =$ No Connection (No Adjustments)
ADC0801	$\pm 1/4$ LSB		
ADC0802		$\pm 1/2$ LSB	
ADC0803	$\pm 1/2$ LSB		
ADC0804		± 1 LSB	
ADC0805			± 1 LSB

Absolute Maximum Ratings (Notes 1 & 2)

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

Supply Voltage (V_{CC}) (Note 3)	6.5V
Voltage	
Logic Control Inputs	-0.3V to +18V
At Other Input and Outputs	-0.3V to ($V_{CC} + 0.3V$)
Lead Temp. (Soldering, 10 seconds)	
Dual-In-Line Package (plastic)	260°C
Dual-In-Line Package (ceramic)	300°C
Surface Mount Package	
Vapor Phase (60 seconds)	215°C
Infrared (15 seconds)	220°C

Storage Temperature Range	-65°C to +150°C
Package Dissipation at $T_A = 25^\circ\text{C}$	875 mW
ESD Susceptibility (Note 10)	800V

Operating Ratings (Notes 1 & 2)

Temperature Range	$T_{MIN} \leq T_A \leq T_{MAX}$
ADC0801/02LJ, ADC0802LJ/283	-55°C $\leq T_A \leq$ +125°C
ADC0801/02/03/04LCJ	-40°C $\leq T_A \leq$ +85°C
ADC0801/02/03/05LCN	-40°C $\leq T_A \leq$ +85°C
ADC0804LCN	0°C $\leq T_A \leq$ +70°C
ADC0802/03/04LCV	0°C $\leq T_A \leq$ +70°C
ADC0802/03/04LCWM	0°C $\leq T_A \leq$ +70°C
Range of V_{CC}	4.5 V_{CC} to 6.3 V_{CC}

Electrical Characteristics

The following specifications apply for $V_{CC} = 5 V_{DC}$, $T_{MIN} \leq T_A \leq T_{MAX}$ and $f_{CLK} = 640$ kHz unless otherwise specified.

Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units
ADC0801: Total Adjusted Error (Note 8)	With Full-Scale Adj. (See Section 2.5.2)			$\pm 1/4$	LSB
ADC0802: Total Unadjusted Error (Note 8)	$V_{REF}/2 = 2.500 V_{DC}$			$\pm 1/2$	LSB
ADC0803: Total Adjusted Error (Note 8)	With Full-Scale Adj. (See Section 2.5.2)			$\pm 1/2$	LSB
ADC0804: Total Unadjusted Error (Note 8)	$V_{REF}/2 = 2.500 V_{DC}$			± 1	LSB
ADC0805: Total Unadjusted Error (Note 8)	$V_{REF}/2$ -No Connection			± 1	LSB
$V_{REF}/2$ Input Resistance (Pin 9)	ADC0801/02/03/05 ADC0804 (Note 9)	2.5 0.75	8.0 1.1		k Ω k Ω
Analog Input Voltage Range	(Note 4) $V(-)$ or $V(+)$	Gnd-0.05		$V_{CC} + 0.05$	V_{CC}
DC Common-Mode Error	Over Analog Input Voltage Range		$\pm 1/15$	$\pm 1/8$	LSB
Power Supply Sensitivity	$V_{CC} = 5 V_{DC} \pm 10\%$ Over Allowed $V_{IN}(+)$ and $V_{IN}(-)$ Voltage Range (Note 4)		$\pm 1/15$	$\pm 1/8$	LSB

AC Electrical Characteristics

The following specifications apply for $V_{CC} = 5 V_{DC}$ and $T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise specified.

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units
T_C	Conversion Time	$f_{CLK} = 640$ kHz (Note 6)	103		114	μs
T_C	Conversion Time	(Note 5, 6)	66		73	$1/f_{CLK}$
f_{CLK}	Clock Frequency	$V_{CC} = 5V$, (Note 5)	100	640	1460	kHz
	Clock Duty Cycle	(Note 5)	40		60	%
CR	Conversion Rate in Free-Running Mode	\overline{INTR} tied to \overline{WR} with $\overline{CS} = 0 V_{DC}$, $f_{CLK} = 640$ kHz	8770		9708	conv/s
$t_W(\overline{WR})$	Width of \overline{WR} Input (Start Pulse Width)	$\overline{CS} = 0 V_{DC}$ (Note 7)	100			ns
t_{ACC}	Access Time (Delay from Falling Edge of \overline{RD} to Output Data Valid)	$C_L = 100$ pF		135	200	ns
t_{1H} , t_{0H}	TRI-STATE Control (Delay from Rising Edge of \overline{RD} to Hi-Z State)	$C_L = 10$ pF, $R_L = 10k$ (See TRI-STATE Test Circuits)		125	200	ns
t_{W1} , t_{R1}	Delay from Falling Edge of \overline{WR} or \overline{RD} to Reset of \overline{INTR}			300	450	ns
C_{IN}	Input Capacitance of Logic Control Inputs			5	7.5	pF
C_{OUT}	TRI-STATE Output Capacitance (Data Buffers)			5	7.5	pF

CONTROL INPUTS (Note: CLK IN (Pin 4) is the input of a Schmitt trigger circuit and is therefore specified separately)

$V_{IN}(1)$	Logical "1" Input Voltage (Except Pin 4 CLK IN)	$V_{CC} = 5.25 V_{DC}$	2.0	15	V_{CC}
-------------	---	------------------------	-----	----	----------

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

AC Electrical Characteristics (Continued)

The following specifications apply for $V_{CC} = 5V_{DC}$ and $T_{MIN} \leq T_A \leq T_{MAX}$, unless otherwise specified.

