

รถไฟฟ้าและแขนกลขนาดเล็ก

A Small Electric Car with Robot Arm



ปริญญาบัตรนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาในหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2546

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....55799.....
วัน,เดือน,ปี 25 พ.ค. 2548



รถไฟฟ้าและแขนกลขนาดเล็ก

A Small Electric Car with Robot Arm



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาในหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2546

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายงานปีการศึกษา 2546

ภาควิชาอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การควบคุมรถไฟฟ้าและแขนกลขนาดเล็ก

ผู้จัดทำ

นาย กิตติภักดิ์ นฤพันธ์วาทย์ รหัส 43010028

นาย พณิษฐ์ บุญวัชรชัย รหัส 43010280

นาย มนตรี กลิ่นดอกแก้ว รหัส 4301332



.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผศ. พลผดุง ผดุงกุล)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รถไฟฟ้าและแขนกลขนาดเล็ก

นาย กิตติภักดิ์ นฤพันธุ์ นฤพันธุ์ รหัส 43010028

นาย พนิชย์ บุญวัชรชัย รหัส 43010280

นาย มนตรี กลิ่นดอกแก้ว รหัส 43010332

ผศ. พลผดุง ผดุงกุล (อาจารย์ที่ปรึกษา)

ปีการศึกษา 2546

บทคัดย่อ

โครงการนี้นำเสนอแขนกล พร้อมติดตั้งบนตัวรถเพื่อสามารถเคลื่อนที่ไปใช้งานได้หลากหลายชั้น ที่แขนกลได้ติดตั้งกล้องวิดีโอไร้สาย และสามารถควบคุมตัวแขนกลและตัวรถแบบไร้สาย โดยสามารถมองผ่านกล้องเพื่อหยิบจับสิ่งของได้ แขนสามารถยกสิ่งของหนักเคลื่อนที่ได้สามทิศทาง ทำให้มีความสะดวกในการทำงาน เคลื่อนที่ได้อย่างอิสระคล้ายแขนของมนุษย์ สามารถยกน้ำหนักได้ไม่เกิน $\frac{1}{2}$ กิโลกรัม มีรัศมีควบคุมได้ไม่เกิน 100 เมตร เพื่อสามารถนำไปใช้งานพื้นที่อันตรายแทนมนุษย์ได้



A Small Electric Car with Robot Arm

Mr. Kittipad Naripantawad IDNO 43010028

Mr. Panich Bunwadchachai IDNO 43010280

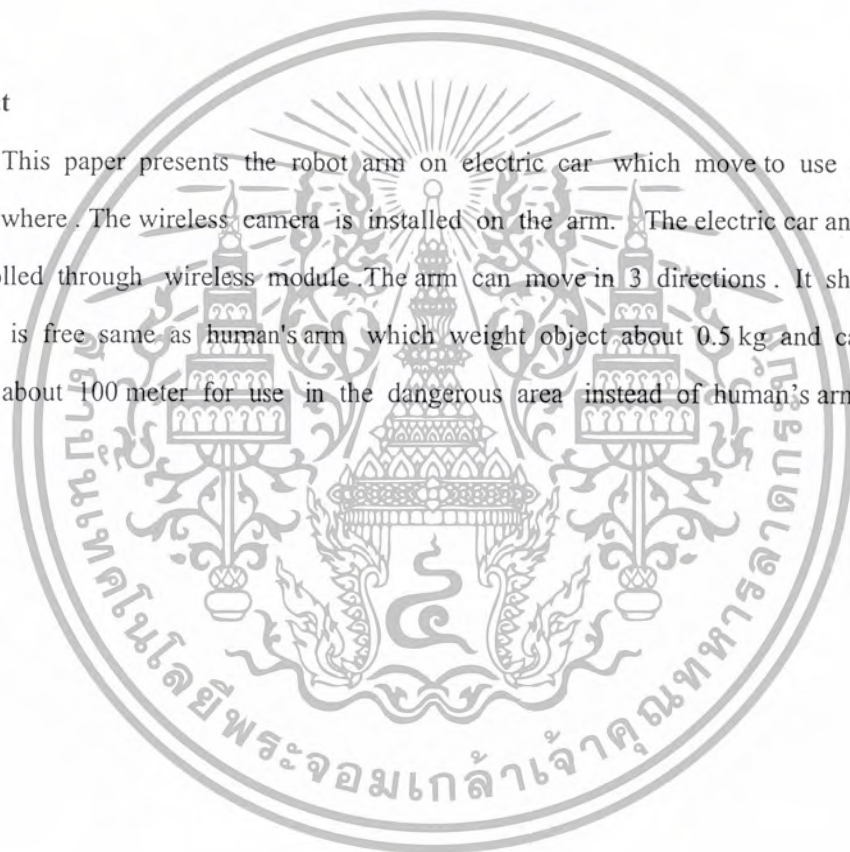
Mr. Montri Klindokkaew IDNO 43010332

Asst. Prof. Phonpadung Padungkul(Advisor)

2003

Abstract

This paper presents the robot arm on electric car which move to use anything and anywhere. The wireless camera is installed on the arm. The electric car and robot arm is controlled through wireless module. The arm can move in 3 directions. It shows that the arm is free same as human's arm which weight object about 0.5 kg and can control radian about 100 meter for use in the dangerous area instead of human's arm.



กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จเป็นรูปเล่มที่สมบูรณ์ขึ้นมานั้น กระผม ขอขอบพระคุณท่าน อาจารย์ ผศ. ผดุง ผดุงกุล ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษา พร้อมทั้งให้คำชี้แนะ ให้คำปรึกษาในการ แก้ไขปัญหาต่าง ๆ ที่เกิดขึ้น ขอบคุณคุณพรศักดิ์ สมทิพย์ และ คุณ ภาคภูมิ เกิดชนมงคล ที่ให้ยืม คอมพิวเตอร์ใช้ในการพิมพ์รายงาน ขอบคุณทุกท่านที่อุปการะอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ช่วยในการทำ งานนี้ ขอบคุณเพื่อน ๆ ทุกคนที่ให้กำลังใจ ทำให้งานนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

สุดท้ายนี้ขอพระคุณบิดา มารดา ผู้ซึ่งให้กำเนิด อบรมสั่งสอนและสนับสนุนการศึกษามา โดยตลอด

นาย กิตติภรณ์ นฤพนธาวาทย รหัส 43010028

นาย พลินชัย บุญวัชรชัย รหัส 43010280

นาย มนต์รี กลั่นดอกแก้ว รหัส 43010332



สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ	A
Abstract	B
กิตติกรรมประกาศ	C
บทที่ 1 บทนำ	1
ขอบเขตการทำงานและประโยชน์ที่ได้รับ	1
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 มอเตอร์กระแสตรง	4
2.2 ชนิดของมอเตอร์กระแสตรง	6
2.3 วงจรควบคุมทิศทางการหมุนของมอเตอร์	8
2.4 คุณลักษณะของแขนมนุษย์	10
2.5 การแบ่งประเภทของหุ่นยนต์ทางอุตสาหกรรม	11
2.6 การแบ่งประเภทของแขนกล	14
2.7 การเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์	14
2.8 การสั่งงานหุ่นยนต์	17
2.9 ทฤษฎีเกี่ยวกับไมโครคอนโทรลเลอร์	19
2.10 การแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณอนาล็อก	20
2.11 การแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล	26
2.12 คุณสมบัติของ A / D Converter	30
2.13 ไอซี A / D Converter	32
2.14 การส่งข้อมูล Digital ในรูปของ FSK	33
บทที่ 3 การออกแบบ	43
3.1 การออกแบบตัวรถ	43
3.2 การออกแบบแขนกล	45
3.3 การออกแบบวงจรควบคุมมอเตอร์	48
3.4 การออกแบบวงจรสัญญาณดิจิทัลเป็นอนาล็อก	50
3.5 การออกแบบวงจร FSK	52
3.6 การออกแบบวงจรควบคุมความเร็วรถ	59
3.7 การออกแบบวงจรวัดความเร็วและระยะทาง	61
3.8 การออกแบบวงจรวัดแบตเตอรี่	63

3.9 การกำหนดพิกัดแกนกล	66
3.10 การออกแบบโปรแกรมควบคุมรหัสไฟฟ้าและแกนกลขนาดเล็ก	67
3.11 แผนภาพแสดงขั้นตอนการทำงานของโครงการ	74
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง	75
4.1 ผลการทดลองวงจรวัดเบตเตอร์	75
4.2 ผลการทดลองวงจรควบคุมมอเตอร์	76
4.3 ผลการทดลองวงจร modulation / demodulation แบบ FSK	77
4.4 ผลการทดลองวงจรวัดความเร็ว	82
4.5 ผลการทดลองวงจรควบคุมความเร็ว	82
เอกสารอ้างอิง	84



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

เมื่อก้าวถึงหุ่นยนต์คนส่วนใหญ่มักจะนึกถึงโครงเหล็กขนาดใหญ่ลักษณะคล้ายมนุษย์เคลื่อนตัวอย่างช้า ๆ ดังที่เห็นในภาพยนตร์แนววิทยาศาสตร์ทั่วไป แต่ในปัจจุบันได้ถูกพัฒนาขึ้นมาใช้งานในโรงงานอุตสาหกรรมขนาดใหญ่มากขึ้น โดยอุตสาหกรรมเหล่านี้ครอบคลุมตั้งแต่โรงงานผลิตรถยนต์ เครื่องจักร จนแม้แต่การผลิตไมโครคอมพิวเตอร์ก็ใช้หุ่นยนต์เข้ามาช่วยในการผลิตแต่หุ่นยนต์อุตสาหกรรมเหล่านี้มีลักษณะที่แตกต่างออกไป จากภาพพจน์เดิมที่นิยายวิทยาศาสตร์วาดภาพไว้มาก เพราะส่วนใหญ่จะมีลักษณะเป็นแขนและมีมือซึ่งใช้งานตามการสั่งงานเท่านั้น

สมาคมหุ่นยนต์แห่งประเทศไทย (BRITISH ROBOT ASSOCIATION : BRA) กำหนดนิยามของหุ่นยนต์อุตสาหกรรมไว้ว่า คือ “อุปกรณ์ที่มีอย่างน้อย 4 องศาแห่งอิสระ (DEGREE of freedom) ที่สามารถโปรแกรมใหม่ได้ ซึ่งได้รับการออกแบบมาสำหรับการจับย้ายและขนส่ง ชิ้นส่วน เครื่องมือหรือส่วนประกอบพิเศษ โดยการอาศัยการเคลื่อนที่ที่ได้รับการโปรแกรมไว้สำหรับงานเฉพาะอย่าง และโปรแกรมนี้ยังสามารถเปลี่ยนแปลงได้”

สถาบันทางหุ่นยนต์ของอเมริกา (ROBOTICS INSTITUTE OF AMERICA : RIA) ให้นิยามว่า “เป็นมือจับ (manipulator) หลายหน้าที่การทำงาน ที่สามารถ โปรแกรมใหม่ได้ ได้รับการออกแบบเพื่อการเคลื่อนย้ายวัสดุ ชิ้นส่วน เครื่องมือหรืออุปกรณ์พิเศษ โดยอาศัยการเคลื่อนที่ที่ได้รับการ โปรแกรมไว้ใช้งานเฉพาะอย่าง” และนิยามนี้ได้รับการยอมรับอย่างแพร่หลายฐานะที่เป็นนิยามของหุ่นยนต์อุตสาหกรรม

ตัวอย่างของงานที่ใช้หุ่นยนต์ช่วยงานมีมากมายอาทิเช่น การประกอบชิ้นส่วน การพันสี การเชื่อม ฯลฯ โดยตำแหน่งที่หุ่นยนต์เคลื่อนที่ไปปฏิบัติงานนี้จะยังคงมีตลอดเวลาและสามารถทำงานซ้ำๆ ได้หลายๆ ครั้ง โดยไม่มีการผิดพลาด จนกว่าจะมีการเปลี่ยนแปลงคำสั่ง การทำงานของหุ่นยนต์อุตสาหกรรมนี้ หลักการจะคล้ายกับการทำงานของอุปกรณ์ที่จะควบคุมด้วยคำสั่งเชิงตัวเลข (numerical control machine) ในลักษณะของการทำงานการ feedback ฯลฯ โดยมีแนวโน้มว่าจะมีการนำไปใช้ในอุตสาหกรรมขนาดเล็กเพิ่มขึ้นเพราะสามารถควบคุมได้ด้วยไมโครคอมพิวเตอร์ให้การเปลี่ยนแปลงแก้ไขคำสั่งทำได้สะดวก

ปัจจุบันได้มีการนำหุ่นยนต์ไปใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมกันอย่างกว้างขวาง เพื่อกำหนดรายละเอียดชิ้นงานได้ดีกว่ามนุษย์เมื่อต้องทำงานซ้ำ ๆ กัน เข้าถึงพื้นที่อันตรายแทน โดยใช้มนุษย์ควบคุมแทน เช่นในงานอวกาศ งานรังสีอันตรายต่าง ๆ และในปัจจุบันการศึกษาได้ก้าวหน้าไปไกลมาก เช่นทาง

บริษัท Honda ได้สร้างหุ่นยนต์เคลื่อนที่แบบมนุษย์ ในประเทศญี่ปุ่นมีการสร้างสัตว์เลี้ยง เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อิเล็กทรอนิกส์ ที่สามารถสื่อสารกันได้ออกมาขายเป็นของเล่น ซึ่งจะเห็นได้ว่าหุ่นยนต์ได้เข้ามามีบทบาทในชีวิตเราไม่มากนักน้อย ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่ต้องศึกษาและพัฒนาหุ่นยนต์ เพื่อรองรับความเจริญของการใช้หุ่นยนต์ที่จะเกิดขึ้นอนาคตอันใกล้

ในโครงการนี้ได้สร้างหุ่นยนต์สำรวจที่ถือติดแขนกล โดยควบคุมไร้สาย ผ่านกล้องวีดีโอที่ติดกับตัวรถ มีรัศมีการควบคุมประมาณ 100 เมตร สามารถควบคุมการหยิบจับวัตถุได้น้ำหนักไม่เกิน $\frac{1}{2}$ กิโลกรัม ติดตั้งเครื่องวัดอุณหภูมิเพื่อตรวจจับความร้อนของวัตถุ จะต้องเตือนเมื่ออุณหภูมิเกิน 100°C มีวงจรตรวจสอบแบตเตอรี่เพื่อเตือนเมื่อแบตเตอรี่ใกล้หมด แขนกลเคลื่อนที่ได้สามมิติ

ขอบเขตของงานที่จะทำในเทอม 1 (ควบคุมตัวรถโดยผ่านสาย Serial ได้)

1. ออกแบบและสร้างส่วนของตัวรถและแขนกลในสามารถทำงานได้
2. สามารถควบคุมตั้งรถและแขนกลผ่านการเชื่อมต่อแบบ Serial โดยควบคุมจาก Key pad แสดงผลทางจอ LCD
3. วงจรวัดอุณหภูมิ วงจรวัดแบตเตอรี่สามารถแสดงผลทางจอ LCD ได้
4. ระบบ Feed Back ของตัวรถและแขนกล สามารถทำงานเพื่อบอกขอบเขตการหมุนของมอเตอร์แต่ละตัวได้

ขอบเขตในการทำงานเทอม 2

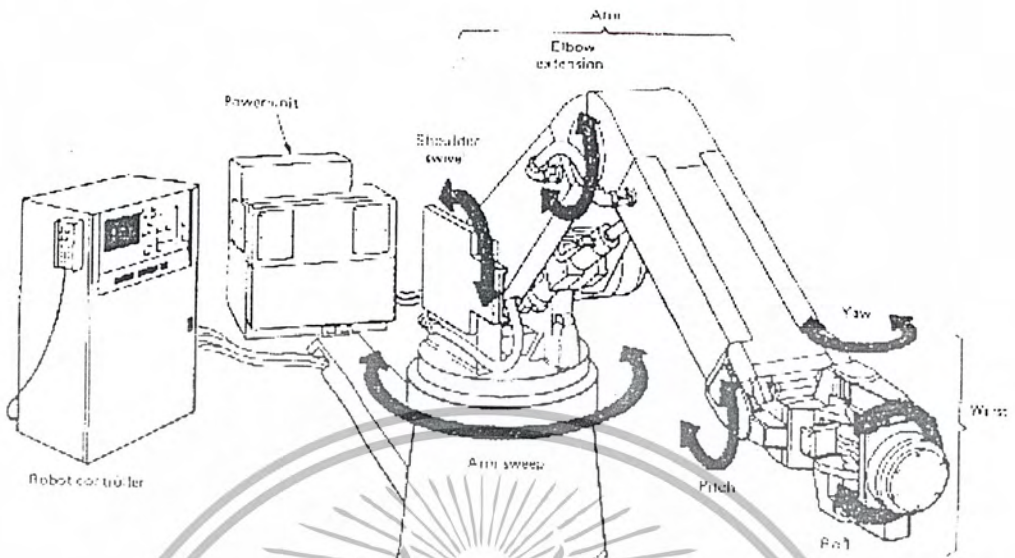
สามารถควบคุมผ่านกล้องไร้สายได้อย่างสมบูรณ์แบบ

1. สามารถหยุดสัญญาณควบคุมผ่านทาง Audio ของกล้องเพื่อควบคุมรถได้
2. สามารถเขียนโปรแกรมเพื่อกำหนดค่าเริ่มต้นของแขนกลได้
3. เพิ่มเติมวงจรอื่นๆที่จำเป็น เช่น วงจรวิเคราะห์ทาง

ประโยชน์ที่ได้รับ

1. ทำให้ทราบอุปสรรคและแนวทางในการพัฒนาหุ่นยนต์
2. เป็นเครื่องต้นแบบที่สามารถศึกษาระบบควบคุมหุ่นยนต์ขั้นสูงได้
3. ใช้ในการเรียนรู้ระดับความสามารถหุ่นยนต์ได้
4. สามารถทำงานร่วมกัน สร้างความรับผิดชอบต่อหน้าที่งานและการตรงต่อเวลา
5. มีความรู้เพิ่มเติมด้าน Microprocessor และระบบสื่อสารได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.1 ของแขนอุตสาหกรรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีเบื้องต้น

2.1 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง(dc motor)

มอเตอร์ไฟฟ้ากับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าต่างกันที่พลังงานป้อนเข้า (Input Power) พลังงานนี้ป้อนเข้ามอเตอร์ เป็นพลังงานไฟฟ้าและพลังงานที่จ่ายออก (Output Power) เป็นพลังงานกล แต่พลังงานที่ป้อนเข้าเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเป็นพลังงานกลและพลังงานที่จ่ายออกเป็นพลังงานไฟฟ้า นอกจากนี้ทิศทางของกระแสไฟฟ้าก็ตรงกันด้วยคือ มอเตอร์รับกระแสไฟฟ้าจากภายนอก ส่วนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจ่ายกระแสไฟฟ้าออกภายนอก

โครงสร้างของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

ส่วนประกอบที่สำคัญของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงและเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงนั้น โดยมีส่วนประกอบต่าง ๆ ดังนี้

ส่วนที่อยู่อยู่กับที่ (Stator) ประกอบด้วย

- ก. เปลือกนอก (Frame หรือ Yoke) เป็นตัวยึดขั้วแม่เหล็กของส่วนที่อยู่กับที่พร้อมทั้งทำให้เส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดจากขั้วแม่เหล็กจึง ได้จนครบวงจร นอกจากนี้เปลือกนอกยังทำหน้าที่เป็นตัวยึดสำหรับติดตั้งเครื่องจักรรวมถึงเป็นแป้นยึดลูกปืน (Bearing) สำหรับเพลลาของตัวหมุน การทำเปลือกนอกทำได้โดยการขึ้นรูป การใช้เหล็กหล่อตีขึ้น หรือใช้วิธีม้วนเหล็กแผ่นแล้วเชื่อมเป็นวง
- ข. แกนเหล็กของขั้วแม่เหล็กและขั้วแม่เหล็ก (Pole-core and Pole-shore) ทั้งสองส่วนนี้ ประกอบกันขึ้นมาเพื่อทำหน้าที่เป็นแกนและขั้วแม่เหล็ก เพื่อทำให้เกิดสนามแม่เหล็กขึ้นหลังจากที่มีกระแสไหลผ่านขดลวดตัวนำที่พันรอบแกนเหล็ก
- ค. ขดลวดที่พันรอบแกนเหล็ก (Pole Coils) ก็คือ Field Coil ที่ประกอบด้วยสวดกลมหรือลวดแบนที่ทำด้วยลวดทองแดงหลาย ๆ เส้นนำมาทำให้เป็นรูปร่างของลวดตัวนำที่ต้องการ แล้วนำขดลวดตัวนำนี้สวมทับลงไปบนแกนเหล็กของขั้วแม่เหล็ก ดังนั้นเมื่อมีกระแสไหลผ่านขดลวดนี้ ก็ทำให้ขั้วแม่เหล็กมีอำนาจเป็นแม่เหล็กขึ้นมาโดยการผลิตเส้นแรงแม่เหล็ก ให้เกิดขึ้นเส้นแรงแม่เหล็กนี้ถูกตัดผ่านโดยตัวนำภายในอาร์มเจอร์ อีกที่หนึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนที่เคลื่อนที่ที่หมุนได้รอบตัว(Rotor) ประกอบด้วย

- ก. แกนเหล็กของอาร์เมเจอร์ (Armature Core) ทำจากแผ่นเหล็กซิลิคอน หนาประมาณ 0.5 มิลลิเมตร ผิวทั้ง 2 ข้างจะฉาบด้วยฉนวน แล้วนำมาอัดซ้อนเป็นรูปทรงกระบอก เพื่อจะทำการเป็นร่อง (Slot) เรียงตามแนวเส้นรอบวงรอบนอกของแกนเหล็กเพื่อใช้พัน ขดลวดอาร์เมเจอร์ส่วนตรงกลางจะเจาะรูเป็นวงกลมเพื่อเอาไว้ใส่แกนเหล็ก (Shaft) แล้วก็บากเป็นช่องสี่เหลี่ยมของรูปที่เจาะนั้นร่องหนึ่งเพื่อใส่ ตัวยึด (Lock) หรือกุญแจ (Key) ทั้งนี้เพื่อไม่ให้เกิดการเคลื่อนที่ขึ้นระหว่างตัวอาร์เมเจอร์กับแกนเหล็ก นอกจากนี้ยังเจาะรูอากาศ (Air hole) เล็ก ๆ ทะลุผ่านอาร์เมเจอร์เพื่อระบายความร้อน
- ข. ขดลวดอาร์เมเจอร์ (Armature winding) ก็คือ ขดลวดที่พันอยู่ในร่องของอาร์เมเจอร์
- ค. คอมมิวเตเตอร์ (Commutator) มีหน้าที่คือ เป็นตัวที่เพิ่มความสะดวกในการนำกระแส ออกมาจากตัวนำที่พันอยู่ในอาร์เมเจอร์ และเป็นตัวกลับกระแสไฟสลับที่เกิดขึ้น ภายในอาร์เมเจอร์ให้เป็นกระแสตรง หรือกระแสที่ไหลไปยังวงจรภายนอกในทิศทาง เดียวกัน รูปร่างของมันเป็นรูปทรงกระบอกที่ประกอบด้วยซี่ทองแดงหลายซี่มาต่อ รวมกันเป็นรูปทรงกระบอก ซึ่งซี่ที่ติดชิดกันนั้นคั่นไว้ด้วยฉนวนหนาที่แข็งแรง แต่ ละซี่ต่อไปยังขั้วต่อของขอมมิวเตเตอร์ต่าง ๆ เหล่านี้ต้องกระเด็นหลุดไปอัน เนื่องมาจากแรงหนีศูนย์กลาง จึงใช้ฉนวนหวนที่ทำด้วยไม้ก้ำกั้วซึ่งคอมมิวเตเตอร์ ทั้งหมด
- ง. แกนหมุน (Shaft) เป็นตัวรองรับน้ำหนักในส่วนต่าง ๆ ของตัวมอเตอร์ทั้งหมด โดย ถ่ายน้ำหนักไปยังลูกปืน ที่รองรับแกนนี้อีกทีหนึ่ง และมีหน้าที่เป็นตัวรับหรือถ่าย-ทอดการหมุนหรือการเคลื่อนที่ต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นกับ โรเตอร์ แกนหมุนนี้เป็นที่ยึดเกาะ ของคอมมิวเตเตอร์ด้วย โดยมีฉนวนที่ทำด้วย ไม้ก้ำกั้วไว้ระหว่างคอมมิวเตเตอร์กับ แกนหมุน
- จ. แปรงถ่านและลูกปืน (Brushes and Bearing) แปรงถ่านมีหน้าที่เป็นตัวรวบรวมกระแสที่ ได้จากคอมมิวเตเตอร์เพื่อส่งไปยังวงจรภายนอก รูปร่างของแปรงถ่านเป็นแท่ง สี่เหลี่ยมผืนผ้า ซึ่งทำด้วยผงถ่านอัดแน่นเป็นก้อน แปรงถ่านเหล่านี้ถูกยึดติดอยู่กับที่จับ แปรงถ่าน (Brush Holder) ซึ่งเป็นกล่องสำหรับใส่แปรงถ่านลงไป ที่ยึดนี้จะยึดติดกับ เปลือกนอกอีกที ฉะนั้นหน้าสัมผัสของแปรงถ่านด้านหนึ่งก็จะสัมผัสกับซี่คอมมิวเต-เตอร์ ส่วนด้านตรงข้ามก็ถูกกดจากสปริงอีกทีหนึ่ง ตรงด้านที่ถูกกดของแปรงถ่านต่อ เข้ากับเส้นลวดทองแดงเล็ก ๆ ที่ถักเป็นเปีย เพื่อส่งต่อกระแสที่ได้จากแปรงถ่านไปยัง วงจรภายนอก จำนวนแปรงถ่านที่ใช้ที่นี่จะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับว่า กระแสที่ได้รับจาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คอมมิวเตเตอร์นั้นมีมากหรือน้อยเพียงใด ส่วนลูกป็นนั้นเป็นตัวที่ใช้สำหรับรับน้ำหนักทั้งหมดที่ได้รับจากตัวหมุน และยังช่วยลดแรงเสียดทานที่แกนหมุนต้องยึดติดกับเปลือกนอกของเครื่องกำเนิดไปอีกทีหนึ่ง

2.2 ชนิดของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง แบ่งเป็น 4 ชนิดดังนี้

1. มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบกระตุ้นแยก (Separately Excited DC Motor)
2. มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบกระตุ้นขนาน (Shunt DC Motor)
3. มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบกระตุ้น (Series DC Motor)
4. มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบกระตุ้น (Cumulative Compound DC Motor)



รูปที่ 2.1 รูปแสดงชนิดของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

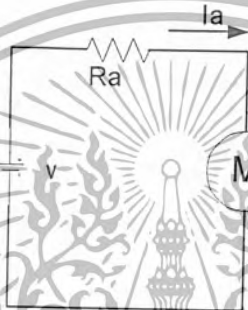
ในกรณีของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบกระตุ้นแยกการควบคุมสัปดาห์ที่ตกคร่อม อาร์เมเจอร์และขดสนามไฟฟ้า (Field) นั้นแยกอิสระต่อกันส่วนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบขนานขดลวดสนามและอาร์เมเจอร์ต่อกับแหล่งจ่ายไฟเดียวกัน การควบคุมแยกกันทำได้วิธีเดียวคือการ

เพิ่มความต้านทาน (R) ภายในวงจรแต่เป็นการควบคุมที่ไม่มีประสิทธิภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์สงวนไว้สำหรับการใช้งานภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในกรณีของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบอนุกรมกระแสที่ไหลผ่านขดสนาม (Field Flux) จึงขึ้นอยู่กับกระแสอาร์เมเจอร์ด้วย ส่วนมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบผสม แรงเคลื่อนแม่เหล็ก (Magnetomotive Force : mmf) ของขดสนามที่ต่ออนุกรมกับมอเตอร์อยู่ มีผลต่อกระแสอาร์เมเจอร์ด้วยและมีทิศทางเดียวกับแรงเคลื่อนแม่เหล็กของขดสนามที่ต่ออนุกรมกับมอเตอร์

ความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดกับความเร็วที่สถานะคงที่ (Steady State speed torque relation)



รูปที่ 2.2 วงจรสมมูลที่สถานะคงตัวของอาร์เมเจอร์

จากรูปที่ 2.2 ความต้านทาน R_a คือความต้านทานของวงจรอาร์เมเจอร์ สำหรับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบกระตุ้นแยก คือ ความต้านทานของขดลวดอาร์เมเจอร์

สมการพื้นฐานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงมีดังนี้

$$E_g = K_a \phi N$$

$$E_a = E_g + I_a R_a$$

$$T = K_a \phi I_a$$

ϕ = จำนวนเส้นแรงแม่เหล็ก (Flux per Pole) , Webers

I_a = กระแสอาร์เมเจอร์ (Armature Current) , A

E_a = สักดาไฟฟ้าตกคร่อมอาร์เมเจอร์ (Armature Voltage) , V

R_a = ความต้านทานของขดลวดอาร์เมเจอร์ (Resistance of the armature circuit) , Ω

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

N = ความเร็วของขดลวดอาร์เมเจอร์ (Speed of Armature)

T = แรงบิดที่มอเตอร์สร้าง (Torque developed the motor) , rpm

K_a = ค่าคงที่ (Constant)

จากสมการข้างต้น

$$N = \frac{Ea}{Ka\phi} - \frac{Ra}{Ka\phi} I_a$$

ในกรณีของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบกระตุ้นแยก ถ้าศักดาไฟฟ้าของขดสนามคงที่ เราสามารถสมมติให้เส้นแรงแม่เหล็กคงที่ ขณะที่แรงบิดเปลี่ยนแปลง

2.3 วงจรควบคุมทิศทางการหมุนของมอเตอร์



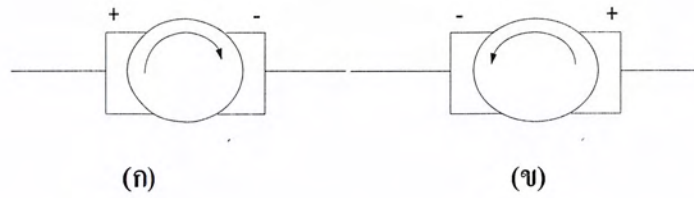
รูปที่ 2.3 แสดงวงจรควบคุมมอเตอร์

การทำงานของวงจร

การควบคุมทิศทางการหมุนของมอเตอร์ตามวงจรนี้สามารถทำได้โดยการควบคุมการไบอัส (Bias) ที่ขาเบส (Base) ของทรานซิสเตอร์ทั้ง 4 ตัว วงจรทำงานในลักษณะของสวิตช์ติดต่อวงจรโดยแยกการทำงานออกเป็น เพื่อควบคุมทิศทางของกระแสที่ไหลผ่านมอเตอร์ โดยให้ไบอัส Q_1 และ Q_4 ทำงานพร้อมกันเพื่อควบคุมกระแสที่ไหลในทิศทางหนึ่ง และให้ไบอัส Q_2 และ Q_3 ทำงานพร้อมกันเพื่อควบคุมกระแสที่ไหลในอีกทิศทางหนึ่ง สมมติป้อนแรงดันให้แก่มอเตอร์ ดังรูปที่ 2.4ก มอเตอร์จะมีทิศทางหมุนตามเข็มนาฬิกา และถ้าป้อนแรงดันให้แก่มอเตอร์ดังรูปที่

