



อุปกรณ์ต่อพ่วงไมโครคอนโทรลเลอร์ (2)

INTERFACING WITH MICROCONTROLLER(2)



โดย
นายไพศาล ชินปริชา

วัน เดือน ปี.....	ค.ศ. ๒๕๕๐
เลขทะเบียน.....	๐๓๗๑๕๒
เลขเรียกหนังสือ.....	T ๐๘๒๔๕ พ๖๑๕๐

บริษัทยาพันธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมการวัดคุม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ปีการศึกษา 2537 037152
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปีการศึกษา 2537
อุปกรณ์ต่อพ่วงไมโครคอลโทรลเลอร์ (2)



อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ. พิพัฒน์ เลหาสงคราม . .

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาโท ปีการศึกษา 2537

ภาควิชา เทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรม

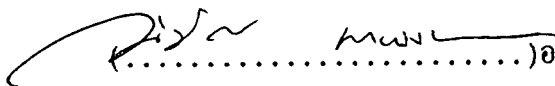
สาขาวิชา วิศวกรรมการวัดคุม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



เรื่อง อุปกรณ์ต่อพ่วงไมโครคอนโทรลเลอร์ (2)
INTERFACING WITH MICROCONTROLLER (2)
ผู้จัดทำ นายไพศาล ชื่นปรีชา

)อาจารย์ที่ปรึกษา

(รศ. พิพัฒน์ เลหาสงคราม)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์ต่อพ่วงไมโครคอนโทรลเลอร์(2)

INTERFACING WITH MICROCONTROLLER(2)

โดย นายไพศาล ชื่นปรีชา

อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.พิพัฒน์ เลหาสงคราม

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันนี้ได้มีการนำเอาไมโครคอนโทรลเลอร์มาควบคุมระบบต่างๆ เช่น เครื่องจักร และกระบวนการควบคุมในโรงงานได้มีหลายบุคคล เช่นกันที่ได้ทำการศึกษาเพื่อพัฒนานำเอาสิ่งใหม่ๆมาซื้อเรื่อยๆ แต่หากมีตัวไมโครคอนโทรลเลอร์เพียงอย่างเดียว มันคงทำอะไรไม่ได้ นอกจากจะมีอุปกรณ์ต่อพ่วงเพื่อให้ตัวไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถรับรู้, ติดต่อ และตอบสนองกับโลกภายนอกได้

ปริญญาโทเล่มนี้ จะกล่าวถึงอุปกรณ์ต่อพ่วงไมโครคอนโทรลเลอร์ว่ามีอะไรบ้าง มีความสำคัญอย่างไร หรือควรจะเลือกใช้อุปกรณ์แบบใดให้เหมาะสมตามความต้องการ

ABSTRACT

PRESENT, MICROCONTROLLER IS USED FOR CONTROL SYSTEM SUCH AS MACHINE AND PROCESS CONTROL SYSTEM IN FACTORY. THERE ARE A LOT OF PERSONS STUDY ABOUT MICROCONTROLLER AND TRY TO FIND SOMETHING NEW IN ORDER TO DEVELOP ITS SYSTEM. IF WE HAVE ONLY MICROCONTROLLER IT CAN NOT WORK. IT NEED TO HAVE PERIPHERAL DEVICE FOR INTERFACING TO REAL WORLD.

THIS REPORT WILL INFORM ABOUT THE DETAILS AND THE IMPORTANT OF PERIPHERAL DEVICE FOR INTERFACING WITH MICROCONTROLLER TO EXPLAIN ABOUT HOW TO CHOOSE THE EQUIPMENT WHICH SUITABLE FOR USING IN EACH CASE.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทที่ 1 บทนำ	1-1
บทที่ 2 การต่อพ่วงไมโครคอนโทรลเลอร์ด้วยอุปกรณ์อนาลอก	2-1
2.1 การแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นอนาลอกหรือดีทิวเอ	2-4
2.1.1 แบบใช้ตัวต้านทานหลายค่า	2-4
การต่อพ่วงไมโครคอนโทรลเลอร์	2-5
2.1.2 แบบใช้ตัวต้านทานสองค่า	2-12
การต่อพ่วงไมโครคอนโทรลเลอร์	2-14
2.1.3 การใช้ดีทิวเอทีวี่คุณสัญญาณ	2-21
2.2 วงจรแปลงอนาลอกเป็นดิจิทัล	2-31
2.2.1 แบบใช้วงจรเปรียบเทียบขนานหรือแบบ"แฟลช"	2-31
2.2.2 วงจรเปลี่ยนสัญญาณแอนะล็อกเป็นการประมาณค่า	2-32
การต่อพ่วงไมโครคอนโทรลเลอร์	2-34
2.3 วงจรเปลี่ยนสัญญาณแอนะล็อกด้วยสุมและคงค่าสัญญาณ	2-39
การต่อพ่วงไมโครคอนโทรลเลอร์	2-41
บทสรุป	2-46
บทที่ 3 การต่อพ่วงไมโครคอนโทรลเลอร์ด้วยอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลัง	3-1
3.1 ไบโพลาร์ทรานซิสเตอร์	3-1
การใช้งานทรานซิสเตอร์เป็นสวิตช์เหนี่ยวนำ	3-5
การต่อพ่วงกับไมโครคอนโทรลเลอร์	3-6
3.2 คาร์ลิงตันทรานซิสเตอร์	3-10
การต่อพ่วงกับไมโครคอนโทรลเลอร์	3-12
3.3 เพาเวอร์มอสเฟตทรานซิสเตอร์	3-17
การต่อพ่วงกับไมโครคอนโทรลเลอร์	3-18
3.4 ไทริสเตอร์	3-22
การใช้งานเอสซีอาร์	3-23
ลักษณะทั่วไปของไตรแอก	3-25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนการดำเนินงานของไตรแอกการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ต่าง 3-2 ถ้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

เรื่อง	หน้า
การต่อพ่วงกับไมโครคอนโทรลเลอร์	3-30
การเชื่อมด้วยแสง	3-35
การต่อพ่วงไมโครคอนโทรลเลอร์	3-36
บทสรุป	3-40
บทที่ 4 การต่อพ่วงไมโครคอนโทรลเลอร์ด้วย <u>ดีซีมอเตอร์ชนิดแม่เหล็กถาวร</u>	4-1
พื้นฐานระบบควบคุม	4-4
วงจรวินเซอร์เวอร์ สำหรับเปิดลูป	4-5
-แบบลิเนียร์ทรานซิสเตอร์	4-5
-แบบสวิตซ์ซิงทรานซิสเตอร์	4-6
การต่อพ่วงกับไมโครคอนโทรลเลอร์	4-8
การควบคุมดีซีมอเตอร์แบบเปิดลูป	4-9
-การควบคุมความเร็ว	4-15
-การควบคุมตำแหน่ง	4-16
คุณสมบัติของระบบที่ต้องการในการบังคับแบบป้อนทั่วไป	4-16
เอนโค้ดเดอร์ที่ ๒ ขั้ว ทิศสัญญาณเอาต์พุตสำหรับการป้อนกลับแบบควบคุมตำแหน่ง	4-17
-ออปคัล เอนโคคเตอร์แบบสมบูรณ์ในตัวเอง	4-17
-ออปคัล เอนโคคเตอร์แบบไม่สมบูรณ์ในตัวเอง	4-18
การชดเชยป้อนกลับ	4-20
บทสรุป	4-21
ภาคผนวก	
การคำนวณพื้นฐานของดีซีมอเตอร์	

บทที่ 1

บทนำ

เป็นที่ทราบกันดีอยู่แล้วว่า ในปัจจุบันนี้ได้มีการนำเอาไมโครคอนโทรลเลอร์มาควบคุมระบบต่างๆ เช่น ในโรงงาน, เครื่องจักรกล ฯลฯ อย่างมากมาย และได้มีหลากหลายคน เช่นกันที่ได้ทำการศึกษา เพื่อพัฒนานำเอาสิ่งใหม่ๆ มาใช้อยู่เรื่อยๆ แต่หากมีตัวไมโครคอนโทรลเลอร์เพียงอย่างเดียว มันคงทำอะไรไม่ได้ นอกจากจะมีอุปกรณ์ต่อพ่วง เพื่อให้ตัวไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถรับรู้, ติดต่อ และตอบสนองกับโลกภายนอกได้ จึงนับว่าอุปกรณ์ต่อพ่วงต่างๆ มีความสำคัญมากไม่แพ้ตัวไมโครคอนโทรลเลอร์เอาเลย

ปริญญานิพนธ์เล่มนี้ จะกล่าวถึงตัวอย่างการนำไมโครคอนโทรลเลอร์ไปใช้ในการควบคุมอุปกรณ์ต่างๆ โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 ในการควบคุม



บทที่ 2

การต่อพ่วงไมโครคอนโทรลเลอร์ด้วยอุปกรณ์นอก

โอเพอเรชันแนลแอมพลิฟายเออร์ (Operational Amplifier)

นิยมเรียกกันสั้นๆว่า ออปแอมป์ (op-amp) นั้นแต่เดิมเป็นชื่อเรียกวงจรรายยี่ห้อที่ทำหน้าที่คำนวณภายในเครื่องอนาล็อกคอมพิวเตอร์ (analog computer) วงจรนี้มีอัตราขยายสูงมากและอาศัยการป้อนกลับแบบลบผ่านองค์ประกอบพาสซีฟ (passive) ภายนอกในการควบคุมลักษณะการทำงานและกำหนดหน้าที่ของวงจรให้ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบที่ป้อนกลับเท่านั้น ไม่ขึ้นอยู่กับพารามิเตอร์ภายในของออปแอมป์เลย ดังนั้นจึงเป็นการสะดวกมากที่จะออกแบบระบบโดยใช้ออปแอมป์เป็นตัวขยายกำลังงานโดยตลอด และอาศัยองค์ประกอบที่ป้อนกลับเป็นตัวกำหนดาห์วงจรออปแอมป์ทำหน้าที่ต่างๆกัน เช่น เป็นวงจรรวมสัญญาณ อินทิเกรเตอร์ ดิฟเฟอเรนเชียลเอเตอร์ เป็นต้น

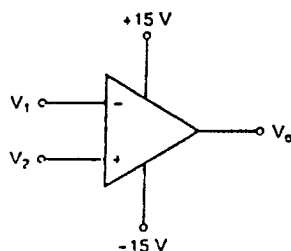
ออปแอมป์ในอุดมคติ

ออปแอมป์ที่เป็นไอซีเป็นวงจรรายยี่ห้อที่มีอัตราขยายสูงมาก โดยปกติจะมีอัตราขยายสูงถึงหลายหมื่นหลายแสน และที่ข้อเด่นก็คือเราสามารถกำหนดอัตราขยายให้กับออปแอมป์ได้โดยง่ายตามต้องการด้วยการต่อวงจร ในลักษณะการป้อนกลับแบบลบ

ถ้าหากเราถือว่าออปแอมป์ที่ใช้เป็นออปแอมป์ในอุดมคติจะต้องมีคุณสมบัติเด่น ดังต่อไปนี้

นี้

1. มีอัตราขยายแรงดันเป็นอนันต์
2. มีค่าอินพุตอิมพีแดนซ์เป็นอนันต์ หรือกล่าวได้ว่ากระแสอินพุตเป็นศูนย์นั่นเอง
3. มีเอาต์พุตอิมพีแดนซ์เป็นศูนย์
4. มีผลตอบสนองต่อความถี่ได้จากสัญญาณไฟตรงถึงความถี่อนันต์



รูปที่ 2-1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแบบหรือทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาตจากเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แสดงภาพสัญลักษณ์ของออปแอมป์

จากคำจำกัดความของออปแอมป์ในอุดมคติทำให้เราทราบว่า ไม่ว่าสัญญาณจะเป็นอย่างไร สัญญาณนั้นก็สามารถทำให้ออปแอมป์ทำงานได้ และถ้าต่อเชื่อมออปแอมป์กับวงจรอื่นก็จะมีผลทำให้วงจรอื่นทำงานผิดพลาดไป เนื่องจากค่าอินพุทอิมพีแดนซ์ของออปแอมป์เป็นอนันต์ แล้วเอาที่พหุอิมพีแดนซ์เป็นศูนย์

คานิยามศัพท์ต่างๆของออปแอมป์

Open-Loop Voltage Gain คืออัตราส่วนของแรงดันออกต่อแรงดันเข้าสัญญาณต่างๆโดยที่ไม่มีการป้อนกลับ

Unity Gain Bandwidth คือความถี่ที่อัตราขยายวงรอบปิดได้ลดลงมาเท่ากับ 1

Output Resistance คือความต้านทานต่อสัญญาณกระแสสลับขนาดเล็กที่เห็นเมื่อมองเข้าไปในขั้วออก โดยที่ไม่มีการป้อนกลับและแรงดันกระแสตรงทางด้านออกเท่ากับศูนย์

Slew Rate and Compensation คือ อัตราการเหวี่ยงและการชดเชย ออปแอมป์ไม่สามารถเปลี่ยนแปลงแรงดันออกโดยไม่ใช้เวลาเลยได้ อัตราเหวี่ยง (Slew Rate) เป็นการวัดว่าแรงดันออกจะเปลี่ยนได้เร็วที่สุดเท่าใด ออปแอมป์จะมีอัตราการเหวี่ยงตั้งแต่ 0.5 V/us ถึง 100 V/us จะเห็นได้ว่าอัตราการเหวี่ยงก็เป็นตัวบอกผลตอบเชิงความถี่ (Frequency Response) ของออปแอมป์

เนื่องจากว่าออปแอมป์ต้องการเวลาจำนวนหนึ่งในการสนองตอบต่อแรงดันที่ขั้วเข้า แรงดันออกก็จะตามแรงดันเข้า ถ้าความช้ามีมากพอ เมื่อเราป้อนสัญญาณออกมายังขั้วเข้า (feedback) ก็อาจเกิดการแกว่งได้ ดังนั้นออปแอมป์จึงต้องมี ตัวเก็บประจุชดเชย (Compensation Capacitor) เพื่อป้องกันการแกว่งนี้ ออปแอมป์ เช่น เบอร์ 741 มีการชดเชยภายใน (Internally Compensated) คือ มีตัวเก็บประจุอยู่ภายในผลึกแล้ว ส่วนออปแอมป์เบอร์อื่นอาจต้องมีการต่อตัวเก็บประจุชดเชยภายนอก

Setting Time คือเวลาระหว่างที่สัญญาณเข้าเปลี่ยนเป็นขั้นกับที่สัญญาณออกได้แปรมาใกล้ค่าสิ้นสุด (final value) โดยมีเปอร์เซ็นต์ที่ยังห่างจากค่าสิ้นสุดเป็นเปอร์เซ็นต์ที่กำหนดไว้

Input Offset Voltage คือแรงดันซึ่งจะต้องใส่ระหว่างขั้วเข้าทั้งสองโดยงานทางตัวต้านทานขนาดเท่ากัน 2 ตัว เพื่อที่จะทำให้แรงดันออกเท่ากับศูนย์

Input Bias Current คือค่าเฉลี่ยของกระแสเข้าของทั้งสองขั้วเมื่อไม่มีสัญญาณเข้า เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Common-mode rejection ในออปแอมป์อุดมคติ เราได้สมมุติว่าขั้วเข้าทั้งสองนั้น ไม่ได้ต่อกับกราวด์ภายในออปแอมป์เลย และแรงดันนั้นขึ้นอยู่กับความแตกต่างระหว่างแรงดันที่ขั้วเข้าทั้งสองเท่านั้น แต่ในออปแอมป์จริงนั้น การต่อสัญญาณเข้าขั้วทั้งสองเท่าๆกัน ก็มีสัญญาณออกได้ สัญญาณนี้เรียกว่า สัญญาณโหมดรวม (common-mode signal, V_{ic}) และอัตราขยาย A_c เรียกว่า อัตราขยายโหมดรวม (common-mode gain)

$$A_c = V_{oc}/V_{ic}$$

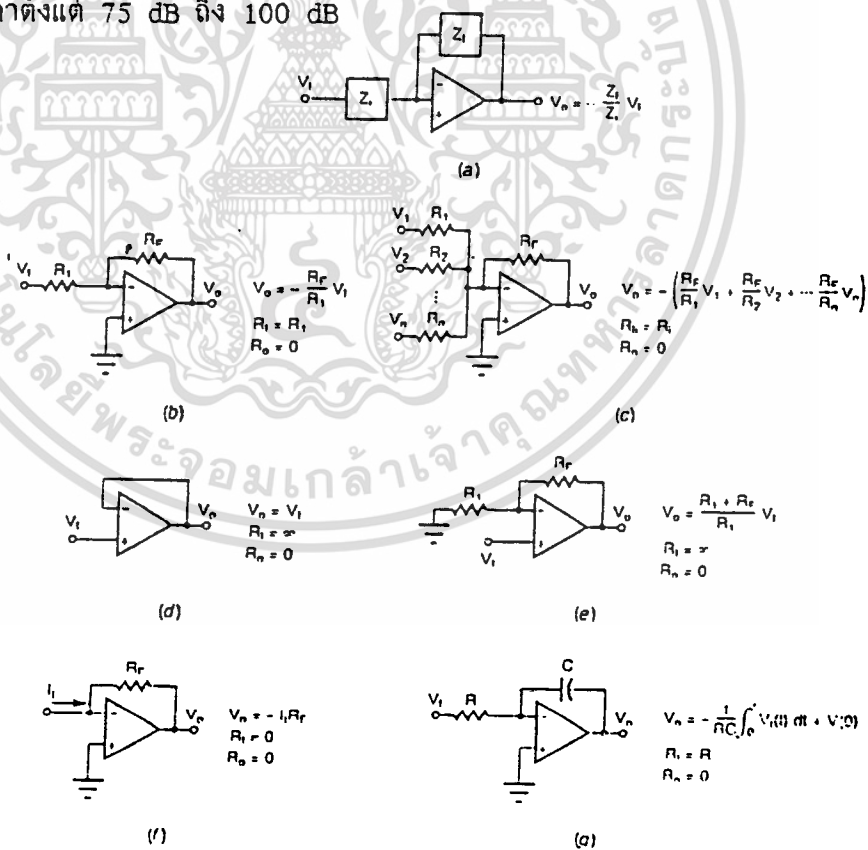
สัญญาณผลต่างระหว่างขั้วเข้าทั้งสอง V_{id} จะทำให้เกิดแรงดันที่ขั้วออก V_{od} และอัตราขยาย คือ

$$A_d = V_{od}/V_{id}$$

อัตราส่วนระหว่างอัตราขยายทั้งสอง คือ อัตราส่วนการขจัดสัญญาณโหมดรวม (Common-mode Rejection Ratio, CMRR)

$$CMRR = 20 \text{ LOG}_{10} A_d/A_c \text{ dB}$$

มักมีค่าตั้งแต่ 75 dB ถึง 100 dB



Common op-amp circuits. (a) Generalized circuit; (b) inverter; (c) inverter summer; (d) follower; (e) noninverter; (f) current-to-voltage converter; (g) integrator

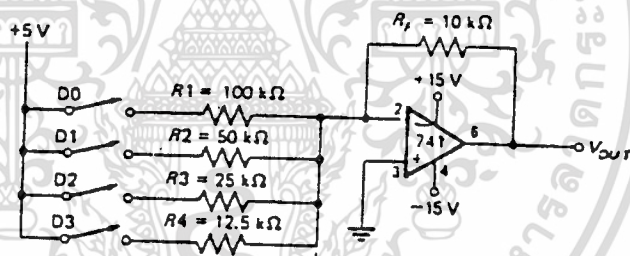
รูปที่ 2-2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาและการใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เท่านั้นไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1 การแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นอนาลอกหรือคิจูเอ (Digital to analog convertor)

2.2 แบบใช้ตัวต้านทานหลายค่า (Binary Weighted Resistor D/A converter)

วงจรเปลี่ยนสัญญาณดิจิทัล เอชดีนี้ใช้ตัวต้านทานต่างๆและออปแอมป์เพื่อเปลี่ยนระดับสัญญาณลอจิก 2 ระดับเป็นแรงดันที่ได้สัดส่วนกัน รูปที่ 2-3 แสดงวงจรเปลี่ยนสัญญาณดิจิทัลขนาด 4 บิต ออปแอมป์ที่ใช้มีอัตราขยายสูงมาก(โดยทั่วไปจะสูงกว่า 100,000 เท่า) มีความต้านทานด้านเอาต์พุตต่ำ ความต้านทานด้านอินพุตมีค่าสูงมาก สิ่งสำคัญที่สุดที่จะต้องตระหนักไว้ก็คือ สัญญาณที่เอาต์พุตถูกป้อนกลับมายังอินพุตแบบกลับเฟส (การป้อนกลับแบบลบ) เพื่อเปรียบเทียบกับสัญญาณที่ขาอินพุตแบบไม่กลับเฟส เอาต์พุตของออปแอมป์จะเป็นตัวจ่ายหรือรับกระแส (Source or sink) เพื่อให้แรงดันที่เปรียบเทียบกันนั้นมีค่าเดียวกัน วงจรในรูปที่ 2-3 ต่อขาไม่กลับเฟสลงกราวด์ ดังนั้นที่ขากลับเฟสก็จะมีแรงดัน 0 โวลต์ด้วย การที่อินพุตที่ขากลับเฟสเป็น 0 โวลต์ด้วยโดยไม่ได้ต่อลงกราวด์โดยตรง จึงถูกเรียกว่า กราวด์เทียม(virtual ground)



รูปที่ 2-3

วงจรคิจูเอแบบใช้ตัวต้านทานหลายค่า

มาตรฐานตอนที่สวิตช์ D0 บิต ตัวต้านทาน R1 ค่า 100 กิโลโห์ม จะมีแรงดัน 5 โวลต์ ที่ปลายข้างหนึ่ง อีกข้างหนึ่งเป็น 0 โวลต์(กราวด์เทียม) จากกฎของโห์มจะมีแรงดันตกคร่อม 5 โวลต์ ซึ่งให้กระแสไหลผ่าน 0.05 มิลลิแอมป์ กระแสนี้ไม่อาจเข้าไปยังอินพุตของออปแอมป์ได้ เนื่องจากออปแอมป์มีความต้านทานอินพุตสูงมาก และไม่สามารถส่งหรือรับกระแสมากๆได้ ดังนั้นกระแส 0.05 มิลลิแอมป์ จึงต้องไหลผ่านไปยังเอาต์พุต โดยผ่านตัวต้านทานป้อนกลับ R_F 10 กิโลโห์ม จะได้แรงดันเอาต์พุตเท่ากับ (10 กิโลโห์ม) * (-0.05 มิลลิแอมป์) = -0.5 โวลต์ เพื่อรับกระแสผ่านสวิตช์ D0 และรักษาสภาวะกราวด์เทียมไว้ แต่ถ้าหากยังสงสัยในภาวะกราวด์เทียมก็ลองวาดเป็นวงจรดิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่มีแรงดันข้างหนึ่งซึ่ง +5V ที่ 5 โวลต์ ตรงกลางเป็น 0 โวลต์ และอีกปลายข้างหนึ่งมีค่าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่า -0.5 โวลท์

เมื่อเปิดวงจรที่สวิตช์ D0 และปิดวงจรที่สวิตช์ D1 (ขณะที่ R2 มีค่าเป็นครึ่งหนึ่งของ R1) กระแสเพิ่มเป็น 2 เท่า หรือ 0.1 มิลลิแอมป์ ไหลผ่าน R_F , กราวด์ เทียมและ R2 ทำให้แรงดันเอาต์พุต -1 โวลท์ ต่อไปก็ปิดวงจรทั้งที่ D0 และ D1 จะได้กระแส 0.05 มิลลิแอมป์ ไหลผ่าน R1 และ 0.1 มิลลิแอมป์ ไหลผ่าน R2 รวมกระแส 0.15 มิลลิแอมป์ ได้แรงดันเอาต์พุต -1.5 โวลท์

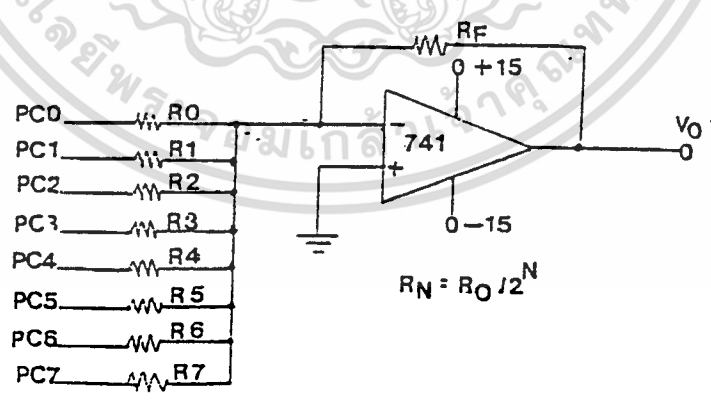
เมื่อเปลี่ยนการปิดเปิดสวิตช์ไปเรื่อยๆ จะได้แรงดันเอาต์พุตค่าต่างๆกันกระแสที่ผ่านสวิตช์แต่ละตัวจะถูกรวมกันที่จุดกราวด์เทียม แล้วเปลี่ยนเป็นแรงดันที่เอาต์พุต โดยตัวต้านทานในป้อนกลับ R_F

แรงดันเอาต์พุตจะเพิ่มขึ้นเป็นระดับๆเหมือนขั้นบันได ดังนั้น 4 บิต จึงได้ 15 ระดับ แต่ละระดับต่างกัน -1.5 โวลท์ อาจกำหนดระยะห่างของแต่ละระดับได้โดยเปลี่ยนขนาด R_F แต่ถ้า R_F มีค่ามากเกินไประดับบนสุดจะขยับออปแอมป์ถึงจุดอิ่มตัว (ที่แรงดัน -14 โวลท์)

ข้อเสีย

เมื่อวงจรดีทิวเอ มีขนาดมากกว่า 4 บิต วงจรตามรูป 2-3 จะเกิดปัญหา เนื่องจากต้องการความต้านทานที่มีช่วงกว้างมาก

การต่อพ่วงไมโครคอนโทรลเลอร์



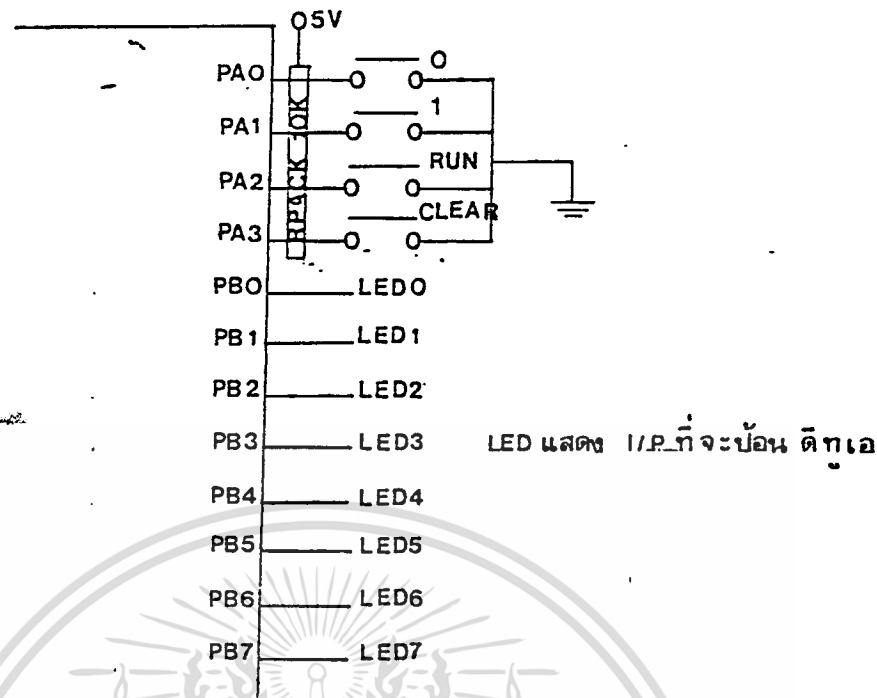
รูปที่ 2-4 วงจรการแปลงดีทิวเอแบบใช้ตัวต้านทานหลายค่า ขนาด 8 บิต

$$|V_O| \leq V_{SAT} (14V)$$

$$|V_O MAX| = \frac{5 \cdot R_F}{R_0} (1+2+4+8+16+32+64+128) \leq 14$$

เลือก R_F = 10K, R₀ = 920 K

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่ควรนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรรมใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

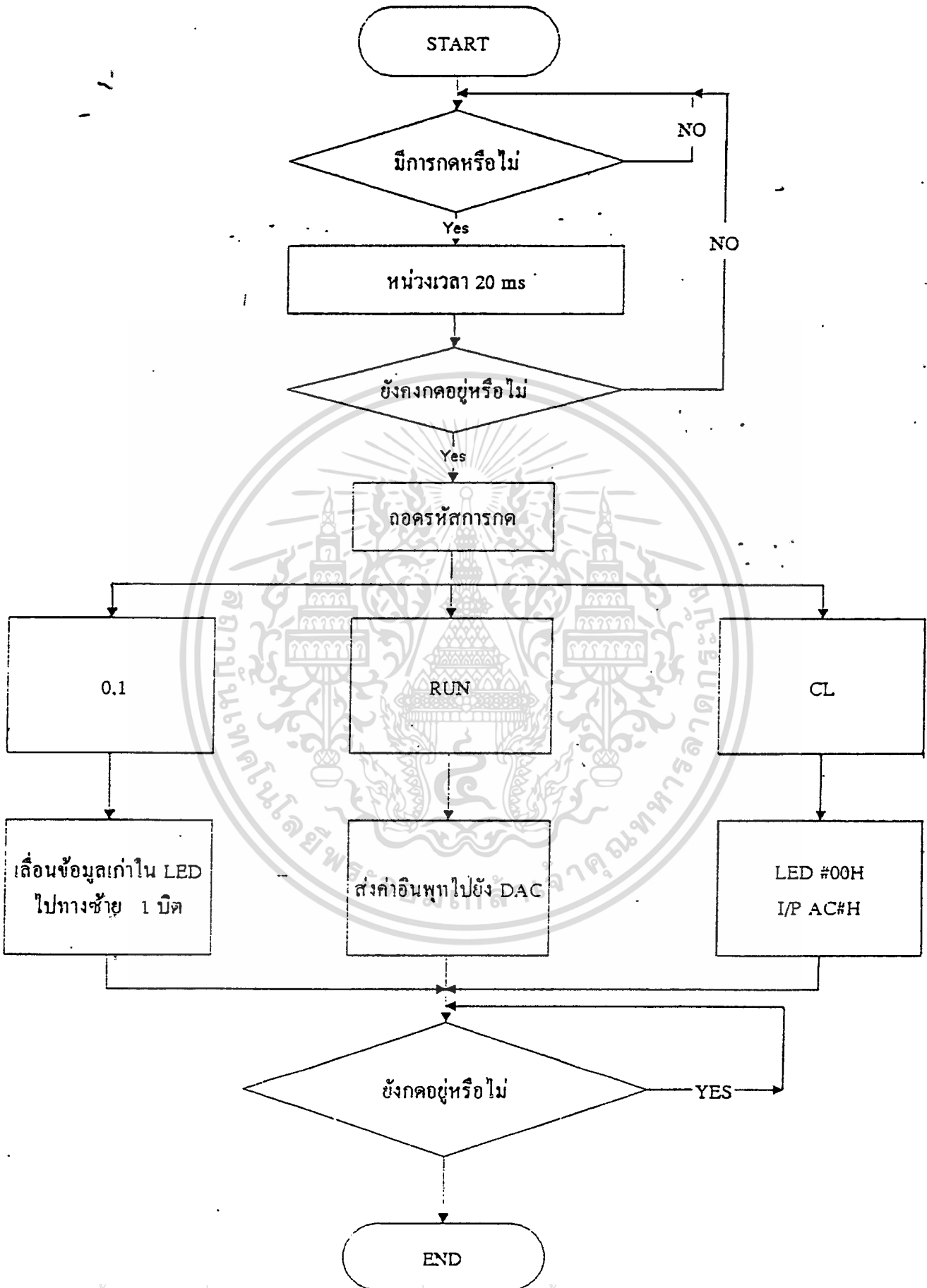


รูปที่ 2-5 แสดงการต่อสวิตช์กดติดบล็อยดับและ LED เข้ากับ PIA(8255)

วงจรควบคุมการส่งค่า I/P จากไมโครโปรเซสเซอร์ไป DAC ใช้ PA ของ 8255 รับค่าจากสวิตช์กดติดบล็อยดับ ดังตัวอย่าง

ครั้งที่	กด	LED 7	LED 6	LED 5	LED 4	LED 3	LED 2	LED 1	LED 0
1	1	0	0	0	0	0	0	0	1
2	0	0	0	0	0	0	0	1	0
3	1	0	0	0	0	0	1	0	1
4	1	0	0	0	0	1	0	1	1
5	0	0	0	0	1	0	1	1	0
6	0	0	0	1	0	1	1	0	0
7	1	0	1	0	1	1	0	0	1
8	0	1	0	1	1	0	0	1	0
	1	1	0	1	1	0	0	1	1
	RUN	ส่งค่า I/P ไป ดิจิตอล							
	CLEAR	0	0	0	0	0	0	0	0

รูปที่ 2-6 แสดงตัวอย่างการกดสวิตช์เพื่อเป็นอินพุทป้อนนาฬิกาดิจิตอล



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 รูปที่ 2-7 ผังโปรแกรม
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

CONTP EQU    0FC03H
PORTA EQU    0FC00H;I/P
PORTB EQU    0FC01H;DRIVE LED
PORTC EQU    0FC02H;DRIVE DAC
DMSEC EQU    003FH

ORG 8000H;

MOV DPTR,#CONTP;
MOV A,#90H;
MOVX @DPTR,A;
MOV DPTR,#PORTB;
CLR A;
MOVX @DPTR,A;
MOV R0,#00;
MOV R1,#00;
START:ACALL SCAN;
      JZ START;
      ACALL DELAY ;
      ACALL SCAN ;
      JZ START;
      ACALL DECODE;
      MOV R1,A ;
      RL A;
      MOV DPTR,#CONDITION ;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

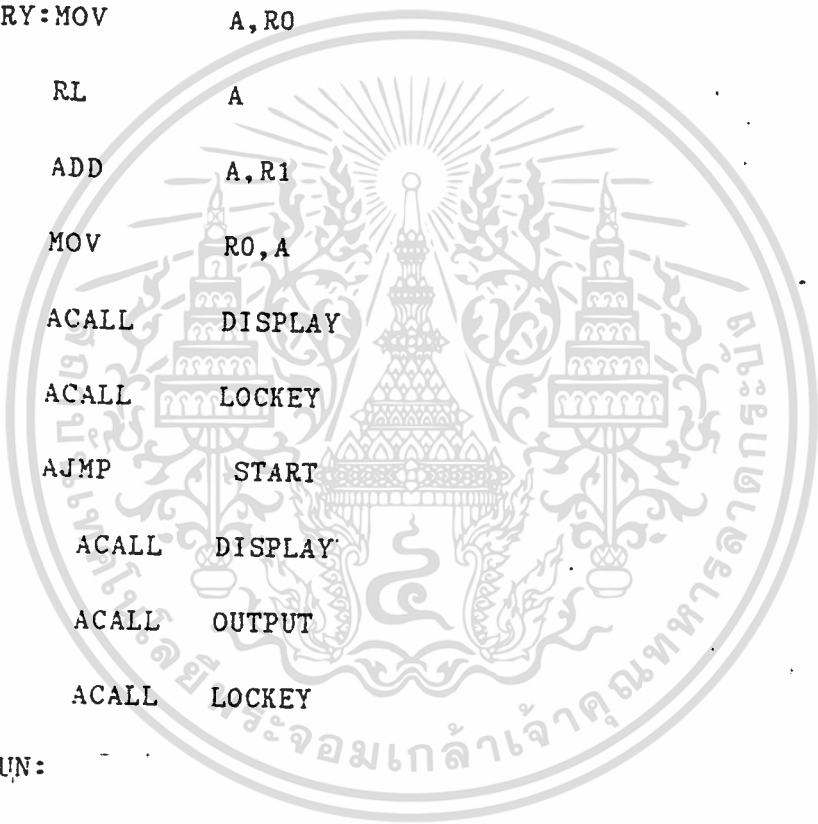
```

    JMP      @A+DPTR
CONDITION: AJMP   ENTRY
            AJMP   ENTRY
            AJMP   RUN
            AJMP   CL

ENTRY: MOV    A, R0
        RL    A
        ADD   A, R1
        MOV   RO, A
        ACALL DISPLAY
        ACALL LOCKEY
        AJMP  START
RUN:    ACALL DISPLAY
        ACALL OUTPUT
        ACALL LOCKEY

SUBRUN:
        ACALL SCAN
        JZ    SUBRUN
        ACALL DELAY
        ACALL SCAN
        JZ    SUBRUN
        ACALL DECODE
        CJNE A, #03, SUBRUN

```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    AJMP      START
CE:   MOV     R0,#00
      MOV     R1,#00
      ACALL   DISPLAY
      ACALL   OUTPUT
      ACALL   LOCKEY
      AJMP   START
LOCKEY: ACALL  SCAN
      JNZ    LOCKEY
      RET
SCAN:  MOV     DPTR,#PORTA
      MOVX   A,@DPTR
      CPL   A
      RET
DECODE: DEC   A ;
      CJNE  A,#03,FIND7
      DEC   A
      SJMP  RETURN
FIND7: CJNE  A,#07,RETURN
      SUBB  A,#04
      RETURN: RET
DISPLAY: MOV   DPTR,#PORTB
      MOV   A,R0