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units
CONTROL INPUTS (Note: CLK IN (Pin 4) is the input of a Schmitt trigger circuit and is therefore specified separately)						
$V_{IN(0)}$	Logical "0" Input Voltage (Except Pin 4 CLK IN)	$V_{CC} = 4.75 V_{DC}$			0.8	V_{DC}
$I_{IN(1)}$	Logical "1" Input Current (All Inputs)	$V_{IN} = 5 V_{DC}$		0.005	1	μA_{DC}
$I_{IN(0)}$	Logical "0" Input Current (All Inputs)	$V_{IN} = 0 V_{DC}$	-1	-0.005		μA_{DC}
CLOCK IN AND CLOCK R						
V_{T+}	CLK IN (Pin 4) Positive Going Threshold Voltage		2.7	3.1	3.5	V_{DC}
V_{T-}	CLK IN (Pin 4) Negative Going Threshold Voltage		1.5	1.8	2.1	V_{DC}
V_H	CLK IN (Pin 4) Hysteresis ($V_{T+} - V_{T-}$)		0.6	1.3	2.0	V_{DC}
$V_{OUT(0)}$	Logical "0" CLK R Output Voltage	$I_O = 360 \mu A$ $V_{CC} = 4.75 V_{DC}$			0.4	V_{DC}
$V_{OUT(1)}$	Logical "1" CLK R Output Voltage	$I_O = -360 \mu A$ $V_{CC} = 4.75 V_{DC}$	2.4			V_{DC}
DATA OUTPUTS AND INTR						
$V_{OUT(0)}$	Logical "0" Output Voltage Data Outputs INTR Output	$I_{OUT} = 1.6 mA, V_{CC} = 4.75 V_{DC}$ $I_{OUT} = 1.0 mA, V_{CC} = 4.75 V_{DC}$			0.4 0.4	V_{DC} V_{DC}
$V_{OUT(1)}$	Logical "1" Output Voltage	$I_O = -360 \mu A, V_{CC} = 4.75 V_{DC}$	2.4			V_{DC}
$V_{OUT(1)}$	Logical "1" Output Voltage	$I_O = -10 \mu A, V_{CC} = 4.75 V_{DC}$	4.5			V_{DC}
I_{OUT}	TRI-STATE Disabled Output Leakage (All Data Buffers)	$V_{OUT} = 0 V_{DC}$ $V_{OUT} = 5 V_{DC}$	-3		3	μA_{DC} μA_{DC}
I_{SOURCE}		V_{OUT} Short to Gnd, $T_A = 25^\circ C$	4.5	6		mA_{DC}
I_{SINK}		V_{OUT} Short to V_{CC} , $T_A = 25^\circ C$	9.0	16		mA_{DC}
POWER SUPPLY						
I_{CC}	Supply Current (Includes Ladder Current) ADC0801/02/03/04LCJ/05 ADC0804LCN/LCV/LCWM	$f_{CLK} = 640 kHz$, $V_{REF}/2 = NC, T_A = 25^\circ C$ and $CS = 5V$			1.1 1.9	1.8 2.5 mA mA

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

Note 2: All voltages are measured with respect to Gnd, unless otherwise specified. The separate A Gnd point should always be wired to the D Gnd.

Note 3: A zener diode exists, internally, from V_{CC} to Gnd and has a typical breakdown voltage of 7 V_{DC} .

Note 4: For $V_{IN(-)} \geq V_{IN(+)}$ the digital output code will be 0000 0000. Two on-chip diodes are tied to each analog input (see clock diagram) which will forward conduct for analog input voltages one diode drop below ground or one diode drop greater than the V_{CC} supply. Be careful, during testing at low V_{CC} levels (4.5V), as high level analog inputs (5V) can cause this input diode to conduct—especially at elevated temperatures, and cause errors for analog inputs near full-scale. The spec allows 50 mV forward bias of either diode. This means that as long as the analog V_{IN} does not exceed the supply voltage by more than 50 mV, the output code will be correct. To achieve an absolute 0 V_{DC} to 5 V_{DC} input voltage range will therefore require a minimum supply voltage of 4.950 V_{DC} over temperature variations, initial tolerance and loading.

Note 5: Accuracy is guaranteed at $f_{CLK} = 640 kHz$. At higher clock frequencies accuracy can degrade. For lower clock frequencies, the duty cycle limits can be extended so long as the minimum clock high time interval or minimum clock low time interval is no less than 275 ns.

Note 6: With an asynchronous start pulse, up to 8 clock periods may be required before the internal clock phases are proper to start the conversion process. The start request is internally latched, see Figure 2 and section 2.0.

Note 7: The CS input is assumed to bracket the WR strobe input and therefore timing is dependent on the WR pulse width. An arbitrarily wide pulse width will hold the converter in a reset mode and the start of conversion is initiated by the low to high transition of the WR pulse (see timing diagrams).

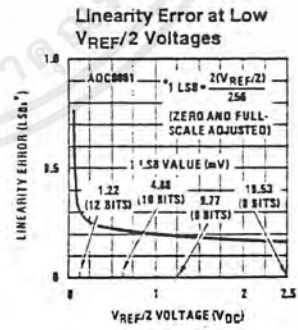
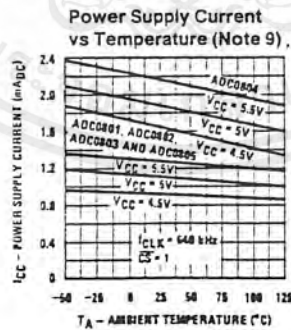
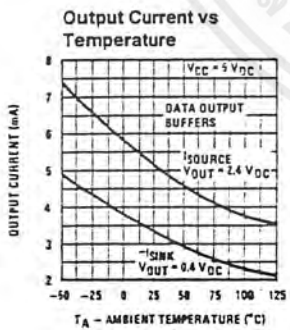
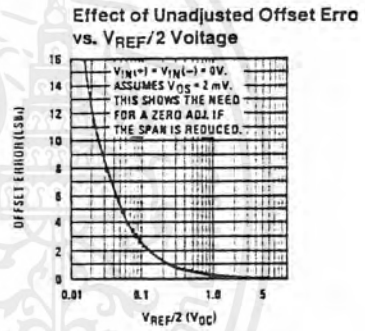
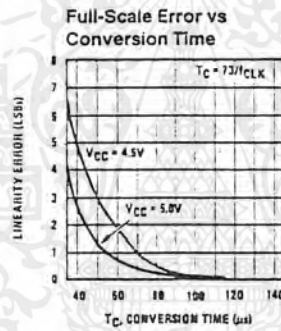
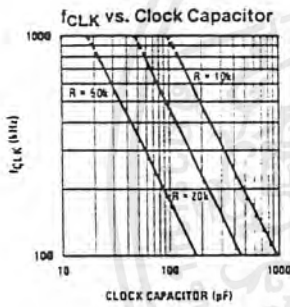
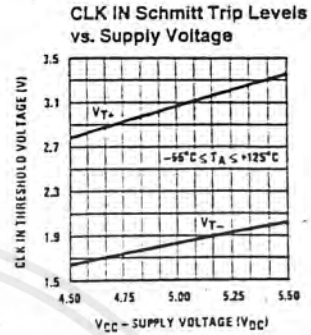
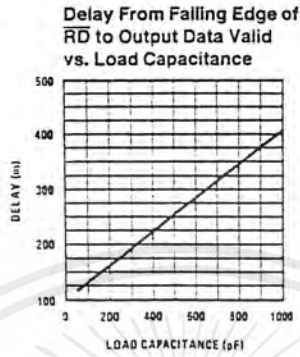
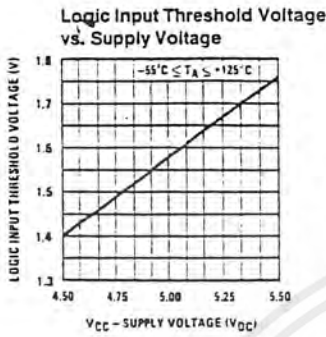
Note 8: None of these A/Ds requires a zero adjust (see section 2.5.1). To obtain zero code at other analog input voltages see section 2.5 and Figure 5.