2.4 ข มอเตอร์จะมีทิศทางหมุนตามเข็มนาฬิกา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

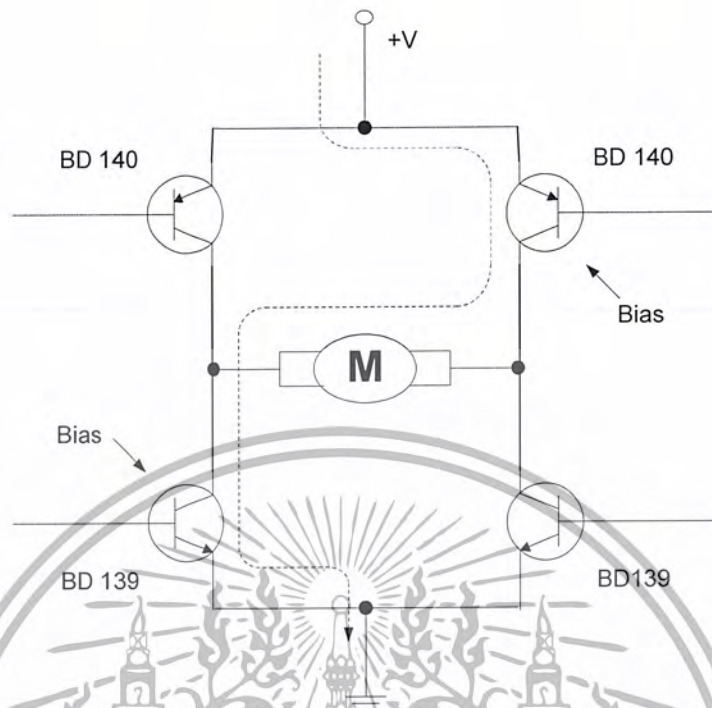


รูปที่ 2.4 รูปแสดงการทิศทางการหมุนของมอเตอร์

เมื่อเราต้องการให้มอเตอร์หมุนตามเข็มนาฬิกาเราก็ไปอัสทรานซิสเตอร์ BD 140 และ BD 139 พร้อมกับ ทิศทางการไหลของกระแสในวงจรจะเป็นดังรูป 2.4



รูปที่ 2.5 รูปแสดงทิศทางการไหลของกระแสเมื่อ BD 140 และ BD 139 ได้รับไบอัส
เมื่อเราต้องการให้มอเตอร์หมุนทวนเข็มนาฬิกาเราก็ไปอัสทรานซิสเตอร์ BD 140 และ BD 139 พร้อมกับ ทิศทางไหลของกระแสในวงจรจะเป็นดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.6 แสดงทิศทางการไหลของกระแสเมื่อ BD 140 และ BD 139 ได้รับไบอัส

เมื่อเราไม่ต้องการให้มอเตอร์หมุนเราก็เพียงแค่หยุดไบอัสทรานซิสเตอร์ทั้ง 4 ตัว ก็จะไม่มีการไหลในวงจร

2.4 คุณลักษณะของแขนมนุษย์

ในเมื่อเราต้องการที่จะสร้างหุ่นยนต์ให้มีคุณลักษณะเหมือนแขนของมนุษย์เราจึงมีความจำเป็นที่จะต้องศึกษา โครงสร้างและลักษณะการเคลื่อนไหวของแขนมนุษย์ก่อน

แขนของมนุษย์ประกอบด้วยส่วน 2 ส่วนที่เห็นแยกกันอย่างชัดเจน คือ ส่วนที่เป็นข้อมือ ซึ่งมีข้อต่อหลักอยู่ 3 ข้อต่อ และอีกส่วนคือแขน ซึ่งมีข้อต่อหลักอยู่ 2 ข้อต่อ (หัวไหล่และข้อศอก) ก่อนอื่นเรามาคูที่ส่วนแรกก่อน ข้อมือของมนุษย์มีลักษณะดังต่อไปนี้

การหมุนข้อมือ (Roll angle) สามารถหมุนได้ $-180 <> 0 <> +90 = 270$

การพับข้อมือ (Pitch angle) สามารถพับได้ $-90 <> 0 <> +50 = 140$

การบิดข้อมือ (Yaw angle) สามารถบิดได้ $-45 <> 0 <> +15 = 60$

การเคลื่อนที่ของข้อมือทั้ง 3 แบบ มีการเคลื่อนที่ที่เป็นอิสระต่อกัน ดังนั้นเราจึงให้การ

เคลื่อนที่แต่ละแบบเป็น เองสาแห่งอิสระ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนที่สองคือ แขน ประกอบด้วยข้อต่อหลัก 2 ข้อต่อ แต่มี 3 องศาแห่งอิสระคือ 2 องศาแห่งอิสระที่หัวไหล่ และอีก 1 องศาแห่งอิสระที่ข้อศอก แต่หัวไหล่ของแขนกลจะมีเพียง 1 องศาแห่งอิสระ ลักษณะหนึ่งที่สำคัญของโครงสร้างของแขน คือ อัตราส่วนระหว่างความยาวของแขนท่อนบนกับแขนท่อนล่าง จะมีค่าราว 1.2 : 1 นั่นคือล่างจะต้องสั้นกว่าแขนท่อนบน ถ้าเราออกแบบให้แขนท่อนล่างยาวกว่าแขนท่อนบน จะทำให้ประสิทธิภาพการทำงานของแขนกลลดลง

2.5 การแบ่งประเภทของหุ่นยนต์อุตสาหกรรม

เราสามารถแบ่งประเภทของแขนกล โดยพิจารณาจากพื้นฐานใหญ่ๆ ดังนี้

1. โครงสร้างภายนอกและการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์

2. ทางเดินของแขนกลซึ่งขึ้นอยู่กับกรควบคุมการเคลื่อน

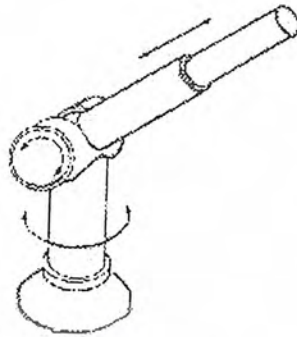
การแบ่งประเภทของหุ่นยนต์อุตสาหกรรม โดยใช้โครงสร้างภายนอกและการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์อุตสาหกรรม มีรูปร่างลักษณะแตกต่างกันไปแล้วแต่ลักษณะการใช้งานโดยยึดความสามารถในการเคลื่อนที่ของมือจะแตกต่างกันไปโดยทั่วไปหากจะจัดแบ่งออกเป็นกลุ่มๆ แล้ว ก็คงแบ่งออกเป็น 4 กลุ่มคือ

1. หุ่นยนต์ที่มีการเคลื่อนไหวได้ในระบบพิกัดขั้ว (polar coordinate configuration)
2. หุ่นยนต์ที่มีการเคลื่อนไหวได้ในระบบพิกัดทรงกระบอก (cylindrical coordinate configuration)
3. หุ่นยนต์ที่มีแขนในลักษณะข้อต่อ (joint arm configuration)
4. หุ่นยนต์ที่มีการเคลื่อนไหวได้ในระบบคาร์ทีเซียน

ลักษณะของหุ่นยนต์ทั้งสี่ชนิดแสดงไว้ในรูปโดยรายละเอียดจะเป็นดังนี้

ก) หุ่นยนต์ที่มีการเคลื่อนไหวได้ในระบบพิกัดขั้ว

ขอบเขตการเคลื่อนไหวของหุ่นยนต์ที่ลักษณะเช่นนี้ อาจเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าอยู่ในระบบพิกัดทรงกลม (spherical coordination configuration) ทั้งนี้เพราะลักษณะบริเวณที่แขนหุ่นยนต์จะกวาดไปได้จะมีลักษณะเป็นรูปวงกลม



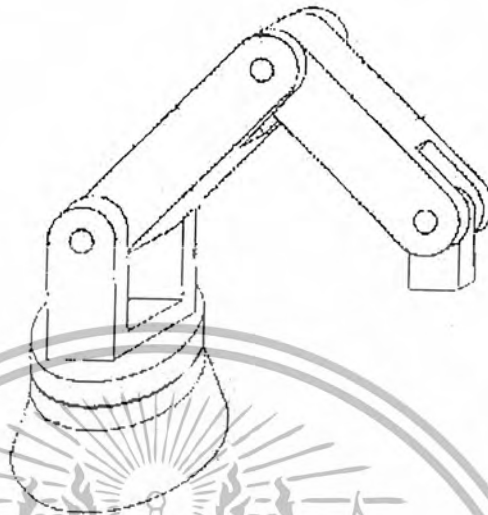
รูปที่ 2.7 เคลื่อนพิกัดเชิงขั้ว

- ข) หุ่นยนต์ที่มีการเคลื่อนไหวได้ในระบบพิกัดเชิงขั้ว
ขอบเขตของหุ่นยนต์ลักษณะนี้มีลักษณะการกวาดแขนเป็นรูปทรงกระบอก



รูปที่ 2.8 แสดงแบบที่มีการเคลื่อนไหวในระบบพิกัดทรงกระบอก

- ค) หุ่นยนต์ที่มีลักษณะแขนเป็นข้อต่อหุ่นยนต์ประเภทนี้ จะเลียนแบบลักษณะแขนของมนุษย์โดยส่วนต่างๆ สามารถยืดหดได้เช่นเดียวกับส่วนไหล่ แขน ข้อศอก และข้อมือ ทำให้การเคลื่อนที่คล่องตัวโดยจะมีรัศมีที่กวาดได้เป็นลักษณะรูปครึ่งวงกลม



รูป 2.9 แสดงแบบการเคลื่อนไหวในลักษณะข้อต่อ

ง) หุ่นยนต์ที่มีการเคลื่อนไหวได้ในระบบคาร์ทีเซียน หุ่นยนต์ประเภทนี้จะเคลื่อนที่ได้ใน 3 แกนหลักคือ แกน x แกน y และแกน z ของระบบพิกัดคาร์ทีเซียน ดังนั้นขอบเขตการกวาดของมือจะเป็นรูปทรงบรีที่เหลี่ยม



รูปที่ 2.10 แสดงแบบของหุ่นยนต์ในระบบพิกัดคาร์ทีเซียน

ทั้งนี้ไม่ว่าจะเป็นหุ่นยนต์ในลักษณะใด งานหลักของหุ่นยนต์ก็คือการจัดการกับเป้าหมาย โดยจะใช้ส่วนที่อยู่ปลายสุดของ แขนเป็นตัวจัดการ ส่วนนี้จะทำให้น้ำค้ำยมือของมนุษย์มีชื่อเรียกเฉพาะว่า end effector ดังนั้นในการนำไปใช้งานจะต้องคำนึงความสามารถของส่วนนี้เป็นหลัก โดยปกติแล้วการเคลื่อนที่ของส่วนมือหรือ end effector นี้จะทำได้ใน 6 ระดับขั้นความเสรี (degree of freedom) ซึ่งจะทำได้ด้วยการทำงานของมือมนุษย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 การแบ่งประเภทของแขนกลโดยอาศัยทางเดินของแขนกล

การควบคุมทางเดินของแขนกลแบ่งเป็น 2 แบบใหญ่ๆ คือ

1. การควบคุมทางเดินของแขนกลแบบจุด (Point-to-point (PTP) control)
2. การควบคุมแบบต่อเนื่อง (Continuous path (CP) control)

การควบคุมแบบจุด แขนกลจะได้รับการตั้งโปรแกรมให้หยุดที่จุดใดจุดหนึ่งและใช้จุดนั้นในการกำหนดจุดที่ต้องให้หยุดจุดต่อไป แม้ว่าอาจจะไม่สามารถควบคุมการเคลื่อนที่ระหว่างจุดให้อยู่ในระหว่างเส้นทางที่ต้องการ แต่การเคลื่อนที่ไปยังจุดที่กำหนดก็ยังคงต้องตามที่กำหนด ในทางตรงกันข้ามที่ควบคุมแบบต่อเนื่อง จะสามารถเคลื่อนที่ตามเส้นทางต่างๆ ได้อย่างถูกต้อง

การควบคุมแบบจุดจะมีความแม่นยำสูงมากทั้งในแง่ความเที่ยงตรง และการทำงานซ้ำๆ แม้ว่าควบคุมแบบต่อเนื่องจะเคลื่อนไหวได้นุ่มนวลมากกว่าในเส้นทางที่ได้ระบุไว้ แต่ก็มีข้อเสียในด้านความเร็ว ซึ่งเป็นฟังก์ชันของจังหวะการเคลื่อนที่ที่คำนวณ โดยคอมพิวเตอร์ในลักษณะเวลาจริง (real time) ข้อเสียนี้จะทำให้ความเร็วของการเคลื่อนที่แบบต่อเนื่องลดลงถึง 15-25 % และประสิทธิภาพการทำงานจะลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับแขนกลตัวเดียวกันที่ควบคุมแบบจุด

2.7 การเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์

การเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์สามารถแบ่งการเคลื่อนที่ออกได้ 2 ส่วนคือ

การเคลื่อนที่ของตัวแขน (body and arm) ซึ่งจะแบ่งตามลักษณะของข้อหมุนได้ ดังนี้คือ

การเคลื่อนที่แบบเส้นตรง (linear)

การเคลื่อนที่แบบหมุนรอบจุดหมุน (Rotational)

การเคลื่อนที่แบบบิดรอบจุดหมุน (Twisting)

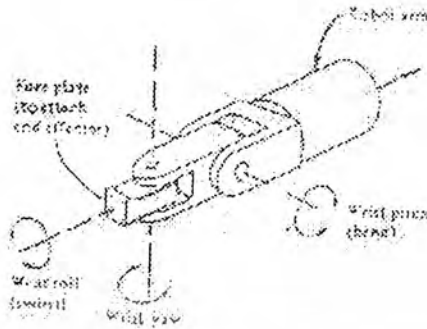
การเคลื่อนที่แบบหมุนตั้งฉาก (Revolving)

การเคลื่อนที่ของมือ

หมุน (Roll) บางครั้งเรียกว่า Swival ข้อมือหมุนรอบแกนของแขน

บิด (Pitch) บางครั้งเรียกว่า Band ข้อมือยกขึ้นลงในแนวตั้ง

ซ้าย (Yaw) หมายถึงบิด ไปมาทางซ้ายและขวาของแกนมือ



รูปที่ 2.11 รูปแสดงการเคลื่อนที่ของมือ

End Effector

End Effector หรือ “มือ” ของหุ่นยนต์นี้เป็นอุปกรณ์ที่หุ่นยนต์ใช้ทำงานจริง (ส่วนแขนนั้นใช้เพื่อเลื่อนตำแหน่ง “มือ” นี้ให้ไปอยู่ในจุดที่ต้องการเท่านั้น) งานที่ส่วนนี้ทำก็มีอาทิเช่น การจับชิ้นส่วน การบักกรีตามจุด การพันสี ฯลฯ ดังนั้นลักษณะของส่วนนี้จึงต่างกันออกไป สุดแต่เจตนาการของผู้ออกแบบ ซึ่งต้องออกแบบให้เหมาะสมกับงาน แต่ถ้าจะมีการแบ่งกันเป็นชนิดแล้ว “End Effector” นี้จะออกได้เป็นสองกลุ่มใหญ่ๆ คือ แบบมือจับ (Gripper) แบบมือที่เป็นอุปกรณ์ (Tool as End Effector)

Gripper

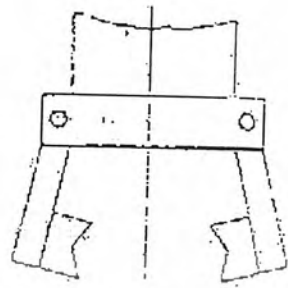
Gripper นี้เป็นอุปกรณ์ใช้จับชิ้นส่วนหรือเครื่องมือ โดยการออกแบบนี้ได้กลายลักษณะทั้งนี้ขึ้นอยู่กับการใช้งาน เช่น

แบบมือคีบ (อาศัยแรงเสียดทานในการจับ) ใช้งานได้กับวัสดุทุกประเภท แต่หากเป็นวัสดุบอบบางอาจต้องมีอุปกรณ์อื่นช่วยเสริม

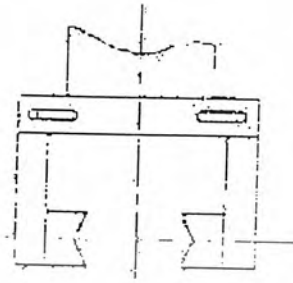
แบบ Suction Cup อาศัยคุณสมบัติการทำให้เกิดสุญญากาศ เป็นตัวดึงชิ้นงานใช้ได้กับวัสดุผิวเรียบเท่านั้น

แบบ ตะขอ (Hook) สำหรับเกี่ยวขงของ เช่นของที่อยู่บนสายพาน ฯลฯ

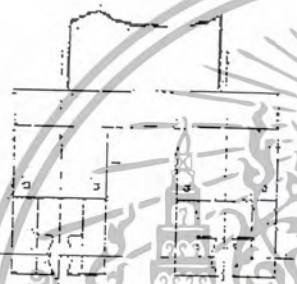
แบบตัก (Scoop) สำหรับการลำเลียงของที่เป็นของเหลวหรือฝุ่นผงตัวอย่าง Gripper แบบต่างๆ แสดงได้ดังรูป



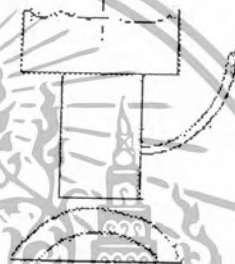
แมงมือซ้าย



IIIU suction cup



แบบดูด



แบบ suction

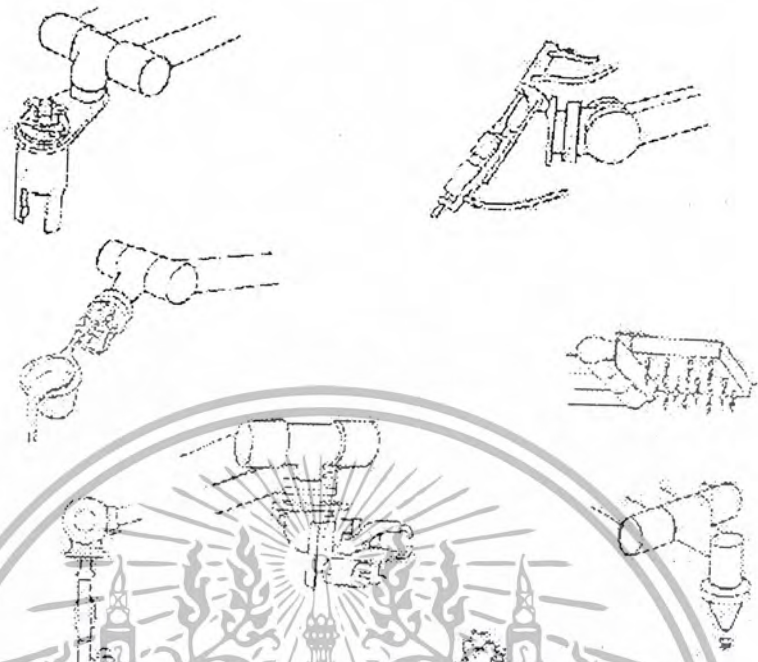
รูปที่ 2.12 รูปแสดงลักษณะของ Gripper แบบต่าง ๆ

มือที่เป็นอุปกรณ์ (Tool as End Effector)

เนื่องจาก Gripper มีข้อจำกัดใช้ได้เฉพาะกับงานหยิบจับวัสดุเท่านั้น แต่การใช้งานของหุ่นยนต์มีขอบเขตกว้างขวาง จึงได้มีการออกแบบอุปกรณ์ใช้งานติดเข้าไปในส่วนปลายหรือส่วนมือนี้เพื่อใช้ในการทำงานโดยอาจจะเป็นอุปกรณ์ที่ติดตายหรืออาจถอดเปลี่ยนได้ ก็แล้วแต่การออกแบบ ตัวอย่างของมือที่เป็นอุปกรณ์นี้มีมากมาย อาทิเช่น

- ตัดอุปกรณ์เชื่อมเฉพาะจุด (Spot Welding Gun)
- ตัดอุปกรณ์พ่นสี (Spray Paint Gun)
- ตัดอุปกรณ์สว่าน (Drilling Sprindle) ฯลฯ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.13 รูปแสดงของมือที่เป็นอุปกรณ์แบบต่างๆ

2.8 การสั่งงานหุ่นยนต์

การสั่งงานให้หุ่นยนต์อุตสาหกรรมทำงานตามที่กำหนดนี้ อาจทำให้ได้หลากหลายลักษณะ คือ

- แบบ Manual
- แบบ Lead Through
- แบบการสั่งงานด้วยโปรแกรม

การสั่งงานแบบ Manual

การสั่งงานแบบนี้เป็นการสั่งงานที่ง่ายที่สุด และใช้กันมากในการสั่งงานให้หุ่นยนต์ทำงานแบบจากจุดหนึ่งไปอีกจุดหนึ่ง (Point - to - Point) โดยวิธีการเป็นการเคลื่อนแกนต่างๆ ไปยัง

ตำแหน่งที่ต้องการ โดยการกดปุ่มบังคับ ดังนั้นลักษณะนี้จึงคล้ายกับการ Sci Up มากกว่าการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรม กล่าวคือ มีการเคลื่อน ไปยังจุดเริ่มต้นแล้วก็กำหนดค่าไว้ จากนั้นก็เคลื่อน ไปยังตำแหน่งต่อไป แล้วกำหนดไว้ ฯลฯ โดยค่าที่กำหนดไว้นี้จะเก็บไว้ในหน่วยความจำเรียกออกมาใช้ได้ภายหลัง

การสั่งงานแบบ Lead through

การสั่งงานแบบนี้คล้ายๆ กับการจับมือหุ่นยนต์ให้เคลื่อนที่ไปตามแนวที่ต้องการ ในลักษณะที่เป็นการเคลื่อนที่แบบต่อเนื่องแล้วจึงเก็บค่าตำแหน่งต่างๆ ที่เคลื่อนที่ไปพร้อมกับความเร็วที่เคลื่อนที่ แต่ในทางปฏิบัติไม่สามารถทำให้ได้ เนื่องจากข้อจำกัดในแง่เทคนิค อาทิเช่น ระบบเกียร์ ฯลฯ ดังนั้นจึงมีผู้คิดค้นอุปกรณ์ซึ่งเลียนแบบแขนหุ่นยนต์โดยสามารถเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งต่างๆ ได้ อุปกรณ์นี้มีชื่อเรียกว่า Robot Simulator ซึ่งพบว่าวิธีนี้เป็นการโปรแกรมโดยตรงวิธีหนึ่ง ซึ่งข้อเสียก็มีอยู่อาทิเช่น ความละเอียดไม่ดี ไม่สามารถกำหนดความเร็วได้ ต้องมีการซื้อ Simulator มาเพิ่มเข้ากับระบบซึ่งเป็นการสิ้นเปลืองและหากการสั่งการเกิดผิดพลาดอาจต้องทำใหม่ทั้งหมด การสั่งงานชนิดนี้ใช้มากในงานด้านพ่นสี ชิ้นส่วนรถยนต์ อุปกรณ์ ฯลฯ

การสั่งงานด้วยโปรแกรม

การสั่งงานให้หุ่นยนต์อุตสาหกรรมการทำงานโดยการเรียกใช้โปรแกรมสั่งงานนี้ จะเป็นการให้ข้อมูลกับหุ่นยนต์เพื่อให้เห็นของหุ่นยนต์เคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งที่ต้องการและทำงานมากมายหลายภาษาโดยโปรแกรมจะถูกเขียนบนเครื่องคอมพิวเตอร์แล้วส่งไปควบคุมหุ่นยนต์อีกต่อหนึ่ง

การประยุกต์การใช้งาน

ในการใช้หุ่นยนต์ช่วยในงานอุตสาหกรรมนี้เนื่องจากราคาค่อนข้างแพง ดังนั้นการพิจารณาตัดสินใจใช้หุ่นยนต์เหล่านี้จึงต้องพิจารณาเฉพาะงานที่จำเป็น เช่น

- งานที่อันตราย หรืองานที่มนุษย์ทำได้ไม่สะดวก เช่น บริเวณที่มีรังสี สารพิษ ฯลฯ
- งานที่ต้องทำซ้ำบ่อยๆ ซึ่งหากมนุษย์ทำอาจผิดพลาดได้ง่ายเพราะ เป็นงานที่น่าเบื่อ
- ใช้ในงานที่ต้องการความสามารถเฉพาะ เช่น งานยกของหนัก งานต้องการความละเอียด ฯลฯ
- ใช้ในงานที่ต้องทำต่อเนื่อง ฯลฯ

โดยลักษณะของงานที่มักจะใช้มากก็อาทิเช่น

- งานหยิบจับชิ้นวัสดุ
- งานเชื่อม ไม่ว่าจะเป็นแบบเชื่อมจุด (Spot welding) หรือ เชื่อมแบบต่อเนื่อง (Arc welding)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- การพันสารซึ่งอาจมีกลิ่น มีเสียงรบกวน เป็นอันตรายต่อสุขภาพ
- การประกอบชิ้นงาน
- งานตรวจเช็ค (Inspection)

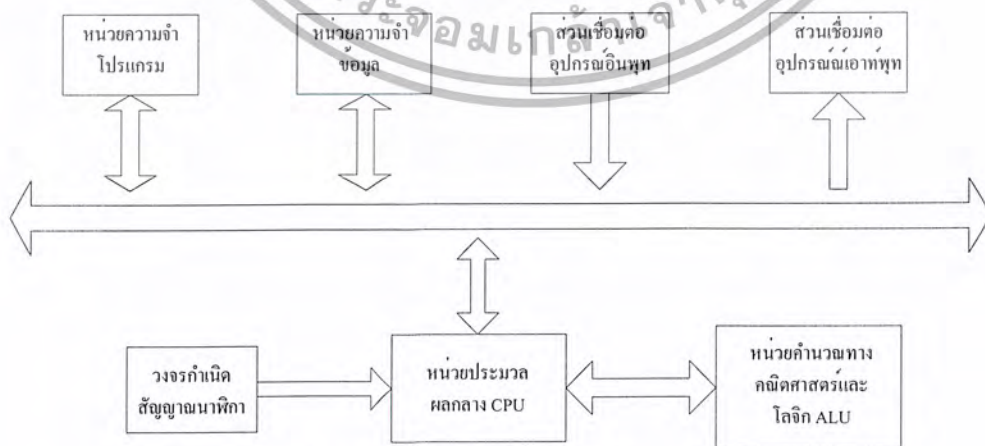
ข้อดีของการใช้หุ่นยนต์ก็มีมากมายอาทิเช่น

- ความปลอดภัย งานที่อันตรายสามารถใช้หุ่นยนต์ทำได้
- ความสม่ำเสมอของงานดี เพราะเมื่อโปรแกรมแล้วก็จะทำให้ตามขั้นตอนด้วยความเร็วที่กำหนด
- ใช้พลังงานน้อยเพราะการใช้หุ่นยนต์อาจไม่ต้องสนใจระบบถ่ายเทอากาศ เครื่องปรับอากาศก็ไม่จำเป็น
- เพิ่มประสิทธิภาพการทำงาน เช่น งานเสร็จเร็วกว่าใช้แรงงานคน
- ใช้วัสดุน้อย เช่น งานพันสี จะทำอย่างคงเส้นคงวา ทำให้ประหยัดสี ฯลฯ

แต่ขอบเขตในการประยุกต์ใช้งานจริงแล้วขึ้นอยู่กับจินตนาการของผู้นำไปใช้งานมากกว่า

2.9 ทฤษฎีเกี่ยวกับไมโครคอนโทรลเลอร์

ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) มาจากคำ 2 คำ คือ ไมโคร (Micro) หมายถึงขนาดเล็ก และคำว่า คอนโทรลเลอร์ (controller) หมายถึงตัวควบคุมหรืออุปกรณ์ควบคุม ดังนั้นไมโครคอนโทรลเลอร์ จึงหมายถึง อุปกรณ์ควบคุมขนาดเล็ก ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นอุปกรณ์ที่รวมเอาซีพียู (CPU) หน่วยความจำ (Memory) และพอร์ต (Port) เข้าไว้ด้วยกัน โดยบรรจุอยู่ภายในตัวถังเดียวกัน ในรูปแสดงส่วนประกอบหลักที่สำคัญของไมโครคอนโทรลเลอร์



รูปที่ 2.14 รูปแสดงโครงสร้างการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์

ไมโครคอนโทรลเลอร์จะสามารถทำงานได้เมื่อจ่ายไฟเลี้ยงและต่อวงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกาให้ จากนั้นซีพียูภายในไมโครคอนโทรลเลอร์จะติดต่อกับหน่วยความจำโปรแกรมเพื่ออ่านข้อมูลคำสั่งแล้วทำงานตามคำสั่งที่บรรจุอยู่ในหน่วยความจำโปรแกรม นั้นหมายความว่าต้องมีการเขียนข้อมูลลงในหน่วยความจำก่อน โดยไมโครคอนโทรลเลอร์แต่ละเบอร์จะมีรูปแบบของข้อมูลคำสั่งที่แตกต่างกัน ภาษาที่ใช้ในการเขียนโปรแกรมสามารถแบ่งได้ 2 ระดับคือ ภาษาสูง (High language) และภาษาแอสเซมบลี (Assembly language) โดยปกติไมโครคอนโทรลเลอร์ต้องการโปรแกรมที่เขียนด้วยภาษาแอสเซมบลีเนื่องจากสามารถทำงานได้รวดเร็วผ่านกระบวนการแปลง

2.10 การแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นสัญญาณอนาล็อก

จากอุปกรณ์แปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นอนาล็อก (D/A converter) ในรูปที่ 2.13 สมมติว่าเราต้องการเปลี่ยนเลขฐานสองจากหน่วยประมวลผลเป็นเอาต์พุตที่อยู่ในรูปของโวลต์ในช่วง 0-3 V โดยการใช้ Decoder ในตอนแรกต้องสร้างตารางความจริง แสดงทุกๆ เหตุการณ์ที่เป็นไปได้ ตารางที่ 2.1 แสดงอินพุต 4 บิต (A,B,C,D) ของ D/A converter เป็นเลขฐานสองโดยเลข 1 แสดงช่วงความต่างศักย์ 3-5 V และเลข 0 แสดงความต่างศักย์ 0 V เอาต์พุตที่ได้ออกมาในรูปความต่างศักย์แสดงทางด้านขวาสุดของตารางที่ 2.1 ถ้าอินพุตมีค่า 0010 เอาต์พุตจะมีค่า 0.4 V สังเกตว่าในแต่ละแถว ถัดลงมาของอินพุตเลขฐานสองค่าเอาต์พุตแบบอนาล็อกจะมีค่าเพิ่มขึ้นทีละ 2 V

