ปีการศึกษา 2530

MINI PROGRAMMABLE ROUTINE ROBOT

โดย

1.นายเกรียงศักดิ์ ศุภดิเรกกุล

2.นายชนะ เจิดดีสกุล

3.นายสมชาย ตั้งอภินันท์

4.นายอนุชา บวรธรรมรัตน์

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์กิตตินันท์ รัตนชำรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2539

เรื่อง MINI PROGRAMMABLE ROUTINE ROBOT.

ผู้จัดทำ

1. นายเกียงศักดิ์ ศุภคิเรกกุล 296102
2. นายชนะ เจิดคีสกุล 296104
3. นายสัมชาย ตั้งอภินันท์ 296119
4. นายอนุชา บวรธรรมรัตน์ 296127

กิตติพันธ์ รัตนโรง ..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(....กิตติพันธ์ รัตนโรง.....)

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า กรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

T2872 P6
T 2719
2725

หัวข้อปริญญานิพนธ์ Programmable Routine Mini Robot

อาจารย์ที่ปรึกษา อ. กิตติพันธ์ รัตนมาโรง

ภาควิชา เทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรม

ปีการศึกษา 2530

บทคัดย่อ

Programmable Routine Mini Robot คือ หุ่นยนต์ที่สร้างขึ้นเพื่อใช้ในธุรกิจสำนักงาน เช่นใช้ส่งเอกสาร วัสดุอุปกรณ์ที่มีขนาดไม่ใหญ่มากนัก เป็นต้น โครงสร้างของหุ่นจะแบ่งเป็นส่วนใหญ่ ๆ 2 ส่วนคือ ส่วนที่เป็นกลไกและส่วนที่เป็นอิเลคทรอนิกส์ โดยส่วนที่เป็นกลไกจะใช้มอเตอร์ขับเคลื่อนและมอเตอร์บังคับทิศทางติดตั้งอยู่ตรงตำแหน่งของล้อหน้า ซึ่งสะดวกต่อการควบคุมอีกทั้งยังง่ายต่อการสร้าง ส่วนที่เป็นอิเลคทรอนิกส์จะใช้ไมโครโปรเซสเซอร์เป็นตัวควบคุมการทำงานของหุ่นยนต์ ซึ่งการควบคุมของไมโครโปรเซสเซอร์สัมพันธ์กับอุปกรณ์ส่วนต่าง ๆ เช่น ตัวเซนเซอร์ที่ใช้ทำหน้าที่ตรวจจับเส้นเทปทิศทางการเคลื่อนที่ เป็นต้น แต่ถึงอย่างไรก็ตามโครงงานนี้ยังมีบางส่วนที่สามารถปรับปรุงเพิ่มเติมได้อีก เช่นโปรแกรมควบคุมการทำงานของหุ่นยนต์ อันจะทำให้การทำงานของหุ่นดียิ่งขึ้นกว่าเดิม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำนำ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้จัดทำขึ้นเพื่ออธิบายถึงหลักการและการทำงานของโครงงานนี้ ซึ่งทางคณะผู้จัดทำได้อธิบายไว้ละเอียดพอสมควร โดยการทำงานของหุ่นยนต์จะใช้ไมโครโปรเซสเซอร์ ซึ่งเป็นอุปกรณ์ทางอิเล็คทรอนิคส์ดิจิตอลที่ได้รับความนิยมแพร่หลายทั้งในการใช้เป็นตัวประมวลผลกลางและเป็นตัวควบคุมการทำงานของเครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆ

ในการใช้งานไมโครโปรเซสเซอร์นั้นจำเป็นต้องเขียนเป็นโปรแกรมภาษาแอซเซมบลี โดยหุ่นยนต์ตัวนี้ใช้ไมโครโปรเซสเซอร์เบอร์ Z-80 ซึ่งเป็นไมโครโปรเซสเซอร์ขนาด 8 บิท ที่ได้รับความนิยมมาก สิ่งที่ขาดไม่ได้สำหรับโครงงานนี้ก็คือ กลไกการทำงานของหุ่นยนต์ ซึ่งทางคณะผู้จัดทำได้พิจารณาเลือกแบบกลไก เพื่อให้เหมาะสมกับหุ่นยนต์ตัวนี้จากกลไกแบบต่างๆ ดังจะได้อธิบายไว้ในปริญญานิพนธ์ฉบับนี้

คณะผู้จัดทำหวังว่าปริญญานิพนธ์ฉบับนี้คงจะให้แนวความคิดใหม่ๆ เกี่ยวกับหุ่นยนต์และกลไกบ้างไม่มากก็น้อย

คณะผู้จัดทำ

สารบัญ

	หน้า
บทที่ 1 แนวความคิดเกี่ยวกับหุ่นยนต์	1
-ประวัติความเป็นมา	1
-หุ่นยนต์ทำอะไรได้บ้าง	3
บทที่ 2 หลักการทำงานของอุปกรณ์ส่วนต่างๆ	5
-อุลตร้าโซนิคทรานสดิวเซอร์	5
-ทรานสดิวเซอร์แบบเปียโซอิเลคทริค	6
-ตัวส่งและตัวรับ	8
-วงจรภาคส่ง	11
-วงจรภาครับ	17
-การขับมอเตอร์ด้วยลิเนียร์แอมปลิไฟล์	29
-หลักการออกแบบเพาเวอร์แอมปลิไฟล์	39
-ความสัมพันธ์ระหว่างอินพุท-เอาท์พุท ในลิเนียร์แอมปลิไฟล์	51
-วงจรขับเคลื่อนมอเตอร์	66
-วงจรควบคุมความเร็วมอเตอร์	67
-วงจรวัดระดับแรงดันแบตเตอรี่	70
-วงจรแหล่งจ่ายไฟ	71
บทที่ 3 หลักการสร้าง	73
-การตัดสินใจว่าจะใช้การขับเคลื่อนและทิศทางอย่างไร	73
-ขั้นตอนการสร้างด้านกลไก	77
-การติดตั้งตัวเซ็นเซอร์	79
-การติดตั้งกลไกอื่นๆ	85
-คีย์บอร์ด	95
-หน้าปัทม์การทำงาน	96
-ส่วนควบคุม	97

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

หน้า

บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง 102

บทที่ 5 สรุปและวิจารณ์ 105

หนังสืออ้างอิง 112

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

บทที่ 1

แนวความคิดเกี่ยวกับหุ่นยนต์

ปัจจุบันนี้เทคโนโลยีอิเล็คทรอนิคส์ได้รับการพัฒนาขึ้นมาก จึงได้มีการนำมาประยุกต์ในงานประเภทต่างๆ มากมาย ทั้งด้านการควบคุมกลไกประเภทหุ่นยนต์ ทำให้หุ่นยนต์มีความสามารถในการทำงานต่างๆ ตามต้องการได้มากยิ่งขึ้น ดังนั้นอาจจะกล่าวถึงประวัติความเป็นมาและความสามารถของหุ่นยนต์ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบันได้ดังนี้

ประวัติความเป็นมาของหุ่นยนต์

คนให้ความสนใจเรื่องมนุษย์หุ่นยนต์มาช้านานแล้ว โดยมีความคิดเกี่ยวกับเครื่องจักรซึ่งสามารถทำงานได้ด้วยกำลังของตัวมันเอง และสามารถควบคุมตัวเองได้มีมาตั้งแต่สมัยโบราณเช่น ในประวัติศาสตร์ได้บันทึกไว้ คือ ก่อน ค.ศ. 3000 ปี ชาวอียิปต์ อ้างว่าได้สร้างนาฬิกาน้ำ และโครงร่างกระดูกเป็นข้อ ๆ ซึ่งต่อมาก็มีความนับถือว่าเป็นสิ่งศักดิ์สิทธิ์

ราวปี 200 ก่อน ค.ศ. มีการสร้างหุ่นยนต์เป็นอนุสาวรีย์ ไม่เพียงแต่เจรจาได้ หากแต่ยังโค้งคำนับให้กับผู้คน กล่าวกันว่าหุ่นยนต์ดังกล่าวได้พลังงานจากน้ำ หรือโดยทางกลไก บางครั้งมีสายโยงเป็นชักหุ่นกระบอก แต่หุ่นเหล่านี้สร้างขึ้นมีความมุ่งหมายเพื่อผลงานทางด้านศาสนา และต้องการมีใช้สำหรับกล่าวคำสั่งสอนให้กับสามัญชน

อย่างไรก็ดียังไม่มีการสร้างหุ่นยนต์ที่มีลักษณะคล้ายมนุษย์อย่างแท้จริงจนกระทั่งอีกหลายปีต่อมา ในปี ค.ศ. 1738 ชาวฝรั่งเศสชื่อ JACOUES DE VAUCANSOM ได้สร้างเป็ดหุ่นยนต์ให้มีเสียงเป็นเป็ด ว่ายน้ำได้กินอาหารได้เหมือนว่าเป็นเป็ดจริง ๆ นอกจากนั้นชาวฝรั่งเศสผู้นี้ยังสร้างนักดนตรีหุ่นยนต์ขึ้นมา 2 หุ่น นักเป่าขลุ่ยและคนตีกลอง หุ่นดังกล่าวมีขนาดเท่าคนจริง ๆ เอามาติดตั้งไว้บนกลไกขับเคลื่อนให้มันเคลื่อนที่ไป นักเป่าขลุ่ยน่าสนใจมากที่สุดตรงบริเวณข้อศอกมีอุปกรณ์ซับซ้อนบังคับอากาศให้ไหลผ่านริมฝีปากของนักเป่าขลุ่ย (ความกดดันอากาศมี 3 ระดับ) มีกลไกประกอบด้วยรอกบังคับให้นิ้วมือหุ่นยนต์ปิดรูขลุ่ยเพื่อให้เกิดเสียงเพลงต่าง ๆ

ในกรุง LONDON ประมาณปี ค.ศ. 1805 บุรุษนายหนึ่งชื่อ HENRI MAILLARDET ได้สร้างหุ่นยนต์ขึ้นมาตัวหนึ่งมีลักษณะคล้ายสุภาพสตรี กำลังถือหนังสือ เจ้าหุ่นน่ารักตัวนี้เขียนรูปภาพที่ซับซ้อนได้ดีจนน่าอัศจรรย์ยิ่ง มือขวากำปากกาแน่น ใช้สปริงเป็นตัวให้กำลังบังคับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลูกรอกสายลวด และลูกเหวี่ยง เพื่อให้มือเคลื่อนไหว ตุ๊กตาตัวนี้สามารถวาดภาพยาก ๆ และยังเขียนกวีได้อีก 3 บท เป็นกวีฝรั่งเศส 2 บท เป็นกวีอังกฤษ 1 บท หุ่นยนต์ตัวนี้ปัจจุบันก็ยังทำงานได้และถูกเก็บรักษาไว้ที่สถาบันแฟรงกลิ้นแห่งเมืองฟิลาเดลเฟีย

ในปี ค.ศ. 1892 ชาวอเมริกันชื่อ SEWARD HABBIT ได้ออกแบบและสร้างหุ่นยนต์ที่มีลักษณะคล้ายนกกระเรียนตรงปลายจะงอยปากใช้เป็นที่คีบลูกเหล็กร้อน ๆ ออกจากเตาไฟ

คำว่า ROBOT (หุ่นยนต์) เข้ามาใช้ในภาษาอังกฤษเป็นครั้งแรกเมื่อปี ค.ศ.1921 เมื่อนักเขียนบทละครชาวเชคโก ชื่อ KAREL CAPEK เปิดแสดงบทละครชื่อ R.U.R (ROSSUM'S UNIVERSAL ROBOTS) ที่เวทีกรุงลอนดอน คำว่า ROBOT มาจากภาษาสลาฟจากคำว่า ROBOTA ซึ่งหมายความว่าแรงงานที่ถูกบังคับหรืองานทาสในบทละครเรื่องนี้มีเรื่องการใช้แรงงานจากหุ่นยนต์ในโรงงานนี้

ในปี ค.ศ. 1954 ชาวอเมริกันชื่อ GEORGE DEVOL ได้สร้างหุ่นยนต์ตั้งโปรแกรมให้มันทำงานสำเร็จเป็นคนแรกและเรียกว่า "หุ่นอัตโนมัติสากล" แต่ต่อมาเรียกสั้น ๆว่า "ยูนิเมชั่น" (UNIMATION) จากชื่อนี้เองบริษัทที่ผลิตหุ่นยนต์ตัวนี้จึงชื่อบริษัท UNIMATION ซึ่งเป็นแผนกหุ่นยนต์ของบริษัท CORDEC ปัจจุบันเป็นบริษัทผลิตหุ่นยนต์รายใหญ่ที่สุดในอเมริกา ระหว่างปี ค.ศ. 154 -1963 นาย DEVOL และคนอื่น ๆ ได้จดทะเบียนลิขสิทธิ์หุ่นยนต์รุ่นแรกหลายตัวด้วยกัน

ในสมัยช่วงกลางทศวรรษ นับตั้งแต่ ปี ค.ศ. 1960 จึงมีความพยายามสร้างหุ่นยนต์อย่างจริงจังเป็นผลให้สหรัฐ มีหุ่นปฏิบัติการมากหุ่นยนต์ชื่อ AMERICA ARTIFICIAL INTELLIGENCE LABORATORIES สถาบันแห่งนี้กลายเป็นศูนย์กลางของการวิจัยเรื่องหุ่นยนต์ในปีต่อมามหาวิทยาลัยสแตนฟอร์ด สถาบันวิจัยสแตนฟอร์ด (ปัจจุบันคือ SRI INTERNATIONAL) และสถาบัน MIT และที่มหาวิทยาลัยเอดินเบิร์กในสกอตแลนด์ ได้พยายามสร้างระบบหุ่นยนต์ ขึ้นผลของการวิจัยของสถาบันดังกล่าวในยุคแรก ๆ และต่อมาในปี ค.ศ. 1980 สถาบัน ROBOTICS INSTITUTE ที่มหาวิทยาลัย CARNEGIE MELLON ในพิทสเบิร์ก รัฐเพนซิลวาเนียได้ผนึกกำลังกันวิจัยเรื่องธรรมชาติของสติปัญญาเพื่อเอาธรรมชาติเช่นนี้มาสร้างหุ่นยนต์ให้มีความรู้ ความเข้าใจให้ได้สักวันหนึ่ง การวิจัยในยุคแรก ๆ ให้ห้องปฏิบัติการเหล่านี้มีความมุ่งหมายในแนวทางกว้าง ๆ แต่มีวัตถุประสงค์เดียวกันกล่าวคือ ออกแบบและสร้างหุ่นขึ้นมาให้ทำงานได้ด้วยตนเองในสภาพแวดล้อมตามความเป็นจริงในโลก

หุ่นยนต์รุ่นแรกที่วิจัยนี้ส่วนมากเป็นหุ่นยนต์ประเภท " มือ-นัยน์ตา " นั่นคือส่วนใหญ่ ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประกอบด้วยกล้องโทรทัศน์และมีแขนขาต่อกับหน่วยปฏิบัติงานซึ่งจะทำหน้าที่แปลความหมายสัญญาณวีดีโอที่ได้รับให้กลับออกเป็น เอาท์พุททางด้านกลไก บางทีงานที่ยากลำบากที่สุดที่หุ่นยนต์ เหล่านี้จะต้องแปลความหมายเห็นจะได้แก่การแปลความหมายของภาพซึ่งถูกป้อนเข้าไปในคอมพิวเตอร์หากกล้องถ่ายภาพวีดีโอ นักวิจัยที่ MIT ดูเหมือนว่าต้องการทำให้นัยน์ตามนุษย์มีสมรรถภาพดีขึ้น จึงได้ขยายามพัฒนาสร้างกล้องถ่ายภาพให้ความละเอียดสูงมาก ส่วนการวิจัยที่ SRI มุ่งความสนใจไปในปัญหาว่า ซอฟแวร์จะทำอะไรบ้าง ในเรื่องเกี่ยวกับปัญหาคุณภาพของภาพและกลไกในการแปลความหมายที่ได้รับจากภาพ

—ความสำเร็จที่นับว่ามีความสำคัญมากที่สุดที่ได้จากการวิจัยในช่วงต้น ๆก็คือหุ่นยนต์ SHAKEY ของสถาบัน SRI ซึ่งเป็นหุ่นยนต์ตัวแรกที่สามารถเคลื่อนที่ได้ SHAKEY ตัวแรกสร้างเสร็จเรียบร้อยในปี ค.ศ. 1969 และมันเดินไปได้รอบ ๆ ห้องปฏิบัติการของสถาบัน SRI ได้สบายมากจริง ๆ จึงแน่ใจว่ามันสามารถหลบหลีกสิ่งกีดขวางทาง เมื่อมันมองเห็นจากนัยน์ตาของมันซึ่งเป็นกล้องถ่ายภาพโทรทัศน์ และมีกลไกแปลความหมายของสิ่งที่มันมองเห็นอีกหลายปีหลายทางนั้น เจ้า SHAKEY รุ่นที่ 2 ซึ่งได้รับการปรับปรุงแก้ไขดีกว่ารุ่นแรกมากมายจึงปรากฏโฉมหน้าออกมาให้เห็น รูปร่างหน้าตาของมันดูเหมือนว่าเป็นฮาร์ดแวร์อย่างหนึ่ง (เพียงแต่ว่ามี MEMORY มากกว่า) แต่มีซอฟท์แวร์ที่มีความซับซ้อนมากกว่าบรรพบุรุษของมันถึงแม้ว่าเจ้า SHAKEY จะนั่งอยู่เฉย ๆ อย่างเกียจคร้านในบริเวณมุมหนึ่งของสำนักงาน SRI ก็ตาม แต่ความรู้ที่ได้จากการพัฒนาการสร้างขึ้นมามีประโยชน์มหาศาลในการสร้างหุ่นยนต์ในรุ่นต่อ ๆ ไป

<u>หุ่นยนต์ทำอะไรได้บ้าง</u>

ถึงแม้จะเป็นการง่ายเกินไปที่จะกล่าวว่าหุ่นยนต์จะกลายเป็นส่วนหนึ่งของสังคมมนุษย์ในอนาคตก็ตามที แต่ความจริงก็ปรากฏให้เห็นแล้วว่าเดี๋ยวนี้ขณะนี้เรามีหุ่นยนต์ตัวจริงและนอกเหนือไปจากมีหุ่นยนต์สำหรับการทดลองและหุ่นประเภทต่าง ๆ กำลังอยู่ในระหว่างขั้นตอนของการวิจัยให้ห้องปฏิบัติการทั่วสหรัฐ มีบริษัทมากมายในสหรัฐสร้างหุ่นยนต์ขึ้นมาให้ทำงานในหน้าที่ต่าง ๆ เช่น หุ่นยนต์สำหรับใช้ในวงการอุตสาหกรรม นับตั้งแต่อุตสาหกรรมประกอบรถยนต์ จนถึงประกอบเครื่องบิน,หุ่นยนต์ที่ใช้ภายในครัวเรือน, หุ่นยนต์ที่ใช้ในสำนักงานต่าง ๆ เป็นต้น

ในปัจจุบันเทคโนโลยีหุ่นยนต์ได้แบ่งออกเป็น 2 สาขา สาขาแรกเป็นทางเทคโนโลยี และอีกสาขาเป็นสาขาทางวิทยาศาสตร์ ในการพัฒนาการหุ่นยนต์อุตสาหกรรมยังใช้หลักความเชื่อถือได้และราคา ในด้านการศึกษาทางวิทยาศาสตร์ของหุ่นยนต์ (รวมทั้งความนึกคิดที่ประดิษฐ์ขึ้น)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หุ่นยนต์อุตสาหกรรมส่วนมากที่ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมทั่วโลกนี้จะแสดงลักษณะของคนโดยทั่วไปซึ่งตรงกับความหมายของคำว่า ROBOT โดยส่วนมากเป็นเครื่องจักร "PICK AND PLACE" (หยิบและวาง) ซึ่งเป็นความสามารถง่าย ๆ ของชนิดการเคลื่อนที่ นี้ (โดยเครื่องจักรเหล่านี้ไม่มีความรับรู้สภาวะในรอบตัวของมันเอง เมื่อเริ่มทำงานมันจะทำงานอย่างง่าย ๆ ตามโปรแกรมที่ตั้งไว้ของเขตของการเคลื่อนที่แต่ละครั้งจะถูกกำหนดโดยระบบการหยุด โดยแต่ละการเคลื่อนที่ ต้องถูกทำโดยวิธีของไฟฟ้าหรือการควบคุมโดยลมที่แผงควบคุม

ชนิดของการโปรแกรมหุ่นยนต์นี้แสดงให้เห็นความสามารถในการทำงานได้หลาย ๆ อย่าง การแต่งเติมพิเศษทำได้โดยเพิ่มระบบเซอร์โวเชิงกลซึ่งสามารถควบคุมตำแหน่งต่าง ๆ ได้ หุ่นยนต์ชื่อ UNIMATE เป็นหุ่นยนต์ซึ่งควบคุมด้วยระบบเซอร์โวในสมัยแรก และยังคงเป็นที่นิยมอยู่การเพิ่มของการควบคุมด้วยเซอร์โว ต้องการสัญญาณส่งจากตัวตรวจสอบเป็นต้นว่า POTENTIOMETERS, ENCODERS, RESOLVES ซึ่งวัดตำแหน่งของแต่ละจุด ตำแหน่งที่วัดนี้จะถูกนำไปเปรียบเทียบกับคำสั่งผลต่างใดจะถูกแก้ไขโดยสัญญาณเพื่อส่งไปทำงานที่จุดต่าง ๆ อย่างเหมาะสม

ความจำของอิเลคโทรนิกส์สามารถให้หุ่นยนต์เก็บโปรแกรมได้หลาย ๆ โปรแกรมและเลือกชิ้นโดชิ้นหนึ่งสำหรับสั่งการให้หุ่นยนต์ทำงานตามต้องการแต่ในกรณีที่จะต้องการเปลี่ยนแปลงชนิดการทำงานของหุ่นยนต์จำเป็นจะต้องมีการเปลี่ยนการตั้งโปรแกรม " สมอง " ของหุ่นยนต์เท่านั้นก็พอการเปลี่ยนแปลง " ซอฟแวร์ " ของหุ่นยนต์เป็นการบอกให้หุ่นยนต์รู้ถึงสภาพการณ์ที่เปลี่ยนแปลงไปจากเดิม ซึ่งเป็นการกระทำค่อนข้างง่าย ความจริงเราสามารถสอนให้หุ่นยนต์ทำงานที่มีความแตกต่างไปจากงานเดิมอย่างสิ้นเชิง เช่นหุ่นยนต์ที่ทำงานในหน้าที่นายช่างเชื่อมบานประตูรถยนต์สามารถนำมันมาให้ทำงานในหน้าที่ใหม่ เช่น ให้มาทำงานในโรงงานสร้างตู้เย็นเป็นต้น สิ่งที่ต้องเปลี่ยนไปก็คือเปลี่ยนโปรแกรมการควบคุมการทำงานของหุ่นยนต์เท่านั้นและโดยปกติแล้วไม่จำเป็นต้องออกแบบตัวหุ่นใหม่แต่ประการใด

บทที่ 2

หลักการทำงานของอุปกรณ์ส่วนต่างๆ

-การใช้งานอุลตร้าโซนิคและทรานสดิวเซอร์

-การขับมอเตอร์ด้วยลิเนียร์แอมปลีไฟล์

-การขับเคลื่อนมอเตอร์และการควบคุมความเร็วมอเตอร์

-การวัดระดับแรงดันแบตเตอรี่

-วงจรแหล่งจ่ายไฟ

อุลตร้าโซนิคทรานสดิวเซอร์

เมื่อเอ่ยถึงคำว่า อุลตร้าโซนิค (Ultra Sonic) ท่านทั้งหลายคงทราบดีว่า หมายถึงคลื่นเสียงที่มีความถี่สูงเกินกว่าที่หูมนุษย์จะได้ยิน โดยทั่วไปแล้วหู ของมนุษย์โดยเฉลี่ยจะได้ยินเสียงสูงถึงเพียงแค่ประมาณ 15 kHz เท่านั้น แต่พวกที่อายุยังน้อย ๆ อาจจะได้ยินเสียงที่มีความถี่สูงกว่านี้ได้ดังนั้นโดยปกติแล้วคำว่าอุลตร้าโซนิคจึงมักจะหมายถึงคลื่นเสียงที่มีความถี่สูงกว่า 20 kHz ขึ้นไป จะสูงขึ้นจนถึงเท่าใดไม่ได้ระบุจำกัดเอาไว้

สาเหตุที่มีการนำเอาคลื่นย่านอุลตร้าโซนิคมาใช้ก็เพราะว่า เป็นคลื่นที่มี<u>ทิศทาง</u> ทำให้เราสามารถเล็งคลื่นเสียงไปยังเป้าหมายที่ต้องการได้โดยเจาะจง เรื่องนี้เป็น คุณสมบัติของคลื่นอย่างหนึ่ง ยิ่งคลื่นมีความถี่สูงขึ้น ความยาวคลื่นก็จะยิ่งสั้นลง ถ้าความยาวคลื่นยาวกว่าช่องเปิด (ที่ให้เสียงนั้นออกมา) ของตัวที่ให้กำเนิดเสียงความถี่นั้น เช่นคลื่นความถี่ 300 Hz ในอากาศ จะมีความยาวถึงประมาณ 1 เมตรเศษ ๆ ซึ่งจะยาวกว่าช่องที่ให้คลื่นเสียงออกมาจากตัวกำเนิดเสียงโดยทั่วไปมากมาย คลื่นจะหักเบนที่ขอบด้านนอกของตัวกำเนิดเสียงทำให้เกิดการกระจายทิศทางคลื่นแต่ถ้าความถี่สูงขึ้นมาอยู่ในย่านอุลตร้าโซนิค อย่างเช่น 40 kHz จะมีความยาวคลื่นในอากาศเพียงประมาณ 8 มม. เท่านั้น ซึ่งเล็กกว่ารูเปิดของตัวที่ให้กำเนิดเสียงความถี่นี้มาก ๆ คลื่นเสียงจะไม่มีการเลี้ยวเบนที่ขอบจึงพุ่งออกมาเป็นลำแคบ ๆ หรือที่เราเรียกว่า มีทิศทาง นั่นเอง

การมีทิศทางของคลื่นเสียงย่านอุลตร้าโซนิคทำให้เรานำไปใช้งานได้ หลายอย่าง เช่นนำไปใช้ในเครื่องควบคุมระยะไกล (Ultrasonic remote control) เครื่องล้างอุปกรณ์ (Ultrasonic Cleaner) โดยให้น้ำสั่นที่ความถี่สูง เครื่องวัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความหนาของวัตถุโดยสังเกตระยะเวลาที่คลื่นสะท้อนกลับมา เครื่องวัดความลึกและทำแผนที่ใต้ท้องทะเล ใช้ในเครื่องหาตำแหน่งอวัยวะบางส่วนในร่างกาย ใช้ทดสอบการรั่วของท่อ เป็นต้น โดยความถี่ที่ใช้ขึ้นกับการใช้งาน เช่นถ้าคลื่นเสียงต้องเดินทางผ่านอากาศแล้วความถี่ที่ใช้ก็มักจะจำกัดอยู่เพียงไม่เกิน 50 kHz เพราะที่ความถี่สูงขึ้นกว่านี้ อากาศจะดูดกลืนคลื่นเสียงเพิ่มขึ้นมาก ทำให้ระดับความแรงของคลื่นเสียงที่ระยะห่างออกไปลดลงอย่างรวดเร็ว ส่วนการใช้งานด้านการแพทย์ซึ่งต้องการรัศมีทำการสั้น ๆ ก็อาจใช้ความถี่ในช่วง 1 MHz ถึง 10 MHz ขณะที่ความถี่เป็น GHz (10^9 Hz) ก็มีใช้กันในหลาย ๆ การใช้งานที่ตัวกลางที่คลื่นเสียงเดินทางผ่านไม่ใช่อากาศ

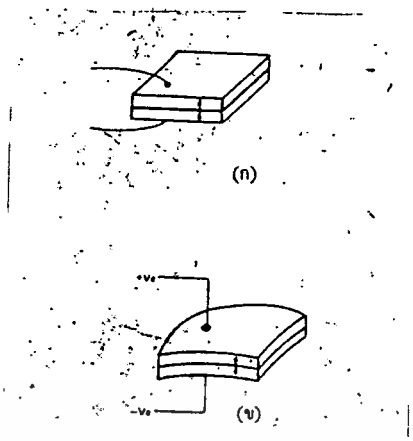
อุปกรณ์ที่สามารถแปลงพลังงานในรูปอื่นให้มาเป็นพลังงานทางกลโดยการสั่นไปมา ซึ่งทำให้เกิดคลื่นเสียงย่านอุลตร้าโซนิคกระจายไปในอากาศได้หรือแปลงพลังงานทางกลให้มาเป็นพลังงานในรูปอื่นได้นั้น มีชื่อเรียกเป็นภาษาเทคนิคว่า อุลตร้าโซนิคทรานสดิวเซอร์ (Ultrasonic transducer) ในปัจจุบันอุลตร้าโซนิคทรานสดิวเซอร์มีหลายแบบขึ้นกับหลักการที่ใช้ แบบที่นิยมใช้กันมากได้แก่ แบบเปียโซอิเลคทริก (Piezo-electric Transducer) ซึ่งแปลงไปมาระหว่างพลังงานไฟฟ้าและพลังงานทางกล โดยมีความถี่เรโซแนนซ์คงที่อยู่ค่าหนึ่ง แบบแมกนีโตสตริคทีฟ (Magnetostrictiv Transducer) ซึ่งแปลงไปมาระหว่างพลังงานไฟฟ้าในขดลวดกับตำแหน่งความยาวของแกนเหล็กที่สวมขดลวดนั้นอยู่ และแบบอิเลคโตรสตริคทีฟ (Electrostrictive transducer) ซึ่งแปลงไปมาระหว่างพลังงานไฟฟ้ากับพลังงานทางกล

<u>ทรานสดิวเซอร์แบบเปียโซอิเลคทริค</u>

ภายในตัวอุลตร้าโซนิคทรานสดิวเซอร์แบบเปียโซอิเลคทริคอาจจะเรียกสั้น ๆ เพื่อความกระทัดรัดว่าทรานสดิวเซอร์ แบบที่มีใช้กันในปัจจุบันซึ่งได้รับการพัฒนากันมาในระดับหนึ่งแล้ว จะประกอบด้วยชิ้นสาร เซรามิคสี่เหลี่ยมซึ่งมีผิวโลหะเงินฉาบอยู่ทั้ง 2 หน้าเพื่อให้ต่อสายไฟออกมาเป็นขา 2 ขา ชิ้นสารเซรามิคนี้ประกอบขึ้นจากสารเซรามิค 2 ชิ้นประกบกันอยู่โดยวางให้ขั้วไดโพลทางไฟฟ้าภายในอะตอมของมันมีทิศทางตรงข้ามกันดังแสดงเป็นลูกศรในรูปที่ 1