Note 9: The $V_{REF}/2$ pin is the center point of a two-resistor divider connected from V_{CC} to ground. In all versions of the ADC0801, ADC0802, ADC0803, and ADC0805, and in the ADC0804LCJ, each resistor is typically 16 k Ω . In all versions of the ADC0804 except the ADC0804LCJ, each resistor is typically 2.2 k Ω .

Note 10: Human body model, 100 pF discharged through a 1.5 k Ω resistor.

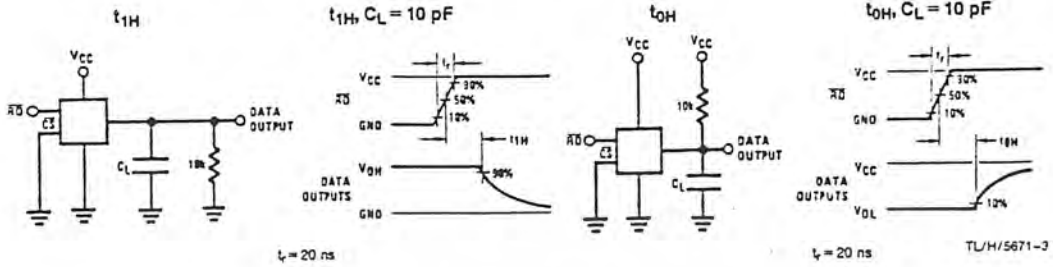
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Performance Characteristics

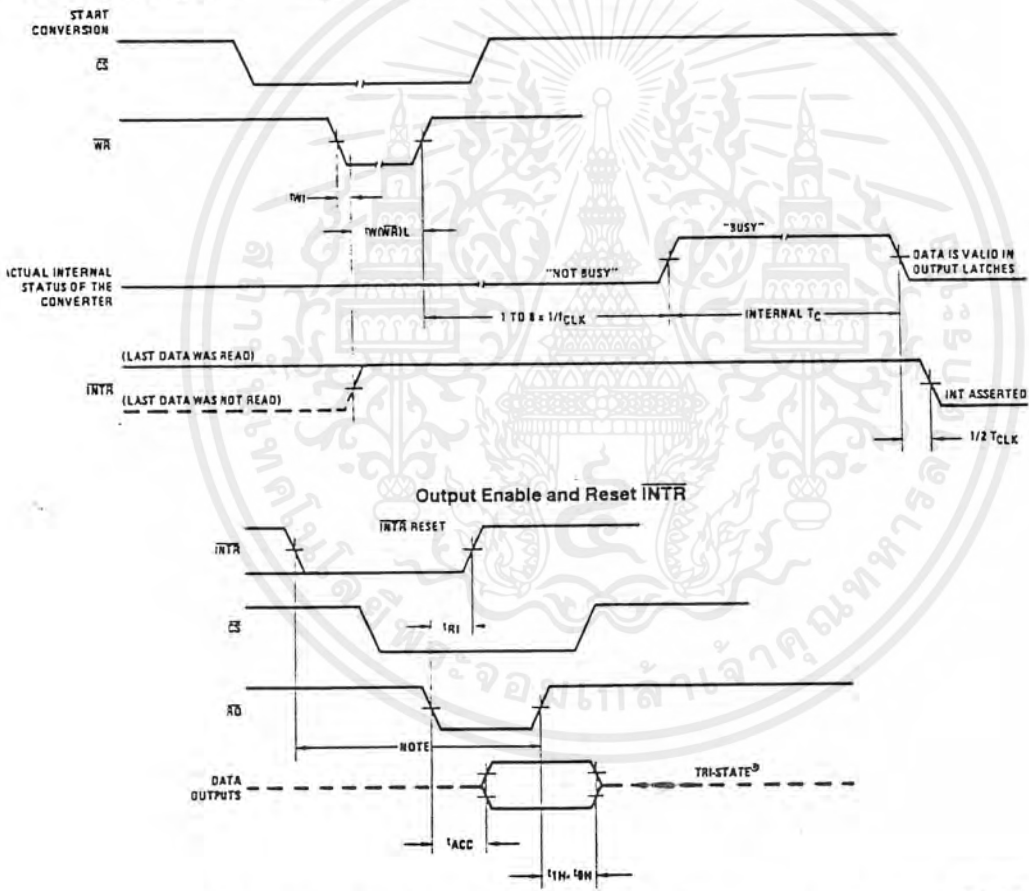


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

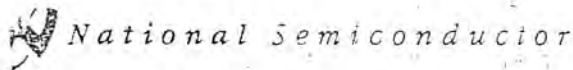
TRI-STATE Test Circuits and Waveforms



Timing Diagrams (All timing is measured from the 50% voltage points)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



DAC0830/DAC0831/DAC0832 8-Bit μ P Compatible, Double-Buffered D to A Converters

General Description

The DAC0830 is an advanced CMOS/Si-Cr 8-bit multiplying DAC designed to interface directly with the 8080, 8048, 8085, Z80[®], and other popular microprocessors. A deposited silicon-chromium R-2R resistor ladder network divides the reference current and provides the circuit with excellent temperature tracking characteristics (0.05% of Full Scale range maximum linearity error over temperature). The circuit uses CMOS current switches and control logic to achieve low power consumption, and low output leakage current errors. Special circuitry provides TTL logic input voltage level compatibility.

Double buffering allows these DACs to output a voltage corresponding to one digital word while holding the next digital word. This permits the simultaneous updating of any number of DACs.

The DAC0830 series are the 8-bit members of a family of microprocessor-compatible DACs (MICRO-DAC[™]). For applications demanding higher resolution, the DAC1000 series (10-bits) and the DAC1208 and DAC1230 (12-bits) are available alternatives.