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

MOVX    @DPTR,A

RET

OUTPUT:MOV    DPTR,#PORTC

MOV     A,R0

MOVX    @DPTR,A

RET

DELAY:  PUSH    ACC

        PUSH    02H

        PUSH    03H

        MOV     R2,#20

        LCALL   DMSEC

        POP     03H

        POP     02H

        POP     ACC

        RET

END

```

2.1.2 แบบใช้ตัวต้านทาน 2 ค่า (R/2R Ladder D/A Converter)

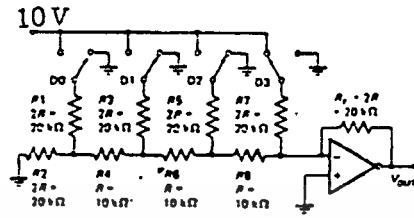
เมื่อวงจรดิจิทัลเอ มีขนาดมากกว่า 4 บิต วงจรตามรูปที่ 2-3 จะเกิดปัญหา เนื่องจากต้องการค่าความต้านทานที่มีช่วงกว้างมาก วิธีที่ใช้หลักการไบนารีเวตเหมือนกัน แต่ใช้ความต้านทานเพียง 2 ค่า แสดงในรูปที่ 2-8 ก. ซึ่งกระแสจะถูกเปลี่ยนค่าแรงดันโดยออปแอมป์และตัวต้านทานบ่อนกลับ R_F เหมือนวงจรใน รูปที่ 2-3 วิธีนี้เรียกว่าการใช้ความต้านทาน 2 ค่า

สังเกตให้ดี หลักการความต้านทาน 2 ค่า ดูใกล้เคียงกับกฎของเกียร์โฮฟ เพียงแต่ว่าค่าความต้านทานที่ใช้เป็นอัตรา ส่วนที่ทำให้คำนวณได้ง่าย แรกเราสมมุติว่าสวิตช์ D_3 ซึ่งเป็นสวิตช์ในบิตที่มีนัยสำคัญสูงสุดนั้นต่อกับแรงดันอ้างอิง 5 โวลต์ ในขณะที่สวิตช์ตัวอื่นปิดลงกราวด์ ดังนั้น R_1 และ R_2 จึงต่อขนานกันลงกราวด์ สังเกตตัวต้านทาน $2R$ ต่อขนานกับ $2R$ อีกตัวหนึ่งจึงมีค่าเท่ากับ R ค่า R นี้จะถูกบวกกับ R_4 กลายเป็นค่า $2R$ แล้วขนานกันกับ R_3 ลงกราวด์ การรวมของ R_3 และตัวต้านทานก่อนหน้าจึงทำให้เหลือเพียงค่า R ต่ออนุกรมกับ R_6 พิจารณา เช่นเดียวกันกับวงจรส่วนที่เหลือก็จะได้เป็นวงจรง่ายขึ้น ดังในรูปที่ 2-8 ข.

โดยเหตุที่กราวด์เทียบของออปแอมป์มีแรงดัน 0 โวลต์ ทำให้ไม่มีกระแสไหลผ่านค่าความต้านทานเหล่านี้ลงกราวด์จึงไม่ต้องสนใจส่วนนี้ ดังนั้น แรงดัน 5 โวลต์ ที่ปลายข้างหนึ่งของ R_7 ค่า 20 กิโลโห์ม ทำให้มีกระแส 0.25 มิลลิแอมป์ ผ่านจุดที่ต่อและผ่าน R_F 20 กิโลโห์ม แรงดันเอาต์พุตที่ได้จากบิตที่มีนัยสำคัญสูงสุดจึงมีค่า -5 โวลต์

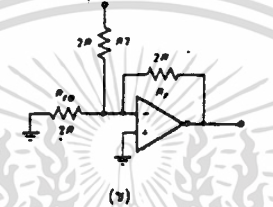
แรงดันที่ได้จากบิตที่มีนัยสำคัญรองลงมาก็หาได้โดยปิดสวิตช์ D_2 ไปยัง +5 โวลต์ และ D_3 ลงกราวด์ ตัวต้านทานทั้งหมดที่อยู่ทางซ้ายของ R_5 ในรูปที่ 2-8 ก. ลดรูปลงเหลือเพียง $2R$ ต่อลงกราวด์ การวิเคราะห์วงจรสามารถนำทฤษฎีของเทวินินมาใช้ได้ โดยมีการแบ่งแรงดันระหว่าง R_5 และ $2R$ ที่ต่อลงกราวด์ ดังรูปที่ 2-8 ก. แรงดันของเทวินินคือ แรงดันที่รอยต่อหรือ 2.5 โวลต์ ตัวต้านทานเทวินินมีค่าเท่ากับตัวต้านทาน 2 ตัวต่อขนานกัน (หรือ R) อนุกรมที่อยู่ทางด้านซ้ายของ R_6 สามารถลดรูปได้เหลือค่า R ต่อกับ 2.5 โวลต์ เราสามารถละทิ้ง R_7 ได้เพราะจุดปลายทั้งสองค่าต่อลงกราวด์ ค่า ความต้านทานรวมระหว่างที่จุดรวม (จุดกราวด์เทียบ) และ แรงดันเทวินินคือ $2R$ หรือ 20 กิโลโห์ม กระแสที่จุดรวมคือ 2.5 โวลต์ หรือ 0.125 มิลลิแอมป์ กระแสที่ผ่าน R_F 20 กิโลโห์ม ทำให้เกิดแรงดันเอาต์พุต -2.5 โวลต์ (สำหรับบิตที่มีนัยสำคัญถัดมา)

1.25 ไรลท์ และที่ค่าดิจิตอลต่ำสุดได้ 0.625 ไรลท์ ในขณะที่ค่าดิจิตอลสูงสุด(สวิตช์ทุกตัว

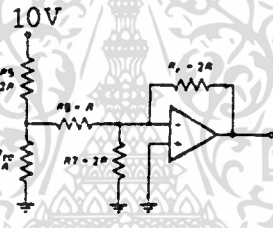


(ก)

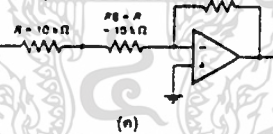
10V



(ข)



(ค)



(ง)

รูปที่ 2-8

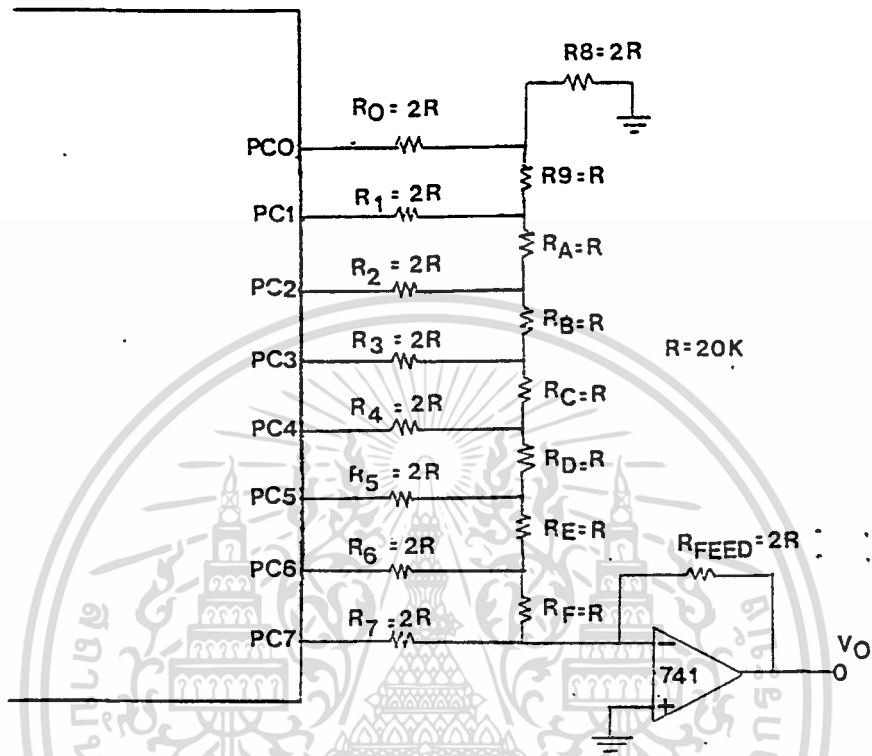
วงจรเปลี่ยนสัญญาณแบบ R/2R แลตเตอร์

- ก. วงจรสมบูรณ์
- ข. วงจรเสมือนในขณะที่สวิตช์ของบิตที่มีนัยสำคัญสูงสุดปิด
- ค. วงจรเสมือนในขณะที่สวิตช์ของบิตที่มีนัยสำคัญรองลงมาปิด

ต่อไบต์ 10V ไรลท์) ได้เอาท์พุทเต็มสเกลคือ 9.375 ไรลท์

แม้ว่าดีพิวเอ คอนเวอร์เตอร์ แบบ R/2R แลตเตอร์ จะวิเคราะห์ยากกว่าแบบใช้ตัวต้านทานหลายค่า (Weighted resistor) แต่จะง่ายกว่าสำหรับการต่อวงจรที่ถูกต้อง เพราะใช้ค่าความต้านทานเพียง 2 ค่าเท่านั้น จำนวนนับ 4 บิตที่เป็น TTL หรือ CMOS อาจนำมาต่อแทนตำแหน่งของสวิตช์ในวงจรรูป 2-8 ก. เพื่อให้แรงดันเอาท์พุทเป็นขั้นบันไดได้

การต่อพวงไมโครคอนโทรลเลอร์

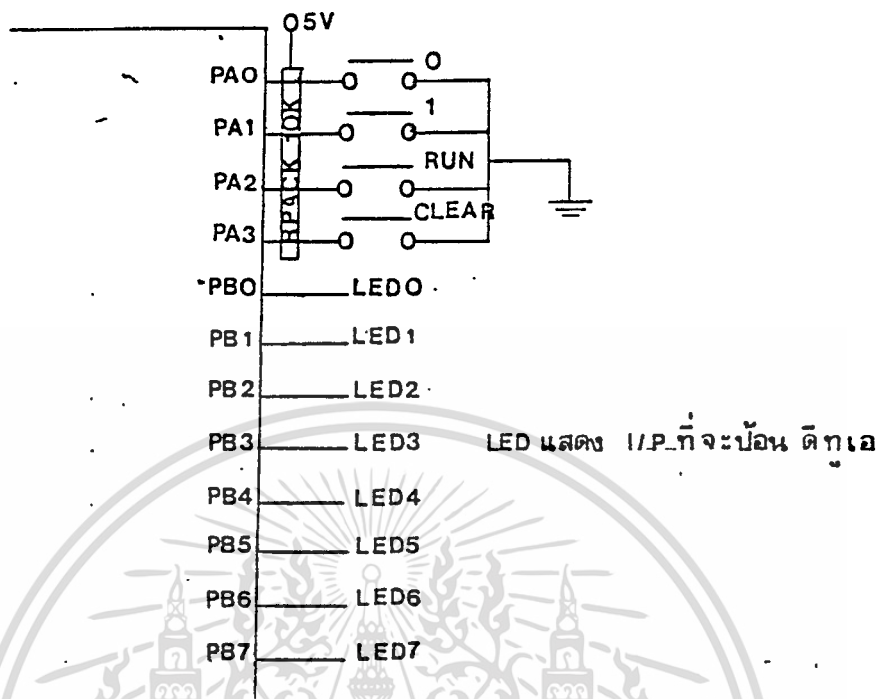


รูปที่ 2-9 แสดงการต่อวงจรดีทิวเอแบบ R/2R LADDER เข้ากับ (8255)

ตัวอย่างการคำนวณ

PC7-PC0	V_O
10000000	$= -[(5/2)+(0/4)+(0/8)+(0/16)+(0/32)+(0/64)+(0/128)+(0/256)]$ $= -2.5V$
00000001	$= -[(0/2)+(0/4)+(0/8)+(0/16)+(0/32)+(0/64)+(0/128)+(1/256)]$ $= -0.0195V$
11111111	$= -[(5/2)+(5/4)+(5/8)+(5/16)+(5/32)+(5/64)+(5/128)+(5/256)]$ $= -4.98V$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

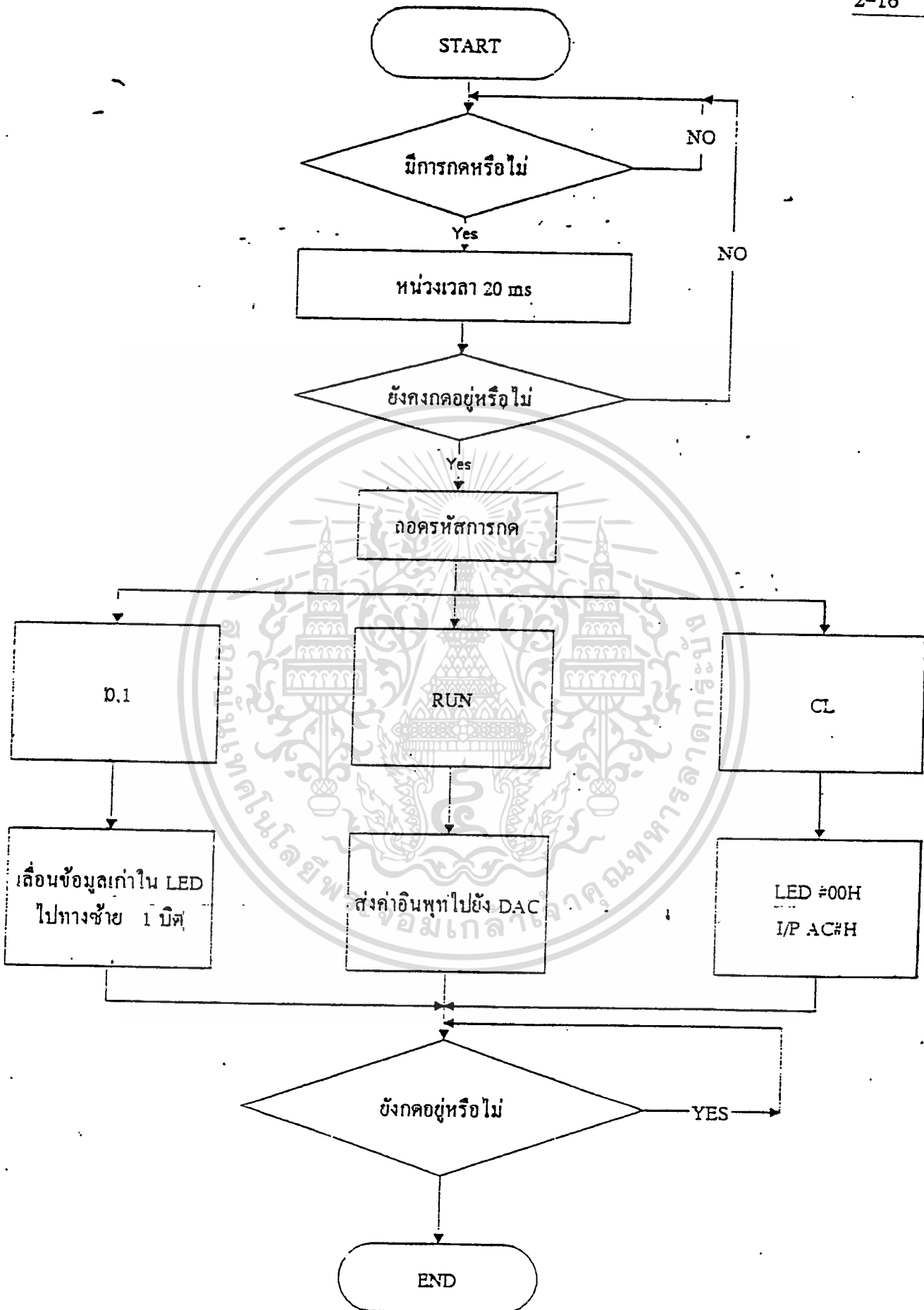


รูปที่ 2-10 แสดงการต่อสวิตช์กดติดบดปล่อยดับและ LED เข้ากับ PIA
 วงจรควบคุมการส่งค่าจากไมโครโปรเซสเซอร์ไปดีทิวเอไอ PA ของ 8255 รับค่า
 จากสวิตช์กดติดบดปล่อยดับ ดังตัวอย่าง

ครั้งที่	กด	LED 7	LED 6	LED 5	LED 4	LED 3	LED 2	LED 1	LED 0
1	1	0	0	0	0	0	0	0	1
2	0	0	0	0	0	0	0	1	0
3	1	0	0	0	0	0	1	0	1
4	1	0	0	0	0	1	0	1	1
5	0	0	0	0	1	0	1	1	0
6	0	0	0	1	0	1	1	0	0
7	1	0	1	0	1	1	0	0	1
8	0	1	0	1	1	0	0	1	0
	1	1	0	1	1	0	0	1	1
	RUN	ส่งค่า I/P ไป ดีทิวเอ							
	CLEAR	0	0	0	0	0	0	0	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

รูปที่ 2-11 แสดงตัวอย่างการกดสวิตช์และผลจากการกด
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่ต่อผู้อื่นโดยเด็ดขาด และต้องยังอ้างอิงถึงชื่อเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับรูปที่ 2-10 แผนผังโปรแกรม DAC อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2-11 แสดงโปรแกรม

```

CONTP EQU    0FC03H
PORTA  EQU    0FC00H;I/P
PORTB  EQU    0FC01H;DRIVE LED
PORTC  EQU    0FC02H;DRIVE  DAC
DMSEC  EQU    003FH

ORG    8000H;

MOV    DPTR,#CONTP;
MOV    A,#90H;
MOVX   @DPTR,A;
MOV    DPTR,#PORTB;
CLR    A;
MOVX   @DPTR,A;
MOV    R0,#00;
MOV    R1,#00;
START:ACALL  SCAN;

      JZ    START;

      ACALL  DELAY ;

      ACALL  SCAN ;

      JZ    START;

      ACALL  DECODE;

      MOV   R1,A ;

      RL   A;

      MOV   DPTR,#CONDITION ;

```

```

        JMP      @A+DPTR
CONDITION:AJMP  ENTRY
        AJMP    ENTRY
        AJMP    RUN
        AJMP    CL

ENTRY:MOV      A,RO
        RL      A
        ADD     A,R1
        MOV     RO,A
        ACALL   DISPLAY
        ACALL   LOCKEY
        AJMP    START
RUN:    ACALL   DISPLAY
        ACALL   OUTPUT
        ACALL   LOCKEY

SUBRUN:
        ACALL   SCAN
        JZ      SUBRUN
        ACALL   DELAY
        ACALL   SCAN
        JZ      SUBRUN
        ACALL   DECODE
        CJNE   A,#03,SUBRUN

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



```

      AJMP      START
CL:   MOV      R0, #00
      MOV      R1, #00
      ACALL   DISPLAY
      ACALL   OUTPUT
      ACALL   LOCKEY
      AJMP      START
LOCKEY: ACALL   SCAN
      JNZ     LOCKEY
      RET
SCAN:  MOV     DPTR, #PORTA
      MOVX   A, @DPTR
      CPL   A
      RET
DECODE: DEC   A ;
      CJNE  A, #03, FIND7
      DEC   A
      SJMP  RETURN
FIND7: CJNE  A, #07, RETURN
      SUBB  A, #04
RETURN: RET
DISPLAY: MOV  DPTR, #PORTB
      MOV  A, R0

```

```

MOVX    @DPTR,A
RET

OUTPUT:MOV    DPTR,#PORTC

MOV     A,R0
MOVX    @DPTR,A
RET

DELAY:  PUSH   ACC
        PUSH   02H
        PUSH   03H
        MOV    R2,#20
        LCALL  DMSEC
        POP    03H
        POP    02H
        POP    ACC
        RET

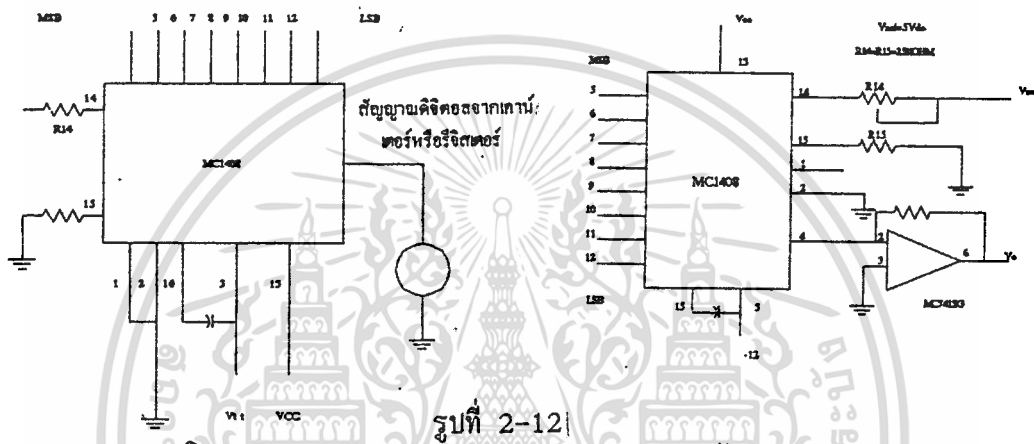
END

```

2.1.3 การรชาติคูณเอทวีกุณสัญญาณ(Multiplying D/A)

วงจรเปลี่ยนสัญญาณดิจิตเอ สามารถใช้เป็นวงจรทวีกุณสัญญาณ (multiplier) ได้ รดยปรับเปลี่ยนแรงดันอ้างอิง เอทพุทที่เป็นสัญญาณอนาลอกของดิจิตเอ เป็นสัดส่วนกับผล คูณของแรงดันอ้างอิงกับสัญญาณดิจิตอลทางอินพุท

จากวงจรที่2-12ข. ถ้าแรงดันอ้างอิงมีค่าลดลงจาก 5 โวลท์เหลือ2.5 โวลท์เอท พุท V_o สำหรับอินพุทค่าสูงสุด(11111111)ก็จะลดลงเหลือ 4.98 โวลท์ เป็นครึ่งหนึ่งของ เมื่อแรงดันอ้างอิงมีค่า 5โวลท์ ดังนั้นดิจิตเอทุกตัวจึงสามารถทำเป็นวงจรทวีกุณได้ อย่างไร



ก.

รูปที่ 2-12

ข.

ตัวอย่างการนำไปใช้งานอันหนึ่งของ MC 1408

- ก. มิเตอร์วัดกระแส
- ข. ดิจิตเอคอนเวอร์เตอร์

ก็ตามหากใช้ดิจิตเอธรรมดา การทวีกุณสัญญาณจะมีข้อจำกัดของช่วงสัญญาณ

ดิจิตเอที่ถูกออกแบบไว้สำหรับ ำใช้ในการทวีกุณสัญญาณจะให้เอทพุทเป็นเชิงเส้นและ เปลี่ยนแปลงแรงดันอ้างอิงได้ในย่านกว้าง

ลักษณะสมบัติของดิจิตเอ

ลักษณะสมบัติอันแรกของการแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นอนาลอกที่จะพุดถึงก็คือความละ เียด(resolution) ซึ่งขึ้นกับจำนวนของบิตทางด้านอินพุท ตัวอย่างเช่น วงจรเปลี่ยน สัญญาณ 8 บิต มีระดับเอทพุท 2^8 หรือ 256 ระดับ ดังนั้นความละเอียดคือ 1 ใน 256 วงจรเปลี่ยนสัญญาณ 12 บิต มีความละเอียด 2^{12} หรือ 4096 ความละเอียด บางครั้งจะคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ คือ $1/4096 = 0.024\%$

ลักษณะสมบัติข้อต่อมาคือ ความถูกต้อง(accuracy) ของดิจิตเอ ความถูกต้อง

จากการเปรียบเทียบ ระหว่างเอทพุทจริงและเอทพุทที่ปรากฏ รดยคิดที่เต็มสเกล ถ้า

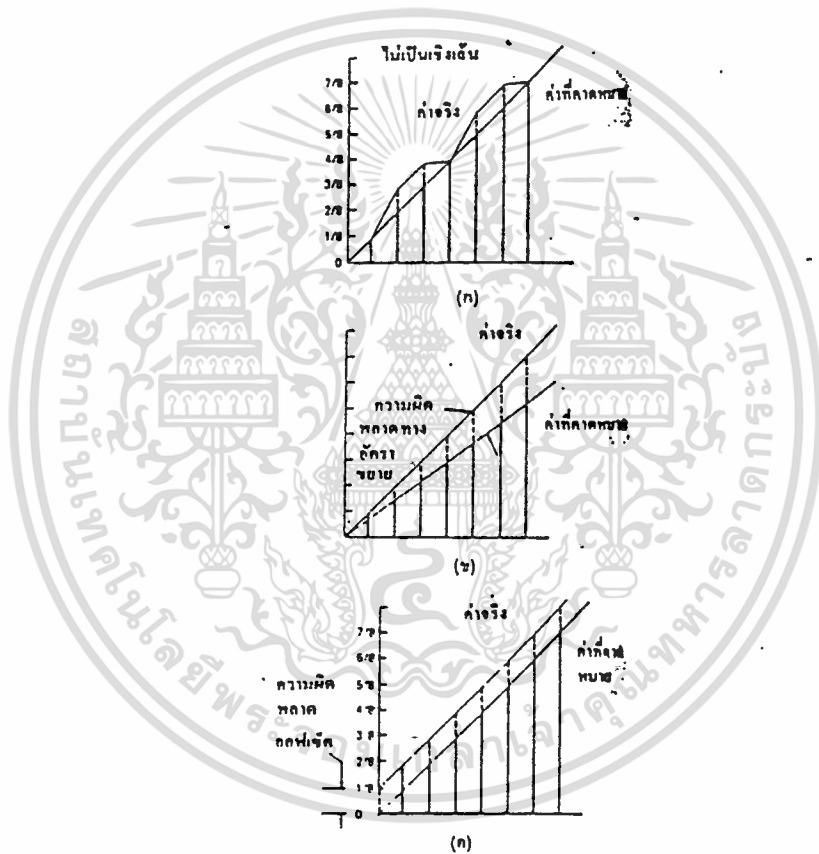
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้วย การค้า วงจรเปลี่ยนสัญญาณมีเอทพุทเต็มสเกล 10 โวลท์ มีความถูกต้อง $\pm 0.2\%$ ดังนั้น ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความผิดพลาดสูงสุดคือ 0.002×10 จิวท์ หรือ 20 มิลลิจิวท์ ในทางทฤษฎีแล้ว ความถูกต้องของวงจร เปลี่ยนสัญญาณดิจิทัลเป็นอนาลอกไม่ควรต่ำกว่า $\pm 2\%$ ของค่าที่ LSB (บิตที่มีนัยสำคัญต่ำสุด)

วงจรเปลี่ยนสัญญาณ 10 บิต มีความละเอียด $1/1024$ หรือประมาณ 0.1 % ความถูกต้องควรมีค่า $\pm 0.05\%$

ความผิดพลาดอาจเกิดขึ้นได้หลายประการ ในรูปที่ 2-13 แสดงไว้ 3 แบบ ดังนี้คือ

ความผิดพลาดเชิงเส้น (Linearity errors) ค่าจริงที่ได้จากเอาท์พุทจริงต่าง



รูปที่ 2-13

ความผิดพลาดที่เกิดขึ้นในการเปลี่ยนสัญญาณ

- ก. เชิงเส้น
- ข. อัตราขยาย
- ค. ออฟเซต

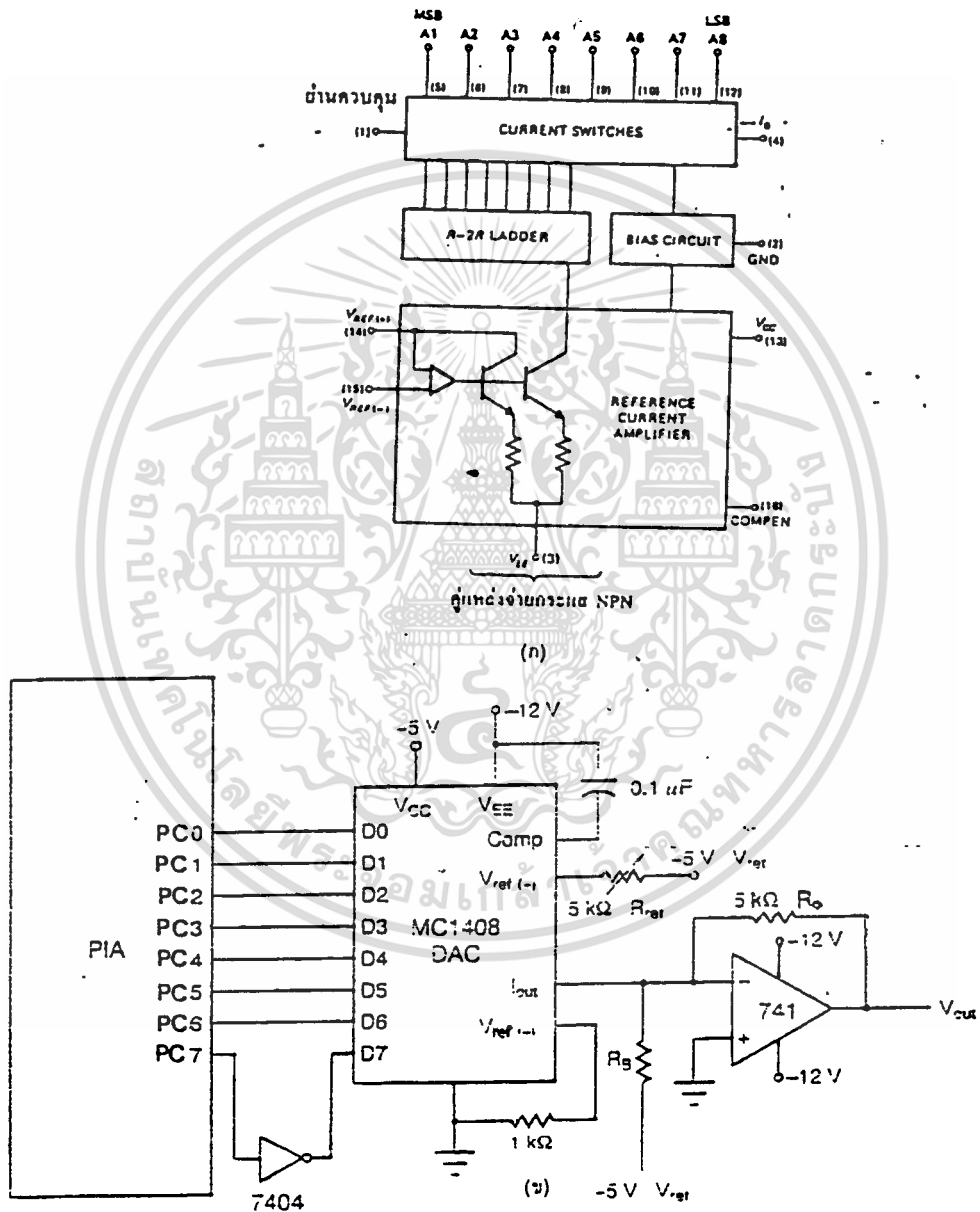
จากเอาท์พุทตามทฤษฎีที่ควรจะเป็นเส้นตรง ความผิดพลาดนี้มักจะมาจากความผิดพลาด

จากแหล่งจ่ายกระแสหรือค่าความต้านทาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ความผิดพลาดแบบที่สองคือ ความผิดพลาดทางอัตราขยาย (gain error) ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่ต่อผู้อื่น และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความผิดพลาดนี้มักเกิดจากความผิดพลาดของตัวต้านทานย้อนกลับของออปแอมป์ ที่ทำหน้าที่เปลี่ยนจากกระแสเป็นแรงดัน

ความผิดพลาดออฟเซต หรือ offset error คือ เมื่ออินพุตทุกตัวเป็นศูนย์แล้ว เอาท์พุตมีค่าแรงดันผิดพลาดค่าหนึ่งบวกกับค่าจริงอยู่ตลอดเวลา ดังในรูปที่ 2-13 ค. ความผิดพลาดนี้เกิดจากความผิดพลาดของการขยายของออปแอมป์ และกระแสรั่วไหลที่



รูปที่ 2-14

วงจรถ่ายเอา MC1408 ของรอมโรตรา

ก. บล็อกไดอะแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ส่วนตัวเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การสวิตช์

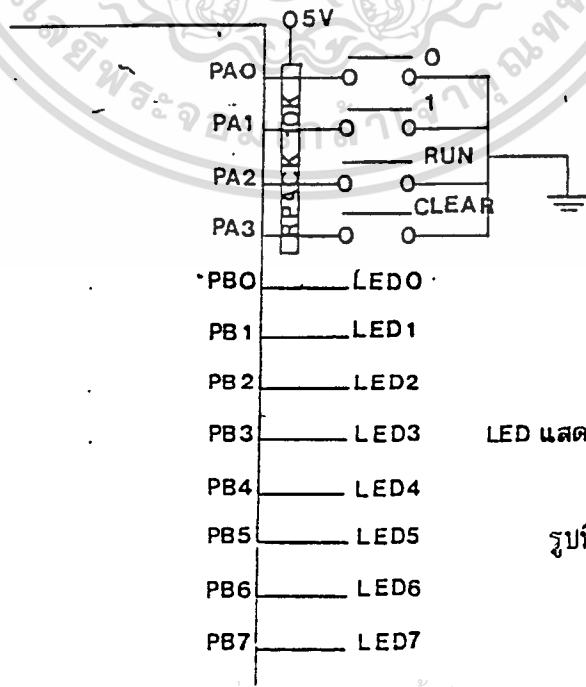
ลักษณะสมบัติต่อมาคือ รมรณโรทนิค(monotonicity) จะเรียกว่าเป็นรมรณโรทนิค ก็ต่อเมื่อไม่มีการกระโดดข้ามขั้นตลอดย่านการอ้างอิงงาน

ส่วนเวลาเซตเอาต์พุต (output setting time) เป็นเวลาที่เอาต์พุตของวงจรเปลี่ยนสัญญาณเข้าในการเพิ่มขึ้นถึง $\pm 1/2$ ของ LSB หลังจากมีการเปลี่ยนแปลงทางอินพุต ถ้าวงจรเปลี่ยนสัญญาณถูกอ้างอิงงานย่านความถี่สูง อาจทำให้มีการเพิ่มแรงดันไม่ถึงค่าที่ถูกต้อง ทำให้เกิดการผิดพลาดขึ้นได้อีกประการหนึ่ง

ตัวอย่างวงจรเปลี่ยนสัญญาณดิจิทัลเอมรณโรทนิคขนาด 8 บิต คือ MC1408 ซึ่งมีฟังก์ชันการทำงานดังแสดงในรูปที่ 2-14ก. 1408L เป็น DIP(Dual Inline Package) 16 ขา ใช้ $V_{CC} +5$ โวลท์ และ V_{EE} จาก -5 โวลท์ (ต่ำสุด) ถึง -15 โวลท์ (สูงสุด)

ใน 1408L R/2R แลคเคอร์ แบ่งกระแสที่ได้จากภาคขยายเป็น 8 ระดับขึ้นอยู่ กับค่าทางเลขฐานสอง (binary) ทรานซิสเตอร์แบบไบโพลาร์จะสวิตช์ให้กระแสที่ได้สอดคล้องกับอินพุต A1 ถึง A8 การเรียงจากบิตที่มีนัยสำคัญสูงสุดถึงบิตที่มีนัยสำคัญต่ำสุดจะกลับกันกับของวงจรรับทั่วๆไป แต่วงจรเปลี่ยนสัญญาณดิจิทัลเป็นอนาลอกบางตัวก็จะได้เรียงอย่างนี้ ดังนั้นควรอ่านคู่มืออย่างละเอียดถี่ถ้วนเสียก่อน

1408L มีกระแสเอาต์พุตที่สามารถเปลี่ยนเป็นแรงดันได้ด้วยออปแอมป์และตัวต้านทานดังแสดงในรูป 2-14ข. แรงดันนี้สามารถคำนวณโดยใช้สูตร



LED แสดง I/P. ที่ จะ บั๊น ดิจิตูเอ

รูปที่ 2-15

$$V_O = V_{REF}(R_O) [(PC7/2) + (PC6/4) + (PC5/8) + (PC4/16) + (PC3/32) + (PC2/64) + (PC1/128) + (PC0/256)] - V_{REF}(R_O/R_B)$$

เมื่อ $R_B/R_{REF} = 2$

PC7-PC0	$V_O(V)$
00000000	0
00000001	0.039
00000010	0.078
00000011	0.117
01111111	4.96
11111111	-0.039
11111110	-0.078
11111101	-0.117
10000000	-5.0

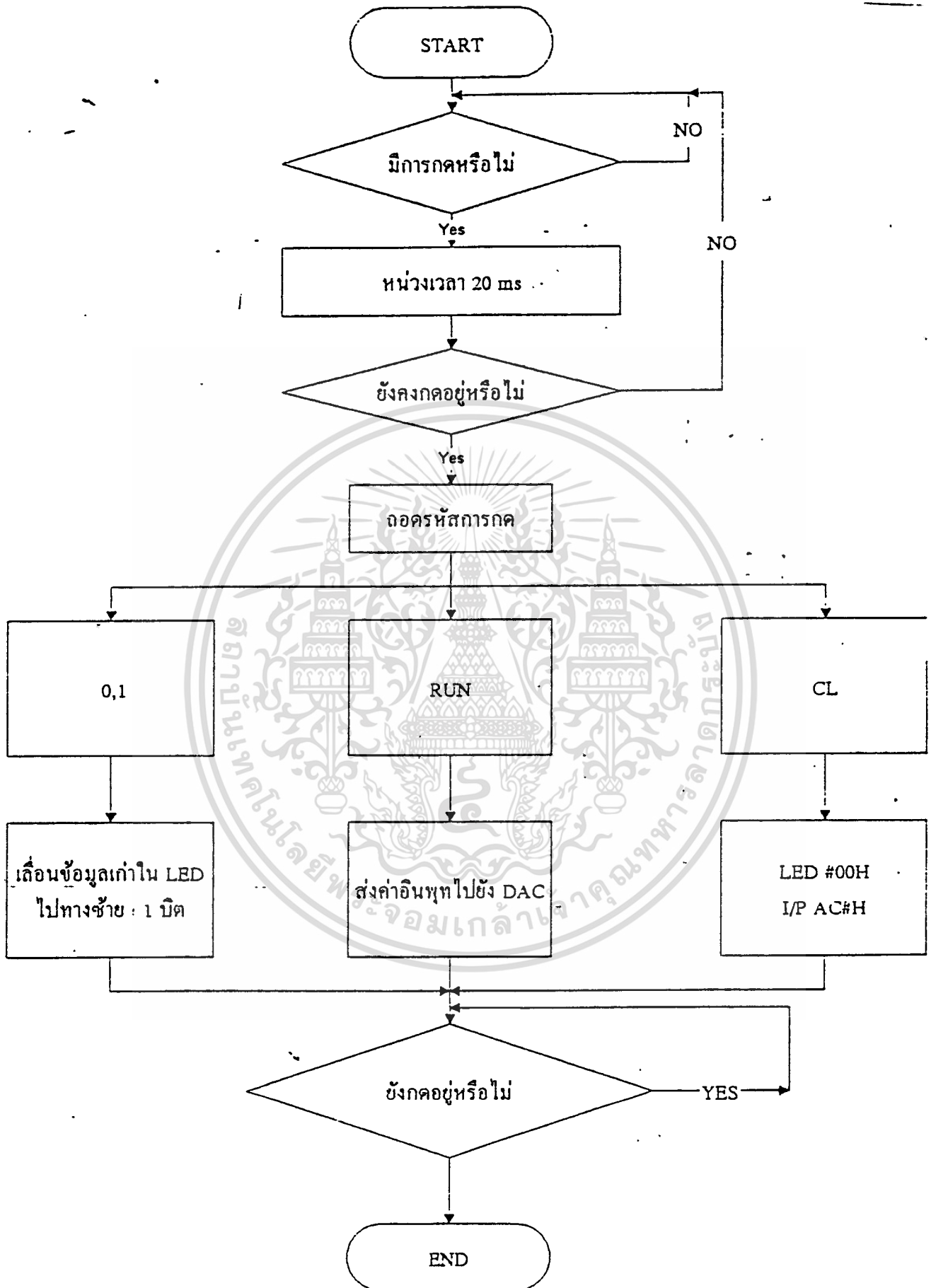
วงจรควบคุมการส่งค่า I/P จาก ไมโครโปรเซสเซอร์ ไป ดิจิตอล
ใช้ PA ของ 8255 รับค่าจากสวิตช์กดติดปล่อยดับ
ตัวอย่าง

ครั้งที่	กด	LED 7	LED 6	LED 5	LED 4	LED 3	LED 2	LED 1	LED 0
1	1	0	0	0	0	0	0	0	1
2	0	0	0	0	0	0	0	1	0
3	1	0	0	0	0	0	1	0	1
4	1	0	0	0	0	1	0	1	1
5	0	0	0	0	1	0	1	1	0
6	0	0	0	1	0	1	1	0	0
7	1	0	1	0	1	1	0	0	1
8	0	1	0	1	1	0	0	1	0
	1	1	0	1	1	0	0	1	1
	RUN	ส่งค่า I/P ไป ดิจิตอล							
	CLEAR	0	0	0	0	0	0	0	0

รูปที่ 2-16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์การใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2-17 แผนผังโปรแกรม DAC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

CONTR EQU 0FC03H
PORTA EQU 0FC00H;I/P
PORTB EQU 0FC01H;DRIVE LED
PORTC EQU 0FC02H;DRIVE DAC
DMSEC EQU 003FH

ORG 8000H;

MOV DPTR,#CONTR;
MOV A,#90H;
MOVX @DPTR,A;
MOV DPTR,#PORTB;
CLR A;
MOVX @DPTR,A;
MOV R0,#00;
MOV R1,#00;
START:ACALL SCAN;
      JZ START;
      ACALL DELAY ;
      ACALL SCAN ;
      JZ START;
      ACALL DECODE;
      MOV R1,A ;
      RL A;
      MOV DPTR,#CONDITION ;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        JMP      @A+DPTR
CONDITION:AJMP  ENTRY
        AJMP    ENTRY
        AJMP    RUN
        AJMP    CL

ENTRY:MOV      A,RO

        RL      A
        ADD     A,R1
        MOV     RO,A
        ACALL   DISPLAY
        ACALL   LOCKEY
        AJMP    START
RUN:     ACALL   DISPLAY
        ACALL   OUTPUT
        ACALL   LOCKEY

SUBRUN:

        ACALL   SCAN

        JZ      SUBRUN

        ACALL   DELAY
        ACALL   SCAN

        JZ      SUBRUN

        ACALL   DECODE

        CJNE   A,#03,SUBRUN

```

```

AJMP      START
CL:      MOV      R0, #00
          MOV      R1, #00
          ACALL   DISPLAY
          ACALL   OUTPUT
          ACALL   LOCKEY
          AJMP    START
LOCKEY:  ACALL   SCAN
          JNZ     LOCKEY
          RET
SCAN:    MOV     DPTR, #PORTA
          MOVX   A, @DPTR
          CPL    A
          RET
DECODE:  DEC     A ;
          CJNE  A, #03, FIND7
          DEC   A
          SJMP  RETURN
FIND7:   CJNE  A, #07, RETURN
          SUBB  A, #04
RETURN:  RET
DISPLAY: MOV     DPTR, #PORTB
          MOV    A, R0

```