ชิ้นสารเซรามิคถูกยึดติดภายในตัวถังอย่างดีเพื่อไม่ให้การสั่นขณะที่มันทำงานอยู่ได้รับผลกระทบกระเทือนจากภายนอกตัวถังมักจะเป็นรูปทรงกระบอกที่มีเส้นผ่าศูนย์กลาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า



รูปที่ 1 (ก) โครงสร้างภายในตัวอุลตร้าโซนิคทรานสดิวเซอร์แบบเปียโซอิเลคทริคที่ใช้สารเซรามิค

(ข) เมื่อป้อนแรงดันให้แก่ตัวมัน จะทำให้ชิ้นสารเซรามิคโก่งงอไปมาทำให้เกิดคลื่นเสียงอุลตร้าโซนิคกระจายไปในอากาศ

และมีความสูงประมาณ 1 ถึง 2.5 ซม. ด้านหน้าทำเป็นช่องเปิดมีตะแกรงติดอยู่เพื่อให้คลื่นอุลตร้าโซนิคเข้ามาหรือออกจากช่องเปิดได้โดยสะดวกถ้าตัวถังทำมาจากโลหะก็ควรต่อตัวถังลงกราวนด์เพื่อทำหน้าที่ชิลด์ สำหรับบางยี่ห้อเขาจะต่อขาหนึ่งติดกับตัวถังมาให้เลย เมื่อพลิกดูขา 2 ขาที่โผล่ออกมาจากตัวถังจะเห็นมีขาหนึ่งติดกับตัวถัง

เมื่อมีสัญญาณแรงดันมาตกคร่อมขั้วทั้งสองของชิ้นสารเซรามิค ดังรูปที่ 1 (ข) จะทำให้ชิ้นสารโก่งงอมากหรือน้อยหรือในทิศทางใดตามขนาดและทิศทางการเปลี่ยนแปลงขนาดของสัญญาณนั้น ๆ ทำให้เกิดการกดอัดอากาศโดยรอบเกิดเป็นคลื่นเสียงที่มีความถี่เดียวกับสัญญาณนั้นออกไป โดยทั่ว ๆ ไปกำลังเอาท์พุทที่ออกมาจะตกประมาณ 10 % ของกำลังไฟฟ้าที่ป้อนเข้าไป แต่กำลังเอาท์พุทจะสูงสุดที่ค่าประมาณนี้ต่อเมื่อความถี่ของสัญญาณตรงกับความถี่เรโซแนนซ์ซึ่งเป็นความถี่ทางกลตามธรรมชาติของชิ้นสารเซรามิคนั้น ๆ ส่วนที่ความถี่อื่น ๆ กำลังเอาท์พุทจะลดลงกว่านี้มาก

ในทำนองกลับกันเมื่อมีคลื่นเสียงที่มีความถี่ตรงกับความถี่เรโซแนนซ์ของชิ้นสารเซรามิคเข้ามาจะทำให้ชิ้นสารโก่งงอไปมาและเกิดสัญญาณแรงดันซึ่งมีขนาดเล็กขึ้นมาคร่อมขั้วทั้งสองของตัวมันเองได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

คุณสมบัติโดยทั่วไปของอุลตร้าโซนิคทรานสดิวเซอร์แบบเปียโซอิเลคตริคก็คือ มีค่าความต้านทานไฟตรงสูงมากอาจสูงถึง 100 MΩ เรียกว่าถ้าเอามัลติมิเตอร์ธรรมดามาตั้งสเกลวัดค่าความต้านทานสูง ๆ เข็มจะไม่กระดิกเลย แต่ในขณะที่มันทำงานความต้านทานทางด้านไฟสลับจะลดลง

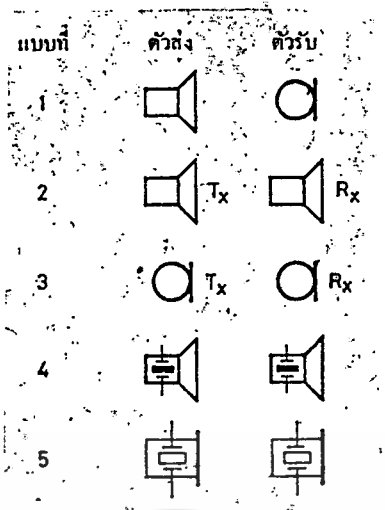
<u>ตัวส่งและตัวรับ</u>

ทรานสดิวเซอร์แบบเปียโซอิเลคทริคที่ใช้สารเซรามิค (หรือที่ผู้ผลิตบางรายเรียกว่าอุลตร้าโซนิคทรานสดิวเซอร์แบบเซรามิค) จะมีอยู่ 2 อย่าง คือ ตัวส่ง หรือ Transmitter และ ตัวรับ (เสียง) หรือ Receiver

ตัวส่ง ก็คืออุลตร้าโซนิคทรานสดิวเซอร์ที่ถูกออกแบบเจาะจงมาให้แปลงสัญญาณไฟฟ้าที่ให้แก่ตัวมันให้ออกมาเป็นคลื่นเสียงย่านอุลตร้าโซนิค หน้าที่ของตัวส่งจึงคล้าย ๆกับเป็นลำโพง ส่วนตัวรับก็คืออุลตร้าโซนิคทรานสดิวเซอร์ที่ถูกออกแบบเจาะจงมาให้แปลงคลื่นเสียงย่านอุลตร้าโซนิคที่มาตกกระทบตัวมันให้ออกมาเป็นสัญญาณไฟฟ้า หน้าที่ของตัวรับจึงคล้าย ๆ กับเป็นไมโครโฟน ด้วยเหตุนี้เวลาเขียนสัญญลักษณ์ของอุลตร้าโซนิคทรานสดิวเซอร์จึงนิยมเขียนตามหน้าที่ของมันคือถ้าเป็นตัวส่งก็เขียนสัญญลักษณ์เป็นลำโพง ถ้าเป็นตัวรับก็เขียนสัญญลักษณ์เป็นไมโครโฟน ดังแบบที่ 1 ในรูปที่ 2 แต่ก็มีหนังสือบางเล่มเขียนสัญญลักษณ์ของทั้งตัวรับและตัวส่งเป็นไมโครโฟนหรือเป็นลำโพงอย่างใดอย่างหนึ่งไปเลย ดังแบบที่ 2 และ 3 แต่เขียนตัวอักษรย่อว่า T_x (ย่อมาจากคำว่า Transmitter) และ R_x ย่อมาจาก Receiver กำกับอยู่ด้วย หรืออาจจะใช้คำพูดกำกับให้ชัดเจนลงไปเลย ที่เขาใช้สัญญลักษณ์เหมือนกันก็เพราะว่าหน้าตาของตัวรับและตัวส่งที่ออกแบบมาให้ใช้งานคู่กันจะมีหน้าตาเหมือนกันทุกกระเบียดนิ้วแต่มีเบอร์บอกมาที่ด้านข้างให้รู้ว่าตัวใดเป็นตัวส่งและตัวรับ และมีคุณสมบัติคล้ายคลึงกันมากจนสามารถนำมาใช้งานแทนกันได้โดยตรงในหลาย ๆ การใช้งาน รายละเอียดภายในตัวไมโครโฟนหรือภายในตัวลำโพงให้มีสัญญลักษณ์ของผลึกแร่ (Crystal) กำกับอยู่ด้วยดังแบบที่ 4 และ 5

ในปัจจุบันอุลตร้าโซนิคทรานสดิวเซอร์แบบเปียโซอิเลคทริคไม่ได้จำกัดว่าสารที่ใช้จะต้องเป็นผลึกแร่ดังสมัยก่อน อย่างที่นิยมใช้กันอยู่ในขณะนี้ก็เป็นเซรามิคสำหรับในวารสารเซมิ ฯ เราใช้วิธีการเขียนสัญญลักษณ์ตามแบบที่ 3 โดยมีอักษรย่อหรือคำพูดกำกับอยู่เพื่อไม่ให้ไปสับสนกับไมโครโฟนธรรมดา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2 แสดงตัวอย่างการเขียนสัญญลักษณ์ของอุลตร้าโซนิคทรานสดิวเซอร์แบบต่าง ๆ กัน

อุลตร้าโซนิคทรานสดิวเซอร์แบบเซรามิคที่มีจำหน่ายกันจะมีค่าความถี่เรโซแนนซ์ให้เลือกตั้งแต่ 23 kHz ขึ้นไปจนถึง 40 kHz แต่ที่พบเห็นกันบ่อยก็มี 23 kHz, 25 kHz และ 40 kHz โดยความถี่ 40 kHz เป็นรุ่นที่นิยมใช้กันมากที่สุดเพราะมีทิศทางดีกว่า

ข้อควรรู้ในการใช้งานตัวส่งและตัวรับ

เนื่องจากสเปคคลอคจนรายละเอียดต่าง ๆ ของอุลตร้าโซนิคทรานสดิวเซอร์หาได้ยาก ดังนั้นจึงได้สรุปสิ่งที่ท่านผู้อ่านควรจะรู้ในขั้นต้นเพื่อเป็นแนวทางในการใช้งานดังนี้

1. ไม่ควรให้ตัวทรานสดิวเซอร์ได้รับการกระแทกหรือตกจากที่สูง เพื่อป้องกันโครงสร้างภายในมิให้เสียหาย

2. ทรานสดิวเซอร์ที่มีขายกันโดยทั่วไปจะทนแรงดันคร่อมตัวมันสูงสุดได้ไม่เกินกว่า 20 V_{rms} ดังนั้นขนาดสัญญาณที่จะป้อนให้กับตัวทรานสดิวเซอร์ก็ควรจะอยู่ภายในขีดจำกัดอันนี้

3. ความถี่เรโซแนนซ์ (ความถี่ที่ตัวมันทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด)ของทรานสดิวเซอร์ 40 kHz ที่มีขายกันโดยทั่วไปจะผิดพลาดไปไม่เกิน ± 1 kHz และมีแถบความถี่ (Bandwidth) ประมาณ 4.5 kHz สำหรับตัวส่ง และมีแถบความถี่ประมาณ 5.0kHz สำหรับตัวรับจะเห็นได้ว่าแถบความถี่ของตัวรับจะกว้างกว่าของตัวส่งอยู่เล็กน้อย เพื่อให้แน่ใจว่าตัวรับจะสามารถรับความถี่ทั้งหมดที่ออกมาจากตัวส่งได้

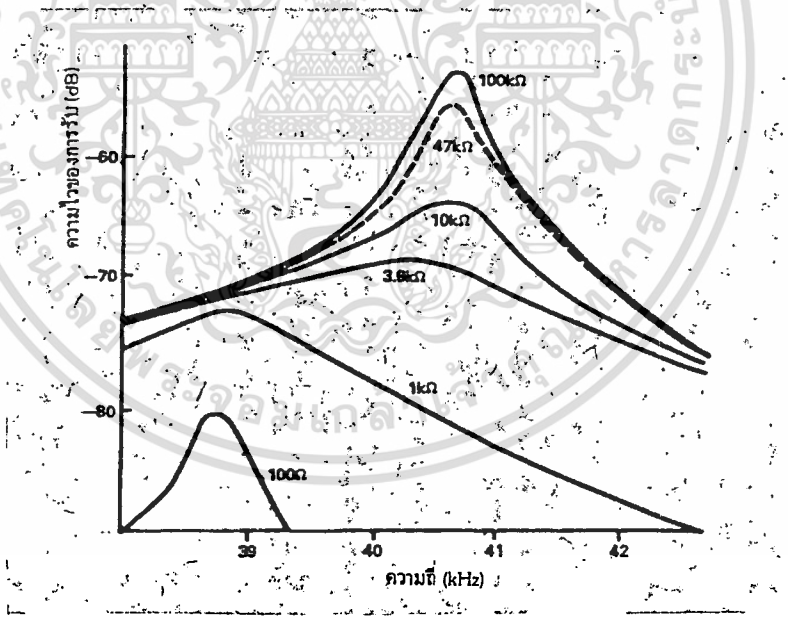
4. อุณหภูมิใช้งานของตัวทรานสดิวเซอร์ควรอยู่ภายในช่วง -20° ซ ถึง + 60° ซ

5. ทั้งตัวส่งและตัวรับจะมีทิศทางคล้ายคลึงกันมากกล่าวคือ ที่ตำแหน่งเบนจากแนวแกนของตัวส่งไปประมาณ 30° ความแรงของคลื่นเสียงที่ถูกส่งออกไปจะลดลงจากแนวแกน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประมาณ 10 dB ในทำนองเดียวกันถ้าคลื่นเสียงพุ่งเข้ามาในแนวที่เบี่ยงเบนไปจากแนวแกนของตัวรับไปประมาณ 30 ความไวหรือขนาดแรงดันที่ออกมาก็ลดลงไปประมาณ 10 dB ด้วยเช่นกัน ดังนั้นในการใช้งานที่เป็นการควบคุมระยะไกลในที่โล่งแจ้ง จึงควรพยายามให้ทั้งตัวรับและตัวส่งอยู่ในแนวที่พุ่งตรงเข้าหากันให้มากที่สุด อย่างไรก็ตามในกรณีที่อยู่ในห้องอาจจะเบี่ยงเบนจากกันได้มากหน่อย เพราะคลื่นเสียงอุลตร้าโซนิคสามารถสะท้อนกับ กำแพงพื้น และวัตถุที่อยู่ภายในห้อง ทำให้คลื่นเสียงเข้าไปหาตัวรับได้หลายทาง

6. ในกรณีที่ใช้งานตัวรับจะต้องมีตัวต้านทานต่อขนานกับตัวรับเพื่อทำหน้าที่เป็นโหลด ตามปกติแล้วตัวต้านทานตัวนี้ควรมีค่าอยู่ในช่วงจาก 10 kΩ~100 kΩ จากการทดลองพบว่าถ้าเปลี่ยนโหลดจาก 100 kΩ มาเป็น 10 kΩ ความไวจะลดลงประมาณ 10 ถึง 12 dB แต่แถบความถี่จะกว้างขึ้น ถ้าใช้ค่าความต้านทานต่ำลงไปอีก ความถี่เรโซแนนซ์ (ความถี่กลาง) จะลดลงไปจากที่ระบุไว้ ถ้าการใช้งานมีสัญญาณรบกวนมากควรใช้โหลดที่มีค่าความต้านทานสูงสักหน่อยเพื่อให้ตัวส่งมีความไวสูงและมีแถบความถี่แคบ ตัวอย่างการทดสอบแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3 แสดงผลการทดสอบตัวรับตัวหนึ่งโดยลองเปลี่ยนโหลดเป็นค่าต่าง ๆ กัน แล้วป้อนคลื่นเสียงความถี่ต่าง ๆ กันเข้ามา

7. ตามปกติแล้วเราสามารถนำเอาตัวส่งและรับมาใช้งานแทนกันได้ในการใช้งานส่วนใหญ่ และตัวส่งหรือตัวรับของยี่ห้อใด รุ่นใด ก็สามารถใช้แทนกันได้ในงานส่วนใหญ่ขอเพียงแต่ให้มีความถี่เรโซแนนซ์เดียวกันเท่านั้นเอง อย่างไรก็ตามในบางกรณีอาจต้องเปลี่ยน

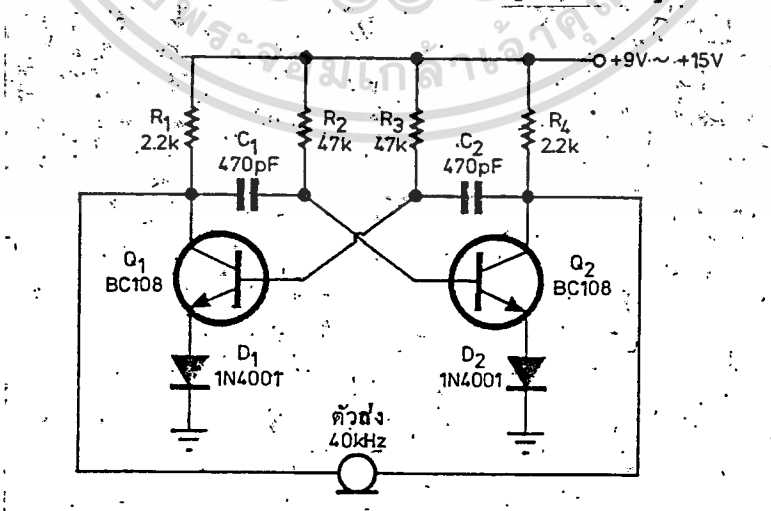
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แปลงค่าตัวต้านทานสมบูลย์ทางด้านไฟสลับเพื่อให้ลักษณะผลตอบสนองทางความถี่สอดคล้องกับของเดิม

เมื่อได้ทราบคุณสมบัติต่าง ๆ ที่ควรรู้ในทางปฏิบัติแล้ว ก็จะมาถึงวงจรใช้งานจริง ๆ กันเสียที แต่เพื่อความสะดวกจะแยกออกเป็น 3 หัวข้อใหญ่คือ วงจรภาคส่ง ซึ่งจะอธิบายว่าจะป้อนสัญญาณแรงดันให้แก่ทรานสดิวเซอร์ตัวส่งอย่างไรจึงจะทำให้เกิดคลื่นอุลตร้าโซนิคออกไปในอากาศ วงจรภาครับ ซึ่งจะอธิบายวิธีการนำเอาสัญญาณแรงดันที่ได้จากทรานสดิวเซอร์ตัวรับมาขยายและใช้งานได้อย่างไร สำหรับหัวข้อสุดท้ายคือ การใช้งาน จะอธิบายวิธีการเอาวงจรพื้นฐานทั้งหลายที่ได้อธิบายตั้งแต่ตอนต้นมารวมกันเพื่อเอาไปใช้งานจริง ๆ ตลอดจนวงจรพิเศษอื่น ๆ ที่ใช้อุลตร้าโซนิคทรานสดิวเซอร์

<u>วงจรภาคส่ง</u>

วิธีการสร้างเครื่องส่งเสียงอุลตร้าโซนิคนั้นไม่มีอะไรยาก เพียงแต่หาวงจรกำเนิดสัญญาณรูปสี่เหลี่ยมหรือรูปซายน์หรือเป็นรูปพัลซ์ก็ได้ ที่สามารถสร้างความถี่ที่ตรงกับความถี่เรโซแนนซ์ของอุลตร้าโซนิคทรานสดิวเซอร์ตัวส่งที่จะใช้ แล้วต่อตัวส่งคร่อมขั้วเอาท์พุทเพื่อทำหน้าที่เป็นโหลดทำนองเดียวกับการต่อลำโพงเท่านั้นเอง วงจรภาคส่งอาจจะเป็นวงจรออสซิลเลเตอร์ที่ใช้ทรานซิสเตอร์ตัวเดียวโดยมีขดลวดทำหน้าที่ป้อนกลับให้เกิดการออสซิลเลทถ์ได้ แต่การที่ต้องใช้ขดลวดเฉพาะอาจทำให้หลายท่านยุ่งยากใจอยู่บ้าง ดังนั้นจึงอาจเลี่ยงมาเริ่มต้นที่วงจรอะสเตเบิ้ลมัลติไวเบรเตอร์ดังแสดงในรูปที่ 4 จะดูง่ายกว่า วงจรหน้าตา



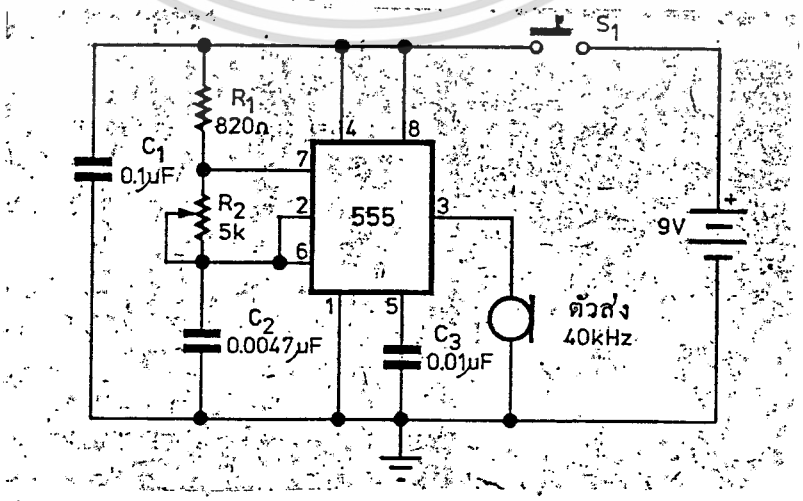
รูปที่ 4 วงจรภาคส่ง 40 kHz ที่ใช้วงจรอะสเตเบิ้ลมัลติไวเบรเตอร์ซึ่งใช้ทรานซิสเตอร์ 2 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อย่างนี้นักอิเลคทรอนิคส์รู้จักกันเป็นอย่างดีแล้วจึงจะไม่อธิบายอะไรกันมากมายเพียงแต่ขอให้สังเกตว่าเขาต่อทรานสดิวเซอร์เข้าระหว่างขาคอลเลคเตอร์ทั้งสองทั้งนี้เพราะตัวทรานสดิวเซอร์มีค่าความต้านทานไฟตรงสูงมาก ขืนเอาไปต่อทางนองเดียวกับ R_1 หรือ R_4 วงจรจะไม่ทำงาน นอกจากนั้นการต่อเช่นนี้ทำให้ขนาดสัญญาณสี่เหลี่ยมที่เกิดขึ้นคร่อมตัวทรานสดิวเซอร์สามารถสูง (จากยอดคลื่นถึงยอดคลื่น) ขึ้นไปได้ถึงประมาณเกือบ 2 เท่าของแรงดันไฟเลี้ยง เพื่อให้ขนาดสัญญาณอุลตร้าโซนิคออกมาได้แรงมากขึ้นกว่าปกติ ค่าอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ให้ไว้นี้บริษัทฟิลิปส์-มูลลาร์ดเจ้าของวงจรเขาออกแบบมาให้ใช้กับตัวส่ง 40 kHz โดยค่าความถี่ของวงจรถูกกำหนดโดยค่าของ C_1 C_2, R_2 และ R_3 ซึ่งตามค่าเหล่านี้จะสร้างความถี่ต่ำกว่าที่ต้องการเล็กน้อย เมื่อตัวส่งเริ่มต้นทำงานโดยสั่นขึ้นมาแล้ว จะเกิดแรงดันขึ้นมากระตุ้นทรานซิสเตอร์ตัวใดที่หยุดนำกระแสให้นำกระแสก่อนกำหนด เป็นเหตุให้ความถี่ของวงจรถูกบังคับให้มีค่าสูงขึ้น เป็นการซิงโครไนซ์ให้ความถี่ของวงจรเท่ากับความถี่เรโซแนนซ์ของตัวส่งโดยอัตโนมัติ โดยที่ไม่ต้องมีการปรับแต่งความถี่แต่อย่างใด

D_1 และ D_2 ที่ขาอิมิตเตอร์ของทรานซิสเตอร์ ทำหน้าที่ช่วยจำกัดขนาดแรงดันย้อนกลับที่เกิดขึ้นระหว่างขาเบสและขาอิมิตเตอร์ในบางขณะไม่ให้สูงเกินกว่าอัตราทนแรงดันย้อนกลับ $V_{EB(max)}$ของทรานซิสเตอร์ที่ใช้ ในกรณีที่ใช้กับไฟเลี้ยง 9 V_{dc} วงจรจะดึงกระแสประมาณ 5 mA สำหรับท่านที่ต้องการจะดัดแปลงวงจรนี้ให้ไปใช้กับตัวส่ง 25 kHz ให้เปลี่ยนค่า C_1 และ C_2 เป็น 750 pF (โดยการใช้ 560 pF และ 180 pF มาขนานกัน)

วงจรภาคส่งที่ใช้ไอซีขอให้ดูรูปที่ 5 ซึ่งแสดงการนำเอาไอซีตั้งเวลาเบอร์ 555

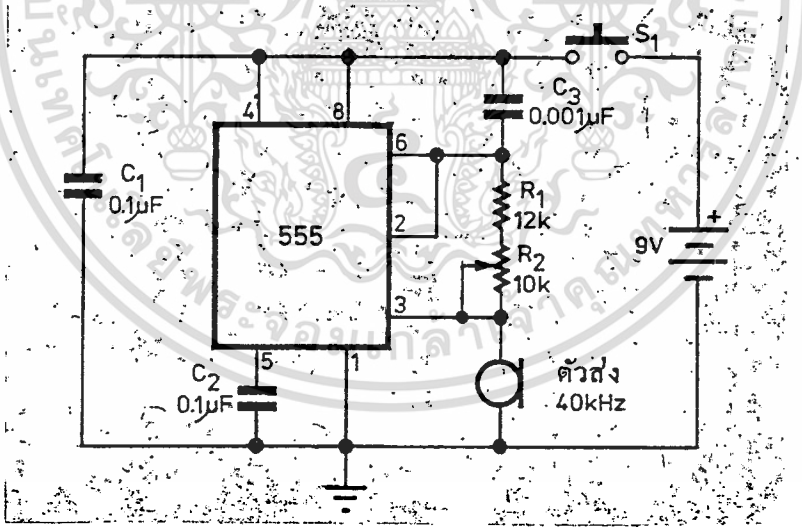


รูปที่ 5 วงจรภาคส่ง 40 kHz ที่ใช้ไอซี 555 มาทำหน้าที่เป็นวงจรอะสเตเบิ้ลมัลติไวเบรเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้ ห้ามมิให้ผู้ใดนำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ สิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มาต่อเป็นวงจรอะสเตเบิ้ลมัลติไวเบรเตอร์ ซึ่งให้สัญญาณสี่เหลี่ยมออกมาป้อนแก่ทรานสดิวเซอร์ตัวส่งความถี่ 40 kHz ซึ่งต่อเป็นโหลดที่ขาเอาท์พุทของไอซี วงจรจะส่งเสียงอุลตร้าโซนิคออกมาทุกครั้งที่กดสวิทช์ S_1 ให้ไฟเลี้ยงเข้าวงจร R_2 มีไว้เพื่อใช้ปรับแต่งความถี่ของการออสซิลเลทของวงจรให้เท่ากับความถี่เรโซแนนซ์ของตัวส่งที่ใช้เพื่อให้ได้กำลังเสียงส่งออกสูงสุด วิธีการปรับแต่งความถี่ทำได้ง่ายโดยต่อมิลลิแอมป์มิเตอร์อนุกรมกับสายไฟเลี้ยงวงจรแล้วปรับค่า R_2 จนกระทั่งกระแสที่วงจรดึงไปจากแหล่งจ่ายไฟมีค่าสูงสุด(อย่างไรก็ตามเนื่องจากตัวส่งและตัวรับอาจจะมีความถี่เรโซแนนซ์แตกต่างกันอยู่บ้าง ดังนั้นการปรับแต่ที่ตรงเป้าหมายที่สุดคือ ให้ผลการทำงานที่ดีที่สุดนั้น ควรจะวางภาคส่งและภาครับให้ตัวรับและตัวส่งพุ่งเข้าหากันแล้วปรับ R_2 ให้ขนาดสัญญาณที่ออกจากวงจรขยายของวงจรภาครับมีขนาดสัญญาณแรงที่สุด) ถ้าต้องการนำไปใช้กับตัวส่ง 25 kHz ให้เพิ่มค่า C_2 ขึ้นเป็น 0.01 μF หรือไม่ก็เพิ่มค่า R_2 เป็น 10 kΩ

ในรูปที่ 6 แสดงการใช้งาน 555 เป็นวงจรอะสเตเบิ้ลมัลติไวเบรเตอร์อีกแบบหนึ่งที่คัดแปลงมาจากรูที่ 5 โดยให้เอาท์พุทขา 3 มาอยู่ในส่วนที่เกี่ยวกับการสร้างรูปคลื่นโดยตรงเลย

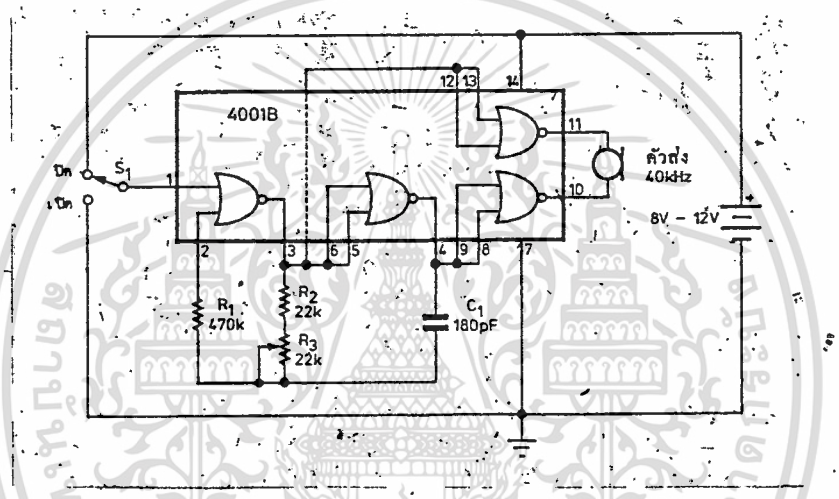


รูปที่ 6 วงจรภาคส่ง 40 kHz ที่ใช้ไอซี 555 อีกแบบหนึ่ง

ลักษณะการจัดวงจรเช่นนี้ทำให้ช่วงเวลาทำงาน (duty cycle) ของสัญญาณสี่เหลี่ยมเป็น 1 : 1 คงที่ตลอดไม่ว่าจะปรับ R_2 ไปอย่างใดก็ตาม ในกรณีที่ใช้กับตัวส่ง 25 kHz ให้เพิ่มค่า C_3 เป็น 0.0015 μF หรือไม่ก็เพิ่มค่า R_1 เป็น 18 kΩ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรภาคส่งอีกวงจรหนึ่งคือการใช้ไอซีดิจิตอลพวก CMOS เบอร์ 4001 B ซึ่งภายในประกอบด้วยนอร์เกท (NOR gate) 4 ตัว ดังแสดงในรูปที่ 7 ในวงจรนี้อาเกท 2 ตัวมาทำเป็นวงจรออสซิลเลเตอร์สร้างคลื่นรูปสี่เหลี่ยมขึ้นมา เกทอีก 2 ตัวที่เหลือต่อเป็นภาคบัฟเฟอร์เพื่อกันโหลดไม่ให้มามีผลต่อวงจรออสซิลเลเตอร์ บัฟเฟอร์แต่ละตัวจำนำเอาสัญญาณสี่เหลี่ยม 2 สัญญาณซึ่งมีเฟสต่างกันมาป้อนให้แก่แต่ละขาของตัวส่งในลักษณะ ของพุช-พูลในทำนองเดียวกับวงจรในรูปที่ 4 เพื่อเพิ่มขนาดสัญญาณคร่อมตัวส่งให้สูงขึ้นเป็นประมาณ 2 เท่าเมื่อเทียบกับการต่อตัวส่งเข้ากับเอาท์พุทของบัฟเฟอร์เพียงตัวเดียว ความถี่ของ