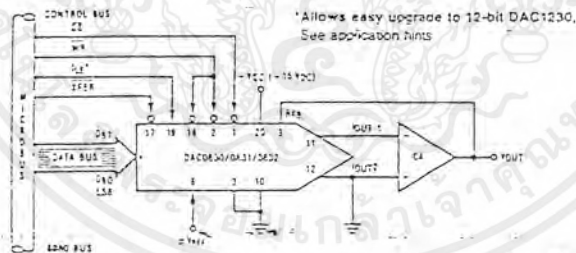
Features

- Double-buffered, single-buffered or flow-through digital data inputs
- Easy interchange and pin-compatible with 12-bit DAC1230 series
- Direct interface to all popular microprocessors
- Linearity specified with zero and full scale adjust only—NOT BEST STRAIGHT LINE FIT.
- Works with $\pm 10V$ reference-full 4-quadrant multiplication
- Can be used in the voltage switching mode
- Logic inputs which meet TTL voltage level specs (1.4V logic threshold)
- Operates "STAND ALONE" (without μ P) if desired
- Available in 20-pin small-outline or molded chip carrier package

Key Specifications

- Current settling time 1 μ s
- Resolution 8 bits
- Linearity 8, 9, or 10 bits (guaranteed over temp.)
- Gain Tempco 0.0002% FS/ $^{\circ}$ C
- Low power dissipation 20 mW
- Single power supply 5 to 15 V_{DC}

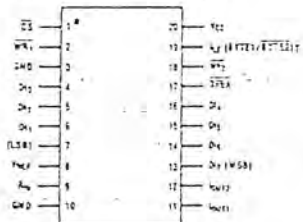
Typical Application



TL/H/5608-1

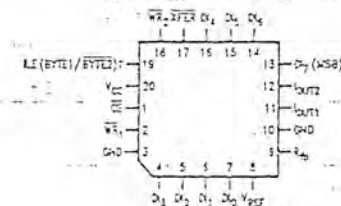
Connection Diagrams (Top Views)

Dual-In-Line and Small-Outline Packages



*This is necessary for the 12-bit DAC1230 series to permit interchanging from an 8-bit to a 12-bit DAC with no PC board changes and no software changes. See applications section.

Molded Chip Carrier Package



TL/H/5608-22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



8255A/8255A-5 PROGRAMMABLE PERIPHERAL INTERFACE

- MCS-85™ Compatible 8255A-5
- 24 Programmable I/O Pins
- Completely TTL Compatible
- Fully Compatible with Intel Microprocessor Families
- Improved Timing Characteristics
- Direct Bit Set/Reset Capability Easing Control Application Interface
- Reduces System Package Count
- Improved DC Driving Capability
- Available in EXPRESS
 - Standard Temperature Range
 - Extended Temperature Range
- 40 Pin DIP Package or 44 Lead PLCC
(See Intel Packaging: Order Number: 231369)

The Intel 8255A is a general purpose programmable I/O device designed for use with Intel microprocessors. It has 24 I/O pins which may be individually programmed in 2 groups of 12 and used in 3 major modes of operation. In the first mode (MODE 0), each group of 12 I/O pins may be programmed in sets of 4 to be input or output. In MODE 1, the second mode, each group may be programmed to have 8 lines of input or output. Of the remaining 4 pins, 3 are used for handshaking and interrupt control signals. The third mode of operation (MODE 2) is a bidirectional bus mode which uses 8 lines for a bidirectional bus, and 5 lines, borrowing one from the other group, for handshaking.

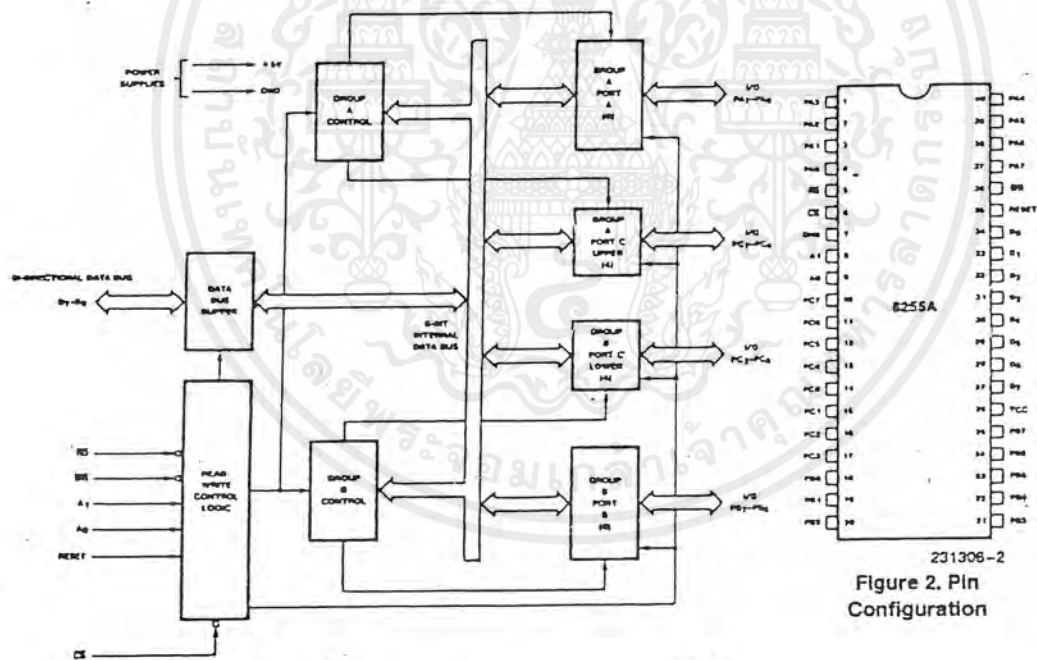


Figure 1. 8255A Block Diagram

Figure 2. Pin Configuration

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8255A FUNCTIONAL DESCRIPTION

General

The 8255A is a programmable peripheral interface (PPI) device designed for use in Intel microcomputer systems. Its function is that of a general purpose I/O component to interface peripheral equipment to the microcomputer system bus. The functional configuration of the 8255A is programmed by the system software so that normally no external logic is necessary to interface peripheral devices or structures.

Data Bus Buffer

This 3-state bidirectional 8-bit buffer is used to interface the 8255A to the system data bus. Data is transmitted or received by the buffer upon execution of input or output instructions by the CPU. Control words and status information are also transferred through the data bus buffer.

Read/Write and Control Logic

The function of this block is to manage all of the internal and external transfers of both Data and Control or Status words. It accepts inputs from the

CPU Address and Control busses and in turn, issues commands to both of the Control Groups.

(CS)

Chip Select. A "low" on this input pin enables the communication between the 8255A and the CPU.

(RD)

Read. A "low" on this input pin enables the 8255A to send the data or status information to the CPU on the data bus. In essence, it allows the CPU to "read from" the 8255A.

(WR)

Write. A "low" on this input pin enables the CPU to write data or control words into the 8255A.

(A₀ and A₁)

Port Select 0 and Port Select 1. These input signals, in conjunction with the RD and WR inputs, control the selection of one of the three ports or the control word registers. They are normally connected to the least significant bits of the address bus (A₀ and A₁).