```

MOVX    @DPTR,A
RET

OUTPUT:MOV    DPTR,#PORTC

MOV     A,R0

MOVX    @DPTR,A

RET

DELAY:  PUSH    ACC

        PUSH    02H

        PUSH    03H

        MOV     R2,#20

        LCALL   DMSEC

        POP     03H

        POP     02H

        POP     ACC

        RET

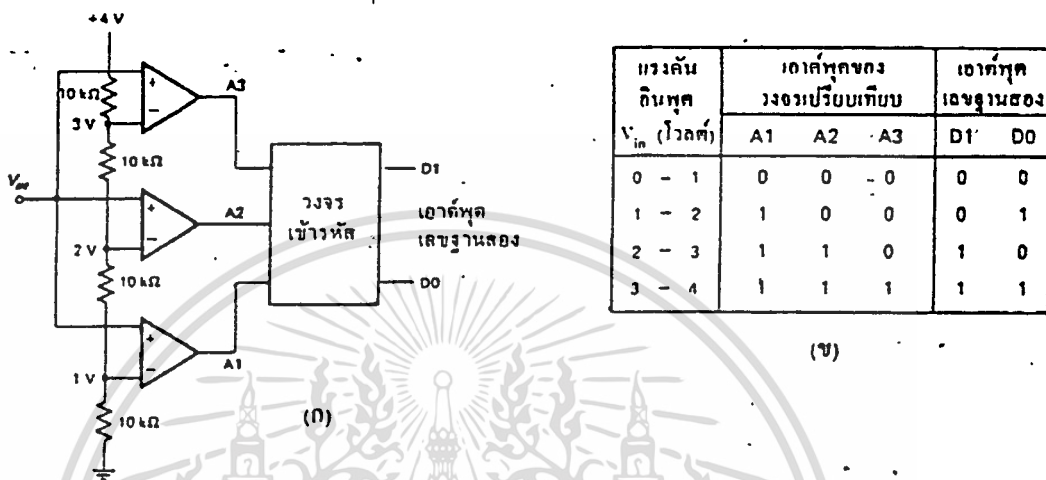
END

```

2.2 วงจรแปลงอนาลอกเป็นดิจิตอล (ANALOG TO DIGITAL CONVERSION)

2.2.1 แบบใช้วงจรเปรียบเทียบขนานหรือแบบ "แฟลช" (PARALLEL COMPARATOR SIMULTANEOUS "FLASH" A/D CONVERTOR)

วงจรเอทุดีแบบนี้ใช้หลักการง่าย ๆ อีกรั้งยังเป็นวิธีที่รวดเร็วที่สุด คือ ใช้



(ข)

(ก)

รูปที่ 2-18

(ก) แสดงการต่อวงจร PARALLEL COMPARATOR A/D CONVERTOR

(ข) ตารางความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันอินพุตที่เป็นอนาลอกกับเอาต์พุตที่เป็นดิจิตอล

วงจรเปรียบเทียบที่ต่อขนาน ดังรูปที่ 2-18ก. ประกอบด้วยออปแอมป์ที่ต่อเป็นวงจรเปรียบเทียบ และตัวต้านทานต่อไว้เพื่อแปลงแรงดันที่ขาอินพุตแบบกลับ (INVERTOR) ให้มีขนาดต่างๆกัน

จากหลักการของวงจรเปรียบเทียบทั่วไป เมื่อแรงดันอินพุตที่ขาอินพุตแบบไม่กลับ (NONINVERTING) มีค่าสูงกว่าที่ขาอินพุตแบบกลับ เอาต์พุตจะได้แรงดันค่าสูง ดูได้จากตารางที่ 2-18ข. จะเข้าใจยิ่งขึ้นว่าที่แรงดันค่าต่างๆมีผลต่อเอาต์พุตของวงจรเปรียบเทียบแต่ละตัวอย่างไรซึ่งเอาต์พุตที่ได้จากวงจรเปรียบเทียบนี้จะนำไปเข้ารหัสให้เป็นเลขฐานสองต่อไป

จำนวนของวงจรเปรียบเทียบ ที่ต้องใช้ในวงจรขึ้นอยู่กับขนาดของสัญญาณอนาลอกที่อินพุต

จากวงจรรูปที่ 2-18 ถ้าแรงดันอินพุตมีค่า 1 โวลท์ไม่เพียงพอที่จะทำให้อินพุตเปรียบเทียบตัวใดให้ค่าเอาต์พุตเป็น "HIGH" ไม่ว่าจะณใดทั้งนั้น อีกทั้งห้ามมิให้ตบสลับเงื่อนไข และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่แรงดันระหว่าง 2 ถึง 2 โวลต์ วงจรเปรียบเทียบที่มีระดับเทรชโฮลด์ (THRESHOLD) ต่ำสุด ก็จะทำให้เอาต์พุตเป็น "HIGH"

แรงดัน 2-3 โวลต์ วงจรเปรียบเทียบ ทั้ง A1 และ A2 ทำให้เอาต์พุตเป็น "HIGH" ถ้าแรงดันอินพุตมากกว่า 3 โวลต์ วงจรเปรียบเทียบก็จะให้เอาต์พุตเป็น "HIGH" ทั้งหมด

เมื่อต้องการวงจรที่มีความละเอียดสูง จำเป็นต้องใช้วงจรเปรียบเทียบเพิ่มขึ้น เช่น ถ้าต้องการความละเอียด 3 บิต ต้องใช้วงจรเปรียบเทียบ 7 ตัว ความละเอียด 4 บิต ต้องใช้วงจรเปรียบเทียบ 15 ตัว (16 ระดับ) โดยหาวงจรเปรียบเทียบได้จาก $2^N - 1$ เมื่อ N แทนจำนวนบิตหรือความละเอียดที่ต้องการ

จะเห็นได้ว่าที่ความละเอียด 8 บิต ต้องใช้วงจรเปรียบเทียบมากถึง 255 ตัว ซึ่งเป็นข้อเสียของวงจรเออูติแบบนี้

ข้อเสียอีกประการหนึ่งคือ เอาต์พุตที่ได้ไม่เป็นเลขฐานสอง ต้องมีวงจรเพิ่มเติมไปทำการเข้ารหัส

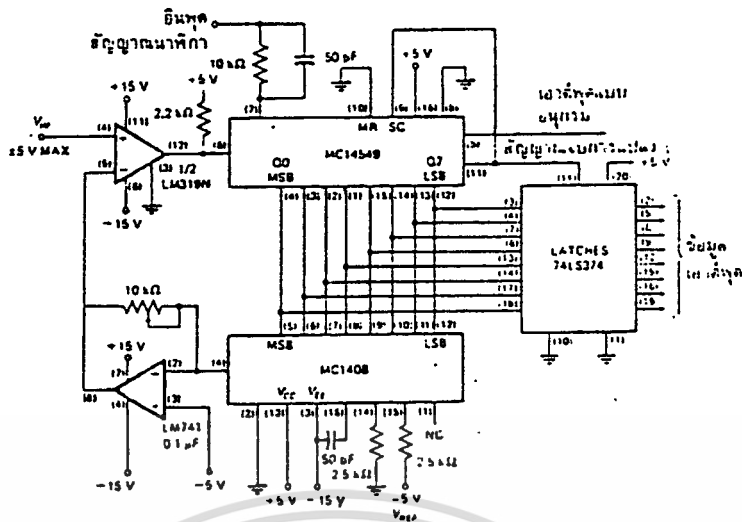
ข้อดีของวงจรเออูติแบบนี้คือความเร็วสูงมาก บางครั้งจึงเรียกวงจรเออูติแบบนี้ว่าแบบ "แฟลช" (FLASH TYPE A/D CONVERTER) วงจรเออูติชนิดนี้ใช้เวลาในการแปลงได้เร็วในระดับนาโนวินาทีเดียว

2.2.2 วงจรเปลี่ยนสัญญาณเออูติแบบใช้ประมาณค่า (SUCCESSIVE APPROXIMATION A/D CONVERTER)

วงจรเออูติแบบนี้มีข้อได้เปรียบทางด้านความละเอียด เพราะความละเอียด n บิต สามารถกำหนดได้จากสัญญาณนาฬิกา n ลูก ตัวอย่างเช่น วงจรแปลงขนาด 8 บิต ต้องการพัลส์ของสัญญาณนาฬิกาเพียง 8 ลูก ในขณะที่แบบใช้วงจรนับต้องใช้เวลาพัลส์ถึง 256 ลูก วงจร SA (SUCCESSIVE-APPROXIMATION) นี้แสดงไว้ ดังรูปที่ 1-19 หัวใจของวงจรก็คือ SUCCESSIVE-APPROXIMATION REGISTER (SAR) เช่น เบอร์ MC14549 ที่มีการทำงานดังต่อไปนี้

เมื่อเริ่มทำการเปลี่ยนสัญญาณ พัลส์ลูกแรกจะทำการส่งบิตที่มีนัยสำคัญสูงสุดไปยังดีทิวเอเบอร์ MC1408 โดย SAR จะรอสัญญาณจากวงจรเปรียบเทียบ LM319 ซึ่งทำการตรวจสอบว่าเอาต์พุตของวงจรดีทิวเอมากกว่าหรือน้อยกว่าแรงดันอินพุต V_{in} ถ้าเอาต์พุตของวงจรเปรียบเทียบมีระดับ "HIGH" เอาต์พุตของดีทิวเอจึงต่ำกว่า V_{in} -SAR จะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า การทำกำไร การเก็บบิตที่มีนัยสำคัญสูงสุดไว้ ถ้าเอาต์พุตของวงจรเปรียบเทียบเป็นระดับ "LOW" ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ฟังก์ชัน อื่นๆ ห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2-19 วงจรเปลี่ยนสัญญาณแอนะล็อกเป็นแบบ SUCCESSIVE APPROXIMATION

เอาต์พุตของดีพูเอจิงมากกว่า V_{in} -SAR จะทำการรีเซตบิตที่มีนัยสำคัญสูงสุดนั้น

พัลส์ลูกต่อมาก็จะทำงานเช่นเดียวกัน โดยบิตที่ได้คือ บิตที่มีนัยสำคัญรองลงมา SAR ทำงานแบบนี้ไปจนถึงบิตที่มีนัยสำคัญต่ำสุด แต่ละบิตที่ใช้สัญญาณนาฬิกาเพียงลูกเดียวครบทุกบิตแล้ว SAR ก็ทำการส่งสัญญาณ EOC (END OF CONVERSION) ออกไป

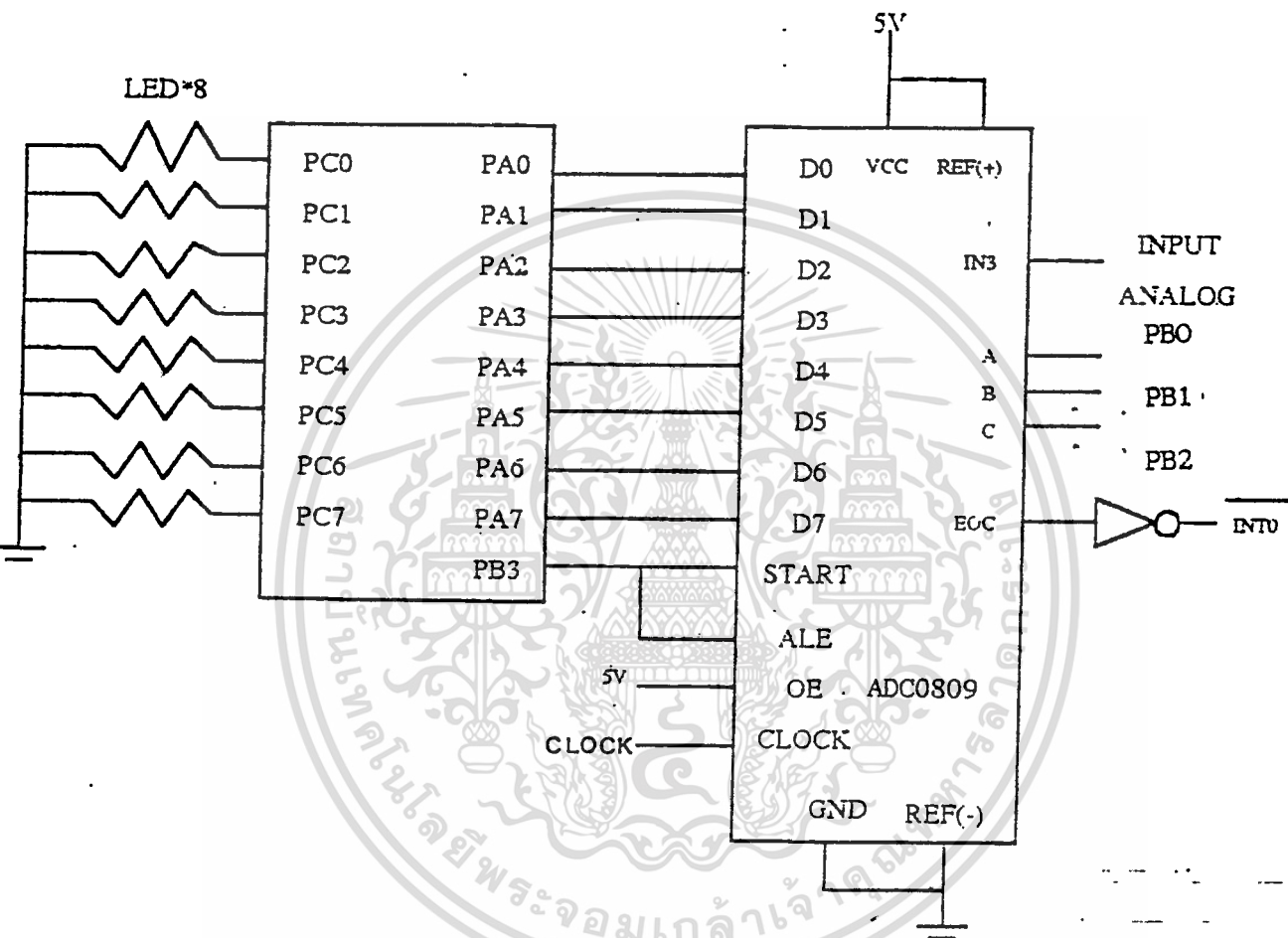
สัญญาณ EOC เป็นตัวบอกว่าสายสัญญาณเอาต์พุตที่ขนานกันมาทุกเส้นมีข้อมูลดิจิทัลของสัญญาณอินพุตครบถ้วนแล้ว ถ้าสัญญาณ EOC ถูกต่อไปยังอินพุตที่เป็นจุดเริ่มการเปลี่ยนสัญญาณการเปลี่ยนสัญญาณก็จะเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง

จากรูปวงจรที่ 2-19 ใช้แรงดันอินพุตสูงสุด ± 5 โวลต์ อินพุตแบบไม่กลับของออปแอมป์ที่ทำหน้าที่เปลี่ยนกระแสเป็นแรงดัน (CURRENT TO VOLTAGE CONVERTER) ต่อเข้ากับ -5 โวลต์ แทนที่จะต่อลงกราวด์เป็นการยกระดับแรงดันอนาลอกจาก -5 โวลต์ ถึง $+5$ โวลต์ แทน 0 ถึง 10 โวลต์ สัญญาณไฟสลัซชานี้จึงสามารถต่อโดยตรงเข้ากับอินพุตของเอพูตึงวงจรนี้ได้

ขา PA ของ 8255 รับค่าจากการแปลงของ ADC0809 โดยอาศัยอินเทอร์รัพท์ แล้วส่งค่าไปยัง PC เพื่อขับ LED เพื่อแสดงผลการแปลง

การทำงานก่อนอื่นต้องบ้อนพัลส์สตรัทให้กับ ADC เพื่อเริ่มการแปลงแอดแดสของช่องสัญญาณอินพุต(อนาลอก)จะถูกอ่านเข้าไปเมื่อขา ALE มีการเปลี่ยนแปลงระดับสัญญาณจาก LOW ไป HIGH

การต่อพ่วงไมโครคอนโทรลเลอร์



รูปที่ 2-20 แสดงการต่อ ADC0809 เข้ากับ PIA(8255) โดยขา EOC นี้จะต่อเข้ากับ

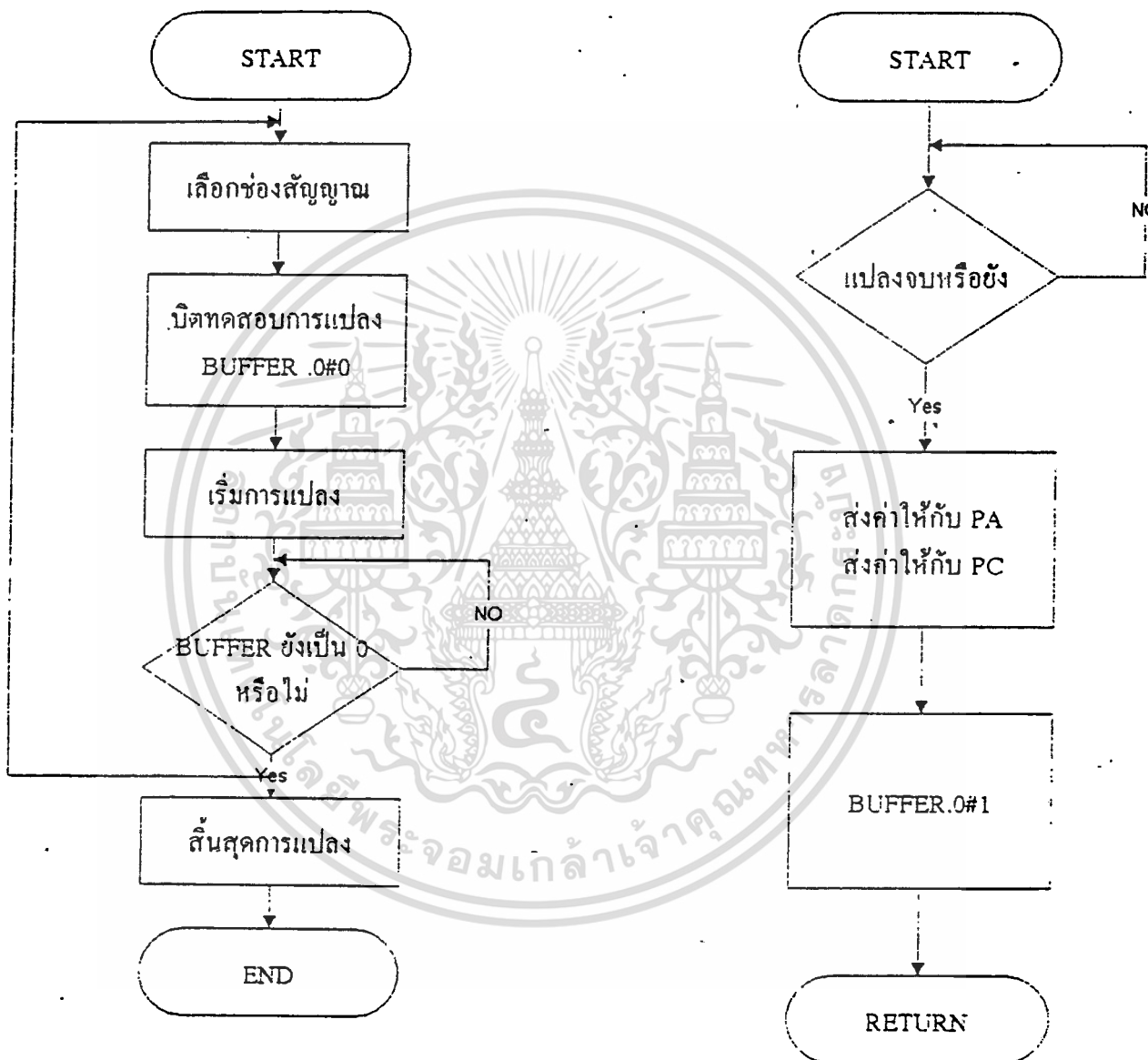
$\overline{\text{INT0}}$ ของไมโครคอนโทรลเลอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรมหลัก

SUBROUTINE



```

CONTP EQU 0FC03H
PORTA EQU 0FC00H;I/P FROM ADC
PORTB EQU 0FC01H ;FUNCTION
PORTC EQU 0FC02H
BUFFER EQU 20H

;PORTB0-PORTB2 SELECT CHANELE

;PORTB0 = A
;PORTB1 = B
;PORTB2 = C
;PORTB3 START ADC
PORTC EQU 0FC02H;
BUFFER EQU 20H
ORG 8000H
MOV 66H,#0F7H;KEEP HIGH BITE OF INTERUPT
MOV 67H,#00H;KEPP LOW BITE OF INTERUPT
MOV IE,#10000001B;ENABLE INTO
MOV IP,#01H;INTO IS FIRST PRIORITY
SETB ITO
MOV DPTR,#CONTP
MOV A,#90H
MOVX @DPTR,A ;PORTA GET I/P FROM ADC
MOV DPTR,#PORTB
MOV A,#00H

```

```

MOVX    @DPTR, A

MOV     DPTR, #PORTC

MOV     A, 00H

MOVX    @DPTR, A

PRESTART:

CLR     BUFFER.0

START:

;START AND SELECT CHANNEL

;USE    CHANNEL 3

MOV     DPTR, #PORTB

MOV     A, #00000011B

MOVX    @DPTR, A

MOV     DPTR, #PORTB

MOV     A, #00001011B

MOVX    @DPTR, A

MOV     DPTR, #PORTB

MOV     A, #00000011B

MOVX    @DPTR, A

MOV     C, BUFFER.0

WAIT:

JNB     BUFFER.0, WAIT

SJMP    PRESTART

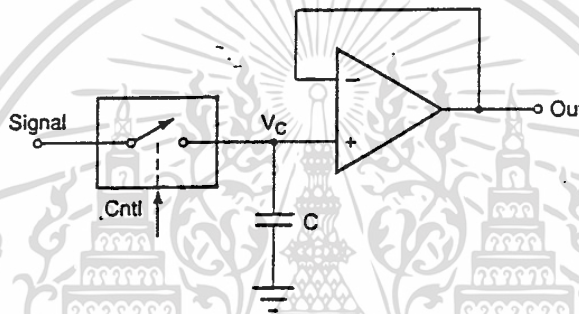
;END OF START

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.3 วงจรเปลี่ยนสัญญาณเอทูดิจิทัลด้วยการสุ่มและคงค่าสัญญาณ

จากที่กล่าวไว้ในหัวข้อ 2.2.2 การแปลงเอทูดิจิทัลแบบใช้การประมาณค่า นั้น สมมติว่า ช่วงในการแปลงคือ 0-10 โวลต์ และสัญญาณนาฬิกาที่ใช้มีความถี่ 2 MHz เพราะฉะนั้น 1 คาบเวลาเท่ากับ 1 ไมโครวินาที กระบวนการแปลงจะช้าที่สุด เมื่อสัญญาณอนาลอกที่ต้องการแปลงมีค่า 0 หรือ 10 โวลต์ ซึ่งต้องใช้เวลาดังกล่าวทั้งหมด 8 คาบเวลา (8 ไมโครวินาที) ถ้าหากในระหว่างการแปลงนี้สัญญาณอนาลอกอินพุตมีค่าเปลี่ยนแปลงจะทำให้การแปลงเอทูดิจิทัลเกิดความผิดพลาดเกิดขึ้นได้ด้วยเหตุนี้จึงจำเป็นต้องอาศัยวงจรในการคงค่าสัญญาณอินพุตไว้เพื่อเป็นแรงดันเปรียบเทียบกับที่วงจรดีพิวเอานวงจรถ่าย SA



รูปที่ 2-22 แสดงวงจรพื้นฐานของ S/M

วงจรพื้นฐานของ S/M พิจารณารูปที่ 2-22 จะประกอบด้วยอิเล็กทรอนิกส์ สวิตช์ ซึ่งเปิดและปิดวงจรในอัตราเร็วที่สูงมาก (0.1 ถึง 1 ไมโครวินาที) ตัวเก็บประจุและ ออปแอมป์

เมื่อสวิตช์เปิดวงจรจะทำให้เกิดโวลต์ เตจตกคร่อมตัวเก็บประจุและ โดย V_c และ เอาท์พุทที่จะได้จะมีค่าเท่ากับอินพุท เมื่ออินพุทเปลี่ยนแปลง ตัวเก็บประจุก็จะทำการเก็บหรือ คายประจุ ตามการเปลี่ยนแปลงของอินพุท ในช่วงนี้เรียกว่าการสุ่มค่า

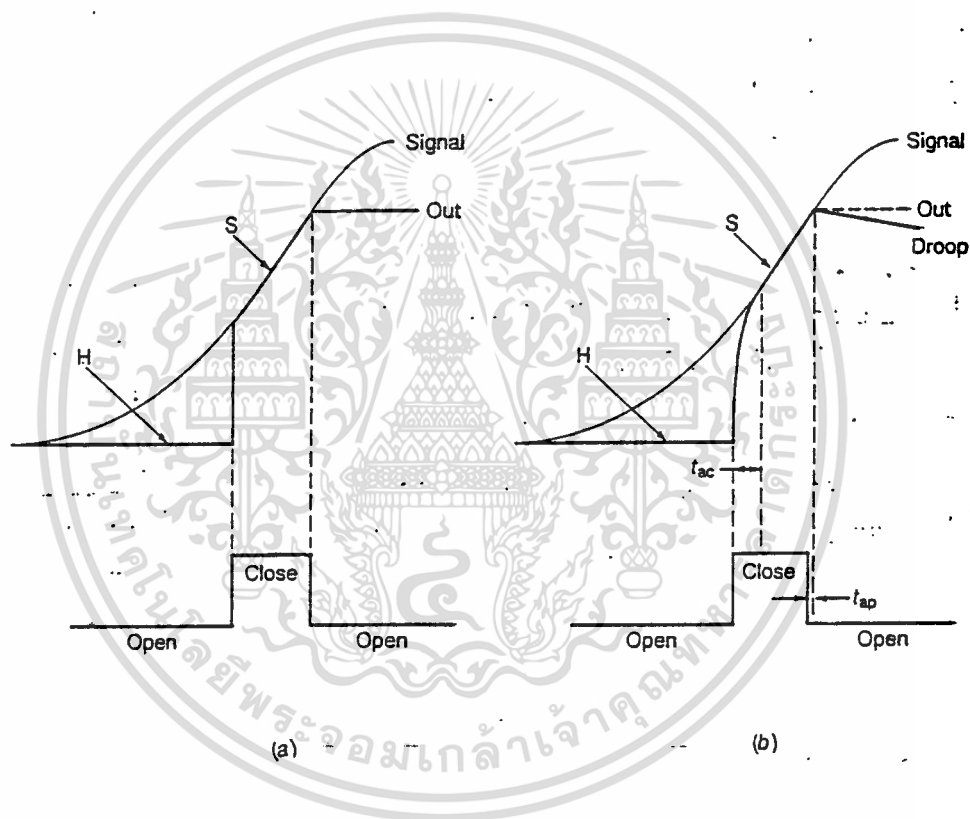
เมื่อสวิตช์เปิดวงจรตัวเก็บประจุจะพาหน้าที่เสมือนแหล่งจ่ายให้กับออปแอมป์โดย เอาท์พุทที่ได้จะมีค่าเท่ากับอินพุทที่บ่อน ณ จุดสุดท้ายที่สวิตช์เริ่มเปิดวงจร ในช่วงนี้จะ เรียกว่าช่วงคงค่าสัญญาณ ด้วยหลักการนี้ถึงแม้อินพุทที่บ่อนให้วงจรเอทูดิจิทัลจะมีค่าเปลี่ยนแปลง แต่เอทูดิจิทัลก็ยังทำการแปลงต่อไปได้โดยที่ไม่เกิดความผิดพลาด เนื่องจากมีการคงค่าของ สัญญาณเอาไว้จนพอที่จะทำให้เสร็จกระบวนการแปลงได้

TAC หมายถึง ช่วงเวลาที่ตัวเก็บประจุใช้ในการเก็บประจุก่อนที่จะเข้าสู่ภาวะ การตามสัญญาณอินพุท หลังจากสวิตช์เปลี่ยนสถานะจากเปิดไปสู่อุปกรณ์ปิด ถ้าสวิตช์เปลี่ยน เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สถานะจากปิดไปสู่เปิด ภายในช่วง TAC นี้จะทำให้เอาต์พุตเอาต์พุตที่ได้มีค่าต่ำกว่าความเป็นจริง

TAP เวลาในการสวิตช์จากช่วงสุมไปยังช่วงคงค่า

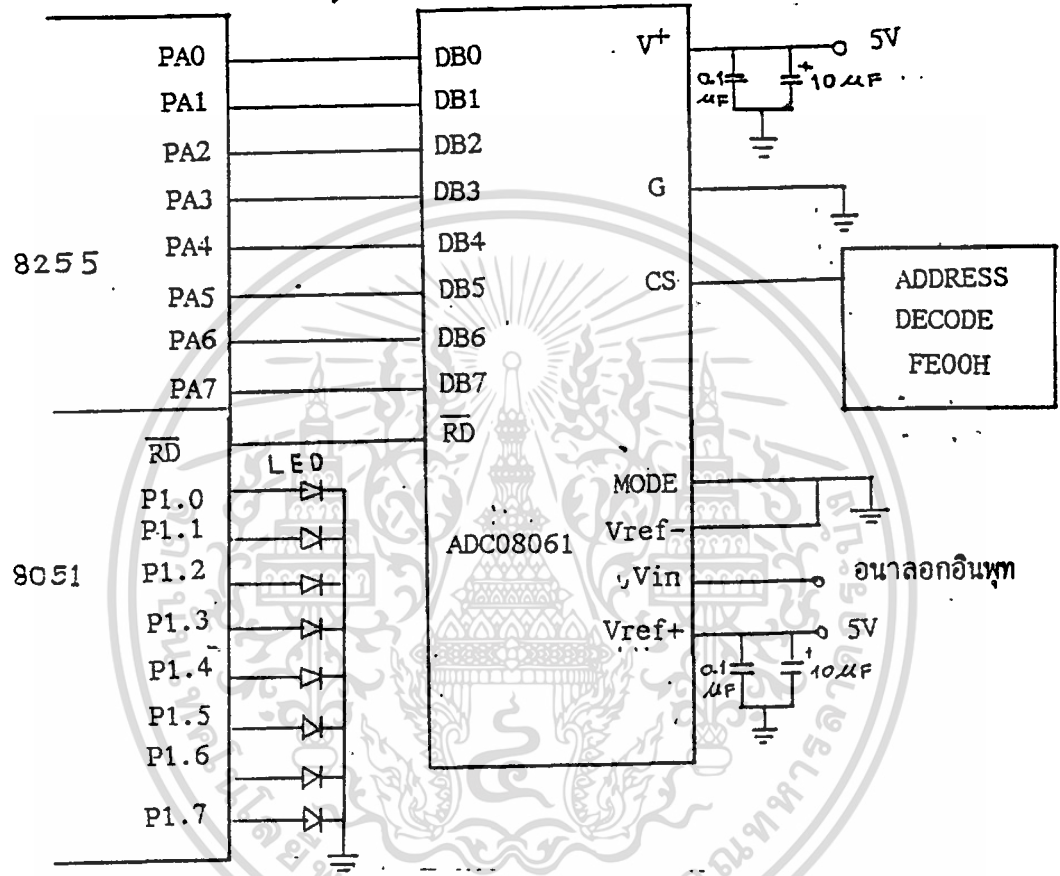
DROOP การที่ OUTPUT ที่ได้ต่ำกว่าความเป็นจริง เนื่องจากผลของกระแสรั่วไหลไปกับสวิตช์



รูปที่ 2-23 แสดงคุณสมบัติของการสุมและคงค่าสัญญาณ

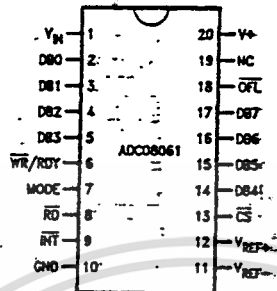
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ a. แสดงคุณสมบัติในอุดมคติ b. แสดงคุณสมบัติที่เป็นจริง ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การต่อพ่วงไมโครคอนโทรลเลอร์



รูปที่ 2-24 แสดงการต่อ ADC 08061 WITH S/M กับ 8051

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดก็ตาม อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2-25 แสดงแผนผังขาของ ADC 08061 (WITH S/M)

DB0-DB7 ข้อมูลเอาต์พุต

\overline{CS} เมื่อต้องการให้ IC ทำงานต้องมีสถานะต่ำ(0)

\overline{WR}/RDY เมื่อใช้งานในโหมด $\overline{WR}-RD$ หลังจาก \overline{CS} มีสถานะต่ำ ขา \overline{WR} จะเป็นขาที่รับสัญญาณจากภายนอกเพื่อให้เริ่มการแปลงสัญญาณ โดยจะเริ่มแปลงที่ขอบขาลงของสัญญาณ

\overline{WR} เมื่อใช้งานในโหมด \overline{RD} ขา RDY จะมีสถานะต่ำ หลังจากขอบขาลงของสัญญาณ \overline{CS} และจะมีสัญญาณสูงเมื่อเสร็จสิ้นการแปลง

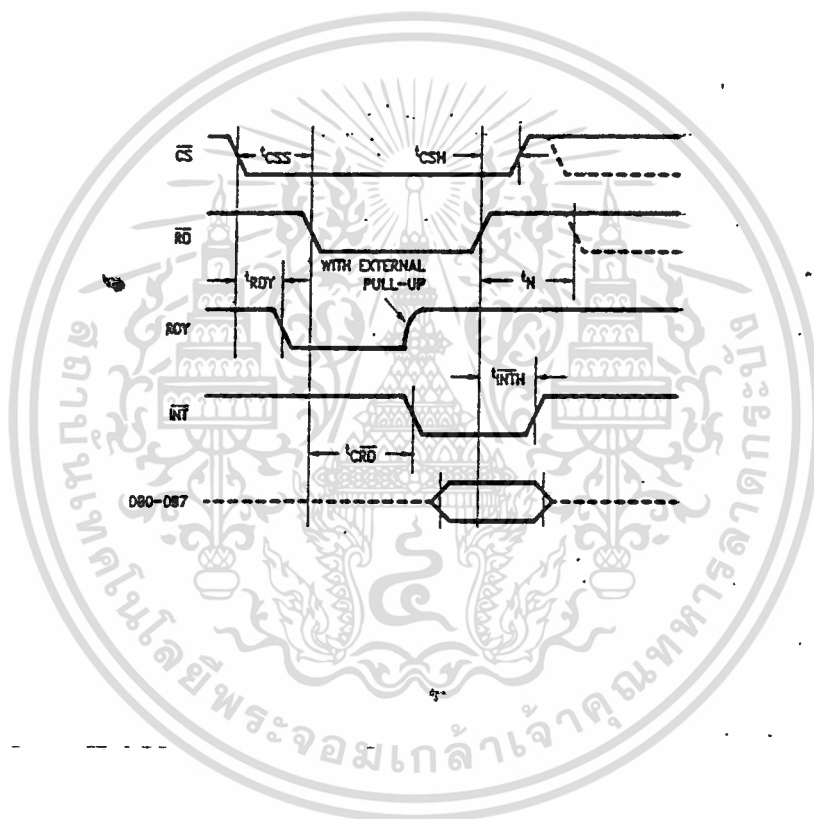
MODE เมื่อขานี้มีสถานะสูงจะเป็นการทำงานในโหมด $\overline{WR}-RD$ เมื่อขานี้มีสถานะต่ำจะเป็นการทำงานในโหมด \overline{RD}

\overline{RD} ในโหมด $\overline{WR}-RD$ เมื่อ \overline{CS} มีการเปลี่ยนสถานะจากสูงไปต่ำและขา \overline{RD} มีสถานะต่ำ ADC08061 จะทำการรับข้อมูลนาลอกเพื่อทำการแปลงในโหมด \overline{RD} เมื่อ \overline{CS} สถานะต่ำการแปลงจะเริ่มได้ก็ต่อเมื่อมีการเปลี่ยนสถานะที่ขา RD จากสูงเป็นต่ำ

\overline{INT} , จะเป็นขาที่แสดงว่าการแปลงจบสิ้นหรือยัง การเปลี่ยนสถานะจากสูงเป็นต่ำจะเป็นการบอกว่าการแปลงได้จบสิ้นแล้ว ขานี้จะถูกรีเซ็ตอัตโนมัติที่ขอบขาขึ้นของสัญญาณ \overline{RD}

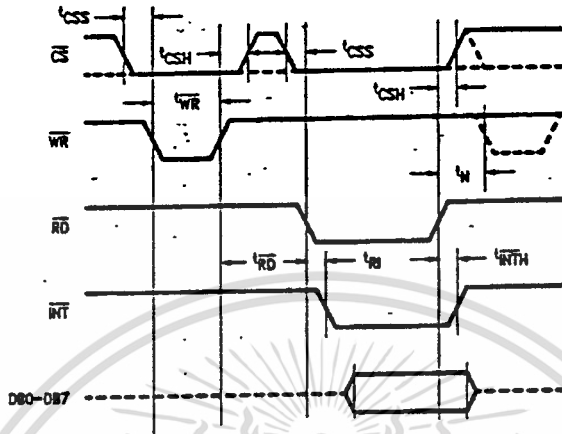
V_{REF^-} , V_{REF^+} ใช้ในการกำหนดช่วงของการแปลง

OFL เมื่อจบการแปลงสัญญาณจะมีสถานะต่ำเมื่ออนาลอกอินพุตมีค่าสูงกว่า V_{REF^+}
 $-1/2LSB$

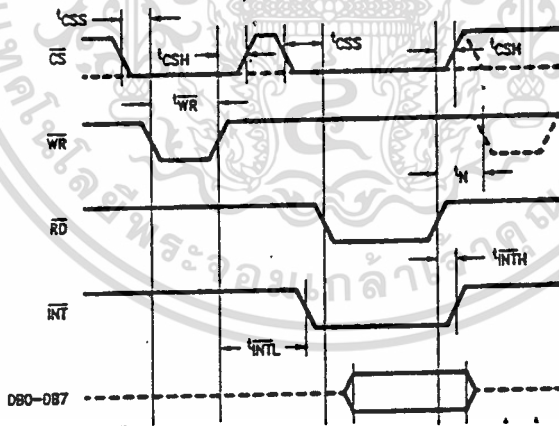


รูปที่ 2-26 แสดงแผนผังเวลาในโหมด RD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2-27 แสดงผังเวลาในโหมด WR-RD เมื่อ $t_{RD} \leq t_{INTL}$



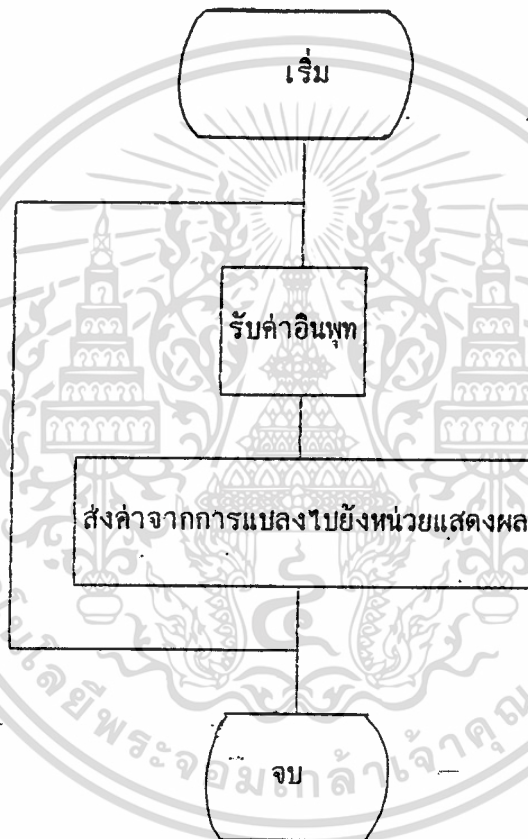
รูปที่ 2-28 แสดงผังเวลาในโหมด \overline{WR} - \overline{RD} เมื่อ $t_{RD} > t_{INTL}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายละเอียดสามารถศึกษาได้จากหนังสือ National Semiconductor ที่ชื่อ
Data Acquisition Data Book Supplement

จากรูปที่ 2-24 เป็นการต่อพ่วงกับไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อให้ทำงานในโหมด
RD โดยการให้ขา MODE ต่อกับกรานด์

LEDO-LED7 จะแสดงผลจากการแปลงซึ่งจะแสดงข้อมูลใน DBO-DB7 ตามลำดับ
อนาล็อกอินพุตที่บ่อนจะต้องอยู่ในช่วง 0-5 โวลท์ จะได้แผนผัง ดังนี้



รูปที่ 2-29 แสดงผังโปรแกรม

หมายเหตุ จากผังโปรแกรมจะเห็นว่าไม่มีส่วนในการตรวจสอบว่ามีการแปลงเสร็จ
สิ้นหรือยังก่อนที่จะส่งค่าไปยังหน่วยแสดงผล เนื่องจากเวลาในการเปลี่ยนแปลงสัญญาณจะ
มีค่าน้อยกว่าคำสั่งที่ใช้เวลาน้อยที่สุดของไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยทั่วไปเวลาในการ
แปลงจนถึงสิ้นสุดกระบวนการแปลงจะใช้เวลาประมาณ 640 นาโนวินาที ในขณะที่ไม
โครคอนโทรลเลอร์ใช้เวลาในการปฏิบัติคำสั่งที่สั้นที่สุด ประมาณ 1 ไมโครวินาที(เมื่อ
ใช้คริสตอล 12 MHz) และการส่งค่าจากข้อมูลของ ADC0S061 มายังหน่วยแสดงผลคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาและเผยแพร่เท่านั้น ไม่สามารถนำ
ไปทำซ้ำหรือดัดแปลงในทางอื่นได้ หากมีข้อสงสัยหรือต้องการข้อมูลเพิ่มเติม กรุณาติดต่อ
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MOV P1,A ซึ่งใช้เวลาในการปฏิบัติคำสั่ง 2 ไมโครวินาที ซึ่งเวลาที่นี้เกินพอ สำหรับ ADC 08061 ในการแปลงสัญญาณให้เสร็จสิ้นได้

โปรแกรมควบคุมการทำงานในโหมด RD ของ ADC08061

```
ADC EQU 0FE00H;MEMORY OF ADC
ORG 3000H
START:MOV DPTR,#ADC
      MOVX A,@DPTR
      MOV P1,A ;SEND DATA TO DISPLAY
      SJMP START
END
```

บทสรุป (การต่อพ่วงอุปกรณ์อนาล็อก)

เป็นที่ทราบกันดีว่าไมโครคอนโทรลเลอร์นั้น ทำงานโดยอาศัยข้อมูลดิจิทัลซึ่งสถานะของสัญญาณจะมีสองระดับคือ ระดับสูง (2.5-5 โวลต์) ระดับต่ำ (0-0.8 โวลต์) ในงานควบคุมบางอย่างนั้นต้องการสัญญาณควบคุมที่อยู่นอกเหนือช่วงสัญญาณ 0-5 โวลต์ ดังไมโครคอนโทรลเลอร์จึงต้องอาศัยวงจรเพิ่มเติม เพื่อปรับระดับสัญญาณให้เหมาะสมเพื่อควบคุมอุปกรณ์ที่ต้องการควบคุมหรือต้องการอุปกรณ์ที่ปรับระดับสัญญาณจากอุปกรณ์ภายนอก ให้เป็นสัญญาณดิจิทัล เพื่อให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ประมวลผลได้

อุปกรณ์ที่ได้กล่าวมาข้างต้นจะแบ่งได้เป็นสองประเภทใหญ่คือ

1. อุปกรณ์ที่แปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นอนาล็อกหรือดีทูเอ ซึ่งก็มีหลายแบบ ในสรุปนี้จะจำแนกข้อดีข้อเสียแต่ละแบบเพื่อประกอบการตัดสินใจในการเลือกใช้

1.1 แบบใช้ตัวต้านทานหลายค่า

ข้อดี ง่ายต่อการคำนวณหาค่าเอาท์พุท

ข้อเสีย วงจรดีทูเอแบบนี้ ต้องการความต้านทานที่มีช่วงกว้างมาก เมื่อจำนวนบิตข้อมูลมีมาก

1.2 แบบใช้ตัวต้านทานสองค่า

ข้อดี การหาตัวต้านทานนั้นจะสะดวก เพราะใช้ตัวต้านทานเพียงสองค่าคือ R1, R2 เมื่อจำนวนบิตข้อมูลมีมากก็ไม่ประสบปัญหาในการหาค่าตัวต้านทาน

ข้อเสีย การวิเคราะห์วงจรจะยากกว่าแบบตัวต้านทานหลายค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้เฉพาะเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

1.3 แบบทวีคูณสัญญาณ

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อดี เป็นวงจรที่ออกแบบไว้สำหรับให้เอาท์พุทเชิงเส้นและแรงดันอ้างอิง สามารถเปลี่ยนแปลงได้ในย่านกว้าง

ข้อเสีย การใช้งานมีรายละเอียดค่อนข้างมากต้องอ่านเอกสารกำกับการใช้งาน IC แต่ละเบอร์ที่ใช้ให้ดี และการหาเอกสารอ้างอิงในการใช้งานนั้นหาได้ค่อนข้างลำบาก

2 อุปกรณ์ที่แปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล (เอทุติ)

2.1 วงจรเปรียบเทียบแบบขนาน (แฟลช)

ข้อดีให้ความเร็วในการแปลงสูงมากเนื่องจากอาศัยการทำงานของวงจรเปรียบเทียบที่ต่อขนานกัน การแปลงในแต่ละบิตจึงใช้เวลาพร้อมกัน

ข้อเสีย

2.2.1 ถ้าต้องการความละเอียดมากจำนวนของวงจรเปรียบเทียบที่จะใช้สูงมาก จากสูตรจำนวนของวงจรเปรียบเทียบ $= 2^N - 1$ เมื่อ N คือจำนวนบิตที่ต้องการแปลง

2.2.2 เอาท์พุทที่ได้ไม่เป็นเลขฐานสองต้องมีวงจรเข้ารหัสเพื่อแปลงเอาท์พุทที่ได้ให้เป็นเลขฐานสอง

2.2 วงจรเปลี่ยนสัญญาณแบบน้ำหนักค่า (SA).