รูปที่ 7 วงจรภาคส่ง 40kHz ที่ใช้ไอซีดิจิตอลเบอร์ 4001 B

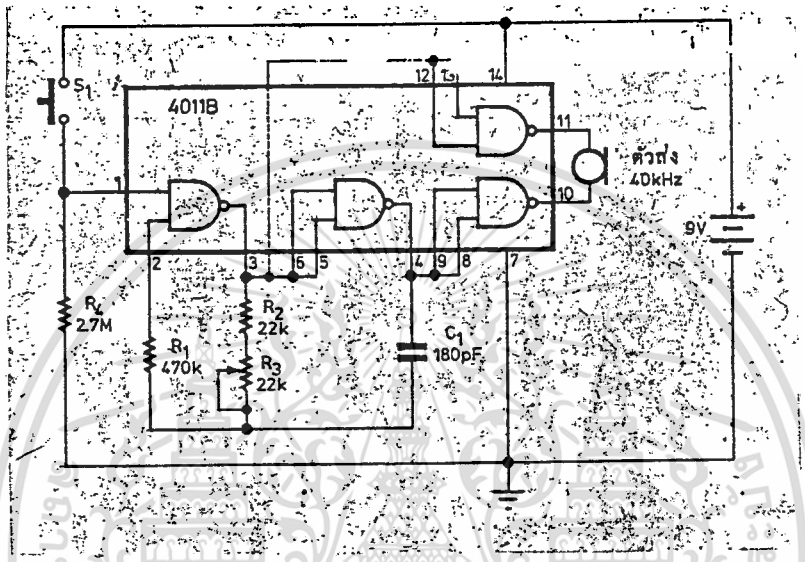
การออสซิลเลทที่เหมาะสมปรับได้โดยการปรับแต่งค่า R_3 ตามวิธีการดังที่เคยกล่าวมาแล้ว วงจรนี้จะทำงานให้คลื่นเสียงอุลตร้าโซนิคออกมาต่อเมื่อโยกสวิทช์ S_1 มาที่ตำแหน่ง "เปิด" เพื่อให้ขา 1 มีลอจิกเป็น 0 โดยการต่อลงกราวนด์ อย่างไรก็ตามในภาวะ " ปิด " จะมีกระแสไหลผ่านตัวไอซีอยู่บ้างแต่ก็น้อยมากเหลือเกินจนปล่อยทิ้งไว้อย่างนั้นได้ แต่ถ้าท่านต้องการให้หยุดทำงานสนิทจริง ๆ ก็อาจดัดแปลงวงจรเล็กน้อยโดยการตัดสวิทช์ S_1 ออกต่ออินพุทขา 1 เข้ากับอินพุทขา 2 แล้วเพิ่มสวิทช์กดติดปล่อยดับเข้าระหว่างขา 14 กับไฟเลี้ยงวงจร เมื่อต้องการให้วงจรทำงานก็เพียงแต่กดสวิทช์ในทำนองเดียวกันกับสวิทช์ในวงจรรูปที่ 5 และ 6 ในกรณีที่ต้องการดัดแปลงไปใช้กับตัวส่ง 25 kHz ให้เพิ่มค่า C_1 เป็น 270 pF

ถ้าท่านหาไอซีเบอร์ 4001 B ไม่ได้อาจใช้ไอซีดิจิตอลเบอร์ 4011 B ซึ่งภายในประกอบด้วยแนนด์เกท(NAND gate) 4 ตัวแทนก็ได้ แต่สวิทช์ S_1 จะต้องต่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กลับกันดังแสดงในรูปที่ 8 ซึ่งในที่นี้ได้เปลี่ยนสวิทช์โยกเป็นสวิทช์กดติดปล่อยดับ ดังนั้นจึงต้องเพิ่มตัวต้านทาน R_4 เข้ามาเพื่อเป็นทางผ่านให้ขา 1 ลงกราวนด์ในขณะที่ไม่ได้กดสวิทช์ S_1

วงจรภาคส่งตั้งแต่รูปที่ 4 จนถึง รูปที่ 8 นั้นล้วนแล้วแต่เป็นวงจรที่สร้างคลื่นรูปสี่เหลี่ยมให้แก่ตัวส่งทั้งสิ้น คราวนี้ลองมาดูตัวอย่างวงจรภาคส่งที่ไม่ใช้คลื่นรูปสี่เหลี่ยมกัน

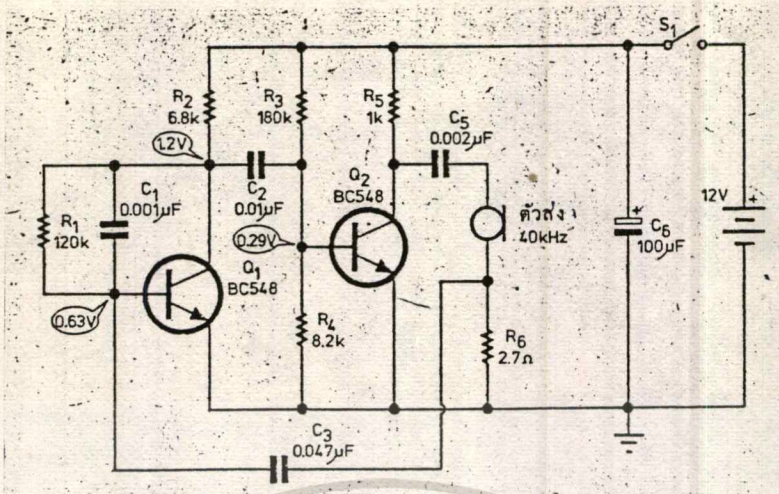


รูปที่ 8 วงจรภาคส่ง 40 kHz ที่ใช้ไอซีดิจิตอลเบอร์ 4011B

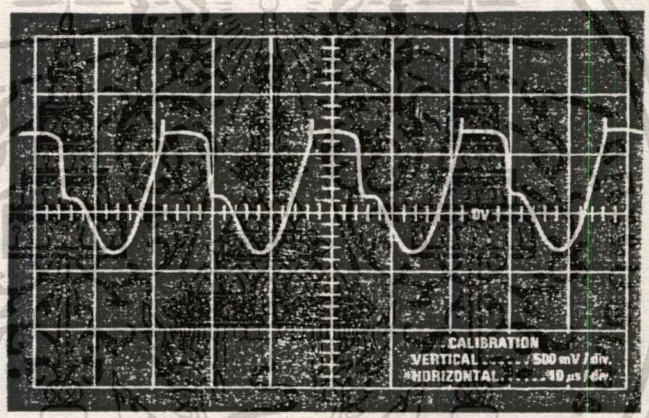
บ้าง ดังแสดงในรูปที่ 9 ในวงจรนี้ใช้ทรานซิสเตอร์ 2 ตัวทำหน้าที่เป็นวงจรขยายที่ไม่กลับเฟสและใช้การป้อนกลับแบบบวกโดยผ่านตัวส่งและ C_3 ซึ่งที่ความถี่เรโซแนนซ์ของทรานสดิวเซอร์จะทำให้การป้อนกลับแบบบวกมากพอที่จะทำให้เกิดการออสซิลเลทขึ้นมาได้ ตัวเก็บประจุ C_1 และ C_4 ใส่ไว้เพื่อป้องกันไม่ให้วงจรออสซิลเลทที่ฮาร์โมนิคที่สามของความถี่เรโซแนนซ์ ส่วน C_5 ทำหน้าที่ช่วยเลื่อนจุดที่เรโซแนนซ์ให้สูงขึ้นมาอีกประมาณ 500 Hz เพื่อให้ความถี่ที่ออกมาเหมาะสมกับภาครับมากยิ่งขึ้น สำหรับวงจรนี้ใช้ได้กับไฟเลี้ยงตั้งแต่ 8 V จนถึง 20 V โดยดึงกระแสประมาณ 5 mA

ผลการทำงานของวงจรภาคส่งทั้งหมดที่ยกตัวอย่างมาให้ดูนี้ใกล้เคียงกันมาก และก็ให้ผลตรง ๆ คือ ส่งคลื่นเสียงอุลตร้าโซนิคแพร่ออกมาในอากาศได้ สำหรับวงจรภาคส่งที่ยุ่งยากขึ้น อาจจะมีวงจรสร้างคลื่นความถี่ต่ำ เช่น 300 Hz ผสมเข้าไปกับความถี่ 40 kHz เพื่อป้องกันสัญญาณรบกวนความถี่สูงที่อาจจะเข้าไปกวนภาครับ โดยให้ภาครับรับรู้คำสั่งที่เป็นคลื่นเสียงอุลตร้าโซนิคที่มีความถี่ต่ำเช่น 300 Hz ขี่มาด้วยเท่านั้น

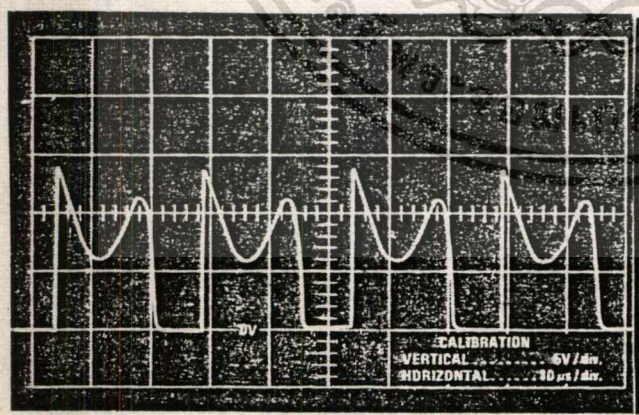
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
024727



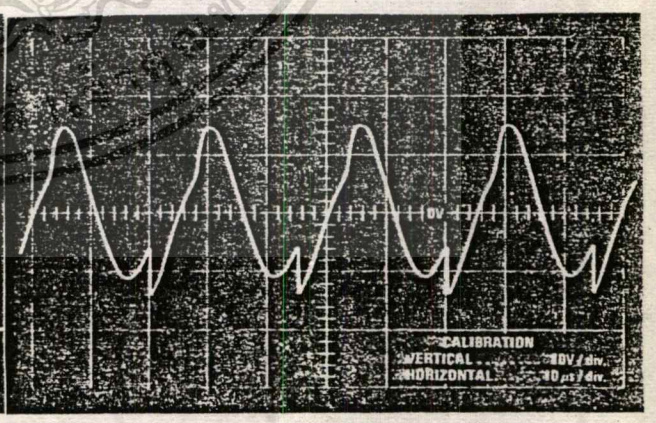
รูปที่ 9 วงจรภาคส่ง 40 KHz ที่ใช้คลื่นรูปคล้ายซายน์ ค่าแรงดันที่ให้ไว้ในจุดต่าง ๆ ของวงจรเป็นค่าที่วัดโดยใช้โวลท์มิเตอร์ที่มีอินพุทอิมพิแดนซ์ 10 MΩ



(ก) แรงดันที่ขาเบสของ Q_2



ข) แรงดันที่ขาคอลเลคเตอร์ของ Q_2



ค) รูปคลื่นคร่อมตัวส่ง

รูปที่ 10 แสดงรูปคลื่นแรงดันที่จุดต่าง ๆ ของวงจรในรูปที่ 9 จะเห็นว่าสัญญาณที่เกิดขึ้นคร่อมตัวส่งจะมีรูปคลื่นคล้ายซายน์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรภาครับ

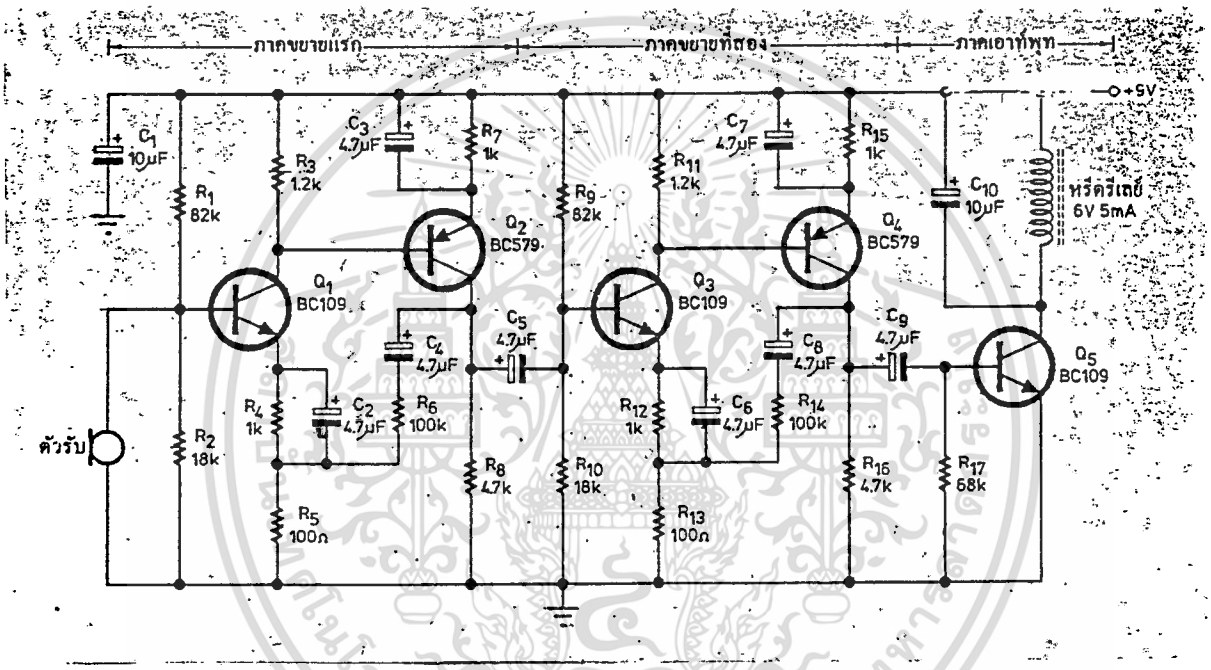
ตามที่ได้อธิบายมาแล้วว่า เมื่อมีคลื่นอุลตร้าโซนิคมาตกกระทบทรานสดิวเซอร์ตัวรับ จะเกิดแรงดันขนาดเล็กขึ้นมาคร่อมตัวทรานซิสเตอร์ โดยแรงดันนี้จะมีรูปคลื่นออกมาเป็นซายน์ที่มีความถี่เดียวกับคลื่นที่มาตกกระทบตัวมัน และจะมีขนาดสูงสุดเมื่อความถี่ของคลื่นเสียงที่เข้ามาตรงกับความถี่เรโซแนนซ์ของตัวรับ ส่วนที่ความถี่อื่น ๆ ขนาดสัญญาณจะออกมาน้อยมาก บางท่านอาจสงสัยว่าทำไมสร้างคลื่นออกมาเป็นสี่เหลี่ยมความถี่ 40 kHz แต่คลื่นที่ออกมาจากตัวรับกลับเป็นรูปซายน์ ที่เป็นเช่นนี้เพราะคลื่นรูปสี่เหลี่ยมประกอบมาจากคลื่นรูปซายน์หลาย ๆ ความถี่มาผสมกันคลื่นรูปซายน์ที่มีขนาดสูงสุดก็คือคลื่นที่มีความถี่ 40kHz ส่วนคลื่นซายน์ความถี่อื่น ๆ จะมีความถี่สูงกว่า 40 kHz เช่นอาจจะเป็น 80 kHz, 120 kHz เป็นต้นส่วนตัวรับจะยอมให้ผ่านไปเพียงความถี่เดียวคือ 40 kHz ความถี่อื่น ๆ จะถูกตัดทิ้งไป ดังนั้นสัญญาณที่ออกมาจากตัวรับจึงเป็นคลื่นรูปซายน์ ความถี่ 40 kHz ซึ่งจริง ๆ แล้วแม้วงจรภาคส่งจะสร้างคลื่นสี่เหลี่ยมแต่คลื่นที่ออกกระจายมาในอากาศก็จะเป็นรูปซายน์ในทำนองเดียวกันตามหลักการที่อธิบายมานี้ เมื่อเอาตัวรับและตัวส่งมาวางหันหน้าชนกัน ขนาดแรงดันคร่อมตัวรับโดยทั่วไปจะน้อยกว่า 1 โวลท์ ยิ่งระยะระหว่างตัวรับและตัวส่งห่างกันมากขึ้นขนาดแรงดันก็จะยิ่งลดลง อย่างเช่นที่ระยะห่างประมาณ 30 เมตร แรงดันที่เกิดขึ้นคร่อมตัวรับจะตกอยู่ในราวไม่กี่ลิบไมโครโวลท์เท่านั้น ถ้ายิ่งห่างกันกว่านี้ไปอีกก็อาจจะถูกสัญญาณรบกวนกลบไปหมด ดังนั้นในวงจรภาครับจึงต้องมีภาคขยาย เพื่อทำหน้าที่ขยายสัญญาณที่ออกจากตัวรับให้มีขนาดสูงพอ และก็ตามด้วยภาคเอาท์พุทซึ่งจะทำหน้าที่แปลงสัญญาณที่ได้นี้ไปควบคุมหรือสั่งงานอุปกรณ์อื่นหรือเครื่องใช้ไฟฟ้าให้ทำงานตามต้องการอีกต่อหนึ่ง ที่ควรกระหนักเกี่ยวกับวงจรภาครับคือ วงจรขยายในภาครับมักจะมีอัตราขยายสูงมาก ไฟเลี้ยงที่จ่ายเข้ามาจึงควรใช้วงจรเรกูเลเตอร์มาช่วยทำให้แรงดันไฟเลี้ยงเรียบและคงที่พอสมควรเพื่อให้เสถียรภาพการทำงานของวงจรดี ไม่ออสซิลเลทและไม่ทำงานผิดพลาดไปเมื่อแรงดันไฟเลี้ยงเปลี่ยนแปลงไปบ้าง

วงจรในรูปที่ 11 เป็นตัวอย่างการนำเอาทรานซิสเตอร์มาต่อกันเป็นวงจรภาครับ ซึ่งประกอบด้วยภาคขยายและภาคเอาท์พุท Q_1 และ Q_2 ทำหน้าที่เป็นภาคขยายชุดแรก มี Q_3 และ Q_4 ทำหน้าที่เป็นวงจรขยายภาคที่สอง และมี Q_5 ทำหน้าที่เป็นภาคเอาท์พุทโดยรับสัญญาณที่ขยายแล้วมาสั่งงานให้หรีดรีเลย์ทำงานซึ่งเราจะนำเอาหน้าสัมผัสของหรีด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รีเลย์ไปควบคุมการทำงานของเครื่องใช้ไฟฟ้าอื่น ๆ ได้ โดยหรีดรีเลย์จะทำงานก็ต่อเมื่อมีคลื่นอุลตร้าโซนิคที่มีความถี่ตรงกับความถี่เรโซแนนซ์ (เช่น 25 kH_z หรือ 40 kHz ของตัวรับที่ใช้

ในรายละเอียดของวงจรในรูปที่ 11 นั้น จะเห็นว่าเขาต่อตัวรับเข้ากับขาเบสโดยตรงได้เลยโดยไม่จำเป็นต้องต่อผ่านตัวเก็บประจุ ทั้งนี้เพราะตัวรับมีค่าความต้านทานทางด้านไฟตรงสูงมาก จึงไม่ไปรบกวนการไบแอสที่ให้แก่ขาเบสของ Q_1 แต่อย่างใดอัตรา



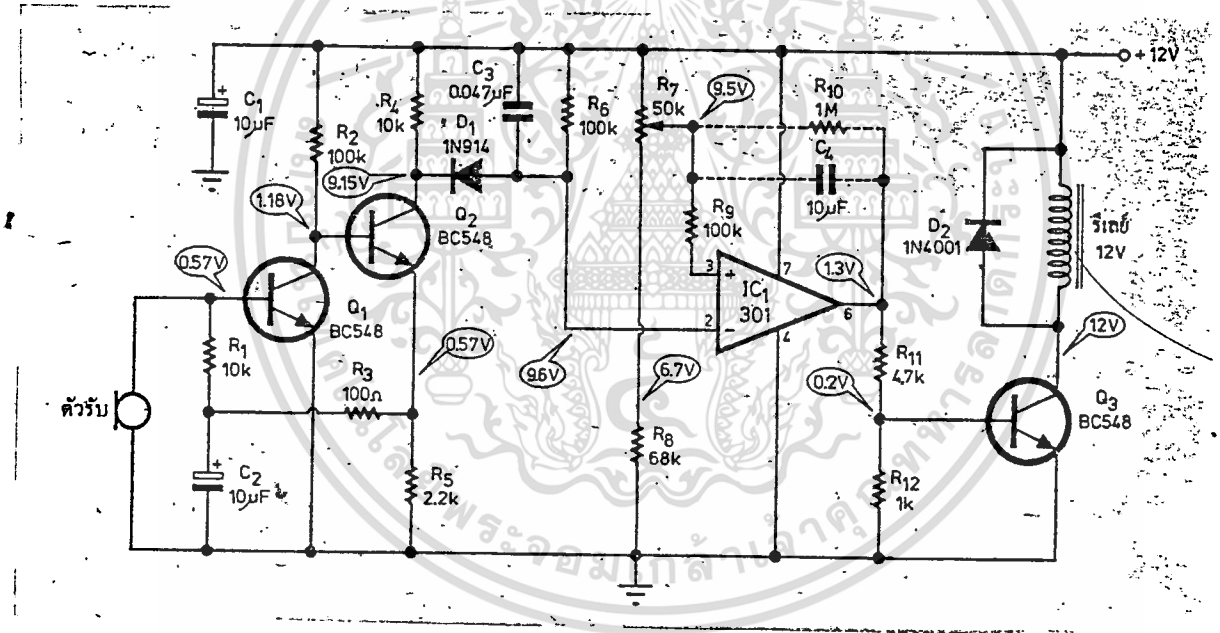
รูปที่ 11 วงจรภาครับซึ่งหรีดรีเลย์จะทำงานเมื่อมีคลื่นอุลตร้าโซนิคที่มีความถี่ตรงกับความถี่ของตัวรับที่ใช้เข้ามา

ขยายของภาคขยายแรกถูกกำหนดโดยอัตราส่วนระหว่าง R_6 และ R_5 และในทำนองเดียวกันอัตราขยายของภาคขยายที่สองก็ถูกกำหนดโดยอัตราส่วนระหว่าง R_{14} และ R_{13} ซึ่งจะเห็นว่าอัตราขยายของแต่ละภาคสูงมาก ถ้าการจัดวางอุปกรณ์และเดินสายไม่ดีพอวงจรก็อาจออสซิลเลทหรือเสถียรภาพการทำงานไม่ดีพอคือ อยู่ ๆ ก็อาจทำงานขึ้นมาเอง ดังนั้นถ้าไม่ต้องการความไวสูงมาก ๆ แล้วก็ควรลดอัตราขยายโดยการลดค่า R_6 หรือ R_{14} ตัวใดตัวหนึ่งหรือทั้งสองตัวเลยก็ได้ ยิ่งถ้าระยะระหว่างตัวรับและตัวส่งอยู่ห่างกันไม่มากนักก็อาจทำวงจรขยายภาคที่สองออกไปได้ เมื่อขนาดสัญญาณที่เกิดขึ้นคร่อม R_{17} สูงกว่าประมาณ 0.65 V Q_5 จะนำกระแสทำให้หรีดรีเลย์ทำงานโดยมี C_{10} คอยช่วยรักษาระดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แรงดันคร่อมรีเลย์ในช่วงครึ่งลบของสัญญาณให้ยังคงมากพอที่รีเลย์จะทำงานค้างอยู่ได้ ดังนั้นจึงต้องการใช้หรีดรีเลย์ที่มีความไวสูงมาก(มีค่าความต้านทานสูงมาก) เพื่อให้ประจุใน C_{10} คายออกช้าหน่อย สำหรับวงจรนี้เมื่อคลื่นเสียงอุลตร้าโซนิคที่มีความถี่ตรงกับตัวรับยุติแล้วหรีดรีเลย์ก็จะยุติการนำกระแสไปด้วย

วงจรภาครับอีกแบบหนึ่งซึ่งใช้ควบคุมการทำงานของหรีดรีเลย์แสดงในรูปที่ 12 ในวงจรนี้ใช้ทรานซิสเตอร์ Q_1 และ Q_2 เป็นวงจรขยายสัญญาณความถี่ 40 kHz (หรือความถี่อื่นก็แล้วแต่ความถี่เรโซแนนซ์ของตัวรับที่ใช้) ที่ผ่านตัวรับออกมาให้มีขนาดใหญ่ขึ้นประมาณ 3,000 เท่า (70 dB) R_1 และ R_3 ทำหน้าที่ให้ไบแอสแก่ขาเบสของ Q_1 โดยมี C_2 ลัดวงจรไบแอสส่วนนั้นในขณะที่มีสัญญาณอุลตร้าโซนิคเข้ามา เพื่อช่วยเพิ่มอัตราขยายให้สูงขึ้น ถ้าสัญญาณอุลตร้าโซนิคที่เข้ามาแรงมากวงจรขยายก็จะชลิบสัญญาณเอาท์พุทให้



รูปที่ 12 แสดงวงจรภาครับคลื่นอุลตร้าโซนิคอีกแบบหนึ่ง ขนาดแรงดันต่าง ๆ ที่กำหนดในรูปเป็นค่าที่วัดได้จากโวลท์ที่มีอินพุทอิมพิแดนซ์ 10 MΩ ในขณะที่ยังไม่มีสัญญาณ

ออกมาเป็นรูปสี่เหลี่ยมที่สวิงไปมาระหว่างไฟเลี้ยงและกราวนด์เอาท์พุทของ Q_2 จะถูกเรคติฟายโดย D_1 และมี C_3 กรองให้เป็นไฟตรงที่เรียบขึ้นแล้วมาป้อนให้แก่อินพุทขา 2 ของ IC_1 IC_1 ทำหน้าที่เป็นวงจรเปรียบเทียบซึ่งจะคอยสังเกตดูระดับแรงดันที่ขา 2 เทียบกับขา 3 ที่มีขนาดแรงดันคงที่อยู่ค่าหนึ่งซึ่งกำหนดโดยการตั้งขากลางของ R_7 ให้เหมาะสม ถ้าแรงดันที่ขา 2 ต่ำกว่าแรงดันที่ขา 3 เนื่องจากมีคลื่นเสียงอุลตร้าโซนิคเข้ามากระ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

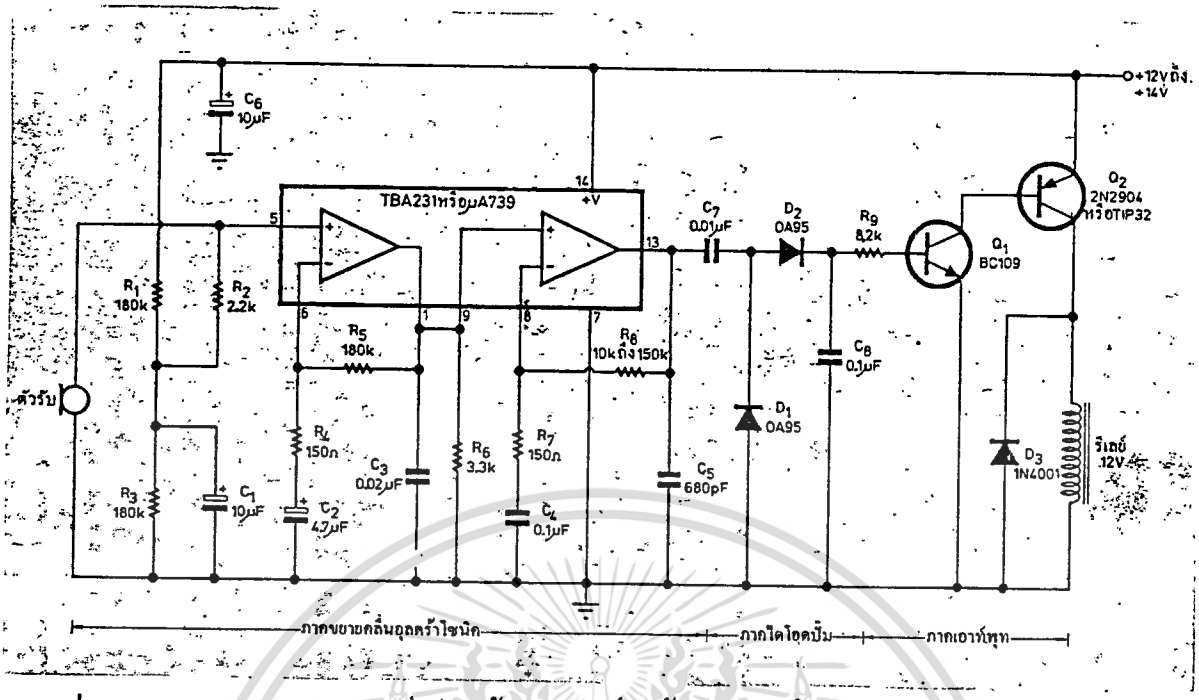
ทบตัวรับ เอาท์พุทของ IC_1 จะเปลี่ยนจากแรงดัน " ต่ำ " (ประมาณ 1.3 V)ขึ้นไปเป็นแรงดัน " สูง " (ประมาณ 10.5 V) ซึ่งจะทำให้ทรานซิสเตอร์ Q_3 นำกระแสและทำให้รีเลย์ทำงานไปด้วยแต่เพื่อไม่ให้หน้าสัมผัสของรีเลย์เด้งไปเด้งมาเนื่องจากขนาดสัญญาณแรงไม่เพียงพอ จึงได้เพิ่ม R_{10} เข้าไปช่วยให้เกิดการป้อนกลับแบบบวก คือถ้าแรงดันเอาท์พุทสูงขึ้นกว่าเดิมเนื่องจากมีสัญญาณอุลตร้าโซนิคเข้ามาการเปลี่ยนแปลงแรงดันเอาท์พุทนี้จะผ่าน R_{10} ไปทำให้แรงดันที่ขา 3 สูงเพิ่มขึ้นกว่าเดิมเล็กน้อย ซึ่งก็คือยิ่งทำให้แรงดันที่ขา 2 มีค่าต่ำกว่าแรงดันที่ขา 3 IC_1 ก็จะเปลี่ยนขนาดแรงดันเอาท์พุทไปเป็น " สูง " ได้เร็วขึ้น แต่ถ้าต่อ C_4 เข้าไปแทน R_{10} จะทำให้ IC_1 ทำหน้าที่เป็นวงจรโมโนสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์ไปด้วย กล่าวคือ C_4 จะคอยหน่วงเวลาให้วงจรทำงานค้างอยู่ได้นานประมาณ 1 วินาที หลังจากที่คลื่นเสียงอุลตร้าโซนิคขาดหายไปแล้ว เวลาใช้งานจริงให้ปรับแต่ง R_7 ให้รีเลย์ไม่นำกระแสในสภาวะแวดล้อมปกติของการใช้งาน และให้ทำงานต่อเมื่อมีคลื่นเสียงอุลตร้าโซนิคจากภาคสิ่งที่อยู่ห่างในระยะใช้งานปกติเท่านั้น