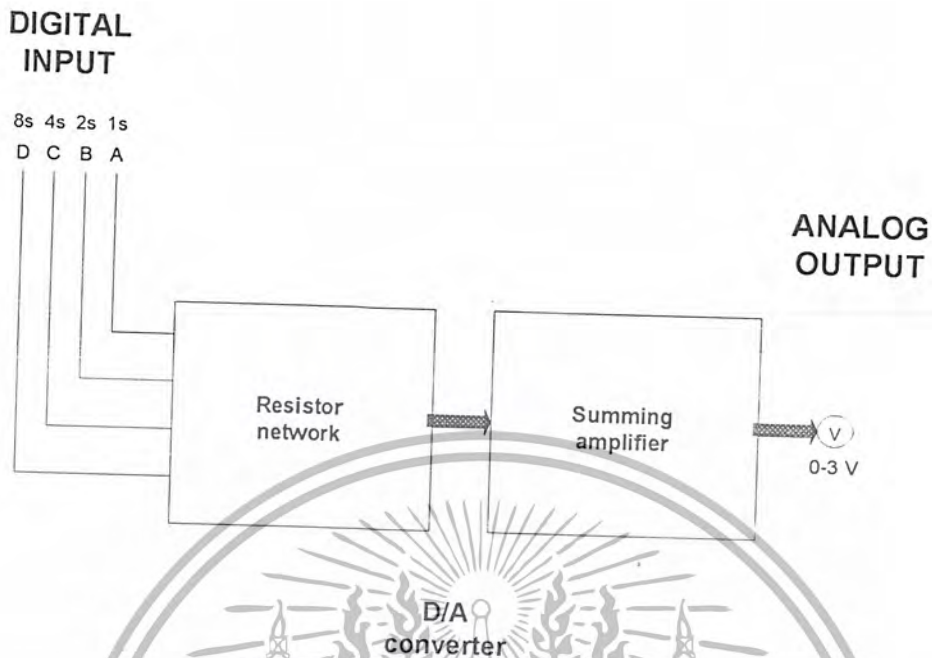
ในรูปที่ 2.13 แสดงแผนภาพของ D/A converter สัญญาณอินพุตแบบดิจิตอล อยู่ด้านซ้ายสุดของแผนภาพและ Decoder แบ่งเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนตัวต้านทาน (resistor network) และส่วนวงจรขยายแบบบวก สัญญาณเอาต์พุตแสดงได้ดังรูปของความต่างศักย์ที่อ่านได้จากโวลต์มิเตอร์ซึ่งอยู่ทางด้านขวาของแผนภาพ

ตารางที่ 2.1แสดงตารางค่าความจริงสำหรับ D/A Converter

	DIGITAL INPUT				ANALOG OUTPUT
	D	C	B	A	VOLTS
row1	0	0	0	0	0
row2	0	0	0	1	0.2
row3	0	0	1	0	0.4
row4	0	0	1	1	0.6
row5	0	1	0	0	0.8
row6	0	1	0	1	1
row7	0	1	1	0	1.2
row8	0	1	1	1	1.4
row9	1	0	0	0	1.6
row10	1	0	0	1	1.8
row11	1	0	1	0	2
row12	1	0	1	1	2.2
row13	1	1	0	1	2.6
row14	1	1	0	1	2.6
row15	1	1	1	0	2.8
row16	1	1	1	1	3

พิจารณาตัวต้านทานในรูปที่ 13.2 อินพุท B จะเป็น 1 เมื่อมีค่า 2 เท่าของค่า 1 ที่อินพุท A และอินพุท C จะเป็น 1 เมื่อมีค่าเป็น 4 เท่าของค่า 1 ที่อินพุท A การจัดระบบต่าง ๆ ของตัวต้านทานเหล่านี้ที่ใช้ในการแปลงระดับความต่างศักย์ต่าง ๆ วงจรในส่วนนี้เรียกว่าโครงข่ายตัวต้านทานขั้นบันได resistive ladder networks

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



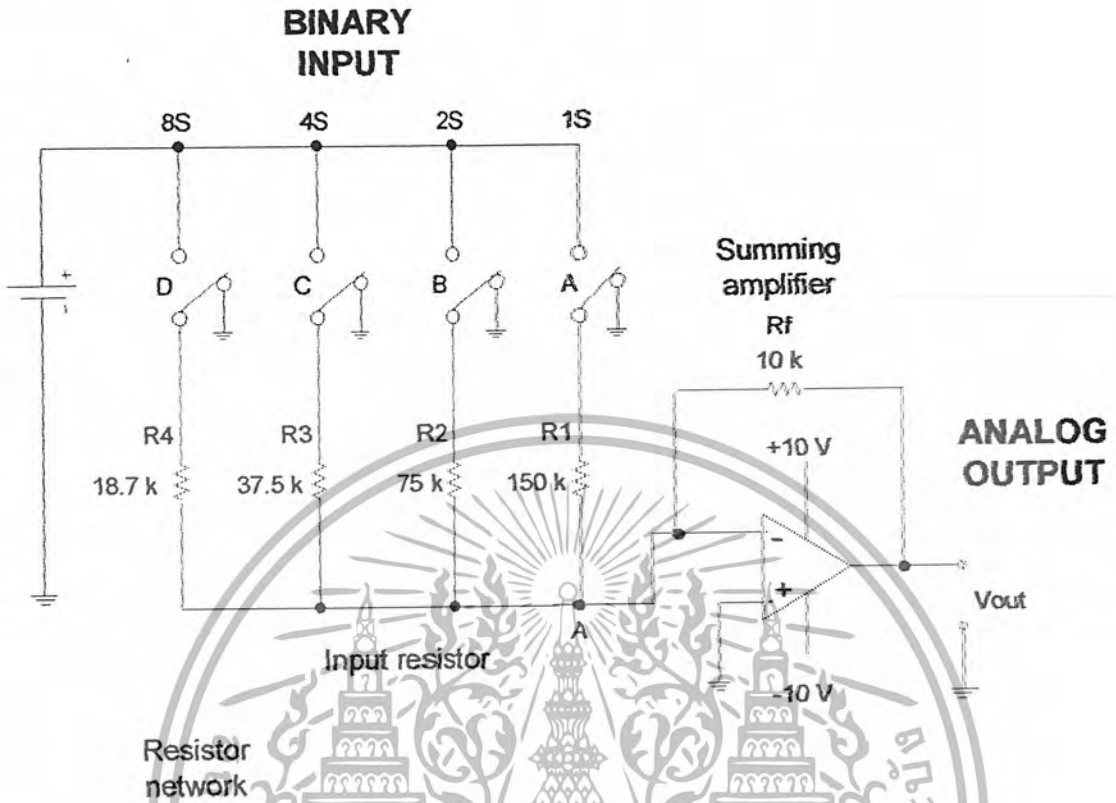
รูปที่ 2.15 โค้ดแอมป์ของ D/A Converter

พิจารณาส่วนที่เป็นวงจรขยายแบบบวกในรูปที่ 2.14 ซึ่งจะนำความต่างศักย์ของตัวต้านทานมาขยายค่าให้ได้ความต่างศักย์ที่เหมาะสม ดังแสดงทางขวาสุดของตารางที่ 2.1 โดยทั่วไปส่วนนี้มักใช้ไอซีออปแอมป์ (operational amplifier) วงจรในส่วนนี้เรียกว่า scaling amplifier

สรุปแล้ว D/A converter จะประกอบด้วยสองส่วนใหญ่ ๆ คือ กลุ่มของตัวต้านทานที่ทำงานในระบบ resistive ladder และออปแอมป์ซึ่งใช้เป็นวงจรขยายแบบบวก

พื้นฐานแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นอนาล็อก

อุปกรณ์แปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณอนาล็อกอย่างง่าย ๆ แสดงได้ดังรูปที่ 2.15 ซึ่งประกอบด้วย 2 ส่วน โดยมีส่วนที่เป็นตัวต้านทานอยู่ทางด้านซ้ายมือ ประกอบด้วย R_1 , R_2 , R_3 อีกส่วนหนึ่งเป็นส่วนขยายอยู่ทางด้านขวาของรูป ประกอบไปด้วยออปแอมป์ และตัวต้านทานป้อนกลับ ความต่างศักย์อินพุต 3 โวลต์ ป้อนเข้าทางสวิตช์ D, C, B และ A ความต่างศักย์เอาต์พุตจะรู้ได้จากโวลต์มิเตอร์ จากวงจรจะสังเกตว่า ตัวออปแอมป์ต้องการไฟเลี้ยงที่มีทั้งบวกและลบ จากรูปจะใช้ไฟ +10 V และ -10 V



รูปที่ 2.16 แผนภาพแสดงชนิดของส่วนที่เป็นตัวต้านทาน

ถ้าสวิตช์ทุกตัวคือลงกราวด์ ดังรูปที่ 2.15 ความต่างศักย์อินพุตที่จุด A นี้ค่าเป็น 0 V และความต่างศักย์เอาต์พุตมีค่าเป็น 0 V แสดงไว้ดังแถวที่ 1 ของตารางที่ 2.1

สมมติเราย้ายสวิตช์ A ไปที่ตำแหน่ง 1 ในรูปที่ 2.15 ความต่างศักย์อินพุตมีค่าเป็น 3 โวลต์ จะถูกป้อนเข้าออปแอมป์ทำให้เกิดอัตราขยายความต่างศักย์เนื่องจากความต่างศักย์ของค่าความต้านทานป้อนกลับ (10 K) และความต้านทานอินพุต (150 K) โดยความต่างศักย์เอาต์พุตของวงจรนี้คือ อัตราขยายคูณกับความต่างศักย์อินพุต

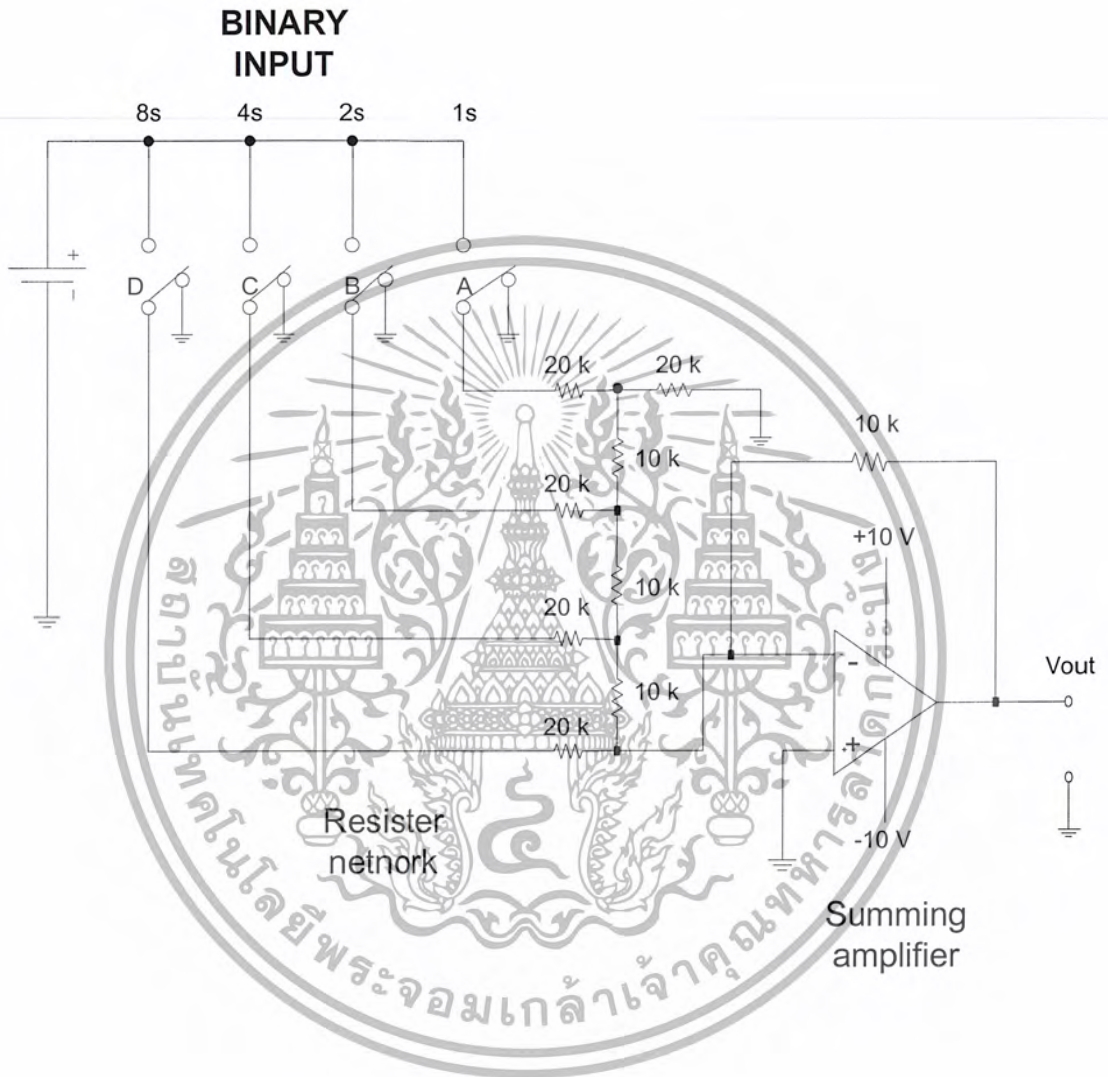
อุปกรณ์แปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นอนาลอกชนิด LADDER

วงจร D/A convertor ประกอบด้วย 2 ส่วนคือ ส่วนตัวต้านทาน และส่วนขยาย รูปที่ 2.16 เป็นแผนภาพแสดงชนิดของส่วนที่เป็นตัวต้านทาน (resistive network) ซึ่งค่าความต่างศักย์เอาต์พุตออกมามีค่าเหมาะสมตามสัญญาณอินพุตที่เป็นเลขฐานสอง

ระบบตัวต้านทานชนิดนี้มักเรียกว่า R-2R ladder มีลักษณะพิเศษคือใช้ค่าความต้านทาน 2 ค่าเท่านั้นโดยตัวต้านทาน R1,R2,R3 และ R4 มีค่าตัวละ 20 K และตัวต้านทาน R6 ,R7 , R8 และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

R_f มีค่าตัวละ 10 K สังเกตว่าตัวต้านทานที่เรียงกันเป็นแนวอนทุกตัว จะมีค่าเป็น 2 เท่าของตัวต้านทานที่เรียงกันเป็นแนวตั้งซึ่งเป็นที่มาของชื่อว่า ระบบ R-2R ladder



รูปที่ 2.17

การทำงานของ D/A converter ชนิดนี้มีพื้นฐานเช่นเดียวกับตอนที่แล้ว ตารางที่ 2.2 แสดงการทำงานของ D/A converter ชนิดนี้สังเกตได้ที่เราใช้ความต่างศักย์อินพุต 3.15 โวลต์และสัญญาณเอาต์พุตที่ออกมาจะเพิ่มขึ้นทีละ 0.25 โวลต์เมื่อเพิ่มค่าอินพุตเลขฐานสองไปเรื่อย ๆ ดังแสดงทางคอลัมภ์ขวาสุดของตารางที่ 2.2 ข้อควรจำคือ เลขศูนย์ในอินพุตเลขฐานสองแต่ละตัวนั้นหมายถึงการป้อนความต่างศักย์ศูนย์โวลต์ หรือลอจิก “0” เข้าที่อินพุตนั้น และเลข “1” หมายถึงการป้อนความต่างศักย์ 3.75 โวลต์หรือลอจิก “1” เข้าทางอินพุตนั้นๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 ตารางแสดงค่าความจริงสำหรับ D/A Converter

Binary Input				Analog Output
8s	4s	2s	1s	Volts
D	C	B	A	
0	0	0	0	0
0	0	0	1	0.25
0	0	1	0	0.5
0	0	1	1	0.75
0	1	0	0	1
0	1	0	1	1.25
0	1	1	0	1.5
0	1	1	1	1.75
1	0	0	0	2
1	0	0	1	2.25
1	0	1	0	2.5
1	0	1	1	2.75
1	1	0	0	3
1	1	0	1	3.25
1	1	1	0	3.5
1	1	1	1	3.75

เหตุที่ใช้ความต่างศักย์อินพุท 3.75 โวลต์ เนื่องจากมีค่าใกล้เคียงกับความต่างศักย์ต่ำสุดของเอาต์พุทของไอซี TTL โดยส่วนอินพุทในรูป 2.16 จะต่อโดยตรงกับเอาต์พุทของไอซี TTL เมื่อเป็นลอจิก 1 และจะทำงานสอดคล้องกับตารางที่ 2.2 ในทางปฏิบัติแล้วเอาต์พุทของไอซี TTL มีค่าไม่เท่ากับ 3.75 โวลต์เลยทีเดียว เราอาจใช้ทรานซิสเตอร์ช่วยแปลงสัญญาณให้ได้ค่าความต่างศักย์เอาต์พุทที่แน่นอนยิ่งขึ้น

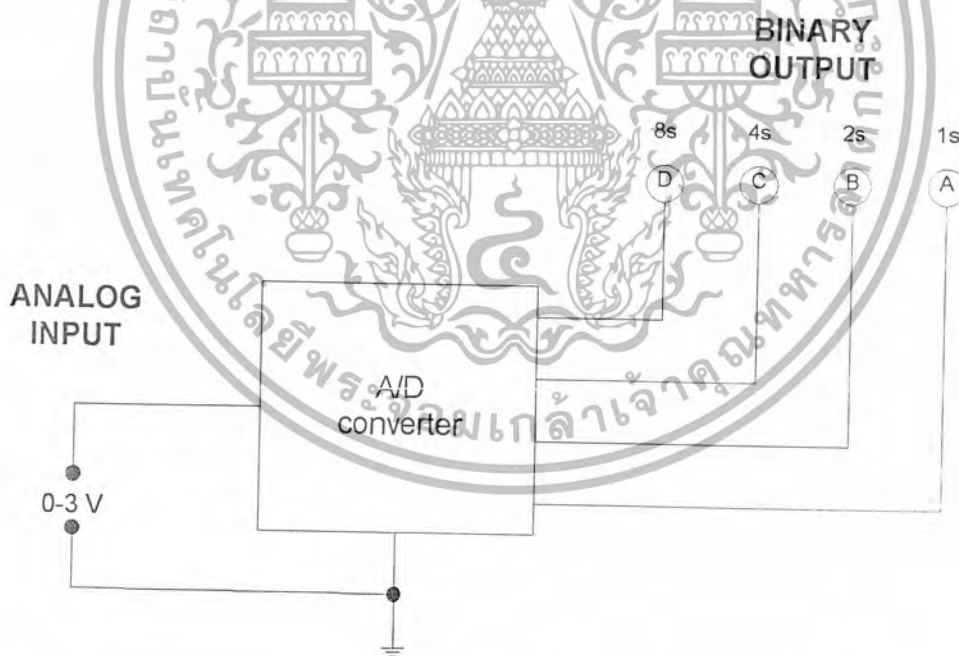
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับเลขฐานสองหลักอื่น ๆ (16s, 32s, 64s และอื่นๆ) สามารถเพิ่มเข้าไปในวงจร D/A converter ในรูป 13.6 ได้โดยรูปแบบของตัวต้านทานจะคล้ายกับในแผนภาพ 13.6 เพียงเพิ่มตำแหน่งเข้าไปเท่านั้น

ดีโคเดอร์ ทั้งสองชนิดที่กล่าวมาเรียกรวมว่า อุปกรณ์แปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณอนาล็อก (D/A converter) โดยโครงสร้างของ D/A converter ก็คือจะต้องมีส่วนตัวต้านทานและส่วนขยาย (resistive network and summing amplifier) ประกอบกัน

2.11 อุปกรณ์แปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล

ตัวอย่างของอุปกรณ์ที่แปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล (A/D converter) คือ encoder ชนิดพิเศษ โดยแสดงได้ดังรูปที่ 2.17 ส่วนอินพุตมีค่าความต่างศักย์เข้ามาทางอินพุตเดียว และสามารถเปลี่ยนความต่างศักย์ได้ จากรูปที่ 2.17 ความต่างศักย์อินพุตจะเปลี่ยนค่าในช่วง 0-3 โวลต์ สัญญาณเอาต์พุตของ A/D converter จะเป็นเลขฐานสองขนาด 4 บิต



รูปที่ 2.18

จากตารางความจริงที่ 3 แถวที่ 1 แสดงอินพุตของ A/D converter เท่ากับ 0 V เอาต์พุตคือเลขฐานสอง 0000 แถวที่ 2 แสดงอินพุตของ A/D converter เป็น 0.2 V และเอาต์พุตที่ได้คือ 0001 สังเกตได้ว่าเมื่อเพิ่มค่าความต่างศักย์ทีละ 0.2 V เอาต์พุตที่ได้จะเป็นเลขฐานสองที่เพิ่มค่าทีละหนึ่ง และสุดท้ายในแถวที่ 16 แสดงอินพุตสูงสุด 3 V จะได้เอาต์พุตเลขฐานสองเป็น 1111 เห็นได้ว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางความจริงของ A/D converter (ตารางที่ 3) จะมีค่าอินพุตและเอาต์พุตสลับกันกับตารางความจริงของ D/A converter (ตารางที่ 1)

ตารางความจริงของ A/D converter จะดูไม่ซับซ้อนเท่าไร แต่วงจรอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งสร้างจากข้อมูลตามตารางความจริงนั้นมีความซับซ้อนมากกว่า ในรูปที่ 2.18 แสดง A/D converter ชนิดหนึ่ง มีตัวเปรียบเทียบความต่างศักย์ AND เกต ตัวนับแบบ BCD และ D/A converter ซึ่งเราได้เรียนรู้มาแล้ว ยกเว้นตัวเปรียบเทียบความต่างศักย์ ซึ่งจะได้กล่าวต่อไป

ความต่างศักย์อินพุตแบบอนาลอกจะถูกป้อนเข้าตัวเปรียบเทียบความต่างศักย์ ทางด้านซ้ายมือของรูปที่ 2.18 ตัวเปรียบเทียบความต่างศักย์จะเปรียบเทียบกับค่านี้ (อินพุต A) กับความต่างศักย์จาก D/A converter (อินพุต B) โดยถ้าค่าที่ อินพุต A มีค่ามากกว่าที่อินพุต B จะมีสัญญาณไปกระตุ้นขา CLK ของตัวนับแบบ BCD ให้ทำการนับจนกระทั่งความต่างศักย์ย้อนกลับจาก D/A converter มีค่ามากกว่าความต่างศักย์อินพุตแบบอนาลอก (อินพุต B มากกว่าอินพุต A) ตัวเปรียบเทียบจะส่งสัญญาณไปหยุดการนับ สมมติว่าความต่างศักย์อินพุตแบบอนาลอกมีค่า 2 V วงจรนับจะนับเพิ่มไปเรื่อย ๆ จนกระทั่งถึง 1010 แล้วจึงหยุดนับ ซึ่งสอดคล้องกับตารางที่ 2.3 หลังจากวงจรนับหยุดนับแล้ว จะรีเซ็ตค่าเป็นเลขฐานสอง 0000 และจะเริ่มนับอีกครั้ง

ตารางที่ 2.3 ตารางค่าความจริงสำหรับ A/D Converter

	Analog Input	Binary Output			
		8s	4s	2s	1s
	Volts	D	C	B	A
Row1	0	0	0	0	0
Row2	0.2	0	0	0	1
Row3	0.4	0	0	1	0
Row4	0.6	0	0	1	1
Row5	0.8	0	1	0	0
Row6	1	0	1	0	1
Row7	1.2	0	1	1	0
Row8	1.4	0	1	1	1
Row9	1.6	1	0	0	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Row10	1.8	1	0	0	1
Row11	2	1	0	1	0
Row12	2.2	1	0	1	1
Row13	2.4	1	1	0	0
Row14	2.6	1	1	0	1
Row15	2.8	1	1	1	0
Row16	3	1	1	1	1

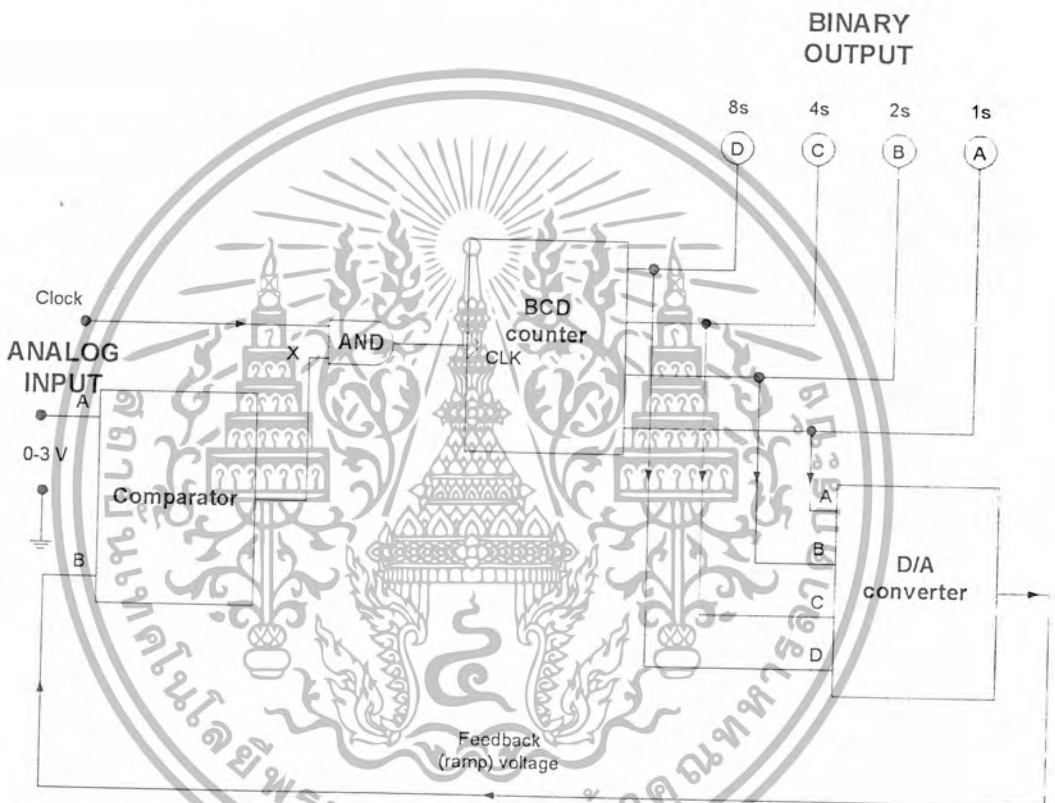
พิจารณาในรายละเอียดของ A/D converter ในรูปที่ 2.18 สมมติว่าจุด X ซึ่งเป็นเอาต์พุตของตัวเปรียบเทียบความต่างศักย์ มีค่าเป็น 1 ที่ BCD counter มีค่าเป็น 0000 และสัญญาณอินพุตคือ 0.55 V ค่า 1 ที่จุด X จะกระตุ้น AND เกิดให้ป้อนสัญญาณเวลาเข้าที่ขา CLK ของส่วนอินพุตของ BCD counter วงจรนี้จะนับเพิ่มขึ้นเป็น 0001 ซึ่งจะแสดงค่าเลขฐานสองขึ้นที่ด้านบนของรูปที่ 2.18 ในขณะที่เดียวกัน ค่าของ 0001 ก็จะถูกป้อนกลับไป D/A converter ด้วย จากตารางที่ 2.1 เลขฐานสอง 0001 ทำให้เกิดความต่างศักย์ 0.2 V ที่เอาต์พุตของ D/A converter ความต่างศักย์ 0.2 V จะถูกป้อนกลับไปอินพุต B ของตัวเปรียบเทียบความต่างศักย์ ซึ่งจะเปรียบเทียบค่าความต่างศักย์ของอินพุตทั้งสอง โดยในขณะที่อินพุต A มีค่ามากกว่า อินพุต B ดังนั้น ส่วน output ของตัวเปรียบเทียบแรงดันเป็น 1 ซึ่งจะไปกระตุ้น AND เกิดให้ป้อนสัญญาณนาฬิกาเข้าที่วงจรรับอีก วงจรรับจะนับเพิ่มขึ้นอีก 1 ครั้งทำให้ได้ค่า 0010 แสดงค่าทางด้านบนขวาของรูปและป้อนกลับเข้า A/D converter ในขณะเดียวกันด้วย จากตารางที่ 2.1 อินพุต 0010 ทำให้ได้สัญญาณเอาต์พุต 0.4 V ป้อนเข้าที่อินพุต B ของตัวเปรียบเทียบอีกครั้งหนึ่ง ในขณะที่อินพุต A ยังคงมีค่ามากกว่าอินพุต B ทำให้เอาต์พุตของตัวเปรียบเทียบความต่างศักย์มีค่าเป็น 1 ตัว AND เกิดจะถูกกระตุ้นทำให้สัญญาณนาฬิกาเข้าสู่วงจรรับอีก วงจรรับจะนับเพิ่มเป็น 0011 ซึ่งค่านี้จะถูกป้อนกลับไป D/A converter จากตารางที่ 2.1 สัญญาณอินพุต 0011 ทำให้ได้ค่าเอาต์พุต 0.6 V ป้อนเข้าที่อินพุต B ของตัวเปรียบเทียบแรงดันอีกครั้ง ตัวเปรียบเทียบค่าจะเปรียบเทียบค่าซึ่งได้จากเอาต์พุตของตัวเปรียบเทียบเป็นศูนย์ (อินพุต B มากกว่าอินพุต A) ไม่สามารถไปกระตุ้น AND เกิดได้จึงไม่มีสัญญาณนาฬิกาเข้าสู่วงจรรับอีก วงจรรับจะหยุดนับที่เลขฐานสอง 0011 ดังนั้นเลขฐานสอง 0011 จึงมีค่าเท่ากับ 0.55 V ซึ่งสอดคล้องกับแถวที่ 4

ถ้าความต่างศักย์อินพุตคือ 1.2 V ค่าเอาต์พุตเลขฐานสองจะเป็น 0110 ดังตารางความจริงที่ 2.3 โดยวงจรรับจะนับเลขฐานสอง 0000 จนกระทั่ง 0110 แล้วจึงหยุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะเห็นได้ว่าต้องใช้เวลาในการแปลงสัญญาณจากอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัลพอสมควร แต่อย่างไรก็ตาม โดยส่วนใหญ่สัญญาณนาฬิกาจะเร็วมาก จนกระทั่งไม่เป็นปัญหาต่อการใช้งาน

สาเหตุที่ต้องศึกษาเกี่ยวกับวงจร D/A converter ก่อนวงจร A/D converter เนื่องจาก วงจร A/D converter ชนิด counter-ramp นี้มีความซับซ้อนในการทำงานและต้องใช้วงจร D/A converter ซึ่งจะถูกป้อนเข้าที่ตัวเปรียบเทียบความต่างศักย์ เมื่อวาดกราฟความต่างศักย์ที่เข้าสู่ตัวเปรียบเทียบที่ อินพุต B จะได้กราฟรูปฟันปลา (Sawtooth Waveform) หรือ ramp นั้นเอง