ข้อดีวงจรจะมีขนาดเล็กกว่าแบบขนาน (แฟลช) เมื่อต้องการความละเอียดในการแปลงสูง เพราะส่วนประกอบหลักส่วนใหญ่คือวงจรตีทุเอ แบบตัวต้านทานหลายค่า (BINARY WEIGHT ADDER) และวงจรเปรียบเทียบหนึ่งวงจรไม่ว่าจะต้องการความละเอียดกี่บิตก็จะใช้วงจรเปรียบเทียบแบบขนาน (แฟลช) เมื่อต้องการความละเอียด 8 บิต ต้องใช้วงจรเปรียบเทียบถึง $2^8 - 1 = 256$ วงจร

ข้อเสีย 1. การแปลงจะช้ากว่าแบบแฟลชเพราะการทำงานจะต้องอาศัยสัญญาณนาฬิกา เพื่อกำหนดจังหวะในการป้อนอินพุทในแต่ละบิตให้แก่วงจรตีทุเอ เพื่อนำเอาท์พุทที่ได้ไปเปรียบเทียบกับสัญญาณอนาลอกที่ต้องการแปลง

2. กรณีที่อินพุทมีการเปลี่ยนแปลงก่อนที่วงจร SA จะแปลงจบจะทำให้ผลจากการแปลงที่ได้มีความผิดพลาด

2.3 การสุ่มและคงค่า S/M

จากที่กล่าวมาแล้วการแปลงเอทุติแบบการชักการประมาณค่า นั้น จะอาศัยวงจรตีทุเอ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า โดยจะอาศัยสัญญาณนาฬิกาในการกำหนดจังหวะการทำงาน ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(บิต7-บิต0) สมมติว่าต้องการความละเอียดในการแปลง 8 บิต เมื่อมีสัญญาณนาฬิกาถูก แรกเข้ามา วงจร SA จะทำการเซตบิตนี้ยสำคัญสูงสุดให้เป็น 1 ส่วนบิตอื่นๆเป็น 0 เพื่อ บ่อนให้วงจรดีทิวเอ เพื่อนำสัญญาณลอกที่ได้ไปเปรียบเทียบกับสัญญาณลอกอินพุทที่ ต้องการเปรียบเทียบว่าเท่ากันหรือไม่

ถ้าสัญญาณจากดีทิวเอมีค่าน้อยกว่าสัญญาณลอกอินพุทวงจรก็จะยังเซตบิตนั้นไว้ ถ้า สัญญาณลอกจากดีทิวเอมีค่ามากกว่าสัญญาณลอกอินพุท วงจร SA จะทำการเคลียร์ บิตาให้เป็น 0 พร้อมกับเซตบิตถัดไป(บิต6)ให้เป็น 1 เพื่อนำสัญญาณลอกจากดีทิวเอไป เปรียบเทียบกับสัญญาณลอกอินพุทว่าเท่ากันหรือไม่ ถ้ายังไม่เท่ากันก็จะยังคงเซตบิตนี้ ไว้ เมื่อสัญญาณจากดีทิวเอมีค่าน้อยกว่า หรือเคลียร์บิตนี้ให้เป็น 0 เมื่อสัญญาณจากดีทิวเอมี ค่ามากกว่า พร้อมกับทำการเซตบิตถัดไป(บิต5) วงจร SA จะทำเช่นนี้ไปเรื่อยๆ จนกว่า สัญญาณจากดีทิวเอจะมีค่าเท่ากับสัญญาณลอกอินพุท สมมติว่า ตั้งช่วงในการแปลงไว้ 0- 10 วัตต์ ความถี่ของสัญญาณนาฬิกาที่ใช้ในการควบคุมมีค่า 1 MHz เพราะฉะนั้นเวลาใน การแปลงแต่ละบิตจะเท่ากับ $1/10^6$ วินาทีหรือเท่ากับ 1 ไมโครวินาที

การแปลงจะช้าที่สุดเมื่อสัญญาณลอกอินพุทที่เข้ามามีค่า 0 หรือ 10 วัตต์ คือ ต้องใช้สัญญาณนาฬิกา 8 คาบ หรือ เท่ากับ 8 ไมโครวินาที ถ้าหากสัญญาณอินพุทเปลี่ยน ไปเร็วกว่า 8 ไมโครวินาทีจะทำให้การแปลงนั้นมีความผิดพลาดเกิดขึ้นได้

บทที่ 3

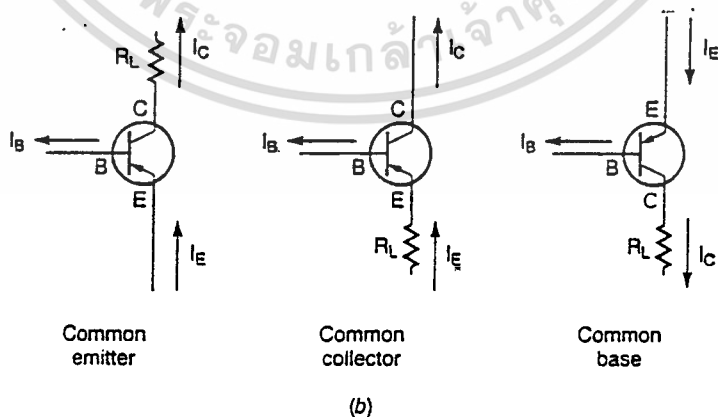
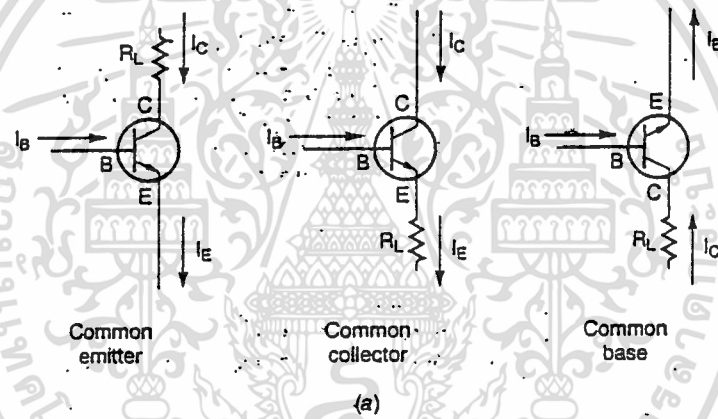
การต่อพ่วงไมครอคอลโทรลเลอร์ด้วยอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลัง

3.1 เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ (POWER TRANSISTOR)

3.1.1 ไบโพลาร์ ทรานซิสเตอร์ (BIPOLA TRANSISTORS)

ประกอบด้วยชั้นบางๆ 3 ชั้นของสารกึ่งตัวนำชนิด n และ p โดยมีชื่อเรียกในแต่ละชั้นดังนี้คือ ีมิเตอร์ (E), คอลเล็คเตอร์ (C), และเบส (B) ชั้นเบสจะเป็นชั้นที่บางที่สุด จะถูกประกบไว้ที่อยู่ตรงกลางรอยชั้นของ C และ E ทำให้เกิดการจับคู่ของชั้นได้เป็นสองคู่คือ EB และ BC ด้วยเหตุนี้จึงเป็นที่มาของคำว่า ไบโพลาร์

ทรานซิสเตอร์ไบโพลาร์ แบ่งออกเป็น 2 ชนิด เมื่อคิดถึงทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้า คือ npn และ pnp



รูปที่ 3-1(a) แสดงทิศทางการไหลของกระแสในทรานซิสเตอร์แบบ npn

(b) แสดงทิศทางการไหลของกระแสในทรานซิสเตอร์แบบ pnp

ในการใช้งานทรานซิสเตอร์จำเป็นต้องเข้าใจสถานะต่างๆของทรานซิสเตอร์ว่ามีอะไรบ้าง

สถานะคัทออฟ

สถานะคัทออฟที่ทรานซิสเตอร์ยังไม่นำกระแสกล่าวคือยังไม่มีกระแสไหลในขาเบส เนื่องจากโวลต์เตจตกคร่อมขาเบสยังไม่มากพอที่จะเอาชนะ V_{BE} ได้โดยมาก ขนาดของโวลต์เตจตกคร่อมขาเบสต้องมีมากกว่า 0.7 โวลต์ ถึงจะทำให้ทรานซิสเตอร์นำกระแสได้

สถานะแอกทีฟ

สถานะที่ทรานซิสเตอร์นำกระแส โดย $I_C = h_{FE} I_B$

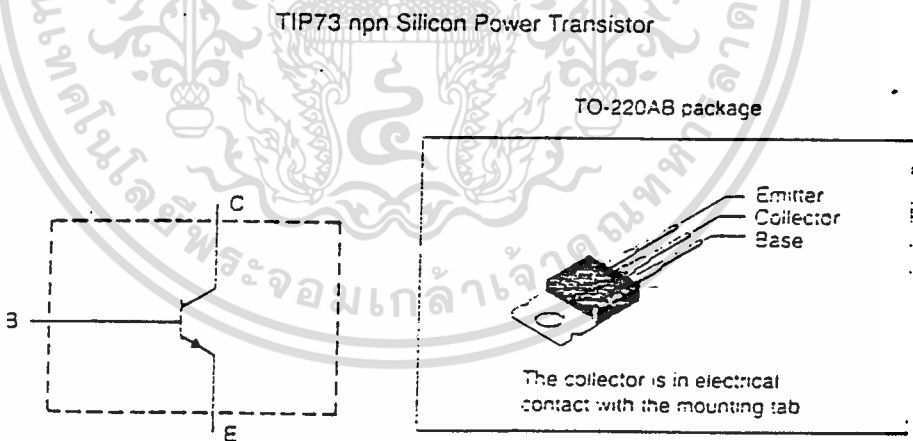
สถานะอิ่มตัว

สถานะที่การนำกระแสของทรานซิสเตอร์ไม่เป็นลักษณะ LINEAR

$$I_C = h_{FE} I_B$$

$$I_B = I_C / h_{FE}$$

สถานะอิ่มตัวคือสณที่ I_B ที่ขาเบสมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ I_{BS} ซึ่งจะ I_C



Maximum ratings at 25°C case temperature

$V_{CE(sat)}$ at $I_B = 0$: 40 V	P_D at 25°C case: 30 W
V_{EB} : 5 V	P_D at 25°C free air: 2 W
I_C : 15 A	T_J : -65°C to 150°C
I_B : 5 A	

Electrical characteristics at 25°C case temperature

I_C at $I_B = 0$: 50 mA(max)	$V_{CE(sat)}$ at $I_C = 5$ A: 1.3 V(max)
$r_{\theta j-c}$ at $I_C = 5$ A: 20(min)	$V_{CE(sat)}$ at $I_C = 15$ A: 3.5 V(max)
$r_{\theta j-c}$ at $I_C = 15$ A: 150(max)	
$r_{\theta j-c}$ at $I_C = 15$ A: 15(min)	$V_{CE(sat)}$ at $I_C = 5$ A: 1.3 V(max)
	$V_{CE(sat)}$ at $I_C = 15$ A: 3.5 V(max)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3-2

จะยังคงเท่ากับ I_{cs}

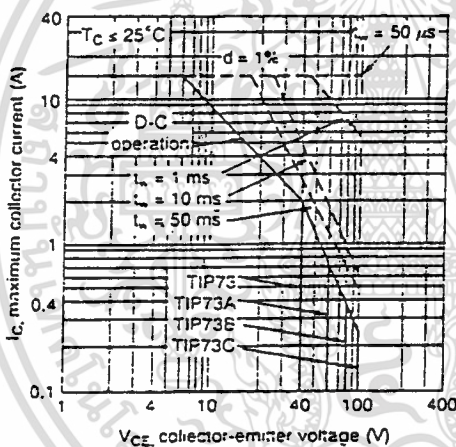
เพอร์ฟอร์มาเรช พารามิเตอร์ (PERFORMANCE PARAMETERS)

- แมกซิมั่มเรตติ้ง (MAXIMUM RATINGS)

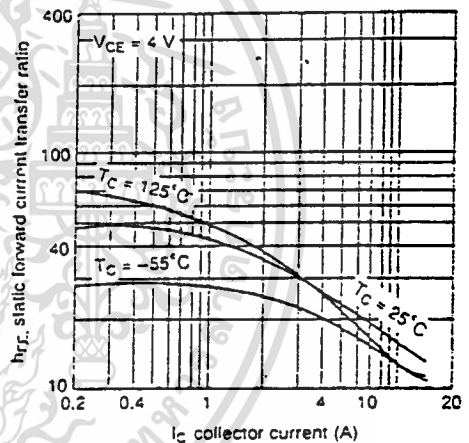
จะเป็นค่าสูงสุดของแรงดันจากเทอมินอลไปเทอมินอล กระแสของเบสและคอลเลคเตอร์ และกำลังซึ่งทรานซิสเตอร์ ยังสามารถทำงานในช่วงของ พื้นที่ปลอดภัยได้ (SAFE AREA)

แสดงถึงเพอร์ฟอมาเรช คาร์เรคเตอร์เทอร์สติกส์ (PERFORMANCE CHARACTERISTICS) ของทรานซิสเตอร์ เบอร์ TO-220AB

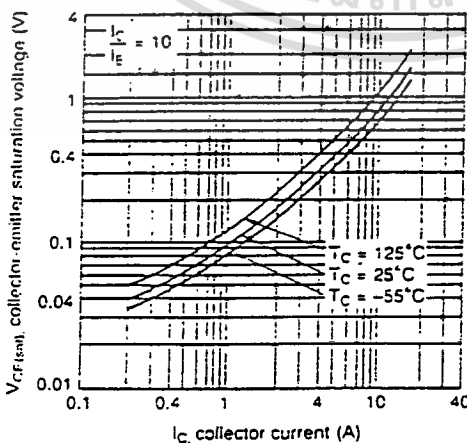
-พื้นที่การใช้งานปลอดภัย (SAFE OPERATING AREA(SOA))



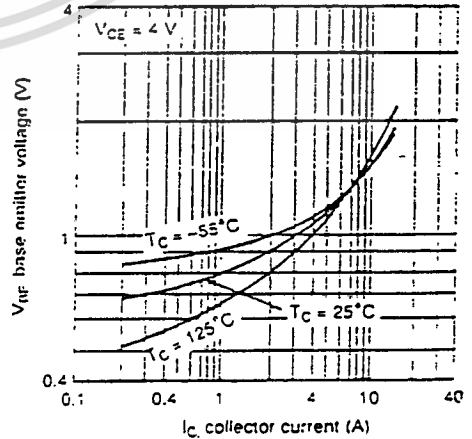
(a)



(b)



(c)



(d)

Typical characteristics of a TIP73 npn-bipolar power transistor. (a) Safe operating area; (b) current gain; (c) collector-emitter voltage; (d) base-emitter voltage. (Reprinted by permission of Texas Instruments.)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของบริษัทซึ่งมีเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นับญาติหนี้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3-3

แสดงคุณลักษณะของทรานซิสเตอร์ TIP73 npn

อาจทำให้อุปกรณ์ภายใน TIP73 ละลายได้ เนื่องจากความร้อนที่สูงขึ้น เนื่องจากกระแสที่สูงขึ้น

- อัตราขยายกระแส (CURRENT GAIN (h_{FE}))

รูป 3-3b แสดงค่า h_{FE} ที่อุณหภูมิต่างๆ การเปลี่ยนแปลงค่าของ h_{FE} และ I_C จะเป็นไปในลักษณะตรงข้ามกัน

- โวลต์เตจตกคร่อมคอลเลกเตอร์-อิมิตเตอร์ ที่สภาวะอิ่มตัว (V_{CE})_{SAT}

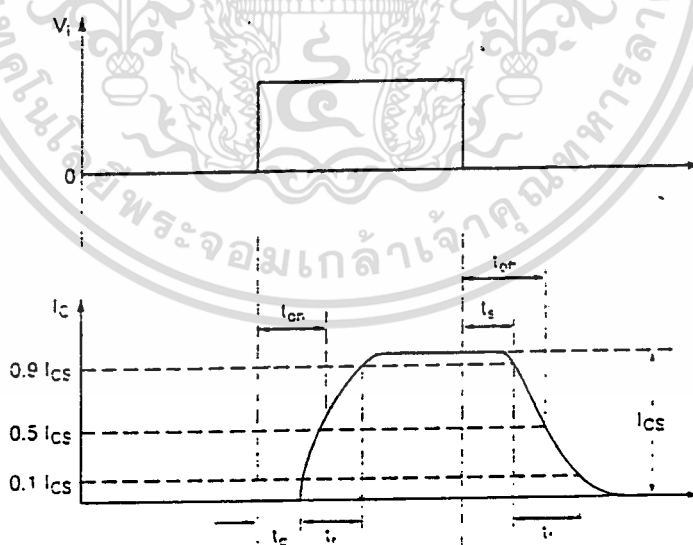
จากรูป 3-3 c V_{CE} ที่มีค่าต่างๆ จะช่วยลดการสูญเสียในทรานซิสเตอร์ในสภาวะที่ทรานซิสเตอร์นำกระแส หมดตัวไปแล้ว (V_{CE})_{SAT} จะมีค่าประมาณ 0.3 V

- โวลต์เตจตกคร่อม เบส-อิมิตเตอร์ ที่สภาวะอิ่มตัว (V_{BE})_{SAT}

ค่า (V_{BE})_{SAT} จะขึ้นอยู่กับ I_C หมดตัวไปแล้ว V_{BE} (SAT) มีค่าประมาณ 0.7 V รูป 2-3 d จะเป็นการสัมพันธ์ระหว่าง (V_{BE})_{SAT} กับ I_C จาก $h_{FE} = I_C/I_B$

ถ้า h_{FE} มีค่าน้อยลง ซึ่งก็คือ I_B มีค่ามากขึ้น ก็จะทำให้เกิดการสูญเสียกำลังงานที่เบส = $I_B * (V_{BE})_{SAT}$ มากขึ้นด้วย

เวลาในการสวิตช์ (SWITCHING TIME)



รูปที่ 3-4

แสดงเวลาในการสวิตช์ของทรานซิสเตอร์แบบไบโพลาร์

เนื่องจากผลของการประจุไฟฟ้า ทรานซิสเตอร์จะยังไม่ทำงานทันทีที่ได้รับอินพุต

เอกสารนี้เป็นเมื่อทรานซิสเตอร์ได้รับคำสั่งให้ ON การทรานซิสเตอร์จะต้องเสียเวลาไปใช้ประจุในการชาร์จจอร์จ

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำให้ V_{BE} อิ่มตัวก่อน หลังจากนั้นกระแส I_C จะเพิ่มขึ้นในลักษณะของ EXPONENTIAL ซึ่งจะต้องเสียเวลา t_r

ก่อนที่จะเข้าสู่สภาวะที่ต้องการ และเมื่อหยุดการป้อนสัญญาณให้กับทรานซิสเตอร์ (OFF) ทรานซิสเตอร์จะเสียเวลา t_r (storage time) เพื่อเคลื่อนประจุอิมิต์ออกจากเบส หลังจากนั้นลักษณะการลดลงของ I_C จะเป็นไปในลักษณะ Exponential ซึ่งใช้เวลา t_f (falltime)

ตัวอย่าง เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ TIP73 ตามรูปหาความต้านทานของ ดังรูปที่ 3-1 โดยที่ $R_c = 2$ โอห์ม, $V_{cc} = 20$ V

กำหนดให้อุณหภูมิในการทำงาน 25 องศาเซลเซียส

สมมติว่า I_{CS} เท่ากับหรือประมาณ $(20/2)A = 10A$

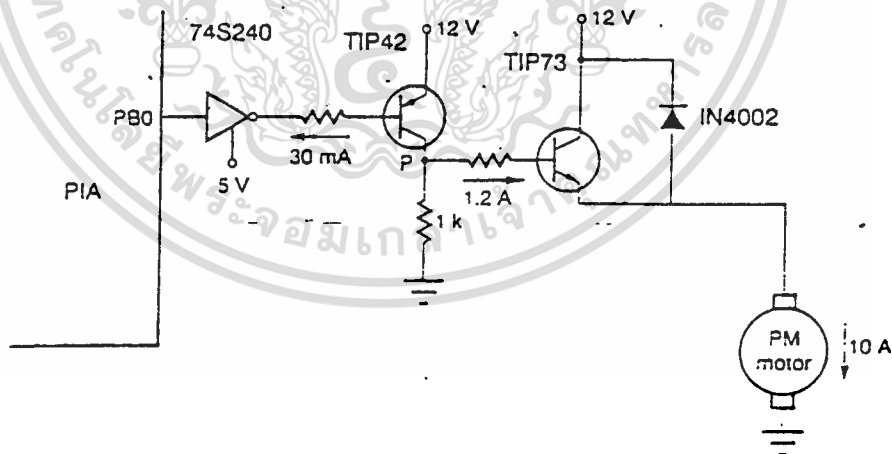
เพราะฉะนั้น $V_{CE(SAT)}$ ที่ $10A; 25$ องศาเซลเซียส = 1.0 V

$$I_{CS} = \frac{V_{cc} - V_{CE(SAT)}}{R_c} = \frac{20 - 1}{2} = 9.5 \text{ A}$$

จะได้ $h_{FE} = 15$

เพราะฉะนั้น $I_{BS} = I_{CS} / h_{FE} = 9.5 / 15 = 0.63 \text{ A}$

การใช้งานทรานซิสเตอร์เป็นสวิตช์ให้กับตัวเหนี่ยวนำ (INDUCTANCE)



รูปที่ 3-5

แสดงการควบคุม DC MOTOR โดยใช้ทรานซิสเตอร์แบบไบโพลาร์

จากรูป 3-5 เมื่อทรานซิสเตอร์หยุดการนำกระแส (OFF) แล้วจะมีโวลต์ที่ตกจากมอเตอร์เนื่องจากผลของความเหนี่ยวนำในมอเตอร์ จะได้

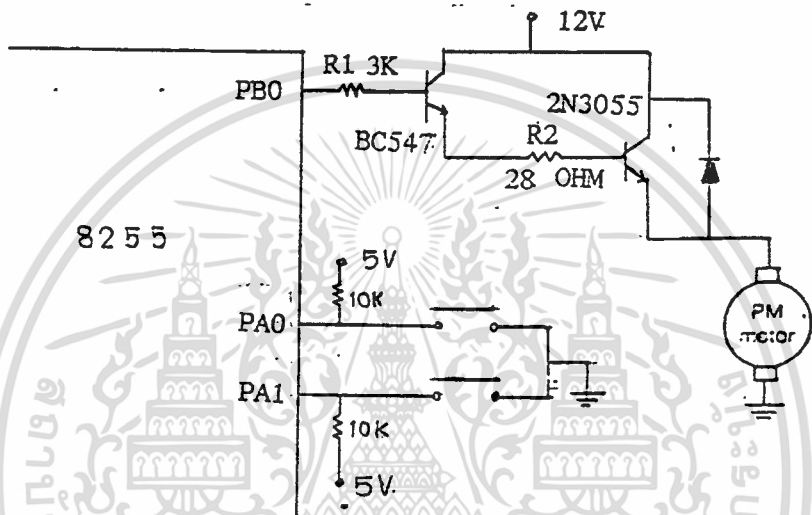
$$V_{CE} = L \frac{di}{dt} = L I_c / t_f$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ซึ่งโวลต์ที่ตกจะป้อนกลับของมอเตอร์นี้ จะเป็นอันตรายต่อทรานซิสเตอร์ได้ ถ้าไม่ทำการแก้ไขทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

I_{C}/t_f มีค่าถึง V_{CE} เปรลควานี้จะต้องมีการต่อไดโอดขนานกับทรานซิสเตอร์เพื่อให้กระแสไหลผ่านไดโอดแทน

การต่อพ่วงกับไมโครคอนโทรลเลอร์

ต้องการขับ PM มอเตอร์ ซึ่งต้องการกระแส 10 A ในการเริ่มขับโหลดและเมื่อมอเตอร์เข้าสู่สภาวะการหมุนต่อเนื่องต้องการกระแส 2A โดยทั้งสองสภาวะนี้ต้องป้อนโวลต์ที่เตจ 12 โวลต์



รูปที่ 3-6 แสดงการต่อทรานซิสเตอร์ไบโพลาร์เพื่อขับ PM มอเตอร์

สภาวะเมื่อเริ่มขับมอเตอร์

กระแส $I_E(2N3055)$ ที่ต้องการคือ 10 A $I_E = h_{FE} I_B$

เพราะฉะนั้น $I_B(2N3055) = 10/h_{FE} = 10/40 = 0.25A$

จะได้ว่า $I_E(BC547) = 0.25A$ เพราะฉะนั้น $I_B(BC547) = 0.25/h_{FE}$

$$= 0.25/200 = 1.25 \text{ mA}$$

หาค่า R1

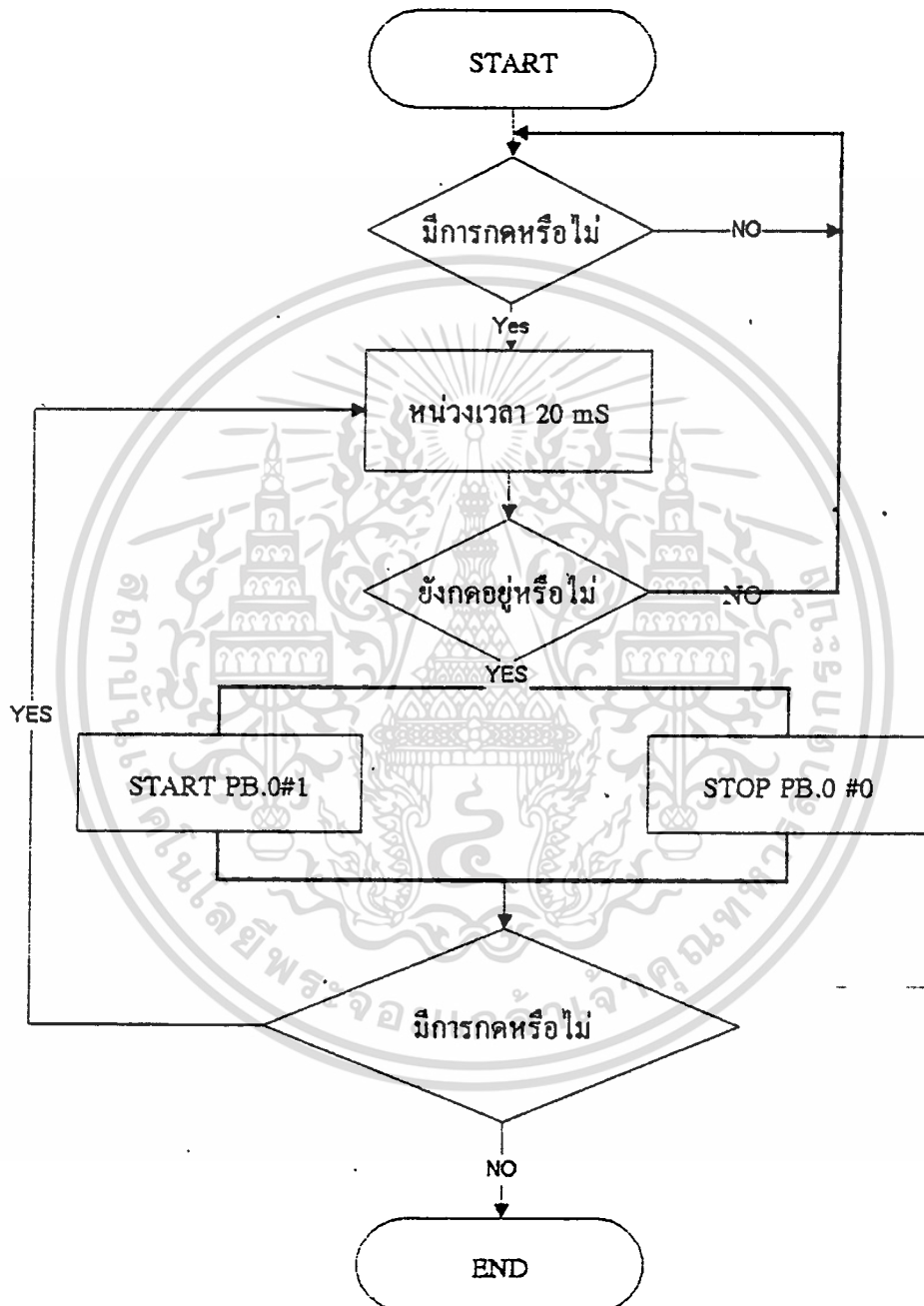
$$R1 = [V_{PB(H)} - V_{BE}] / I_B(BC547) = [5 - 0.7] / 1.25 = 3.44 \text{ KOHM (MAX)}$$

ใช้ R1 = 3 KOHM

หาค่า R2

$$R2 = V_{CC} - 5 / I_B(2N3055) = 12 - 5 / 0.25 = 28 \text{ OHM}$$

รูปที่ 3-7 แสดงผังโปรแกรม



```

CONTP EQU 0FC03H
PORTB EQU 0FC01H;
PORTA EQU 0FC00H;GET DAT FROM SWITCH
DMSEC EQU 003FH
ORG 8000H
MOV DPTR, #CONTP
MOV A, #90H
MOVX @DPTR, A
MOV DPTR, #PORTB
MOV A, #00H
MOVX @DPTR, A
CHECK: ACALL SCAN
      JZ CHECK
      ACALL DELAY
      ACALL SCAN
      JZ START
      ACALL DECODE
      RL A
      MOV DPTR, #CONDITION
      JMP @A+DPTR
CONDITION: AJMP START
           AJMP STOP

START:
      MOV DPTR, #POTRB
      MOV A, #1
      MOVX @DPTR, A
      AJMP CHECK

STOP:
      MOV DPTR, #PORTB
      MOV A, #0

```

```

MOVX    @PTR, A
AJMP    CHECK
AJMP    CHECK

DECODE: CJNE    A, #00000001B, ST
        MOV     A, #00H
        SJMP    PREOUT
        ST:MOV  A, #1
        PREOUT:
        RET

SCAN:   MOV     DPTR, #PORTA
        MOVX    A, @DPTR
        CPL    A
        RET

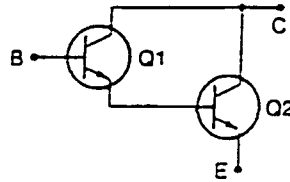
DELAY:  PUSH    ACC
        PUSH    02H
        PUSH    03H
        MOV     R2, #20
        LCALL   DMSEC
        POP     03H
        POP     02H
        POP     ACC
        RET

END

```

3.2 คาร์ลิงตัน ทรานซิสเตอร์ (DARLINGTON TRANSISTOR)

เป็นการรวมเอาทรานซิสเตอร์แบบไบโพลาร์ 2 ตัวมาต่อรวมกันแล้วบรรจุอยู่ในตัวถัง



รูปที่ 3-8

แสดงวงจรทรานซิสเตอร์แบบคาร์ลิงตัน

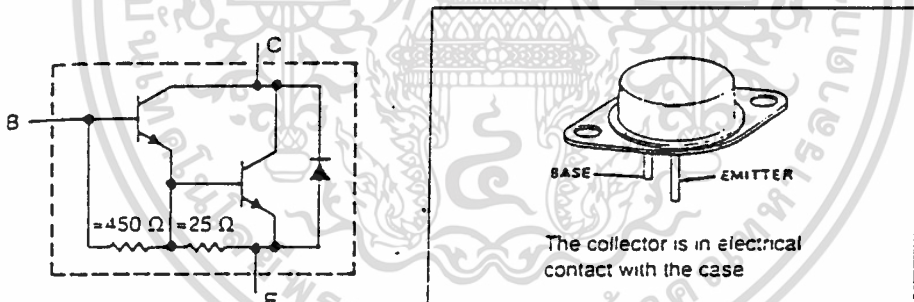
เดียวกัน

พิจารณารูปที่ 3-8 และ 3-9

จะเห็นได้ว่าอัตราขยายจะเท่ากับ อัตราขยายของ Q1 * อัตราขยายของ Q2 แต่
ข้อเสียของทรานซิสเตอร์แบบคาร์ลิงตันก็คือ $(V_{CE})_{SAT}$ จะสูงขึ้น ซึ่งทำให้เกิด

TIP663 npn Darlington Power Transistor

TO-3 package



Maximum ratings at 25°C case temperature

$(V_{CE})_{BR}$ at $I_B = 0$: 300 V	P_D at 25 case: 150 W
V_{EB} : 8 V	P_D at 25 free air: 5.5 W
I_C : 30 A	T_J : -65 C to 200 C
I_B : 5 A	

Electrical characteristics at 25°C case temperature

I_C at $I_B = 0$: 250 μ A	$(V_{CE})_{SAT}$ at $I_C = 10$ A: 1.3 V(max)
r_{FE} at $I_C = 5$ A: 500(min)	$(V_{CE})_{SAT}$ at $I_C = 20$ A: 3 V(max)
r_{FE} at $I_C = 20$ A: 25(min)	$V_{EE/SAT}$ at $I_C = 10$ A: 2.1 V(max)
	$V_{EE/SAT}$ at $I_C = 20$ A: 25 V(max)

รูปที่ 3-9

แสดง Performance Characteristics ของทรานซิสเตอร์แบบคาร์ลิงตัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

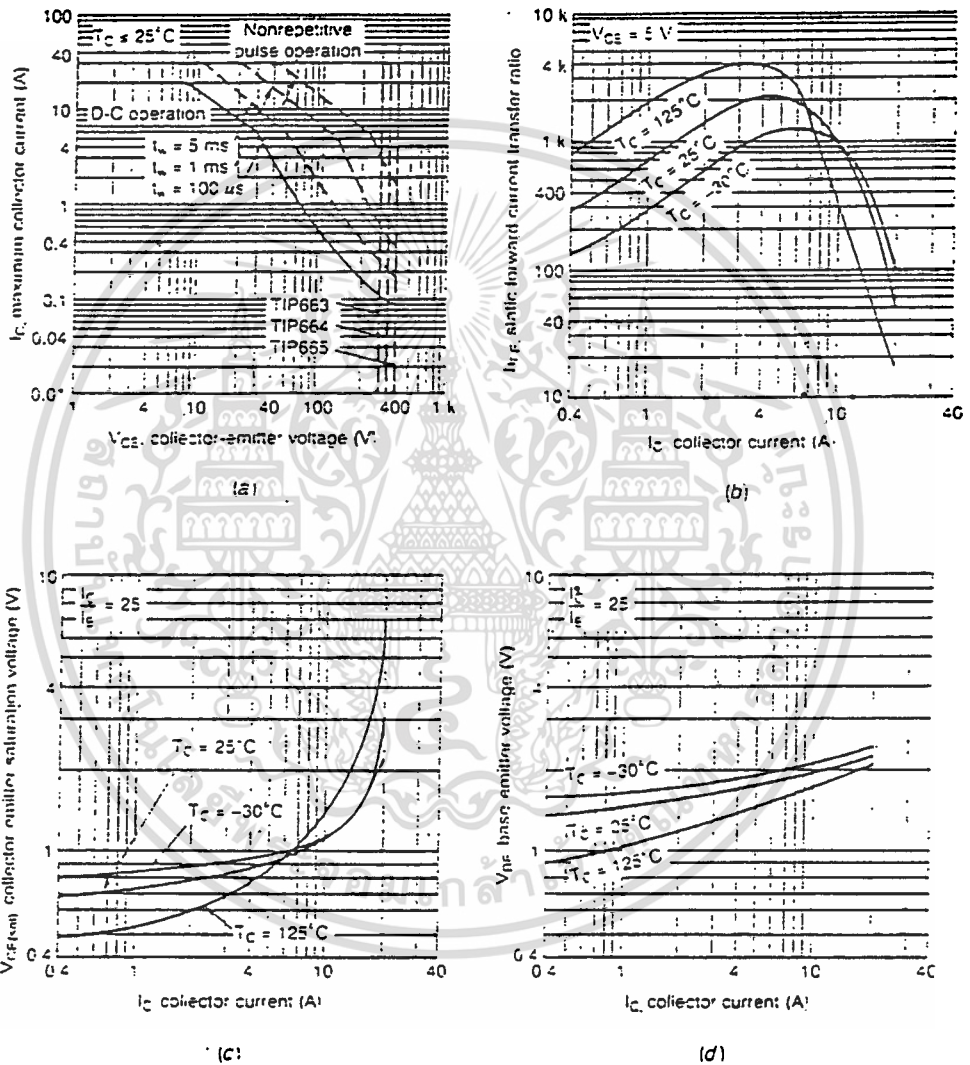
การสูญเสียกำลังเนื่องจากคอลเลคเตอร์มากขึ้น ซึ่งมาจาก P_D (คอลเลคเตอร์)

$$= V_{CE(SAT)} * I_c \text{ ซึ่งการสูญเสียจะมากกว่าแบบไบโพลาร์}$$

เพอร์ฟอร์แมนซ์ พารามิเตอร์ (PERFORMANCE PARAMETER)

- อัตราขยายกระแส (h_{FE}) เนื่องจากการต่อวงจรทรานซิสเตอร์แบบคาร์ลิงตัน

นั้น อัตราขยายเป็นผลคูณของอัตราขยายของ Q1 และ Q2 ค่า



Typical characteristics of a TIP663 Darlington power transistor. (a) Safe operating area; (b) current gain; (c) collector-emitter voltage; (d) base-emitter voltage. (Reprinted by permission of Texas Instruments.)

รูปที่ 3-10

แสดงคุณลักษณะของทรานซิสเตอร์ TIP663

h_{FE} อาจมีค่าสูงถึง 10,000 เนื่องด้วยเหตุนี้คาร์ลิงตัน จึงสามารถขับโหลดใช้สัญญาณจาก

PIA ได้โดยตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
พิจารณารูป 3-10 b แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง h_{FE} กับ I_c ที่อุณหภูมิต่างๆ ที่พิจารณา
ไม่ว่ากรณีใดๆ ห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารนี้ทุกครั้งหากมีการนำไปใช้

ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ค่า h_{FE} ที่ดีที่สุด ประมาณ 2000 ซึ่ง จะเกิดที่ $I_C/2$ (ในเรนจ์ของ I_C) คือ ที่ 20 A

ข้อเสียอีกอย่างหนึ่งของคาร์ลิงตันก็คือ

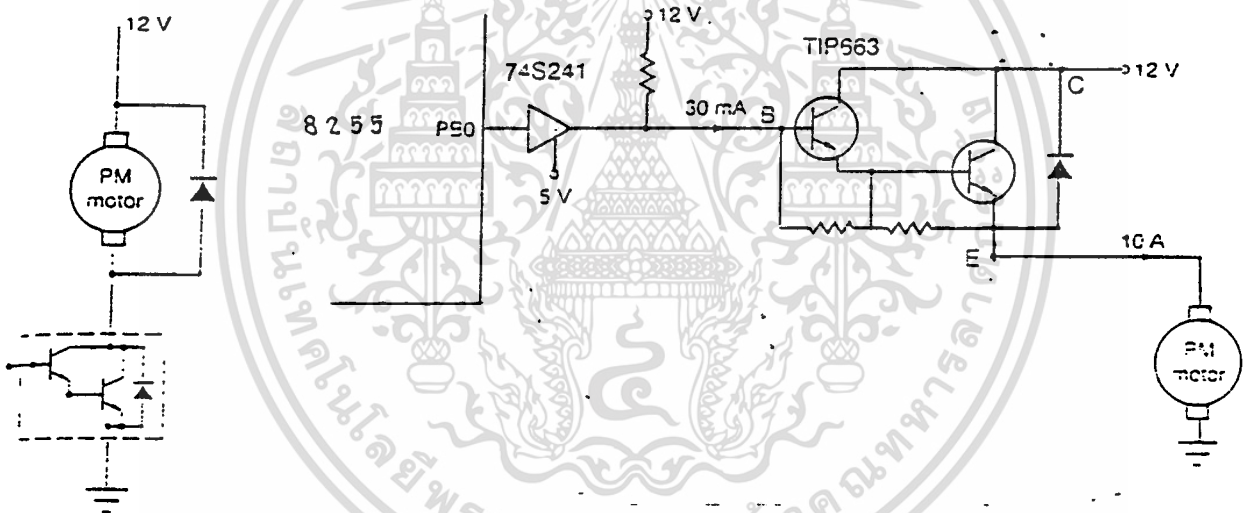
I_C มีความผิดพลาดได้ง่ายกว่าแบบไบโพลาร์ จากความสัมพันธ์ระหว่าง I_C กับ h_{FE}

$$h_{FE} = I_C / I_B$$

เมื่อ I_C มีความผิดพลาดจะทำให้ h_{FE} มีความผิดพลาดด้วย

-คอลเลคเตอร์-อีมิเตอร์ โวลต์เตจอิ่มตัว ($V_{CE(SAT)}$)

พิจารณารูปที่ 3-10C จะสังเกตเห็นว่า ($V_{CE(SAT)}$) ของคาร์ลิงตันจะสูงกว่าแบบไบโพลาร์ เมื่อให้ I_C เท่ากัน จากกำลังสูญเสียที่คอลเลคเตอร์ = ($V_{CE(SAT)}$) I_C จะเห็นว่าคาร์ลิงตันนี้มีกำลังสูญเสียมากกว่าแบบไบโพลาร์

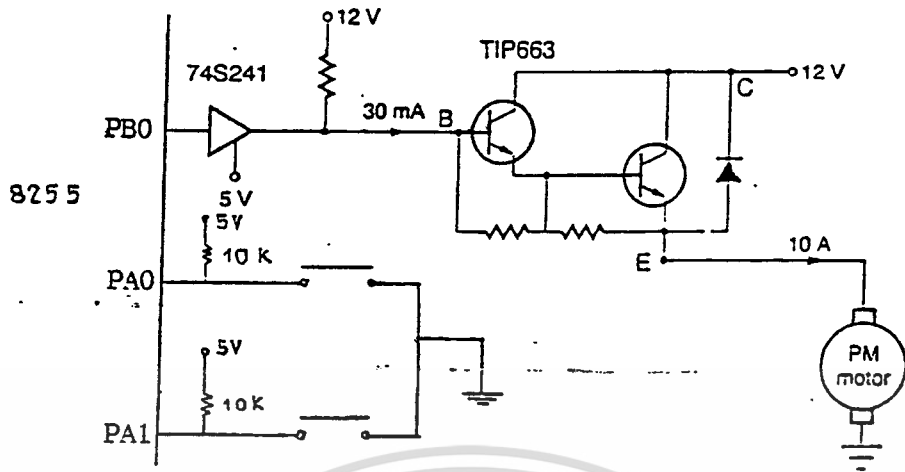


รูปที่ 3-11

การต่อทรานซิสเตอร์แบบคาร์ลิงตันกับ PIA เพื่อขับ PM มอเตอร์

การต่อฟองไมโครคอนโทรลเลอร์

ตัวอย่างนี้ต้องการขับ PM มอเตอร์ซึ่งต้องการกระแส 2A เมื่อเข้าสู่สภาวะการหมุนต่อเนื่อง และต้องการกระแส 10 A ขณะสตาร์ท ทั้งสองสภาวะนี้โวลต์เตจตกคร่อมมอเตอร์ 10 V



รูปที่ 3-11 แสดงการต่อทรานซิสเตอร์แบบคาร์ลิงตันกับไมโครคอนโทรลเลอร์

พิจารณารูป 2-9(25 องศาเซลเซียส)

หมุนต่อเนื่อง

สตาร์ท

IC 2 A

10 A

$V_{CE(SAT)}$ 0.8 V

1.2

H_{FE} 1500

1000

$I_B = 1.3$ mA

10 mA

คิต ODF(3)