วงจรในรูปที่ 13 ซึ่งเป็นตัวอย่างการนำเอาไอซีปรีแอมป์คู่ที่มีอัตราขยายสูงและมีสัญญาณรบกวนต่ำ อย่างเช่นเบอร์ TBA 231 ของบริษัท SGS-ATES หรือเบอร์ uA 739 ของบริษัทแฟร์ชายล์หรือเบอร์ที่มีคุณสมบัติทำนองนี้มาต่อเป็นภาคขยายสัญญาณความถี่อุลตร้าโซนิคจำนวน 2 ภาค เนื่องจากวงจรนี้ใช้ไฟเลี้ยงชุดเดียว จึงต้องมีตัวต้านทาน R_1 และ R_3 ทำหน้าที่แปลงแรงดันไฟเลี้ยงลงมาเหลือครึ่งหนึ่งเพื่อมาป้อนไบแอสให้แก่อินพุทขา 5 ของวงจรขยายภาคแรก แต่เมื่อมีสัญญาณเข้ามา C_1 จะทำหน้าที่เสมือนหนึ่งลัดวงจรจุดต่อระหว่าง R_1 และ R_3 ลงกราวนด์ ทำให้ตัวรับมองเห็น R_2 เป็นโหลดที่ต่อคร่อมตัวมันเท่านั้นเป็นการช่วยเพิ่มแถบความถี่ในการทำงานของตัวรับให้กว้างขึ้น

อัตราขยายของภาคแรกจะถูกกำหนดโดยอัตราส่วนระหว่าง R_5 และ R_4 โดยมี C_2 คอยทำหน้าที่เพิ่มอัตราขยายที่ความถี่สูง ๆ เอาท์พุทของภาคแรกจะออกจากขา 1 มาป้อนโดยตรงให้แก่ขา 9 ซึ่งเป็นอินพุทของวงจรขยายภาคที่สอง ซึ่งเป็นการให้ไบแอสที่เหมาะสมแก่ขาอินพุทของภาคที่สองไปด้วยในตัวหลักการของภาคที่สองก็เหมือนกับในภาคแรก เพียงแต่เปลี่ยนแปลงค่าอุปกรณ์บางตัวให้สามารถลดสัญญาณรบกวนที่ไม่ต้องการ และลดอัตราขยายที่ความถี่ต่ำลงเพื่อลดปัญหาในการทำงานลงเท่านั้น

เอาท์พุทจากขา 13 จะป้อนผ่าน C_7 เข้ามายังภาคไดโอดปั๊ม (diode pump Circuit) ซึ่งจะทำหน้าที่แปลงรูปคลื่นอุลตร้าโซนิคให้ออกมาเป็นแรงดันไฟตรงที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

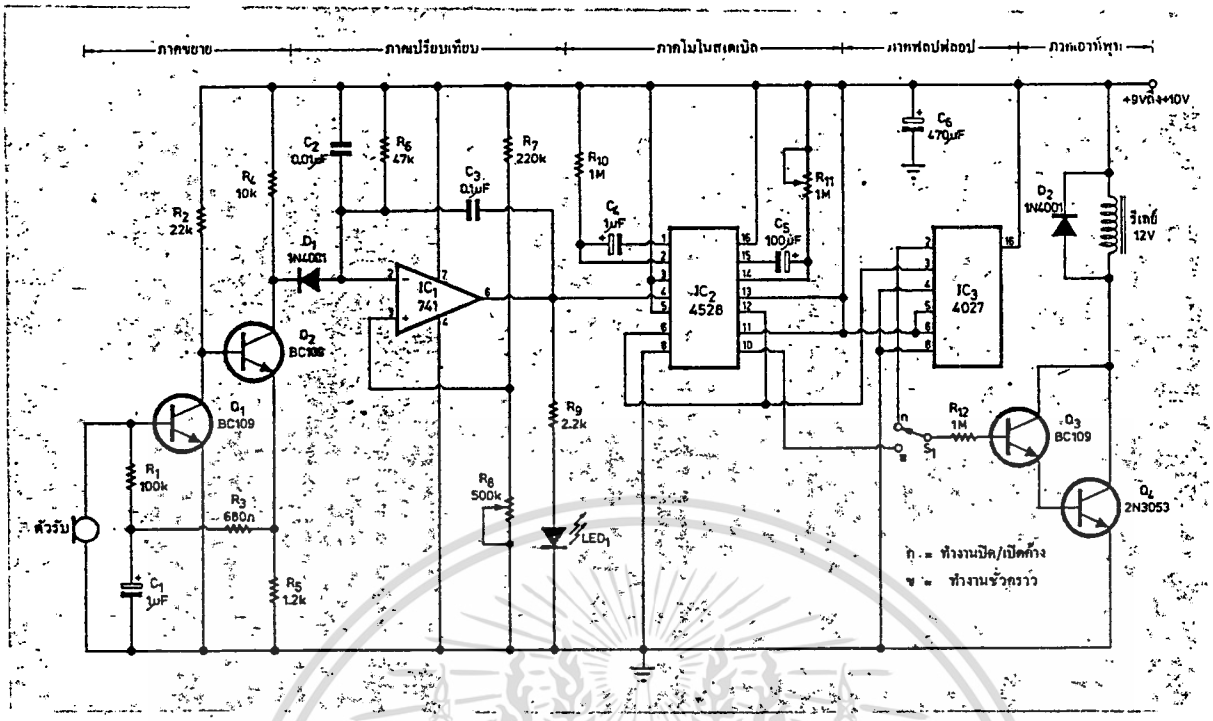


รูปที่ 13 แสดงวงจรภาครับคลื่นอุลตร้าโซนิค ซึ่งใช้ไอซีเบอร์ TBA 231 หรือ uA 739 เป็นภาคขยายที่มีอัตราขยายสูง

ราบเรียบคร่อม C_8 C_8 จะคายประจุผ่าน R_9 และขาเบสของ Q_1 ทำให้ Q_1 และ Q_2 ทำงาน มีกระแสไหลผ่านไปยังรีเลย์ ลักษณะการต่อ Q_1 และ Q_2 เช่นนี้ทำให้วงจรนี้สามารถจ่ายกระแสไปให้รีเลย์ได้มาก อาจจะได้ถึงมากกว่า 150 mA รีเลย์จึงไม่จำเป็นต้องเป็นชนิดไว ซึ่งรีเลย์ขนาดเหล่านี้มักจะมีหน้าสัมผัสใหญ่พอที่จะรับกระแสของเครื่องใช้ไฟฟ้าได้สูง (เช่น 10 A ที่ 220 V_{ac}) รีเลย์จะทำงานทุกครั้งที่มีคลื่นเสียงอุลตร้าโซนิคมากกระทบตัวรับ เวลาใช้งานให้ลองเปลี่ยนค่า R_8 จนกว่าจะได้อัตราขยายที่พอใจ แต่ถ้าตั้งอัตราขยายสูงเกินไป (โดยปรับให้ R_8 มีค่าสูง) สัญญาณรบกวนภายนอก เช่นสัญญาณกระดิ่งของโทรศัพท์แม้จะห่างไกลถึง 8 เมตร ก็อาจทำให้รีเลย์ทำงานได้

วงจรภาครับทั้งสามแบบที่กล่าวมาแล้วให้ภาคเอาท์พุทเหมือนกัน คือรีเลย์จะทำงานต่อเมื่อมีคลื่นอุลตร้าโซนิคเข้ามาเท่านั้น แต่วงจรในรูปที่ 14 นั้นได้เพิ่มภาคโมโนสเตเบิ้ลและภาคฟลิปฟลอปเข้ามาเพื่อให้การทำงานของรีเลย์แตกต่างไปจากเดิม กล่าวคือเมื่อได้รับคลื่นอุลตร้าโซนิคครั้งหนึ่งรีเลย์จะทำงานค้าง ต่อเมื่อได้รับคลื่นอีกครั้งหนึ่งรีเลย์จึงจะหยุดทำงาน วิธีนี้ทำให้เหมาะที่ใช้ไปควบคุมการทำงานของเครื่องรับโทรทัศน์ วิทยุ เป็นต้น อย่างไรก็ตามก็มีสวิทช์ให้เลือกการทำงานแบบชั่วครู่คือ รีเลย์จะทำงานเพียงชั่วระยะเวลาหนึ่งนับแต่ได้รับคลื่นอุลตร้าโซนิคเท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 14 แสดงวงจรภาครับคลื่นอุลตร้าโซนิคซึ่งภาคเอาท์พุทสามารถควบคุมเครื่องใช้ไฟฟ้าให้ทำงาน ปิด/เปิด หรือให้ทำงานชั่วคราวก็ได้

ตามวงจรในรูปที่ 14 นี้ Q_1 และ Q_2 จะทำการขยายสัญญาณคลื่นอุลตร้าโซนิครูปซายน์ขนาดเล็ก ๆ ที่ออกมาจากตัวรับให้โตขึ้น แล้วนำมาเรกติฟายด้วย D_1 โดยมี C_2 และ R_6 แปลงให้สัญญาณออกมาเป็นพัลซ์ลบมาป้อนให้แก่ขา 2 ของ IC_1 อินพุทขา 2 นี้จะเปรียบเทียบยอดสูงสุดของพัลซ์นี้กับแรงดันที่ขา 3 ซึ่งถูกกำหนดโดยการแบ่งแรงดันของ R_7 และ R_8 โดยมี R_8 ทำหน้าที่เป็นตัวปรับแต่งความไวให้เหมาะสม เมื่อไม่มีสัญญาณปรากฏที่ขาคอลเลคเตอร์ของ Q_2 ขา 2 จะมีแรงดันเป็น " สูง " ทำให้แรงดันเอาท์พุทที่ขา 6 ของ IC_1 เป็นศูนย์โวลท์ แต่เมื่อมีสัญญาณพัลซ์ลบเข้ามาที่ขา 2 จะทำให้แรงดันที่ขา 2 ต่ำกว่าที่ขา 3 แรงดันเอาท์พุทจะเปลี่ยนไปเป็น " สูง " ทันที โดยมี LED_1 แสดงให้ผู้ใช้รู้ว่ามีสัญญาณอุลตร้าโซนิคเข้ามาอยู่ในขณะนั้น ส่วนตัวเก็บประจุ C_3 ทำหน้าที่ช่วยลดการทำงานผิดพลาดของออปแอมป์เนื่องจากสัญญาณรบกวนโดยสัญญาณพัลซ์จะต้องเข้ามาเป็นปริมาณหนึ่งวงจรจึงจะรับรู้

สัญญาณจากออปแอมป์จะผ่านมาเข้าขา 4 ของ IC_2 ซึ่งเป็นไอซี CMOS ที่ภายในประกอบด้วยวงจรโมโนสเตเบิ้ลมัลติไวเบรเตอร์ 2 ชุด แรงดัน "สูง "ที่ขา 4 นี้จะกระตุ้นให้วงจรโมโนสเตเบิ้ลชุดแรกภายใน IC_2 ทำงานให้พัลซ์ออกมาทางขา 6 ซึ่งความกว้างของพัลซ์คงที่ตามผลคูณของค่า C_4 และ R_{10} หน้าที่หลักของโมโนสเตเบิ้ลชุดแรกก็คือจัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปร่างของสัญญาณพัลซ์ให้เหมาะสมที่จะนำไปสั่งงาน วงจรโมโนสเตเบิ้ลอีกชุดหนึ่งใน IC_2 รวมไปจนถึงสั่งงาน IC_3 ซึ่งเป็นไอซี CMOS ที่ทำหน้าที่เป็นฟลิปฟลอป

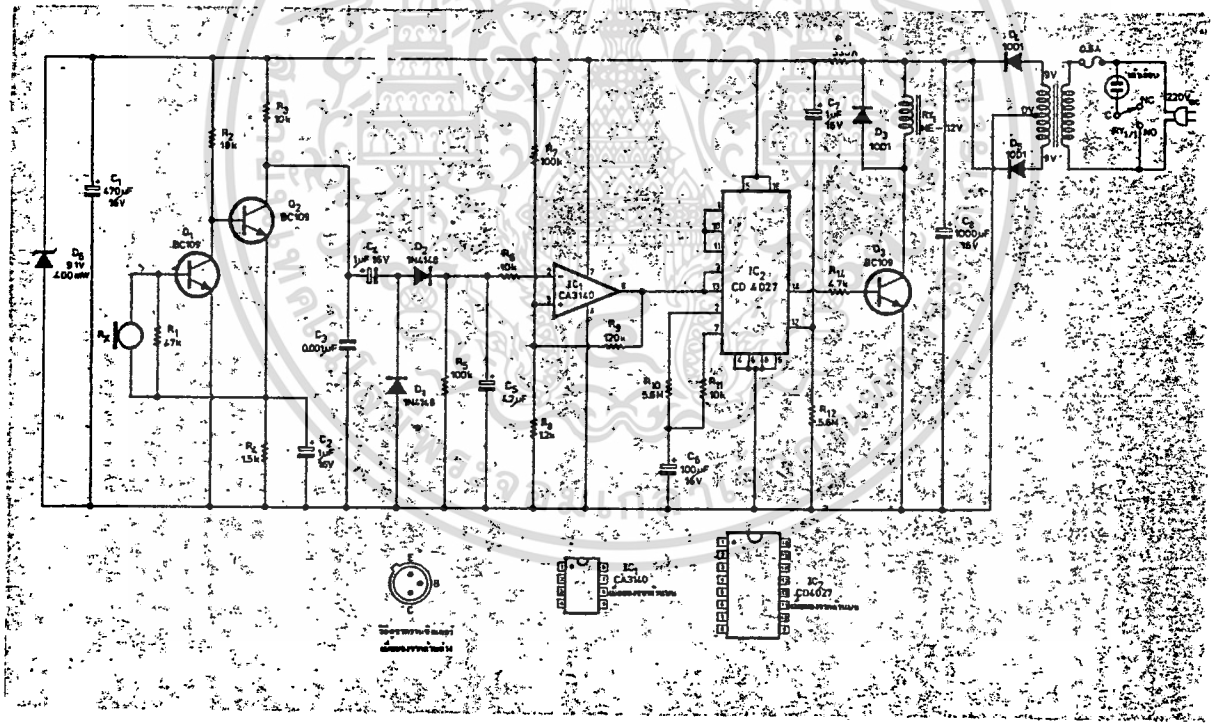
วงจรโมโนสเตเบิ้ลชุดที่สองจะถูกกระตุ้นโดยสัญญาณเอาท์พุทจากชุดแรกผ่านทางขา 12 และให้พัลซ์บวกออกมาทางขา 10 โดยความกว้างของพัลซ์ถูกกำหนดโดยผลคูณของ C_5 และ R_{11} และสัญญาณเอาท์พุทจากชุดแรกนี้ก็ไปสั่งงานฟลิปฟลอปที่ขา 3 ของ IC_3 ด้วยแต่ละพัลซ์ที่สั่งงานไปนั้นจะทำให้แรงดันเอาท์พุทที่ขา 2 ของ IC_3 เป็น" สูง " หรือ "ต่ำ" สลับกัน เช่น ถ้าพัลซ์แรกทำให้เอาท์พุทเป็น "สูง" พัลซ์ต่อไปก็จะทำให้เอาท์พุทเป็น "ต่ำ" พัลซ์ที่สามจะทำให้เอาท์พุทเป็น " สูง " เป็นต้น สวิทซ์ S_1 ใช้เลือกว่าจะเอาสัญญาณเอาท์พุทที่ออกจากฟลิปฟลอปหรือเอาสัญญาณที่ออกจากวงจรโมโนสเตเบิ้ลสัญญาณเอาท์พุทที่ต้องการจะป้อนเข้าภาคเอาท์พุทซึ่งประกอบด้วย Q_3 และ Q_4 ต่อกันเป็นวงจรดาร์ลิงตัน เพื่อขยายให้มีกระแสมากพอที่จะไปสั่งงานรีเลย์ให้ทำงานได้

ในการใช้งานวงจรในรูปที่ 14 นั้น ให้ปรับ R_8 ให้มีความไวสูงสุด (R_8 มีค่ามากที่สุด) LED_1 จะสว่างให้หมุน R_8 จนกระทั่ง LED_1 เพิ่งจะดับ นี่ก็จะเป็นตำแหน่งที่ความไวสูงสุด แต่ถ้ารู้สึกว่าจะไวเกินไป เพราะแม้แต่เสียงอุลตร้าโซนิคจากวัตถุโลหะกระทบกันค่อย ๆ หรือจากเสียงคีดนิ้วหรือเสียงการทำงานของหน้าสัมผัสรีเลย์มาทำให้วงจรทำงานได้เองแล้ว ก็ควรลดความไวลงมาอีกเมื่อมีคลื่นอุลตร้าโซนิคเข้ามา LED_1 ก็ควรจะสว่างให้เห็น เมื่อโยกสวิทช์ S_1 มาที่ตำแหน่ง ข. และให้สัญญาณอุลตร้าโซนิคเข้ามาครั้งหนึ่ง รีเลย์จะทำงานเป็นระยะเวลาหนึ่งซึ่งจะนานมากน้อยเพียงใดขึ้นกับการปรับแต่ง R_{11} โดยจะได้นานที่สุดประมาณ 50 วินาที จากนั้นก็จะหยุดทำงาน แต่เมื่อโยกสวิทช์ S_1 มาที่ตำแหน่ง ก. รีเลย์จะทำงานค้างหรือหยุดการทำงานสลับกันทุกครั้งที่มีคลื่นอุลตร้าโซนิคเข้ามา

ถ้าท่านต้องการเพียงให้ทำงานปิด/เปิด เพียงอย่างเดียว ไม่ต้องการลักษณะการทำงานแบบชั่วคราวก็อาจดัดแปลงวงจรรูปที่ 14 ออกมาดังรูปที่ 15 วงจรในรูปที่ 15 นี้ค่อนข้างสมบูรณ์หน่อยเพราะแสดงวงจรไฟเลี้ยงมาให้ด้วย ตัวรับเสียงอุลตร้าโซนิคจะเปลี่ยนเสียงที่ได้รับมาเป็นแรงดันไฟฟ้ารูปซายน์ไปเข้าวงจรขยายที่ใช้ Q_1 และ Q_2 ออกมาทาง C_4 ไปเข้าวงจรไดโอดปั๊ม ซึ่งประกอบด้วย D_1 , D_2 , R_5 และ C_5 ส่งผ่าน R_6 ไปเข้าอินพุทขา 2 ของ IC_1 ซึ่งเป็นออปแอมป์เบอร์ CA 3140 C_3 ที่ต่อเข้ามาด้วยก็เพื่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลัดวงจรสัญญาณความถี่สูง ๆ ซึ่งอาจจะหลงเข้ามาไม่ให้ผ่านไปได้ R_7 และ R_8 แบ่งแรงดันเกือบเป็น 0 โวลท์ไปให้ขา 3 ของ IC_1 เพื่อให้มีค่ามาก กว่าแรงดันที่ขา 2 เล็กน้อย ดังนั้นขณะที่ไม่มีสัญญาณเข้ามา เอาท์พุทของ IC_1 ที่ขา 6 จะมีค่าเป็นแรงดัน " สูง " เมื่อมีสัญญาณเข้ามาแรงดันที่ขา 2 จะมีค่าสูงกว่าขา 3 เอาท์พุทก็จะเปลี่ยนไปเป็นแรงดัน " ต่ำ " เป็นสัญญาณส่งไปให้ IC_2 เบอร์ CD 4027 R_9 ทำหน้าที่ป้อนกลับทางบวก โดยเมื่อไม่มีสัญญาณเข้ามา แรงดันสูงที่ขา 6 จะถูกแบ่งไปเล็กน้อยไปตกคร่อม R_8 ซึ่ง R_8 ก็มีแรงดันที่ได้มาจากการแบ่งไฟเลี้ยงอยู่แล้ว พอมีสัญญาณเข้ามาและแรงดันที่เอาท์พุทตกเป็น 0 โวลท์ แรงดันคร่อม R_8 ส่วนที่แบ่งมาจากเอาท์พุทก็หายไปแรงดันที่ขา 3 จึงมีค่าลดลง ทำให้แรงดันที่ขา 2 มีค่ามากขึ้น เอาท์พุทจึงเป็น 0 โวลท์อย่างรวดเร็ว การป้อนกลับนี้จะมีประโยชน์ในกรณีที่สัญญาณเข้ามาอ่อนมากพอ ๆ กับแรงดันที่ขา 3 ถ้าไม่ลดแรงดันของขา 3 ลงไป เอาท์พุทจะสั่นขึ้นลงตลอดเวลา



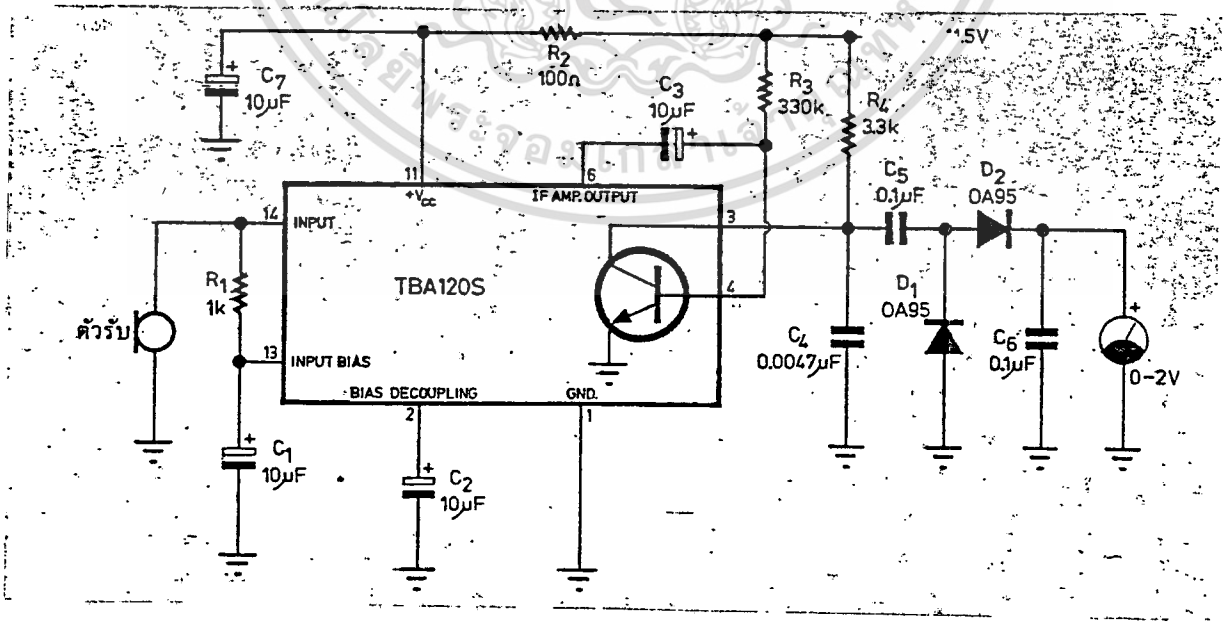
รูปที่ 15 แสดงวงจรภาครับคลื่นอุลตร้าโซนิคซึ่งให้หลักการทำงานเดียวกับรูปที่ 14 แต่ตัดลักษณะการทำงานชั่วคราวออกไป

ภายใน IC_2 เป็น JK ฟลิปฟลอป 2 ตัว ฟลิปฟลอปตัวแรกนั้นทำหน้าที่ส่งผ่านสัญญาณไปให้ฟลิปฟลอปตัวที่ 2 ฟลิปฟลอปตัวที่ 2 ก็จะให้สัญญาณแรงดันสูงไปขับ Q_3 ให้รีเลย์ทำงานในขังหวะที่สัญญาณอุลตร้าโซนิคที่เข้ามาหยุดหายไป และถ้าสัญญาณอุลตร้าโซนิค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เข้ามาแล้วหายไปอีกครั้งหนึ่ง IC_2 ก็จะควบคุมให้รีเลย์หยุดทำงาน ฟลิปฟลอปตัวแรกนั้นไม่ได้มีไว้เฉย ๆ ขา 2 ซึ่งเป็นเอาท์พุทอันหนึ่งจะประจุ C_6 โดยผ่าน R_{10} ในขณะที่มีสัญญาณเข้ามา เมื่อสัญญาณหยุดไปแล้ว ขา 7 ยังจะได้รับสัญญาณแรงดันสูงจาก C_6 อยู่ สัญญาณนี้จะควบคุมไม่ให้รับสัญญาณอีกพักหนึ่งจนกว่า C_6 จะคายประจุหมด ที่ต้องทำดังนี้ก็เพราะเสียงการทำงานของรีเลย์อาจจะไปรบกวนตัวรับทำให้วงจรได้รับสัญญาณเข้ามาทั้ง ๆ ที่เราไม่ได้ส่งให้ และรีเลย์ก็จะตีสลับไปสลับมาอยู่อย่างนั้น จึงต้องหยุดการทำงานให้พ้นจากช่วงการทำงานของรีเลย์ R_{12} และ C_7 จะทำให้ขา 12 ได้รับสัญญาณแรงดันสูงตอนเริ่มต้นจ่ายไฟเข้าเครื่องเพื่อไปควบคุม IC_2 ให้ควบคุมให้รีเลย์ทำงานในทันทีอีกต่อหนึ่งจากนั้นเวลาเราส่งสัญญาณอุลตร้าโซนิคเข้าไปวงจรก็จะทำงานตามปกติ ทางด้านวงจรจ่ายไฟ D_4, D_5 และ C_8 จะแปลงไฟสลับให้เป็นไฟตรง 12 โวลท์มาจ่ายให้รีเลย์และมี R_{13} , D_6 ช่วยลดแรงดันลงเหลือ 9.1 โวลท์จ่ายไฟที่คงที่ให้แก่วงจรส่วนที่เหลือเพื่อไม่ให้สัญญาณรบกวนจากแหล่งจ่ายไฟไปรบกวนการทำงานแล้วยังมี C_1 ช่วยกรองไฟให้เรียบขึ้นอีก

วงจรในรูปที่ 16 ซึ่งแสดงตัวอย่างการนำเอาไอซีเบอร์ TBA 120 S ซึ่งทำหน้าที่เป็นภาคขยาย IF และดีเทคเตอร์มาสร้างเป็นภาคขยาย สัญญาณเอาท์พุทอาจนำออกจากขา 6 (หรือขา 10 ก็ได้) ผ่านตัวเก็บประจุ 10 uF มาให้แก่ขาเบสของทรานซิสเตอร์ซึ่งอยู่ภายในตัวไอซี เพื่อให้ช่วยขยายสัญญาณให้โตขึ้น R_4 ทำหน้าที่เป็นโหลดให้แก่

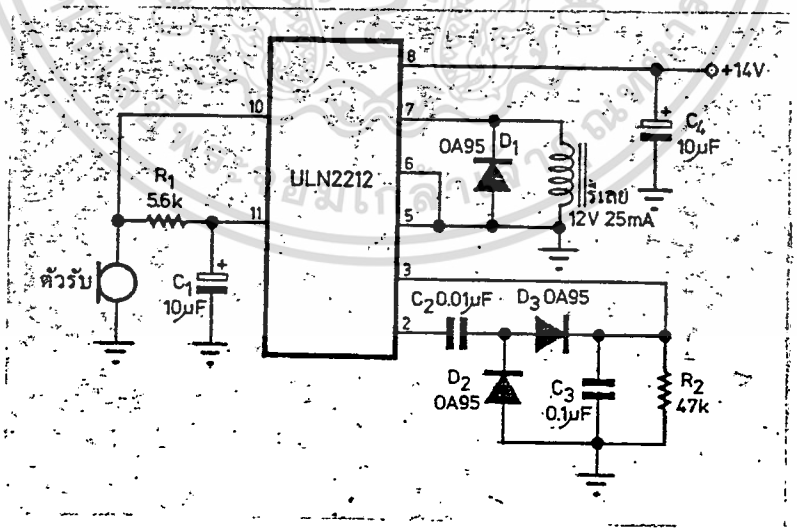


รูปที่ 16 แสดงวงจรภาครับซึ่งใช้ไอซีเบอร์ TBA 120 S เป็นภาคขยายและใช้มิเตอร์เป็นตัววัดความแรงของสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวทรานซิสเตอร์ และมี C_4 ช่วยป้องกันวงจรออสซิลเลทเนื่องจากสัญญาณรบกวน จากนั้นสัญญาณจึงถูกส่งผ่านมาให้วงจรไดโอดปั๊มเพื่อทำให้เป็นแรงดันไฟตรงมาป้อนให้แก่มิเตอร์ 0-2 V_{dc} แต่ถ้าไม่ต้องการใช้มิเตอร์ก็อาจต่อทรานซิสเตอร์ 2 ตัวเข้ามาขับรีเลย์ในทำนองเดียวกับวงจรที่กล่าวมาในตอนต้น ๆ ก็ได้ มีข้อน่าสังเกตอยู่อย่างหนึ่งว่า เขาใช้ไดโอดชนิดเยอรมันเนียมในวงจรไดโอดปั๊มแทนที่จะใช้ชนิดซิลิกอนทั้งนี้เพราะแรงดันตกคร่อมตัวมันน้อยกว่า จึงได้ขนาดสัญญาณไปถึงตัวมิเตอร์สูงขึ้น

ในรูปที่ 17 เป็นตัวอย่างวงจรภาครับที่ง่ายมากอีกวงจรหนึ่ง ใช้ไอซีเบอร์ ULN - 2212 ซึ่งเป็นของยี่ห้อ Sprague ทำหน้าที่เป็นภาคขยาย IF ของสัญญาณเสียงในเครื่องรับโทรทัศน์ และมีภาคขยายเสียงอยู่ในตัวด้วย บางท่านอาจนำเอาเบอร์ LM 1808 ของยี่ห้อ NS ซึ่งมีหน้าที่คล้าย ๆ กันมาดัดแปลงใช้ในทำนองเดียงกันก็ได้ในวงจรนี้ภาคขยาย IF ภายในตัวไอซีถูกนำมาใช้ขยายสัญญาณอุลตร้าโซนิคจากตัวรับ โดยมี R_1 คอยให้ไบแอสแก่อินพุทที่ขา 10 สัญญาณเอาท์พุทจากขา 2 จะมาต่อเข้าวงจรไดโอดปั๊ม ทำให้เป็นแรงดันไฟตรง แล้วป้อนเข้าภาคเพาเวอร์แอมป์ทางขา 3 เพื่อให้ช่วยขยายกระแสให้มากพอที่จะไปสั่งงานรีเลย์ซึ่งต่ออยู่ที่ขาเอาท์พุท (ขา 7) แม้ว่าวงจรในรูปที่ 17 นี้จะง่ายมาก แต่ความไวก็น้อยกว่าวงจรก่อน ๆ