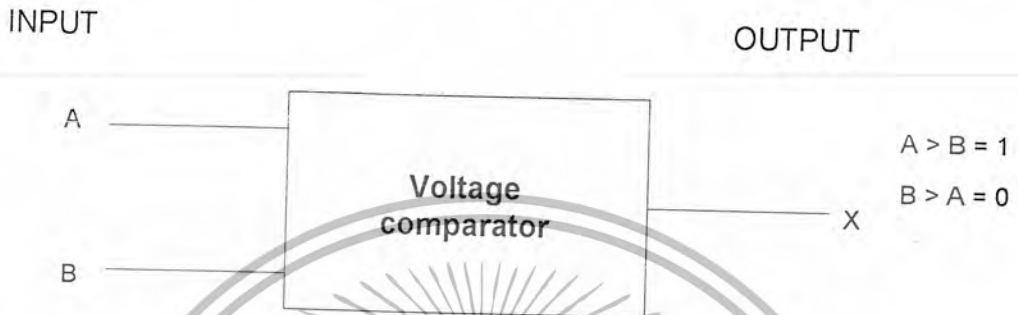
รูปที่ 2.19 แสดงไดอะแกรมของ counter-ramp-type A/D Converter

ตัวเปรียบเทียบความต่างศักย์ (Voltage Comparators)

ในหัวข้อที่ผ่านมาเราได้ใช้อุปกรณ์เปรียบเทียบความต่างศักย์ ซึ่งจะเปรียบเทียบความต่างศักย์ 2 ค่า และแสดงผลว่าค่าใดมากกว่า รูปที่ 2.19 เป็นแผนภาพของอุปกรณ์ชนิดนี้อย่างง่าย ๆ โดยถ้าความต่างศักย์ที่อินพุต A มีค่ามากกว่าอินพุต B ตัวเปรียบเทียบแรงดันจะมีเอาต์พุตเป็น 1 และถ้าความต่างศักย์ที่อินพุต A มีค่าน้อยกว่าอินพุต B เอาต์พุตที่ได้จะเป็น 0 หรือเขียนได้ว่า $A > B = 1$ และ $B > A = 0$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวใจสำคัญของตัวเปรียบเทียบนี้คือ ออปแอมป์ ในรูปที่ 2.10 a) แสดงวงจรของตัวเปรียบเทียบ (comparator) สังเกตว่าอินพุต A มีค่า 1.5 V และอินพุต B มีค่า 0 V จะได้เอาต์พุตออกมา 3.5 V หรือ 1 ในระบบดิจิทัล



รูปที่ 2.20 แสดงแบบภาพแสดงตัวเปรียบเทียบความต่างศักย์

ตัวเปรียบเทียบใน A/D Converter ดังรูปที่ 13.8 มีลักษณะการทำงานเหมือนกับตัวอย่างเหล่านี้ ซีเนอร์ไดโอดในรูปที่ 13.10 ทำหน้าที่ลดความต่างศักย์อินพุตและเอาต์พุตให้มีค่าประมาณ +3.5 และ 0 V จากตารางความแฉ้วเป็น +9 V และ -9 V เพื่อให้ทำงานสอดคล้องกับไอซี TTL ซึ่งอาจจะต้องมีเพิ่มขึ้นในวงจร

2.12 คุณสมบัติของ A/D converter

โรงงานผู้ผลิต converter ได้ทำการผลิต A/D converter ออกมาให้เลือกใช้กันมากมายหลายชนิด จากการสำรวจล่าสุดพบว่า มี A/D converter กว่า 300 ชนิด จากผู้ผลิตหลายแห่งด้วยกัน

ชนิดของเอาต์พุต

โดยทั่วไปแล้ว A/D converter จะถูกแบ่งเป็นชนิดที่ให้เอาต์พุตออกมาเป็นเลขฐานสิบ และเป็นเลขฐานสอง converter ที่ทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัลที่มีเอาต์พุตเป็นเลขฐานสิบ มักจะถูกใช้เป็นตัววัดและถูกใช้ใน digital panel meter และ DMM คอนเวอร์เตอร์ที่เปลี่ยนสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัลเป็นเลขฐานสองจะมีจำนวนเอาต์พุตตั้งแต่ 16 เอาต์พุต ตัวแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัลที่มีเอาต์พุตเป็นเลขฐานสอง จะเป็นอุปกรณ์อินพุตชนิดหนึ่ง ในระบบที่มีไมโครโปรเซสเซอร์เป็นฐานในการควบคุม (microprocessor-based) เรียกว่า A/D converter แบบ ไมโครพิพิทท์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความละเอียด (resolution)

ผลที่ได้จากการทำงานของ A/D converter เป็นตัวเลขฐานสอง เอาต์พุตที่ออกมาจึงเป็นเลขแบบหลายบิต สำหรับแบบที่ให้เอาต์พุตออกมาเป็นเลขฐานสิบ (ใช้ใน DMM) ผลที่ได้เป็นตัวเลขในฐานสิบ โดยทั่วไปแล้ว A/D converter ที่มีเอาต์พุตเป็นเลขฐานสองจะมีจำนวนบิต เป็น 4,6,8,10,12,14 และ 16 บิต อาจมีการ error เกิดขึ้นบ้างเล็กน้อย เนื่องจากการใช้ discrete binary step เพื่อแทนสัญญาณอนาลอกที่มีความต่อเนื่องกันเรียกว่า quantizing error

A/D converter ขนาด 16 บิต มีความถูกต้องละเอียดแม่นยำมากกว่าแบบ 4 บิต เพราะว่ามันแบ่งอินพุตหรืออ้างอิงโวลต์เดจเป็น discrete step ที่เล็ก ๆ ตัวอย่างเช่น แต่ละ step ใน A/D converter แบบ 4 บิต จะต้องเป็น หนึ่งในสิบห้า ของอินพุตโวลต์เดจ ผลที่ออกมาคือ 6.7 %

อย่างไรก็ตามในกรณีของ A/D converter แบบ 8 บิต ควรจะมี discrete step เป็นจำนวน 255 ซึ่งเท่ากับ 0.39 % ซึ่ง A/D converter แบบ 8 บิต มีความละเอียดแม่นยำกว่าชนิด 4 บิต

ความแม่นยำ (accuracy)

ผลจากการทำงานของ A/D converter อาจมีข้อผิดพลาดทางตัวเลขอื่นเนื่องจาก discrete step ที่พบที่เอาต์พุตของ ไอซี ซึ่ง A/D converter ทุกตัวมีความผิดพลาดอื่นนี้อยู่

นอกจากนั้นความผิดพลาดที่เกิดขึ้นใน A/D converter อีกอย่างหนึ่งก็คือ analog component เช่นวงจรเปรียบเทียบและความผิดพลาดอื่น ๆ อันเนื่องมาจากโครงข่ายวงจรของตัวต้านทาน ความละเอียดแม่นยำของ A/D converter เรียกว่า accuracy ของ ไอซี A/D converter

เวลาการแปลงผัน (conversion time)

conversion time เป็นรายละเอียดเฉพาะของ A/D converter อันหนึ่งที่สำคัญซึ่งเป็นเวลาที่ A/D converter ใช้ในการให้ไอซี เปลี่ยนค่าอนาลอกทางอินพุต ให้เป็นข้อมูลเอาต์พุตเลขฐานสอง (หรือเลขฐานสิบ) โดยทั่วไปแล้ว conversion time ของ A/D converter ที่มีเอาต์พุตเป็นเลขฐานสิบ มักอยู่ในช่วง 200 ถึง 400 ms ส่วน A/D converter ที่มีเอาต์พุตเป็นเลขฐานสอง มักมีค่า conversion time อยู่ระหว่าง 0.05 ถึง 100,000 ไมโครวินาที

รายละเอียดเฉพาะอื่น ๆ

ลักษณะเฉพาะอื่น ๆ โดยทั่วไปนอกเหนือจากที่กล่าวมาแล้วของ A/D converter คือค่าแรงดันจากแหล่งจ่ายไฟมักมีค่าประมาณ +5 V อย่างไรก็ตาม A/D converter บางตัวก็ทำงานที่ค่าโวลต์เดจ +5 ถึง +15 โวลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

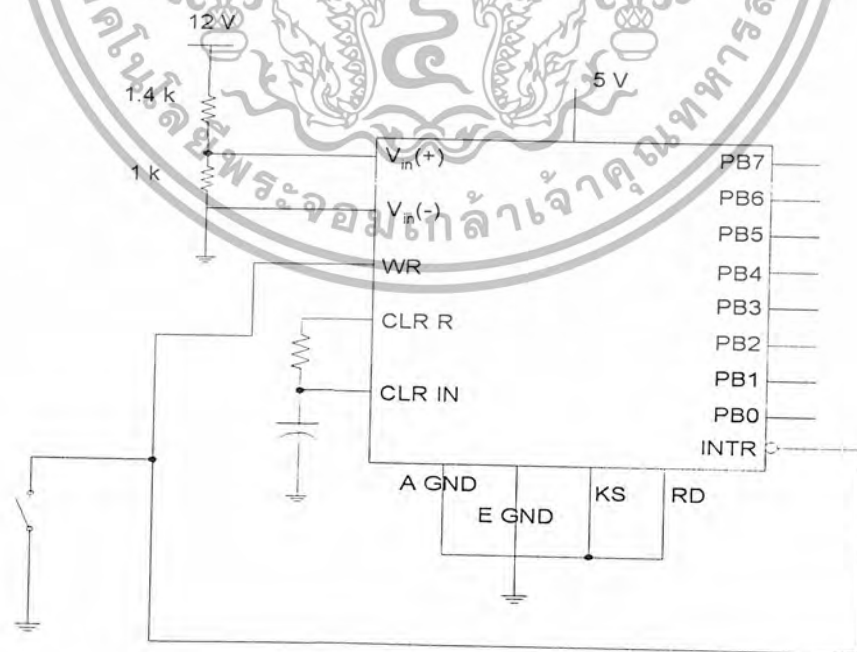
ระดับแรงดันทางเอาต์พุตเป็นทั้งแบบ TTL CMOS หรือ tristate (สามสถานะ) ช้องกว้างของอินพุตโวลต์เดจมักเป็น 5 โวลต์ ค่าการสูญเสียกำลังสูงสุดของ A/D converter มักมีค่าอยู่ระหว่าง 15 ถึง 3000 mW

2.13 ไอซี A/D converter

ในหัวข้อนี้เราจะกล่าวถึงไอซี A/D converter ที่ชื้อขายกันโดยทั่วไป A/D converter เบอร์ ADC 0804 ถูกออกแบบมาให้สามารถเชื่อมต่อโดยตรงกับไมโครโปรเซสเซอร์หลาย ๆ เบอร์ บางขาของไอซี ADC 0804 อาจเหมือนกับขาของไมโครโปรเซสเซอร์ที่เราใช้งานกันทั่วไป โดยไอซีสามารถเชื่อมต่อกับไมโครโปรเซสเซอร์แบบ 8 บิต ที่นิยมใช้กันทั่วไปชนิดอื่น ๆ ได้อีกด้วย

ADC 0804 เป็น successive-approximation A/D converter แบบ 8 บิต CMOS มีเอาต์พุตสามสถานะ (Three state output) ดังนั้นจึงสามารถที่จะเชื่อมต่อเข้าโดยตรงกับระบบ microconprocessor - base system ทาง data bus ได้ (มีข้อมูลในระบบไมโครโปรเซสเซอร์

ADC 0804 มีเอาต์พุตเลขฐานสองและมี converter time เพียง 100 μ S เท่านั้น อินพุตและเอาต์พุตของมันเหมือนกัน ได้ทั้ง MOS และ TTL มีตัวกำหนด Clock รวมอยู่ในชิพสำเร็จรูปอยู่แล้ว โดยจะต้องต่ออุปกรณ์ภายนอก (ตัวต้านทาน, ตัวเก็บประจุ) เพิ่มเติมเพื่อให้ทำงานได้



รูปที่ 2.21 การทดสอบไอซี 0804

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไอซี ADC 0804 ทำงานด้วยไฟ DC 5 V จากพาวเวอร์ซัพพลายและสามารถใส่รหัสความต่างศักย์อนาล็อกทางอินพุตได้ตั้งแต่ 0 ถึง 5 V ไอซี ADC 0804 converter สามารถนำมาทดสอบโดยใช้วงจรในรูป 2.18 ได้

หน้าที่ของวงจรคือใส่รหัสความแตกต่างกันของศักดาไฟฟ้าระหว่าง Vin (+) และ Vin (-) เปรียบเทียบกับแรงดันอ้างอิง เพื่อให้สัมพันธ์กับค่าตัวเลขฐานสอง

ตัวอย่างเช่น ADC 0804 เป็นแบบ 8 บิต หรือ 0.39 เฟอร์เซ็นต์ หมายความว่าในแต่ละ 0.02 V ที่เพิ่มในศักย์ไฟฟ้าที่ analog input ตัวเลขฐานสองจะนับเพิ่มขึ้น 1 สวิตช์เริ่มต้นในรูป 2.18 ถูก close เป็นครั้งแรกและถูก open เพื่อเริ่มต้น free running ของ A/D converter ที่เรียกเป็นการ free run ก็เนื่องมาจากมันจะเปลี่ยนสัญญาณ analog input เป็นเอาต์พุตแบบ digital อย่างต่อเนื่องสวิตช์ start ควรถูกปล่อยให้ open เพื่อให้ A/D converter จะมีการทำงาน

วงจรในรูป 2.18 แสดงการเปลี่ยน A/D 5,000 ถึง 10,000 ครั้งต่อนาที อัตราเร็วการเปลี่ยน A/D ของไอซี ADC 0804 นับว่าค่อนข้างสูงเพราะใช้เทคนิค successive – approximation ในขบวนการเปลี่ยนตัวต้านทานและตัวเก็บประจุ ต่อเข้ากับ CLK R และ CLK IN อินพุตให้กับ ADC 0804 ในรูป 13.18 ทำให้ clock ภายในเกิดการคำนวณข้อมูลเอาต์พุต active high

2.14 การส่งข้อมูล Digital ในรูปแบบ FSK

เริ่มแรกทีเดียวการแปลงสัญญาณลอจิกให้เหมาะสมกับการส่งไปในสายโทรศัพท์ที่ใช้วิธีที่เรียกว่า Frequency Shift Keying คือ การใช้ความถี่ของเสียงสองความถี่แทนสัญญาณลอจิก “0” และ “1” ฝ่ายรับก็พยายามจับเอาสองความถี่ที่วนี่กลับมาเป็นสัญญาณลอจิก ความถี่ของเสียงทั้งสองต้องห่างกันพอที่จะแยกออกจากกันได้ โดยวงจรอิเล็กทรอนิกส์ และถี่จะต้องไม่ห่างกันจนตกขอบเขตความสามารถสายโทรศัพท์จะนำไป

2.14.1 การทำงานของ Frequency Shift Keying

สัญญาณ FSK เป็นสัญญาณดิจิทัลที่ความถี่เปลี่ยนแปลงตามขนาดของเบสแบนด์พัลส์พีซีเอ็ม โดยทั่วไป FSK มักใช้ในการส่งข้อมูลความเร็วต่ำตามข้อกำหนดรายละเอียด CCITT V.21 และนิยมใช้ FSK ชนิดสองความถี่เท่านั้น เพราะ FSK no coherent ชนิดสองความถี่สามารถกำเนิดและรับได้ง่ายทำให้มีราคาถูก

$$S(t) = A \cos (W_c + W_d)t \quad , \text{สำหรับสัญญาณมาร์ค}$$

และ

$$0 < t < T$$

$$S(t) = A \cos (W_c - W_d)t \quad , \text{สำหรับสัญญาณสเปซ}$$

ในที่นี้ W คือความถี่เชิงเบน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นแบบฮาร์ฟดูเพล็กซ์ ระบบเบลล์ 202 ใช้เทคนิคอันนี้ในการส่งข้อมูลด้วยความเร็ว 1200 บอร์ด แบบฮาร์ฟดูเพล็กซ์ โดยใช้ความถี่ 1200 แทนมาร์คและ 2200 แทนสเปส และเพื่อเป็นการประกันว่า ฝ่ายรับกำลังรับอยู่ ฝ่ายรับจะส่งความถี่ 387 เฮิร์ตซ์ควบกลับมาให้รู้ว่ากำลังรับอยู่ บางครั้งความถี่ 387 เฮิร์ตซ์นี้อาจจะใช้ในการบอกฝ่ายส่งว่าข้อความที่ส่งมามีข้อผิดพลาดอยู่กรุณาส่งมาใหม่

สำหรับ CCITT หรือที่ใช้กันในประเทศสากล มาตรฐานจะเป็นโมเด็ม V.023 ซึ่งจำลองมาจากเบลล์ 202 แต่แตกต่างกันตรงที่มีโหมดให้เลือก 2 โหมดคือ 500 บอร์ดและ 1200 บอร์ด โดยทั้ง 2 โหมดใช้ความถี่ต่างกันคือ

	มาร์ค	สเปส
โหมด 1 (600 บอร์ด)	1300 Hz	1700 Hz
โหมด 2 (1200 บอร์ด)	1300 Hz	2100 Hz

นอกเหนือไปจากนั้น V.23 ยังสามารถให้ฝ่ายรับส่งข้อมูลกลับมาได้ด้วยความเร็ว 75 บอร์ดโดยใช้ FSK จริง ๆ 390 Hz แทนมาร์ค และ 450 Hz แทนสเปส ในกรณีนี้สำหรับการติดต่อกับเทอร์มินัลที่ใช้ป้อนข้อมูลทางคีย์บอร์ดเนื่องจากความเร็วของการพิมพ์ของมนุษย์คงไม่มีใครทำได้เกิน 100 คำต่อนาทีลองคำนวณดูคร่าว ๆ ถ้าใช้ 4 ตัวอักษร อักษร 1 ตัวใช้ 8 บิตบวกสตาร์ทบิตอีก 2 บิตรวมแล้ว 200 คำต่อนาทีเทียบเท่ากับ 40 คู่ 100 พาร 60 เท่ากับ 66 บิตต่อวินาที

2.14.2 XR-2206 วงจรเข้ารหัส FSK

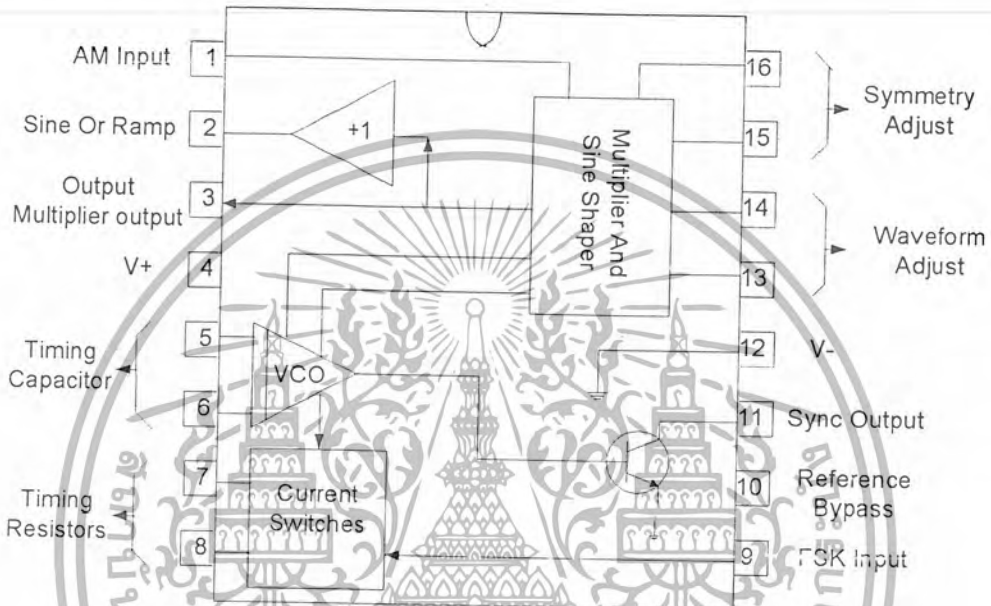
ไอซีเบอร์ XR-2206 เป็น โมโนลิทิก ฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์ ความสามารถในการผลิตคลื่นซายน์, รูปสามเหลี่ยม, สี่เหลี่ยม, แรမ်พ์, ได้โดยที่มีความถี่ตั้งแต่ไม่กี่ Hz จนถึงหลายร้อย กิโลเฮิร์ตซ์ โดยติดต่อกับวงจรภายในอีกชนิดหนึ่ง นอกจากนี้ยังสามารถนำไอซี XR-2206 มาควบคุมขนาดและความถี่ (AM และ FM) และ Phase Shift Key ได้อีก

สำหรับ XR-2206 นี้เป็นแพคเกจไอซี 6 ขาสามารถที่จะใช้ไฟเลี้ยง (Power Supply) ตัวเดียวคือช่วง 10 ถึง 26 Volt ได้หรืออาจจะใช้ไฟเลี้ยงคู่ได้ในช่วง 5 ถึง 13 Volt ขณะที่ต้องผลิตสัญญาณคลื่นซายน์ค่า r.h.d ของสัญญาณนั้นจะมีค่า 25 % เมื่อยังไม่มีการปรับแต่ง แต่ก็สามารถปรับให้เหลือเพียง 0.5 % ได้โดยการควบคุมของวงจรที่นำมาต่อรวมโดยที่สัญญาณ Output รูปซายน์นี้จะมีค่าสูงสุด 2 Vrms และค่าเอาท์พุทอิมพีแดนซ์เท่ากับ 600 โอห์ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำงานของ XR- 2206

รูปที่ 3.5 แสดงบล็อกไดอะแกรมแต่ละส่วนของ XR – 2206 ซึ่งเป็นแพคเกจขนาด 16ขา หัวใจสำคัญของส่วนนี้คือ V.C.O. (Voltage Control Oscillator) ซึ่งจากรูปจะเห็นได้ว่ามี Timing Capacitor ซึ่งมีค่าได้ในช่วง 1000 pF ถึง 100 microF ต่อที่ขา 5 และ 6 ซึ่งเป็น input ของ V.C.O.



รูปที่ 2.22 แสดงบล็อกไดอะแกรมการทำงานและขาต่างๆของ XR – 2206

สำหรับ timing register นั้นจะต่อกับขา 12 (V-) และขา 7 หรือขา 8 ซึ่งจะมีค่าระหว่าง 1 k Ω ถึง 2 M Ω ค่าของ timing register และ timing capacitor จะมีผลต่อความถี่ในการออกซัลลิตเลทซึ่งมีค่าเท่ากับ

$$f_0 = 1/RC \text{ Hz}$$

จะเห็นว่าเราสามารถที่เปลี่ยนค่า R และ C เพื่อให้ความถี่เปลี่ยนแปลงได้แต่เพื่อจะให้เกิดการคงตัวของอุณหภูมิ (Temperature stability) และความเพี้ยนของสัญญาณชายน้อยที่สุด ควรจะให้ค่าของ register มีค่าอยู่ระหว่าง 4 k Ω ถึง 200 k Ω

ในการเลือก timing register ว่าจะต่อกับขา 7 หรือขา 8 นั้นเราพิจารณาโดยดูว่ามีการป้อนสัญญาณที่ขา FSK input หรือไม่ ถ้าขา FSK input (ขา 9) นั้นเปิดวงจรหรือต่อกับสัญญาณแรงดันขนาดมากกว่า 2 V จะต่อต้านทานเข้าที่ขา 7 ในทางกลับกัน ถ้าขา FSK input นี้ต่อกับแรงไฟต่ำกว่า 1 V ขา 8 จะต้องต่อตัวต้านทานด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วน V.C.O. ของ I.C. นั้นผลิตรูปคลื่นได้สองชนิดคือ รูปคลื่นแรมพ์ ซึ่งจะป้อนไปส่วน
ของ multiplier และส่วน sine shape block อีกทีหนึ่ง และรูปคลื่นสี่เหลี่ยม(rectangular) ซึ่งจะป้อน
ออกที่ขา 11 โดยผ่าน transistor ซึ่งการผลิตรูปคลื่นนี้ขึ้นอยู่กับ timing capacitor โดยตัวเก็บประจุนี้
จะเริ่มคั่นเก็บประจุ ซึ่งเป็นผลทำให้เกิดเป็นคลื่นรูปแรมพ์ ที่กำลังพุ่งขึ้นและที่อีกเอาท์พุทจะ
ได้ สัญญาณ “high” ที่รูปคลื่นสี่เหลี่ยม(rectangular) จนกระทั่งแรงดันไฟฟ้าถึงจุดหนึ่งเรียกว่า “firing
voltage” ที่จุดนี้จะทำให้สัญญาณรูปเหลี่ยมจะกลับกลายเป็น “low” และ timing capacitor จะเก็บ
ประจุในทิศทางกลับกับตอนต้นเป็นผลทำให้สัญญาณรูปแรมพ์ตกลงจนถึงจุด “firing voltage”
เช่นกัน จะทำให้รูปคลื่นสี่เหลี่ยมกลับกลายเป็นสัญญาณระดับ “high” และขบวนการต่าง ๆ ก็จะ
กลับไปกลับมาเช่นนี้เหมือนเดิม

จากคำอธิบายข้างต้นจะเห็นว่า V.C.O. ส่วนนี้จะผลิตคลื่นรูปสี่เหลี่ยมและสามเหลี่ยมที่สา
มาตรฐานออกมาถ้าเกิดนำสัญญาณสี่เหลี่ยมที่ได้จากขา 11 นี้มาต่อเข้ากับขา FSK input (ขา 9) ของ
ไอซีจะมีผลทำให้ได้คลื่นรูปแรมพ์และรูปสี่เหลี่ยมที่ไม่มาตรฐานออกมาแทน

รูปคลื่นแรมพ์ที่ได้จากส่วน V.C.O. ของไอซี XR - 2206 นี้จะถูกนำไปเข้ายังส่วนของ
multiplier และ sharper block อีกทีซึ่งถ่วงนี้ทำหน้าที่คล้ายกับวงจรขยายความแตกต่าง ซึ่งจะทำ
ให้อเอาท์พุทอิมพีแดนซ์ที่ขา 3 มีค่าสูงและที่ขา 2 จะเป็น Buffer เอาท์พุทที่อิมพีแดนซ์เท่ากับ 600
โอห์ม ในกรณีที่เปิดวงจรที่ขา 13 และ 14 (Open circuit) นั้นจะมีผลทำให้เอาท์พุทขา 2 และ 3 นั้น
จะทำให้รูปคลื่นแรมพ์ออกมา แต่ถ้าต่อตัวต้านทานซีกสองสามร้อยโอห์มที่ 13 และ 14 จะทำให้
ยอดของคลื่นรูปแรมพ์จะถูกตัดออก ทำให้เอาท์พุทที่ขา 2 และขา 3 นั้นผลิตคลื่นรูปซายน้อออกมาถ้า
มีการปรับแต่งที่ถูกต้องและเหมาะสมจะทำให้คลื่นรูปซายนี้นี้ได้มีความเพี้ยนเพียง 0.5 % เท่านั้น

ถ้ารับอัตราขยายและเฟสของเอาท์พุทของ Multiplier สามารถเปลี่ยนแปลงได้ด้วยการ
เพิ่มสัญญาณแรงดันที่ขา 11 ของ ไอซีเอาท์พุทที่ได้จะถูกควบคุม โดยการเปลี่ยนแปลงแรงดันที่ขา 1
ซึ่งค่าแรงดันนี้ควรอยู่ราว ๆ ครึ่งหนึ่งของแรงดันไฟเลี้ยง จะทำให้สัญญาณเอาท์พุทเพิ่มขึ้นเช่นกัน
แต่ว่าเฟสที่ได้จะตรงข้ามกัน คุณสมบัตินี้เองสามารถนำมาใช้การมอดูเลตขนาด (AM) หรือ Phase
Shift Keying ซึ่งจะให้เอาท์พุทที่ขา 2 และ 3

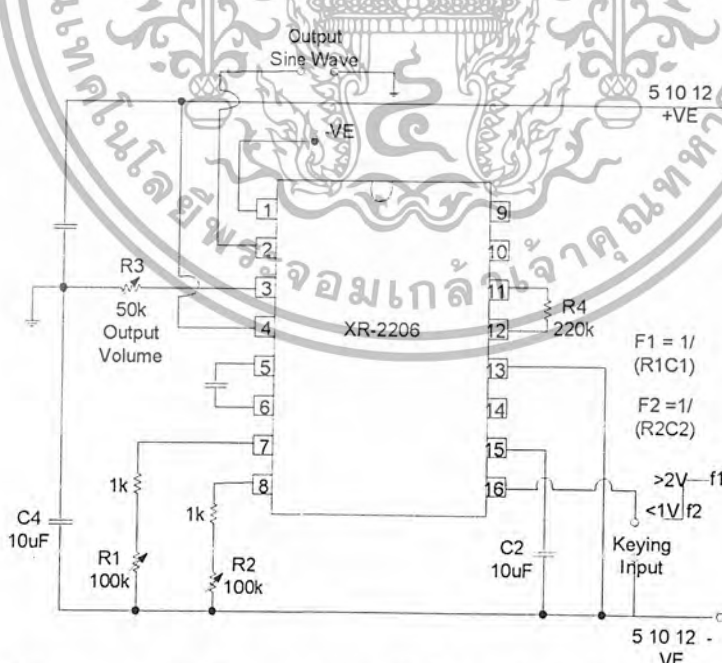
เนื่องจากว่าเอาท์พุทที่ขา 3 ของ ไอซี XR - 2206 นั้นต่ออินพุทของวงจรขยายที่มีอัตราขยาย
เท่ากับ 1 n ซึ่งจะทำให้เกิด Buffer เอาท์พุทมีค่าอิมพีแดนซ์เท่ากับ 600 Ω ที่ขา 2 ทำให้สามารถที่จะ
ป้อนสัญญาณอินพุทเข้าที่วงจรขยายบัฟเฟอร์ โดยการใช่วงจรแบ่งแรงดัน (potential divider) หรือ
อิมพีแดนซ์เข้าที่ขา 3 ได้ โดยเทียบกับกราวด์ซึ่งคุณสมบัตินี้เองทำให้ควบคุมอัตราขยายด้วยวิธี
ง่าย ๆ ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การผลิต FSK (Frequency Shift Key)

ขณะที่ขา FSK input (ขา 9) ของไอซีนันมิได้ต่ออะไรหรือมีการป้อนสัญญาณแรงดันที่มีขนาดเกิน 2 V เมื่อเทียบกับสัญญาณแรงดันไฟลอป timing resistor (ขา 7) จะถูกเลือกเพื่อให้ความถี่นั้นมาจากการคำนวณของ R1 และ C1 ตามข้างต้นแต่เมื่อกรณีที่ขา FSK input นี้ถูกต่อสัญญาณไฟเลี้ยงที่เป็นลบหรือจ่ายแรงดันในระดับที่ต่ำกว่า 1 V เมื่อเทียบกับสัญญาณไฟเลี้ยงที่เป็นลบ ดังนั้นจะทำให้ได้สัญญาณที่มีความถี่อีกชุดหนึ่งโดยมีความถี่ที่คำนวณจาก R₂ และ C₁ ด้วยเหตุนี้ทำให้ไอซี สามารถถูกใช้ในการ FSK ได้โดยง่าย ๆ ดังตัวอย่างในรูปที่ 2.6