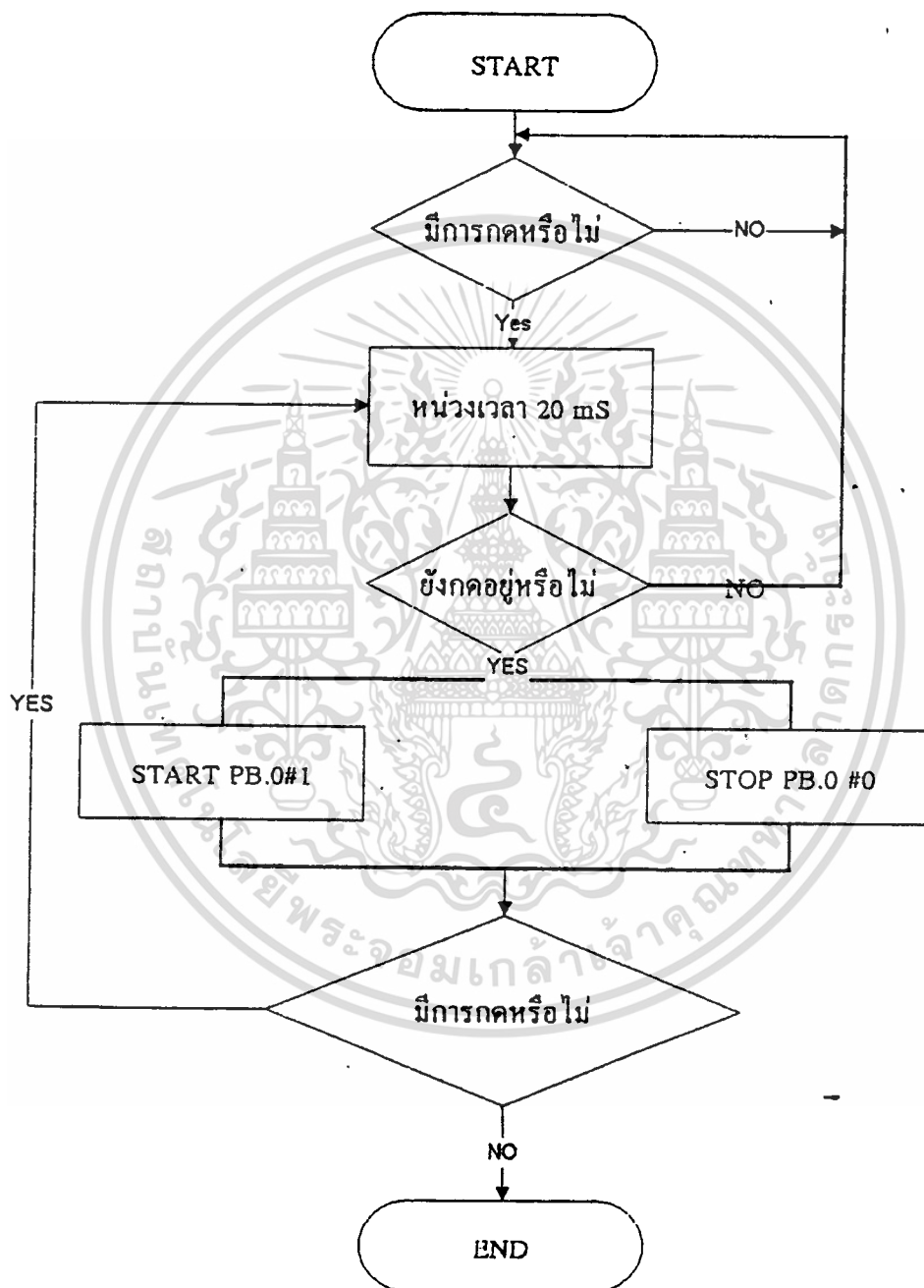
30 mA

I_B 4 mA

V_m 12-0.8 V

12-1.2

รูปที่ 3-12 แสดงผังโปรแกรม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

CONTPEQU    OFC03H
PORTBEQU    OFC01H;
PORTAEQU    OFC00H;GET DAT FROM SWITCH
DMSECEQU    003FH

ORG         8000H

MOV        DPTR,#CONTPE
MOV        A,#90H
MOVX       @DPTR,A
MOV        DPTR,#PORTB
MOV        A,#00H
MOVX       @DPTR,A
CHECK:     ACALL    SCAN
           JZ      CHECK
           ACALL    DELAY
           ACALL    SCAN
           JZ      START
           ACALL    DECODE
           RL      A
           MOV     DPTR,#CONDITION
           JMP     @A+DPTR
CONDITION:AJMP  START
           AJMP  STOP

START:
           MOV     DPTR,#PORTB
           MOV     A,#1
           MOVX    @DPTR,A
           AJMP   CHECK

STOP:
           MOV     DPTR,#PORTB
           MOV     A,#0

```

```

MOVX   @PTR,A
AJMP   CHECK
AJMP   CHECK

```

```

DECODE: CJNE  A,#00000001B,ST

```

```

MOV    A,#00H

```

```

SJMP   PREOUT

```

```

ST:MOV  A,#1

```

```

PREOUT:

```

```

RET

```

```

SCAN:  MOV    DPTR,#PORTA

```

```

MOVX   A,@DPTR

```

```

CPL    A

```

```

RET

```

```

DELAY: PUSH   ACC

```

```

PUSH   02H

```

```

PUSH   03H

```

```

MOV    R2,#20

```

```

LCALL  DMSEC

```

```

POP    03H

```

```

POP    02H

```

```

POP    ACC

```

```

RET

```

```

END

```

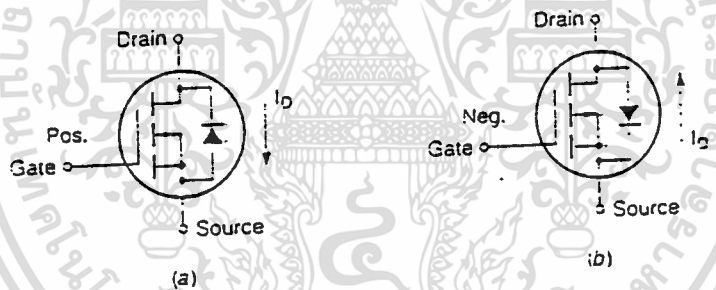
3.3 เพาเวอร์มอสเฟตทรานซิสเตอร์

จากที่กล่าวมาจะเห็นได้ว่า ทรานซิสเตอร์แบบไบโพลาร์นั้น จะเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการขยายกระแส แต่มอสเฟตนี้จะเป็นการขยายโวลต์ที่เด่น

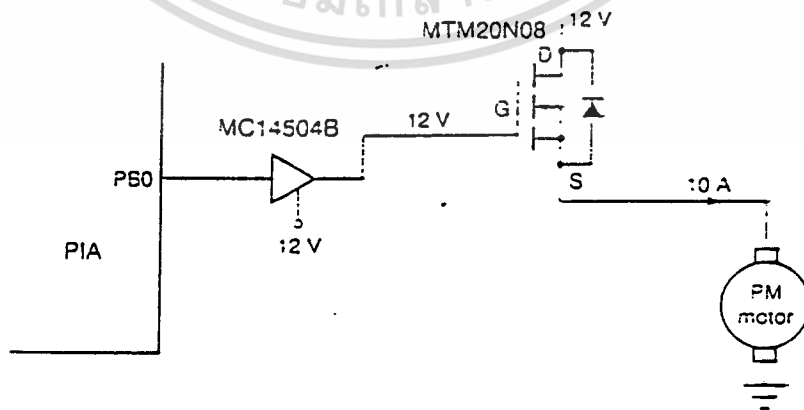
มอสเฟตนี้ส่วนมากจะถูกใช้งานในการทำหน้าที่ให้เป็นสวิตช์ความเร็วสูง โดยอาศัยการเปลี่ยนแปลงของประจุทางด้านอินพุต ซึ่งทำให้ความเร็วในการตอบสนองนั้นเร็วกว่าแบบไบโพลาร์มาก พิจารณารูป 3-13 a มอสเฟตแบบ n- แชลแนล ซึ่งจะทำงาน โดยการป้อนโวลต์ที่เด่นที่เป็นบวกที่ขาเกต

กระแสเดรนก็คือ กระแสที่ไหลจากขาเดรนไปหาซอส(source) จะเห็นได้ว่าการทำงานของ n- แชลแนลนั้นจะมีลักษณะคล้ายกับทรานซิสเตอร์ไบโพลาร์แบบ npn นั้นเอง

ส่วนทรานซิสเตอร์มอสเฟตแบบ p- แชลแนลนั้น พิจารณา รูปที่ 3-13 b จะมีการทำงานคล้ายกับทรานซิสเตอร์ ไบโพลาร์แบบ pnp นั้นเอง



รูปที่ 3-13



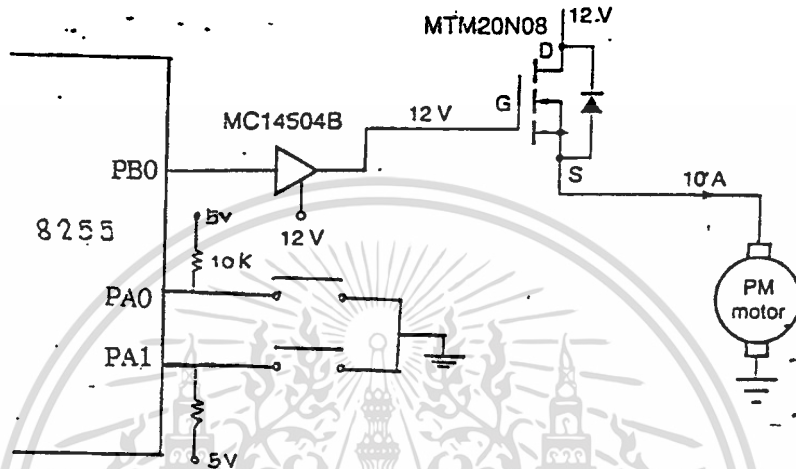
รูปที่ 3-14

แสดงการต่อมอเตอร์กับ PIA โดยใช้ทรานซิสเตอร์แบบมอสเฟตเป็นสวิตช์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การต่อพ่วงไมโครคอนโทรลเลอร์

ตัวอย่างนี้ต้องการขับ PM มอเตอร์ซึ่งต้องการกระแส 2A เมื่อเข้าสู่สภาวะการหมุนต่อเนื่อง และต้องการกระแส 10 A ขณะสตาร์ท ทั้งสองสภาวะนี้โวลท์เตจตกคร่อมมอเตอร์ 10 V



รูปที่ 3-15 แสดงการต่อทรานซิสเตอร์แบบมอสเฟตกับไมโครคอนโทรลเลอร์

หมุนต่อเนื่อง

$$I_{DS} = 2 \text{ A}$$

$$R_{DS} = 0.10 \Omega$$

$$V_{DS} = 0.20 \text{ V}$$

$$V_{GS} = 5.5 \text{ V}$$

$$= 12 \text{ V (with overdrive)}$$

สตาร์ท

$$I_{DS} = 10 \text{ A}$$

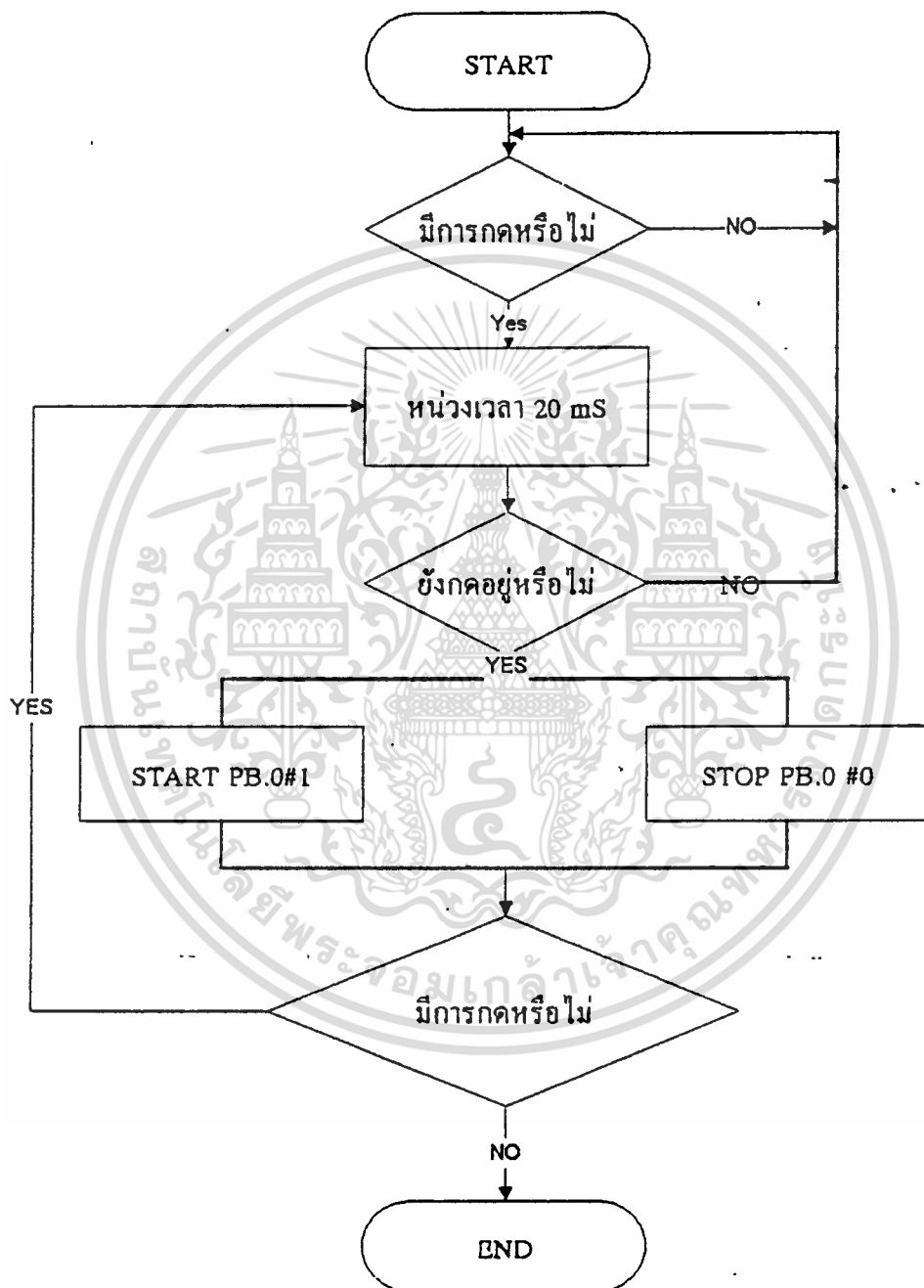
$$R_{DS} = 0.10 \Omega$$

$$V_{DS} = 1.0 \text{ V}$$

$$V_{GS} = 6.8 \text{ V}$$

$$= 12 \text{ V (with overdrive)}$$

รูปที่ 3-16 แสดงผังโปรแกรม



```

CONTPEQU    OFC03H
PORTBEQU    OFC01H;
PORTAEQU    OFC00H;GET DAT FROM SWITCH
DMSECEQU    003FH
ORG         8000H
MOV        DPTR,#CONTPE
MOV        A,#90H
MOVX      @DPTR,A
MOV        DPTR,#PORTB
MOV        A,#00H
MOVX      @DPTR,A
CHECK:     ACALL  SCAN
           JZ     CHECK
           ACALL  DELAY
           ACALL  SCAN
           JZ     START
           ACALL  DECODE
           RL     A
           MOV   DPTR,#CONDITION
           JMP   @A+DPTR
CONDITION: AJMP  START
           AJMP  STOP

START:
           MOV   DPTR,#POTRB
           MOV   A,#1
           MOVX  @DPTR,A
           AJMP  CHECK

STOP:
           MOV   DPTR,#PORTB
           MOV   A,#0

```

```

MOVX   @PTR, A
AJMP   CHECK
AJMP   CHECK

```

```

DECODE: CJNE   A, #00000001B, ST
        MOV    A, #00H
        SJMP   PREOUT
        ST:MOV  A, #1
        PREOUT:
        RET

```

```

SCAN:   MOV    DPTR, #PORTA
        MOVX   A, @DPTR
        CPL    A
        RET

```

```

DELAY: PUSH   ACC
        PUSH   02H
        PUSH   03H
        MOV    R2, #20
        LCALL  DMSEC
        POP    03H
        POP    02H
        POP    ACC
        RET

```

```

END

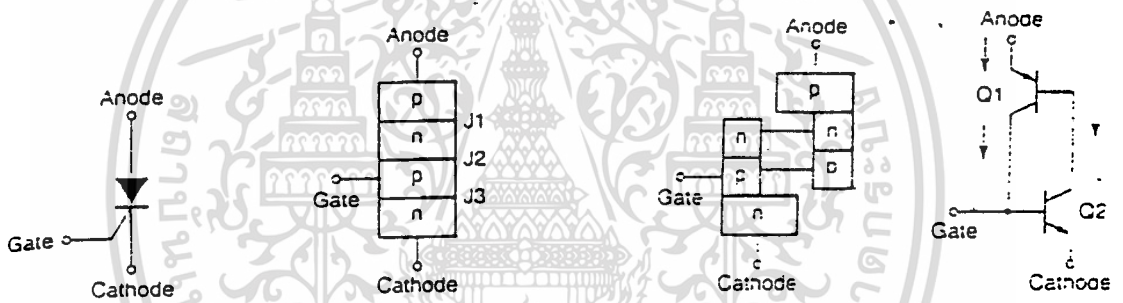
```

3.4 ไทริสเตอร์

โครงสร้างและวงจรสมมูลย์ของเอสซีอาร์

เอสซีอาร์เป็นอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำที่ให้คุณสมบัติคล้ายไดโอด แต่เป็นไดโอดที่มีการควบคุมได้ การควบคุมในที่นี้หมายถึงการทำให้ไดโอดนำกระแสหรือหยุดนำกระแสได้นั้นเอง ลักษณะโครงสร้างและวงจรสมมูลย์แทนได้ดังวงจรในรูปที่ 3-15

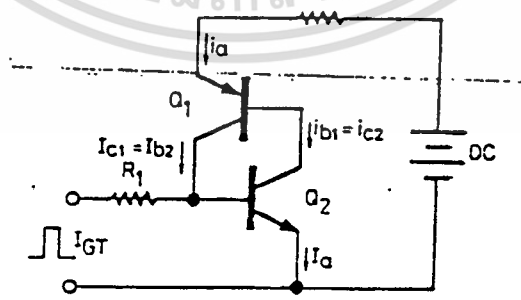
เมื่อแบ่งโครงสร้างของเอสซีอาร์ออกเป็นสองซีก โดยการแทนทรานซิสเตอร์ในรูปของ npn และ pnp สองตัววงจรที่แทนเอสซีอาร์ก็จะได้ดังรูปที่ 3-16 คราวนี้เรามาพิจารณาการทำงาน โดยปกติเมื่อเรายังไม่ป้อนกระแสเข้าทางเกทไม่ว่าแรงดันที่อาร์โนดหรือคาโทดจะเป็นบวกหรือลบก็ตาม เอสซีอาร์จะยังไม่นำกระแส ครั้นเมื่อให้แรงดันกับเอสซีอาร์โดยขั้วอาร์โนดมีศักดาเป็นบวกเมื่อเทียบกับคาโทด แล้วทำการป้อนกระแสทริกให้กับเอสซีอาร์แต่เพียงน้อยนิด



รูปที่ 3-15

โครงสร้างและวงจรสมมูลย์ของเอสซีอาร์

กล่าวถึงงานนำกระแส



รูปที่ 3-16

วงจรแสดงการทำงานของเอสซีอาร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อมีกระแสไหลเข้าที่เบสของทรานซิสเตอร์ Q2 ก็จะมีกระแสคอลเล็กเตอร์ไหล ด้วย ปริมาณของกระแสคอลเล็กเตอร์ (I_{C2}) มีค่าโดยประมาณเท่ากับ I_{B2}^* กระแสส่วนนี้จะมีค่าเท่ากับกระแสเบสของทรานซิสเตอร์ Q1 (i_{B1}) กระแสเบสของ Q1 ก็จะทำให้เกิดกระแสคอลเล็กเตอร์ของ Q1 ซึ่งพลอยเป็นกระแสเบสของ Q2 และวนเช่นนี้เรื่อยๆไป ดังนั้น เมื่อกระแสทริกแต่เพียงน้อยนิดก็จะทำให้เอสซีอาร์นำกระแสได้ทันที

ในการสร้างเอสซีอาร์ผู้ผลิตจะลดอัตราขยายของทรานซิสเตอร์ Q1 ลงและเพิ่มค่าความต้านทานที่ต่ออนุกรมที่เบสของทรานซิสเตอร์ Q2 เพื่อลดความไวลง ทั้งนี้เพื่อป้องกันสัญญาณรบกวนที่ทำให้เกิด การทริกได้

ลักษณะสมบัติแรงดันกระแสของทรานซิสเตอร์

เมื่อบ้อนแรงดันค่าไฟน้อยๆคร่อมขั้วอาร์โนดกับขั้วคาโอดของเอสซีอาร์ ปล่อยให้แรงดันที่อาร์โนดเป็นบวก เทียบกับคาโอดและปล่อยให้ขาเกตว่างไว้ เอสซีอาร์จะไม่นำกระแส ถ้าเพิ่มแรงดันขึ้นสูงเรื่อยๆจนถึงค่าหนึ่งเรียกว่า แรงดันพังทลายด้านฟอร์เวิร์ด (Forward breakover voltage- V_{BO}) ของเอสซีอาร์ จะทำให้เอสซีอาร์นำกระแสได้ และอาจจะเสียหายถ้าไม่มีการจำกัดกระแส โดยปกติเอสซีอาร์สามารถนำกระแสได้ด้วยค่าแรงดันที่อาร์โนดต่ำกว่าค่าแรงดันพังทลายด้านฟอร์เวิร์ด (V_{BO}) โดยการบ้อนกระแสจำนวนพอเหมาะเข้าไปทางขาเกตเพื่อทริกให้เอสซีอาร์นำกระแส เอสซีอาร์จะนำกระแสค้างอยู่ได้ แม้ว่าจะไม่มีกระแสบ้อนเข้าที่เกตก็ตาม การนำกระแสด้วยการทริกนี้มีเงื่อนไขที่ต้องให้ส่วนของกระแสระหว่างอาร์โนดคาโอด ขณะนั้นต้องมีค่ามากกว่าค่า I_L หนึ่งที่เรียกว่า กระแสค้าง (latching current- I_L) เมื่อเอสซีอาร์นำกระแสแล้วและจะกลับคืนสู่สภาวะหยุดนำกระแสอีกครั้งหนึ่ง เมื่อกระแสอาร์โนดมีค่าน้อยกว่า กระแสยึด (Holding current- I_H) โดยทั่วไปกระแสค้างจะมีค่าสูงกว่ากระแสยึดอยู่ประมาณ 2 เท่า

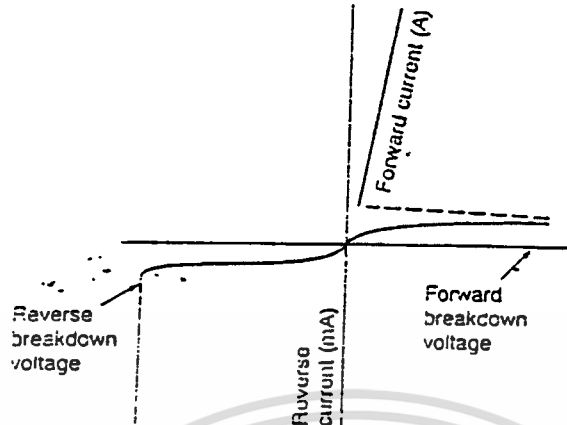
ถ้าบ้อนแรงดันตกคร่อมอาร์โนดเป็นลบเทียบกับคาโอด เอสซีอาร์จะไม่นำกระแส เมื่อแรงดันนี้สูงถึงค่า V_{AV} หนึ่งที่เรียกว่า แรงดันอวาแลนซ์ด้านรีเวิร์ส (reverse avalanche voltage) จะมีกระแสไหลผ่านเอสซีอาร์ได้มาก เพราะขั้วต่อภายในเสียหายลุบไปแล้ว ในการบ้อนแรงดันแบบนี้กระแสเกตไม่มีผลทำให้เอสซีอาร์นำกระแสได้เลย

เอสซีอาร์จะนำกระแสได้ต่อ เมื่อแรงดันอาร์โนดเป็นบวก เทียบกับคาโอดและกระแสเกตเป็นบวกเท่านั้น

การใช้งานเอสซีอาร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า การใช้งานของ เอสซีอาร์ส่วนใหญ่แล้ว เราใช้ เป็นสวิตช์ สำหรับนำกระแสให้ผ่านไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หรือตัดไฟมาให้ผ่านไปยังวงจรโหลด แต่เอสซีอาร์มีลักษณะพิเศษคือสามารถนำกระแสได้



รูปที่ 3-17

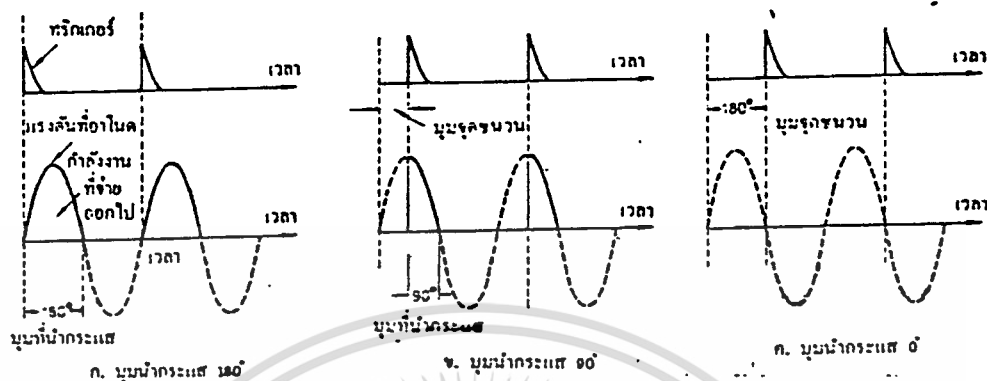
แสดงลักษณะสมบัติแรงดันและกระแสของ เอสซีอาร์

เพียงทางเดียวเท่านั้น ดังนั้นเราจึงใช้เอสซีอาร์ทำหน้าที่เป็นวงจรเรกติไฟเออร์ได้ และถ้าหากว่าเราสามารถควบคุมช่วงนำกระแสของเอสซีอาร์ในแต่ละรอบของไฟสลับให้นำกระแสได้นานขึ้น หรือสั้นลงได้แล้ว เราก็จะได้กระแสเฉลี่ยที่จ่ายไปยังโหลดแปรค่าได้ซึ่งสามารถนำไปใช้ในวงจรควบคุมกำลังไฟฟ้า (ไฟตรง) หรือควบคุมความเร็วของมอเตอร์ได้ดี การนำเอสซีอาร์เป็นสวิตช์ก็เพราะสามารถเปิดปิดวงจรได้ในอัตราความเร็วสูงมาก และต้องการกำลังไฟฟ้าในการควบคุมการทริกเพียงเล็กน้อย เอสซีอาร์บางตัวใช้กระแสทริกในหน่วยของมิลลิแอมป์เท่านั้น เมื่อเอสซีอาร์นำกระแสแล้วมันจะนำกระแสค้างอยู่สภาวะนั้นตราบที่ยังมีกระแสไหลผ่านตัวมันอยู่

ในการใช้งานเอสซีอาร์นั้นมีหลายวิธี วิธีใช้งานที่พบทั่วไปและเป็นแบบที่ง่าย คือ นำให้เอสซีอาร์เป็นตัวสวิตช์นำไฟตรงไปจ่ายแก่อุปกรณ์หรือโหลด ซึ่งอาจควบคุมการสวิตช์ได้ในลักษณะป้อนกลับ ดังเช่นในการควบคุมแรงดันที่มีวงจรตรวจจับแรงดัน เมื่อแรงดันมากหรือน้อยกว่าที่กำหนดจะมีสัญญาณไปจุดชนวนเอสซีอาร์ให้นำกระแส ซึ่งจะไปทำที่ระดับแรงดันถูกควบคุมจ่ายให้โหลด นอกจากนี้ยังสามารถใช้เป็นตัวตรวจจับเมื่อมีอะไรมาสัมผัสกับตัวรับความรู้สึกจะทำให้เอสซีอาร์นำกระแสทำที่กระดิ่งไฟฟ้าดังได้ ในระบบควบคุมอุณหภูมิเมื่อความร้อนสูง หรือต่ำก็มีตัวตรวจจับอุณหภูมิส่งสัญญาณไปจุดชนวนเอสซีอาร์ให้เปิดหรือปิดวาล์วควบคุมหรือหยุดจ่ายไฟ หรือจ่ายไฟให้แก่หลอดน้ำร้อน การใช้งานของเอสซีอาร์มีอยู่มากมายขึ้นอยู่กับความคิดในการประยุกต์ไปใช้งานของผู้ออกแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่มีที่ใช้งานในวงจรเรกติไฟเออร์อย่างกว้างขวางแต่ซึ่งชื่อของเอสซีอาร์ก็มีการค้าไม่จำกัดทุกชิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หมายถึงการใช้งานในด้านนี้เป็นอย่างดีว่าเป็นตัวเรกติไฟเออร์ที่สามารถควบคุมได้ (silicon control rectifier) สามารถเรกติไฟเออร์ ให้แรงดันบวกหรือลบออกมา



รูปที่ 3-18

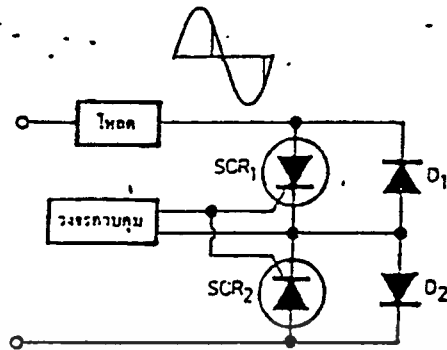
การใช้เอสซีอาร์ควบคุมกำลังไฟที่บ่อน้ำให้ไหล

ทางเอาท์พุทได้ และยังควบคุมให้แรงดันออกมามากน้อยก็ได้ โดยการกำหนด เวลาที่จะให้เอสซีอาร์เริ่มนำกระแสตรงช่วย เวลาใดของรูปคลื่นนั้น โดยวิธีนี้จะได้รูปคลื่น ของไฟห้าตั้งแต่ครึ่งลูกคลื่นจนถึงไม่มีไฟออกเลย ดังในรูปที่ 18 ถ้าเติมวงจรกรอง แรงดันและฟิลเตอร์ที่เหมาะสมเข้าไปจะได้รูปคลื่นที่เรียบขึ้น

ในกรณีที่ใช้เอสซีอาร์กับไฟสลับ การหยุดนำกระแสของเอสซีอาร์จะเป็นไปเอง โดยอัตโนมัติ เพราะกระแสและแรงดันจะตกลงเป็นศูนย์ทุก ๆ ครึ่งลูกคลื่น การเรกติไฟเออร์แบบเต็มรูปคลื่นที่ใช้เอสซีอาร์ 2 ตัวก็ทำได้โดยให้ตัวหนึ่งนำกระแสในช่วงไฟบวก และอีกตัวหนึ่งนำกระแสในช่วงลบ ด้วยวิธีนี้สามารถทำการควบคุมไฟได้ตลอดคลื่นรูปขายน้ างงานทางด้านกำลังไฟสูง ๆ ที่ต้องเปิดวงจรบ่อย ๆ จะใช้เอสซีอาร์แทนสวิตช์และรีเลย์ ได้ดี เพราะมันไม่มีส่วนที่เคลื่อนที่เวลานอนที่สึกหรอได้เมื่อเปิดปิดบ่อย ๆ ครั้ง สำหรับการ ใช้งานกับไฟตรงจะใช้แสงความร้อน ความดัน แรงดัน กระแส ความเร็ว ความถี่ มา จุดชนวนเอสซีอาร์ได้ สำหรับการจุดชนวนกับไฟสลับจะใช้เอสซีอาร์ 2 ตัว สามารถ จุดชนวนไฟทั้งช่วงไฟบวกและไฟลบ และจะให้จุดชนวนเอสซีอาร์ควบคุมกำลังไฟที่ไหลล้นให้ มากน้อยก็ได้ โดยการทริคให้เอสซีอาร์นำกระแสที่จุดหนึ่ง ๆ บนรูปขายน้ ซึ่งสามารถควบคุมไฟได้ตลอดช่วงรูปคลื่น (ดูรูปที่ 3-18)

ลักษณะทั่วไปของไตรแอก

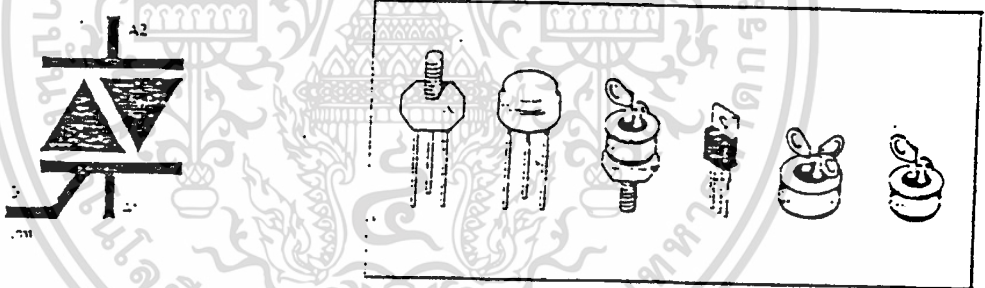
ไตรแอกเป็นอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำที่รู้จักกันแพร่หลายและเรามักจะรู้จักกันว่าไตร



รูปที่ 3-18

การคุมกำลังไฟสลับ

ไทรแอกเป็นอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำที่มีขั้วต่อ 3 ขั้ว เรียกแต่ละขั้ว A2 A1 และเกต โดยมีสัญลักษณ์และรูปร่างของไทรแอกดังแสดงในรูปที่ 3-19 ไทรแอกจะเป็นตัวทาทนไฟที่คล้ายๆกับสวิทช์ไฟฟ้าสำหรับกระแสสลับแต่มีข้อดีกว่าสวิทช์ธรรมดาคือ



รูปที่ 3-19

สัญลักษณ์และรูปร่างของไทรแอก

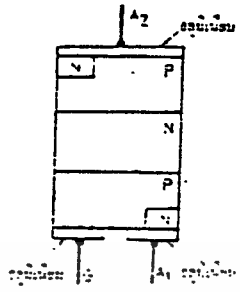
1. การเปิดปิดวงจรไฟฟ้าของไทรแอกควบคุมได้ง่ายให้กำลังงานเพียงเล็กน้อย เข้าทางขั้วเกตเท่านั้น
2. ไม่มีการกระทบกระทั่งของหน้าสัมผัสที่เป็นโลหะ เหมือนสวิทช์ธรรมดา เพราะไทรแอกอาศัยหลักการนำกระแสของสารกึ่งตัวนำ
3. จังหวะการเปิดปิดวงจรของไทรแอกเร็วกว่าสวิทช์ธรรมดาหลายเท่า จึงทำให้สามารถควบคุมวงจรได้ด้วย หลักการของการสวิทช์ซึ่งที่สวิทช์ธรรมดาทำไม่ได้

โครงสร้างของไทรแอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า โครงสร้างของไทรแอกประกอบด้วย 3 ชั้นเรียงต่อกัน เช่นเดียวกับเฮกซีอากร แต่มีลักษณะทางโครงสร้างบางอย่างที่แตกต่างกัน เฮกซีอากรคือส่วนของขา เกตจะเป็นชั้น

ของสารกึ่งตัวนำที่ต่ออยู่โดยมีบางส่วนของสารกึ่งตัวนำนั้นร่วมกับขา

A1 ดังแสดงในรูปที่ 3-20



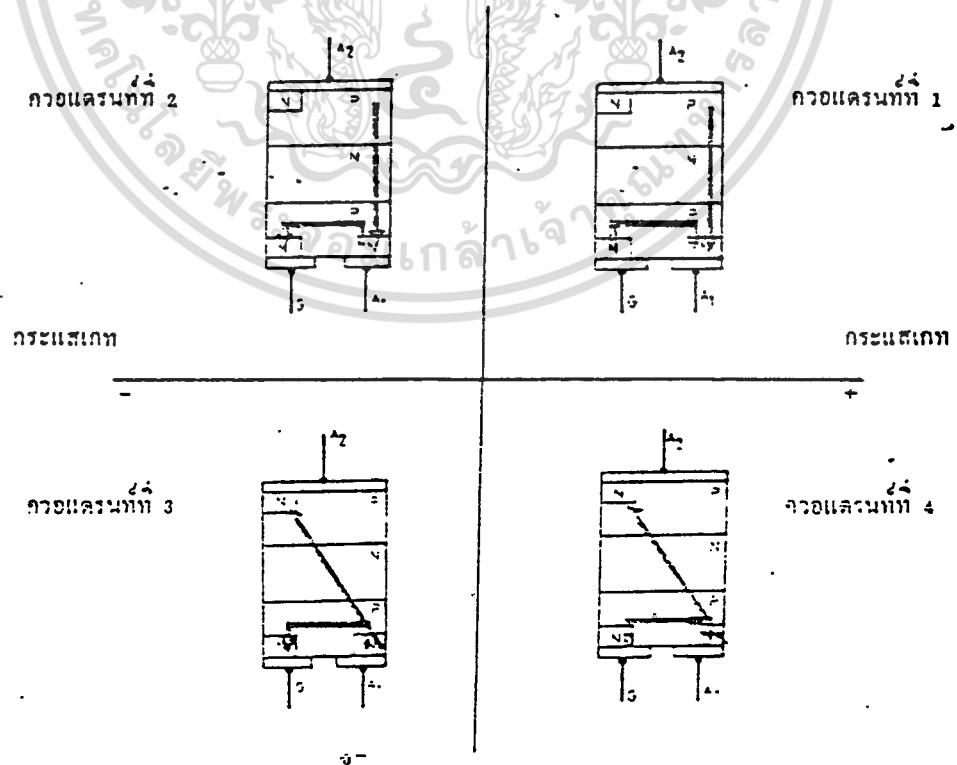
รูปที่ 3-20

โครงสร้างของไตรแอด

ถ้าพิจารณาจากลักษณะโครงสร้างของไตรแอด เมื่อเปรียบเทียบกับเอสซีอาร์แล้วจะเห็นว่ามีส่วนที่แตกต่างกันอยู่ โดยเฉพาะอย่างยิ่งส่วนของสารกึ่งตัวนำทางด้านปลายที่จะต่อกับขั้ว A₂A₁ หรือเกท ดังตัวอย่าง เช่นที่ขั้ว A₂ ส่วนของขา A₂ จะสัมพันธ์การทำงานกับไตรแอด

การทำงานของไตรแอด

แรงดันไฟฟ้าที่ขั้ว A₂ เทียบกับ A₁



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนแสดงการทำงานของไตรแอดในแต่ละควอดแดรนต์ที่ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผัสกับเนื้อสารทั้งส่วนของ P และ N โดยส่วนของ N จะยังแบ่งอยู่ในส่วนของ P เช่นเดียวกันกับขา A1 และขาเกทที่ต่อสัมผัสกับส่วนกึ่งตัวนำทั้งชนิด P และชนิด N ที่ฝังอยู่ในส่วนของเนื้อสาร P การที่เราต้องทำเช่นนี้ก็เพื่อให้ทรานซิสเตอร์แอคทำงานได้ทั้งทางด้านบวกและลบของไฟสลัป เพราะจะทำให้ลักษณะของทรานซิสเตอร์เหมือนกับเป็นเอสซีอาร์สองตัวหันหัวข้างละตัวและจะสามารถทริกการทงานด้วยกระแสบวกหรือลบก็ได้

การทำงานของทรานซิสเตอร์อธิบายเกี่ยวกับเอสซีอาร์ได้ดังนี้ โดยปกติทรานซิสเตอร์จะต่างจากเอสซีอาร์ตรงที่สามารถทริกได้ทั้งกระแสบวกและกระแสลบ และนอกจากนี้แล้วแรงดันระหว่าง A1-A2 จะให้สลับกันอย่างไร มันก็ยังคงทงานได้ ดังนั้นจึงแบ่งการทำงานของทรานซิสเตอร์ออกเป็น 4 ควอดแดรนต์ คือ ในควอดแดรนต์ที่ 1 เราให้แรงดันที่ขา A2 เป็นบวกและกระแสเกทก็เป็นบวก ส่วนในควอดแดรนต์ที่ 2 ให้แรงดันที่ขา A2 เป็นบวกและกระแสเกทเป็นลบหรือไหลออกจากเกท ในควอดแดรนต์ที่ 3 จะใช้กระแสเกทเป็นลบเช่นเคยแต่จะแรงดัน A2 เป็นลบแทน ส่วนในควอดแดรนต์ที่ 4 จะใช้กระแสเกทเป็นบวกและแรงดัน A2 เป็นลบ ซึ่งถ้าเขียนในลักษณะแกนของกระแสเกทเป็นแกน X และแรงดัน A2 เป็นแกน Y เราจะได้รูปการทำงานของทรานซิสเตอร์ในสี่ควอดแดรนต์ดังแสดงในรูปที่ 3-21

ในควอดแดรนต์ที่ 1 ตัวทรานซิสเตอร์จะให้การทำงานเหมือนกับเอสซีอาร์ทุกอย่าง การทริกทรานซิสเตอร์เกิดขึ้นจากการป้อนกระแสเกทเข้าไปยังชั้นสารกึ่งตัวนำ P ทำให้เกิดการนำกระแสระหว่างรอยต่อ P-N ตรงส่วนของ T1 เป็นผลทำให้กระแสได้โดยตรงจากขั้ว A2 มาอยู่ที่ A1 โดยผ่านเนื้อสาร PNPN ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าส่วนของเนื้อสาร N ที่อยู่ทางด้าน A2 และเกทจะไม่มีส่วนเกี่ยวข้องต่อการทงานใดๆในควอดแดรนต์นี้ ดังนั้นถ้าคิดว่าไม่มีเนื้อสาร N ที่กล่าวถึงนี้แล้วทรานซิสเตอร์ก็คือเอสซีอาร์ดีๆนี่เอง

ในควอดแดรนต์ที่ 2 เรายังคงให้แรงดันที่ A2 เป็นบวกอยู่เช่นเคยแต่ให้กระแสเกทมีค่าเป็นลบ การไหลของกระแสเกทจะไหลจากขา A1 ผ่านเนื้อสาร P เข้าเนื้อสาร N กับมายังขาเกทซึ่งจะผ่านรอยต่อ PN หนึ่งรอยต่อ การผ่านรอยต่อนี้จะผ่านได้โดยง่าย เพราะเหมือนกับเป็นการไบแอสตรงให้กับหัวต่อนี้ การที่ททำให้มีกระแสไหล เนื่องจากกระแสเกทนี้จะทริกให้ทรานซิสเตอร์ทงานโดยนำกระแสเกิดการไหลของกระแสจาก A2 มาที่ A1 โดยผ่านเนื้อสาร PNPN ตามลำดับดังรูปบนซ้ายของรูปที่ 3-21 ซึ่งก็มีลักษณะการทำงานเหมือนเอสซีอาร์เช่นกัน

ในควอดแดรนต์ที่ 3 นี้ เป็นการให้กระแสเกทเป็นลบและแรงดันที่ขั้ว A2 เป็นลบ

เอกสารนี้เป็นส่วนหนึ่งของกระแสเกทจะไหลได้โดยผ่านหัวต่อ PN ซึ่งจะอยู่ในลักษณะไบแอสตรงการค้ำ
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

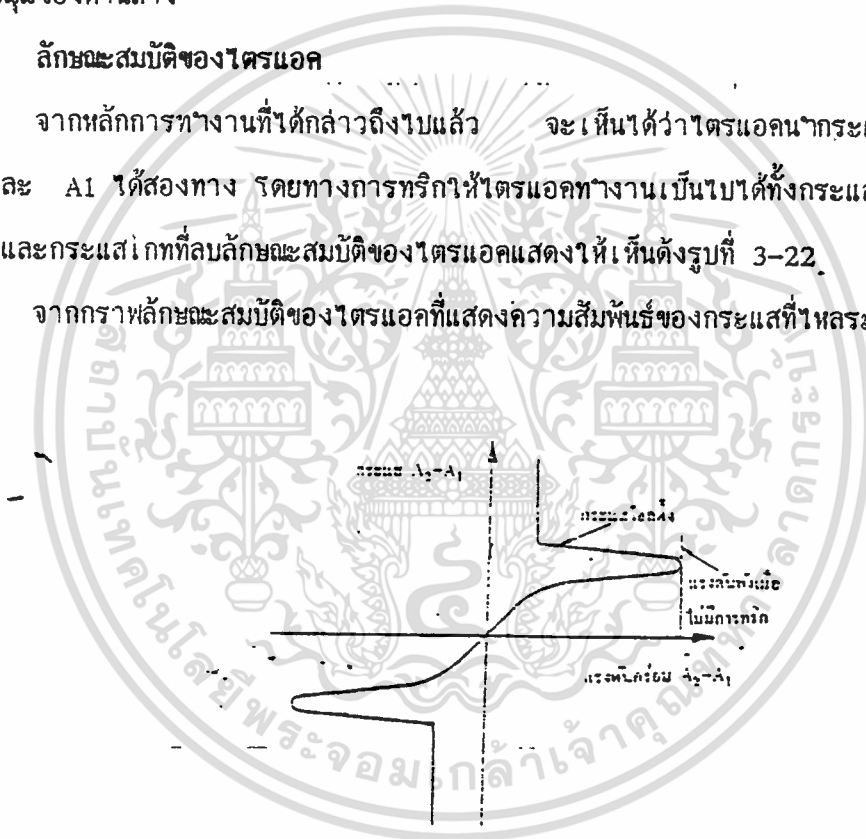
และจะเกิดการทํางานของไตรแอก ให้หน้ากระแสโดยกระแสจะไหลจากขา A1 ไปยัง A2 โดยผ่านเนื้อสาร PNPN ตามลำดับเช่นกัน จะเห็นได้ว่าการนำกระแสในควอดแดรนต์นี้ทำให้ไตรแอกนำกระแสได้อีกทางซึ่งเป็นผลให้ไตรแอกนำกระแสได้ทั้งสองทาง

ส่วนในควอดแดรนต์ที่ 4 จะเป็นการทริกด้วยกระแสที่เป็นบวก คือกระแสจะไหลจากขาเกตเข้ายังเนื้อสาร P ผ่านหัวต่อ PN ซึ่งตัวในลักษณะไบแอสตรงกับมายังขา A1 เมื่อเกิดการทํางานของไตรแอก ไตรแอกก็จะนำกระแสโดยมีการไหลของกระแสผ่านสารกึ่งตัวนำ PNPN เช่นเคยโดยมีทิศทางลูกศรการไหลของกระแสดังรูปที่ 3-21 ทางมุมของด้านล่าง

ลักษณะสมบัติของไตรแอก

จากหลักการทํางานที่ได้กล่าวถึงไปแล้ว จะเห็นได้ว่าไตรแอกนำกระแสระหว่าง A2 และ A1 ได้สองทาง โดยทางการทริกให้ไตรแอกทํางานเป็นไปได้อีกทั้งกระแสที่เป็นบวกและกระแสที่เป็นลบ ลักษณะสมบัติของไตรแอกแสดงให้เห็นดังรูปที่ 3-22

จากกราฟลักษณะสมบัติของไตรแอกที่แสดงความสัมพันธ์ของกระแสที่ไหลระหว่าง A2



รูปที่ 3-22

ลักษณะสมบัติของไตรแอก

-A1 ทำให้ได้ทั้งบวกและลบกับแรงดันคร่อมตัวมัน ในขณะที่ให้แรงดันคร่อม A2-A1 มีค่าเป็นบวกเทียบกับ A1 และถ้ายังไม่มีการทริกแล้ว จะมีค่าแรงดันระหว่าง A2-A1 ค่าหนึ่งที่ทำให้มันนำกระแสเองได้แรงดันนี้คือแรงดันพัง (breakover voltage) เช่นเดียวกับ SCR แต่ถ้าให้แรงดัน A2-A1 นี้มีค่าน้อยกว่าแรงดันพัง แล้วการทํางานทริกกระแสเกตมันว่าจะเป็นเกตที่มีค่าเป็นบวกหรือลบก็ตามไตรแอกจะนำกระแสทันที กราฟความสัมพันธ์และ

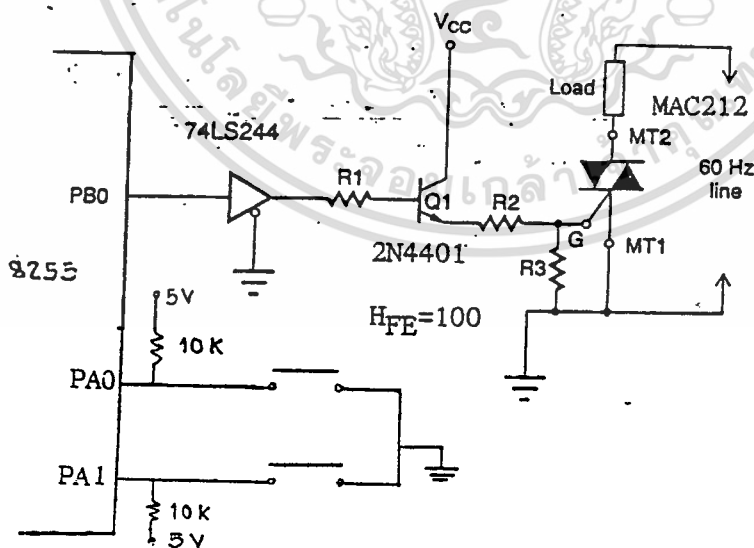
เอกสารนี้อาจแตกต่างจากเอกสารของ SCR ที่งานทางเดียวกันถ้าให้แรงดันที่ A1 มีค่าเป็นบวก การคำนวณว่าครณีได้ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อเทียบกับ A2 ส่วนของกราฟคือแกน X ทางด้านลบถ้าเพิ่มแรงดันนี้มีค่ามากขึ้นจนถึงค่าแรงดันพังก็จะทำให้ไดรแอกนักระแสเองได้ และถ้าหากว่าไม่มีการจำกัดกระแสในตัวไดรแอกแล้วไดรแอกก็จะเกิดการเสียหายได้ ครั้นถ้าแรงดัน A2-A1 มีค่าน้อยกว่าแรงดันพังแล้วทำการทรักด้วยกระแสเกท ซึ่งอาจจะเป็นกระแสบวกหรือลบก็ได้จะทำให้ไดรแอกนักระแสทั้งที่ส่วนของกราฟลักษณะสมบัติ จะแสดงได้ดังส่วนข้างล่างเพราะกระแสจะไหลจาก A1 ไปยัง A2 นั่นเอง

ในขณะที่ไดรแอกนักระแส และเรลาดค่ากระแสลงจนถึงภาวะสุดท้ายที่ยังคงทำให้ไดรแอกนักระแสได้ ค่ากระแสสุดท้ายนี้เรียกว่ากระแสโฮลดิ้ง (holding current) และทานองเดียวกันถ้าไดรแอกยังไม่นักระแสมันจะมีกระแสรั่วไหล (leakage current) เกิดขึ้นค่ากระแสมีค่าน้อยมาก

เนื่องจากไดรแอกสามารถให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านได้ทั้งสองทาง และสำหรับกระแสไหลกลับ (เป็นคลื่นรูปซายน์) จะมีช่วงเวลาหนึ่งที่กระแสตกต่ำกว่ากระแสโฮลดิ้ง ดังนั้นจึงทำให้ไดรแอกหยุดนักระแสและจะรอ การทรักใหม่อีกครั้งและถ้าหากเกิดการทรักในขณะครึ่งลบของสัญญาณไหลกลับ มันก็จะนักระแสได้อีก เช่น เคนและมันจะหยุดนัาเมื่อค่ากระแสลดลงต่ำกว่ากระแสโฮลดิ้ง

การต่อพ่วงไมโครคอนโทรลเลอร์



รูปที่ 3-26 แสดงการต่อไดรแอกเข้ากับไมโครคอนโทรลเลอร์

โตรแอกที่ G ต้องการกระแส 150 mA .1 V ในการทำงาน

$$I_B = I_G/H_{FE} = 150 \text{ mA}/100 = 1.5 \text{ mA}$$

ลิต ODF = 2.5 จะได้ $I_B = 3.75 \text{ mA}$

$$R1 = (V_{BUF} - V_{BE} - V_G)/I_B = (3.4 - 0.7 - 1)/3.75 = 450$$

$$R2 = (V_{CC} - V_{CE(SET)} - V_G)/I_G = (5 - 1 - 1)/150 = 20$$

ในการกระตุ้นขา G ของ MAC212 ต้องการไฟ 1 V ,150 mA ดังนั้นการออกแบบจึงต้องการอุปกรณ์ในการขยายกระแสให้ได้ 150 mA ในวงจรนี้ใช้ทรานซิสเตอร์ 2N4401 ซึ่งมี $H_{FE} = 100$

การคำนวณ

$$I_E = H_{FE} I_B = 150 \text{ mA}$$

จะได้

$$I_B = I_E/H_{FE} = 150\text{mA}/100 = 1.5 \text{ mA}$$

$$R1 = (V_{OH}(74LS244) - V_{BE} - V_G)/I_B \\ = (3.4 - 1.7 - 1)/1.5 \text{ mA} = 1133 \text{ OHM}$$

แต่ทรานซิสเตอร์จะมีผลของ I_{CS} มาเกี่ยวข้องด้วย ดังนั้นจะสูญเสียกำลังส่วนหนึ่ง เนื่องจากผลของ I_{CS} จาก $I_C = H_{FE} I_B$

$$I_{BS} = I_{CS}/H_{FE}$$

$$I_B/I_{BS} = \text{ODF}(\text{OVER DRIVE FACTOR})$$

การออกแบบ ถ้าหากใช้ค่า $R1 = 1133 \text{ OHM}$ จะทำให้กระแส I_E ไปได้ไม่ถึง 150 mA ดังนั้นการออกแบบจึงนำค่า ODF มาช้ปกติ

ปกติ ODF จะอยู่ในช่วง 1-10 ในที่นี้ ใช้ $\text{ODF} = 2.5$

จะได้ $R1 = 1133/\text{ODF} = 1133/2.5 = 450 \text{ OHM}$

$$R2 = (V_{CC} - V_{CE(SAT)} - V_G)/I_G$$

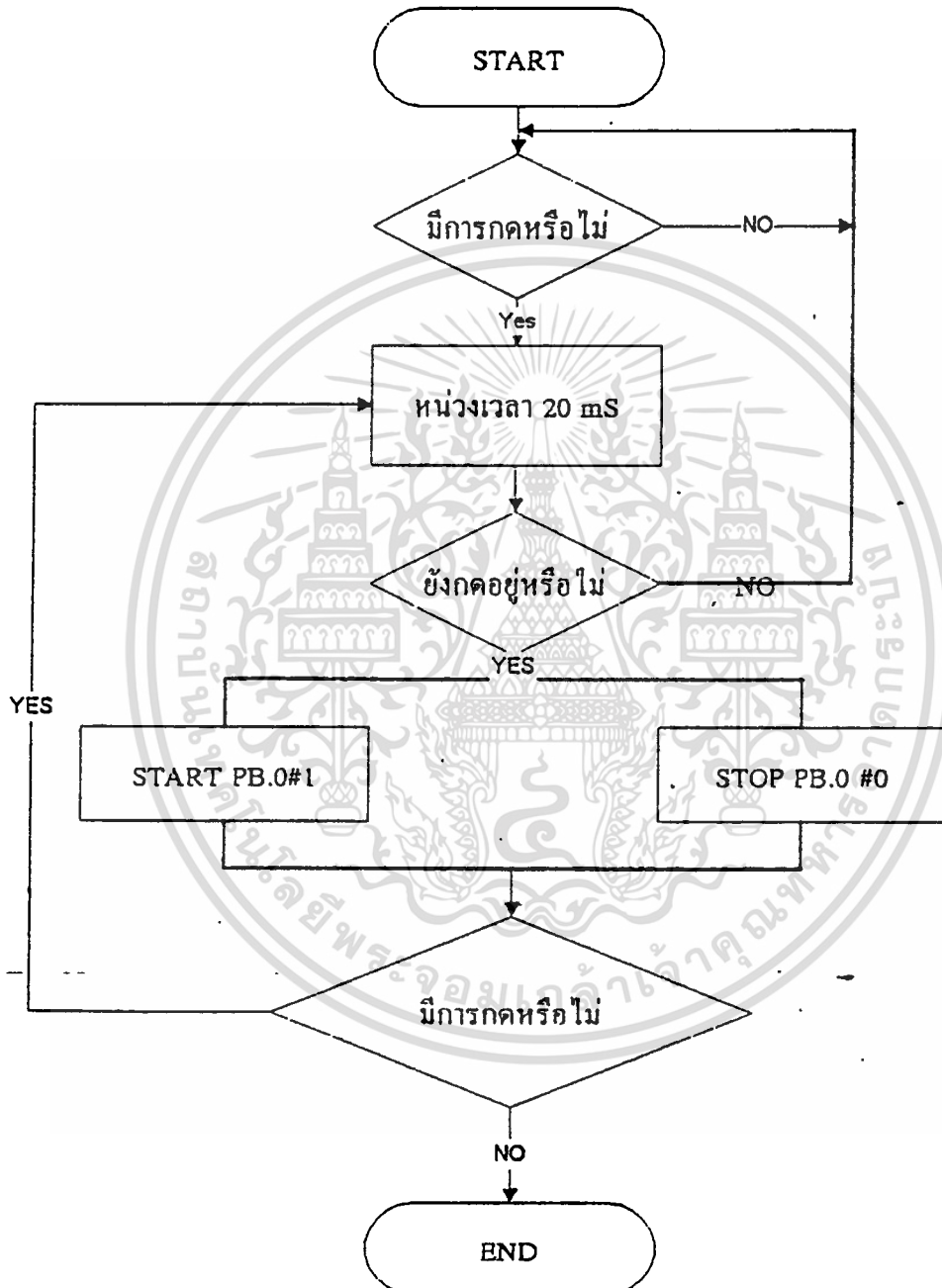
$$= 5 - 1 - 1/150$$

$$20 \text{ OHM}$$

$R3(\text{LEAKAGE RESISTANCE}) = 1 \text{ KILOOHM}$ ติดไว้เพื่อให้กระแสเดรนมีค่าน้อย

เมื่อเทียบกับกระแสที่ขา G

รูปที่ 3-27 แสดงผังโปรแกรม