รูปที่ 17 แสดงตัวอย่างวงจรภาครับคลื่นอุลตร้าโซนิคที่ใช้จำนวนอุปกรณ์น้อยชิ้น รีเลย์ที่ใช้ควรเป็นแบบที่ไวมาก

วงจรภาครับทั้งหมดที่กล่าวมาในหัวข้อนี้ สามารถขยายสัญญาณอุลตร้าโซนิคได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดีทั้งแต่ช่วงความถี่ระหว่าง 20-60 kHz ดังนั้นจึงสามารถนำมาใช้ร่วมกับทรานสดิวเซอร์ตัวรับที่มีความถี่เรโซแนนซ์อยู่ในช่วงความถี่เหล่านี้ได้

เครื่องควบคุมระยะไกล

การใช้งานอุลตร้าโซนิคที่ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายที่สุด เห็นจะได้แก่การนำมาสร้างเป็นเครื่องควบคุมระยะไกล (Remote comtrol) วงจรทั้งหมด ที่กล่าวมาแล้วทั้งภาคส่งและภาครับ (ยกเว้นรูปที่ 16) สามารถนำมาสร้างเป็นเครื่องควบคุมระยะไกลอย่างง่าย ๆ ได้ทั้งนั้น โดยสร้างเครื่องส่งและเครื่องรับขึ้นมา จะเลือกว่าจะใช้วงจรส่ง และวงจรรับชุดใดก็ขอให้พิจารณาเอาจากที่ยกตัวอย่างมาทั้งหมด หรือจะดัดแปลงโดยเอาวงจรโน้นผสมวงจรนี้ก็แล้วแต่จะสะดวก และแล้วแต่ว่าต้องการให้ภาคเอาท์พุททำงานอย่างไร ข้อสำคัญคืออย่าลืมว่าทรานสดิวเซอร์ตัวรับและตัวส่งจะต้องมีความถี่เรโซแนนซ์เดียวกัน อย่างเช่น ถ้าใช้ตัวส่งเป็นความถี่ 40 kHz. ตัวรับก็จะต้องเป็นความถี่ 40 kHz ด้วย

เมื่อเล็งตัวส่งในเครื่องส่งให้ตรงกับตัวรับในเครื่องรับ แล้วกดสวิทช์ให้เครื่องส่งส่งคลื่นอุลตร้าโซนิคออกไปเครื่องรับซึ่งอยู่ห่างไกลออกไปก็จะรับสัญญาณอุลตร้าโซนิคและสั่งงานรีเลย์ให้หน้าสัมผัสไปควบคุมเครื่องใช้ไฟฟ้าอีกทีหนึ่ง แต่เพื่อให้ขนาดสัญญาณที่ออกจากตัวรับมีค่าสูงสุด จะต้องปรับแต่งความถี่ของวงจรในภาคส่งให้เหมาะสม โดยเอาเครื่องรับและเครื่องส่งมาวางชิดกัน และหันหน้าชนกัน หาโวลท์มิเตอร์ (หรือถ้าใช้ออสซิลโลสโคปก็ยิ่งดี) มาวัดขนาดสัญญาณที่ออกจากภาคขยายในเครื่องรับ แล้วปรับแต่งความถี่ของเครื่องส่งจนขนาดสัญญาณที่วัดได้มีค่าสูงที่สุด สำหรับท่านที่สนใจการสร้างเครื่องควบคุมระยะไกล อาจดูตัวอย่างวงจรจริง ๆ ได้จากโครงงานเรื่อง "สวิทช์ควบคุมระยะไกลใช้อุลตร้าโซนิค " ในวารสารเซมิ ฯ ฉบับที่ 40 ซึ่งเป็นการนำเอาวงจรภาคส่งในรูปที่ 5 และวงจรภาครับในรูปที่ 15 มาสร้าง เมื่อสร้างเสร็จใช้งานแล้วก็ไม่ต้องกลัวผิดกฎหมายเรื่องความถี่หรอกครับ เพราะวงจรพวกนี้ส่งคลื่นเสียงออกไป ไม่ได้ส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าออกไป

โดยทั่วไปแล้วรัศมีการควบคุมจะอยู่ในช่วงประมาณตั้งแต่ 5 เมตรขึ้นไปจนถึง 20 เมตรในที่โล่งแจ้ง ขึ้นอยู่กับอัตราขยายของภาคขยายที่ใช้ในเครื่องรับโดยจะต้องเล็งตัวรับและตัวส่งให้ตรงกันโดยประมาณ แต่ถ้านำมาใช้ในห้องเล็ก ๆ แม้ว่าจะเล็งตัวส่งเบนไปจากตัวรับมาก ๆก็อาจทำให้ตัวรับทำงานได้ ทั้งนี้เพราะคลื่นเสียงอุลตร้าโซนิคที่ส่งออก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไปสามารถสะท้อนกับผนังหรือวัตถุแข็งภายในห้องแล้วไปถึงตัวรับได้

เครื่องใช้ไฟฟ้าที่เราควบคุมส่วนใหญ่มักจะเป็นพวกวิทยุ โทรทัศน์ แต่บางคนในต่างประเทศเขาเอาตัวส่งไปติดไว้ที่กันชนด้านหน้าของรถยนต์ แล้วเอาตัวรับไปติดไว้ที่ประตูบ้าน พอขับรถกลับมาถึงบ้านขี้เกียจลงไปเปิดประตูเองก็กดสวิทช์ให้เครื่องส่งทำงาน เพื่อสั่งให้มอเตอร์ทำงานเปิดประตูบ้านเองเป็นระยะเวลาหนึ่งให้นานพอที่จะขับรถเข้าไปได้ทัน แล้วจึงค่อยปิดประตูเองโดยอัตโนมัติ

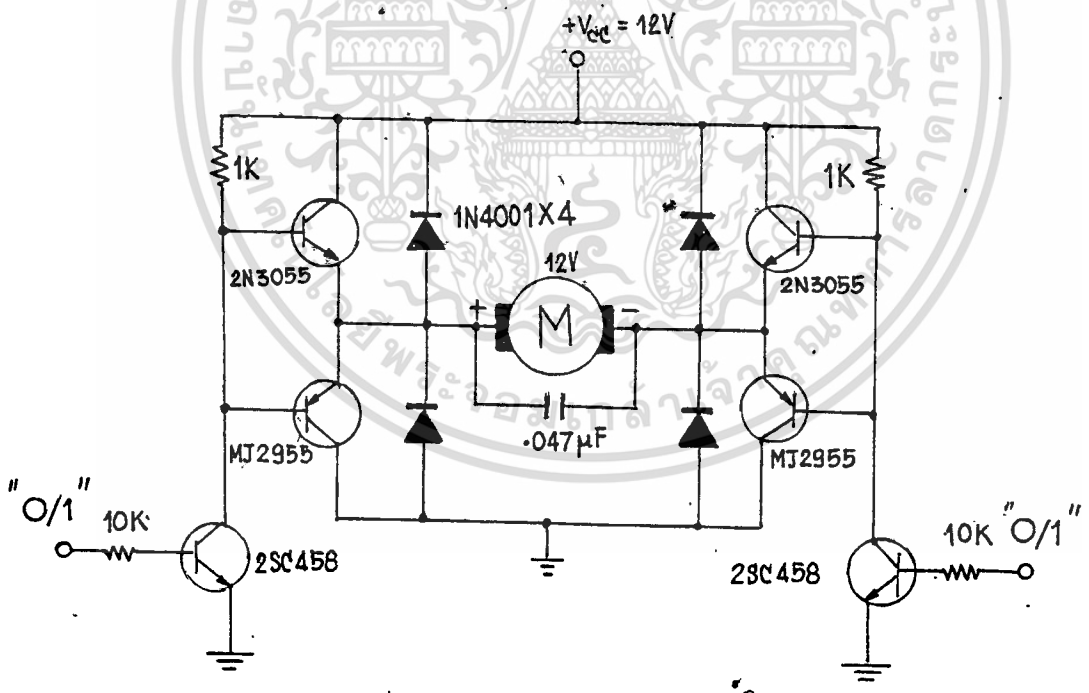
มีข้อควรรู้อยู่อย่างหนึ่ง คือการคีดนิ้วมือ การทบมือ การกระทบระหว่างโลหะกับวัตถุแข็ง เสียงขยี้กระดาษ ก็สามารถสร้างคลื่นอุลตร้าโซนิคซึ่งมีแถบความถี่กว้าง ๆ ออกมาได้ ถ้าเสียงเหล่านั้นดังพอหรือเกิดขึ้นใกล้กับตัวรับ ก็อาจทำให้เครื่องรับทำงานได้เหมือนกันดังนั้นในการใช้งานจึงต้องปรับแต่งความไวของเครื่องรับไม่ให้ไวจนเกินไป นักและควรเลือกตำแหน่งใช้งานให้ไม่ถูกรบกวนจากเสียงเหล่านี้ อย่างไรก็ตามบางคนกลับเอาข้อเสียนี้มาใช้งานเลยคือไม่สร้างเครื่องส่ง แต่ใช้เสียงทบมือหรือคีดนิ้วมาสั่งงานเครื่องรับเลย เพียงแต่ว่าจะทนเจ็บมือหรือเมื่อยนิ้วมือได้ไม่นานเท่านั้นเอง เพราะต้องเสียงดังพอสมควร ไม่อย่างนั้นก็ต้องอยู่ไม่ห่างจากเครื่องรับมากนัก

****

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การขับมอเตอร์ด้วยลิเนียร์แอมปลีไฟล์

ลิเนียร์เซอร์โวแอมปลิไฟโดยปกติสร้างขึ้นเพื่อใช้เป็นอุปกรณ์ขยายแบบลิเนียร์ เช่นเดียวกันกับ ออฟ-แอมพ์ หรือดิฟเฟอเรนเชียลแอมปลิไฟที่ใช้ไปกระตุ้นภาคเพาเวอร์ให้ไปขับมอเตอร์ ภาคเพาเวอร์จะมีการป้อนกลับแบบปิดลูฟเพื่อทำให้พารามิเตอร์ที่ต้องการได้แก่ มอเตอร์โวลท์เต็จ กระแสของมอเตอร์หรือพารามิเตอร์ทั้งสอง ดังกล่าวมีความเป็นลิเนียร์ในกรณีนี้ความไม่เป็นลิเนียร์ และดริฟที่เกิดขึ้นจากอุณหภูมิในภาคเพาเวอร์จะลดลงโดยอัตราขยายลูฟของระบบนอกจากนั้น ออฟ-แอมพ์ยังมักใช้เป็นเสมือนการชดเชยหรือ ใช้เป็น ซัมมิ่งแอมปลิไฟทำหน้าที่เหมือนกับจุดรวมของสัญญาณบังคับและสัญญาณป้อนกลับของระบบ ซึ่งได้แก่สัญญาณที่ได้จากอนาลอกหาโคมิเตอร์ (ในระบบการบังคับความเร็ว) และสร้างสัญญาณเออร์เรอร์ซึ่งจะถูกขยายโดยภาคเพาเวอร์เพื่อไปแก้พารามิเตอร์ที่ต้องการบังคับให้มีค่าถูกต้อง



รูป แสดงวงจรควบคุมมอเตอร์ทิศทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลิเนียร์แอมปลิไฟจะเป็นตัวควบคุมโวลท์เต็จหรือกระแสของมอเตอร์โดยการบังคับขนาดของโวลท์เต็จที่จ่ายให้กับมอเตอร์ดังนั้นจะเป็นตัวที่ลดโวลท์เต็จเอาไว้ ซึ่งเท่ากับผลต่างของแหล่งจ่ายโวลท์เต็จและโวลท์เต็จที่มอเตอร์ใช้งานจริงในขณะที่มีกระแสที่เหมาะสมไหลผ่าน กำลังงานจะสูญเสียในเอ้าท์พุททรานซิสเตอร์เป็นจำนวนมากโดยเฉพาะขณะที่มอเตอร์วิ่งที่ความเร็วต่ำแรงบิดสูง เพราะขณะนั้นโวลท์เต็จย้อนกลับของมอเตอร์ต่ำกระแสจึงสูง นี้เป็นความแตกต่างที่เห็นได้ชัดเมื่อเทียบกับสวิทชิ่งแอมปลิไฟ สวิทชิ่งแอมปลิไฟควบคุมโวลท์เต็จของมอเตอร์โดยปรับ duty cycle ของโวลท์เต็จที่จ่ายให้กับมอเตอร์และให้มันทำงานทุก ๆ การอิ่มตัวหรือที่ภาวะ off ดังนั้นการสูญเสียของกำลังงาน จะน้อยในแต่ละภาวะทำให้ประสิทธิภาพการทำงานสูงนั้น อย่างไรก็ตามสวิทชิ่งแอมปลิไฟ ก็สร้างปัญหาใหม่ขึ้นอีก เพื่อหลีกเลี่ยงการสูญเสียการสวิทช์ที่ความถี่สูง ค่าของอินดัคแต้นซ์ ของมอเตอร์ (หรือภายนอก) ต้องมีค่าน้อย ดังนั้นจึงเป็นการเพิ่ม tine constant ของระบบซึ่งจะทำให้แบนด์วิดท์ของระบบลดลงด้วย นอกจากนั้นยังเกิดปัญหา การรบกวนของสนามแม่เหล็กไฟฟ้า (EMI) ซึ่งมักจะเกิดขึ้นรุนแรงทำให้ระบบเกิดความยุ่งยาก และทำงานผิดพลาดขึ้นได้ดังนั้นจึงเป็นการยากที่จะตัดสินใจว่าแอมปลิไฟชนิดไหนดีกว่ากัน

ลิเนียร์แอมปลิไฟตามปกตินิยมใช้ในระบบที่มีแบนด์วิดท์กว้างและกำลังงานต่ำ (น้อยกว่า 2-3 ร้อยวัตต์) และมักจะใช้สำหรับขับคลื่นชดลวดหมุนของมอเตอร์ ที่มีความเฉื่อยต่ำให้เพิ่มกระแสด้วยอัตราเร่งสูงในช่วงเวลาอันสั้น (2-3 มิลลิวินาที) ซึ่งกระแสที่กำหนดไว้ของเอาท์พุททรานซิสเตอร์อาจจะยังใช้งานได้ดี

ในทางตรงกันข้ามสวิทชิ่งแอมปลิไฟโดยทั่ว ๆ ไปมักจะใช้ในระบบที่ใหญ่ ๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งระบบดังกล่าวต้องการขยายช่วงการทำงานที่ความเร็วต่ำและมีแรงบิดสูงซึ่งจะทำให้เกิดสูญเสียกำลังงานอย่างมากในลิเนียร์แอมปลิไฟ

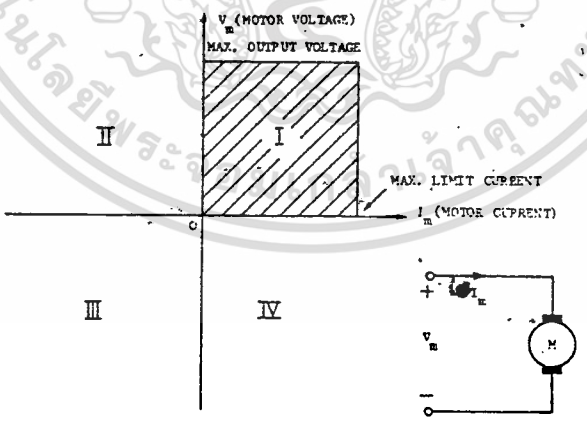
ลิเนียร์แอมปลิไฟอาจจำแนกตามหน้าที่จะแบ่งได้เป็นยูนิไดเร็คชั่นแนลและไบไดเร็คชั่นแนลแอมปลิไฟ (หัวข้อ 2.2 และ 2.3) แบ่งตามโครงสร้างได้เป็นไบโพล่าร์หรือ บริดจ์ (หัวข้อ 2.3) หรือถ้าแบ่งตามทรานสเฟอร์ฟังค์ชั่นได้เป็นโวลท์เต็จและกระแสแอมปลิไฟ (ดูตามหัวข้อ 2.3 และหัวข้อ 2.7)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การพิจารณาถึงการออกแบบภาคลิเนียร์เพาเวอร์ รวมถึงข้อเสียบางประการจะได้อธิบายไว้ในหัวข้อ 2.4 2.5 และ 2.6 และตัวอย่างการออกแบบลิเนียร์ไบโพล่าร์แอมปลิไฟได้ให้ไว้ในหัวข้อ 2.8

2.2 ยูนิไดเร็คชั่นแนลเซอร์โวแอมปลิไฟ

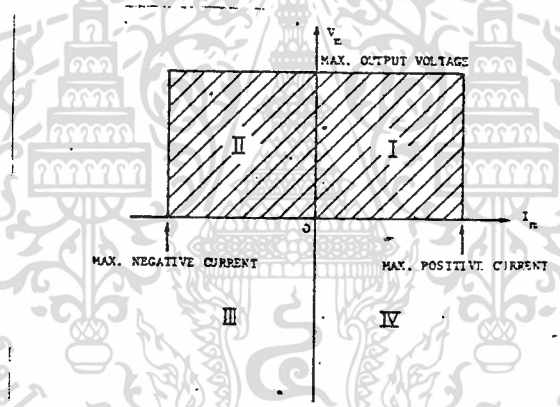
ยูนิไดเร็คชั่นแนลแอมปลิไฟเป็นเครื่องขยายแบบง่ายที่สุดของลิเนียร์แอมปลิไฟ และใช้ในระบบที่มอเตอร์ถูกขับให้หมุนได้ในทิศทางเดียว นั่นคือ ลิเนียร์ทรานสเฟอร์ฟังค์ชั่นของแอมปลิไฟแบบนี้จะทำงานอยู่ในควอดรันท์แรกเท่านั้น และไม่สามารถให้โวลท์เต็จ หรือกระแสไหลกลับทิศทางได้ดังแสดงในรูป 2.1 ระบบดังกล่าวแสดงคุณสมบัติการทำงาน โดยสามารถเพิ่มอัตราเร่งได้อย่างเร็วแต่สามารถลดความเร็วลงได้อย่างเชื่องช้า เนื่อง จากมอเตอร์จะลดความเร็วลงได้ด้วยแรงเสียดทานและ Viscous damping ของระบบเพียงเท่านั้น



รูป 2.1 ยูนิไดเร็คชั่นแนลแอมปลิไฟ-บังคับได้เพียงควอดรันท์เดียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเพิ่มไดนามิคเบรคเข้าในระบบสามารถทำให้ยูนิไดเร็คชั่นแนลแอมปลิไฟทำงานได้สองควอดรันท์ (ดังในรูป 2.2) การหมุนของมอเตอร์ยังคงเป็นทิศทางเดียวแต่สามารถกลับทิศทางการไหลของการะแสของมอเตอร์โดยตัดกระแสขับคลื่นมอเตอร์ออกและให้ทางเดินของกระแสซึ่งเกิดจากโวลท์เต็จย้อนกลับของมอเตอร์ (Motor back emt) ในทิศทางตรงกันข้ามกระแสที่ใช้สำหรับลดความเร็วลงเป็นฟังค์ชั่นกับโวลท์เต็จย้อนกลับ (back emf)) ดังนั้นจึงเป็นฟังค์ชั่นกับความเร็วและให้คุณสมบัติสามารถลดความเร็วลงได้อย่างมาก เมื่อมอเตอร์หมุนอยู่ที่ความเร็วสูงและความสามารถในการหน่วงความเร็วลงนี้จะลดลงเป็นศูนย์เมื่อมอเตอร์มีความเร็วเข้าใกล้ศูนย์

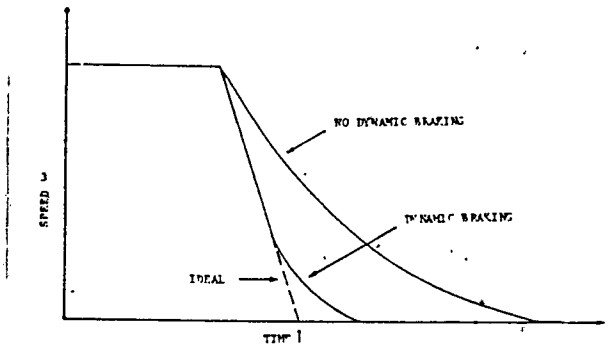


รูป 2.2 ยูนิไดเร็คชั่นแนสแอมปลิไฟที่มีไดนามิคเบรค-บังคับได้สองควอดรันท์

การทำงานในควอดรันท์ที่ 2 นี้ เป็นลักษณะของการทำงานเพียงชั่วขณะเท่านั้นและใช้งานได้เฉพาะขณะที่ระบบต้องการลดความเร็วลงจากความเร็วที่เป็นอยู่เพื่อทำให้เกิดกระแสหน่วงหรือกระแสต้านการหมุนของมอเตอร์ตามที่ต้องการ

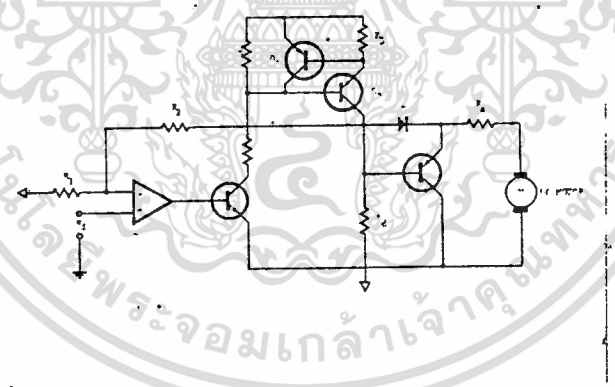
รูป 2.3 แสดงถึงรูปลักษณะของระบบการลดความเร็วลงของระบบยูนิไดเร็คชั่นแนลที่มีและไม่มีไดนามิคเบรค สังเกตได้ว่าประสิทธิภาพของไดนามิคเบรคลดลงที่ความเร็วต่ำ ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 2.3 แสดงดังรูปลักษณะการลดความเร็วลงของระบบยูนิไดเร็คชั่นแนลที่มีและไม่มีไดนามิคเบรค

รูป 2.4 แสดงถึงวงจรอย่างง่าย ๆ ของยูนิไดเร็คชั่นแนลแอมปลิไฟที่มีไดนามิคเบรค เมื่อมอเตอร์ได้รับการขับคลื่น Q_2 จะนำกระแสไหลผ่านไดโอด D เข้าไปยังมอเตอร์ Q_3 จะไม่นำกระแสเนื่องจากเบสของทรานซิสเตอร์ตัวนี้เป็นบวกมากกว่าอิมิเตอร์ เมื่อ Q_2 หยุดนำกระแส ค.ศ.ท. R_d จะสร้างกระแสเบสให้กับ Q_3 ทำให้มันเริ่มนำกระ



รูป 2.4 ยูนิไดเร็คชั่นแนลแอมปลิไฟที่มีไดนามิคเบรค

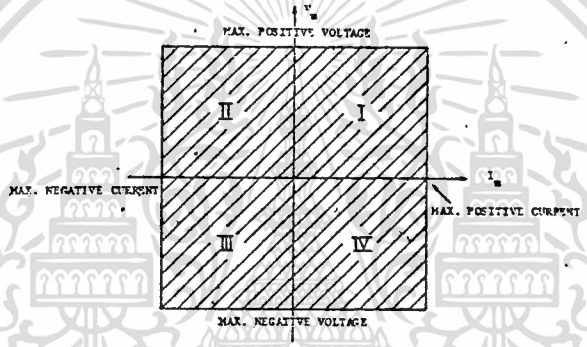
แสไหลในทิศทางกลับกับของกระแสเดิมจากมอเตอร์ผ่าน Q_3 ในกรณีนี้กระแสเบรคจะถูกกำจัดโดยโวลท์เต็จย้อนกลับและความต้านทานอาร์มาเจอร์ของมอเตอร์ R_d เพื่อที่จะลิมิตกระแสเบรคให้มีค่าต่ำลงไปอีกก็อาจทำได้โดยใส่ตัวความต้านทานระหว่างคอลเล็คเตอร์ของ Q_3 และเกราวนด์ Q_1 เป็นเสมือนตัวลิมิตกระแสที่จะเพิ่มอัตราความเร็วโดยแยกกระแสเบสจาก Q_2 เมื่อโวลท์เต็จตกคร่อม R_3 มีค่าเข้าใกล้ 0.7 โวลท์ กระแสที่จะเพิ่มอัตราความเร็วก็จะถูกลิมิต $I_{limit} = 0.7/R_3$ แอมป์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สังเกตได้ว่าโครงสร้างของระบบประกอบด้วย นอนอินเวอร์ทออฟ-แอมป์ที่มีอัตราขยายโวลท์เต็จเท่ากับ $(R_2/R_1) + 1$ นอนอินเวอร์ทแอมป์ทำงานด้วยซัพพลายขั้วเดียวจึงมีขนาดเล็ก

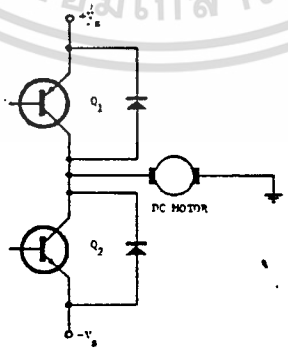
2.3 ไบไดเร็คชั่นแนลเซอร์โวแอมปลิไฟ

ไบไดเร็คชั่นแนลเซอร์โวแอมปลิไฟสามารถทำให้มอเตอร์ทำงานได้ทั้งสองทิศทางและมีลิเนียร์ทรานสเฟอร์ฟังค์ชั่นตลอดถึงความเร็วศูนย์ แอมปลิไฟแบบนี้สามารถบังคับได้เต็มทั้ง 4 ควอดรันท์ดังในรูป 2.5 และสามารถป้อนโวลท์เต็จและกระแสทั้งขั้วบวกหรือลบให้กับมอเตอร์ได้



รูป 2.5 ไบไดเร็คชั่นแนลเซอร์โวแอมปลิไฟแสดงการบังคับได้เต็มทั้งสี่ควอดรันท์

ไบไดเร็คชั่นแนลแอมปลิไฟแบบพื้นฐาน 2 แบบ ได้แก่ลิเนียร์ไบโพล่าร์ตามรูป 2.6 และลิเนียร์บริดจ์ตามรูป 2.7 ซึ่งแบ่งออกตามลักษณะโครงสร้างของภาคเอ้าท์พุท

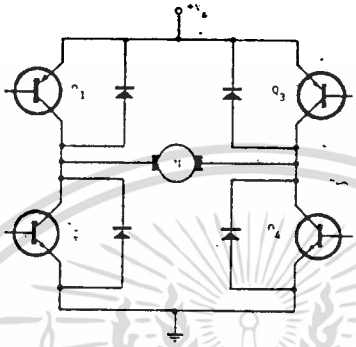


รูป 2.6 ภาคเอ้าท์พุทของลิเนียร์ไบโพล่าร์

ไบโพล่าร์แอมปลิไฟจะใช้เพาเวอร์ซัพพลายถึงสองลักษณะสำหรับการทำงานแบบฟอร์เวอร์ดและรีเวอร์ส โวลท์เต็จที่ป้อนให้มอเตอร์ เท่ากับผลต่างระหว่างซัพพลายโวลท์เต็จ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และโวลท์เต็จตกคร่อมคอลเล็คเตอร์-อิมิเตอร์ของ Q_1 หรือ Q_2 ในขณะที่ตัวหนึ่งตัวใดนำกระแส เนื่องด้วยลิเนียร์แอมปลิไฟโดยทั่วไปมีประสิทธิภาพไม่ค่อยดีนัก โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่ภาวะความเร็วต่ำแรงบิดสูงซึ่งในภาวะนี้กระแสจะไหลสูงและโวลท์เจ็จตกครอมเอ้าท์พุททรานซิสเตอร์สูงด้วย ดังนั้นในระบบใหญ่จำเป็นต้องใช้ตัวระบายความร้อนขนาดใหญ่หรือใช้พัดลมสำหรับระบายความร้อนด้วย



รูป 2.7 ภาคเอ้าท์พุทของลิเนียร์บริดจ์

ลิเนียร์ไบโพล่าร์แอมปลิไฟเป็นแอมปลิไฟที่ออกแบบได้ง่ายกว่าลิเนียร์บริดจ์ แต่การออกแบบไบโพล่าร์มีข้อเสียที่สำคัญหลายข้อซึ่งควรจะได้ประเมินข้อดีข้อเสียของระบบเสียก่อน

1. เพาเวอร์ซัพพลายเป็นแบบไบโพล่าร์คือมีสองขั้วบวกและลบ

2. ค่า V_{ceo} ของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ต้องสูงกว่าผลบวกของซัพพลายโวลท์เต็จทั้งสอง ($2\ V_s$)

3. ลิเนียร์ไบโพล่าร์แอมปลิไฟจะต้องทนต่อ ฟอร์เวอร์ดไบอัสเบรคดาวน์ที่สองเอ้าท์พุทเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์อาจจะเสียได้ในช่วงการลดความเร็วลงของโหลดที่มีความเฉื่อยสูงลงจากความเร็วสูง ๆ

ลิเนียร์บริดจ์จะใช้เพาเวอร์ซัพพลายเพียงขั้วเดียวคือบวกหรือบลเพื่อป้อนให้กับมอเตอร์ซึ่งโวลท์เต็จที่ป้อนให้มอเตอร์นี้จะมีขนาดเกือบเท่ากับโวลท์เต็จของเพาเวอร์ซัพพลาย

ในวงจรบริดจ์ Q_1 และ Q_4 จะนำกระแสเมื่อมอเตอร์ได้รับโวลท์เต็จให้หมุนไปในทิศทางหนึ่งและ Q_2 และ Q_3 จะนำกระแสเมื่อมอเตอร์ได้รับโวลท์เต็จให้หมุนไปใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