โดยที่ขา 9 นั้นเราป้อนสัญญาณพัลส์เข้าแทน ในบางครั้งถ้าต้องการให้สัญญาณ FSK นั้นเป็นสัญญาณที่เทียบเท่ากับกราวด์หรือสายที่มีโวลต์เท่ากับ 0 นั้น ได้โดยการเพิ่มทรานซิสเตอร์อีก 3 ตัวตามตัวอย่างการต่อวงจรดังรูปที่ 2.23 โดยการทำงานของวงจรเป็นดังนี้คือ ขณะที่สัญญาณอินพุตเข้ามาเป็นสภาวะ "low" ทรานซิสเตอร์ทั้งสามตัวจะ Cutoff ซึ่งเปรียบเสมือนว่าที่ขา 9 นี้เปิดวงจรอยู่นั่นเอง ทำให้สามารถควบคุมความถี่ได้โดยการปรับค่า R₁ แต่ถ้าสัญญาณ input เข้ามามีค่าเป็น "High" ทรานซิสเตอร์ Q1 จะทำงานขับ Q2 และ Q2 ทำหน้าที่ขับ Q3 อีกทีหนึ่ง ซึ่งเป็นผลทำให้ทรานซิสเตอร์ Q3 อัดตัว ผลเปรียบเทียบกับการต่อขา 19 ไปยังไฟเลี้ยงที่เป็นลบเลย ดังนั้นการควบคุมความถี่ทำได้โดยปรับค่า R₁ สำหรับสัญญาณ FSK นี้สามารถให้เอาท์พุทได้ทั้ง 2 และขา 11



รูปที่ 2.23 วงจรผลิตสัญญาณ FSK รูปคลื่นขายน้อย่างง่ายโดยใช้แหล่งจ่ายไฟตัวเดียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

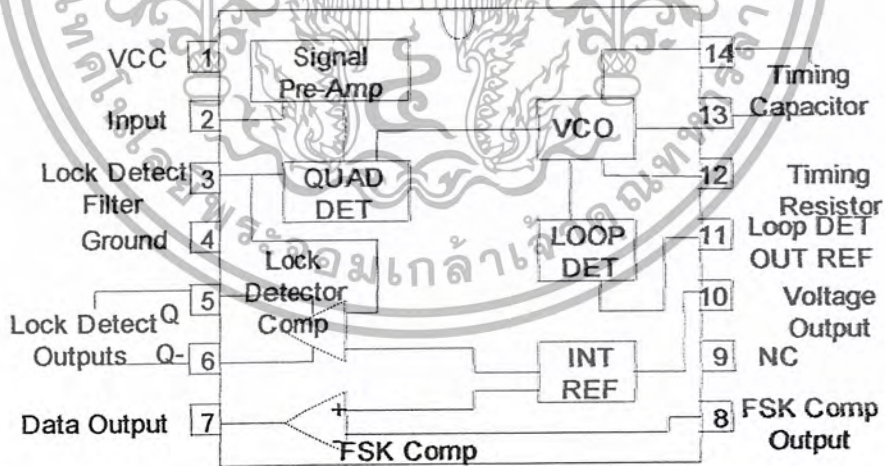
2.14.3 XR – 2211 วงจรเปลี่ยนสัญญาณอนาล็อก FSK ให้เป็นสัญญาณดิจิทัล

ภาครับสัญญาณ FSK นี้จะรับ สัญญาณ RF โดยที่ภาครันนี้จะทำการแปลงสัญญาณ FSK ที่มี ความถี่ให้กลายเป็นสัญญาณดิจิทัล 0 (แทนด้วยแรงดันประมาณ 0 V) และ 1 (แทนด้วยแรงดัน ประมาณ 5 V) ภาครันนี้ใช้ไอซีเบอร์ XR – 2211 ซึ่งถูกออกแบบมาโดยเฉพาะเพื่อทำการแปลง สัญญาณ FSK ให้เป็นสัญญาณดิจิทัล (FSK Demoduration) การซิงโครไนเซชันข้อมูล (Data Synchronization) และการดีเทคสัญญาณคลื่นพาห์ (Carrier detectiion)

โดยทั่วไปของไอซีเบอร์ XR – 2211

ไอซีเบอร์ XR – 2211 นี้เป็นไอซีที่ทำงานแบบเฟสล็อกดูเพล็กซ์ ไฟเลี้ยงที่ใช้กับไอซีอยู่ช่วงตั้ง แต่ 4.5 ถึง 20 โวลต์และสามารถทำงานในย่านความถี่ตั้งแต่ 0.01 Hz จนถึง 300 Hz นอกจากนี้ยัง สามารถรับสัญญาณอินพุตในช่วงกว้าง ได้ตั้งแต่ 2 มิลลิโวลต์ จนสัญญาณที่เข้ามามีขนาดน้อยกว่า 2 โวลต์ อีกอย่างหนึ่งคือ สามารถใช้งานร่วมกับอุปกรณ์ทางลอจิกที่เป็นมาตรฐานได้แก่ตระกูล DTL, TTL และ ECL ได้อีกด้วย

โครงสร้างภายในของไอซี XR – 2211



รูปที่ 2.25 แสดงโครงสร้างภายในของไอซีเบอร์ XR – 2211

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงสร้างภายในแสดงดังรูปที่ 2.25 โดยโครงสร้างหลักเป็นวงจรเฟสล็อกอัพซึ่งประกอบด้วยวงจรพรีแอมพลิฟายเออร์ (Preamplifier) , วงจรคูณสัญญาณอนาล็อก (Analog Multiplier) ซึ่งใช้เป็นวงจรเฟสดีเทคเตอร์ และวงจร V.C.O. นั้นจะถูกควบคุมความถี่โดยตัวต้านทาน R_0 และจากกระแสจากวงจรเฟสดีเทคเตอร์

แรงดันอ้างอิง (Voltage Reference) : VR แรงดันที่ขา 10 นี้เป็นแรงดันอ้างอิงสำหรับแรงดันที่ขา 5,8,10 และ 11 โดยที่ขา 10 นั้นจะต้องต่อคาปาซิเตอร์ ขนาด 0.1 ไมโครเมตร กับกราวด์เพื่อบายพาสสัญญาณความถี่สูงลงกราวด์และให้วงจรทำงานสม่ำเสมอ

สัญญาณเอาต์พุตจากวงจรเฟสดีเทคเตอร์ (Loop Phase Detector Output) ที่ขา 11 นี้เป็นเอาต์พุตที่มีความต้านทานสูงใช้สำหรับลูปเฟสดีเทคเตอร์ โดยมีตัวต้านทาน $R1$ และ capacitor $C1$ ทำหน้าที่เป็นวงจรลูปฟีดแบ็คของเฟสล็อกอัพ ในกรณีที่ยังไม่มีสัญญาณอินพุตหรือความแตกต่างทางเฟสของวงจรเฟสล็อกอัพระดับแรงดันที่ขา 11 นี้จะมีค่าใกล้เคียงกับแรงดันอ้างอิง V_R

การควบคุมความถี่ของวงจร VCO ความถี่ของวงจร VCO ถูกควบคุมจากตัวต้านทาน R_0 ซึ่งสามารถหาได้จากสมการนี้

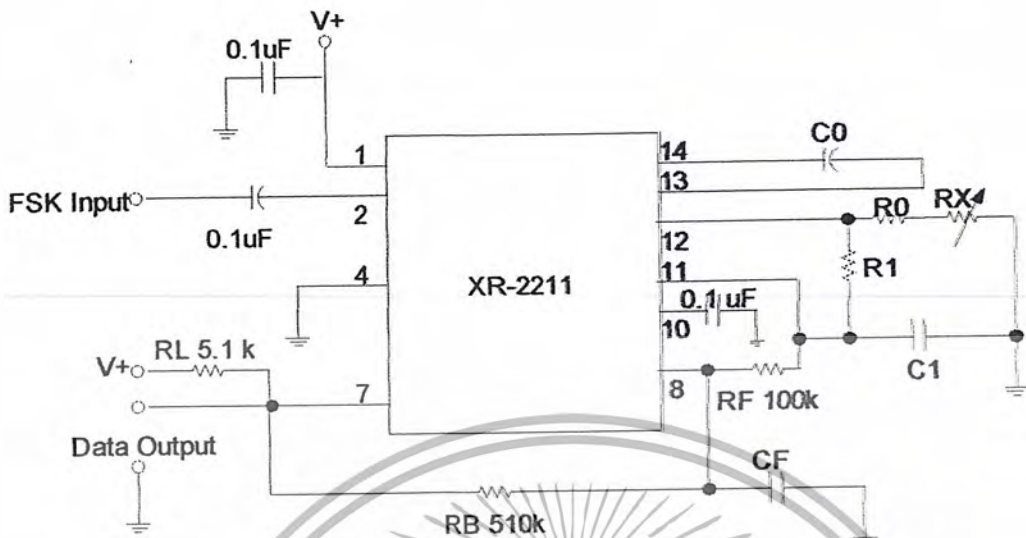
$$f_0 = 1/(R_0 C_0) \text{ Hz} \quad \text{สมการที่ 1}$$

โดยที่ C_0 คือ capacitor ที่ต่อระหว่างขา 13 กับขา 14 และเพื่อประสิทธิภาพของวงจรควรใช้ตัวต้านทาน R_0 มีค่าอยู่ในช่วง $10 \text{ k}\Omega$ และ $100 \text{ k}\Omega$

คาปาซิเตอร์ควบคุมวงจร VCO (ที่ขา 13 และ 14) ความถี่ที่ได้จากวงจร VCO แปรผกผันกับค่าของคาปาซิเตอร์ C_0 ที่ต่อระหว่างขา 13 และ 14 คาปาซิเตอร์ C_0 ต้องใช้แบบไม่มีขั้วอยู่ในย่าน 200 pF จนถึง 10 ไมโครฟารัด

การปรับความถี่ของวงจร VCO ควรใช้ตัวต้านทานที่สามารถปรับค่าได้ต่ออนุกรมกับตัวต้านทานค่าหนึ่ง โดยผลรวมของตัวต้านทานทั้งสองใช้แทนตัวต้านทาน R_0

การนำไอซี XR - 2211 ไปใช้ในการดีเทคสัญญาณ FSK แสดงดังรูปที่ 2.26



รูปที่ 2.26 แสดงวงจรเครื่องกำเนิดสัญญาณ FSK

รูปที่ 2.26 ตัวต้านทาน R_0 และคาปาซิเตอร์ C_0 ใช้เพื่อกำหนดความถี่กลางของเฟสล็อก ลูป (f_0) ตัวต้านทาน R_1 นั้นใช้เพื่อกำหนดแบนด์วิดท์, คาปาซิเตอร์ C_1 ใช้กำหนดค่าคงที่ทางเวลา ของลูปฟีดแบ็คและค่าลูปแคมบิง, คาปาซิเตอร์ C_F และตัวต้านทาน R_F ทำหน้าที่ One Pole Post - Detection สำหรับสัญญาณเอาต์พุต, ตัวต้านทาน R_X (มีค่าประมาณ $5 - 10 \text{ k}\Omega$) ซึ่งต่อระหว่างขา 7 และ 8 ทำหน้าที่เป็นตัวป้อนกลับทางบวก (Positive Feedback)

ขั้นตอนการกำหนดตัวต้านทานและคาปาซิเตอร์

1. คำนวณค่าความถี่กลางของเฟสล็อก ลูป (f_0) ดังสมการที่ 3 โดยค่า f_1 และ f_2 คือความถี่ทั้งสองของสัญญาณอินพุต FSK

$$f_0 = (f_1 \cdot f_2)^{1/2} \quad \text{สมการที่ 2}$$

ถ้าทางค่านั้นได้กำหนดความถี่มาตรฐานของ CCITT V.23 ก็คือบอร์คเรท 1200 บิตต่อวินาทีซึ่งมีความถี่ f_1 และ f_2 มีค่า 1200 และ 2200 Hz ตามลำดับดังนั้นจะได้

$$f_0 = (1200 \times 2200)^{1/2} = 1624 \text{ Hz}$$

2. เลือกค่า timing register R_0 ซึ่งค่า R_0 นี้ควรจะอยู่ในช่วง $10 \text{ k}\Omega$ จนถึง $100 \text{ k}\Omega$ ขอแนะนำให้ใช้ค่า $R_0 = 20 \text{ k}\Omega$ ต่อกับความต้านทานปรับค่า R_X

3. คำนวณค่าคาปาซิเตอร์ C_0 ดังสมการที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$C_0 = 1 / (R_0 \times f_0)$$

4. คำนวณค่าตัวต้านทาน R_1 จากสมการที่ 3

$$R_1 = 2R_0 \times [f_0 / (f_1 - f_2)]$$

สมการที่ 3

จากการคำนวณจากขั้นตอนที่ 1 และค่าความต้านทานในขั้นตอนที่ 1 จะได้ค่าของ R_1 ดังนี้

5. คำนวณค่าคาปาซิเตอร์ C_1 เพื่อกำหนดลูปแดมปีง (Damping Loop , D) ซึ่งควรมีค่าประมาณ 0.5 ดังนั้นจะได้ค่าคาปาซิเตอร์ C_1 ดังนี้

$$C_1 = (1250 \times C_0) / (R_1 \times D_2)$$

สมการที่ 4

6. คำนวณค่าคาปาซิเตอร์ C_F ถ้ากำหนดค้วต้านทานของ C_F ได้จากสมการที่ 6

$$R_{sum} = (R_1 + R_2) \times R_B / (R_1 + R_F + R_B)$$

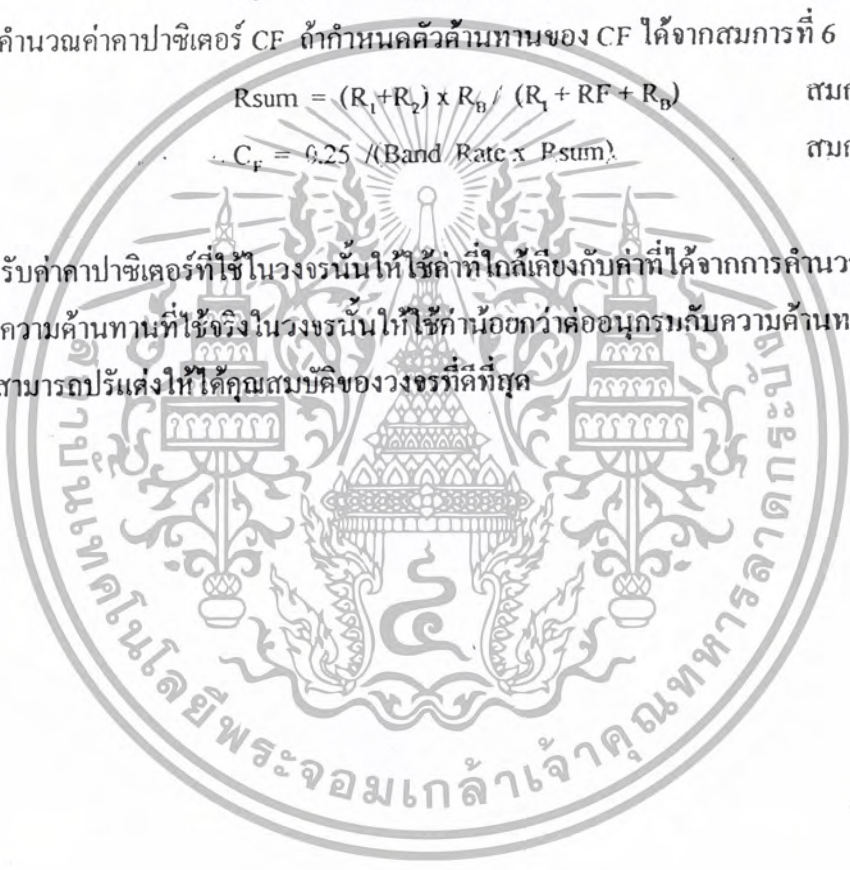
สมการที่ 5

$$C_F = 0.25 / (\text{Band Rate} \times R_{sum})$$

สมการที่ 6

หมายเหตุ

สำหรับค่าคาปาซิเตอร์ที่ใช้ในวงจรนั้นให้ใช้ค่าที่ใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการคำนวณมากที่สุด ส่วนค่าความต้านทานที่ใช้จริงในวงจรนั้นให้ใช้ค่าน้อยกว่าค่อนนุกับกับความต้านทานที่ปรับค่าได้เพื่อให้สามารถปรับแต่งให้ได้คุณสมบัติของวงจรที่ดีที่สุด



บทที่ 3

การออกแบบ

ตอนที่ 1 การออกแบบส่วนตัวรถและแขนกล

3.1 ส่วนตัวรถ

ส่วนตัวรถทำเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า ทำจากอะลูมิเนียมเพื่อลดน้ำหนัก เป็นลักษณะขับเคลื่อนสองล้อหลังสูงล้อหน้าบังคับเลี้ยวด้วยระบบค้ำยกยกขึ้นทั้งหมด

- 1.1 ส่วนล้อหลังขับเคลื่อนจากมอเตอร์ โดยใช้เฟืองในอัตราทด 62 : 62 หรือ 1 : 1 ใช้มอเตอร์ขนาด 12 V ส่วนเกียร์ของมอเตอร์ทำจากโลหะเพราะต้องการความแข็งแรงมาก เนื่องจากทำหน้าที่ขับเคลื่อนตัวรถหากไม่ใช้มอเตอร์ใหญ่เกียร์โลหะจะเกิดความร้อนที่มอเตอร์ทำให้มอเตอร์พังได้เมื่อขับเคลื่อนไปนาน ๆ นอกจากนี้ส่วนอื่น ๆ ก็ใช้มอเตอร์เกียร์ทั้งหมดเช่นกันเพราะ ต้องการแรงบิดสูงมาก และ ไม่มีความจำเป็นต้องใช้ Step Motor เพียงใช้ Gear Motor ขนาดเล็กใช้แรงดัน 3-12 V เพื่อประหยัดและน้ำหนักเบาเพราะ Motor บางตัวจำเป็นต้องติดบนแขนทำให้เพิ่มน้ำหนักแขนด้วย



รูปที่ 3.1 รูปแสดง ส่วนของเฟืองควบคุมล้อหลัง

สาเหตุที่ออกแบบระบบเฟืองทดล้อหลังเป็น 1 : 1 เพราะตัวมอเตอร์มีแรงบิดสูงอยู่แล้วและ

เอกสารนี้เป็นเอกสารของบริษัทที่ควรที่จะเคลื่อนที่เร็วไปยากต่อการควบคุม ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 ส่วนลื้อหน้า

ส่วนลื้อหน้าประกอบด้วยโครงเหล็กคล้ายรถยนต์เพียงแต่เปลี่ยนเฟืองบรรทัด เป็นเฟืองตรงข้ามกับเกลียวนี้อต ดังรูป



รูปที่ 3.2 รูปแสดงส่วนของลื้อหน้าควบคุมการเลี้ยว
เฟืองทดในส่วนบังคับเลี้ยวมีอัตราทดดังนี้

ส่วนเฟืองตรงมีอัตราทด 23:61

โดยมอเตอร์หมุน 1 รอบ เฟลาเคลื่อนที่ได้ 0.1 cm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 ส่วนฐานแขนกล

ส่วนฐานแขนกลใช้เพื่อต่อตรงกับมอเตอร์โดยส่วนฐานแขนกลจะวางอยู่ใกล้กับตำแหน่งเพลาล้อหน้าโดยเอียงไปทางด้านหลังเป็นระยะ cm เพื่อให้น้ำหนักส่วนใหญ่ตกลงบนเพลาน้ำ (ส่วนใกล้เพลาล้อหลังจะวางเบตเตอร์เพื่อถ่วงน้ำหนักตัวรถ)

เฟืองทดฐานแขนกลมีอัตราทด 23 : 95 ซี่



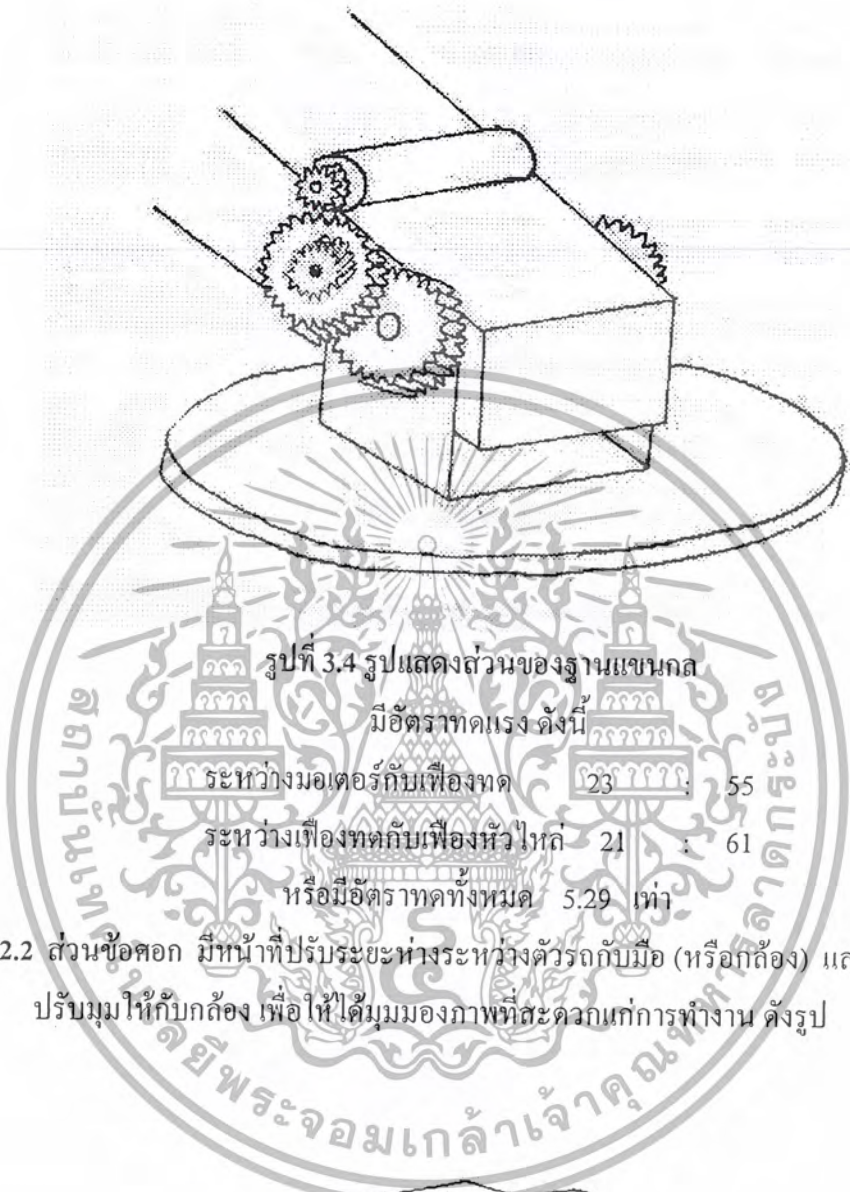
รูปที่ 3.3 รูปแสดงส่วนของฐานรองแขนกล

3.3 ส่วนแขนกล

2.1 ส่วนหัวไหล่

ส่วนหัวไหล่เป็นส่วนที่รับน้ำหนักทั้งหมดของส่วนแขนจากมอเตอร์เกียร์ขนาดเล็กที่ใช้อยู่ มีกำลังไม่พอเราจึงต้องเพิ่มเฟืองทดตามรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 รูปแสดงส่วนของฐานแกนกล

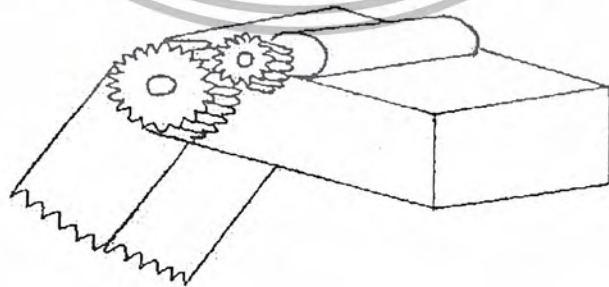
มีอัตราทดแรง ดังนี้

ระหว่างมอเตอร์กับเฟืองทด $23 : 55$

ระหว่างเฟืองทดกับเฟืองหัวไปกลับ $21 : 61$

หรือมีอัตราทดทั้งหมด 5.29 เท่า

2.2 ส่วนข้อต่อ มีหน้าที่ปรับระยะห่างระหว่างตัวรถกับมือ (หรือกัลลิ่ง) และมีหน้าที่ปรับมุมให้กับกัลลิ่ง เพื่อให้ได้มุมมองภาพที่สะดวกแก่การทำงาน ดังรูป



รูปที่ 3.5 แสดงส่วนของข้อต่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใช้มอเตอร์ต่อตรงกับเฟืองข้อศอก

มีอัตราทดระหว่างมอเตอร์กับเฟืองข้อศอก 23 : 59

2.3 ส่วนข้อมือ

ส่วนข้อมือมีหน้าที่ปรับมุมให้เหมาะสมในการรับส่งของแสดงดังรูป



รูปที่ 3.6 มอเตอร์ในส่วนข้อมือ

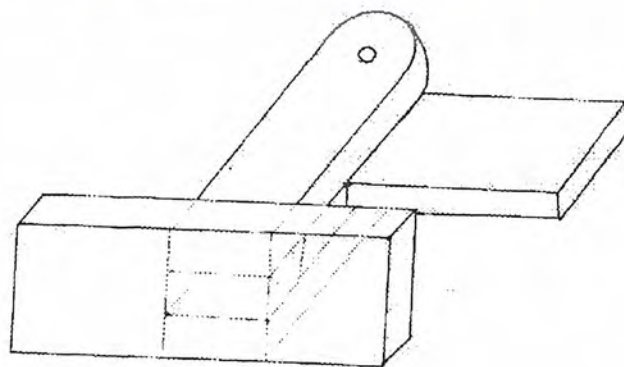
ใช้มอเตอร์ต่อตรงกับเฟืองข้อมือ

มีอัตราทดระหว่างมอเตอร์กับเฟืองข้อมือ 23 : 61

2.2 ส่วนของมือ

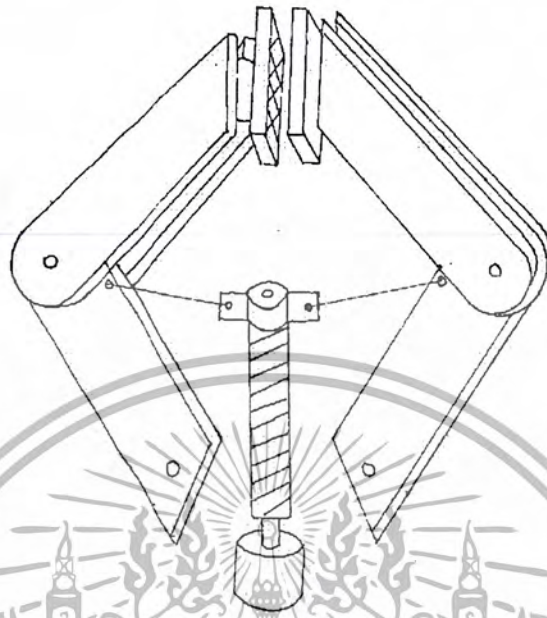
เป็นส่วนสำคัญในการหยิบจับสิ่งของ การทำงานเป็นลักษณะสองนิ้วจับสิ่งของหนีบเข้าหาตรงกลางทำให้สามารถหยิบของประเภทเหลี่ยม และทรงกระบอกได้ดังแสดงดังรูป

โดยมอเตอร์หมุน 1 รอบ สามารถเคลื่อนที่ได้ 0.1 cm



รูปที่ 3.7 รูปขยายแสดงในส่วนข้อมือจับข้างเดียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

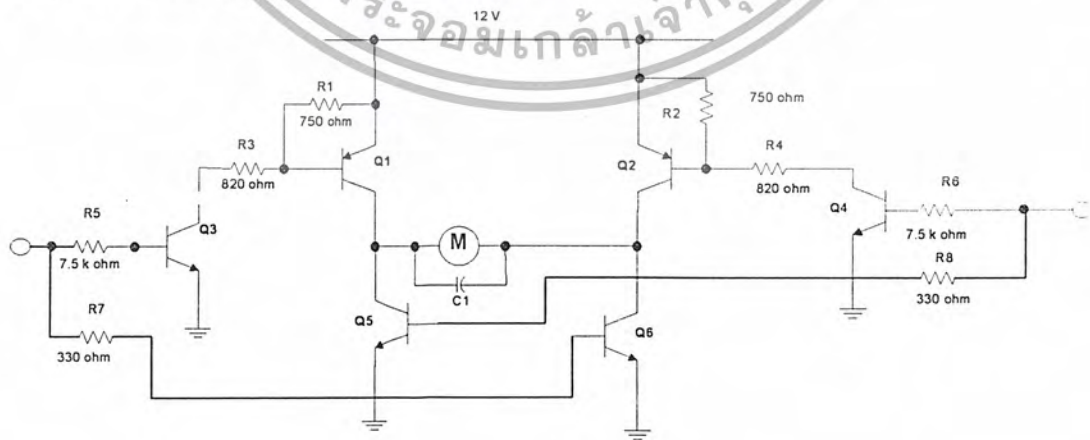


รูปที่ 3.8 แสดงในส่วนของมือและมอเตอร์ควบคุม

ส่วนที่สอง ส่วนวงจร

3.3 วงจรควบคุมมอเตอร์

ทำหน้าที่ในการกำหนดการหมุนซ้ายหรือขวาของมอเตอร์เพื่อควบคุมโดยใช้ MCS 51 ควบคุมได้ทาง Key-pad วงจรแสดงดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 แสดงวงจรควบคุมมอเตอร์ขนาดเล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับมอเตอร์ตัวเล็กกระแสไหลผ่านสูงสุด 0.25 A พิจารณา BD 139 , BD 140 VCE
= 0.2 V

$P_{max} = 0.2 \times 0.25 = 0.05 \text{ W}$ สามารถใช้ได้ BD 139 , BD 140 มี $\beta_{min} = 25$

ที่ Q_1 $I_C = 0.25 \text{ A}$

$$I_B = \frac{0.25}{25} = 0.01 \text{ A}$$

ที่ Q_6 ทำนองเดียวกันกับ Q_1 $I_B = 0.01 \text{ A}$

เนื่องจากเราใช้ Q_3 ดึงกระแสจากขา Base Q_1

สมมุติให้ กระแสที่ไหลผ่าน R_1 เท่ากับ 0.001 A

จากรูปจะเห็นได้ว่า โวลเตจตกคร่อม R_1 เท่ากับ 0.7 V

$$R_1 = 0.7 / 0.001$$

$$= 700 \Omega$$

ใช้ค่าประมาณ 750 Ω

ดังนั้นกระแสไหลเข้าขาคอลเล็กเตอร์ Q_3 เท่ากับ 0.011 A

จะสามารถหาค่า R_3 ได้ดังนี้

ใช้ KVL $12 - 0.7 - 0.02 - 0.011R_3 = 0$

$$R_3 = 1 \text{ k}\Omega$$

ใช้ค่าประมาณ 820 Ω เพื่อให้กระแสไหลผ่านได้มากกว่า 0.011 A ได้

และ $I_{B3} = 0.011 / 25$

$$= 440 \mu\text{A}$$

และเนื่องจากเราควบคุมมอเตอร์ทาง MCS-51 โวลต์ที่ขา Base $Q_3 \approx 5 \text{ V}$

หาค่า R_5

$$5 = V_{R5} + 0.7$$

$$V_{R5} = 4.3$$

$$R_5 = \frac{4.3}{0.00044}$$

$$= 9.7 \text{ k}\Omega$$

$$\approx 7.5 \text{ k}\Omega$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หาค่า R_7 ,