```

CONTP EQU 0FC03H
PORTB EQU 0FC01H;
PORTA EQU 0FC00H;GET DAT FROM SWITCH
DMSEC EQU 003FH
ORG 8000H
MOV DPTR,#CONTP
MOV A,#90H
MOVBX @DPTR,A
MOV DPTR,#PORTB
MOV A,#00H
MOVBX @DPTR,A
CHECK: ACALL SCAN
      JZ CHECK
      ACALL DELAY
      ACALL SCAN
      JZ START
      ACALL DECODE
      RL A
      MOV DPTR,#CONDITION
      JMP @A+DPTR
CONDITION:AJMP START
          AJMP STOP

START:
      MOV DPTR,#PORTB
      MOV A,#1
      MOVBX @DPTR,A
      AJMP CHECK

STOP:
      MOV DPTR,#PORTB
      MOV A,#0

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไปว่ากรณียุติทั้งสิ้น ลึกทั้งห้ามิให้ตัดแบ่งเบ็ดหา และต้องอ้างถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

MOVX  @PTR,A
AJMP  CHECK
AJMP  CHECK

```

```

DECODE: CJNE  A,#00000001B,ST
        MOV   A,#00H
        SJMP  PREOUT
        ST:MOV A,#1
        PREOUT:
        RET

```

```

SCAN:  MOV   DPTR,#PORTA
        MOVX  A,@DPTR
        CPL   A
        RET

```

```

DELAY: PUSH  ACC
        PUSH  02H
        PUSH  03H
        MOV   R2,#20
        LCALL DMSEC
        POP   03H
        POP   02H
        POP   ACC
        RET

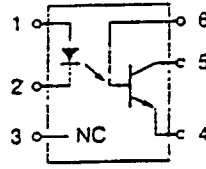
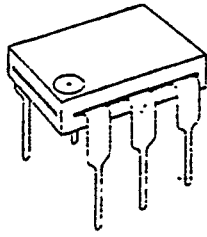
```

```

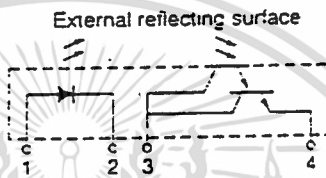
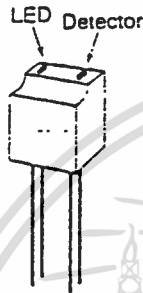
END

```

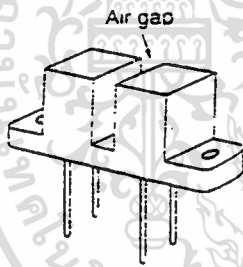
การเชื่อมด้วยแสง (OPTOCOUPLERS)



(a)



(b)



(c)

Typical optocoupler packages. (a) Internal light path; (b) reflective light path; (c) external gap light path.

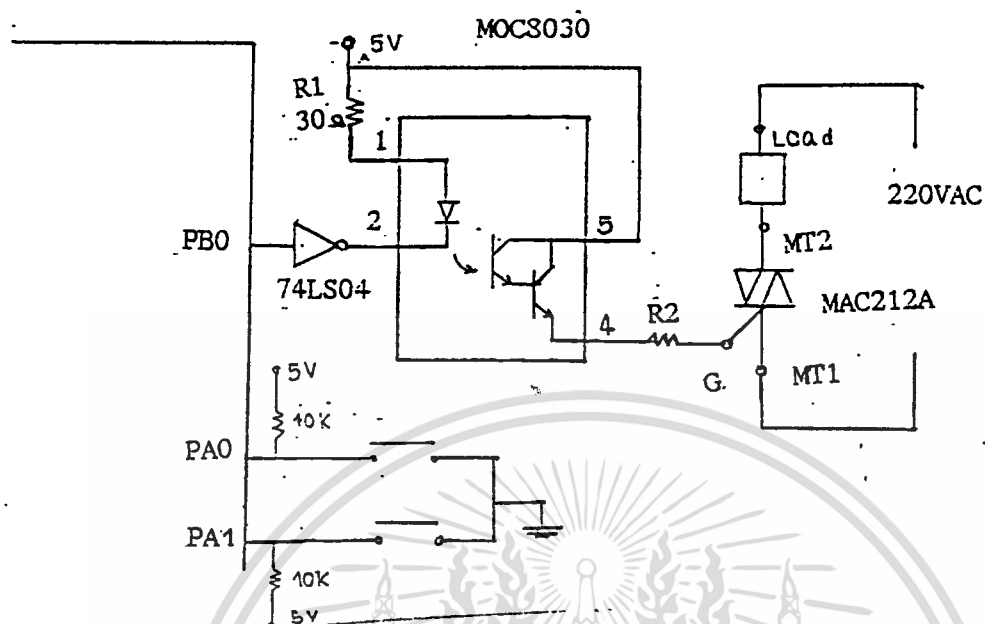
รูปที่ 3-28

อุปกรณ์การเชื่อมต่อด้วยแสง และสัญลักษณ์

อุปกรณ์เชื่อมต่อด้วยแสงหรือเรียกว่า ออปโตไอโซเลเตอร์ เป็นอุปกรณ์ทางด้านอิเล็กทรอนิกส์ส่วนๆที่ทำการเคลื่อนที่ของแสงจะคงที่อยู่ในตัวอุปกรณ์ ใช้เปลี่ยนสัญญาณทางไฟฟ้า เป็นแสงและจากแสงไปเป็นสัญญาณไฟฟ้า โดยไม่ต้องมีสาย เชื่อมเรียงต่อระหว่างวงจร แรงดันระหว่างอุปกรณ์สองข้างคือตัวปล่อยแสงและตัวรับแสง จะมากขึ้นกับระยะระหว่างตัวปล่อยแสงและตัวรับแสง ระยะยิ่งห่างกันมากแรงดันก็จะยิ่งสูง แต่ข้อเสียคืออัตราการส่งผ่านสัญญาณจะน้อยจึงต้องจัดระยะห่างให้ได้ดีที่สุด ในกรณีแบบขาสองแถวคู่จนควรจะเป็นแกว้จะทนแรงดันไฟระหว่างตัวอุปกรณ์ได้ถึง 5000 โวลท์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การต่อพ่วงกับไมโครคอนโทรลเลอร์



รูปที่ 3-29 แสดงการต่อพ่วงอุปกรณ์การเชื่อมด้วยแสงกับไมโครคอนโทรลเลอร์

LED ใน MOC303 ต้องการกระแส 80mA

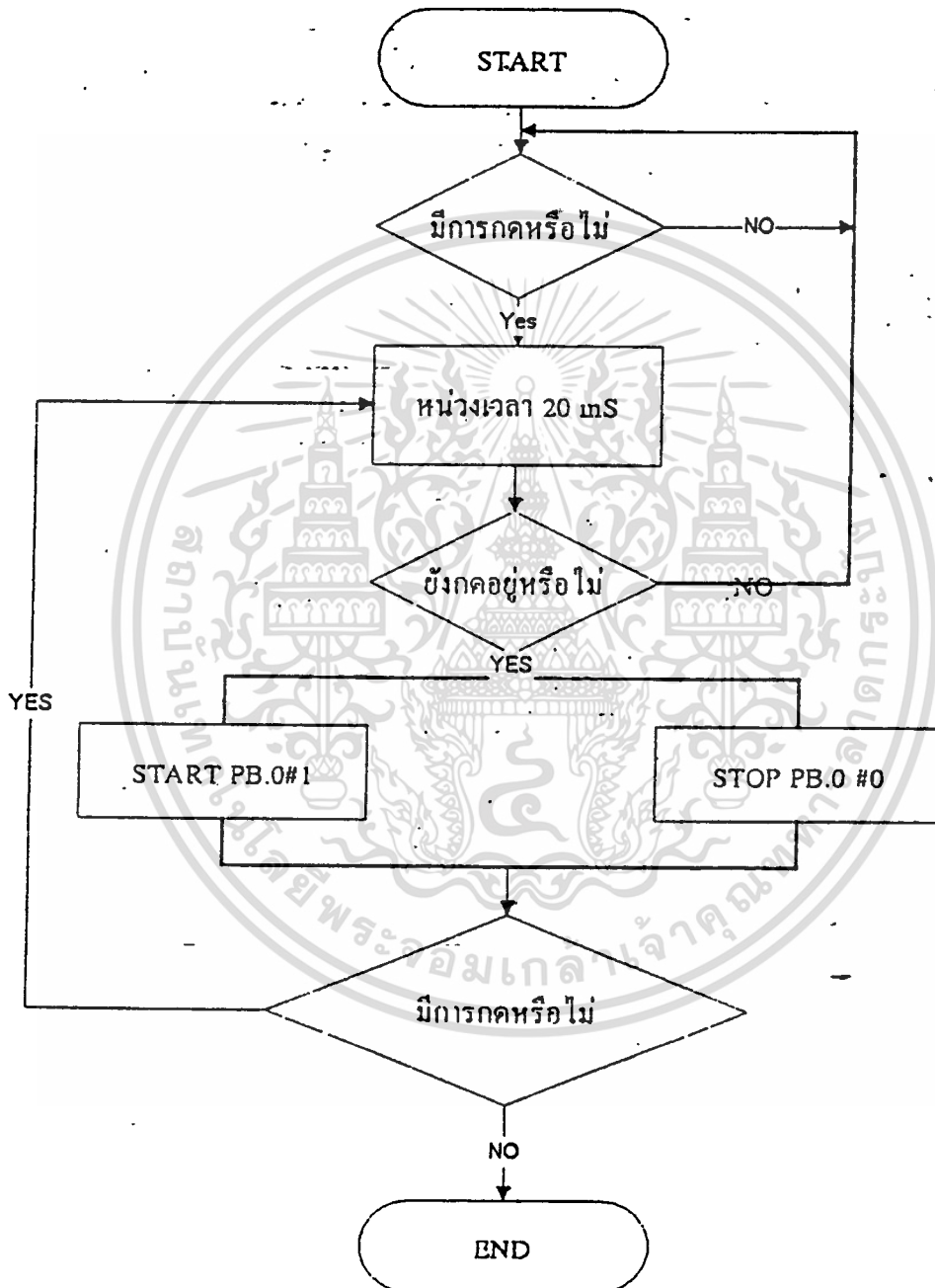
จะได้ $R1 = (5 - V_{LED} - V_{7404 low}) / .08 = 38.75 \text{ OHM}$

ใช้ $R1 = 30 \text{ OHM}$

$R2 = 5 - V_G / I_G = 5 - 1 / 150 = 26 \text{ OHM}$

ใช้ MOC3030 ซึ่งให้ $I_{cmax} = 150 \text{ mA}$ ซึ่งพอสำหรับขับขาเกทของ MC212A ได้

รูปที่ 3-30 แสดงผังโปรแกรม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

CONTP EQU 0FC03H
PORTB EQU 0FC01H;
PORTA EQU 0FC00H;GET DAT FROM SWITCH
DMSEC EQU 003FH

ORG 8000H
MOV DPTR, #CONTP
MOV A, #90H
MOVX @DPTR, A
MOV DPTR, #PORTB
MOV A, #00H
MOVX @DPTR, A
CHECK: ACALL SCAN
      JZ CHECK
      ACALL DELAY
      ACALL SCAN
      JZ START
      ACALL DECODE
      RL A
      MOV DPTR, #CONDITION
      JMP @A+DPTR
CONDITION: AJMP START
          AJMP STOP

START:
      MOV DPTR, #PORTB
      MOV A, #1
      MOVX @DPTR, A
      AJMP CHECK

STOP:
      MOV DPTR, #PORTB
      MOV A, #0

```

```

MOVX    @PTR, A
AJMP    CHECK
AJMP    CHECK

DECODE: CJNE    A, #00000001B, ST
        MOV     A, #00H
        SJMP    PREOUT
        ST:MOV  A, #1^
        PREOUT:
        RET

SCAN:   MOV     DPTR, #PORTA
        MOVX    A, @DPTR
        CPL    A
        RET

DELAY: PUSH    ACC
        PUSH    02H
        PUSH    03H
        MOV     R2, #20
        LCALL   DMSEC
        POP     03H
        POP     02H
        POP     ACC
        RET

END

```

บทสรุป

1. ทรานซิสเตอร์ชนิดไบโพลาร์นั้น เมื่อต้องการขับโหลดที่ใช้กระแสมาก สัญญาณจากไมโครคอนโทรลเลอร์นั้นจะไม่มากพอที่จะขับขาเบส เพื่อให้ได้กระแสตามที่ต้องการได้ การใช้งานต้องอาศัยวงจรวอร์เรอร์เพื่อช่วยในการจ่ายกระแสให้กับขาเบสได้ ซึ่งอาจจะเป็นทรานซิสเตอร์ตัวเล็กก็ได้

2. ทรานซิสเตอร์ชนิดดาร์ลิ่งตัน เป็นการนำเอาทรานซิสเตอร์แบบไบโพลาร์ 2 ตัวมาต่อกัน ซึ่งจะทำให้ได้อัตราขยายที่สูงมาก ทำให้สามารถขับจากไมโครคอนโทรลเลอร์ได้สะดวกกว่าแบบไบโพลาร์

ข้อเสีย เมื่ออัตราขยายสูงขึ้น VCE(SAT) จะสูงขึ้นทำให้การสูญเสียที่คอลเล็กเตอร์มีมากกว่าแบบไบโพลาร์

3. ทรานซิสเตอร์แบบมอสเฟต

ข้อดี

1. ให้ความเร็วในการสวิตช์ที่สูงมาก ทำให้การควบคุมมีความแม่นยำ

2. การกระตุ้นที่ขาเกตนั้นกินกระแสได้น้อยมากทำให้ลดความยุ่งยากของวงจรในการออกแบบตัวขยายกระแสก่อนเข้าทรานซิสเตอร์เหมือนแบบอื่น ๆ

4. ไตรแอก

ข้อดี

1. ช่วยให้การควบคุมโหลด AC โดยไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นไปได้ง่ายขึ้น

2. เมื่อใช้งานในลักษณะสวิตช์ซึ่งน้อยกว่าสวิตช์ทางกล

3. ช่วยลดอันตรายจากไฟฟ้าที่มีความต่างศักย์สูงได้ดีกว่าสวิตช์ทางกลธรรมดา

5. อุปกรณ์ต่อเชื่อมด้วยแสง เป็นอุปกรณ์ที่เปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าจากตัวควบคุมไปเป็นพลังงานแสง เพื่อนำแสงนี้ไปใช้ในการควบคุมอุปกรณ์ที่ต้องการ

ข้อดี จะลดความเสี่ยงต่อการสัมผัสกับอุปกรณ์ชนิดนี้มาใช้

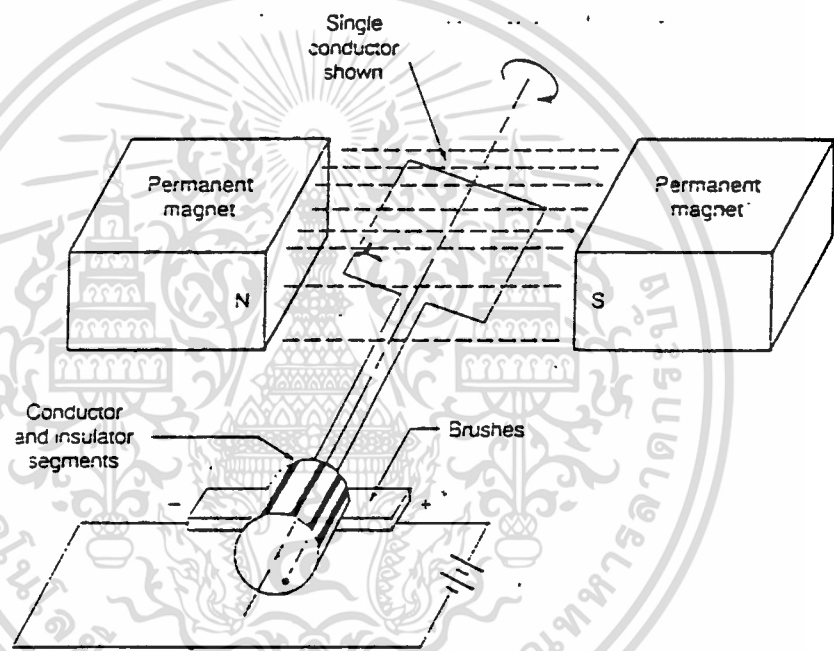
ข้อเสีย อัตราการส่งผ่านสัญญาณจะต้องจัดระยะห่างให้ดี เพราะถ้าห่างเกินไป สัญญาณแสงอาจจะมี ความเข้มไม่พอทำให้การควบคุมมีความผิดพลาดได้

บทที่ 4

การต่อพ่วงไมโครคอนโทรลเลอร์ด้วยดีซีมอเตอร์ชนิดแม่เหล็กถาวร

ด้วยความเจริญก้าวหน้าของเทคโนโลยี การสร้างแม่เหล็กถาวรให้มีคุณภาพสูง ทำให้ดีซีมอเตอร์กลายเป็นพลังงานที่สำคัญ ในระบบคอนโทรลเกือบทุกชนิดในปัจจุบัน

ดีซีมอเตอร์เป็นอานาล็อกอิเล็กทรอนิกส์ เจตนาที่นำมาใช้ไม่มีตำแหน่งหยุดที่แน่นอน ดังนั้น การคอนโทรลโดยทั่วไปมักเป็นระบบแบบปิดลูป ซึ่งตำแหน่งเอาต์พุตหรือความเร็วเอาต์พุตจะถูกป้อนกลับไปเปรียบเทียบกับอินพุตอ้างอิง เพื่อให้ได้คุณสมบัติการทำงานตามที่ต้องการ



รูปที่ 4-1

แสดงส่วนประกอบของดีซีมอเตอร์

จากวงจรข้างบนจะให้ความสัมพันธ์ ดังนี้

$$V = L \frac{dI}{dt} + RI + E$$

4.1

เมื่อ V = โวลเตจที่ป้อนให้มอเตอร์

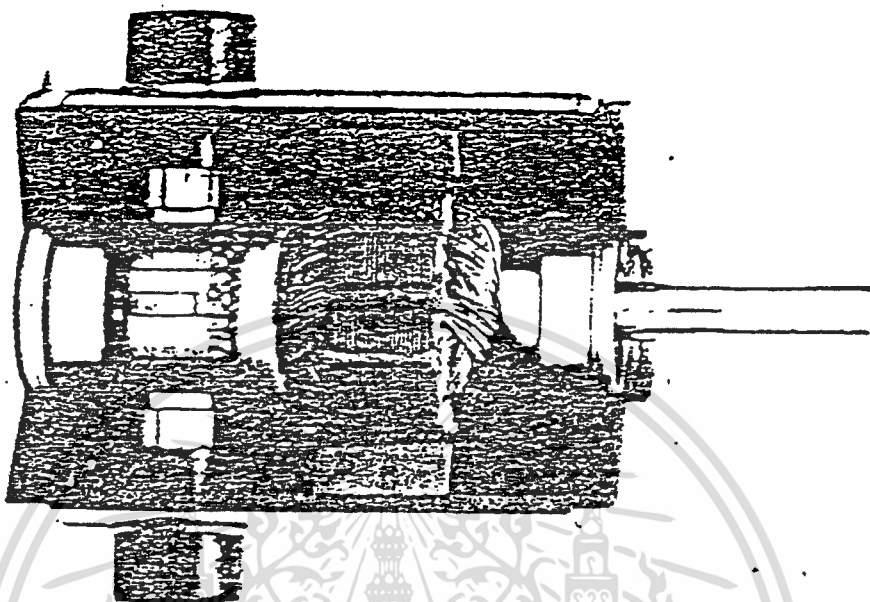
R = ความต้านทานของอาร์เมเจอร์

L = อินดักแตนซ์ของอาร์เมเจอร์

E = โวลต์เตจป้อนกลับ (back emf)

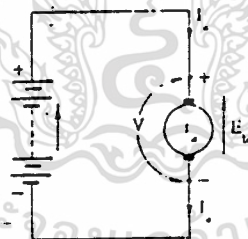
เมื่อ K_E = back emf constant

P = อัตราเชิงมุมของโรเตอร์



รูปที่ 4-2

ภาพผัดครึ่งของดีซีมอเตอร์แบบมีโรเตอร์เป็นขดลวดเคลื่อนที่



จะได้กำลังป้อนกลับที่กำเนิดโดยมอเตอร์ (back emf power)

$$P = EI = TW \quad 4.3$$

เมื่อ P back emf power (เป็นกำลังที่ผลิตโดยมอเตอร์)

T = แรงบิดของมอเตอร์

$$\text{โดยที่ } T = K_T I \quad 4.4$$

เมื่อ K_t = Torque constant โดยทั่วไปจะมีค่าเท่ากับ K_E

นอกจากนี้ยังคงมีค่าคงที่อีกตัวหนึ่งที่สำคัญสำหรับระบบควบคุมดีซีมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
คือ K_M ซึ่งเรียกว่า Motor constant

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{โดยที่ } K_M = T / (RI^2) = K_T / R \quad 4.5$$

กำหนดให้มอเตอร์ทำงานที่สภาวะ steady state

$$T = K_T V / R - K_M^2 \omega \quad 4.6$$

กำหนดให้ T_s (stall torque) = $K_T V / R$

ที่สภาวะ no-load (torque = 0)

กำหนดให้ ω_0 คือ อัตราเร็วเชิงมุมที่สภาวะ no-load

$$\text{เพราะฉะนั้น จะได้ว่า } \omega_0 = K_T V / R K_M^2 = V / K_E \quad 4.7$$

$$\text{จะได้ } T_s = K_M^2 \omega \quad 4.8$$

จากสมการที่ 4.3 $P = EI = T\omega$

แทนค่า T จากสมการที่ 4.6

$$\text{จะได้ } P = [(K_T V / R) - (K_M^2 \omega)] \omega$$

เนื่องจาก Power curve จะเป็นรูปพาราโบลา

ค่า Back emf Power จะมากที่สุดเมื่อ $\omega = \omega_0 / 2$

$$\text{เพราะฉะนั้นจะได้ว่า } P_{\max} = (K_M^2 \omega_0^2) / 4 \quad 4.9$$

จากสมการที่ 4.6 เราคำนวณค่าแรงบิด (T) ในรูปแบบของไฟฟ้า ค่า T ยังสามารถหาได้อีกในรูปแบบของ Dynamic model

Dynamic Model

$$T = J d\omega/dt + T_f \quad 4.10$$

เมื่อ J = ผลรวมโมเมนต์แรงเฉื่อยของโรเตอร์ และโพล

T_f = แรงบิดที่ต้องสูญเสียเนื่องจากแรงเสียดทาน

จากสมการที่ 4.4 $T = K_T I$

แทนสมการที่ 4.4 ลงในสมการที่ 4.10

$$\text{จะได้ว่า } K_T I = J d\omega/dt + T_f \quad 4.11$$

take laplace สมการที่ 4.11

$$\text{จะได้ } K_T I(s) = JsW(s) + T_f(s) \quad 4.12$$

take laplace สมการที่ 4.1

$$\text{จะได้ } V(s) = LsI(s) + RI(s) + KEW(s) \quad 4.13$$

$$V(s)/KE = [(TeTmS^2 + TmS + 1) W(s)] + [(1/K_M^2)(Tes + 1) T_f(s)] \quad 4.14$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ $T_e = \text{electrical time constant}$

$T_m = \text{mechanical time constant}$

$T_e = L/R \quad 4.15$

$T_m = J/K_m^2 \quad 4.16$

DC มอเตอร์ส่วนใหญ่จะไม่สนใจค่า T_e ให้ตัดทิ้งได้

เพราะฉะนั้นจะได้

$(T_m s + 1) W(s) = [V(s)/K_E] - [T_f(s)/K_m^2] \quad 4.17$

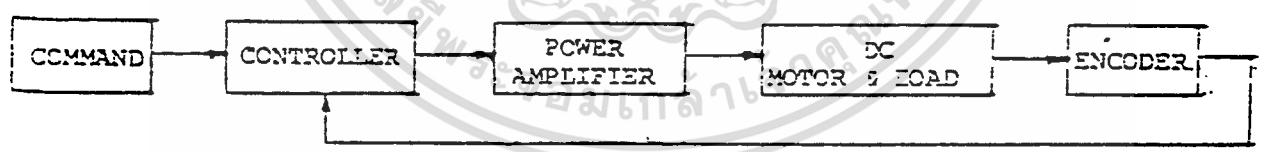
สมการที่ 4.17 นี้เป็น Dynamic Model ของมอเตอร์

ซึ่งสามารถหาอัตราเร็วเชิงมุม โดยอาศัยค่า

- T_m (mechanical constant)
- K_E (back emf constant)
- K_m (Motor constant)

พื้นฐานระบบควบคุมมอเตอร์

1. ตัวคอนโทรลเลอร์
2. วงจรไดรฟ์เวอร์หรือเพาเวอร์แอมพลิไฟ
3. ฟีดแบคทรานสดิวซ์เซอร์หรือเอนโคคเตอร์
4. ดีซีมอเตอร์และโหลด



รูปที่ 4-3

แสดงบล็อกไดอะแกรมสำหรับการควบคุมมอเตอร์

ตัวคอนโทรลเลอร์ เป็นส่วนที่ส่งสัญญาณไปควบคุมดีซีมอเตอร์และโหลด

วงจรไดรฟ์เวอร์ เป็นส่วนที่อยู่ระหว่างตัวคอนโทรลเลอร์กับดีซีมอเตอร์ทำหน้าที่

ปรับรูปและขยายสัญญาณ ให้เหมาะสมก่อนที่จะป้อนเข้าไปขับดีซีมอเตอร์และโหลด

ฟีดแบคทรานสดิวซ์เซอร์หรือเอนโคคเตอร์ เป็นส่วนรับรู้หรือตีเทคสัญญาณเอาท์

เอกสารทุกสัญญาณที่ตีเทคนี้ จะป้อนกลับไปเปรียบเทียบกับสัญญาณอ้างอิงทำให้อัตราเร็วสัญญาณเออร์เรอร์

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดีซีมอเตอร์และโหลด เป็นส่วนที่ถูกควบคุมหรือเป็นส่วนที่ออกแรงทำงานซึ่งอาจจะ เป็นเครื่องจักรกลหรืออะไรก็ได้

การควบคุมดีซีมอเตอร์แบบเปิดลูป

จาก Dynamic Model สมการที่ 4.17 จะได้บล็อกไดอะแกรมของการควบคุมความเร็ว ดังนี้

จะได้

$$W = [V_R K_A - \{(T_f K_E) / K_m^2\}] [1 / \{K_E (T_M S + 1)\}] \quad 4.18$$

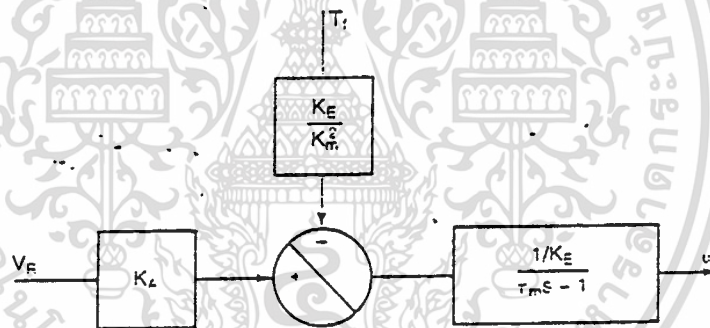
ถ้าให้ T_f มีค่าน้อยมากจะได้

$$W = (V_R K_A) / K_E \quad \dots \quad 4.19$$

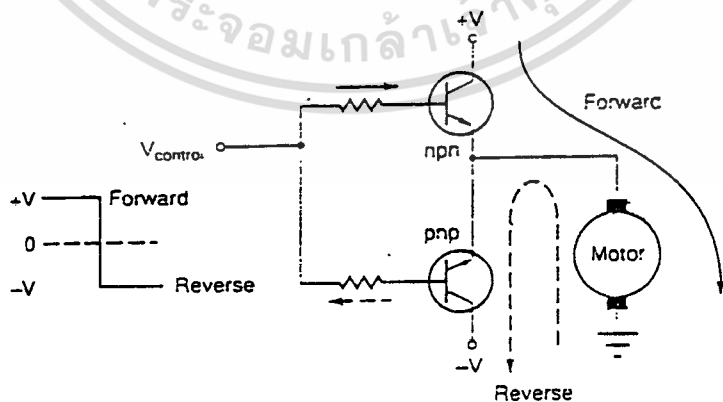
วงจรถ่ายเวอร์ สำหรับแบบเปิดลูป

ในที่นี้จะขอก้าว 2 แบบ คือ

1. แบบลิเนียร์ทรานซิสเตอร์ (linear transistor)