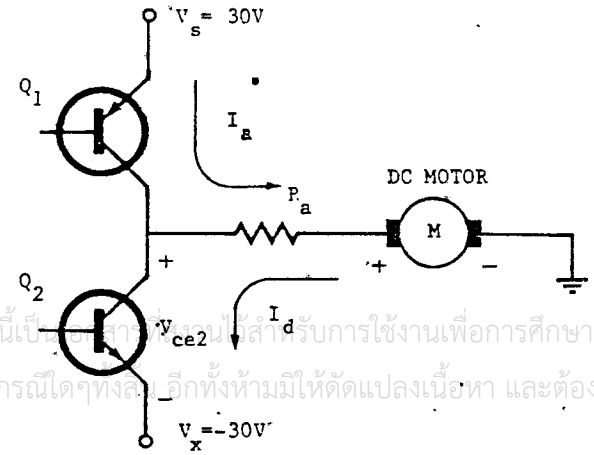
ทิศทางตรงข้ามดังนั้น โวลท์เต็จจกคร่อมทรานซิสเตอร์แต่ละตัวที่นำกระแสจะเท่ากับ $\frac{1}{2}$ (ซัพพลายโวลท์เต็จ-โวลท์เต็จตกคร่อมมอเตอร์)โครงสร้างของลิเนียร์บริดจ์ต้องการให้ V_{ceo} ของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์มีค่าสูงกว่า V_s ตามรูป 2.6 หรือ 2.7 ฟรี-ควิลลิ่งไดโอดต่อคร่อม Q_1 และ Q_2 สำหรับไบโพล่าร์และคร่อม Q_1 และ Q_4 สำหรับบริดจ์ ไดโอดจะเป็นตัวกดให้เอาท์พุทโวลท์เต็จลดลงเท่ากับโวลเต็จตกคร่อมไดโอดที่เป็นบวกหรือลบมากกว่า $\pm V_s$ สำหรับไบโพล่าร์ สำหรับบริดจ์ไดโอดจะกดโวลท์เต็จแต่ละขาของบริดจ์เพื่อให้โวลท์เต็จตกคร่อมไดโอดตัวหนึ่งเป็นบวกมากกว่า V_s กับให้โวลท์เต็จตกคร่อมไดโอดอีกตัวหนึ่งมีค่าต่ำกว่ากราวนด์ ดังนั้นเอาท์พุททรานซิสเตอร์จะไม่ขึ้นกับโวลท์เต็จผลักดันที่มีค่ามากกว่า V_s หลายเท่าสำหรับบริดจ์ และเท่ากับ $2 V_s$ สำหรับไบโพล่าร์

ข้อดีอีกอันหนึ่งของบริดจ์คือช่วยลดโวลท์เต็จผลักดันบนตัวทรานซิสเตอร์ที่นำกระแส ถ้าบริดจ์ได้รับการออกแบบอย่างเหมาะสมความแตกต่างระหว่างซัพพลายโวลท์เต็จและโวลท์เต็จที่มอเตอร์ต้องการจะถูกแบ่งเท่า ๆ กันระหว่างทรานซิสเตอร์ที่นำกระแสทั้ง 2 ตัวนั้น จากผลอันนี้ช่วนเพิ่มกระแสของเอาท์พุททรานซิสเตอร์ก่อนที่จะเกิดความเสียหายจากฟอร์เวอร์ด-ไบอัสเบรคดาวน์ครั้งที่สอง การเพิ่มกระแสเอาท์พุทอย่างปลอดภัยสำหรับการทำงานของมอเตอร์ควรจะใช้เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ที่เหมือนกับในวงจรบริดจ์ที่แสดงให้ดูในตัวอย่างต่อไปนี้

ตัวอย่าง

การออกแบบลิเนียร์ไบโพล่าร์และลิเนียร์บริดจ์แอมปลิไฟ

ลิเนียร์แอมปลิไฟต้องใช้ไฟ $\pm$ 25 โวลท์ให้แก่มอเตอร์ที่มีความต้านทานของอาร์มาเจอร์ 1 โอห์มมีค่ากระแสงจำกัด $\pm$ 5 แอมป์ สมมติว่าป้อนซัพพลายโวลท์เต็จให้ 30 โวลท์เต็จ และมีโวลท์เต็จย้อนกลับ 25 โวลท์ ต่อจากนั้นกระแสมอเตอร์ก็ถูกทำให้ไหลกลับทิศทางอย่างทันทีทันใด เพื่อให้ความหน่วงแก่มอเตอร์ ลิเนียร์ไบโพล่าร์แอมปลิไฟแสดงดังในรูป 2.8



รูป 2.8 ฟอร์เวอร์-ไบอัส เบรคดาวร์ครั้งที่สองซึ่งมีผลต่อลิเนียร์ไบโพล่าร์ - แอมปลิไฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในตอนแรกมอเตอร์มีอัตราเร่งความเร็วไปยังความเร็วซึ่งมอเตอร์ให้โวลท์เต็จย้อนกลับ v_e =25 โวลท์ Q_1 กำลังนำกระแสขณะที่ Q_2 อยู่ที่ภาวะ off ต่อจากนั้นกระแสของมอเตอร์ถูกทำให้ไหลกลับทิศทางไปยังค่าที่จำกัด I_d = 5 แอมป์ ในขณะนั้น Q_2 กำลังนำกระแสและจำกัดยอมให้ Q_2 นำกระแสได้ไม่เกิน V_{ce2}/R_a เมื่อ R_a = 1 โอห์ม และ v_{ce} มีค่าไม่เกิน 5 โวลท์ ดังนั้น

$$-30 + V_{ce2} + I_d R_a - V_e = 0 \quad \text{.... ....(2-1)}$$

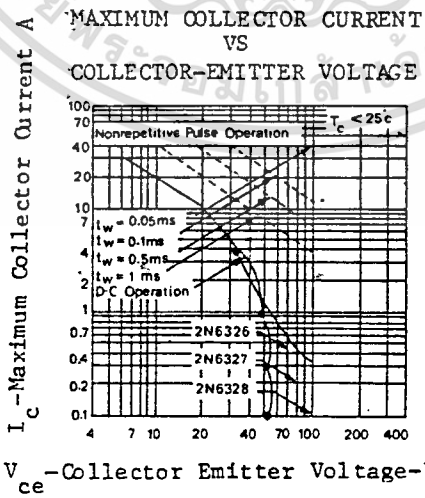
หรือ $$V_{ce2} = V_e + 30 - I_d R_a \quad \text{..... ....(2-2)}$$

แทนค่าที่ได้เลือกไว้แล้วลงไป สมการสุดท้ายก็จะได้เป็น

$$V_{ce2} = 25+30-5 = 50 \text{ โวลท์} \quad \text{..... ....(2-3)}$$

ทรานซิสเตอร์ที่กำลังนำกระแสต้องสามารถทนโวลท์เต็จได้ 50 โวลท์ที่ 5 แอมป์ หรือค่าพีคเพาเวอร์ เท่า กับ 250 วัตต์การสูญเสียของพีคเพาเวอร์จะลดน้อยลงในเมื่อโวลท์เต็จย้อนกลับของมอเตอร์ลดลงในระหว่างที่มอเตอร์ลดความเร็วลงระยะเวลาที่ทรานซิสเตอร์ต้องสูญเสียกำลังงานสูงขึ้นอยู่กับโมเม้นท์ความเฉื่อยของระบบและเฟคเตอร์อื่น ๆ ด้วย

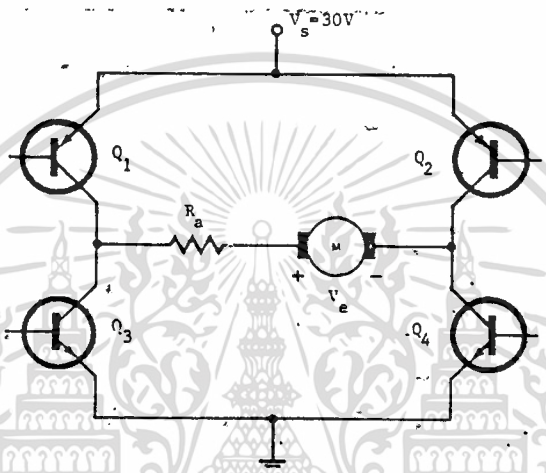
รูป 2.9 แสดงถึงพื้นที่การทำงานที่ปลอดภัยของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ที่ 100 โวลท์ 30 แอมป์ ที่ 50 โวลท์ 5 แอมป์ทรานซิสเตอร์มีพื้นที่การทำงานที่ปลอดภัยอยู่ในย่านดีซีและสามารถทนกระแสได้เพียง 1.5 แอมป์ ก่อนที่จะเข้าสู่ฟอร์เวอร์ด-ไบอัสเบรคดาวน์



รูป 2.9 แสดงถึงพื้นที่การทำงานที่ปลอดภัยของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ครั้งที่สอง ระบบค่อนข้างไม่ปลอดภัยดังนั้นจึงจำเป็นที่ต้องใช้เอาท์พุททรานซิสเตอร์ 4 ตัวต่อขนานกันในแต่ละข้างเพื่อจะได้ทำให้ระบบทำงานอยู่ในพื้นที่การทำงาน ที่ปลอดภัยของย่านดี ซี ตามปกติดีซี SOA ใช้สำหรับเวลาที่มอเตอร์ลดความเร็วลงมีค่ามากกว่า thermal Time Constant ของทรานซิสเตอร์ชีพซึ่งมีค่าประมาณ 10 ms. นอกจากนั้นการแก้ปัญหาที่ดีกว่าเราอาจจะใช้ ลิเนียร์บริดจ์ตามรูป 2.10



รูป 2.10 ลิเนียร์บริดจ์แอมปลิไฟ

เริ่มต้นเราสมมติว่า Q_1 และ Q_4 กำลังนำกระแสและโวลท์เต็จย้อนกลับของมอเตอร์ V_e มีค่า 25 โวลท์ กระแสมอเตอร์จะไหลกลับทิศทางได้โดย Q_1 และ Q_4 จะหยุดนำกระแสเปลี่ยนเป็น Q_2 และ Q_3 นำกระแสแทน เราจะต้องออกแบบเพื่อ ให้ $V_{ce2} = V_{ce3}$ ดังนั้น

$$V_s = V_{ce2} + V_e + IR_a + V_{ce3} \quad \text{.....(2-4)}$$

เนื่องจาก

$$V_{ce2} = V_{ce3} \quad \text{.....(2-5)}$$

$$V_s = 2V_{ce} + V_e + IR_a \quad \text{.....(2-6)}$$

หรือ $$V_{ce} = \frac{V_s + V_e + IR_a}{2} \quad \text{.....(2-7)}$$

ดังนั้น $$V_{ce} = \frac{30+25-5}{2} = 25 \text{ โวลท์} \quad \text{.....(2-8)}$$

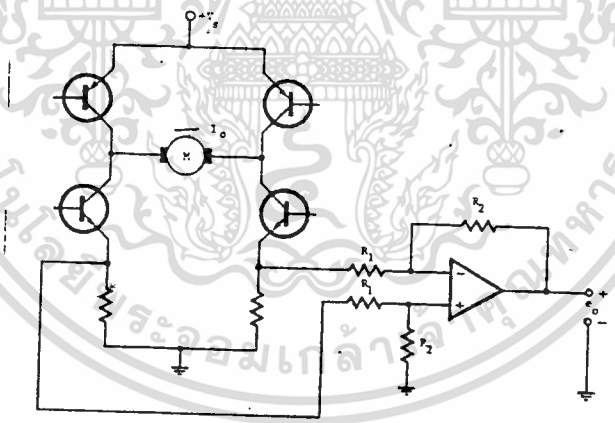
ในลิเนียร์บริดจ์เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์แต่ละตัวจะมีค่าสูงสุดที่ 25 โวลท์ 5 แอมป์ ในเวลาชั่วขณะของการลดความเร็วลงของมอเตอร์ซึ่งอยู่ในพื้นที่การทำงานที่ปลอด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภัยของทรานซิสเตอร์ซึ่งกำหนดไว้ที่ 7 แอมป์ V_{de} = 25 โวลท์ ดังนั้นทรานซิสเตอร์เอาท์พุทเพียงตัวเดียว(ไม่ใช่ 4 ตัวต่อขนานกัน) ก็พอเพียงที่จะทนต่อแรงไฟในวงจรบริดจ์ ซึ่งประกอบด้วยทรานซิสเตอร์ 4 ตัว แต่ถ้าใช้ไบโพล่าร์แอมปลิไฟจะต้องใช้เพาเวอร์ ทรานซิสเตอร์ทั้งหมดถึง 8 ตัว

อย่างไรก็ตามลิเนียร์ไบโพล่าร์แอมปลิไฟก็ยังเป็นที่นิยมที่สุดในการออกแบบเพราะมันทำงานได้ดีภายในลิมิตที่ปลอดภัยข้อดีที่สำคัญของไบโพล่าร์คือมันมีปลายข้างหนึ่งของมอเตอร์ต่ออยู่กัลกราวนด์ เราอาจใช้ตัวความต้านทานค่าต่ำ ๆ (0.1 โอห์ม) ต่ออยู่ระหว่างมอเตอร์และกราวนด์เพื่อให้ได้โวลท์เต็จที่เป็นสัดส่วนกับกระแสของมอเตอร์สำหรับเป็นตัวลิมิตกระแสหรือใช้เป็นการป้อนกลับของกระแส

เนื่องจากมอเตอร์ไม่ได้ต่อลงกราวนด์ในวงจรบริดจ์ดังนั้นจึงเป็นการยากที่จะดึงเอากระแสของมอเตอร์ออกมา วิธีหนึ่งถ้าไบโพล่าร์ออฟแอมป์ที่ใช้กับซัพพลายโวลท์เต็จต่ำ ๆ ได้(±15 โวลท์) ดังแสดงในรูป 2.11



รูป 2.11 แสดงวิธีการดึงเอาโวลท์เต็จที่เป็นสัดส่วนกับกระแสของมอเตอร์ออกมาจากวงจรบิเนียร์บริดจ์

ในกรณีนี้เราจะได้

$$I_o = \frac{e_o R_1}{R_2 R_s} \qquad \text{.....(2-9)}$$

2.4 หลักการออกแบบเพาเวอร์แอมปลิไฟ

การเลือกเอ้าท์พุททรานซิสเตอร์และโครงสร้างที่จะต้องใช้ในการออกแบบเพาเวอร์แอมปลิไฟควรพิจารณาจุดที่สำคัญดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. การเลือกอุปกรณ์เอาท์พุท

ก่อนที่จะเลือกเอาท์พุททรานซิสเตอร์ควรจะได้พิจารณาจุดต่อไปนี้

ก. มอเตอร์ต้องการกระแสและโวลท์เต็จสูงสุดเท่าไรโวลท์เต็จของเพาเวอร์ซัพพลายต้องเป็นค่าต่ำสุดของโวลท์เต็จที่สูงกว่าโวลท์เต็จสูงสุดของมอเตอร์ สำหรับเพาเวอร์ซัพพลายที่ยังไม่ได้เร็คกูแลทควรจะทนสภาพของการแปรไปของโวลท์เต็จในสายส่งได้มากกว่า ± 10 เปอร์เซ็นต์ หมายความว่า V_{dco} ของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ที่เลือกใช้ควรจะมีค่าสูง

ข. กระแสยอดสูงสุดของการเพิ่มอัตราความเร็วหรือการลดอัตราความเร็วลงต้องการช่วงเวลานานเท่าไร เราต้องใช้อุปกรณ์ที่ทำงานอยู่ในพื้นที่การทำงานที่ปลอดภัย หรือ ระบบจะต้องอยู่ในช่วงพื้นที่การทำงานที่ปลอดภัยย่านคี ซี การเบรคดาวน์ครั้งที่สองจะกลาย เป็นโวลท์เต็จผลักกันในช่วงเวลาการลดอัตราความเร็วลงซึ่งมักจะเป็นการบังคับให้ต้องใช้เอาท์พุททรานซิสเตอร์ที่มีเพาเวอร์สูงขึ้น (หรือต่อชนานกันเพิ่มขึ้น)มากกว่ากระแสยอดสูงสุดของธรรมดาที่ต้องการ

ค. แบนด์วิดท์ของเพาเวอร์แอมปลิไฟต้องการขนาดเท่าไร แบนด์วิดท์นี้อาจจะกำหนดได้โดยตัวลิมิตกระแสในช่วงความเร็วที่ต้องการ ตามปกติเรามักจะชอบใช้ทรานซิสเตอร์ที่ต่ำที่สุดซึ่งให้แบนด์วิดท์ตามต้องการมากกว่าส่วนที่จะให้ได้ตามคุณสมบัติของการเบรคดาวน์ครั้งที่สองด้วยแล้วเป็นการยากลำบาก

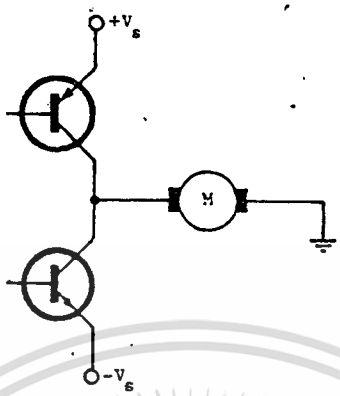
ง. การออกแบบจะเป็นแบบไบโพล่าร์หรือแบบบริดจ์ซัพพลายที่จะใช้เป็นแบบลักษณะสองขั้วหรือเปล่า การพิจารณาถึงฟอร์เวอร์ดเบรคดาวน์ครั้งที่สองในช่วงเวลาลดอัตราความเร็วทำให้บริดจ์แอมปลิไฟมีจุดที่น่าสนใจกว่าหรือไม่ บริดจ์ต้องการ $V_{dco}/2$ สำหรับเอาท์พุททรานซิสเตอร์ต่ำกว่าแบบไบโพล่าร์ครึ่งหนึ่ง

2. การออกแบบภาคเอาท์พุท

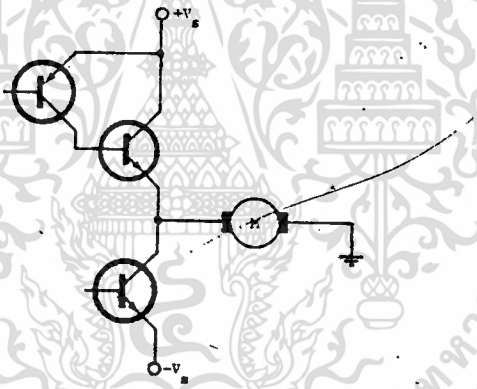
โดยทั่วไปผู้ออกแบบมีโอกาสเลือกการออกแบบภาคเอาท์พุทแอมป์ปลิไฟได้เป็น 2 ลักษณะ คือแบบโครงสร้างมีส่วนประกอบเต็มส่วนบริบูรณ์ดังในรูป 2.12 ใช้ NPN และ PNP - เอาท์พุททรานซิสเตอร์ในการจัดวงจรที่สมมาตรกัน

ภาคเอาท์พุทแบบมีส่วนประกอบเต็มส่วนบริบูรณ์เพียงกึ่งเดียว ดังในรูป 2.13 มีลักษณะเป็น " อินเวอร์ทคาร์ลิงคัล "ประกอบด้วยเอาท์พุททรานซิสเตอร์ NPN และ - ไดเวอร์ PNP เลียนแบบการทำงานเอาท์พุททรานซิสเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 2.12 การออกแบบภาคเอาท์พุทแบบมีส่วนประกอบเต็มส่วนบริบูรณ์



รูป 2.13 การออกแบบภาคเอาท์พุทแบบมีส่วนประกอบเต็มส่วนเพียงกึ่งเดียว

ภาคเอาท์พุทแบบมีส่วนประกอบเต็มส่วนบริบูรณ์มีความสะดวกในการออกแบบและมีคุณสมบัติการทำงานที่สมมาตรกันโดยเฉพาะอย่างยิ่ง อัตราขยายและแบนด์วิดท์ส่วนภาคเอาท์พุทแบบมีส่วนประกอบเต็มส่วนบริบูรณ์เพียงกึ่งเดียวจะสามารถใช้ทรานซิสเตอร์ทั้ง หมดเป็น NPN ได้ในภาคเอาท์พุทซึ่งตามปกติมีราคาถูกกว่า PNP และอาจทำงานได้ไม่ค่อยดีนัก

การต่อเอาท์พุททรานซิสเตอร์ขนานกันกระทำได้ง่ายในการออกแบบภาคเอาท์พุทแบบมีส่วนประกอบที่เต็มบริบูรณ์ซึ่งต้องการเพียงตัวความต้านทานที่อิมิเตอร์ซึ่งค่าของ ค. ท.ท. ใช้ให้โวลท์เต็จตกคร่อมประมาณ 0.7 โวลท์ ที่กระแสคอลเล็คเตอร์ไหลสูงสุด เอาท์พุททรานซิสเตอร์ที่มีลักษณะเป็นคู่ (complementary pain) สามารถเพิ่ม การ

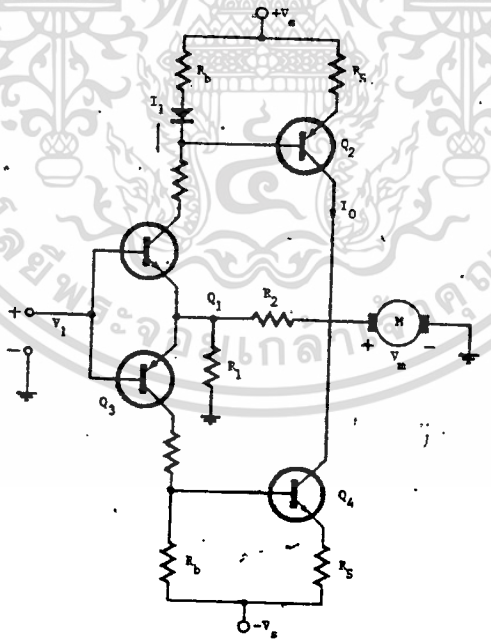
เอกสารนี้ใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประหยัดได้อย่างมากทำให้โครงสร้างแบบมีส่วนประกอบที่เต็มบริบูรณ์ (Comple Mentary) นิยมใช้กันมากขึ้น

3. การพิจารณาถึงอัตราขยายแบนด์วิดท์

ในเพาเวอร์แอมปลิไฟที่มีโพล (Pole) เพียงตัวเดียวอัตราขยายจะลดลงตามความถี่ด้วยสโลป 6 ad /octave ผลคูณของอัตราขยายและแบนด์วิดท์จะมีค่าคงที่ถ้าหากแบนด์วิดท์มีการบังคับได้ทำให้มีผลตามมาคือ อัตราขยายก็จะสามารถบังคับได้ ด้วยเนื่องด้วยเพาเวอร์แอมปลิไฟโดยทั่วไปจะออกแบบให้มีลูฟการป้อนกลับภายในลูฟหนึ่งเพื่อรักษาสภาพของแอมปลิไดโวลท์เต็จหรืออัตราขยายกระแสให้คงที่

เทคนิคต่อไปนี้ดังรูป 2.14 มีการบังคับอัตราขยายโวลท์เต็จแบบปิดลูฟและมีการบังคับอัตราขยายแระแส โครงสร้างแบบ Current mirror ของภาคไดร์เวอร์และภาคเอาท์พุทช่วยกำจัดระลอก (ripple) ในเพาเวอร์ซัพพลาย



รูป 2.14 โครงสร้างภาคเอาท์พุทที่มีการบังคับอัตราขยาย

ทรานซิสเตอร์ Q_1 และ Q_2 ประกอบกันเป็น Current mirror (เช่นเดียวกับ Q_3 และ Q_4) ถ้าได้กระแสขับจาก Q_1 ที่เหมาะสมกระแส I_o จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับ I_1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$I_o = I_1 \frac{R_b}{R_s} \qquad \text{.....(2-10)}$$

อัตราขยายโวลท์เต็จของระบบ V_m / V_1 บังคับได้โดย R_1 และ R_2 (ไม่คิดค่า V_{be} ตกคร่อม Q_1 และ Q_3) ตัวความต้านทาน R_1 และ R_2 จะมีค่าเท่ากันกับตัวความต้านทานป้อนกลับในวงจรนอนอินเวอร์ของ ออฟ-แอมป์ ดังนั้น

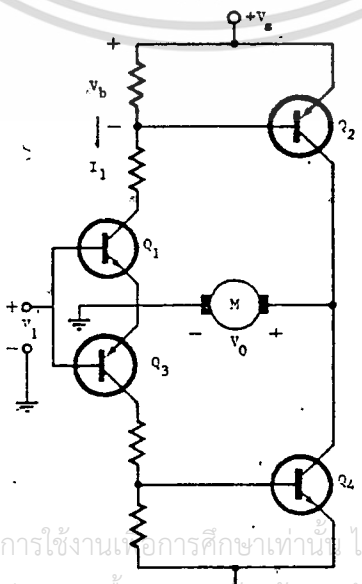
$$\frac{V_m}{V_1} = 1 + \frac{R_2}{R_1} \qquad \text{.....(2-11)}$$

ดังนั้นโวลท์เต็จบิดลูฟและอัตราขยายกระแสของภาคเอ้าท์พุทถูกบังคับได้อย่างดีด้วยตัวของมันเองทำให้ระบบไม่อยู่ในอิทธิพลของการเปลี่ยนแปลงของทรานซิสเตอร์พารามิเตอร์และซัพพลายโวลท์เต็จ

เนื่องจาก Current mirror ทำให้แน่ใจได้ว่ากระแสเอาท์พุทเป็นฟังค์ชั่นกับกระแสของภาคขับเท่านั้น ระบบจึงไม่ขึ้นอยู่กับการแปรซัพพลายและ β ดังนั้น แอมปลิไฟแบบนี้จึงสามารถทำงานในย่านที่มีการแปรค่าของพารามิเตอร์ต่าง ๆ ได้ในช่วงกว้างโดยการทำงานของเพาเวอร์และไดร์เวอร์ทรานซิสเตอร์

2.5 การผิดเพี้ยนในเพาเวอร์แอมปลิไฟ

การผิดเพี้ยนแบบครอสโอเวอร์หรือเรดแบนด์มักจะเรียกกันทั่วไปว่าเป็นบริเวณที่มีอัตราขยายต่ำ (อัตราขยายเป็นศูนย์) ซึ่งอยู่ที่จุดเอ้าท์พุทโวลท์เต็จเป็นศูนย์สาเหตุจากเอ้าท์พุททรานซิสเตอร์นำกระแสได้ต่ำหรือสูญเสียการนำกระแสปกติปัญกานี้เกิดขึ้นเนื่องจากโวลท์เต็จตกคร่อมอิมิเตอร์-เบสของไดเวอร์หรือเอ้าท์พุททรานซิสเตอร์ซึ่งถูกขับโดยสัญญาณขับอินพุท ให้โวลท์เต็จตกคร่อมอิมิเตอร์-เบส ดังกล่าวมีค่ามากเสียก่อนจึงจะสามารถเริ่มการนำกระแสได้



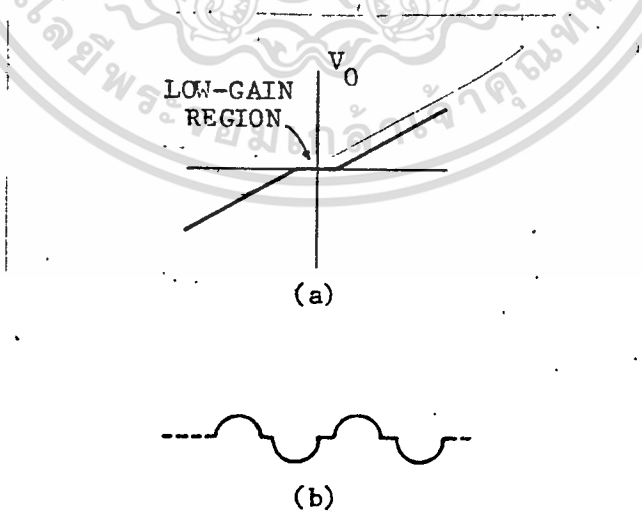
รูป 2.15 การผิดเพี้ยนแบบครอสโอเวอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขณะที่ V_1 มีการเปลี่ยนแปลง Q_1 และ Q_3 จะไม่นำกระแสนานเท่าที่ $-V_{be} < V_1 < V_{be}$ ดังนั้นเอาท์พุททรานซิสเตอร์ Q_2 และ Q_4 ก็จะไม่นำกระแสขณะที่ V_1 อยู่ภายใน ค่ากำหนดนี้ นอกจากนั้นแม้ว่าเมื่อ V_1 จะมากกว่าค่าโวลท์เต็จตกคร่อม V_{be} ของ Q_1 หรือ Q_2 ทรานซิสเตอร์เอาท์พุทดังกล่าวก็ยังไม่นำกระแสจนกว่ากระแสของไดเวอร์มีเพียงพอที่จะทำให้ $I_1 R_b$ มีค่ามากกว่า V_{be} (0.7 v) ของเอาท์พุททรานซิสเตอร์

แม้ว่าการพิจารณาที่กล่าวมาจะมุ่งไปที่การออกแบบไบโพล่าร์เป็นสำคัญก็ตามแต่ก็สามารถนำไปพิจารณาในลิเนียร์บริดจ์ได้เหมือนกัน อย่างไรก็ตามการผิดเพี้ยนแบบครอสโอเวอร์ในบริดจ์จะเกิดขึ้นที่เพาเวอร์ซัพพลายลดต่ำลงเหลือครึ่งเดียวเมื่อเอ้าท์พุทโวลท์เต็จของบริดจ์เท่ากันและโวลท์เต็จของมอเตอร์เป็นศูนย์ ปกติวงจรไดเวอร์จะเปลี่ยนการขับสัญญาณเพื่อให้สอดคล้องกับสัญญาณอินพุทโวลท์เต็จเป็นศูนย์

แม้ว่าการพิจารณาที่กล่าวมาจะมุ่งไปที่การออกแบบไบโพล่าร์เป็นสำคัญก็ตามแต่ก็สามารถนำไปพิจารณาในลิเนียร์บริดจ์ได้เหมือนกัน อย่างไรก็ตามการผิดเพี้ยนแบบครอสโอเวอร์ในบริดจ์จะเกิดขึ้นที่เพาเวอร์ซัพพลายลดต่ำลงเหลือครึ่งเดียวเมื่อเอ้าท์พุทโวลท์เต็จของบริดจ์เท่ากันและโวลท์เต็จของมอเตอร์เป็นศูนย์ ปกติวงจรไดเวอร์จะเปลี่ยนการขับสัญญาณเพื่อให้สอดคล้องกับสัญญาณอินพุทโวลท์เต็จเป็นศูนย์



รูป 2.16 (ก) ทรานสเฟอร์ฟังค์ชั่นแสดงถึงการผิดเพี้ยนแบบครอสโอเวอร์
(ข) การผิดเพี้ยนของเอ้าท์พุทเมื่อสัญญาณอินพุทเป็นลูกคลื่นซายน์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูป 2.16 (ก) และ 2.6(ข) แสดงถึงผลของการผิดเพี้ยนแบบครอสโอเวอร์ที่มีต่อทรานสเฟอร์ฟังค์ชั่นและมีผลต่อการผิดเพี้ยนของเอาท์พุทเมื่ออินพุทเป็นลูกคลื่นซาย์ สังเกตได้ว่าอัตราขยายของระบบ $\frac{\Delta V_o}{\Delta V_i}$ ลดลงเกือบถึงจุดศูนย์

ถ้าเราไม่ทำให้ความผิดเพี้ยนแบบครอสโอเวอร์มีค่าต่ำสุดจะทำให้เกิดปัญหาต่าง ๆ หลายอย่าง ระบบควรจะได้รับการชดเชยอย่างถูกต้อง (Critically damped) เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความเร็วเพียงเล็กน้อยใกล้ศูนย์ซึ่งจะทำให้ระบบมีแนวโน้มจะเกิดโอเวอร์ชูท หรือออสซิเลทได้ในช่วงที่ความเร็วเพิ่มมากขึ้นด้วยการเพิ่มอัตราขยายของระบบไปจากศูนย์