เนื่องจาก $I_{c6} = 0.25 \text{ A}$

$$I_{b6} = 0.25/25$$

$$= 0.01$$

ใช้ KVL

$$5 - 0.01R_7 - 0.7 = 0$$

$$R_7 = 4.3/0.01 \ \Omega$$

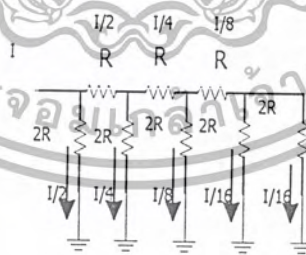
$$= 430 \ \Omega$$

$$\approx 330 \ \Omega$$

สำหรับ $Q_2, Q_4, Q_5, R_2, R_4, R_6$ และ R_8 ซึ่งมีค่าเท่ากับ $Q_1, Q_3, Q_6, R_1, R_3, R_5$ และ R_7 เพราะกระแสไหลเข้าทางซ้ายไปขวาของมอเตอร์เท่ากับกระแสไหลเข้าจากขวาไปซ้าย

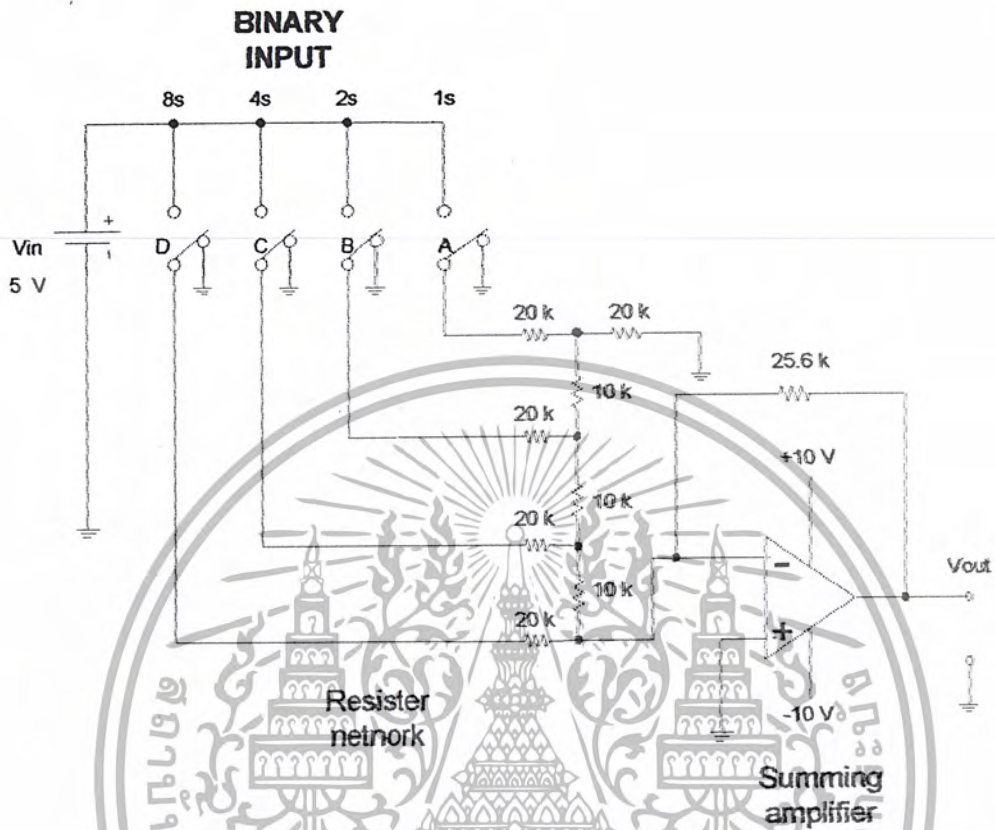
3.4 วงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นอนาล็อก

ใช้ในการควบคุมความเร็วมอเตอร์ (จ่ายให้กับ VCC ของวงจรขับมอเตอร์) ใช้หลักการของ Summing Amp ระบบ R-2R Ladder แสดงได้ดังรูป



รูปที่ 3.11 รูปแสดงหลักการทำงานของวงจร R-2R Ladder

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.12 แสดงวงจร D/A แบบ R-2R Ladder

ตารางที่ 3.2 แสดงค่า digital in และ analog out ที่สัมพันธ์กัน

DIGITAL IN	ANALOG OUT
0	0
1	0.8
10	1.6
11	2.4
100	3.2
101	4
110	4.8
111	5.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1000	6.4
1001	7.2
1010	8
1011	8.8
1100	9.6
1101	10.4
1110	11.2
1111	12

จากตารางที่ 3.2 แสดงค่าของเลขแต่ละบิตที่ต้องการคือ บิตที่ 1 เท่ากับ 0.8 โวลต์ บิตที่ 2 เท่ากับ 1.6 โวลต์ บิตที่ 3 เท่ากับ 3.2 โวลต์ และบิตที่ 4 เท่ากับ 6.4 โวลต์ จากหลักการของ R-2R Ladder ตามรูปที่ 3.12 จะเห็นได้ว่า แต่ละบิตนั้นกระแสไหลไม่เท่ากัน โดยบิตที่ 1 นั้น จะเท่ากับ $I/16$ บิตที่ 2 เท่ากับ $I/8$ บิตที่ 3 เท่ากับ $I/4$ และบิตที่ 4 นั้นเท่ากับ $I/2$ จากหลักการ KCL จะได้ว่า $V_o = (I/2 + I/4 + I/8 + I/16)R_F$ เมื่อ V_o แรงดัน Output ที่ต้องการ นั่นคือ 12 โวลต์ และ I หาได้จาก กระแสที่ไหลผ่าน บิตที่ 4

$$\frac{5}{2R} = \frac{I}{2}$$

เมื่อ R กำหนดให้เท่ากับ $10\text{ K}\Omega$ จะได้ $I = 0.25\text{ mA}$

หาค่า R_F

$$12 = (I/2 + I/4 + I/8 + I/16)R_F$$

$$\text{จะได้ } R_F = 25.6\text{ K}\Omega$$

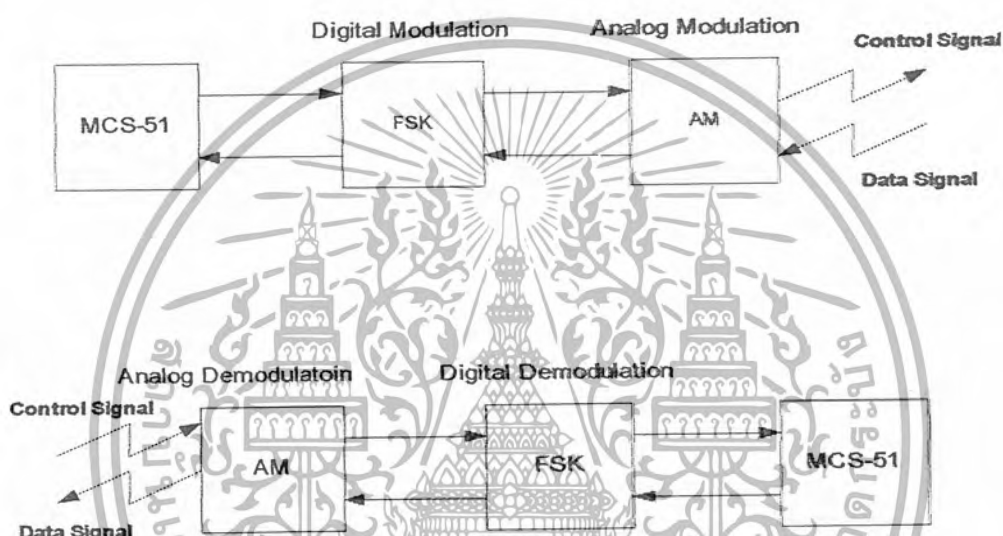
3.5 การออกแบบวงจร FSK

เนื่องจากจะควบคุมหรือส่งข้อมูลกลับไปยังส่วนควบคุมแบบไร้สายผ่านช่องสัญญาณ Wireless Video and Audio ช่องสัญญาณตัวกล้อง ในช่องสัญญาณ Video นั้นจะเป็นการ Mod สัญญาณ Analog แบบ AM โดยมีความถี่พาหะให้เล็กลงอยู่ที่ความถี่เพื่อให้เหมาะสมกับการใช้งาน โดยมีความถี่ประมาณ 1 MHz ถึงประมาณ 4 MHz และสัญญาณภาพจะมีความถี่ตั้งแต่ 50 Hz ถึง 500 KHz ส่วนสัญญาณเสียงจะมีความถี่ประมาณ 300 Hz ถึงประมาณ 3 KHz สัญญาณที่ใช้

ควบคุมรถ (Motor กระแสตรง) เป็นสัญญาณดิจิทัล (ใช้การสื่อสารข้อมูลอนุกรมแบบมีพาริตีบิต)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นถ้าต้องการส่งสัญญาณควบคุมผ่านช่องทางไร้สายของถดถองจะต้องใช้การมอดคูเลตสัญญาณดิจิตอลให้เป็นสัญญาณอนาลอกก่อนซึ่งมีหลายวิธี โดยการนำสัญญาณดิจิตอลมาเปลี่ยนขนาดและแอมปริจูดหรือความถี่อย่างใดอย่างหนึ่งหรือทั้งความถี่และแอมปริจูดและเฟสแล้วจึงนำไป Modulation เข้ากับความถี่พาหะ ส่งสัญญาณไร้สายผ่านอากาศไปยังตัวรับ ตัว Demoduration จะถอดสัญญาณออกจากความถี่พาหะแล้วสัญญาณที่ได้จะถูกถอดจากสัญญาณอนาลอกกลับมาเป็นสัญญาณดิจิตอลเพื่อนำไปใช้งานต่อไปครูปประกอบ



รูปที่ 3.13 วิธีการสื่อสารของไมโครคอนโทรลเลอร์ผ่านช่องทางไร้สาย

การมอดคูเลตและดีมอดคูเลตแบบดิจิตอล

การมอดคูเลตเป็นการนำสัญญาณเบสแบนด์ที่เป็นข้อมูลมาเปลี่ยนแปลงเป็นสัญญาณคลื่นพาหะ ดังแสดงดังสมการ

$$f(t) = A \cos(2\pi f_c t + \phi)$$

เมื่อ $f(t)$ เป็นสัญญาณโคไซน์ในเวลาใด ๆ โดย A เป็นแอมปริจูด f_c เป็นความถี่สัญญาณพาหะและ ϕ เป็นเฟส โดยหลัก ๆ แล้ว การมอดคูเลตสัญญาณแบบดิจิตอลจะแบ่งออกเป็น 3 แบบคือ

- 1) Amplitude Shift Keying (ASK) เป็นการมอดคูเลตโดยการเปลี่ยนขนาดแอมปริจูดตามขนาดสัญญาณเบสแบนด์
- 2) Frequency Shift Keying (FSK) เป็นการมอดคูเลตโดยการเปลี่ยนขนาดความถี่ตามขนาดสัญญาณเบสแบนด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3) Phase Shift Keying (PSK)เป็นการมอดูเลตโดยการเปลี่ยนขนาดเฟสตามขนาดสัญญาณเบสแบนด์

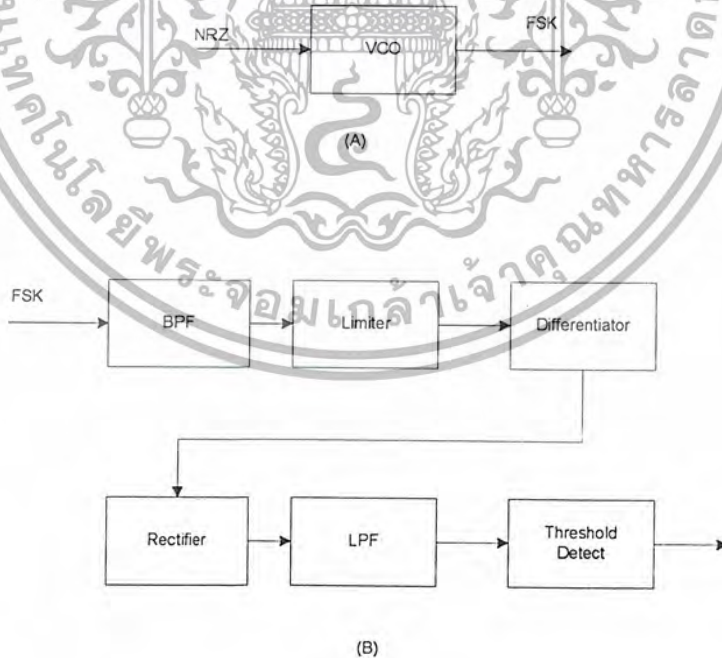
การเลือกใช้การมอดูเลตแบบ FSK

การมอดูเลตแบบ FSK เป็นการมอดโดยการเปลี่ยนแปลงความถี่ไปตามสัญญาณ Base Band ที่เข้ามามอดูเลตหรือเราสามารถแทนค่าความ Binary เป็น 0 และ 1 เป็นค่าความถี่ 2 ค่า ดังแสดงในสมการ

$$f(t) = [A \cos(2\pi f_m t)] = A \cos 2\pi(fc + \Delta f)t$$

$$f(t) = [A \cos(2\pi f_m t)] = A \cos 2\pi(fc - \Delta f)t$$

โดยความถี่ไบนารี 1 มีขนาดความถี่เท่ากับ $A \cos 2\pi(fc + \Delta f)$ และความถี่ที่ส่งค่าไบนารี 0 มีขนาดความถี่เท่ากับ $A \cos 2\pi(fc - \Delta f)$ ซึ่งเป็นการเลื่อน(shift) ค่าความถี่กลางหรือความถี่คลื่นพาห้ที่มีขนาด $(f_m + f_c)/2$ ไปขนาดความถี่ Δf สำหรับวิธีการสร้างสัญญาณ FSK สามารถทำได้โดยใช้วงจรควบคุมความถี่ด้วยแรงดัน (Voltage Control Oscillator : VCO) ขนาดของความถี่เอาต์พุตของวงจร VCO จะขึ้นอยู่กับขนาดแรงดันที่ควบคุมที่อินพุต ดังนั้นถ้าหากอินพุตเป็นแรงดันสองระดับในรูปแบบสัญญาณ ไม่กลับสู่ศูนย์ (NRZ) ที่เอาต์พุตของวงจร VCO จะเป็นสัญญาณโทน 2 ความถี่



รูปที่ 3.14 แสดงวงจรมอดูเลตและดีมอดูเลต FSK

สำหรับวงจรมอดูเลต FSK สามารถใช้หลักการของวงจรตรวจจับการตัดศูนย์ (Zero

Crossing) หรือวงจรเฟสล็อกคัล (Phase locked loop : PLL) โดยการดีมอดูเลตด้วยวงจร

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตรวจจับการตัดศูนย์ประกอบด้วย วงจรกรองความถี่ผ่าน (Limiter) ที่ให้เอาต์พุตเป็นสัญญาณสี่เหลี่ยมที่มีความถี่เท่ากับขนาดสัญญาณ FSK วงจรดิฟเฟอเรนเชียลที่ให้อาต์พุตที่ขึ้นอยู่กับ การเปลี่ยนแปลงระดับของสัญญาณสี่เหลี่ยมอินพุต โดยวงจรฟูลเวฟเร็คติไฟเออร์จะปรับพัลซ์บวกกลับให้เป็นเฉพาะพัลซ์บวกเพื่อหาค่าเฉลี่ยแรงดัน DC ซึ่งขึ้นอยู่กับขนาดของความถี่ สุดท้ายแรงดัน DC เมื่อผ่านวงจรตรวจจับระดับ Threshold จะได้สัญญาณเบสแบนด์

สำหรับขนาดแถบความถี่ ซึ่งขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของสเปกตรัมกำลังของสัญญาณ FSK ประมาณได้

$$BW = f_b + (f_m - f_n)$$

โดยที่ f_b เป็นขนาดอัตราบิต f_m เป็นความถี่ของการส่งค่าไบนารี 1 และ f_n เป็นความถี่ส่งค่าไบนารี 0

CONTROL CHANNEL VIDEO



รูปที่ 3.15 สัญญาณที่แสดงผ่านช่องวิดีโอ

เนื่องจากการใช้กล้องไร้สายส่งภาพจากตัวรถไปยังผู้ใช้โดยภาพที่ส่งจะผ่านช่องทาง Video และต้องการส่งข้อมูลซึ่งก็คือ อุณหภูมิ ปริมาณแบตเตอรี่ และเวลาความเร็วของรถ ตัวกล้องมี

ไมโครโฟนและช่องทาง Audio Channel ส่งสัญญาณข้อมูลกลับไปยังผู้ใช้ได้ และเนื่องจากต้องส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูลทางช่องทางเสียงดังนั้น การมอดคูเลชั่น แบบ fsk ต้องเปลี่ยนสัญญาณ Digital ให้เป็นสัญญาณ Analog ช่วงความถี่เสียง เลือกความถี่ 1.8 k สำหรับ Logic 1 และ 1 k สำหรับ Logic 0 สำหรับสัญญาณที่ผู้ส่งส่งไปควบคุมตัวรถนั้นเราจะใช้ชุดรับส่งไร้สายอีกชุดหนึ่งทำหน้าที่ส่งสัญญาณไปยังตัวรถ โดยจะใช้ fsk modulation ข้อมูลส่งทางช่องวีดีโอ โดยความถี่นั้นต้องใกล้เคียงกับสัญญาณวีดีโอ เลือกใช้ 90 kHz แทน Logic 1 และ 50 kHz แทน Logic 0 สาเหตุที่เลือกใช้ช่องวีดีโอ แทนที่จะเป็นช่องทาง Audio เนื่องจากความถี่สูงนั้นจะมีลูกคลื่นหลายลูกคลื่นในช่วงเวลาที่ Logic 0 และ 1 ดังนั้นโอกาสที่ตัว demoduration จะถอดรหัสผิดพลาดจะมีน้อยลง

$$\text{สัญญาณ Sin } 50 \text{ kHz } 1 \text{ ลูกคลื่นใช้เวลา } \frac{1}{50 \text{ kHz}} = 2 \times 10^{-5} \text{ s}$$

ความเร็วในการส่งข้อมูล 1200 bits/s

$$1 \text{ บิตใช้เวลา } \frac{1}{1200} = 8.3 \times 10^{-4} \text{ s}$$

ดังนั้นช่วงเวลา 1 บิตจะมีสัญญาณ Sine 50 kHz = 41.67 ลูกคลื่นถ้าหากกำหนดใช้สัญญาณ Sine มีจำนวนลูกคลื่นเป็นจำนวนเต็ม จะสามารถ Demoduration ได้ถูกต้องมากขึ้น (แต่เนื่องจากข้อจำกัดของค่า R,C ไม่สามารถทำได้)

สำหรับวงจร Mod fsk และ Demod fsk จะมี IC ดำเนินรูปอยู่ 2 เบอร์ คือ XR 2206 สำหรับเป็นตัว Mod fsk ส่วนอีกตัวคือ XR 2211 เป็นตัวสำหรับ Demod คุณสมบัติการใช้งานของวงจร XR 2211 และ XR 2206

การเข้ารหัสของ FSK (Moduration)

เราจะเลือกใช้ IC XR 2206 ทำหน้าที่เป็นวงจรเข้ารหัสแบบ FSK จะทำหน้าที่แปลงระดับสัญญาณที่มีความถี่อยู่ 2 ความถี่คือ

$$\text{TTL ขนาด } 5 \text{ โวลต์ หรือลอจิก "1"} \quad f_1 = 5 \text{ kHz}$$

$$\text{TTL ขนาด } 0 \text{ โวลต์ หรือลอจิก "0"} \quad f_2 = 10 \text{ kHz}$$

โดยขา 9 ทำหน้าที่เป็นขาอินพุตและขา 2 ทำหน้าที่เป็นขาเอาต์พุต ส่วนความเร็วในการส่งข้อมูลมีค่าเท่ากับ 2400 Band rate ซึ่งค่าที่ต้องคำนวณหาคือค่า R1 และ R2 โดยใช้ค่า

$$C = 0.01 \mu\text{F}$$

การออกแบบส่วนของการเข้ารหัส FSK

1. ใช้ IC XR-2206
2. ใช้ Band Rate 2400 bit/sec
3. ใช้อินพุตเป็นระดับแรงดัน 0 Volt กับระดับแรงดัน 5 Volt
4. คุณสมบัติโดยทั่วไปของ XR-2206

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- แหล่งจ่ายไฟเลี้ยง 10-26 Volt
- สามารถผลิตคลื่นรูปซายน์ สามเหลี่ยม สี่เหลี่ยม แรมพ์
- สามารถผลิตความถี่ได้ตั้งแต่ไม่กี่เฮิรตจนถึงหลายร้อยกิโลเฮิรท์
- อิมพีแดนซ์เท่ากับ 600 โอห์มที่ขาสอง
- Output รูปซายน์มีค่าสูงสุด 2 Volt(rms)
- ค่า t.h.d (total harmonic distortion) ของรูปซายน์สามารถปรับให้เหลือเพียง 0.5 % โดยต่อความต้านทานระหว่างขา 13 และ 14 ด้วยค่าประมาณ 200 ถึง 300 โอห์ม

5. โครงสร้างภายในของ XR-2206 ประกอบด้วย 4 function block คือ

- a voltage controlled oscillator (VCO)
- analog multiplier & sine shaper
- a unity gain buffer amplifier
- a set of current switches

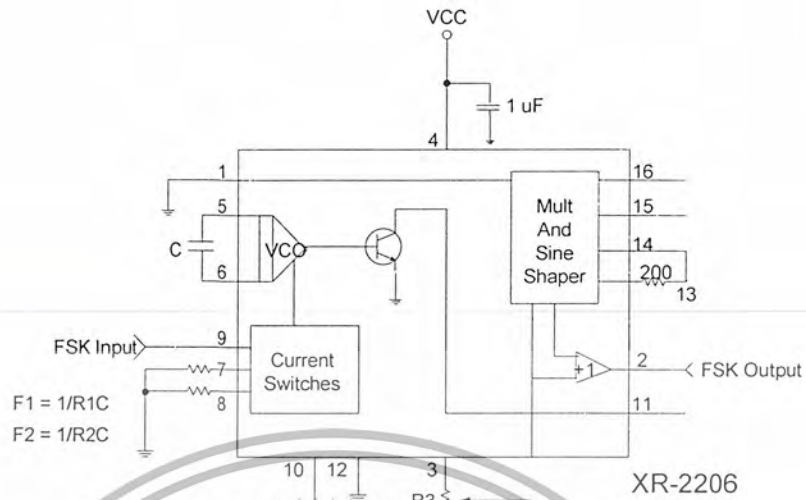
คำนวณค่าในวงจร

- กำหนด Band rate 2400 bit/sec
- กำหนดคลอจิก "1" หรือแรงดัน 5 Volt เข้ามาที่อินพุต IC XR-2206 จะต้องผลิตความถี่ $f_1 = 5 \text{ kHz}$
- กำหนดคลอจิก "1" หรือแรงดัน 5 Volt เข้ามาที่อินพุต IC XR-2206 จะต้องผลิตความถี่ $f_1 = 10 \text{ kHz}$
- ซึ่ง f_1 และ f_2 สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$f = 1/(RC)$$

C คือค่า timing capacitor ซึ่งมีค่าระหว่าง 1000 pF ถึง 100 μF

R คือค่า timing resistor ซึ่งมีค่าระหว่าง 4 กิโลโอห์ม ถึง 200 กิโลโอห์ม เพื่อให้เกิดการคงตัวของอุณหภูมิ (temperature stability) และความเพี้ยนของสัญญาณซายน์น้อยที่สุด



รูปที่ 3.16 แสดงวงจร XR-2206

การถอดรหัสของวงจรถอดรหัส FSK (Demoduration)

IC XR-2211 เป็นไอซีที่ทำหน้าที่ถอดรหัส FSK โดยขาอินพุตของ XR-2211 จะรับสัญญาณอนาล็อก 2 ความถี่เข้ามาทำการแปลงสัญญาณไปเป็นสัญญาณ TTL กลับคืน

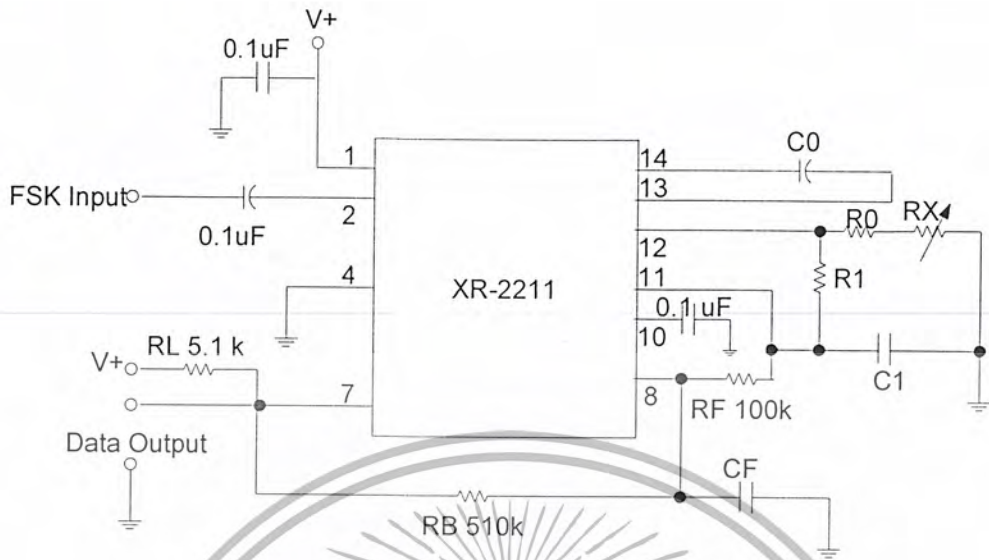
$f_1 = 5 \text{ kHz}$ TTL ขนาด 5 โวลต์ หรือลอจิก "1"

$f_2 = 10 \text{ kHz}$ TTL ขนาด 0 โวลต์ หรือลอจิก "0"

ขั้นตอนการออกแบบส่วนของวงจรถอดรหัส FSK

1. ใช้ไอซี XR-2211
2. Band rate 2400 bit/sec
3. อินพุตของวงจรถอดรหัสคือความถี่ 5 kHz และความถี่ 10 kHz
4. คุณสมบัติโดยทั่วไปของ XR-2211
 - แหล่งจ่ายไฟเลี้ยงอยู่ระหว่าง 4.5 ถึง 20 Volt
 - ทำงานได้ในย่านความถี่ตั้งแต่ 0.01 Hz ถึง 300 kHz
 - แหล่งจ่ายไฟเลี้ยงอยู่ระหว่าง 4.5 ถึง 20 volt
 - ทำงานได้ในย่านความถี่ตั้งแต่ 0.01 Hz ถึง 300 kHz
 - รับสัญญาณอินพุตได้ช่วงกว้างตั้งแต่ 2 mV จนถึง 3 V
 - ใช้งานร่วมกับอุปกรณ์ทางลอจิกที่เป็นมาตรฐานได้แก่ DTL TTL ECL

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.17 แสดงวงจรดีมอดูเลต

คำนวณวงจร

1. กำหนดความถี่ 5 KHz เข้ามาที่ อินพุตแล้วที่เอาต์พุตจะต้องได้ลอจิก "1" หรือแรงดัน 5 V
2. กำหนดความถี่ 10 kHz เข้ามาที่อินพุตแล้วที่เอาต์พุตจะต้องได้ลอจิก "0" หรือแรงดัน 0 V
3. คำนวณความถี่กลางของเฟสล็อกคูลูป หรือ f_0 โดยการคำนวณจากสูตรดังสูตรต่อไปนี้

$$f_0 = (f_1 + f_2) / 2$$

เมื่อความถี่ทางด้านส่ง $f_1 = 5 \text{ kHz}$ และ

เมื่อความถี่ทางด้านส่ง $f_2 = 10 \text{ kHz}$

ได้ $f_0 = 7.071 \text{ kHz}$

4. กำหนดค่า timing capacitor (C_0) ซึ่งต่อระหว่างขา 13 และ 14 มีค่าเท่ากับ $0.022 \mu\text{F}$ ซึ่งควรเลือกใช้ค่าที่อยู่ระหว่าง 200 pF จนถึง $10 \mu\text{F}$ เลือกใช้ $C_0 = 5.6 \text{ nF}$

5. คำนวณหาค่าความต้านทาน R_0 จากสูตรดังนี้

ซึ่งค่าความต้านทาน R_0 เป็น timing resistor ควรจะมีค่าคงที่อยู่ระหว่าง $10 \text{ k}\Omega$ ถึง $100 \text{ k}\Omega$

$$R_0 = 1 / (f_0 \times C_0)$$

$$R_0 = 1 / (7.07 \text{ kHz} \times 5.6 \text{ nF} = 25.25 \text{ k}\Omega$$

ฉะนั้นใช้ค่าความต้านทาน R_0 เป็นความต้านทานคงที่ค่าหนึ่งกับค่าความต้านทานปรับค่าได้

โดยใช้ค่าความต้านทานคงที่เท่ากับ $20 \text{ k}\Omega$ กับความต้านทานปรับค่าได้ $10 \text{ k}\Omega$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. คำนวณหาค่าความต้านทาน R1 ซึ่งความต้านทานนี้ทำหน้าที่เพื่อกำหนดแบนด์วิดธ์

$$R_1 = 2R_0[f_0/(f_1-f_2)]$$

$$R_1 = 71.4 \text{ k}\Omega$$

ฉะนั้นเลือกใช้ตัวต้านทานปรับค่าได้ 70 kΩ

7. คำนวณค่าคาปาซิเตอร์ (C1) เพื่อกำหนดค่าคงที่ทางเวลาของลูปฟิลเตอร์และค่าลูป แคมป์ ซึ่งมีค่า $\xi = 1/2$

$$C_1 = (1250 \times C_0)/(R_1 \times \xi^2)$$

$$C_1 = 392 \text{ pF}$$

ฉะนั้นเลือก capacitor 400 pF

8. ค่าคาปาซิเตอร์ (CF) และค่าตัวต้านทาน RF ทำหน้าที่เป็น One Post – Detection สำหรับสัญญาณเอาต์พุต ซึ่งค่าคาปาซิเตอร์(CF) มีหน่วยเป็น μF สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$R_F \text{ ต้องไม่น้อยกว่า } 5 \text{ เท่า ของ } R_1, R_F = 5 \times 71.4 = 357 \text{ k}\Omega$$