รูปที่ 4-4



รูปที่ 4-5

วงจรถ่ายเวอร์แบบลิเนียร์ (T-Circuit)

เอกสารนี้เป็นเอกสารทำงานจะแบ่งเป็นการ 2 ลักษณะคือ แบบเทอร์มัลและรีเวอร์สวอลท์ที่ตรงที่บ่อน้ำ การค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มอเตอร์ เท่ากับผลต่างระหว่างซีพหลายโรลท์ เดจและโรลท์ เดจตกคร่อม คอลเล็กเตอร์-อิมิตเตอร์ ของทรานซิสเตอร์ ในขณะที่ตัวใดตัวหนึ่งนำกระแส

ข้อเสีย มอเตอร์ที่สภาวะความเร็วต่ำแรงบิดสูง ซึ่งมีผลทำให้กระแสไหลสูง ซึ่งทำให้โรลท์ เดจตกคร่อมทรานซิสเตอร์สูงด้วย ดังนั้นในระบบใหญ่จึงจำเป็นต้องมีตัวระบายความร้อนขนาดใหญ่



(a) ทิศทางแรงเคลื่อนไฟฟ้ากลับขั้วของมอเตอร์เริ่มแรก (b) ทิศทางกระแสของมอเตอร์เริ่มแรก

รูปที่ 4-6

แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงเคลื่อนไฟฟ้ากลับขั้วของมอเตอร์

$$V = I_a R_a + E_b \tag{4.20}$$

เพราะฉะนั้น $I_a = (V - E_b) / R_a \tag{4.21}$

$$E_b = P \frac{n}{60} \frac{Z_c}{a} \tag{4.22}$$

$$E_b (\text{back emf}) = n \tag{4.23}$$

เมื่อ $n =$ จำนวนรอบในการหมุน (รอบต่อนาที)

$$T = (60/2\pi) * 10^{-3} P/n (n-m) \tag{4.24}$$

$$\text{หรือ } T = K_T I_a \tag{4.25}$$

$$T = P/n \tag{4.26}$$

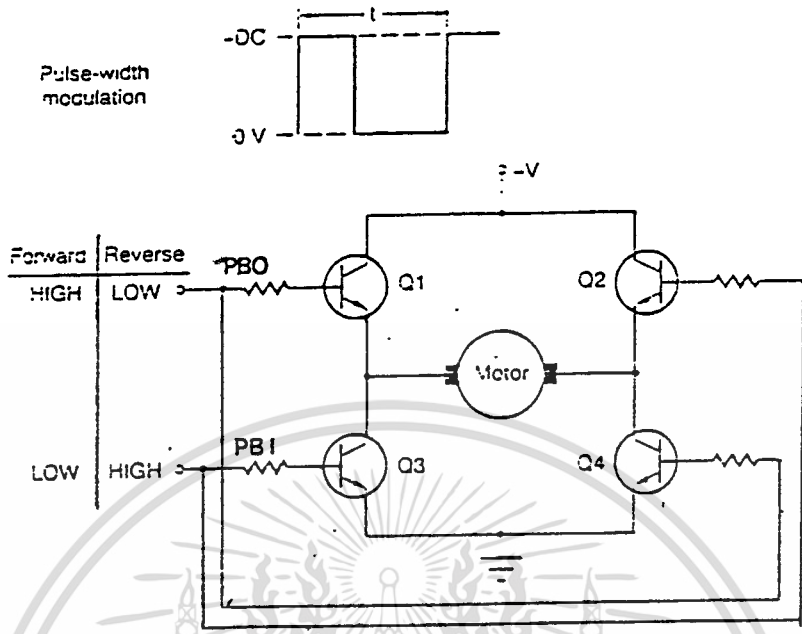
จากสมการที่ 4.3 ถ้าความเร็วรอบน้อยลงจะทำให้ E_b น้อยลง แต่เนื่องจาก $I_a = (V - E_b) / R_a$ จะเห็นว่า เมื่อ E_b น้อยลงจะทำให้ I_a มากขึ้นเมื่อพิจารณา สมการที่ 4.25 เมื่อ I_a มากขึ้นจะทำให้ T มากขึ้น เมื่อกระแสไหลมากขึ้นจะมีผลทำให้โรลท์ เดจตกคร่อมทรานซิสเตอร์สูงขึ้นด้วย ซึ่งเป็นสาเหตุให้เกิดความร้อนสูงในทรานซิสเตอร์

2. แบบสวิทชิงทรานซิสเตอร์ (Switching transistor) หรือวงจรถิศจีการทำงาน

เมื่อ Q1 และ Q4 นำกระแส (ON) กระแสจะไหลจากซ้ายไปขวา ผ่านมอดูเตอร์ จะทำให้เกิดการหมุนในทิศ Forward

เมื่อ Q2 และ Q3 นำกระแส (ON) จะทำให้มอเตอร์หมุนในทิศ Reverse

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4-7

วงจรถวายมอเตอร์แบบสวิทชิงทรานซิสเตอร์ (H-Circuit)

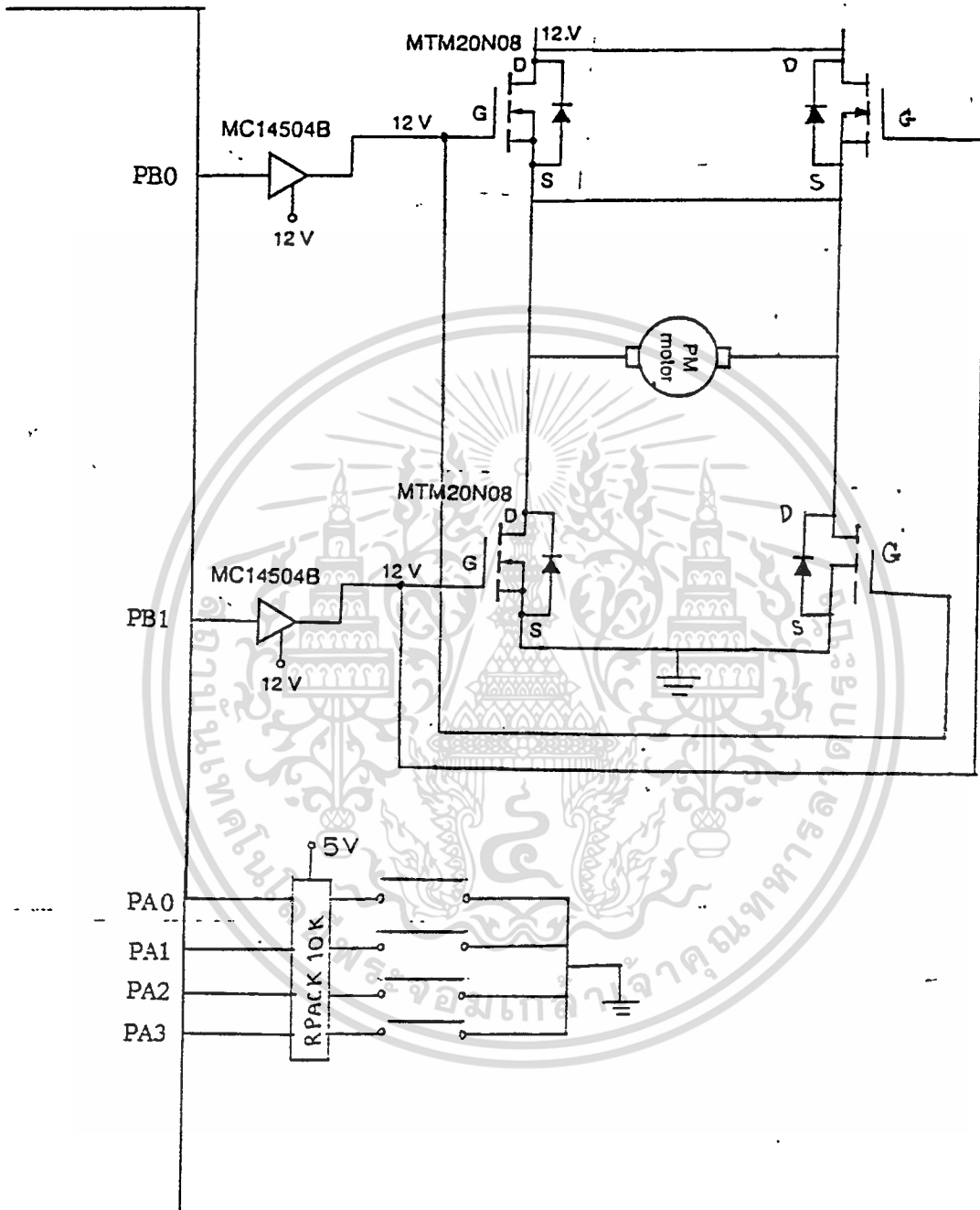
เมื่อมอเตอร์ทำงาน เช่นหมุนในทิศ Forward โดยการให้ Q1 และ Q4 จะเท่ากับ 1/2 (ซัพพลายโวลต์ เตจ-โวลต์ เตจตกคร่อมมอเตอร์)

โครงสร้างของวงจรถวายมอเตอร์ต้องการให้ Vceo ของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์มีค่าสูงกว่า V (ซัพพลายโวลต์ เตจ)

ไดโอดที่ต่อคร่อม Q1 และ Q4 จะกัโวลต์ เตจในแต่ละขาของบริดจ์ เพื่อให้โวลต์ เตจตกคร่อมไดโอดตัวหนึ่ง เป็นบวกมากกว่า V_{ce} กับให้โวลต์ เตจอีกตัวหนึ่งมีค่าต่ำกว่า กราวด์ ดังนั้นเอาท์พุททรานซิสเตอร์จะไม่ขึ้นกับโวลต์ เตจผลักดันที่มีค่ามากกว่า V หลายเท่า ข้อดีของวงจรถวายมอเตอร์อีกอันหนึ่งคือ ช่วงลดโวลต์ เตจผลักดันบนตัวทรานซิสเตอร์ที่นำกระแส ถ้าบริดจ์ได้รับการออกแบบอย่างเหมาะสม ความแตกต่างระหว่างซัพพลายโวลต์ เตจและโวลต์ เตจที่มอเตอร์ต้องการจะถูกแบ่งเท่าๆกัน ระหว่างทรานซิสเตอร์ที่นำกระแสทั้ง 2 ตัวนั้น จากผลอันนี้ ช่วงเพิ่มกระแสของเอาท์พุททรานซิสเตอร์ ก่อนที่จะเกิดความเสียหายจากพอร์เวอร์ดิไบแอสเบรตควานครั้งที่สอง การเพิ่มกระแสเอาท์พุทอย่างปลอดภัยสำหรับการทำงานของมอเตอร์ ควรจะใช้เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ที่เหมือนกันในวงจรถวาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

การต่อพ่วงกับไมโครคอนโทรลเลอร์



รูปที่ 4-8 แสดงการต่อทรานซิสเตอร์ในแบบ H-CIRCUIT ในการควบคุมมอเตอร์สองทิศทาง

โดย PA0 รับคำสั่ง FORWARD จากสวิทช์

PA1 รับคำสั่งจาก REVERSE จากสวิทช์

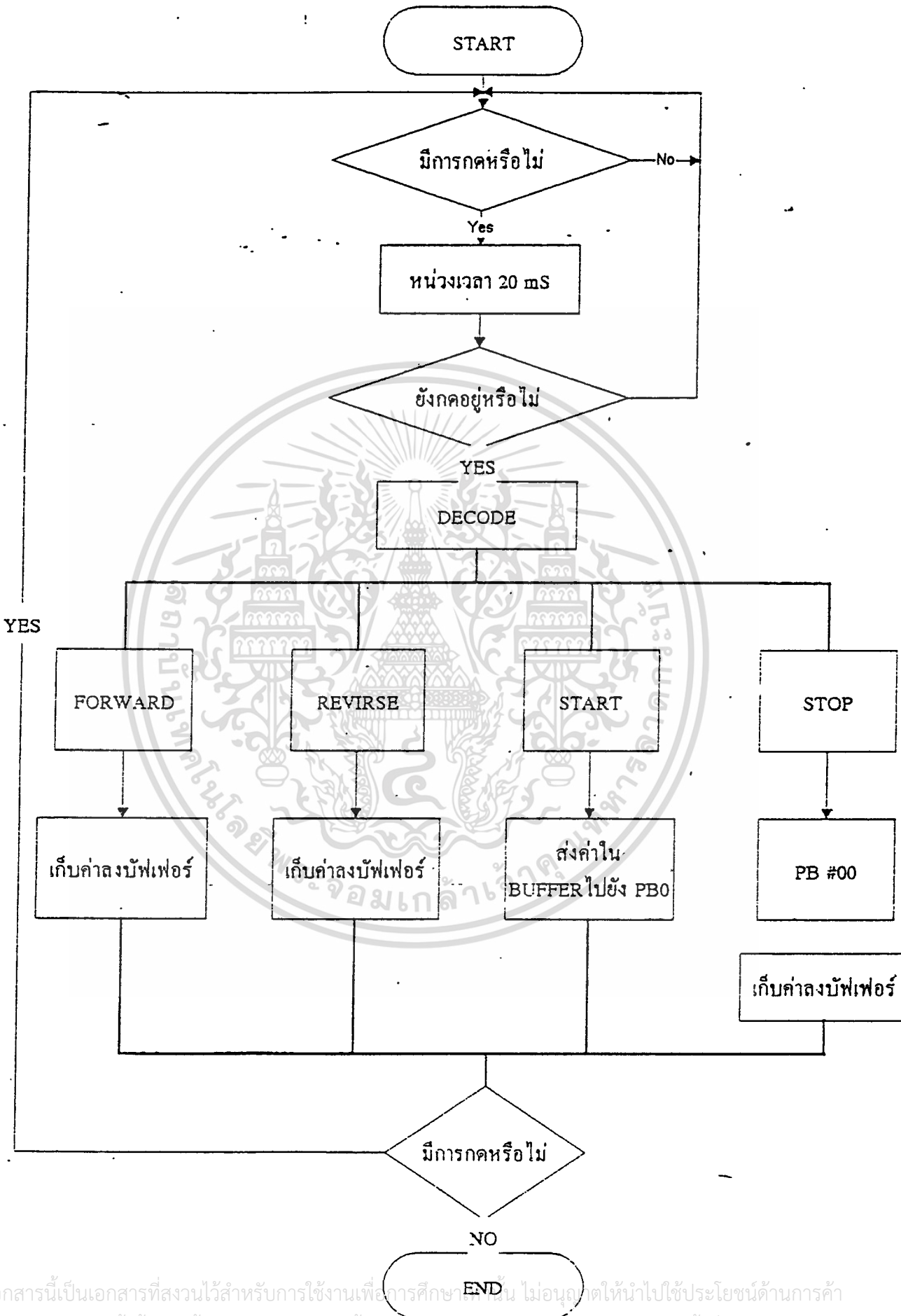
PA2 รับคำสั่ง START เพื่อให้เริ่มหมุน

PA3 รับคำสั่ง STOP เพื่อห้ามมอเตอร์หมุน

การทำงานของโปรแกรมก็คือ ขั้นตอนแรกต้องป้อนคำสั่งก่อนว่าจะให้หมุนทิศ

FORWARD หรือ REVERSE แล้วจะป้อนคำสั่ง START เพื่อห้ามมอเตอร์หมุน





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

CONTP    EQU    0FC03H
PORTA    EQU    0FC00H
PORTB    EQU    0FC01H
PORTC    EQU    0FC02H
DMSEC    EQU    003FH
BUFFER   EQU    20H
BUFFERB  EQU    21H
BUFFERC  EQU    22H

ORG      8000H

MOV      DPTR, #CONTP
MOV      A, #90H
MOVX    @DPTR, A
BEGIN:
MOV      BUFFERB, #00H
MOV      BUFFERC, #00H
MOV      A, #00H
MOV      DPTR, #PORTB
MOVX    @DPTR, A
MOV      DPTR, #PORTC
MOVX    @DPTR, A