การผิดเพี้ยนแบบครอสโอเวอร์เป็นปัญหาวิกฤตในระบบการบังคับตำแหน่งซึ่งระบบจะต้องให้แรงบิดที่ยึดคงที่เพื่อให้มอเตอร์อยู่ที่ตำแหน่งศูนย์ (ความเร็วเป็นศูนย์) ดังนั้นอัตราขยายของแอมปลิไฟจะมีค่าต่ำที่จุดนี้เนื่องจากการผิดเพี้ยนแบบครอสโอเวอร์ส่วนอัตราขยายที่ตำแหน่งอื่นในระบบต้องมีค่าเพิ่มขึ้นเพื่อทำให้อัตราขยายของลูฟที่ตำแหน่งนั้น ๆ มีค่าที่เหมาะสม ผลที่เกิดขึ้นนี้เป็นปัญหาเกี่ยวกับเสถียรภาพของระบบคือ ทันทีที่สัญญาณความแตกต่างของตำแหน่งมีค่าสูงอย่างเพียงพอเพื่อชนะการผิดเพี้ยนแบบครอสโอเวอร์ อัตราขยายของระบบจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเป็นเหตุให้เกิดภาวะของโอเวอร์ชูทหรือออสซิเลชั่นขึ้นได้

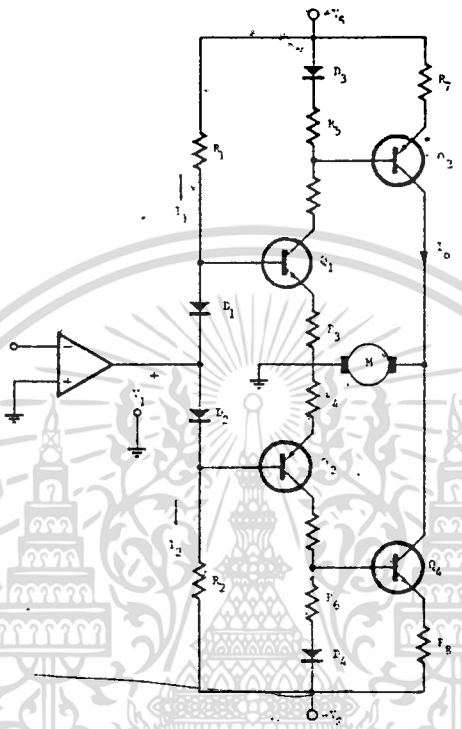
เรามีเทคนิคง่าย ๆ ที่จะลดค่าผิดเพี้ยนแบบครอสโอเวอร์ในภาคไดเวอร์ในภาคดังแสดงในรูป 2.17 ไดโอด D_1 และ D_2 จะเป็นตัวออฟเซทโวลท์เต็จตกคร่อมอิมิเตอร์-เบสของ Q_1 และ Q_2 ส่วนตัวความต้านทาน R_1 และ R_2 เป็นตัวกำหนดกระแสกระตุ้นเบส ตัวความต้านทาน R_3 และ R_4 เป็นตัวกำหนดค่ากระแสเออร์เรอร์สูงสุดที่เกิดจากความไม่ทัดเทียมกันของ V_{b1} กับ V_{beQ1} หรือ V_{b3} กับ V_{beQ2} กระแสเออร์เรอร์ได้เท่ากับ $(V_D - V_{be})/R_3$ หรือ $(V_D - V_{be})/ R_4$

เมื่อ $V_1 = 0$ กระแสไบอัสคงที่ I_1 สามารถไหลได้ (ส่วนกระแสไบอัส I_2 ก็จะไหลในทิศทางตรงกันข้าม) ซึ่งขึ้นอยู่กับการไม่ทัดเทียมกันเองของ V_D และ V_{be}

ไดโอด D_3 และ D_4 มีหน้าที่คล้ายกันต่ออยู่ที่เบสของ Q_3 และ Q_4 แยกกระแสส่วนใหญ่ของไดเวอร์ I_1 และ I_2 ไปยังเบสของ Q_3 และ Q_4 จนกระทั่งกระแสมีค่ามากพอที่ทำให้ D_3 และ D_4 เบรคดาวน์ ดังนั้นแม้ว่ากระแสเพียงเล็กน้อยก็ไปกระ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตุ้นที่เบสของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์โดยตงมากกว่าตัวความต้านทานเบส (R_5 และ R_6) ซึ่งกระแสเอาท์พุทที่ได้จะมีความไวต่อกระแสไดเวอร์เพียงเล็กน้อยและเป็นการลดการผิดเพี้ยนแบบครอสโอเวอร์



รูปที่ 2.17 วงจรที่สามารถลดการผิดเพี้ยนแบบครอสโอเวอร์ของไดเวอร์

เมื่อกระแสเอาท์พุทสูง กระแสไบอัสในเอาท์พุททรานซิสเตอร์อาจจะแปรค่าเนื่องจากความแตกต่างในความไม่ทัดเทียมกันของโวลท์เต็จตกคร่อมอิมิเตอร์-เบสกับโวลท์เต็จตกคร่อมไดโอดซึ่งเป็นผลให้เกิดกำลังงานสูญเสียที่ภาวะคงที่ในเอาท์พุททรานซิสเตอร์อย่างมาก

เราสามารถแก้ปัญหานี้ให้ลดน้อยลงได้โดยใช้ซ็อคท์คี่ไดโอดสำหรับ D_1 และ D_2 และซิลิกอนไดโอด D_3 และ D_4 แต่ความผิดเพี้ยนแบบครอสโอเวอร์ยังคงมีอยู่

อีกวิธีหนึ่งเราจะตัด D_1 และ D_2 ออกและให้วงจรมีการป้อนกลับแบบผิดลูฟ (โวลท์เต็จหรือกระแส) เพื่อลดการผิดเพี้ยนแบบครอสโอเวอร์โดยเพิ่มอัตราขยายลูฟของระบบแต่อัตราขยายลูฟจะลดลงเมื่อความถี่เพิ่มขึ้นดังนั้นความผิดเพี้ยนแบบครอสโอเวอร์จะเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของความถี่ การลดความผิดเพี้ยนแบบครอสโอเวอร์โดยทั่ว ๆ ไปมักกระทำในลักษณะเปิดลูฟมากกว่าที่จะใช้เทคนิคการป้อนกลับซึ่งอาจทำให้เกิดปัญหาเกี่ยวกับเสถียรภาพได้สำหรับเพาเวอร์แอมปลิไฟขนาดใหญ่จะลดความผิดเพี้ยนแบบครอสโอเวอร์ได้ในลักษณะ

เอกสารนี้ใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เปิดลูพโดยรักษาให้กระแสไบอัสของเอาท์พุททรานซิสเตอร์ไหล เนื่องจากกระแสไบอัสนี้มีผลทำให้เกิดความร้อนจนเกินไปและยากแก่การควบคุม

2.6 เทคนิคการลิมิตกระแส

เมื่อคีซีมอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวรได้รับการขับคลื่นด้วยเพาเวอร์แอมปลิไฟทรานซิสเตอร์ซึ่งมีการบังคับด้วยตัวลิมิตกระแสที่เชื่อถือได้ ทั้งมอเตอร์และแอมปลิไฟอาจถูกทำให้เสียหายได้โดยภาวะกระแสที่ไหลเกินขีดจำกัดแม้ในช่วงเวลาอันสั้นตัวลิมิตกระแสโดยทั่วไปควรจะมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้

1. ตัวลิมิตกระแสต้องสามารถรักษาคุณสมบัติการลิมิตได้ราบเรียบแม้ว่าจะเกิดโอเวอร์ไดร์จำนวนมากก็ตาม

2. ตัวลิมิตต้องมีผลตอบสนองที่รวดเร็วพอที่จะป้องกันกระแสโอเวอร์ชูทเมื่อมอเตอร์ลดอัตราความเร็วลงจากความเร็วสูง

3. ตัวลิมิตควรอยู่ในลักษณะปิดลูพเพื่อป้องกันเออร์เรอร์โวลท์เต็จที่ได้จากซัมมิ่งแอมปลิไฟสูงเกินไปเมื่อกระแสถูกจำกัด

4. ในทางทฤษฎีตัวลิมิตกระแสควรอยู่ใกล้เอาท์พุททรานซิสเตอร์มากที่สุด

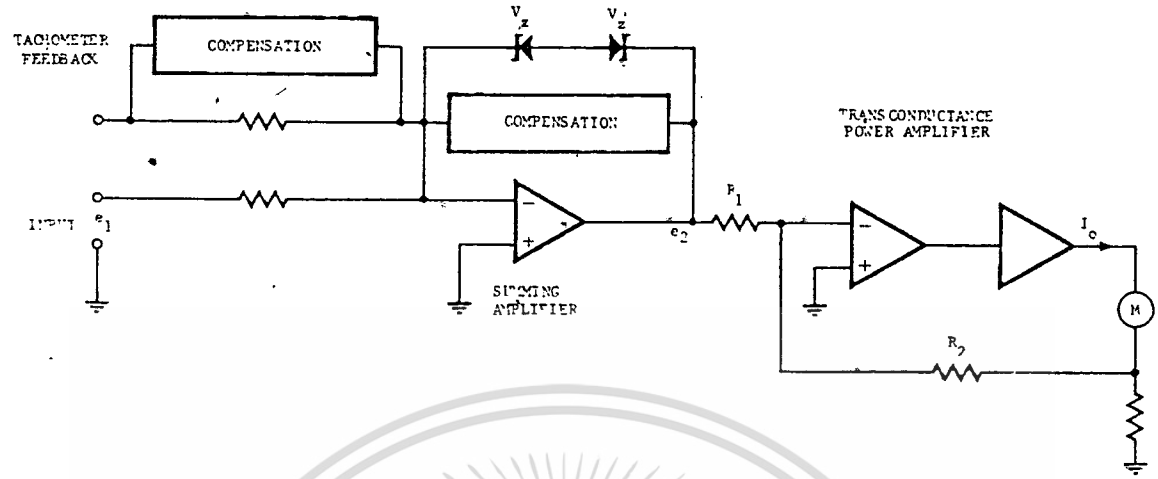
คุณสมบัติอื่น ๆ เช่น ความสามารถในการปรับแต่งลิมิตกระแสได้สองภาค(กระแสพัลซ์ค่าสูงสามารถยอมให้ไหลได้ในช่วงเวลาอันสั้นเพื่อเพิ่มอัตราเร่งหรือลดอัตราเร่งของความเร็วลง) หรือการลิมิตกระแสย้อนกลับซึ่งอาจจำเป็นในการประยุกต์ใช้งานบางอย่าง เมื่อต้องการให้มีคุณสมบัติการลิมิตกระแสในระบบอาจจำเป็นต้องมีการประนีประนอม

เพาเวอร์แอมปลิไฟแบบ " ทรานส์คอนดัคแต้นซ์ " เป็นแอมปลิไฟที่มีกระแสเอาท์พุทเป็นสัดส่วนกับอินพุทโวลท์เต็จและเรามักนิยมนำมาใช้สำหรับเหตุผล 2 ข้อ ต่อไปนี้
(1) เพราะว่าโวลท์เต็จขับอินพุทถูกกด และแอมปลิไฟอยู่ในฟอร์มปิดลูพของตัวลิมิตกระแส
(2) เราจะป้อนค่าโวลท์เต็จที่อินพุทของแอมปลิไฟเท่านั้นเพื่อให้ได้กระแสตามต้องการ เนื่องจากซัมมิ่งแอมปลิไฟจะไปขับเพาเวอร์แอมปลิไฟอีกทีหนึ่ง การกดขนาดของโวลท์เต็จรอบจุดป้อนกลับของซัมมิ่งแอมปลิไฟจะเป็นการลิมิตค่าเอาท์พุทโวลท์เต็จของตัวมันเองดังนั้นเราจะได้ค่ากระแสของมอเตอร์ตามต้องการดังในรูป 2.18 เพาเวอร์แอมปลิไฟแบบทรานส์คอนดัคแต้นซ์กำหนดได้โดย

$$\frac{I_o}{e_2} = \frac{R_2}{R_1 R_s} \qquad \text{.....(2-12)}$$

เนื่องจากโวลท์เต็จ e_2 ถูกจำกัดอยู่ที่ $\pm$ (V_z - V_d) เมื่อ V_z เป็นเซเนอร์โวลท์เต็จ และ V_d = 0.7 โวลท์ การลิมิตกระแสกำหนดได้โดย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 2.18 ตัวลิมิตกระแสของเพาเวอร์แอมปลิไฟแบบทรานส์คอนดัคแต้นซ์

$$I_{lim} = -e_{2max} \frac{R_2}{R_1 R_2} \quad \text{.....(2-13)}$$

$$I_{lim} = \pm(V_z+V_d) \frac{R_2}{R_1 R_s} \quad \text{.....(2-14)}$$

ความเร็วที่ต้องการสำหรับตัวลิมิตกระแสขึ้นอยู่กับอัตราสูงสุดของกระแสที่เพิ่มขึ้นของมอเตอร์ ซึ่งจะเกิดขึ้นขณะที่ลดความเร็วจากความเร็วสูงสุด โวลท์เต็จสูงสุดที่จะป้อนให้กับมอเตอร์ควรมีค่าประมาณ 2 V_s ภายใต้ภาวะนี้ไม่จำเป็นต้องมีการจำกัดกระแส

ในการคำนวณหาความเร็วที่ต้องการ กำหนดให้ I_{lim} เท่ากับกระแส ที่ต้องการลิมิต สมมติว่าอยู่ในภาวะที่ลดความเร็วลงกระแสของมอเตอร์สามารถเขียนได้เป็น

$$I_m(t) = \frac{2V_s}{R} (1-e^{-t/T}) \quad \text{.....(2-15)}$$

เมื่อ $T = L_a / R_a$

และ L_a = อาร์มาเจอร์อินดัคแต้นซ์

R_a = ความต้านทานของอาร์มาเจอร์

$$I_m(T) = I_{lim} = \frac{2V_s}{R_a} (1-e^{-T/T}) \quad \text{.....(2-16)}$$

เมื่อ T เป็นเวลาที่ใช้สำหรับให้กระแสสูงขึ้นจนถึงค่าลิมิตและหาค่าของ T จากสมการ (-16) เราจะได้

$$T = T\ln\left[\frac{2 V_s}{2V_s R_a I_{lim}}\right] \quad \text{.....(2-17)}$$

เวลาการตอบสนองของตัวลิมิตกระแส หรือเวลาการตอบสนองของแอมปลิไฟในกรณีของทรานคอนดัคแต้นซ์ แอมปลิไฟควรมีค่าน้อยกว่า T

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับทรานส์คอนดัคแต้นซ์แอมปลิไฟ เราอาจจะให้ความสัมพันธ์ของเวลาการตอบสนอง T กับ แบนด์วิดท์ของเพาเวอร์แอมปลิไฟดังนี้

ค่าเวลาที่เพิ่มขึ้นจาก 10 ถึง 90 เปอร์เซ็นต์ของแอมปลิไฟกำหนดได้โดย

$$T_{10-90} = \frac{0.35}{f_o}$$

เมื่อ f_o คือแบนด์วิดท์ของแอมปลิไฟ (3 dB) เราต้องการว่า $T_{10-90} \ll T$

ดังนั้น $f_o \gg \frac{0.35}{T}$

สำหรับตัวอย่างในการพิจารณาทรานส์คอนดัคแต้นซ์ที่ใช้ขับมอเตอร์ซึ่งมี ค.ค.ท. ของอาร์มาเจอร์และอินดัคเตอร์ของอาร์มาเจอร์ดังต่อไปนี้

$$R_a = 2 \text{ โอห์ม}$$
$$L_a = 6 \text{ mH}$$

สมมติว่า $V_s = 30$ โวลท์ กำหนดให้ I_{limit} เป็นกระแสลิมิตเท่ากับ 5 แอมป์ดังนี้

$$T = \frac{6 \times 10^{-3}}{2} \ln \left[\frac{60}{60-10}\right]$$
$$= 547 \ \mu\text{sec}$$

เราต้องการแบนด์ของแอมปลิไฟเท่ากับ

$$f_o \gg \frac{0.35}{547 \times 10^{-6}} = 640 \text{ H}_z \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2\text{-}18)$$

อีกวิธีหนึ่งที่ง่ายกว่าคือ สมมติว่ากระแสของมอเตอร์เพิ่มขึ้นได้ด้วยอัตราสูงสุดคือ

$$\frac{\Delta I}{\Delta T} = \frac{2V}{L} \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2\text{-}19)$$

ดังนั้น $\Delta T = \frac{L \Delta I}{2V}$

ในกรณีข้างบนนี้เราจะได้

$$\Delta T = \frac{5 \times 6 \times 10^{-3}}{60} = 500 \ \mu\text{sec} \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2\text{-}20)$$

เราต้องการค่าของเวลาที่เพิ่มขึ้นจาก 10 ถึง 90 เปอร์เซ็นต์ซึ่งน้อยกว่า ΔT และจะได้ $\frac{0.35}{f_o} < \Delta T$

ดังนั้น

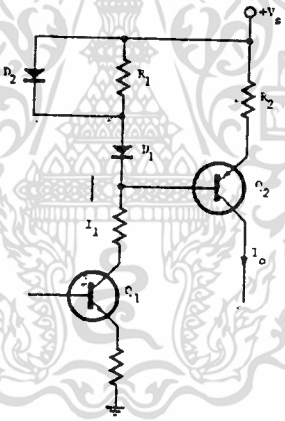
$$f_o > \frac{0.35}{T} = 700 \text{ H}_z \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2\text{-}21)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อย่างไรก็ตามตัวลิมิตกระแสของแอมปลิไฟแบบทรานสคอนดัคแต้นซ์ยังต้องการการทำงาน ที่ถูกต้องของส่วนประกอบทั้งหมดในเพาเวอร์แอมปลิไฟ เช่นข้อผิดพลาดของออฟ-แอมป์ อาจเป็นสาเหตุให้เอาท์พุททรานซิสเตอร์หรือมอเตอร์เสียหายได้

เรามักจำเป็นต้องป้องกันความเสียหายที่เกิดขึ้นกับตัวลิมิตกระแสทรานส์คอนดัคแต้นซ์ด้วยใส่ตัวลิมิตกระแสอย่างง่าย ๆ ที่เอาท์พุททรานซิสเตอร์ของวงจรไดร์เวอร์ ตัวลิมิตกระแสนี้จะตั้งค่าไว้สูงสุดของพิสัยการลิมิตกระแสของทรานส์คอนแต้นซ์แอมปลิไฟเพื่อป้องกันระบบได้ดีที่สุด เทคนิคการลิมิตกระแสโดยตรงดังกล่าวจะได้แสดงรายละเอียดต่อไป

ถ้าไดร์เวอร์และเอ้าท์พุททรานซิสเตอร์มีโครงสร้างเป็นแบบ Current Mirror (ดังในรูป 2.19) ดังนั้นความสัมพันธ์ระหว่างกระแสเอาท์พุทกับกระแสขับหาได้โดย



รูป 2.19 ตัวลิมิตกระแสใช้ร่วมกับไดร์เวอร์แบบ Current mirror และเอ้าท์พุททรานซิสเตอร์

$$I_o = I_1 R_1 / R_2 \qquad \text{.....(2-22)}$$

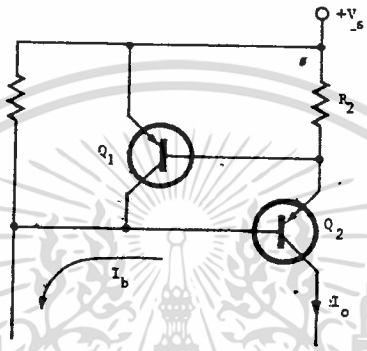
กระแส I_1 มักต้องการให้มีค่าสูงกว่ากระแสเบสของ Q_1 และไดโอด D_1 จะเป็นตัวออฟเซทโวลท์เค็จตกคร่อมอิมิเตอร์เบสของ Q_2

เราจะเห็นได้ว่าโวลท์ตกคร่อม R_1 เท่ากับโวลท์ตกคร่อม R_2 ถ้าโวลท์ตกคร่อม R_1 ถูกลิมิต (ดังในตัวอย่างเท่ากับ 0.7 โวลท์โดย D_2) อยู่ที่ค่าในค่าหนึ่งดังนั้นโวลท์ตกคร่อม R_2 จะถูกลิมิตอยู่ที่ค่าเดียวกันและกระแสเอ้าท์พุทจะถูกจำกัดในกรณีนี้คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$I_{Lim} = 0.7/ R_2 \quad \text{.....(2-23)}$$

เทคนิคอีกอันหนึ่งคือการชุมเอากระแสอิมิคเตอร์ของเอาท์พุททรานซิสเตอร์โดยตรงและต่อขนานกับกระแสขับเมื่อกระแสเอาท์พุทมีค่าที่แน่นอนดังในรูป 2.20



รูป 2.20 ตัวอย่างการลิมิตกระแสโดยตรง

ในกรณีนี้เมื่อโวลท์เต็จ $I_o R_2$ มีค่าเกินกว่าโวลท์เต็จตกคร่อมอิมิเตอร์-เบสของ Q_2 Q_2 ก็จะเริ่มต้นจำกระแสขนานกับค่ากระแสขับเบสของ Q_1 เพื่อให้ได้ค่าที่ต้องการ $I_o R_2 \simeq 0.7/ R_2$ โวลท์ดังนั้น

$$I_{olim} \simeq 0.7/ R_2 \quad \text{.....(2-24)}$$

เทคนิคนี้กระทำได้ง่ายและราคาไม่แพงทั้งยังมีประสิทธิภาพดีในการลิมิตกระแสตามขั้นตอนที่สองซึ่งอาจนำมาใช้ได้ทั้งในวงจรแบบไบโพล่าร์หรือแบบบริดจ์

2.7 ความสัมพันธ์ระหว่างอินพุท-เอาท์พุทในลิเนียร์แอมปลิไฟ

แอมปลิไฟสามารถสร้างได้เป็นโวลท์เต็จแอมปลิไฟ(เอาท์พุทโวลท์เต็จ/อินพุทโวลท์เต็จ) หรือแอมปลิไฟกระแส(เอาท์พุทแอมป์/อินพุทแอมป์) หรือรวมกันทั้งสองแบบซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของการป้อนกลับที่ใช้ในลูฟป้อนกลับย่อย คุณสมบัติการทำงานของระบบสามารถจะกำหนดได้โดยการพิจารณาคุณสมบัติของแอมปลิไฟทั้งสองแบบอย่างรอบคอบ

โครงสร้างของแหล่งกำเนิดกระแสจะถูกลิมิตกระแสได้โดยการลิมิตโวลท์เต็จอินพุทที่ป้อนไปยังเพาเวอร์แอมปลิไฟเนื่องจากกระแสเอาท์พุทของแหล่งกำเนิดกระแสหรือ

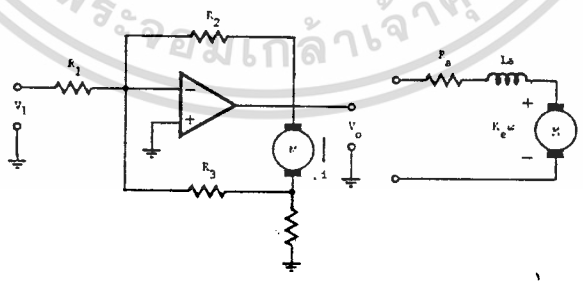
เอกสารนี้ใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทรานส์คอนดัคแต้นซ์แอมปลิไฟเป็นสัดส่วนกับอินพุทโวลท์เต็จ ดังนั้นโวลท์เต็จจะถูกกดที่จุดของซัมมิ่งแอมปลิไฟทำให้กระแสของมอเตอร์ถูกลิมิตไปยังค่าที่ต้องการ

แหล่งกำเนิดโวลท์เต็จให้เอาท์พุทอิมพีแดนซ์ต่ำต่อตัวมอเตอร์โดยที่โวลท์เต็จไม่มีการเปลี่ยนแปลงสามารถลดการเปลี่ยนแปลงของความเร็วมอเตอร์ เนื่องจากแอมปลิไฟสามารถดูดกลืนกระแสที่จ่ายโดยเยนเนอร์เรเตอร์โวลท์เต็จย้อนกลับดังนั้นปริมาณของการแค้มพ์ที่เกิดในโวลท์เต็จแอมปลิไฟสามารถเพิ่มเสถียรภาพให้กับระบบ

นอกจากนั้นแหล่งกำเนิดกระแสให้เอาท์พุทอิมพีแด้นซ์สูงแก่มอเตอร์ ดังนั้นจึงไม่มีการแค้มพ์จากลักษณะเด่นนี้นำไปใช้ประโยชน์ในการขับเคลื่อนดีซีมอเตอร์แบบไม่มีแปรงถ่านหรือแบบหลายเฟสเมื่อ Mutual Coupling ระหว่างขดลวดอาจเป็นสาเหตุให้เกิดการแค้มพ์มากเกินไปถ้าหากใช้แหล่งกำเนิดโวลท์เต็จ

ทรานส์คอนดัคแต้นซ์ (แหล่งกำเนิดกระแส) แอมปลิไฟทำให้ระบบไม่ต้องขึ้นอยู่กับอินดัคแต้นซ์ของมอเตอร์โดยสามารถดัดโพลไฟฟ้าของมอเตอร์เมื่อสัญญาณเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย เมื่อไม่เกินข้อจำกัดของแหล่งกำเนิดกระแส(การอิ่มตัวของโวลท์เต็จ) นอกจากนั้นทรานสเฟอร์ฟังค์ชั่นประกอบด้วยผลของการอินติเกรทระหว่างกระแสและอัตราเร่ง ความเร็วซึ่งมีผลเสียโดยตรงกับเสถียรภาพของระบบซึ่งจะได้อธิบายต่อไป พิจารณาถึงระบบแสดงในรูป 2.21



รูป 2.21 แอมปลิไฟที่ประกอบด้วยแหล่งกำเนิดโวลท์เต็จและแหล่งกำเนิดกระแส

เมื่ออัตราขยายของแอมปลิไฟมีค่าสูง อินพุทลบของออฟ-แอมป์อาจพิจารณาได้เป็นเสมือนมีศักย์ดาเป็นกราวนด์ ผลที่ได้คือ :

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\frac{V_1}{R_1} + \frac{V_o}{R_2} + \frac{R_3}{R_3} = 0 \quad \text{.....(2-25)}$$

เมื่อ ไม่ได้ต่ออยู่ในวงจร, เราจะได้

$$\frac{V_1}{R_1} + \frac{V_o}{R_2} = 0 \quad \text{.....(2-26)}$$

หรือ

$$\frac{V_o}{V_1} = \frac{R_2}{R_1} \quad \text{.....(2-27)}$$

ในทำนองเดียวกัน เมื่อตัวความต้านทานที่ใช้ป้อนโวลท์เต็จกลับ R มีค่าสูงมากสมการ (2-25) อาจเขียนได้เป็น

$$\frac{V_1}{R_1} + \frac{R_2}{R_3} = 0 \quad \text{.....(2-28)}$$

หรือ

$$\frac{i}{V_1} = -\frac{R_3}{R_1 R_3} \quad \text{.....(2-29)}$$

ซึ่งแสดงว่าเป็นแอมปลิไฟแบบขยายกระแส

มันเป็นสิ่งที่น่าสนใจที่จะพิจารณาถึงผลของการป้อนโวลท์เต็จและกระแสกลับที่มีต่อทรานสเฟอร์ฟังค์ชั่นทั้งหมดของมอเตอร์และแอมปลิไฟ

สมมติว่าโวลท์เต็จตกคร่อม R_a มีค่าต่ำ เราอาจสมมติว่า V_o คือโวลท์เต็จของมอเตอร์

เราใช้สมการของมอเตอร์มาตรฐานเราอาจเขียนได้เป็น

$$V_o = K_e \omega + R_a i + L_a \frac{di}{dt} \quad \text{.....(2-30)}$$

รวมถึง

$$K_t i = j \frac{d\omega}{dt} \quad \text{.....(2-31)}$$

เมื่อ K_t คือตัวคงที่ของแรงบิดมอเตอร์ ใช้ลาปลาสทรานฟอร์มกับสมการสุดท้ายเราจะได้

$$K_t \; I(s) = JS\,\Omega\,(s) \quad \text{.....(2-32)}$$

หรือ

$$I(s) = \frac{SJ}{K_t}\,\Omega\,(s) \quad \text{.....(2-33)}$$

ใช้ลาปลาสทรานสฟอร์มกับสามการ (2-30) เราจะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$V_o(s) = K_e \Omega(s) + (R_a + sL_a)I(s) \quad \text{.....(2-34)}$$

แทนค่าผลที่ได้ในลาปลาสทรานสฟอร์มของสมการ (1-25) จะได้

$$\frac{V_i(s)}{R_1} + \frac{K_e K_t \Omega(s) + sJ(R_a + sL_a)\Omega(s)}{R_2 K_t} + \frac{Jr_3 \Omega(s)}{K_t R_3} = 0 \quad \text{.....(2-35)}$$

ทรานสเฟอร์ฟังค์ชั่นระหว่างอินพุทโวลท์เต็จ V_i และความเร็ว ω อาจเขียนได้เป็น

$$\frac{\Omega(s)}{V_i(s)} = \frac{I}{R_1} \frac{R_2 R_3 K_t}{R_3 K_e K_t + sJ(R_a + sL_a) + sJR_3R_2} \quad \text{.....(2-36)}$$

ในกรณีที่การป้อนกระแสกลับมีจุดเด่นเป็นพิเศษเมื่อ R มีค่าสูงเราอาจประมาณสมการ (1-36) ได้โดย

$$\frac{\Omega(s)}{V_i(s)} = -\frac{R_3 K_t}{sJR_1 R_3} \quad \text{.....(2-37)}$$

ซึ่งเป็นทรานสเฟอร์ฟังค์ชั่นลำดับที่หนึ่ง(first-order) ที่มีอินติเกรชั่น ($\frac{1}{s}$) อยู่

ในกรณีตรงกันข้ามที่การป้อนกลับของโวลท์เต็จมีจุดเด่น (เมื่อ R_3 มีค่าสูง) เราอาจประมาณสมการ (1-36) ได้โดย

$$\frac{\Omega(s)}{V_i(s)} = \frac{R_2 K_t}{R_1 K_e K_t + sJ(R_a + sL_a)} \quad \text{.....(2-38)}$$

หรือ

$$\frac{\Omega(s)}{V_i(s)} = -\frac{\frac{R_2 K_t}{R_1 JL_a}}{s^2 + \frac{sR_a}{L} + \frac{KK_t}{JL_a}} \quad \text{.....(2-39)}$$

ซึ่งเป็นระบบลำดับที่สอง (Second-order)