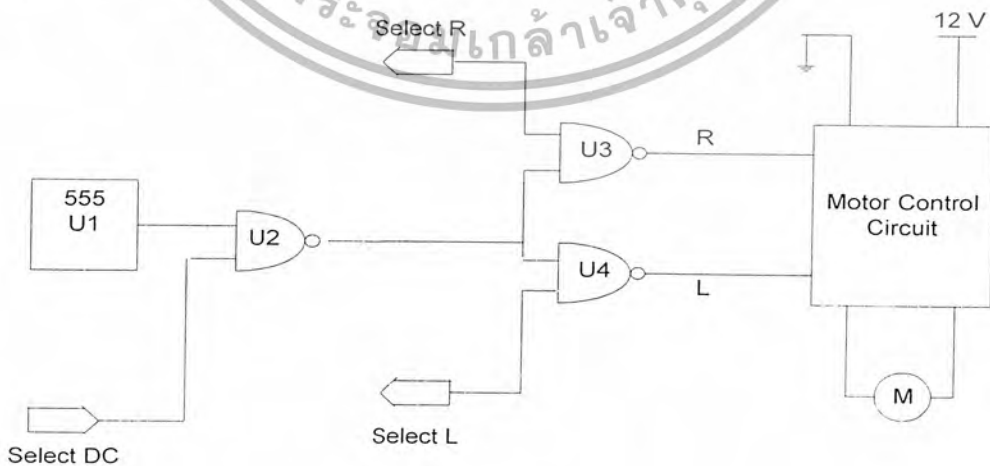
$$R_B \text{ ต้องไม่น้อยกว่า } 5 \text{ เท่า ของ } R_F, R_B = 5 \times 71.4 = 357 \text{ k}\Omega$$

$$R_{\text{sum}} = (R_F + R_1) \times R_B / (R_1 + R_F + R_B) = 1.5 \text{ M}\Omega$$

$$C_F = 0.25 / (\text{Band Rate} \times R_{\text{sum}}) = 300 \text{ pF}$$

3.6 วงจรควบคุมความเร็วของรถ

จากเดิมใช้แรงดันไฟตรงจ่ายให้กับมอเตอร์โดยผ่านวงจรควบคุมมอเตอร์เพื่อกำหนดทิศทางการหมุน ถ้าแรงดันที่จ่ายไปยังมอเตอร์ลดลงหรือใช้แรงดันเฉลี่ยแทนที่ความเร็วการหมุนมอเตอร์จะลดลง แรงดันเฉลี่ยนั้นสร้างขึ้นจากแรงดันค่าคลื่นรูปสามเหลี่ยมเลือกใช้วงจร 555 A stable



รูปที่ 3.18 วงจร Motor Control circuit

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. คำนวณค่าความต้านทาน R_1 ซึ่งความต้านทานนี้ทำหน้าที่เพื่อกำหนดแบนด์วิดธ์

$$R_1 = 2R_0[f_0/(f_1-f_2)]$$

$$R_1 = 71.4 \text{ k}\Omega$$

ฉะนั้นเลือกใช้ตัวต้านทานปรับค่าได้ $70 \text{ k}\Omega$

7. คำนวณค่าคาปาซิเตอร์ (C_1) เพื่อกำหนดค่าคงที่ทางเวลาของลูปฟิลเตอร์และค่าลูปแอมป์ ซึ่งมีค่า $\xi = \frac{1}{2}$

$$C_1 = (1250 \times C_0)/(R_1 \times \xi^2)$$

$$C_1 = 392 \text{ pF}$$

ฉะนั้นเลือกใช้ capacitor 400 pF

8. ค่าคาปาซิเตอร์ (C_F) และค่าตัวต้านทาน R_F ทำหน้าที่เป็น One Post – Detection สำหรับสัญญาณเอาต์พุต ซึ่งค่าคาปาซิเตอร์ (C_F) มีหน่วยเป็น μF สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$R_F \text{ ต้องไม่น้อยกว่า 5 เท่า ของ } R_1, R_F = 5 \times 71.4 = 357 \text{ k}\Omega$$

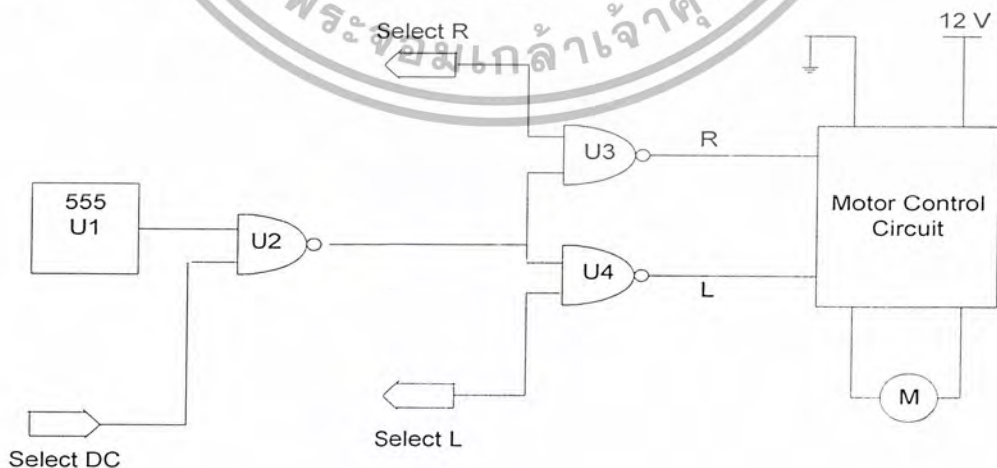
$$R_B \text{ ต้องไม่น้อยกว่า 5 เท่า ของ } R_F, R_B = 5 \times 357 = 1785 \text{ k}\Omega$$

$$R_{\text{sum}} = (R_F + R_1) \times R_B / (R_1 + R_F + R_B) = 1.5 \text{ M}\Omega$$

$$C_F = 0.25 / (\text{Band Rate} \times R_{\text{sum}}) = 300 \text{ pF}$$

3.6 วงจรควบคุมความเร็วของรถ

จากเดิมใช้แรงดันไฟตรงจ่ายให้กับมอเตอร์โดยผ่านวงจรควบคุมมอเตอร์เพื่อกำหนดทิศทางการหมุน ถ้าแรงดันที่จ่ายไปยังมอเตอร์ลดลงหรือใช้แรงดันเฉลี่ยแทนที่ความเร็วการหมุนมอเตอร์จะลดลง แรงดันเฉลี่ยนั้นสร้างขึ้นจากแรงดันค่าคัสรูปสามเหลี่ยมเลือกใช้วงจร 555 A stable



รูปที่ 3.18 วงจร Motor Control circuit

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนความถี่ที่เหมาะสมนั้นขึ้นอยู่กับมอเตอร์ที่ใช้การกำหนดแรงดันเฉลี่ยให้กับมอเตอร์นั้น มีอยู่ 2 วิธีคือ

1. เปลี่ยนความถี่
2. เปลี่ยน Duty cycle

หรือใช้ทั้งสองวิธีความถี่กัน แม้โดยมากจะกำหนดความถี่ไว้ที่ค่าหนึ่ง ๆ แล้วใช้ Duty cycle เป็นตัวกำหนดแรงดันเฉลี่ย

การทำงานของวงจรถ่าย 555 ทำงานในโหมด A stable (ส่วนค่าความถี่และค่า Duty cycle จะกล่าวถึงในผลการทดลองและใช้ NAND Gate ทำหน้าที่เลือกว่าจะใช้คลื่นสี่เหลี่ยมจาก 555 หรือจะใช้สัญญาณ DC (Select DC) จากนั้นสัญญาณที่ได้จะส่งให้ NAND Gate อีกชุดทำหน้าที่ควบคุมมอเตอร์ การกำหนดค่าจาก True Table ของ NAND Gate

ตารางที่ 3.1 ค่าความจริง ตารางสรุปค่าการควบคุมความเร็วมอเตอร์

555	Select DC	U 2 out	Select R(or L)	V ₃ (or V ₄) out
0	0	1	0	1
0	1	1	0	0
1	0	1	1	0
1	1	0	0	1

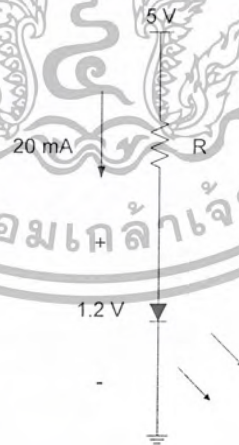
A	B	Y
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Speed	Control	กราฟ
Gear 1	Set select DC (H) Set select Rotor (L)	
Gear 2	Set select DC (L) Set select Rotor (L)	
Stop	Set select DC (L) Set select Rotor (H)	

3.7 วงจรวัดความเร็ว / ระยะทาง

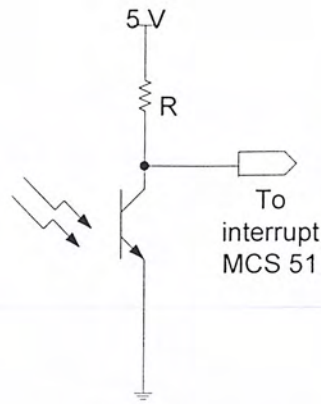
จะใช้อุปกรณ์แสง Infrared Diode และ Opto transistor นับจำนวนรอบของล้อที่หมุนไป และใช้การคำนวณเข้าช่วยเพื่อหาความเร็วและระยะทาง



รูปที่ 3.19 อินฟราเรดไดโอด

$$R = \frac{5 - 1.2}{20\text{mA}} = 190 \text{ โอห์ม โดยเราจะเลือกใช้ } 220 \text{ โอห์ม}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.20 Opto Transistor

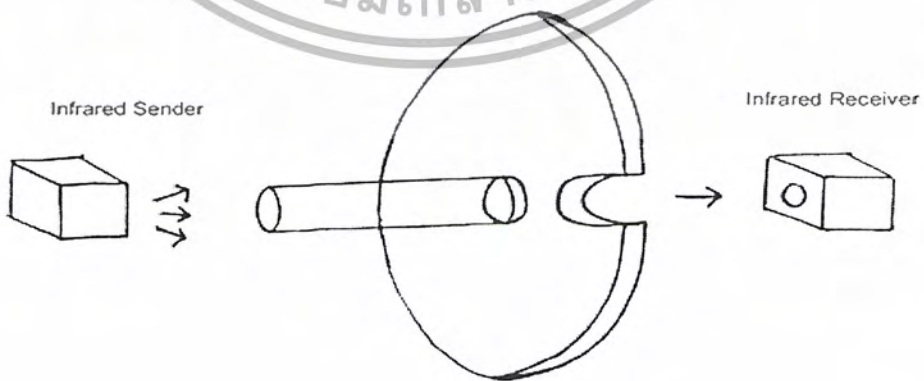
เนื่องจาก Data Sheet ไม่ได้บอก V_{CC} และ I_B หรือค่าเลย ยังไม่สามารถคำนวณหาค่า R ได้ Data Sheet ควรมีย่านค่า ๆ ซึ่งได้ใช้ 100 กิโลโอห์ม

การคำนวณความเร็ว

$$V = \frac{S}{T}$$

จากรูปตัวรับ Inferred จะรับแสงจากตัวส่งได้ทุก ๆ รอบของการหมุนของล้อ โดยเมื่อล้อครบ 1 รอบ จะมีสัญญาณ Interrupt ไปให้สัญญาณ 51 ทำหน้าที่นับจำนวนรอบและ 51 จะเป็นตัวนับเวลาด้วย ดังนั้นจะสามารถคำนวณความเร็วได้

$$V = \frac{2\pi r}{T}$$

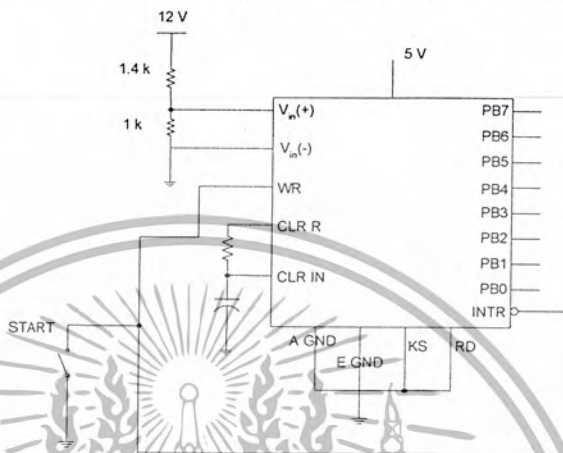


รูปที่ 3.21 ส่วนของเฟลากับตัวส่งและรับอินฟราเรด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.8 วงจรวัดแบตเตอรี่

ใช้ IC สำเร็จรูป ADC 0804 เพื่อความสะดวกอุปกรณ์น้อยและราคาไม่แพงมาก สามารถวัดได้ละเอียดสามารถนำไปใช้งานได้หลากหลายที่รูปแบบ A/D Converter แบบอื่น ๆ แสดงดังรูป



รูปที่ 3.22 รูปแสดงวงจรวัดแบตเตอรี่

เรานำมาใช้วัดแรงดัน 12 V แต่ Input ของ ADC 0804 เป็น 5 V ต้องทำการ Divide

หรือ

$$5 = 12 \times \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

กำหนด $R_1 = 1 \text{ k}$

$R_2 = 1.4 \text{ k}$

ตารางที่ 3.2 แสดง ค่าแรงดันเทียบกับเลขฐานสอง ในทางทฤษฎี และที่ได้จากผลการทดลอง

เลขฐานสิบ	แรงดัน (V)	เลขฐานสอง	เลขฐานสิบจากเลขฐานสองสี่บิตบน
0	0	0	0
1	0.047	00000001	0
2	0.094	00000010	0
3	0.141	00000011	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4	0.188	00000100	0
5	0.235	00000101	0
6	0.282	00000110	0
7	0.329	00000111	0
8	0.376	00001000	0
9	0.423	00001001	0
10	0.47	00001010	0
11	0.517	00001011	0
12	0.564	00001100	0
13	0.611	00001101	0
14	0.658	00001110	0
15	0.705	00001111	0
21	0.987	00010101	1
43	2.021	00101011	2
48	2.256	00110000	3
64	3.008	01000000	4
85	3.995	01010101	5
106	4.982	01101010	6
112	5.264	01110000	7
128	6.016	10000000	8
149	7.003	10010101	9
170	7.99	10101010	10
191	8.977	10111111	11
192	9.024	11000000	12
213	10.011	11010101	13
234	10.998	11101010	14
255	11.985	11111111	15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4	0.188	00000100	0
5	0.235	00000101	0
6	0.282	00000110	0
7	0.329	00000111	0
8	0.376	00001000	0
9	0.423	00001001	0
10	0.47	00001010	0
11	0.517	00001011	0
12	0.564	00001100	0
13	0.611	00001101	0
14	0.658	00001110	0
15	0.705	00001111	0
21	0.987	00010101	1
43	2.021	00101011	2
48	2.256	00110000	3
64	3.008	01000000	4
85	3.995	01010101	5
106	4.982	01101010	6
112	5.264	01110000	7
128	6.016	10000000	8
149	7.003	10010101	9
170	7.99	10101010	10
191	8.977	10111111	11
192	9.024	11000000	12
213	10.011	11010101	13
234	10.998	11101010	14
255	11.985	11111111	15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากวงจร ADC แปลงแรงดัน จาก 12 โวลต์เป็น เลข 8 บิต ซึ่งเลข 8 บิตนั้นแต่ละบิต สามารถมีได้ สองค่า คือ 1 กับ 0 จะได้ว่า ความละเอียดทั้งหมดเป็นไปได้ $2^8 - 1 = 255$ ดังนั้นแต่ละบิต ของเลขฐาน 2 มีค่าเท่ากับ $12 / 255 = 0.047$ โวลต์ ดังแสดงรายละเอียดในตารางที่

3.1

3.9 โปรแกรมกำหนดพิคัดของแขนกล

เนื่องจากมอเตอร์ที่ใช้เป็นมอเตอร์กระแสตรงจึงไม่สามารถกำหนดขนาดของมุมที่หมุนไป หรือจำนวนรอบของการหมุนได้ถูกต้องเหมือน Step motor แต่เราสามารถใช้ในการคำนวณและการทดลองรวมถึงการใช้ Limit switch ช่วยก็จะสามารถกำหนดมุมของการหมุนหรือจำนวนรอบได้

จากรูปเราจะใช้ Limit switch นับจำนวนรอบของการหมุน โดยใช้ MCS 51 เป็นตัวนับเราก็สามารถกำหนดจำนวนรอบของการหมุนได้



รูปที่ 3.23 แสดงตัว Limit switch

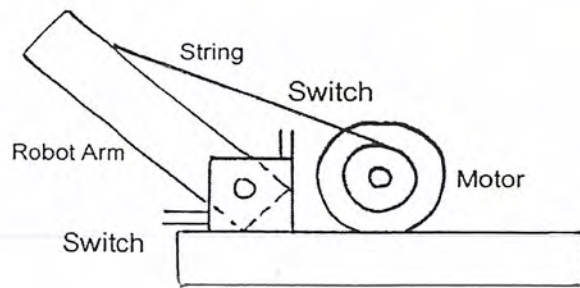
แต่ถ้าหากการหมุนที่เป็นมุมของการหมุนเราจะใช้เวลาช่วย โดยจับเวลาว่า 1 รอบ ใช้เวลาเท่าไร ถ้าต้องการมุมของการหมุนก็จะใช้หลักการเปรียบเทียบสัดส่วนตามสูตร $\frac{360}{T}$

ถ้าหากต้องการมุมเท่าไร เราจะใช้ MCS-51 ส่งให้ Motor หมุน เป็นเวลา t แต่ทั้งนี้จะมีค่าความผิดพลาดเกิดขึ้นแน่นอนถ้ามอเตอร์ใช้เวลาในการหมุนแต่ละรอบไม่เท่ากันหรือเมื่อมอเตอร์รับโหลดเพิ่มขึ้น วิธีแก้ไขคือ ใช้เวลาเฉลี่ย หรือกำหนดสถานะการหมุนไว้หลาย ๆ แบบ เช่น No load , Load = 100 g หรือ Load = 500 g

ลักษณะการกำหนดพิคัดการหมุนของมอเตอร์จะใช้กำหนดพิคัดของแขนกลแสดงผลใน

รูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.24 แสดงการติดตั้งลิมิตสวิตช์เข้ากับแขนกล

จากรูป Limit switch จะกำหนดขอบเขตของการเคลื่อนที่ของแขน ถ้าเรากำหนดให้ SW 1 เป็นจุดเริ่มต้นและใช้หลักการเปรียบเทียบเวลา เราจะสามารถกำหนดมุมของการเคลื่อนที่ของแขนได้ ดังนั้นเราก็จะสามารถกำหนดพิสัยของแขนได้ ในโครงการนี้จะใช้เพียงเป็นการ Initial ตำแหน่งเริ่มต้นของแขนเท่านั้นถ้าต้องการให้แขนกลทำงานในโหมดอัตโนมัติได้นั้นต้องพัฒนาต่อไป

3.10 การออกแบบโปรแกรมควบคุมไฟฟ้าและแขนกลขนาดเล็ก

รูปวงจรรวมดังแสดงในรูปที่ 3.25 โดยวงจรต่างๆ ทำหน้าที่ต่างๆ ดังนี้

วงจร A/D ใช้ในการวัดแบตเตอรี่

วงจร D/A ใช้ควบคุมความเร็วมอเตอร์

วงจร Keypad ใช้ควบคุมมอเตอร์และเป็น Limit switch กำหนดระยะของมอเตอร์

วงจรวัดอุณหภูมิ ใช้วัดอุณหภูมิของสิ่งของที่จับ

วงจร Buzzer และ LCD แสดงผล

โดยแบ่ง MCS-51 เป็น Master และ Slave ตัว Master ทำหน้าที่รับ Keypad ควบคุมมอเตอร์และแสดงผลแรงดันของแบตเตอรี่ อุณหภูมิ ที่ส่งมาจาก Slave แสดงผลบนจอ LCD และส่งสัญญาณเตือนทาง Buzzer

ส่วนตัว Slave ทำหน้าที่รับสัญญาณควบคุมจากตัว Master เป็นตัวสั่งงานมอเตอร์ ควบคุมการทำงานของวงจรวัดแบตเตอรี่และวงจรวัดอุณหภูมิ รับค่าจาก Limit Swicth ควบคุม

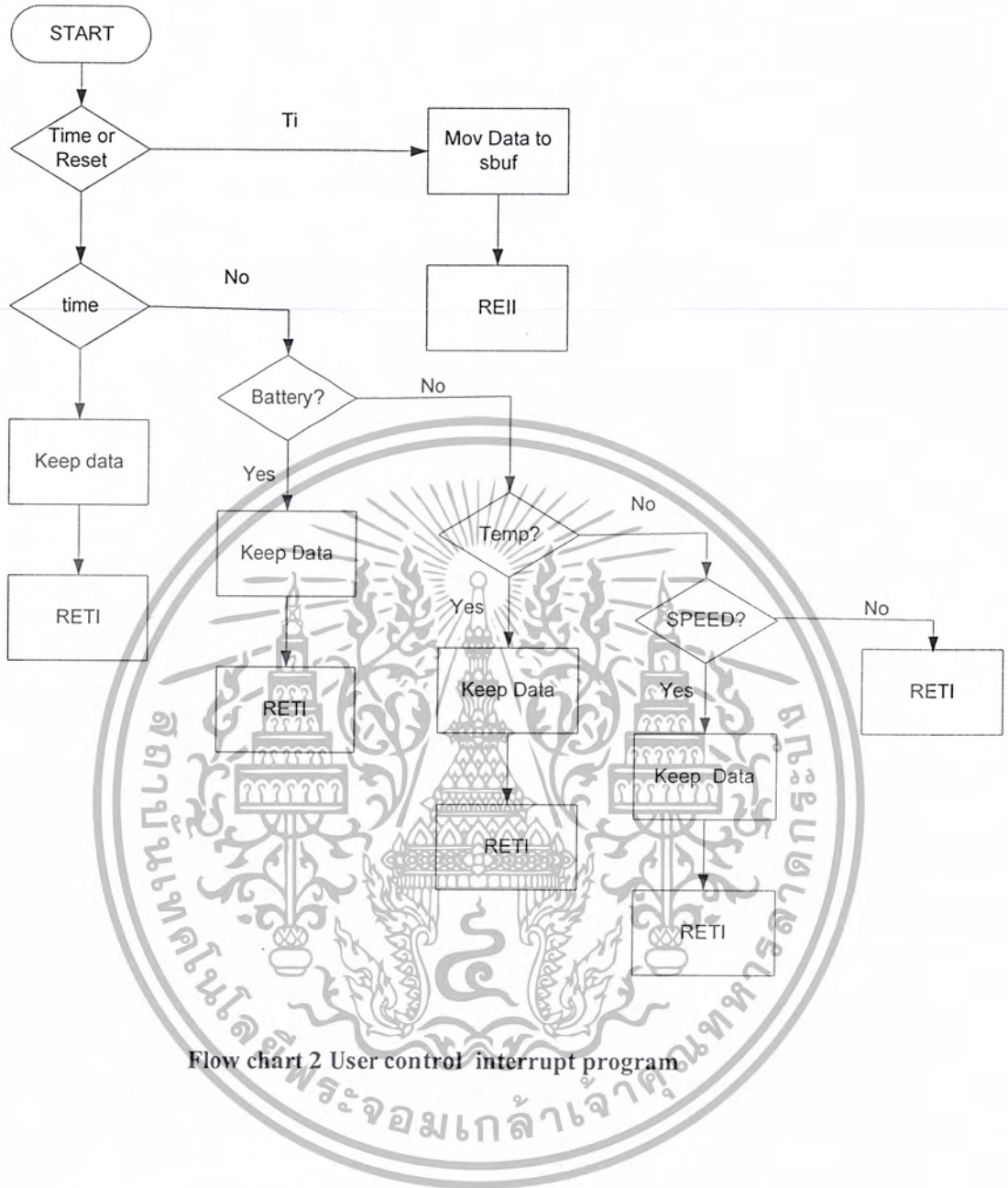
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขอบเขตหมุนของมอเตอร์เพื่อสั่งไบแสดงผลที่ตัว Master แสดงผลตามรูปแบบ Flowchart ดังรูป
ต่อไปนี่



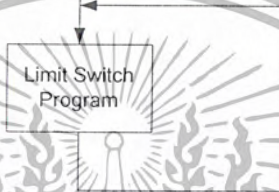
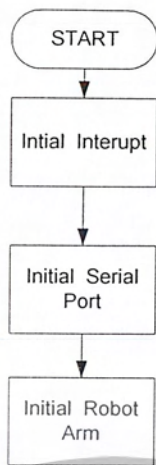
Flow chart 1 User control main program

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Flow chart 2 User control interrupt program

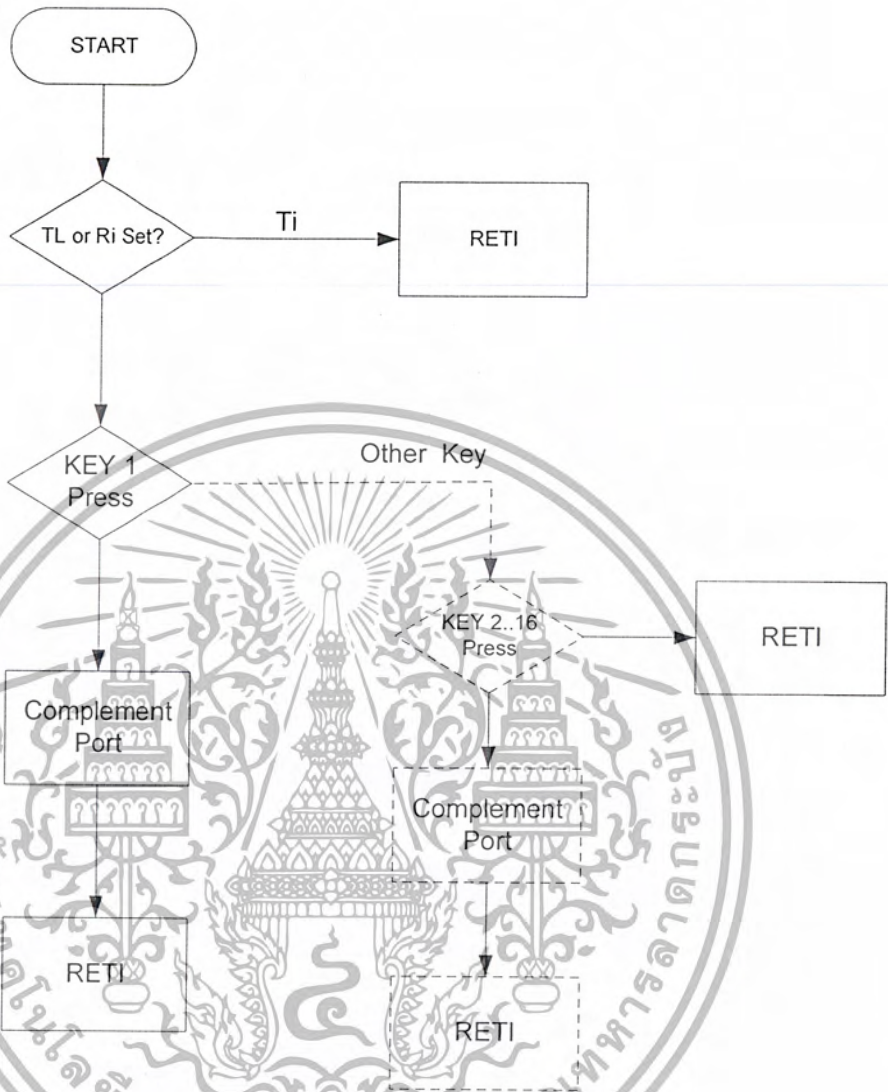
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Flow chart 3 Motor control main program

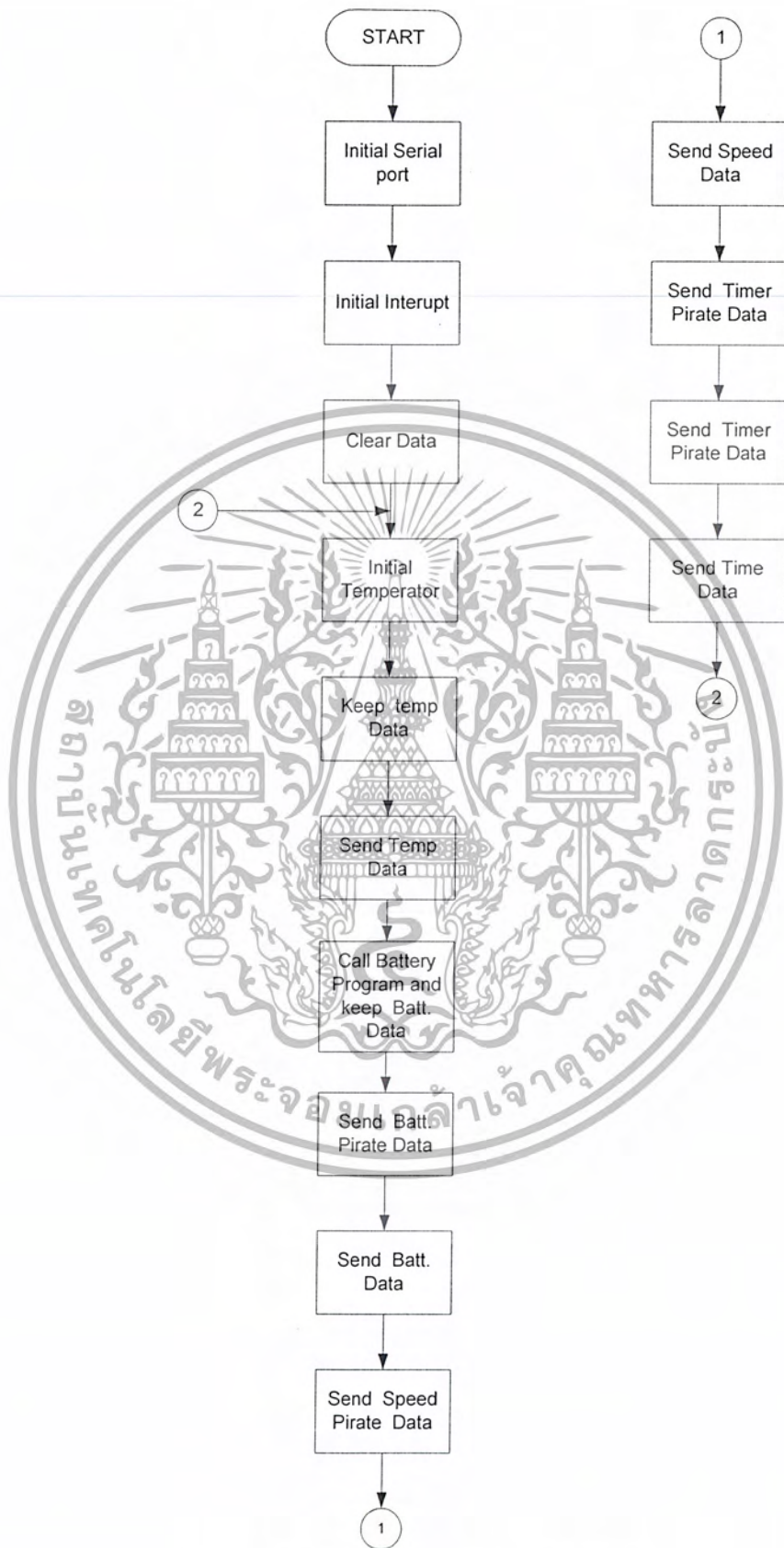


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Flow chart 4 motor control interrupt