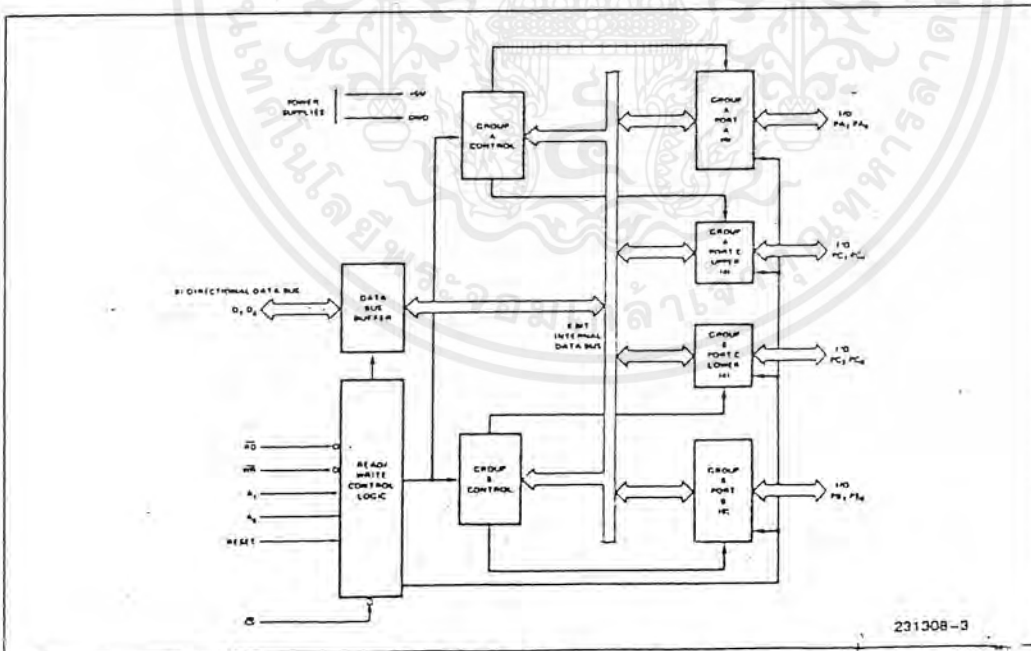


Figure 3. 8255A Block Diagram Showing Data Bus Buffer and Read/Write Control Logic Function

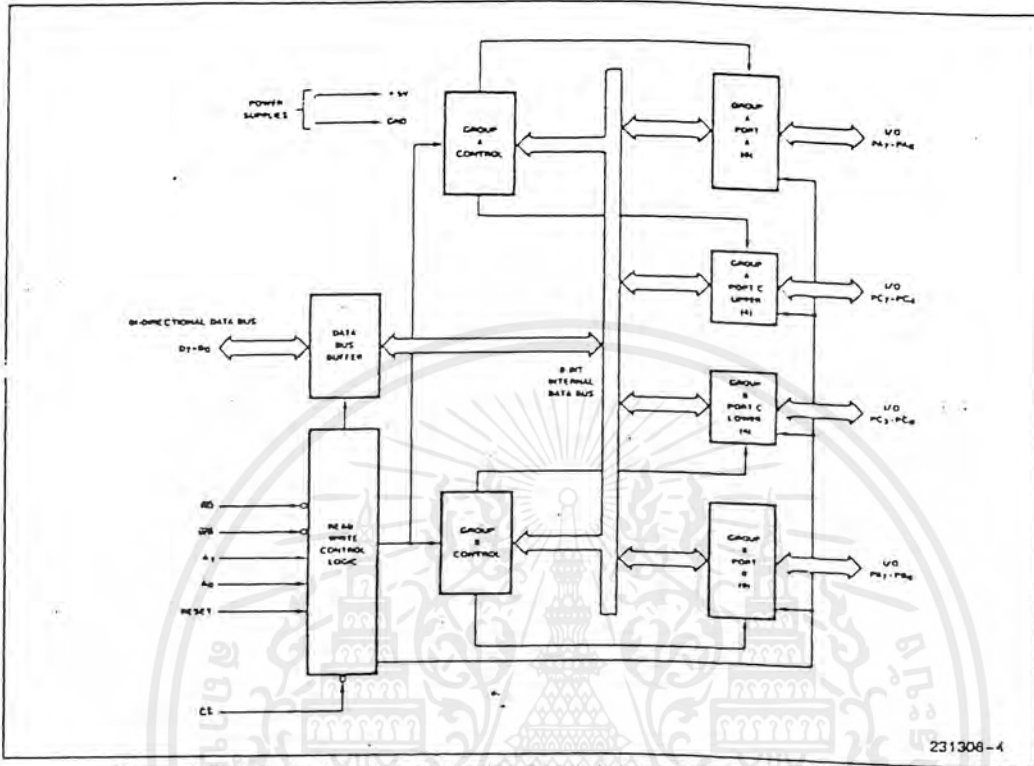
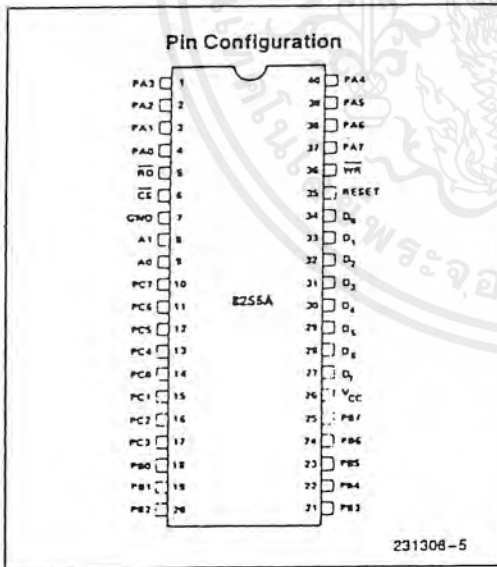