CHECK:  ACALL   SCAN
        JZ     CHECK
        ACALL  DELAY
        ACALL  SCAN
        JZ     CHECK
        ACALL  DECODE
        RL    A
        MOV   DPTR, #CONDITION
        JMP   @A+DPTR

```

AJMP REVERSE

AJMP START

AJMP STOP

FORWARD:

MOV DPTR, #PORTC
SETB BUFFERC.0

CLR BUFFERC.1

MOV A, BUFFERC

MOVX @DPTR, A

SETB BUFFERB.0

CLR BUFFERB.1

ACALL LOCKEY

AJMP CHECK

REVERSE:

MOV DPTR, #PORTC

CLR BUFFERC.0

SETB BUFFERC.1

MOV A, BUFFERC

MOVX @DPTR, A

CLR BUFFERB.0

SETB BUFFERB.1

ACALL LOCKEY

AJMP CHECK

START:

MOV DPTR, #PORTB

MOV A, BUFFERB

MOVX @DPTR, A

ACALL LOCKEY

AJMP CHECK

STOP:

AJMP BEGIN

LOCKY:ACALL SCAN

JNZ LOCKY

RET

SCAN:

MOV... DPTR,#PORTA

MOVX A,@DPTR

CPL A

MOV BUFFERA,A

RET

DECODE:

JNB BUFFERA.0,KEY2

MOV A,#0

SJMP PRE_OUT

KEY2:JNB BUFFERA.1,KEY3

MOV A,#1

SJMP PRE_OUT

KEY3:JNB BUFFERA.2,KEY4

MOV A,#2

SJMP PRE_OUT

KEY4:MOV A,#3

PRE_OUT:RET

DELAY: PUSH ACC

PUSH 02

PUSH R2,#20

LCALL DMSEC
POP 03
POP 02
POP ACC
RET

END

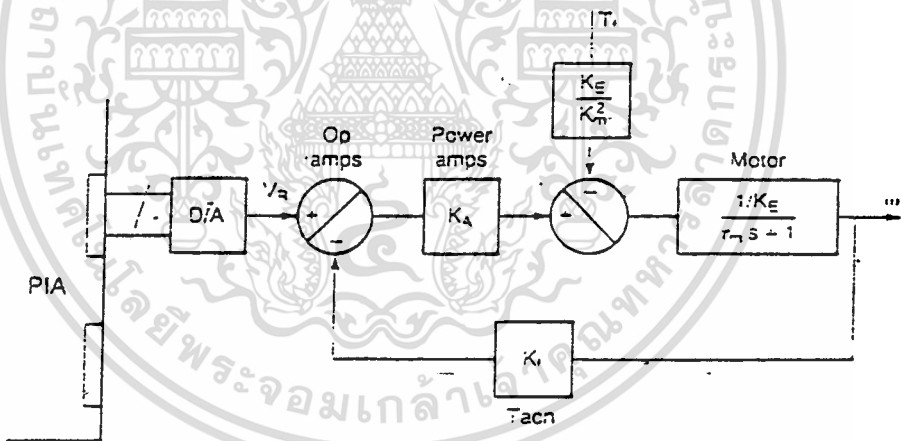


การควบคุม ดีซีมอเตอร์แบบปิดลูป

1. การควบคุมความเร็ว สามารถบังคับให้ความเร็วคงที่หรือสามารถเปลี่ยนค่าได้ตามที่ต้องการ หลักการของระบบนี้คือ ความเร็วของมอเตอร์จะวัดได้ โดยตัวเซ็นเซอร์และป้อนกลับไปยังออปแอม เพื่อเปรียบเทียบกับระดับความเร็วที่ต้องการความแตกต่างของค่าทั้งสองจะอยู่ใน ทอมเออร์เรอร์ของความเร็ว ซึ่งจะได้รับขยาย และป้อนให้กับมอเตอร์เพื่อแก้ไขความเร็วให้มีค่าถูกต้อง คือมีความเบี่ยงเบนของความเร็วเป็นศูนย์หรือความพยายามให้สัญญาณบังคับ และความเร็วมอเตอร์ มีความสอดคล้องกันใกล้ที่สุด การทำงานของระบบบังคับ ความเร็วสามารถจะตอบสนองได้ทั้งสัญญาณ คำสั่งให้ความเร็วคงที่ หรือให้ความเร็วแปรค่าไปได้ซึ่งการแปรไปของคำสั่งบังคับนั้นจะต้องอยู่ในแบนด์วิดท์ของระบบ

1.1 การควบคุมแบบอนาล็อก

เอาต์พุตของระบบจะถูกวัดค่า หรือดีเทคค่าได้เป็นสัดส่วนกับสัญญาณไฟฟ้าที่



รูปที่ 4-10

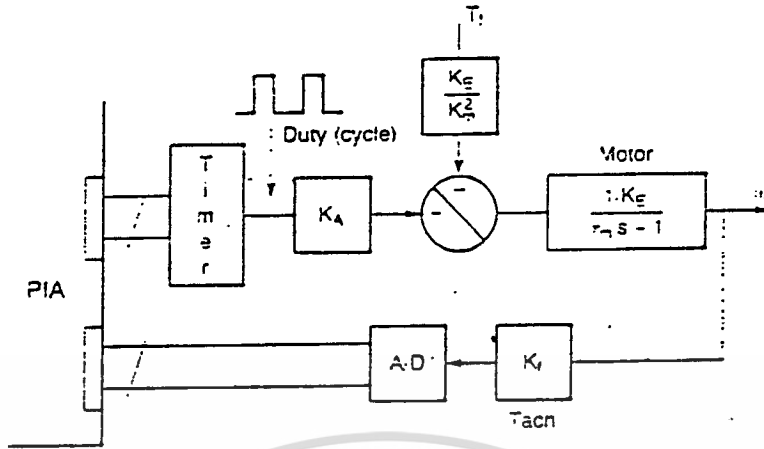
แสดงการควบคุมความเร็วแบบอนาล็อกที่มีการป้อนกลับด้วยทาคมิเตอร์

เป็นอนาล็อก ดังรูปที่ 4-10

1.2 การควบคุมแบบดิจิทัล พิคแบค ทรานสดิวเซอร์เป็นดิจิทัลทรานสดิวซ์เซอร์ ซึ่งสามารถวัดค่าไดนามิกควาเอร์รี่เป็นสัญญาณดิจิทัล หรือในรูปของสัญญาณแอนะล็อกของไบนารี คือสัญญาณเอาต์พุตของดิจิทัลทรานสดิวซ์เซอร์จะเป็นไบนารีป้อนกลับ ไปบังคับดิจิทัลคอนโทรลเลอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อการใช้งานของระบบเป็นไปตามต้องการ ไม่จูงรูป 4-11 ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4-11

แสดงการควบคุมความเร็วแบบดิจิทัล

ในที่นี้จะขอกล่าวเฉพาะการควบคุมแบบอนาล็อก โดยใช้ทารคมิเตอร์เป็นเซนเซอร์ ทารคมิเตอร์ เป็นเครื่องมือที่สามารถแปลงพลังงานกลไปเป็นพลังงานไฟฟ้าและให้กำเนิดเอาท์พุทวอลท์ เตจที่เป็นสัดส่วนกับอัตราเร็วเชิงมุม กล่าวคือ ทารคมิเตอร์ จะวัดความเร็วของเพลลาออกมาในรูปของสัญญาณไฟฟ้านั้นเอง

2. การควบคุมตำแหน่ง ระบบการบังคับการ เคลื่อนที่ส่วนมากมักต้องการให้ผลลดหยุดในตำแหน่งที่กำหนด และยึดตำแหน่งไว้จนกว่าจะได้รับคำสั่งบังคับการหมุนใหม่

การบังคับตำแหน่ง ตำแหน่งเชิงมุมของมอเตอร์ที่ต่ออยู่กับโหลด จะสอคล้องกับคำสั่งอินพุท เมื่อสัญญาณบังคับคงที่ เพลลาของมอเตอร์ก็จะลือคกับตำแหน่งที่ต้องการ เมื่อสัญญาณบังคับแปรไปอย่างต่อเนื่อง ตำแหน่งของมอเตอร์ก็จะเคลื่อนตามการบังคับ ตรวจจับว่าการแปรไปของสัญญาณบังคับอยู่ภายในแบนด์วิดท์ของลูป

คุณสมบัติของระบบที่ต้องการในการบังคับแบบป้อนกลับโดยทั่วไป

1. ให้ความเที่ยงตรงที่สภาวะสงบนิ่งได้ดีเยี่ยม
2. ให้ผลตอบสนองได้รวดเร็ว
3. มีการเรีลกุเลขที่ดีคือ สามารถด้านการรบกวนที่มีต่อระบบได้ดี ซึ่งทำให้ระบบมีความผิดพลาดเพียงเล็กน้อย

4. ระบบจะต้องมีเสถียรภาพและให้ผลตอบสนองชั่วขณะที่เป็นการแดมพ์ลงได้ดี

หลักการออกแบบ ดังที่ได้กล่าวมาแล้วนั้น ปกติระบบจะมีพารามิเตอร์เพียงตัว

เดียวที่ปรับค่าได้ คืออัตราขยายของระบบ ดังนั้นจึงเป็นไปไม่ได้ที่จะทำให้ระบบมีคุณสมบัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า ครอบถวนตามหัวข้อที่กล่าวมา โดยการปรับพารามิเตอร์ เพียงตัวเดียว เพื่อให้ระบบมี ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คุณลักษณะเป็นไปตาม 3 ข้อแรก ระบบจะต้องมีอัตราขยายสูงแต่คุณลักษณะตามข้อ (4) ระบบจะต้องมีอัตราขยายต่ำ ดังนั้นคุณสมบัติที่ระบบต้องการจึงไม่สอดคล้องกันจึงจำเป็นต้องมีการเปลี่ยนแปลงระบบโดยการชดเชยเพิ่มส่วนประกอบเข้าไปในระบบ เพื่อให้สามารถปรับพารามิเตอร์ตัวอื่น ๆ ได้เพิ่มขึ้น และเพื่อให้การชดเชยเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพจะต้องเลือกให้การปรับพารามิเตอร์เป็นไป โดยสอดคล้องกับคุณสมบัติที่ระบบต้องการ

เอนโค้ดเดอร์ที่ใช้เทคโนโลยีสัญญาณเอาท์พุทสำหรับการป้อนกลับแบบควบคุมตำแหน่ง

แห่ง

1. ออปติคัลเอนโค้ดเดอร์แบบสมบูรณ์ในตัวเอง (absolute optical encoders)

ออปติคัลเอนโค้ดเดอร์แบ่งออกได้เป็น 2 ลักษณะคือ แบบไบนารี (binary) และแบบรหัสเกรย์ (gray code) โดยรูปร่างภายนอกประกอบด้วยแผ่นจานกลมาสี ติดแถบที่แสงเป็นรหัสไบนารีรอบๆ ดังรูปที่ 11(ก) เป็นเลขไบนารีจำนวน 4 บิตหรือ 4 ช่อง ดังนั้นจำนวนคู่ของ LED และโฟโตไดโอดที่ใช้เป็น 4 คู่ด้วย โดยติดตั้งแต่ละคู่ในแต่ละช่อง ซึ่งแต่ละช่องสัญญาณจะแทนตำแหน่งมุม (angular resolution) นี้จะขึ้นอยู่กับจำนวนบิตหรือช่องของตัวเอนโค้ดเดอร์ ดังสมการ

$$\text{ความละเอียดของตำแหน่งมุม} = 360 \text{ องศา} / 2^C$$

เมื่อ C คือ จำนวนบิตหรือจำนวนช่อง

ยกตัวอย่าง เช่น ถ้าต้องการออกแบบให้ละเอียดของตำแหน่งมุมมีค่าน้อย

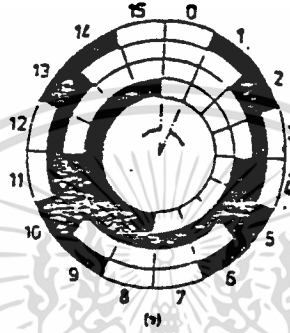
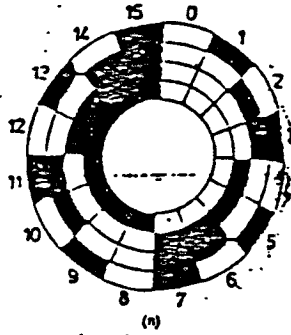
$$\text{ความละเอียดของตำแหน่งมุม} = 360 \text{ องศา} / 2^C$$

เมื่อ C คือ จำนวนบิตหรือจำนวนช่อง

ยกตัวอย่าง เช่น ถ้าต้องการออกแบบให้ละเอียดของตำแหน่งมุมมีค่าน้อยกว่า 5 องศา จะต้องใช้จำนวนเอนโค้ดเดอร์ที่มีจำนวนช่องทั้งหมดอย่างน้อย 7 ช่อง ($360 \text{ องศา} / 2^7 = 2.81 \text{ องศา}$)

ในกรณีที่ใช้รหัสไบนารีจะมีอยู่บางช่วงระหว่างการเปลี่ยนของเลข 2 จำนวน ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงของบิตมากกว่าหนึ่งบิต เช่น การเปลี่ยนจาก 7 (0111_2) เป็น 8 (1000_2) จะเห็นว่ามี การเปลี่ยนแปลงเลขทุกบิต นั่นคือในช่วงนี้ระบบเกิดสภาวะไม่เสถียรสามารถทำให้คอมพิวเตอร์อ่านข้อมูลผิดพลาดได้ เรียกเหตุการณ์นี้ว่า race

condition แต่ก็สามารถแก้ปัญหานี้ได้ โดยออกแบบวงจรให้สัญญาณนาฬิกาและการอ่านข้อมูลของคอมพิวเตอร์ทำงานพร้อมๆ กันในช่วงสภาวะเสถียรเท่านั้น แต่การเพิ่มขึ้นของวง



รูปที่ 4-12

ลักษณะออปติคัลเอนโค้ดเดอร์ (ก) แบบไบนารี (ข) แบบรหัสเกรย์

จรรยาจะทำให้สิ้นเปลือง เอนโค้ดเดอร์แบบไบนารีจึงไม่ค่อยเป็นที่นิยมเท่าไร

ลักษณะพิเศษของการใช้รหัสเกรย์ก็คือ ในระหว่างเลข 2 จำนวนที่ติดกันจะมีเพียงบิตเดียวเท่านั้นที่มีการเปลี่ยนแปลง จึงทำให้รหัสเกรย์นี้สามารถลดความผิดพลาดเนื่องจากการอ่านของคอมพิวเตอร์จากเอนโค้ดเดอร์ได้

2. ออปติคัลเอนโค้ดเดอร์แบบไม่สมบูรณ์ในตัว (incremental optical encoders)

ออปติคัลเอนโค้ดเดอร์แบบนี้จะมีรูปร่างเหมือนกับแบบแรก แต่มีช่องเพียงแถวเดียวเท่านั้น ความกว้างของช่องและระยะห่างระหว่างช่องเท่ากันหมด โดยมีช่องพิเศษเพิ่มขึ้นไปอีก 1 ช่องสำหรับอ้างอิง ซึ่งอยู่กันคนละแถวกัน

ความละเอียดของตำแหน่งมุม () จะขึ้นอยู่กับจำนวนของช่อง (n) บนแผ่นจาน สำหรับความกว้างของโพรงไดรอต (Wp) ที่ใช้ก็จะขึ้นอยู่กับค่าความละเอียดของตำแหน่งและระยะห่างจากจุดศูนย์กลางถึงโพรงไดรอต (r) ซึ่งเป็นใบดั่งสมการ

$$= 360 \text{ องศา} / n$$

$$\text{และ } Wp = r \sin (/ 2)$$

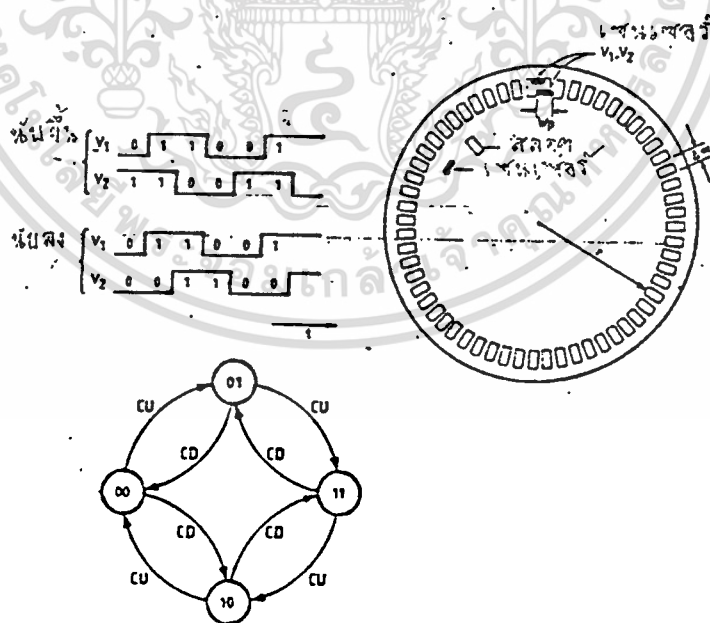
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ยกตัวอย่างเช่น จานเอนโค้ดเคอร์ขนาด 120 ช่อง และมี = 3 องศา ดังนั้น ความกว้างของโพรตไครรอดที่ใช้จะต้องไม่เกิน 0.26 มิลลิเมตร ที่ระยะ = 10 มิลลิเมตร

จำนวน LED และโพรตไครรอดที่ใช้จะมีทั้งหมด 3 คู่เสมอ ไม่ว่าจำนวนช่องจะมีมากหรือน้อยก็ตาม โดย 2 คู่แรกจะวางที่ตำแหน่งของช่องและวางห่างกันเท่ากับครึ่งหนึ่งของความกว้างของช่อง ดังรูปที่ 48 เมื่อแผ่นจานหมุนสัญญาณจาก V1 จะนำหน้าสัญญาณ V2 อยู่ 90 องศา เมื่อหมุนแบบทวนเข็มนาฬิกาจาก V1 ก็จะเปลี่ยนกลับมาเป็นล่าหลังสัญญาณ V2 อยู่ 90 องศา ความแตกต่างนี้จะเป็นตัวชี้ถึงทิศทางการหมุนได้ สำหรับ LED โพรตไครรอดคู่ที่เหลือก็จะถูกจัดวางให้ตรงตามตำแหน่งของสล็อตอ้างอิง (reference slot) เพื่อกำหนดตำแหน่งมุมรอยการนับพัลส์ที่เกิดขึ้น เริ่มจากสล็อตอ้างอิง

การกำหนดตำแหน่งสำหรับออปติคัล เอนโค้ด เคอร์แบบไม่สมบูรณ์ของตนเอง

สัญญาณที่ออกมาจากออปติคัล เอนโค้ด เคอร์แบบไม่สมบูรณ์ในตัว จะมียังทั้งหมด 3 สัญญาณคือ สัญญาณ V1, V2 และ V3 ซึ่งจะมีข้อมูลของทิศทางตำแหน่ง และความเร็วแผงแผงอยู่ในสัญญาณเหล่านี้ ซึ่งจะต้องคอยแยกข้อมูลเหล่านี้ออกมา โดยเริ่มจากการแยกเอาข้อมูลของทิศทางและตำแหน่งออกมาก่อนจากรูปที่ 4-12 จะกำหนดให้ทิศทางของการหมุน



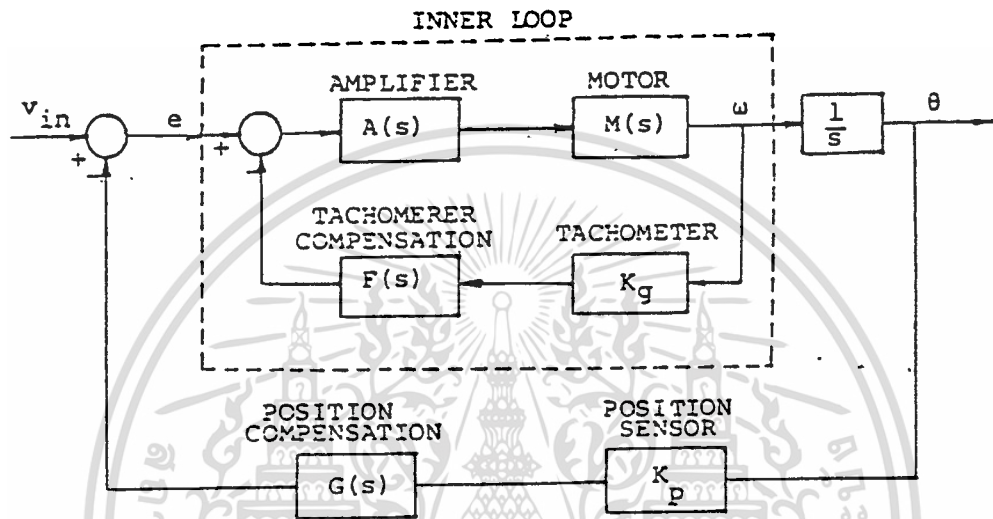
รูปที่ 4-13

บัสโค้ดไคอะแกรมแสดงถึงระบบการบังคับตำแหน่งแบบป้อนกลับด้วยทารคมิเตอร์

และตำแหน่งของเพลามอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์หรือการสงวนสิทธิ์ในชื่อการค้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตามเข็มนาฬิกาและทวนเข็มนาฬิกาเป็นการนับลงและนับขึ้นของวงจรมัดตามลำดับ และจะ
ทำให้สัญญาณ V_1 และ V_2 แทนบิตแรกและบิตที่สองของสถานะตามลำดับ ซึ่งจะได้สถานะ
ทั้งหมด 4 สถานะคือ 00, 01, 11 และ 10 ความสัมพันธ์ระหว่างสถานะต่างๆในการนับขึ้น
และลงจะเป็นไปตามไดอะแกรม แสดงสถานะดังรูปที่ 49 ลักษณะของออปติคัล เอนโค้ดเดอร์
แบบไม่สมบูรณ์ในตัวเอง และลักษณะการตรวจจับจากตัวเซนเซอร์ V_1, V_2 และ V_3



รูปที่ 4-14

ไดอะแกรมแสดงสถานะ (state diagram)

การชดเชยแบบป้อนกลับ

ในระบบถ้าหากเราสามารถวัดอาร์เมเจอร์โวลต์เตจ ($I_a R_a$) ของมอเตอร์ได้
สัญญาณดังกล่าวเป็นเสมือนความเร็วเอาท์พุทของมอเตอร์ ซึ่งสามารถ
ใช้เป็นสัญญาณป้อนกลับของระบบ เสมือนกับสัญญาณชดเชย การป้อนกลับนี้อาจกระทำได้
โดยตรงหรืออาจผ่านฟิลเตอร์หรือขยายเสียก่อนจึงป้อนเข้าระบบ

พิจารณาถึงระบบการบังคับตำแหน่งแบบมีการป้อนกลับด้วยทาคมิเตอร์

เมื่อ $A(s)$: ทรานสเฟอ์ฟังก์ชันของแอมพลิไฟ

$M(s)$: ทรานสเฟอ์ฟังก์ชันของมอเตอร์

K_g : อัตราขยายของทาคมิเตอร์

$F(s)$: ทรานสเฟอ์ฟังก์ชันของวงจรถดเชยตัวทาคมิเตอร์

$1/s$: แทนความสัมพันธ์ของโครงสร้างระหว่างความเร็วของเพลามอเตอร์

K_p : อัตราขยายของตัวเซนเซอร์ตำแหน่งของเฟลวมอเตอร์

$G(s)$: ทรานสเฟอ์ฟังก์ชันของการชดเชยตำแหน่งของเฟลวมอเตอร์

กำหนดให้

$$H(s) = W(s)/E(s) = [A(s)M(s)]/[1+A(s)M(s)K_gF(s)]$$

จะได้ทรานสเฟอ์ฟังก์ชันแบบปิดรูป ได้เป็น

$$(s)/V_{in}(s) = H(s)/[S\{1+(1/S)(K_p(s)G(s))\}]$$

บทสรุป

การควบคุมดิซิมอเตอร์ชนิดแม่เหล็กถาวร แบ่งเป็นสองแบบคือ

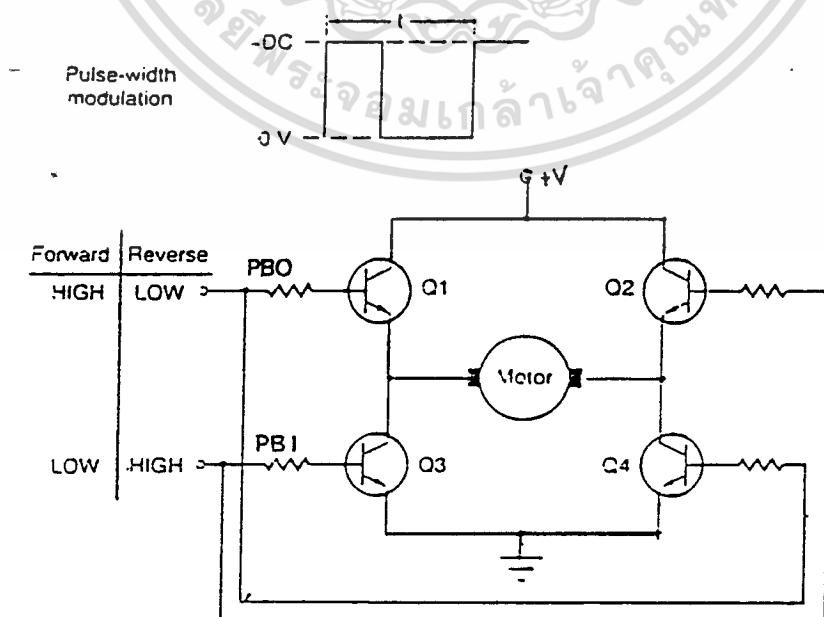
1. แบบควบคุมเปิดลูป ซึ่งแบ่งวงจรไดรฟ์เวอร์ได้ 2 แบบ คือ

1.1 แบบลิเนียร์ทรานซิสเตอร์หรือ (T-CIRCUIT)

การทำงานจะแบ่งเป็น 2 ลักษณะคือ แบบพอร์ เวอร์คและรี เวอสวอลท์ เตจที่ป้อนให้มอเตอร์ เท่ากับผลต่างระหว่างซัพพลายโวลท์ เตจและโวลท์ เตจตกคร่อม คอลเล็คเตอร์-อิมิตอร์ ของทรานซิสเตอร์ ในขณะที่ตัววัตต์วหนึ่งนักระแส

ข้อเสีย มอเตอร์ที่สภาวะความเร็วต่ำแรงบิดสูง ซึ่งมีผลทำให้กระแสไหลสูง ซึ่งทำให้โวลท์ เตจตกคร่อมทรานซิสเตอร์สูงด้วย ดังนั้นในระบบใหญ่จึงจำเป็นต้องมีตัวระบายความร้อนขนาดใหญ่

1.2 แบบสวิตซ์ซิงทรานซิสเตอร์ (H-CIRCUIT)



การทำงาน

เมื่อ Q1 และ Q4 นำกระแส (ON) กระแสจะไหลจากซ้ายไปขวา ผ่านมอเตอรื จะทำให้เกิดการหมุนในทิศ Forward

เมื่อ Q2 และ Q3 นำกระแส (ON) จะทำให้มอเตอรืหมุนในทิศ Reverse
เมื่อมอเตอรืทำงาน เช่นหมุนในทิศ Forward โดยการให้ Q1 และ Q4 จะเท่ากับ $1/2$ (ซัพพลายโวลท์เต็ม-โวลท์เต็มตกรวมมอเตอรื)

โครงสร้างของวงจรมอเตอร์ต้องการให้ V_{ceo} ของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์มีค่าสูงกว่า V (ซัพพลายโวลท์เต็ม)

ไดโอดที่ต่อคร่อม Q1 และ Q4 จะกัโวลท์เต็มในแต่ละขาของบรีดจ์ เพื่อให้โวลท์เต็มตกรวมไดโอดตัวหนึ่งเป็นบวกมากกว่า V ก็ทำให้โวลท์เต็มอีกตัวหนึ่งมีค่าต่ำกว่ากราวด์ ดังนั้นเอาท์พุททรานซิสเตอร์จะไม่ขึ้นกับโวลท์เต็มหลักดันที่มีค่ามากกว่า V หลายเท่า ข้อดีของวงจรมอเตอร์อีกอันหนึ่งคือ ช่วงลดโวลท์เต็มหลักดันบนตัวทรานซิสเตอร์ที่นำกระแส ถ้าบรีดจ์ได้รับการออกแบบอย่างเหมาะสม ความแตกต่างระหว่างซัพพลายโวลท์เต็มและโวลท์เต็มที่มอเตอรืต้องการจะถูกแบ่งเท่าๆกัน ระหว่างทรานซิสเตอร์ที่นำกระแสทั้ง 2 ตัวนั้น จากผลอันนี้ ช่วงเพิ่มกระแสของเอาท์พุททรานซิสเตอร์ ก่อนที่จะเกิดความเสียหายจากฟอร์เวอร์ดีไบอัสเบรตดาวเคร่งที่สอง การเพิ่มกระแสเอาท์พุทอย่างปลอดภัยสำหรับการทำงานของมอเตอรื ควรจะใช้เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ที่เหมือนกันในวงจรมอเตอร์

2. การควบคุมแบบปิดลูป เป็นการนำผลสัญญาณจากมอเตอรืป้อนกลับเข้าวงจรมอเตอร์เปรียบเทียบเพื่อใช้ในการควบคุมตำแหน่งทิศทาง

2.1 การควบคุมความเร็ว

การควบคุมความเร็ว สามารถบังคับให้ความเร็วคงที่หรือสามารถเปลี่ยนค่าได้ตามที่ต้องการ หลักการของระบบนี้คือ ความเร็วของมอเตอรืจะวัดได้ โดยตัวเซ็นเซอร์และป้อนกลับไปยังออปแอม เพื่อเปรียบเทียบกับระดับความเร็วที่ต้องการความแตกต่างของค่าทั้งสองจะอยู่ในเทอมเออร์เรอร์ของความเร็ว ซึ่งจะได้รับการขยาย และป้อนให้กับมอเตอรืเพื่อแก้ไขความเร็วให้มีค่าถูกต้อง คือมีความเบี่ยงเบนของความเร็วเป็นศูนย์หรือความพยายามให้สัญญาณบังคับ และความเร็วมอเตอรื มีความสอดคล้องกันมากที่สุด

การทำงานของระบบบังคับ ความเร็วสามารถจะตอบสนองได้ทั้งสัญญาณ คำสั่งให้ความเร็ว
คงที่ หรือให้ความเร็วแปรค่าไปได้ซึ่งการแปรไปของคำสั่งบังคับนั้นจะต้องอยู่ในแบนด์วิธ
ของ

2.2 การควบคุมตำแหน่ง

การควบคุมตำแหน่ง ระบบการบังคับการเคลื่อนที่ส่วนมากมักต้องการให้โหลด
หยุดในตำแหน่งที่กำหนด และยึดตำแหน่งไว้จนกว่าจะได้รับคำสั่งบังคับการหมุนใหม่

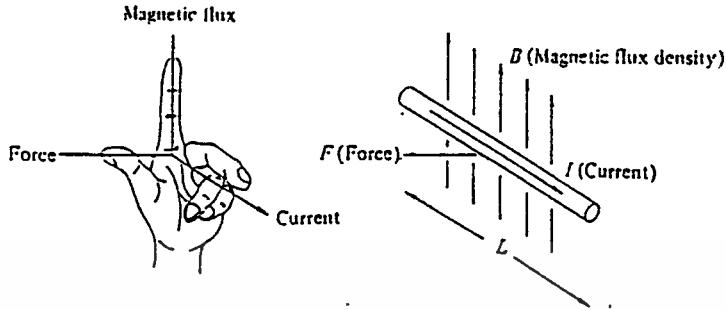
การบังคับตำแหน่ง ตำแหน่งเชิงมุมของมอเตอร์ที่ต่ออยู่กับโหลด จะสอกล้องกับค่า
สั่งอินพุท เมื่อสัญญาณบังคับคงที่ เฟลาของมอเตอร์ก็จะล็อกกับตำแหน่งที่ต้องการ เมื่อสัญญาณ
บังคับแปรไปอย่างต่อเนื่อง ตำแหน่งของมอเตอร์ก็จะเคลื่อนตามการบังคับ ทรายบเท่า
ที่การแปรไปของสัญญาณบังคับอยู่ภายในแบนด์วิธของกลุ่ม



ภาคผนวก

การคำนวณพื้นฐานของดีซีมอเตอร์

1. การหาแรงบิดในมอเตอร์



รูปที่ 1 แสดงกฎมือซ้ายของเฟลมมิ่ง

การคำนวณหาแรงบิดในมอเตอร์นั้น สามารถอธิบายได้โดยอาศัยกฎมือซ้ายของเฟลมมิ่งที่ว่า กระแสไหลผ่านตัวนำในสนามแม่เหล็ก จะทำให้เกิดแรงกระทำต่อตัวนำนั้นจะมีความสัมพันธ์ระหว่างทิศของกระแส,แรง,และสนามแม่เหล็ก ดังรูปที่ 1 จะได้สมการเป็น

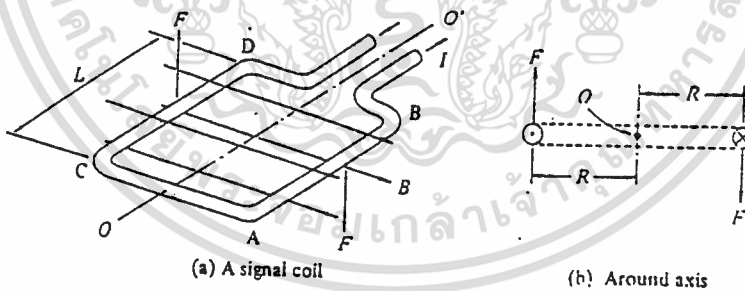
$$F = BIL$$

เมื่อ $F =$ แรง(นิวตัน)

$B =$ ความหนาแน่นของสนามแม่เหล็ก(เทสลา)

$I =$ กระแสไฟฟ้า(แอมแปร์)

$L =$ ความยาวของตัวนำที่กระแสไหลผ่าน(เมตร)



(a) A signal coil

(b) Around axis

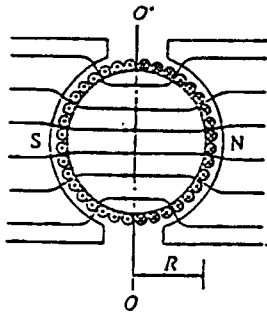
รูปที่ 2 แสดงความสัมพันธ์ทิศทางของกระแส,แรง,และสนามแม่เหล็กในขดลวดจากรูปที่ 2 จะเปรียบเสมือนมีตัวนำสองตัวในขดลวดคือ \overline{AB} และ \overline{CD} . โดยมี \overline{AC} และ \overline{DB} เป็นจุดเชื่อมต่อ ระหว่าง \overline{AB} และ \overline{CD} โดยเรียก \overline{AC} , \overline{DB} ว่า COIL-ENDS

จากรูปที่ 2 จะได้โมเมนต์ของแรงบิดรอบแกน OO' ซึ่งมีทิศตามเข็มนาฬิกา ดังนี้

$$T = 2RF = 2RBIL$$

เมื่อคิดหน่วย SI จะได้ T หน่วยนิวตัน, R หน่วยเป็นเมตร

2. การหาค่าคงที่ของแรงบิด



รูปที่ 3 แสดงทิศทางของสนามแม่เหล็กและกระแสในโรเตอร์

ในรูปนี้ให้ทิศทางของกระแสของอเมเจอร์ทางด้านขวาของแกน OO' มีทิศพุ่งออก จากหน้ากระดาษทางด้านซ้ายของแกน OO' ทิศของกระแสในอเมเจอร์มีทิศพุ่งเข้าหาหน้า กระดาษ จะได้ สมการ โมเมนต์ของแรงบิดรอบแกนเป็น

$$T = ZRBIL \quad 3$$

$$= ZRB(I_a/2)L$$

เมื่อ T = โมเมนต์แรงรอบแกน OO'

Z = จำนวนขดลวดตัวนำทั้งหมดรอบแกน OO'

R = ระยะห่างระหว่างลวดตัวนำกับแกน OO'

B = ความหนาแน่นของสนามแม่เหล็ก

L = ความยาวของตัวนำ

I = กระแสที่ไหลในตัวนำแต่ละเส้น

I_a = กระแสในอเมเจอร์ พิจารณารูป 2 (a) จะได้ขดลวดอเมเจอร์

DCAB ประกอบด้วยตัวนำ CD และ AB โดยมี AC และ DB เป็นจุดเชื่อมต่อ จะได้ว่า $I_a =$

$2I$

สมการสนามแม่เหล็ก

$$\phi = \pi R I_a B \quad 4$$

แทนสมการที่ 4 ในสมการที่ 3

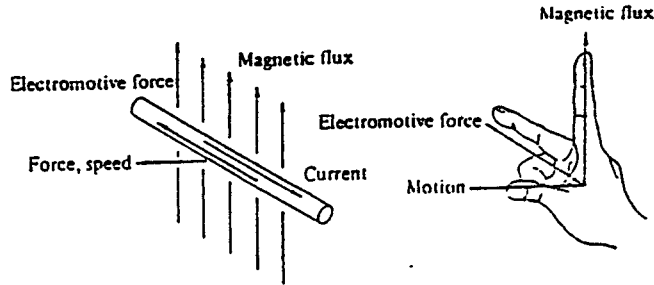
$$T = (Z/\pi)\phi \cdot I_a/2.$$

$$T = K_T \cdot I_a \quad 5$$

โดยที่ $K_T = (Z/2\pi)\phi.$

โดย K_T เรียกว่า ค่าคงที่แรงบิดของมอเตอร์

3. การหาค่าคงที่ของโวลต์เตจป้อนกลับ



รูปที่ 4 แสดงกฎมือขวาของเฟลมมิง

$$E = VBL$$

9

เมื่อ E = โวลเตจที่เกิดขึ้น

V = ความเร็วของตัวนำที่ตัดผ่านสนามแม่เหล็ก

B = ความหนาแน่นของสนามแม่เหล็ก

L = ความยาวของตัวนำ

เมื่อแปลงค่าโวลเตจที่เกิดขึ้นในมอเตอร์ในรูปของอัตราเร็วเชิงมุม จะได้

$$E = K_e \Omega$$

10

เมื่อ K_e = ค่าคงที่ของโวลเตจป้อนกลับ

Ω = อัตราเร็วเชิงมุมของโรเตอร์

4. การหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่ของแรงบิดและค่าคงที่ของโวลต์เตจป้อนกลับ

กลับ

จากสมการที่ 9 $E = VBL$

โดยที่ $V = \Omega R$

11

แทนค่าในสมการ 11 ลงในสมการที่ 9 จะได้ว่า back emf(e) = RBL

12

เมื่อ Z คือจำนวนลวดทั้งหมด ดังนั้น จำนวนลวดทั้งหมดในการต่ออนุกรมกันในมอเตอร์ = $Z/2$

เพราะฉะนั้น back emf ทั้งหมด (E) = $\Omega RBLZ/2$.

เพราะฉะนั้น $K_e = (Z/2\pi)\Phi$.

13

เทียบสมการ 13 กับสมการที่ 8 จะได้ว่า K_e มีค่าเท่ากับ K_T

จะได้ว่า $K_T = K_e = K$

14

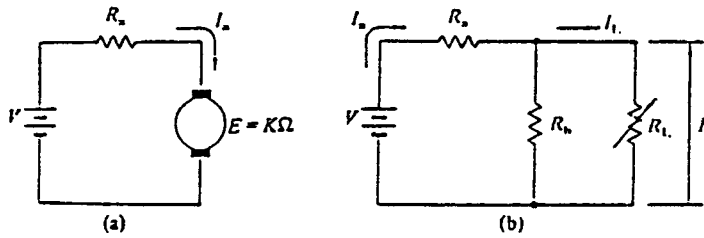
เมื่อใช้ระบบ SI

K_T จะอยู่ในรูปหน่วย Nm/A

K_e จะอยู่ในรูปหน่วย $Vsrad^{-1}$

5. การหาคุณสมบัติของเซอร์โวมอเตอร์

5.1 การหาคุณลักษณะแบบสแตติกส์



Input power = $V I_a$
 Output power = $I_a E$ (mechanical work)
 Copper loss = $I_a^2 R_s$
 Other losses = neglected

Input power = $V I_a$
 Output power = $I_L^2 R_L = I_L E$
 Copper loss = $I_a^2 R_s$
 Other losses = E^2 / R_m

รูปที่ 5 แสดงวงจรสมมูลของดีซีมอเตอร์

5.1.1 ความสูญเสียในมอเตอร์

แบ่งเป็น

5.1.1.1 การสูญเสียในแกนเหล็ก (COPPER LOSS)

5.1.1.2 การสูญเสียเนื่องจากลม (WINDAGE LOSS) เป็น

การสูญเสียที่เกิดจากความเสียดทานระหว่างลมกับโรเตอร์เมื่อเกิดการหมุน

5.1.1.3 การสูญเสียในแปรงและเบร้ง เนื่องจากแรงเสียดทาน

(MECHANICAL LOSS)

5.1.1.4 การสูญเสียเนื่องจากกระแสไหลวนในแกนเหล็ก

เนื่องจากการหมุนของโรเตอร์ตัดผ่านสนามแม่เหล็ก (IRON LOSS)

จากวงจรสมมูลในรูปที่ 5(b) ให้ R_m แทนการสูญเสียของ WINDAGE LOSS + MECHANICAL LOSS + IRON LOSS

R_L แทนโหลด(O/P) โดยที่ เมื่อไม่มีโหลดมาต่อกับมอเตอร์เปรียบเสมือนว่า R_L เป็นอินฟินิตี้และ R_L เป็นศูนย์เมื่อแกนของโรเตอร์ถูกล็อก

กำหนดให้ค่าคงที่ M

$$M = \sqrt{((R_m + R_L) / R_s)} \quad 15$$

$$M = \sqrt{((\omega_0 / I_0) (\Delta I / \Delta \Omega) + 1)} \quad 16$$

เมื่อ ω_0 = อัตราเร็วเชิงมุมที่สภาวะ NO-LOAD(rad/s)

$\Delta \Omega$ = การเปลี่ยนแปลงของอัตราเร็วเชิงมุม เมื่อมีโหลดเบาค่อยๆ

(rad/s).

I_0 = กระแสที่สภาวะ NO-LOAD

ΔI = ผลต่างของกระแส เมื่อมีโหลดเบาค่อยๆ

$$(\text{MAXIMUM EFFICIENCY})_{\eta \max} = (M-1)/(M+1)$$

17

$$(\text{กระแสที่ MAXIMUM EFFICIENCY}) \quad I^* = MI_0$$

18

$$(\text{อัตราเร็วที่ MAXIMUM EFFICIENCY}) \quad \Omega^* = (M/(M+1))\Omega_0$$

จากรูปที่ 7 จะได้สมการของมอเตอร์

$$V = I_a R_a + E$$

19

$$I_a = (V - E)/R_a = (V - K\Omega)/R_a$$

20

ในสภาวะ NO-LOAD

$$I_0 = (V - K\Omega_0)/R_a$$

21

นำสมการ (20)-(21)

$$I_a - I_0 = K(\Omega_0 - \Omega)/R_a$$

22

$$\frac{\Delta I}{\Delta \Omega} = \frac{I_a - I_0}{\Omega_0 - \Omega} = \frac{K}{R_a}$$

23

จากรูปที่ 7b

ที่สภาวะ NO-LOAD $R_L = \infty$

$$\text{เพราะฉะนั้น } I_0 = V/(R_a + R_b)$$

24

$$\text{โวลต์เตจป้อนกลับที่ NO-LOAD } E_0 = R_b I_0 = V \frac{R_b}{R_a + R_b}$$

25

$$\text{จาก } \frac{\Delta I}{\Delta \Omega} = \frac{I_a - I_0}{\Omega_0 - \Omega} = \frac{K}{R_a}$$

เพราะฉะนั้น

$$\Omega_0 = E_0/K = \frac{V}{K} \cdot \frac{R_b}{R_a + R_b}$$

26

$$\frac{\Omega_0}{I_0} = \frac{R_b}{K}$$

27

การสูญเสียที่เกิดขึ้นในมอเตอร์ = การสูญเสียใน R_a + การสูญเสียใน R_b

$$\text{LOSS} = \frac{(V-E)^2}{R_a} + \frac{E^2}{R_b}$$

28

OUTPUT POWER = back emf * INPUT CURRENT - LOSS in R_b

$$\frac{E(V-E)}{R_a} - \frac{E^2}{R_b}$$

29

จะได้ว่ากำลังงานที่ป้อนให้มอเตอร์ (INPUT POWER) = LOSS + OUTPUT POWER

$$= \text{TERMINAL VOLTAGE} \times \text{INPUT CURRENT}$$

$$= V \frac{V-E}{R_a}$$

30

จะได้ว่าประสิทธิภาพ (η) = O/P POWER / I/O POWER

$$= \left(\frac{E(V-E)}{R_a} - \frac{E^2}{R_b} \right) / \left(V \frac{V-E}{R_a} \right) = \frac{E}{V} \frac{R_b}{R_a} \cdot \frac{E^2}{V(V-E)}$$

31

การหาจุดที่มีประสิทธิภาพที่สุด โดยการดิฟเฟอเรนเชียลเทียบกับ E ให้เท่ากับ 0

$$\frac{\partial \eta}{\partial E} = \frac{1}{V} \left\{ 1 - \frac{R_b}{R_a} \cdot \frac{2EV - E^2}{(V-E)^2} \right\} = 0$$

32

$$\left(1 + \frac{R_n}{R_n}\right)E^2 - 2V\left(1 + \frac{R_n}{R_n}\right)E + \frac{R_n}{R_n}V^2 = 0. \quad 33$$

แทนสมการที่ 15 ในสมการที่ 33

$$M^2E^2 - 2VM^2E + (M^2 - 1)V^2 = 0. \quad 34$$

กำหนดให้ E^* แทน back emf ที่จุด MAXIMUM EFFICIENCY (η MAX) จะได้ว่า

$$E^* = \frac{VM^2 \pm \sqrt{(M^4V^2 - M^2(M^2 - 1)V^2)}}{M^2} = \frac{M^2 \pm M}{M^2} V = \frac{M \pm 1}{M} V. \quad 35$$

แต่ E^* จะน้อยกว่า V เสมอ

$$\text{ดังนั้น } E^* = \frac{(M - 1)}{M} V. \quad 36$$

$$\eta_{\max} = \frac{M - 1}{M} \cdot \frac{R_n}{R_n} \cdot \frac{(M - 1)^2}{M} \quad 37$$

จากสมการที่ 15

$$R_n/R_n = M^2 - 1 = (M - 1)(M + 1). \quad 38$$

แทนสมการที่ 38 ลงในสมการที่ 37

$$\text{จะได้ } \eta_{\max} = \frac{(M - 1)}{(M + 1)} \quad 39$$

จาก $I_a = (V - E)/R_a$

กำหนดให้ I เป็น I_a ที่จุด MAXIMUM EFFICIENCY

$$I^* = (V - E^*)/R_a \quad 40$$

$$I^*/I_o = [(V - E^*)/R_a] / [(V - E_o)/R_a] = (V - E^*)/(V - E_o) \quad 41$$

จากสมการที่ 15 และ 26 จะได้ว่า

$$E_o = V[(R_n/R_a)/((R_n/R_a) + 1)] = \left[\frac{M^2 - 1}{M}\right] V \quad 42$$

$$I^*/I_o = [1 - (M - 1)/M] / [1 - (M - 1)/M^2] = M \quad 43$$

จาก $E = K_n \Omega$

$$\frac{\Omega^*}{\Omega_o} = \frac{E^*}{E_o} \quad 44$$

แทนค่า E^*, E_o จากสมการที่ 36 และ 42 ลงในสมการที่ 44 จะได้ว่า

$$\frac{\Omega^*}{\Omega_o} = \frac{V(M - 1)/M}{V(M^2 - 1)/M^2} = \frac{M}{M + 1} \quad 45$$

แรงบิดที่จุด MAXIMUM EFFICIENCY (T^*)

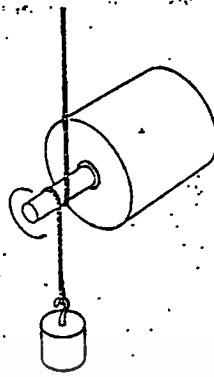
$$\begin{aligned} T^* &= (\text{input power} \times \eta_{\max}) / \Omega^* \\ &= VI^* \eta_{\max} / \Omega^* \\ &= VM I_o \{(M - 1)/(M + 1)\} / \{\Omega_o M / (M + 1)\} \\ &= (M - 1) VI_o / \Omega_o \end{aligned}$$

46

ตัวอย่างคำนวณ

จ่ายไฟให้มอเตอร์ 12 ที่ NO-LOAD วัดรอบการหมุนได้ 4094 rpm วัดกระแสได้

28.2 mA เมื่อมีโหลด
เบาๆมาต่อ ดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 เมื่อมีโหลดเบาๆมาต่อกับมอเตอร์

ความเร็วรอบเปลี่ยนเป็น 4009 rpm วัดกระแสได้ 99 mA ให้หากระแสความเร็วรอบกำลังที่ป้อน กำลังงานที่ได้ และแรงบิดที่จุด MAXIMUM EFFICIENCY

$$\Delta\Omega = 4094 - 4009 = 85 \text{ rpm.}$$

$$\Delta I = 0.099 - 0.0282 = 0.0708 \text{ A}$$

$$M^* = \sqrt{\left(\frac{4094}{0.0282} \times \frac{0.0708}{85} + 1\right)} = 11.042.$$

$$\eta_{\text{max}} = (11.042 - 1) / (11.042 + 1) = 0.834 = 83.4\%$$

$$I^* = 11.042 \times 0.0282 = 0.311 \text{ A,}$$

$$\Omega^* = \frac{11.042}{11.042 + 1} \times 4094 = 3754 \text{ r.p.m.,}$$

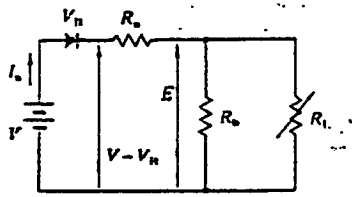
$$P_{\text{in}}^* = 11.042 \times 12 \times 0.0282 = 3.737 \text{ W,}$$

$$P_{\text{out}}^* = (11.042 \times (11.042 - 1) / (11.042 + 1)) \times 12 \times 0.0282 = 3.116 \text{ W,}$$

$$T^* = (11.042 - 1) \times 12 \times 0.0282 / (4094 \times 0.1047) = 7.926 \times 10^{-3} \text{ N m}$$

* 1 rpm = 1 รอบ/วินาที

การคำนวณมอเตอร์เมื่อคิดผลของ โวลต์เองตกคร่อมแปรง %



รูปที่ 7 แสดงวงจรสมมูลย์ เมื่อคิดผลของโวลต์เตจตกคร่อมแปรง

โวลต์เตจตกคร่อมแปรงนี้จะมีค่าคงที่ เพราะฉนั้นในวงจรสมมูลย์จึงแทนค่านี้อย่างเปรียบเสมือนไดโอด โดยมีโวลต์เตจตกคร่อมเท่ากับ V_n จะได้สมการของมอเตอร์ ดังนี้

ที่สภาวะ NO-LOAD $R_L = \infty$

$$V - V_n = I_0(R_a + R_b) \quad 47$$

$$R_b = (V - V_n)/I_0 - R_a \quad 48$$

ที่สภาวะเพลาของมอเตอร์ถูก LOCK

$$V = V_n + I_a R_a \quad 49$$



รูปที่ 8 เป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง V และ I_a ที่ สภาวะเพลาของมอเตอร์ถูก lock

ตามรูปที่ 10 การหา V_n ก็คือ หาโวลต์เตจที่ป้อนสูงสุดที่ทำให้ I_a เริ่มเปลี่ยนจากศูนย์เป็นมีกระแสไหล

จาก $M = \sqrt{((R_a + R_b)/R_a)}$

จากสมการที่ 47 จะได้

$$R_a = \frac{V - V_n}{I_0 M^2} \quad 50$$

การคำนวณหาค่าต่างๆเมื่อคิดผลของ V_n

การสูญเสียในมอเตอร์ $P_{loss} = \frac{((V - V_n) - E)^2}{R_a} + \frac{E^2}{R_b} + V_n I_a \quad 51$

$$I_a = (V - V_n - E)/R_a \quad 52$$

แทนสมการที่ 52 ลงในสมการที่ 51

$$P_{loss} = \frac{V - V_n - E}{R_a} (V - E) + \frac{E^2}{R_b} \quad 53$$

$$P_{out} = \frac{E(V - V_n - E)}{R_a} - \frac{E^2}{R_b} \quad 54$$

$$P_{in} = V \frac{V - V_n - E}{R_a} \quad 55$$

$$\begin{aligned} \text{ประสิทธิภาพ } \eta &= \left(\frac{E(V - V_b - E)}{R_a} - \frac{E^2}{R_b} \right) / \left(V \frac{V - V_b - E}{R_a} \right) \\ &= \frac{E}{V} \frac{R_a}{R_b} \cdot \frac{E^2}{V(V - V_b - E)} \end{aligned} \quad 56$$

$$T = P_{\text{out}} / \Omega \quad 57$$

$$\Omega = F/K \quad 58$$

แทนสมการที่ 58 และ 54 ลงในสมการที่ 57

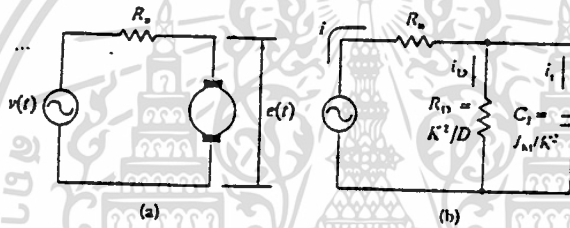
$$\text{จะได้ } T = \left(\frac{V - V_b - E}{R_a} - \frac{E}{R_b} \right) K \quad 59$$

$$\text{จาก } E = K\Omega \quad 60$$

$$\text{จะได้ } K = (V - V_b - R_a I_a) / \Omega_a \quad 61$$

5.2 การหาคุณลักษณะของดีซีมอเตอร์ในรูปแบบไดนามิก

ในการคิดแบบไดนามิกนี้ผลของความเฉื่อยของ โรเตอร์จะมีผลมาเกี่ยวข้องด้วย ในวงจรสมมูลนี้ ผลของความเฉื่อยจะให้อยู่ในรูปของตัวเก็บประจุ ดังแสดงในรูปที่ 9(b)



รูปที่ 9 แสดงวงจรสมมูลของมอเตอร์เมื่อคิดในรูปแบบไดนามิกส์

พลังงานจลน์ เนื่องจากความเฉื่อยของโรเตอร์

โดยจะมีความสัมพันธ์ใน

รูปแบบพลังงานไฟฟ้าคือ $1/2 \cdot e^2 / C_j = 1/2 \cdot J_m \omega^2$

จะได้ว่า

$$C_j = J_m / K^2 \quad 62$$

พลังงานความร้อนที่เกิดเนื่องจากความเสียดทานของมอเตอร์ แทนในรูปของพลังงานไฟฟ้าที่ตกคร่อม R_D

$$R_D = K^2 / D$$

63

โดย J_m คือ โมเมนต์แรงเฉื่อยของโรเตอร์

K คือค่าคงที่ของมอเตอร์

D คือ โหลดความเสียดทาน

ให้ $m(t)$ = แรงบิดของมอเตอร์

$$m(t) = Ki = J \frac{d\omega(t)}{dt} + D\omega(t) \quad 64$$

จะได้ว่า

$$i = \frac{1}{K} \left(J \frac{d\omega(t)}{dt} + D\omega(t) \right) \quad 65$$

$$i = i_j + i_b = \frac{J}{K} \frac{d\omega(t)}{dt} + \frac{D}{K} \omega(t). \quad 66$$

$$e(t) = K\omega(t) \quad 67$$

แทนสมการที่ 67 ใน 66

$$\text{จะได้ } i = i_j + i_b = \frac{J}{K^2} \frac{de(t)}{dt} + \frac{D}{K^2} e(t). \quad 68$$

$$i_j = \frac{J}{K^2} \frac{de(t)}{dt} \quad 69$$

$$i_b = \frac{D}{K^2} e(t). \quad 70$$

$$\text{จากสมการที่ 69 จะได้ } e(t) = \frac{K^2}{J} \int i_j dt. \quad 71$$

สรุปการหาค่าหลักในวงจรสมมูลย์ในรูปที่ 9 เมื่อไม่คิดผลของความเหนี่ยวนำในอเมเจอร์ แรงบิดที่เกิดขึ้นในมอเตอร์

$$m(t) = Ki = J dW(t)/dt + D w(t)$$

แบ่งเป็นแรงบิดเนื่องจากความเฉื่อยของโรเตอร์ และแรงบิดของ โทลด์ความเสียดทาน

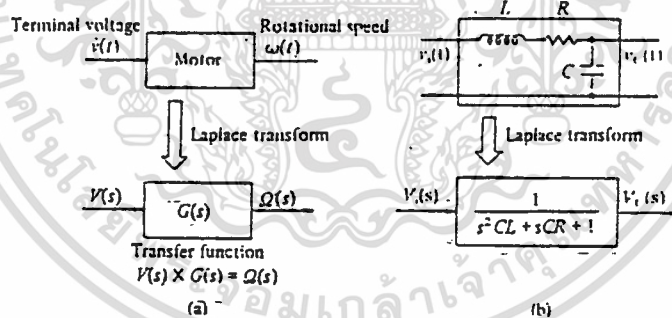
แรงบิดเนื่องจากความเฉื่อยของโรเตอร์ = $J dW(t)/dt$

แรงบิดของ โทลด์ความเสียดทาน = $D W(t)$

$$\text{โดยที่ } e(t)/K = W(t)$$

เมื่อ $e(t)$ เป็นโวลต์แดงที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุ

การหาความสัมพันธ์ของมอเตอร์ในรูปแบบทรานเฟอร์ฟังก์ชัน



รูปที่ 10 เป็นความสัมพันธ์ระหว่างอินพุตและเอาต์พุต

รูป(a) เป็นทรานส์เฟอร์ฟังก์ชันของมอเตอร์

รูป(b) เป็นทรานส์เฟอร์ฟังก์ชันในรูปแบบวงจรไฟฟ้า

จากรูปที่ 10 (b)

$$\text{จะได้ } v_i(t) = L \frac{di}{dt} + Ri + \frac{1}{C} \int_0^t i dt. \quad 72$$

$$V_i(s) = sLI(s) + RI(s) + \frac{1}{sC} \cdot I(s) \quad 73$$

$$= \left(sL + R + \frac{1}{sC} \right) I(s) \quad 74$$

กำหนดให้ $Z(s) = V_i(s)/I(s) = sL + R + 1/sC$

$V_c(s) = (\text{อิมพีแดนซ์ของตัวเก็บประจุ/อิมพีแดนซ์ทั้งหมด}) \times \text{โวลต์ที่ป้อน}$

$V_c(s) = [1/sC / (sL + R + 1/sC)] V_i(s)$ 75

จะได้ $G(s) = V_c(s)/V_i(s) = 1 / (s^2CL + sCR + 1)$ 76

$G(s)$ อีกนัยหนึ่ง = การเปลี่ยนแปลงของอัตราเร็วเชิงมุม / การเปลี่ยนแปลงโวลต์
 เดจ้านอินพุท

$G(s) = \frac{\Omega(s)}{V(s)}$ 77

การคำนวณเมื่อไม่คิดผลของความเสียดทานและความหนื่อยนำของอเมเจอร์

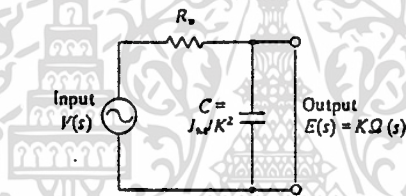
จาก $G(s) = \frac{\Omega(s)}{V(s)} = [E(s)/K] / V(s)$
 $= \frac{1/sCK}{R_a + 1/sC} = \frac{1/K}{1 + s(J_M R_a / K^2)}$ 78

$G(s) = \frac{1/K}{1 + s\tau}$ 79

เมื่อ τ = ค่าคงที่ของเวลา

$\tau_M = J_M R_a / K^2$ 80

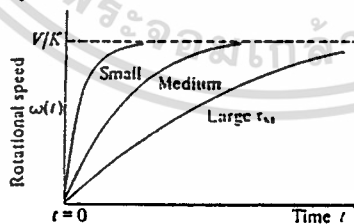
จะได้รูปแบบวงจรสมมูล ดังรูปที่ 11



รูปที่ 11 แสดงวงจรสมมูลของมอเตอร์ เมื่อไม่คิดผลของความเสียดทานและความหนื่อยนำของอเมเจอร์

จาก $G(s) = \frac{1/K}{1 + s\tau}$

จะได้ $\omega(t) = \frac{V}{K} (1 - e^{-t/\tau})$ 81



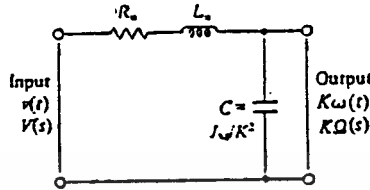
รูปที่ 12 แสดงกราฟความสัมพันธ์ของผลตอบสนองของมอเตอร์ที่มีขนาด
 ต่างๆ ในรูปแบบ FIRST ORDER TRANSFERFUNCTION

เมื่อโวลต์เดจอินพุทที่ป้อนเป็น UNIT STEP = V/K ตามกราฟ $\omega(t)$ จะเข้าสู่ V/K
 เร็วเมื่อ τ มีค่าน้อยๆ ดังนั้น ในการออกแบบเซอร์โวมอเตอร์ที่ดีให้ผลตอบสนองเร็ว τ_M

ต้องมีค่าน้อยๆ

ในกรณีที่ τ_M มีค่ามาก การชดเชยเพื่อให้เกิดผลตอบสนองเร็วโดยการออกแบบให้ ภาคขยาย ให้มีอัตราขยาย (GAIN) สูง แต่ผลของการชดเชยเช่นนี้จะทำให้ ความร้อนสูญเสีย มีค่าสูงขึ้น ทำให้การทำงานเกิดความไม่เสถียร

การคำนวณเมื่อคิดผลของความเหนี่ยวนำของมอเตอร์



รูปที่ 13 แสดงวงจรสมมูลเมื่อคิดผลความเหนี่ยวนำในมอเตอร์

$$G(s) = \frac{\Omega(s)}{V(s)} = \frac{\left(\frac{K^2}{sJ_M}\right)\left(\frac{1}{K}\right)}{R_n + sL_n + K^2/sJ_M} = \frac{K}{s^2L_nJ_M + sR_nJ_M + K^2}$$

82

$$G(s) = \frac{\omega_n^2/K}{s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2}$$

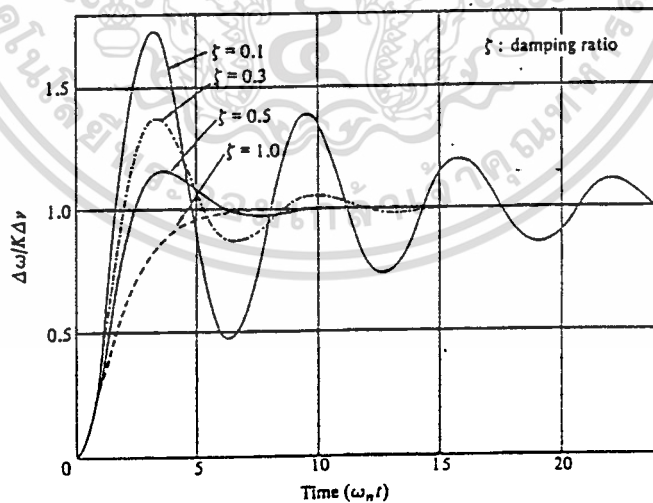
เมื่อ

$$\omega_n \text{ (characteristic angular frequency)} = 1/\sqrt{(\tau_E\tau_M)}$$

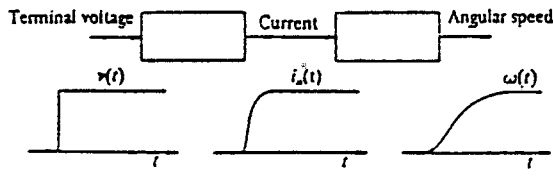
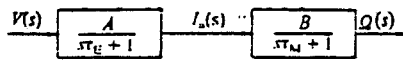
$$\zeta \text{ (damping ratio)} = \sqrt{(\tau_M/\tau_E)}$$

$$\tau_E \text{ (electrical time constant)} = L_n/R_n$$

$$\tau_M \text{ (mechanical time constant)} = J_M R_n / K^2$$



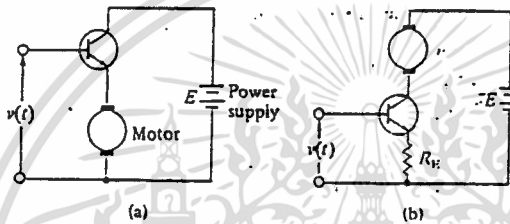
รูปที่ 14 แสดงผลตอบสนองที่ (DAMPING RATIO) ต่างๆ



ทรานเฟอร์ฟังก์ชัน เมื่อพิจารณาร่วมกับวงจรที่ใช้ขับเคลื่อนมอเตอร์

เฟอร์ฟังก์ชัน วงจรขับเคลื่อนมอเตอร์ที่จะพิจารณานี้แบ่งเป็นสองแบบ คือ

1. วงจรขับเคลื่อนที่ใช้โวลต์เดจควบคุม
2. วงจรขับเคลื่อนที่ใช้กระแสควบคุม



รูปที่ 15 แสดงรูปแบบวงจรขับเคลื่อนมอเตอร์

(a) แบบใช้โวลต์เดจควบคุม

(b) แบบใช้กระแสควบคุม

เมื่อคิดค่าผลของ V_{be} น้อยมาก ตามรูป (a) จะได้ว่า $v(t) =$ โวลต์เดจอินพุทของมอเตอร์ จะได้ทรานเฟอร์ฟังก์ชัน ดังที่ได้แสดงไว้ในหัวข้อที่แล้ว

พิจารณารูปที่ 15 (b) เมื่อไม่คิดผลของ V_{be}

จะได้ $i_E = v/R_E$

i_E ก็คือ กระแสคอลเลคเตอร์ หรือกระแสที่ป้อนให้กับมอเตอร์

แรงบิด $m = K_T i$

$$K_T i(t) = J \frac{d\omega(t)}{dt} + D\omega(t) \tag{88}$$

$$K_T I(s) = (sJ + D)\Omega(s) \tag{89}$$

$$\frac{\Omega(s)}{I(s)} = \frac{K_T}{sJ + D} \tag{90}$$

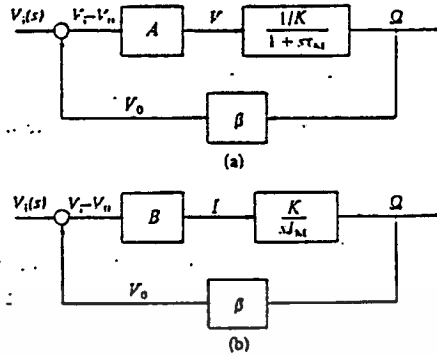
จาก $V(s) = R_E I(s)$

เพราะฉะนั้น

$$\frac{\Omega(s)}{V(s)} = \frac{1}{R_E} \frac{K_T}{sJ + D} \tag{91}$$

เป็นค่าคงที่ของทรานสดีเวอร์ที่ใช้ในการแปลงอัตราเร็วเชิงมุมเป็น โวลต์เดจ A

เป็นอัตราขยายแอมพลิไฟต์ที่ใช้ขยายผลต่างของ $V_i - V_o$ เพื่อเร่งให้อัตราเร็วเชิงมุมเข้าสู่ภาวะสมดุลย์ คือให้ผลต่างของ $V_i - V_o$ มีค่าต่างกันน้อย



รูปที่ 16 แสดงบล็อกไดอะแกรมการควบคุมแบบป้อนกลับ

(a) แบบควบคุมโดยใช้โวลต์เดจ

(b) แบบควบคุมโดยใช้กระแส

β เป็นค่าคงที่ของทรานสดิวเซอร์ที่ใช้ในการแปลงอัตราเร็วเชิงมุมเป็นโวลต์เดจ A เป็นอัตราขยายของแอมพลิไฟต์ ที่ใช้ขยายผลต่างของ $V_i - V_o$ เพื่อเร่งให้อัตราเร็วเชิงมุม เข้าสู่ภาวะสมดุลย์คือ ให้ผลต่างของ $V_i - V_o$ มีค่าต่างกันน้อย

จากรูป 16 (a) จะได้ทรานสเฟอร์ฟังก์ชัน ดังนี้

$$\frac{V_i(s)}{\Omega(s)} = \frac{1/\beta}{1 + s(\tau_M K/\beta)}$$

โดยที่ $\tau = (K/\beta)\tau_M = J_M R_M / \beta A K$

ทรานสเฟอร์ฟังก์ชันของรูป (b) จะได้

$$\frac{V_i(s)}{\Omega(s)} = \frac{1/\beta}{1 + s(J_M \beta BDK)}$$

โดยที่ $\tau = J_M / \beta BDK$

เมื่อ $\tau_M = J_M R_M / K^2$ (MACHAMICAL TIME CONSTANT OF THE MOTOR)