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



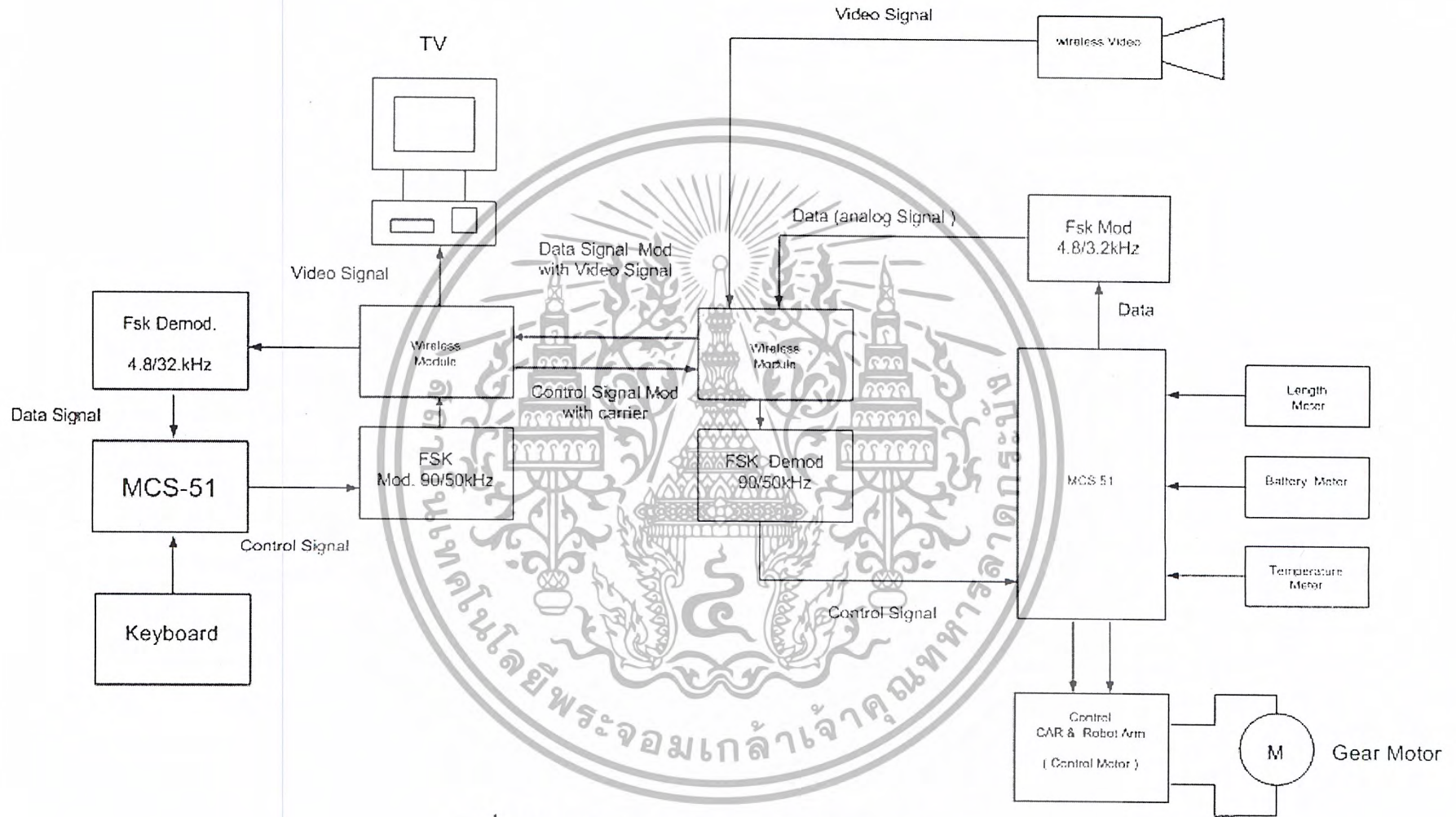
Flow chart 5 Keep Data main program

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Flow chart 7 Keep data external interrupt

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.25 แสดง Box Diagram ของ วงจรรวม

บทที่ 4

ผลการทดลองและสรุป

4.1 ผลการทดลองวงจรวัดแบตเตอรี่

ตารางที่ 4.1 แสดง ค่าแรงดันเทียบกับเลขฐานสอง ในทางทฤษฎี และที่ได้จากผลการทดลอง

เลขฐานสิบ	แรงดัน (V)	เลขฐานสอง	เลขฐานสิบจาก เลขฐานสองสี่บิตบน	ผลการ ทดลอง
0	0	0	0	00000000
1	0.047	00000001	0	-
2	0.094	00000010	0	-
3	0.141	00000011	0	-
4	0.188	00000100	0	-
5	0.235	00000101	0	-
6	0.282	00000110	0	-
7	0.329	00000111	0	-
8	0.376	00001000	0	-
9	0.423	00001001	0	-
10	0.47	00001010	0	-
11	0.517	00001011	0	-
12	0.564	00001100	0	-
13	0.611	00001101	0	-
14	0.658	00001110	0	-
15	0.705	00001111	0	00001111
21	0.987	00010101	1	00010110
43	2.021	00101011	2	00101100
48	2.256	00110000	3	00110001
64	3.008	01000000	4	01000000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

85	3.995	01010101	5	01010101
106	4.982	01101010	6	01101011
112	5.264	01110000	7	01110001
128	6.016	10000000	8	10001010
149	7.003	10010101	9	10010010
170	7.99	10101010	10	10100010
191	8.977	10111111	11	10111010
192	9.024	11000000	12	11000000
213	10.011	11010101	13	11010101
234	10.998	11101010	14	11101011
255	11.985	11111111	15	11111111

ค่าที่ได้จากตารางแสดงให้เห็นว่า ข้อมูลสี่บิตบน ไม่เพี้ยนมากหรือไม่เพี้ยนเลย และค่าที่ได้จากสี่บิตบน เกือบเป็นเลขจำนวนเต็มในสัญญาณอนาล็อก ทำให้สามารถนำไปใช้งานง่าย อีกทั้งวงจรวัดแบตเตอรี่ ไม่ต้องการความละเอียดมาก

ในการนำไปใช้งานในการเขียนไมโครคอนโทรลเลอร์ สามารถ กำหนดค่าใหม่เช่น ค่าที่ได้จากวงจร ADC เป็น 1111

สามารถกำหนดใหม่ให้สอดคล้องกับค่าอนาล็อกคือ 1100 (12 V) ให้ตรงกับค่าอินพุตที่ได้เพื่อนำไปใช้งานต่อไป

4.2 ผลการทดลอง วงจรควบคุมมอเตอร์

ทำการทดลองโดยการเพิ่ม โหลดให้กับมอเตอร์แล้วทดสอบดูว่าวงจรควบคุมมอเตอร์จ่ายกระแสได้เท่าไร และแรงดันตกอย่างไร

ตารางที่ 4.2 แสดงความสามารถในการจ่ายกระแสและแรงดันของวงจรควบคุมมอเตอร์

โหลด / การหมุนของมอเตอร์	กระแส (A)	แรงดัน (V)
No load	0.2	12
Load	0.3	12
Full load (มอเตอร์หยุดหมุน)	0.5	12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

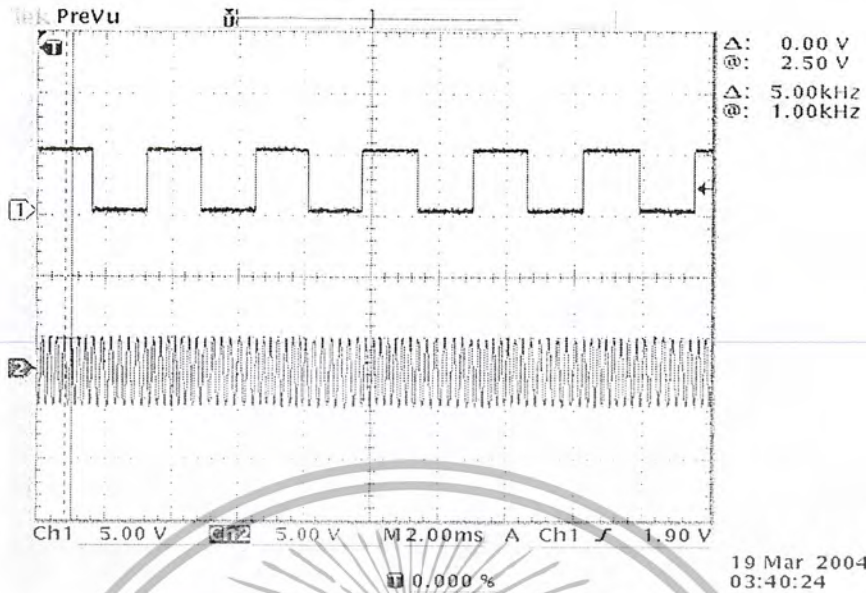
4.3 การทดลองและผลการทดลองวงจร FSK

การทดลองวงจร Modulation fsk 4.8/3.2 kHz

1. ต่อดังรูป โดยกำหนด $R_1 = 15 \text{ k}\Omega$, $R_2 = 10 \text{ k}\Omega$, $C = 20 \text{ nF}$
2. ใช้ฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์จ่ายสัญญาณ TTL ขนาด 1200 Hz เข้ากับที่ Input
3. ใช้ prob ch 1 จับสัญญาณที่ input และใช้ prob ch 2 จับสัญญาณที่ output เปรียบเทียบสัญญาณที่ได้ปรับ VR1 และ VR2 ให้ความถี่ของ logic 1 เป็น 1.8 kHz และ logic 0 เป็น 1 kHz ผลที่ได้แสดงดังรูปด้านล่าง



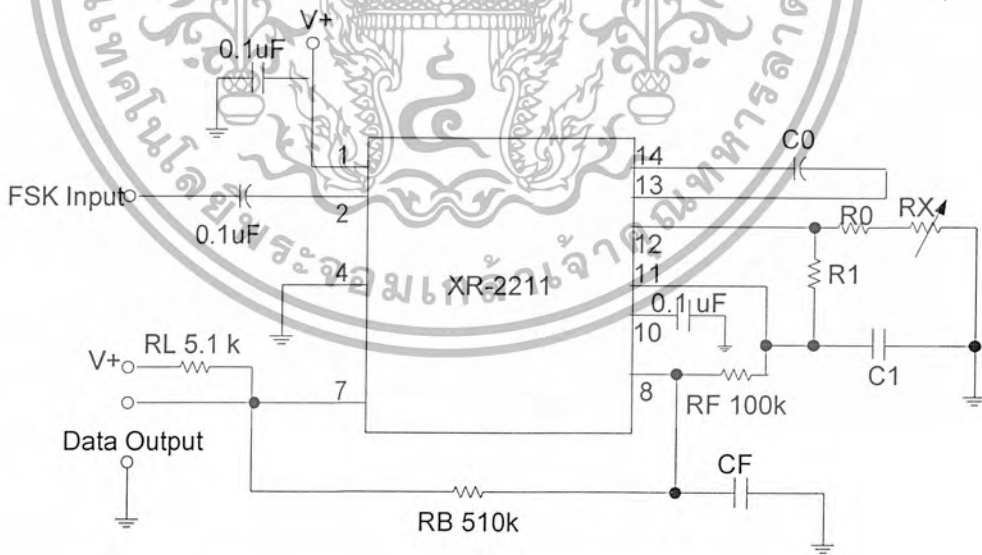
รูปที่ 4.1 วงจรแสดงการ Modulation FSK 4.8/3.2 kHz



กราฟที่ 4.1 input เทียบกับสัญญาณ Moduration fsk

การทดลองวงจร Demoduration fsk 4.8/3.2 kHz

1. ต้องวงจรตามรูป โดยกำหนด $C_0 = 22 \text{ nF}$, $R_0 = 12 \text{ k}\Omega$, $C_f = 2 \text{ nF}$, $R = 56 \text{ k}\Omega$
 $C_r = 3.3 \text{ nF}$, $R_r = 270 \text{ k}\Omega$, $R_b = 15 \text{ M}\Omega$

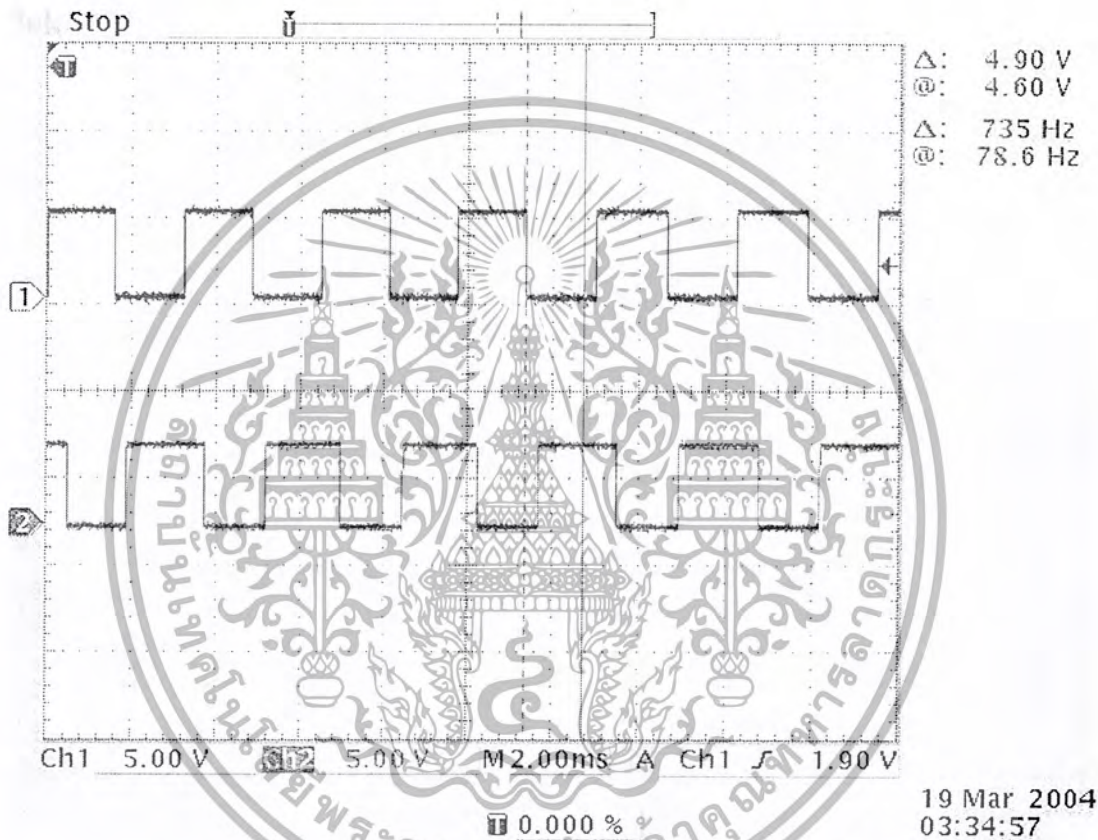


รูปที่ 4.2 แสดงวงจรการ Demodulation FSK 4.8/3.2 kHz

2. นำสัญญาณ output ที่ได้จากข้อ 1 ต่อเข้ากับ input ของวงจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ใช้ prob ch 1 กับสัญญาณที่ input ของวงจรและใช้ prob ch 2 จับสัญญาณที่ output เปรียบเทียบสัญญาณที่ ch 1
4. ถ้าสัญญาณ output ไม่มีหรือไม่เป็น TTL ตามฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์ ให้ปรับ Rx 10 k จน จะล็อกสัญญาณได้ ถ้าหากยังไม่ได้อีกต้องปรับ V_{R1} และ V_{R2} ร่วมด้วย ผลที่ได้แสดงดังรูป ด้านล่าง



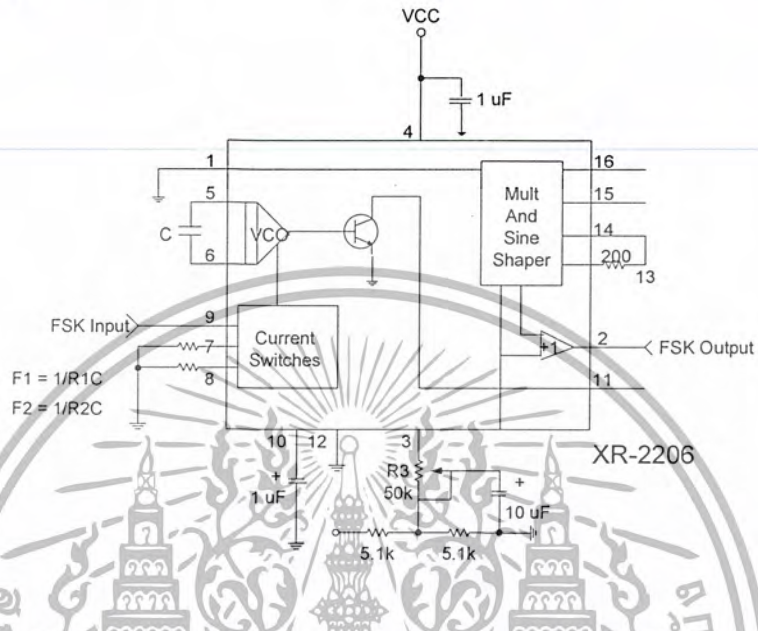
กราฟที่ 2 สัญญาณ input เปรียบเทียบกับสัญญาณ demodulation 3.2/4.8 kHz

การทดลองวงจร Modulation fsk 90 / 50 kHz

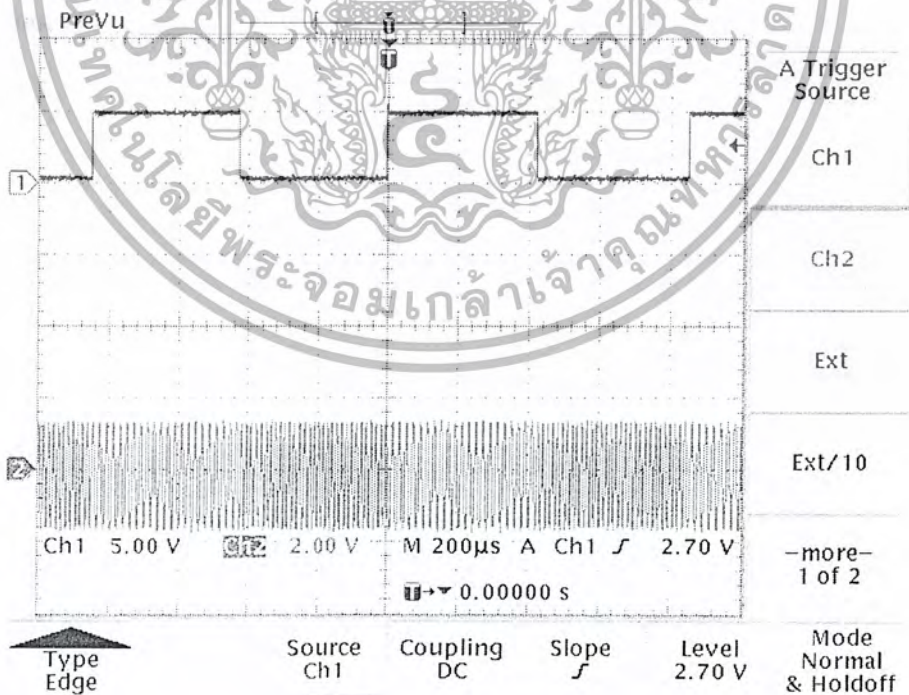
1. ต่อวงจรตามรูป โดยกำหนด $R_1 = 20\text{ k}\Omega$, $R_2 = 12\text{ k}\Omega$, $C = 1\text{ nF}$
2. นำสัญญาณ output ที่ได้จากข้อ 1 ต่อเข้ากับ input ของวงจร
3. ใช้ prob ch 1 กับสัญญาณที่ input ของวงจรและใช้ prob ch 2 จับสัญญาณที่ output เปรียบเทียบสัญญาณที่ ch 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ถ้าสัญญาณ output ไม่มีหรือไม่เป็น TTL ตามฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์ ให้ปรับ Rx 10 k จนจะลือกสัญญาณได้ ถ้าหากยังไม่ได้ก็้อต้องปรับ V_{R1} และ V_{R2} ร่วมด้วย ผลที่ได้แสดงดังรูปด้านล่าง



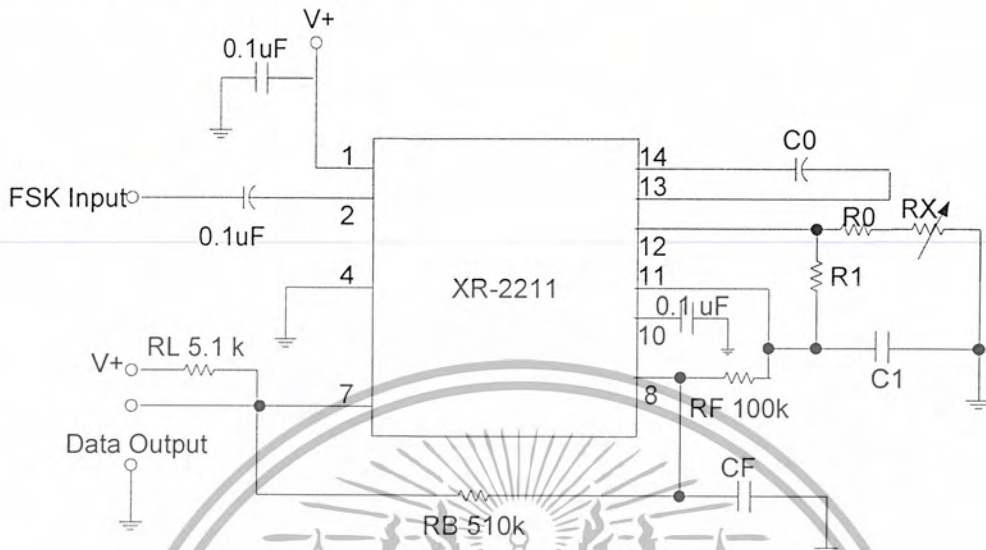
รูปที่ 4.3 แสดงวงจรการ Modulation FSK 90/50 kHz



รูปกราฟที่ 3 แสดงสัญญาณอินพุตเทียบกับสัญญาณ Modulation 90/50 kHz

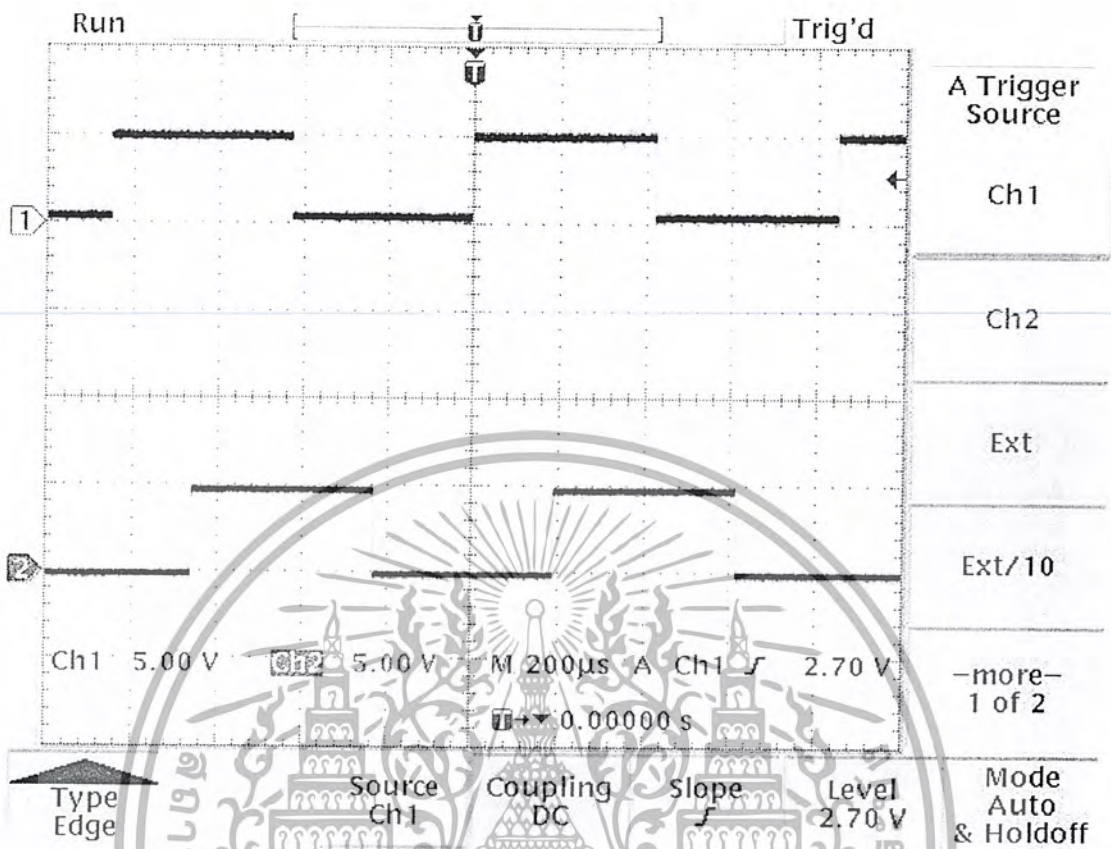
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองวงจร Demodulation fsk 90 / 50 kHz



รูปที่ 4.4 แสดงวงจรการ Demodulation FSK 90/50 kHz

1. ต่อวงจรตามรูปข้างบน โดยกำหนด $C_0 = 1 \text{ nF}$, $R_0 = 15 \text{ k}\Omega$, $C_1 = 100 \text{ pF}$, $R_1 = 50 \text{ k}\Omega$, $C_f = 820 \text{ pF}$, $R_f = 240 \text{ k}\Omega$, $R_B = 1.2 \text{ M}\Omega$
2. นำสัญญาณ output ที่ได้จากข้อ 1 ต่อเข้ากับ input ของวงจร
3. ใช้ prob ch 1 กับสัญญาณที่ input ของวงจรและใช้ prob ch 2 จับสัญญาณที่ output เปรียบเทียบสัญญาณที่ ch 1
4. ถ้าสัญญาณ output ไม่มีหรือไม่เป็น TTL ตามฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์ ให้ปรับ Rx 10 k จนจะล็อกสัญญาณได้ ถ้าหากยังไม่ได้อีกต้องปรับ V_{R1} และ V_{R2} ร่วมด้วย ผลที่ได้แสดงดังรูปด้านล่าง



กราฟที่ 4 สัญญาณ input เปรียบเทียบกับสัญญาณ demodulation 90/50 kHz

4.4 ผลการทดลองวัดความเร็ว (วงจรรับส่งอินฟาเรด)

1. ใช้โวลต์มิเตอร์ วัดคล่อมไดโอดถ้ามีโวลต์ตกคล่อมเท่ากับ 1.2 V หรือใกล้เคียงแสดงว่า Diode ทำงานแล้ว

2. ใช้โวลต์มิเตอร์ วัดคล่อมขา C และ E ของทรานซิสเตอร์

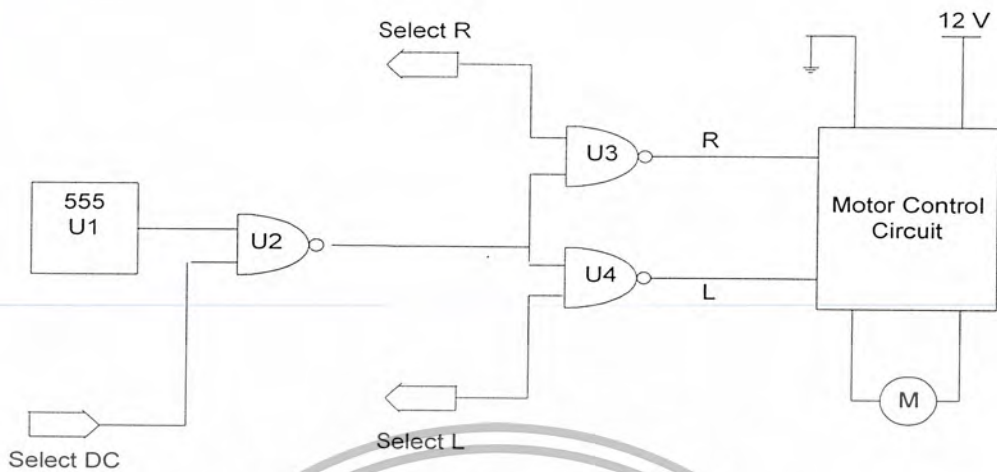
ขณะมีแสง ค่าของ $V_{CE} = 0.2 \text{ V}$

ขณะไม่มีแสง ค่าของ $V_{CE} = 4 \text{ V}$

จะเห็นว่า V_{OM} และค่าของ V_{OL} สามารถสื่อสารกับ MCS 51 ได้

4.5 ผลการทดลองวงจรควบคุมความเร็วมอเตอร์

1. ทำการกำหนดค่าแรงดันดังตารางต่อไปนี้



รูปที่ 4.5 แสดงวงจรปรับความเร็วมอเตอร์

ตารางที่ 4.2 ขนาดช่วงความเร็วมอเตอร์

ระดับความเร็ว	การกำหนดค่าในวงจร	ผลการทดลอง
Gear 1	Set select DC = High Set select RorL = Low	มอเตอร์จะหมุนด้วยความเร็ว ค่าหนึ่งแต่มอเตอร์จะร้อน
Gear2	Set select DC = Low Set select RorL = Low	มอเตอร์เร็วกว่า Gear 1 มีความ ร้อนเกิดขึ้นที่น้อยกว่า Gear 1
Stop	Set select DC = Low Set select RorL = High	มอเตอร์หยุดหมุน

สาเหตุที่ Gear 1 มอเตอร์มีความร้อนมาเนื่องจากรูปคลื่น pulse จะมี Harmonic Distortion เกิดขึ้นมาก วิธีแก้ไขคือ ใส่ C คล่อมมอเตอร์เพื่อกรองความถี่สูงออกไปจะช่วยลดได้บางส่วน

เอกสารอ้างอิง

1. ดร. วรวิทย์ อิงภากรณ์, การออกแบบเครื่องจักรกลเล่ม 1 - 2 , บริษัทซีเอ็ด ยูนิเคชั่น จำกัด.
2. ชีรวัฒน์ ประกอบผล, ดิจิตอลอิเล็กทรอนิกส์ ,แมคกรอ- ฮิด อินเตอร์เนชั่นแนล เอ็นเตอร์ไพรส์ จำกัด 1997.
3. วรพจน์ กรแก้ววัฒนกุล และ ชัยวัฒน์ ลิ้มพรจิตรวิไล, เรียนรู้และปฏิบัติการ ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS 51 Flash Microcontorller , Innovative Experiment Co.,Ltd.
4. สุนทร วิบูลสุรพจน์,การใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล 8051 , บริษัทซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด มหาชน 2537.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้