Figure 4. 8255A Block Diagram Showing Group A and Group B Control Functions



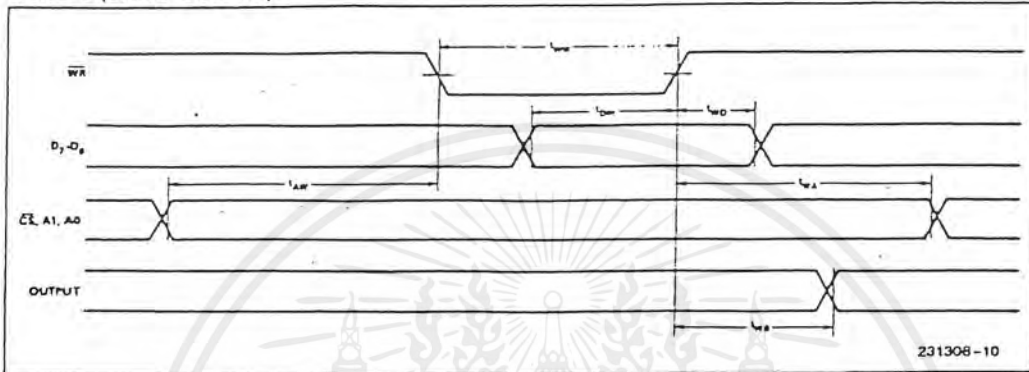
Pin Names	
D7-D0	Data Bus (Bi-Directional)
RESET	Reset Input
CS	Chip Select
RD	Read Input
WR	Write Input
A0, A1	Port Address
PA7-PA0	Port A (BIT)
PB7-PB0	Port B (BIT)
PC7-PC0	Port C (BIT)
VCC	~ 5 Volts
GND	0 Volts

8255A OPERATIONAL DESCRIPTION

Mode Selection

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MODE 0 (BASIC OUTPUT)

MODE 0 PORT DEFINITION

A		B		Group A			Group B	
D ₄	D ₃	D ₁	D ₀	Port A	Port C (Upper)	#	Port B	Port C (Lower)
0	0	0	0	OUTPUT	OUTPUT	0	OUTPUT	OUTPUT
0	0	0	1	OUTPUT	OUTPUT	1	OUTPUT	INPUT
0	0	1	0	OUTPUT	OUTPUT	2	INPUT	OUTPUT
0	0	1	1	OUTPUT	OUTPUT	3	INPUT	INPUT
0	1	0	0	OUTPUT	INPUT	4	OUTPUT	OUTPUT
0	1	0	1	OUTPUT	INPUT	5	OUTPUT	INPUT
0	1	1	0	OUTPUT	INPUT	6	INPUT	OUTPUT
0	1	1	1	OUTPUT	INPUT	7	INPUT	INPUT
1	0	0	0	INPUT	OUTPUT	8	OUTPUT	OUTPUT
1	0	0	1	INPUT	OUTPUT	9	OUTPUT	INPUT
1	0	1	0	INPUT	OUTPUT	10	INPUT	OUTPUT
1	0	1	1	INPUT	OUTPUT	11	INPUT	INPUT
1	1	0	0	INPUT	INPUT	12	OUTPUT	OUTPUT
1	1	0	1	INPUT	INPUT	13	OUTPUT	INPUT
1	1	1	0	INPUT	INPUT	14	INPUT	OUTPUT
1	1	1	1	INPUT	INPUT	15	INPUT	INPUT

8255A BASIC OPERATION

A ₁	A ₀	\overline{RD}	\overline{WR}	\overline{CS}	Input Operation (READ)
0	0	0	1	0	Port A → Data Bus
0	1	0	1	0	Port B → Data Bus
1	0	0	1	0	Port C → Data Bus
					Output Operation (WRITE)
0	0	1	0	0	Data Bus → Port A
0	1	1	0	0	Data Bus → Port B
1	0	1	0	0	Data Bus → Port C
1	1	1	0	0	Data Bus → Control
					Disable Function
X	X	X	X	1	Data Bus → 3-State
1	1	0	1	0	Illegal Condition
X	X	1	1	0	Data Bus → 3-State

(RESET)

Reset. A "high" on this input clears the control register and all ports (A, B, C) are set to the input mode.

Group A and Group B Controls

The functional configuration of each port is programmed by the systems software. In essence, the CPU "outputs" a control word to the 8255A. The control word contains information such as "mode", "bit set", "bit reset", etc., that initializes the functional configuration of the 8255A.

Each of the Control blocks (Group A and Group B) accepts "commands" from the Read/Write Control Logic, receives "control words" from the internal data bus and issues the proper commands to its associated ports.

Control Group A—Port A and Port C upper (C7–C4)
Control Group B—Port B and Port C lower (C3–C0)

The Control Word Register can Only be written into. No Read operation of the Control Word Register is allowed.

Ports A, B, and C

The 8255A contains three 8-bit ports (A, B, and C). All can be configured in a wide variety of functional characteristics by the system software but each has its own special features or "personality" to further enhance the power and flexibility of the 8255A.

Port A. One 8-bit data output latch/buffer and one 8-bit data input latch.

Port B. One 8-bit data input/output latch/buffer and one 8-bit data input buffer.

Port C. One 8-bit data output latch/buffer and one 8-bit data input buffer (no latch for input). This port can be divided into two 4-bit ports under the mode control. Each 4-bit port contains a 4-bit latch and it can be used for the control signal outputs and status signal inputs in conjunction with ports A and B.

Mode 0—Basic Input/Output

Mode 1—Strobed Input/Output

Mode 2—Bi-Directional Bus

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

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

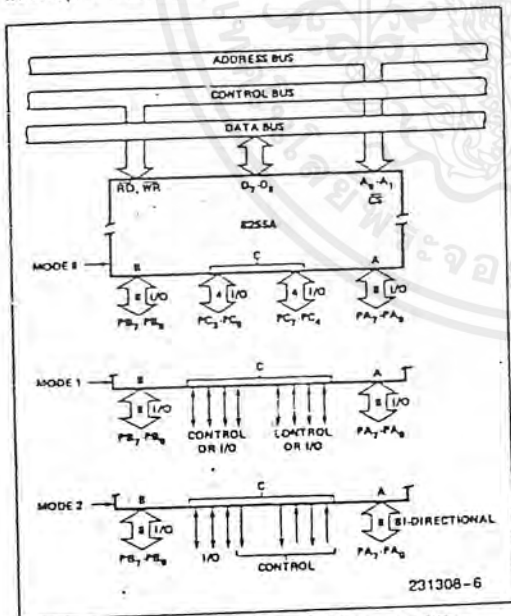


Figure 5. Basic Mode Definitions and Bus Interface

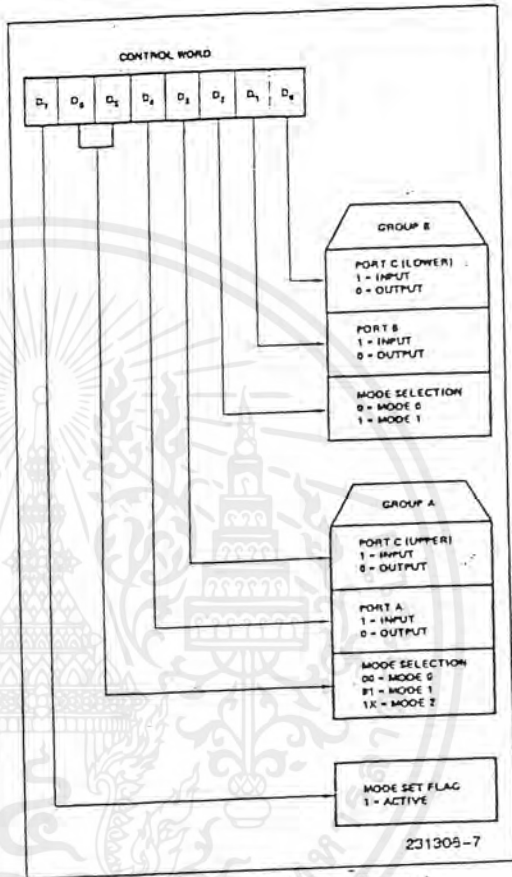


Figure 6. Mode Definition Format

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

Single Bit Set/Reset Feature

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

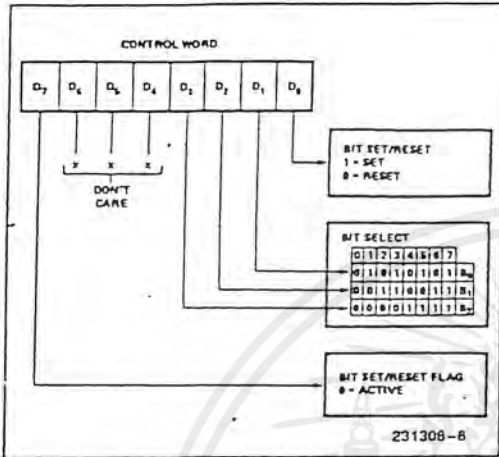


Figure 7. Bit Set/Reset Format

When Port C is being used as status/control for Port A or B, these bits can be set or reset by using the Bit Set/Reset operation just as if they were data output ports.

Interrupt Control Functions

When the 8255A is programmed to operate in mode 1 or mode 2, control signals are provided that can be used as interrupt request inputs to the CPU. The interrupt request signals, generated from port C, can be inhibited or enabled by setting or resetting the associated INTE flip-flop, using the bit set/reset function of port C.

This function allows the Programmer to disallow or allow a specific I/O device to interrupt the CPU without affecting any other device in the interrupt structure.

INTE flip-flop definition:

(BIT-SET)—INTE is set—Interrupt enable

(BIT-RESET)—INTE is RESET—Interrupt disable

NOTE:

All Mask flip-flops are automatically reset during mode selection and device Reset.

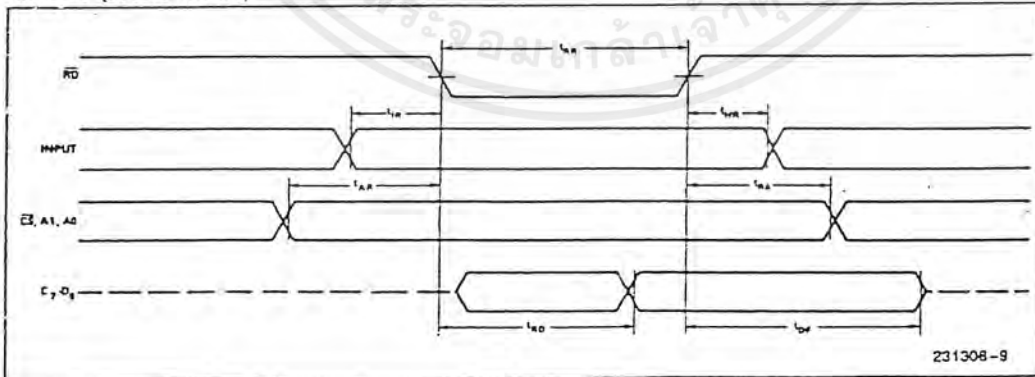
Operating Modes


MODE 0 (Basic Input/Output). This functional configuration provides simple input and output operations for each of the three ports. No "handshaking" is required, data is simply written to or read from a specified port.

Mode 0 Basic Functional Definitions:

- Two 8-bit ports and two 4-bit ports.
- Any port can be input or output.
- Outputs are latched.
- Inputs are not latched.
- 16 different Input/Output configurations are possible in this Mode.

MODE 0 (BASIC INPUT)

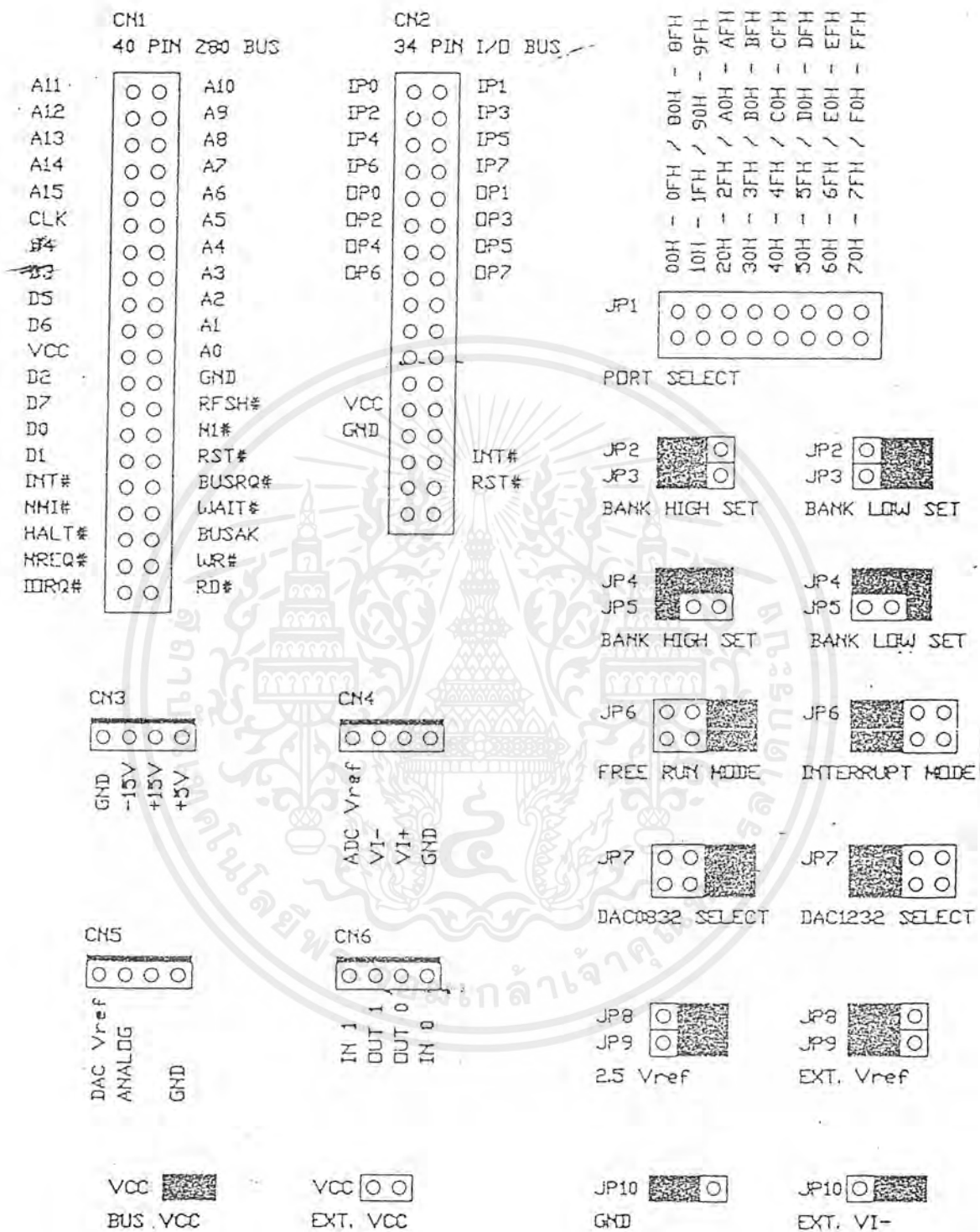




ภาคผนวก ง.

Connector Reference & Jumper Setup
ของ A/D Connector และ D/A Converter

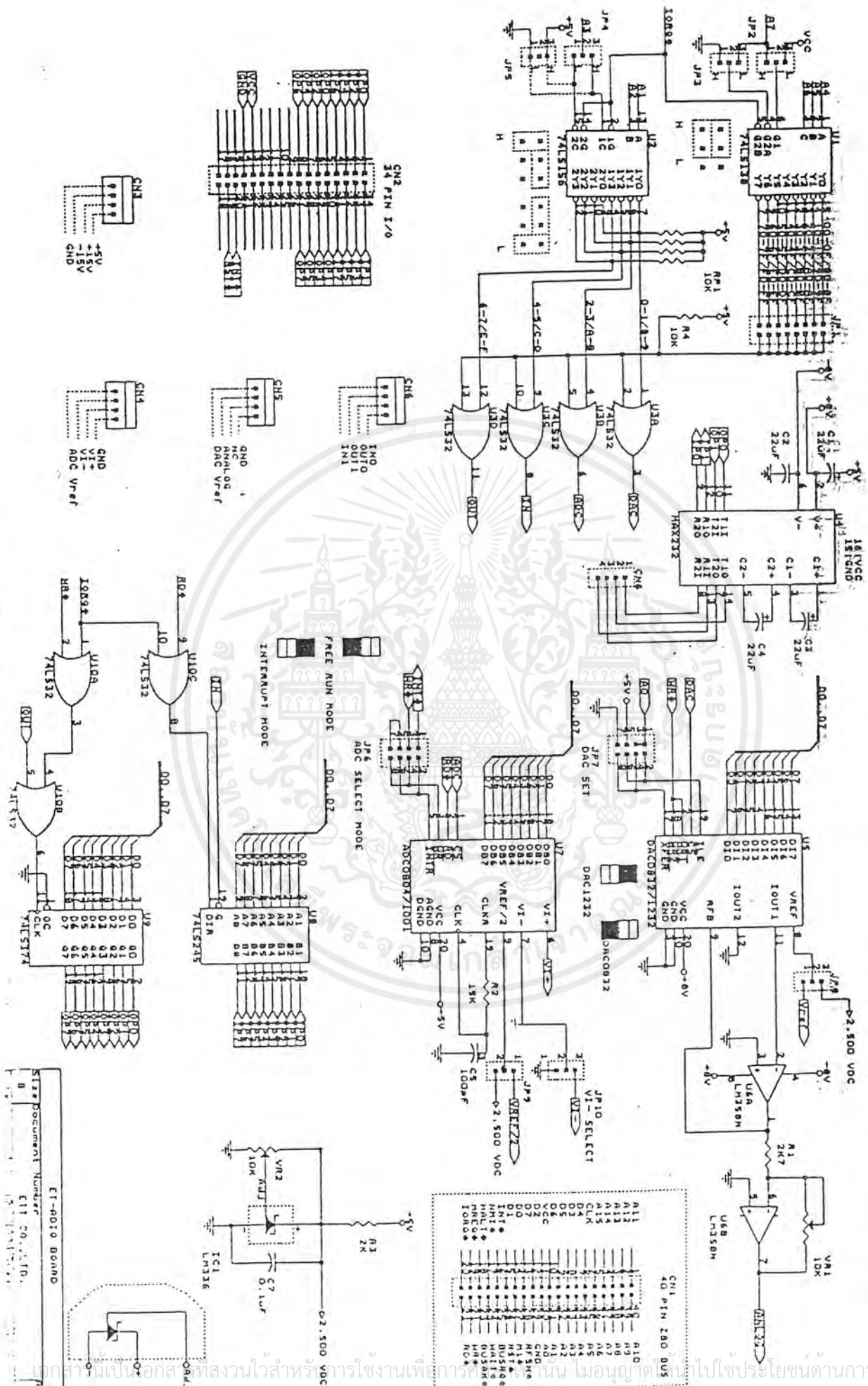
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



CONNECTOR REFERENCE & JUMPER SET-UP

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปแบบวงจรของ DAC และ ADC



ET-AD10 BOARD
 Size Document Number: C11 20.4.10.
 Rev: 1.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

- กิตติ ตีระเศรษฐ์ , " พื้นฐานวิศวกรรมระบบควบคุม " , สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า
เจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ ฯ , 2539.
- ชัยรัตน์ เกษมบุญศิริ , " แรกเริ่มเรียนรู้ เรื่อง Visual Basic 4 สำหรับ Windows 95 " ,
IDG Book Worldwide , 2539.
- ธาริน สิทธิธรรมชาวี และ ธัญชัย จำนงค์ภักดิ์ " Microsoft Visual Basic " ,
บริษัท ซัคเซส มีเดีย จำกัด , 2539.
- โยธิน เปรมปรายวีรชต์ , " วิเคราะห์และออกแบบระบบการควบคุมมอเตอร์ " ,
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ ฯ , 2526.
- วิชัย อังขรจันทรานนท์ , " การควบคุมไฟฟ้าด้วยอิเล็กทรอนิกส์กำลัง " , สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี
(ไทย - ญี่ปุ่น) , 2536.
- Muhamadh H. Rashid , " Power Electronics " , Second edition, Prentice - Hall
International, 1993.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้