ทรานสเฟอร์ฟังค์ชั่นที่สมบูรณ์ต้องรวมทั้งการป้อนกลับของกระแสและโวลท์เต็จ ซึ่งหาได้จากสมการ (1-36)

$$\frac{\Omega(s)}{V_i(s)} = -\frac{\frac{R_2 K_t}{R_1 JL_a}}{s^2 + \frac{R_a}{L_a} + \frac{R_3 R_2}{L_a R_3} s + \frac{K_e K_t}{JL_a}} \quad \text{.....(2-40)}$$

เปรียบเทียบสมการ (2-40) กับสมการ (2-39) ซึ่งมีการป้อนกลับของโวลท์เต็จเท่านั้น แสดงว่าการเพิ่มการป้อนกลับของกระแสจะเพิ่ม ส.ป.ส. ของ s ในตัวหารของสมการ (2-40)ดังนั้นเป็นผลให้มีการแค้มพ์ในลูพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8 ตัวอย่างการออกแบบลิเนียร์แอมปลิไฟแบบไบโพล่าร์

พิจารณาถึงรายละเอียดของลิเนียร์เพาเวอร์แอมปลิไฟ

1. แบบไบโพล่าร์ใช้ซัพพลาย ± 28 โวลท์
2. เอ้าท์พุทโวลท์เต็จ ± 24 โวลท์
3. กระแสเอ้าท์พุท ± 10 แอมป์ (ค่ายอดสูงสุด) 2 แอมป์ RMS
4. แบบทรานส์คอนดัคแต้นซ์ I_o / V_{in} = 2 แอมป์/โวลท์
5. ความต้านทานอาร์มาเจอร์ของมอเตอร์ R_a = 2 โอห์ม
6. โวลท์เต็จย้อนกลับสูงสุดของมอเตอร์ V_e = 25 โวลท์

ขั้นแรกพิจารณาเลือกอุปกรณ์เอาท์พุท เนื่องจากความเป็นไปได้ของการกลับทิศจากความเร็วสูง เอาท์พุททรานซิสเตอร์จะมีโวลท์เต็จของคอลเล็คเตอร์อิมิเตอร์ประมาณ 2 V_s ดังนั้นเราจะได้ $V_{ceo(sus)} > 2\ V_s$ = 56 โวลท์

สมมติว่าซัพพลายโวลท์มีค่า ± 30 โวลท์ และเลือกเอ้าท์พุททรานซิสเตอร์ที่มี ($V_{ceo(sus)}$ = 80 โวลท์)

ข้อกำหนดกระแสของเอ้าท์พุททรานซิสเตอร์ (หรือจำนวนทรานซิสเตอร์ที่ต้องการต่อขนาน) ปกติกำหนดได้โดยพิจารณาฟอร์เวอร์ดไบอัส I_{sb} โวลท์เต็จผลักดันสูงสุด $V_{ce}\ I_c$ เกิดขึ้นชั่วขณะเมื่อลดอัตราความเร็วของมอเตอร์จากความเร็วสูง ๆ ถึงแม้ว่ารายละเอียดของระบบไม่ต้องการกำหนดให้มอเตอร์ทำงานที่ความเร็วเกือบถึงค่าสูงสุด แต่ภาวะดังกล่าวอาจเกิดขึ้นได้ ถ้าหากการป้อนกลับของทาโคมิเตอร์เกิดหยุดหายไปหรือหรือเนื่องจากอุบัติเหตุ

โวลท์เต็จตกคร่อมทรานซิสเตอร์ที่นำกระแสในช่วงการลดอัตราความเร็วลงกำหนดได้โดย

$$V_{ce} = V_s + V_e - IR_a \quad \text{.....(2-41)}$$

เมื่อ V_s เป็นค่าสูงสุดของเพาเวอร์ซัพพลายโวลท์เต็จ

V_e เป็นค่าสูงสุดของโวลท์เต็จย้อนกลับของมอเตอร์

R_a ความต้านทานของอาร์มาเจอร์ของมอเตอร์

I กระแสของมอเตอร์

การประเมินค่าในจุดที่กำลังผลักดันสูงสุดโดยการพิจารณาอาจกระทำได้โดยพิจารณากระแส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของมอเตอร์ให้อยู่ที่ค่าลิมิตของมันในสมการ (2-41) ค่าโดยประมาณนี้นำไปใช้ในเบื้องต้นสำหรับการประเมินค่าช่วงความปลอดภัยของการเบรคดาวน์ครั้งที่สองตามปกติเอ้าท์พุททรานซิสเตอร์ต้องมีค่าของกระแสจากศูนย์ถึง I_{lim} ที่อยู่ในข้อกำหนดของ SOA ดังนั้นสมการ (2-41) ควรใช้เพื่อจะเขียนกราฟของ V_{ce} กับ I โดยตรงจากเส้นโค้ง SOA เพื่อพิสูจน์ว่าการทำงานของเอ้าท์พุททรานซิสเตอร์มีค่ากระแสทั้งหมดอยู่ในข้อกำหนดของ SOA

$$V_{cemax} = 30 + 25 - 20 = 35 \text{ โวลท์} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (2-42)$$

จากการตรวจสอบเบื้องต้นเราเลือกเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ที่เป็นแบบ Complementary pair เบอร์ 2 N 6327 2 N 6330 มีข้อกำหนดโวลท์เต็จที่ 80 โวลท์ กระแส 30 แอมป์ ต่อเนื่องโดยไม่ได้คิดถึงแบบของทรานซิสเตอร์และจำนวนของทรานซิสเตอร์ที่จะต้องนำมาต่อขนาน อย่างไรก็ตามยังต้องพิจารณาถึงพื้นที่การทำงานที่ปลอดภัย (SOA) ณ ที่อุณหภูมิของจุดต่อสูงสุดที่จะเกิดขึ้นด้วย

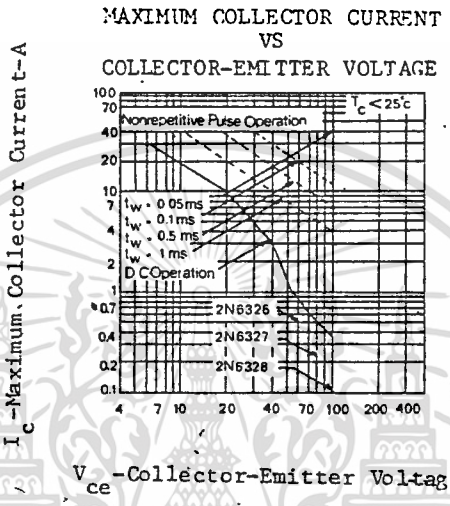
เนื่องจากค่าของ I_{sb} ของทรานซิสเตอร์ไม่ขึ้นอยู่กับค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิที่ต่อ และโดยทั่วไปมักกำหนด $T_j = 200$ C ค่าประเมินของความร้อนและค่าประเมินของความร้อนและค่าประเมินของกระแส I_{sb} ตามปกติแล้วมักจะแยกกันพิจารณาการทำงานของทรานซิสเตอร์ต้องอยู่ในพื้นที่ปลอดภัยของความร้อนและ I_{sb}

ปัญหาแรกพิจารณาถึง I_{sb} ตามที่กำหนดกระแสพีคเท่ากับ 10 แอมป์และ V_{cemax} = 35 โวลท์ในช่วงเวลาการลดอัตราความเร็วลง สมมติว่าเวลาของการลดอัตราความเร็วลง สมมติว่าเวสาของการลดอัตราความเร็วลงอาจกินเวลามากกว่า 10 ms ซึ่งนานกว่า (Thermal time constant) ของคอลเล็คเต่อร์จังชั่น (ปกติค่าน้อยกว่า 10 ms) ดังนั้นเราอาจไม่ใช้พัลซ์ของ SOA จากรูป 2.22 ดูเส้นกราฟของ V_{ce} = 35 โวลท์ ตามไปจนกระทั่งไปตัดเส้นโค้งดีซี SOA กระแสคอลเล็คเตอร์ที่จุดนี้มีค่าประมาณ 4 แอมป์ ดังนั้นจำเป็นต้องใช้ทรานซิสเตอร์ไม่น้อยกว่า 3 ตัว ต่อขนานกันเพื่อให้ได้กระแส 10 แอมป์ ตามต้องการโดยปลอดภัย ต่อไปเขียนกราฟของ V_{ce} กับ I_c ลงบนเส้นโค้ง SOA ในรูป 2.22 เพื่อตรวจสอบดูว่าการทำงานนี้ค่ากระแสของมอเตอร์ทั้งหมดจาก I = 0 ถึง I = I_{lim} (ในตารางที่ 1 อยู่ในพื้นที่การทำงานที่ปลอดภัย (SOA) ในกรณีนี้กระแสคอลเล็คเตอร์ในทรานซิสเตอร์แต่ละตัวกำหนดได้โดย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1 แสดงค่า V_{cc} กับ I_c ซึ่งหาได้จากสมการ (2-41)

I	I_c	V_{cc}
0.3A	0.1A	54.4V
0.9	0.3	53.2
3.0	1.0	49.0
10.0	3.3	35.0



รูป 2.22 แสดงถึงพื้นที่การทำงานที่ปลอดภัยของเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์

ถ้าหากจำนวนของทรานซิสเตอร์ที่ต่อขนานกันต้องเพิ่มขึ้น เนื่องจากความร้อน เราจึงจำเป็นต้องวิเคราะห์เกี่ยวกับความร้อนเพื่อใช้ในการพิจารณาถึงกำลังงานสูญเสียสูงสุดที่จังชั่นก่อนอื่น หนทางที่แน่นอนในการพิจารณากำลังงานสูญเสียของทรานซิสเตอร์คือการอินติเกรท Real- time ผลคูณของ V_{ce} (t) i_c(t) ตลอดช่วงที่เกิดการสูญเสีย นั้น กำลังงานสูญเสียเฉลี่ยในคอลเล็คเตอร์ กำหนดได้โดย

$$P_{avg} = \frac{1}{T} \int_0^{T_{vce}} (t) i_c (t) dt \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2\text{-}43)$$

สมมติว่า P_{avg} = 50 วัตต์ ในกรณีนี้ ต่อจากนั้นก็สร้างโมเดลความร้อนสำหรับระบบที่ต้องการให้อุณหภูมสูงสุดของจังชั่นของระบบ T_{jmax} มีค่าน้อยกว่า 200 C ตามรายละเอียดที่กำหนดไว้ในแผ่นข้อมูล

ในโมเดลประกอบด้วยคอลเล็คเตอร์จังชั่น 3 (สมมติในโมเดลให้แต่ละชุด ของทรานซิสเตอร์มีการสูญเสีย 50 วัตต์ แต่ก็อาจไม่เสมอไปสำหรับแต่ละกรณี)

θ_{jc} ความร้อนของ ค.ต.ท. ระหว่างจังชั่นและตัวถัง

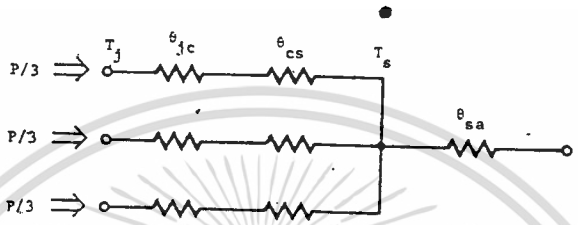
θ_{cs} ความร้อนของ ค.ต.ท. ระหว่างตัวถังและ heat sink

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

T_s อุณหภูมิของ heat sink

θ_{sa} ความร้อนของ ค.ต.ท. ระหว่าง sink กับอุปกรณ์ภายนอกอื่น ๆ

T_a อุณหภูมิสูงสุดของสภาพแวดล้อม



รูป 2.23 โมเดลความร้อนของลิเนียร์แอมปลิไฟแบบไบโพล่าร์

ในรูป 2.23 โมเดลของการสูญเสียกำลังงานแยกออกได้เสมือนแหล่งกำเนิดกระแสเป็น 3 ทาง $\frac{P}{3}$ สมมติว่าการสูญเสียของทรานซิสเตอร์แต่ละตัวที่ต่อขนานกันมีค่าเป็น $\frac{1}{3}$ ของกำลังงานทั้งหมด

เราอาจคำนวณค่า T_j ได้จาก

$$T_j = T_a + P\theta_{sa} + \frac{P}{3}(\theta_{jc} + \theta_{cs}) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2\text{-}44)$$

ถ้าเราสมมติค่าต่าง ๆ ดังนี้

T_{jmax} = 150 C

T_{amax} = 55 C

θ_{jc} = 0.875 C / watt

θ_{cs} = 2 C / watt

เราสามารถหาค่าสูงสุดของความร้อนของความต้านทานของ heat sink θ_{sa} จากสมการ (2-44)

$$\theta_{sa} = \frac{1}{P}\left[T_{jmax} - T_a - \frac{P}{3}(\theta_{jc} + \theta_{cs})\right]$$

$$= \frac{1}{50}\left[150-55 - \frac{50}{3}(1.08)\right]$$

= 1.54 c/ ค่าสูงสุด

เราอาจเลือก hiat sink ได้จากข้อมูลจากโรงงานผู้ผลิตสำหรับการ

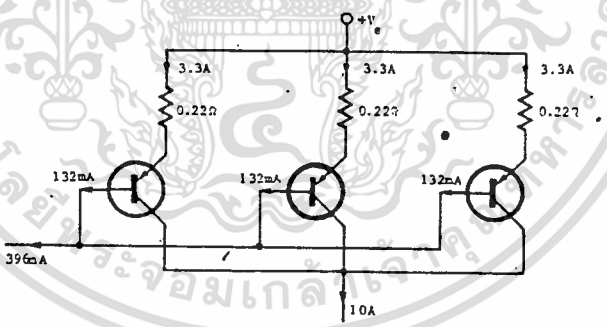
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบายความร้อน ถ้าใช้พัดลมสำหรับระบายความร้อนด้วยอาจพิจารณาเลือก sink ที่มีขนาดเล็กลงได้ ในทุกกรณีความต้านทานของความร้อนของ heat sink ต้องไม่เกิน 1.54° C / วัตต์ ถ้าต้องการไม่ได้ค่าสูงสุดของอุณหภูมิจังชั่นเกินกว่า 150° C

ในกรณีนี้เราเจตนาเลือก heat sink ที่มีขนาดใหญ่พอที่จะรักษาอุณหภูมิของจังชั่นกับเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ 3 ตัวที่ต่อขนานกันบนแต่ละด้านให้ปลอดภัย ถ้าขนาดของ heat sink

มีค่าคงที่เมื่อพิจารณาในแง่อื่น ๆ เราอาจใช้ทรานซิสเตอร์มากขึ้นซึ่งขึ้นอยู่กับขนาดของ heat sink

เนื่องจากทรานซิสเตอร์ 3 ตัว ต่อขนานกันเป็นการพอเพียงที่จะเริ่มการออกแบบไดร์เวอร์ได้แล้ว เอาท์พุททรานซิสเตอร์แต่ละตัวจ่ายกระแสสูงสุด 3.3 แอมป์ จากแผ่นข้อมูลแสดงว่าอุปกรณ์เหล่านี้มีทรานสเฟอร์เรโชของสแตติคฟอร์เวิร์ดแคอร์เรนท์ต่ำสุด h_{FE} = 25 ที่ I_c = 5 แอมป์ V_{ce} = 4 โวลท์ จากข้อมูลดังกล่าวเรากำหนด ว่ากระแส 3.3 แอมป์ไหลด้วยกระแสเบสเท่ากับ $\frac{3.3}{25}$ 0.132 แอมป์ซึ่ง V_{ce} จะมีค่าน้อยกว่า 4 โวลท์ เราสมมติได้ว่ามันมีค่า 3 โวลท์ และตรวจสอบโดยการทดลอง



รูป 2.24 แสดงถึงการขับภาคเอ้าท์พุททรานซิสเตอร์

ในรูป .24 แสดงถึงการขับเอ้าท์พุททรานซิสรวมถึงตัวความต้านทานของอิมิเตอร์ R_s สำหรับต่อขนานกัน ตัวความต้านทานเหล่านี้จะต้องมีค่าที่เกิดโวลท์เต็จตอคร่อมตัวเองประมาณ 0.7 โวลท์ เมื่อกระแสคอลเล็คเตอร์สูงสุดไหลผ่านเพื่อลดเออร์เรอร์ของกระแสเนื่องจากความไม่ทัดเทียมกันของ V_{be} และเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของพารามิเตอร์อื่น ๆ เราสามารถหาค่ากระแสเออร์เรอร์ได้โดยประมาณ

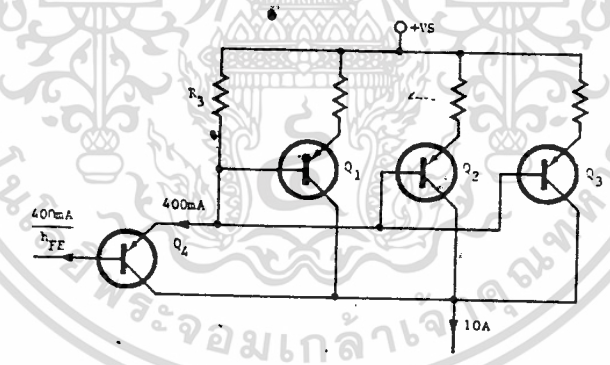
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\Delta I_c = \frac{\Delta V_{be}}{R_s} \qquad \text{.....(2-45)}$$

เราเลือกค่า $R_s \approx$ 0.7/3.3 แอมป์ = 0.21 โอห์ม - 0.22 โอห์ม ดังนั้นความไม่ทัดเทียมกันของกระแสคอลเล็คเตอร์เท่ากับ I_c = 0.1/0.22 = 0.45 แอมป์ ถ้าความไม่ทัดเทียมกันของ V_{be} สูงสุดเท่ากับ 0.1 โวลท์

กระแสเบสของทรานซิสเตอร์แต่ละตัว = 3.3 แอมป์/25 = 132 มิลลิแอมป์ สำหรับกระแสรวมที่จะใช้ขับประมาณ 400 มิลลิแอมป์ แม้ว่าเราจะได้ 400 mA จากไดร์เวอร์ทรานซิสเตอร์แต่จะทำให้เกิดกำลังสูญเสียในตัว ค.ท.ท. ของคอลเล็คเตอร์ของไดร์เวอร์สูงเนื่องจากเมื่อตัวไดร์เวอร์นำกระแสเต็มที่ (เกิดขึ้นเมื่อมอเตอร์ไม่ได้ต่ออยู่) กำลังสูญเสียอย่างน้อยที่สุด 28 โวลท์ × 0.4 แอมป์ = 11.2 วัตต์

นอกจากนั้นเราควรจะกำหนดให้ระบบทำงานเหมือนกับ Current Mirror ซึ่งต้องการให้กระแสของไดร์เวอร์มีค่าสูงกว่ากระแสเบสที่ต้องการ ดังนั้นเราก็อาจเลือกให้ภาคเอาท์พุททำงานเป็นแบบ Darlington ดังแสดงในรูป 2.25



รูป 2.25 ภาคเอาท์พุทแบบ " ดาร์ลิงกัน "

ทรานซิสเตอร์ Q_4 ควรจะมีขนาดเล็กกว่าเอาท์พุททรานซิสเตอร์แต่ก็ต้องไม่เล็กจนเกินไปเพื่อว่า V_{ce} (sat) สามารถไปเพิ่มโวลท์เต็จตกคร่อมคอลเล็คเตอร์-อิมิเตอร์ในเอาท์พุททรานซิสเตอร์ได้(โวลท์เต็จตกคร่อมในช่วงเวลาการอิ่มตัวของไดร์เวอร์จะไปเพิ่มโดยตรงกับผลรวมของ V_{ce} ของภาคเอาท์พุท)

ถ้าเราเลือก Q_4 เป็นทรานซิสเตอร์ขนาด 80 โวลท์มี h_{FE} = 25 ที่กระแส 0.5 แอมป์ กับมี V_{ce} =1 โวลท์ ดังนั้นกระแสเบสของ Q_4 มีค่าประมาณ $\frac{0.4}{25}$ = 16 มิลลิแอมป์ กระแสเพียงเล็กน้อยที่ไหลผ่าน R_1 ไม่น่ามาคิดถ้วความต้านทาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

R_1 เลือกค่าเพื่อใช้เป็นตัวป้องกันกระแสรั่วไหลในเอ้าท์พุททรานซิสเตอร์จากการนำกระแสโดยตัวมันเอง

การออกแบบดำเนินต่อไปได้ดังในรูป 2.26 ทรานซิสเตอร์ Q_2 จะดึงกระแสขับเบส 16 mA จาก Q_4 บวกกระแสไหลผ่าน R_1 D_1 และ D_2 กระแสของ Q_5 ต้องสูงกว่า 16 mA เพื่อการทำงานในลักษณะ Current mirror ได้ถูกต้อง กำหนดให้ค่าสูงสุดของกระแสคอลเล็คเตอร์ของ Q_5 เท่ากับ 100mA และลิมิตโดยตัวความต้านทาน R_3 และเพาเวอร์ซัพพลายโวลท์เต็จ V_5

$$R_3 \cong \frac{28 \text{ โวลท์}}{0.1 \text{ แอมป์}} = 280 \text{ โอห์ม}$$

เลือก $R_3 = 270$ โอห์ม

กำลังสูญเสียใน R_3 เท่ากับ $P_{R3} = 20$ โวลท์ $\times$ 0.1 แอมป์ $= 2.8$ วัตท์

เราเลือก $P_{R3} = 5$ วัตท์

ไดโอด D_1 และ D_2 จะเป็นตัวออฟเซ็ทโวลท์เต็จตกคร่อมอิมิเตอร์เบส ของเอาท์พุททรานซิสเตอร์และ Q_4 และยังเป็นสาเหตุทำให้โวลท์เต็จตกคร่อม R_2 เท่ากับโวลท์เต็จตกคร่อม R_3 แต่ละตัวเมื่อ Q_5 ดึงกระแสคอลเล็คเตอร์

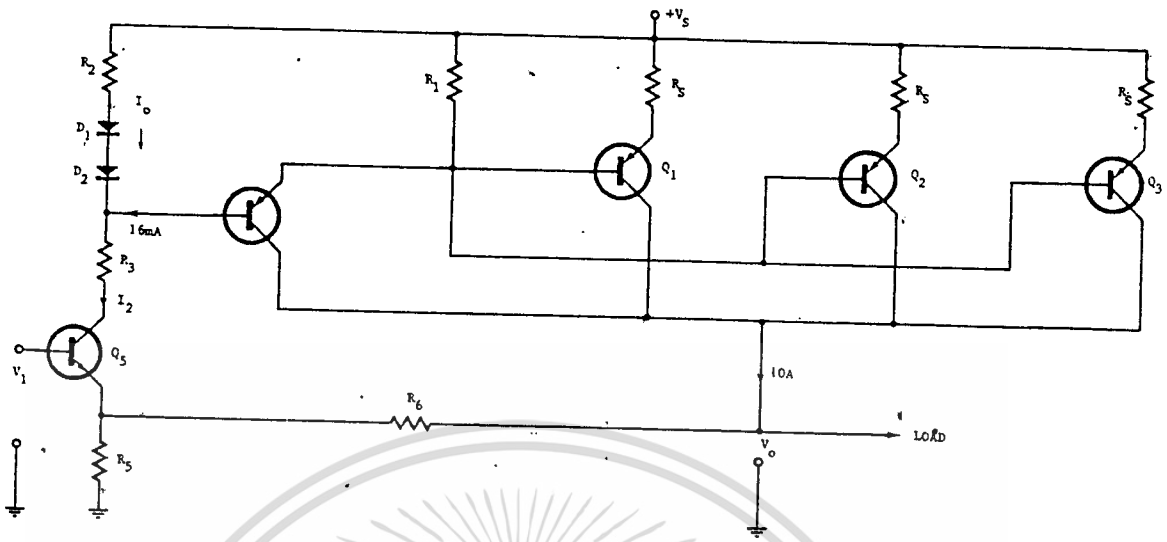
อัตราขยายกระแสของระบบอาจคำนวณได้จากการสังเกตต่อไปนี้ : เนื่องจาก

$$V_{R2} = V_{R3}$$

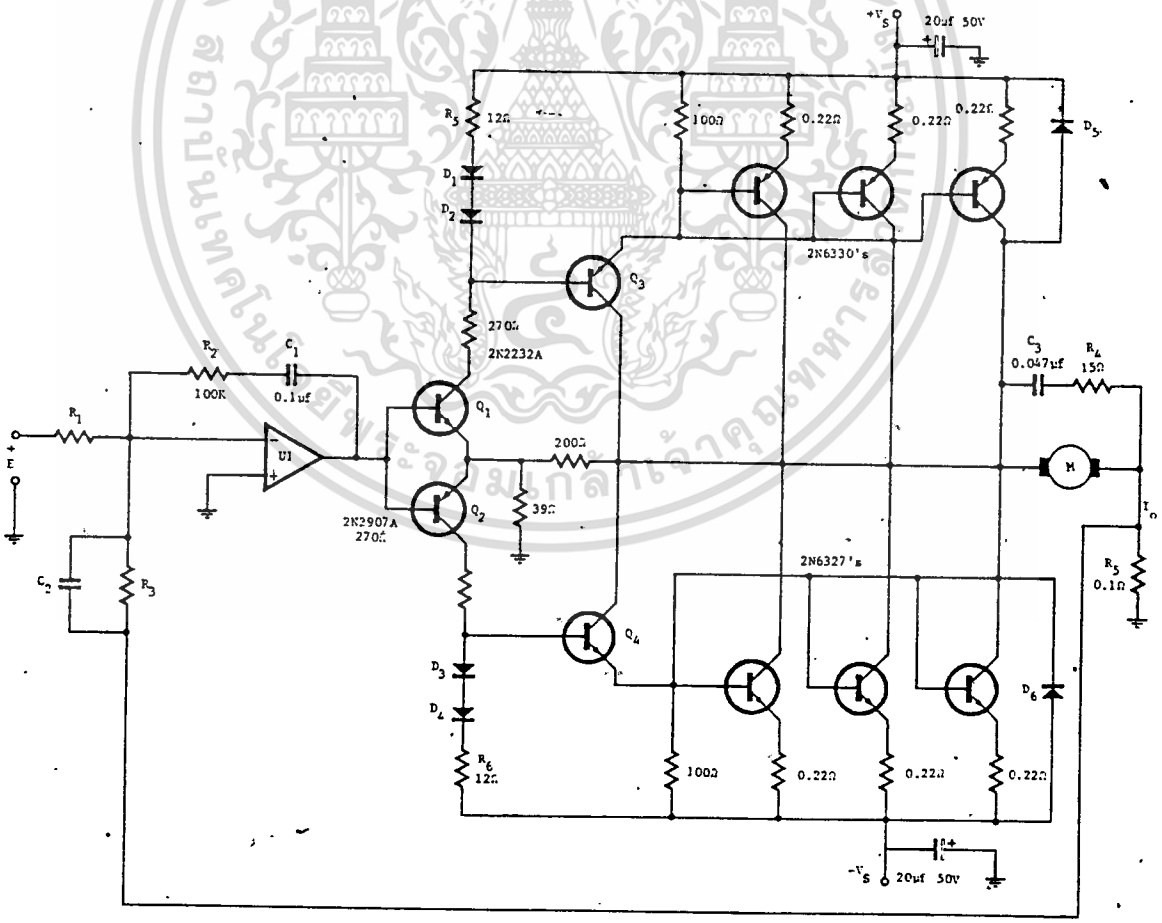
ดังนั้น $$I_1 R_2 = I_o R_3 / 3$$

และ $$\frac{I_o}{I_1} = \frac{3 R_2}{R_3}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 2.26 การออกแบบภาคเอาท์พุท



รูป 2.27 ลิเนียร์ทรานส์คอนดัคแต้นซ์แอมปลิไฟแบบไบโพล่าร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นเราอาจเลือกค่า R_2 ได้

$$R_2 = \frac{I_o}{3I_1}$$

และ

$$R_s = \frac{10 \times 0.3}{3(100-16)} = 11.6 \text{ โอห์ม}$$

เราเลือก R_s เท่ากับ 12 โอห์ม

อัตราขยายของ Current mirror I_o / I_1 มีค่าใกล้เคียงกับผลรวมของอัตราขยายกระแส I_o / I_2 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 120

ทรานซิสเตอร์ Q_5 มี V_{ceo} สูงกว่า V_s แต่ไม่สูงกว่า $2V_s$ และ Q_5 มีค่าประเมินของโวลท์เต็จ 40 โวลท์ กระแส 500 mA ซึ่งได้แก่ทรานซิสเตอร์เอร์ 2N 2222A มี $h_{FE} \geqslant 50$ ที่กระแสคอลเล็คเตอร์ 100 mA

ดังนั้น Q_5 ต้องการกระแสขับแต่เพียง 2 mA ซึ่งเป็นการง่ายที่จะขัพพลายโดยออฟ-แอมป์

ตัวความต้านทาน R_5 และ R_6 เป็นตัวกำหนดอัตราขยายโวลท์เต็จแบบปิดลูฟ เราออกแบบเพื่อให้ได้ค่าเอาท์พุทโวลท์เต็จสูงสุด 30 โวลท์ และอินพุทโวลท์เต็จที่อาจขัพพลายได้โดยออฟแอมป์ ประมาณ 5 โวลท์ อัตราขยายโวลท์เต็จซึ่งไม่คิดค่าออฟเซทโวลท์เต็จของ Q_5 กำหนดได้โดย

$$\frac{V_o}{V_i} = 1 + \frac{R_6}{R_5} = \frac{30}{5} = 6$$

ดังนั้น

$$R_6 = 5R_5$$

ตัวความต้านทาน R_5 ควรจะมีค่าเพื่อที่จะทำให้เกิดโวลท์ตกคร่อมเป็นเปอร์เซ็นต์เพียงเล็กน้อยของโวลท์เต็จขับที่ 100 mA เราเลือก R_5 เท่ากับ 39 โอห์ม เราสามารถลด R_3 ลงได้เมื่อให้แน่ใจว่ากระแสขับจะยังคงไหลได้ 100 mA ตัวความต้านทาน R_6 มีค่าประมาณ 200 โอห์ม และจำนวนวัตต์สูงกว่า 4.5 วัตต์

สรุปได้ว่าการออกแบบภาคเอาท์พุทครึ่งของส่วนยนต์เป็นอันเสร็จสิ้น ครึ่งส่วนล่างนั้นสมมาตรกันกับครึ่งบนทุกประการ การออกแบบที่สมบูรณ์แสดงดังในรูป 2.27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ออฟ-แอมป์ U_1 เป็นตัวขับอินพุทของเพาเวอร์แอมป์ปลิไฟในกรณีนี้ความผิดเพี้ยนแบบครอสโอเวอร์จะถูกทำให้ลดลงโดยอัตราขยายลูฟของระบบ ดังนั้นที่เบสของ Q_1 และ Q_2 จึงไม่ต้องมีอะไรพิเศษเพื่อการลดความผิดเพี้ยน อย่างไรก็ตามไดโอด D_1 ถึง D_4 เป็นตัวช่วยลดความผิดเพี้ยนแบบครอสโอเวอร์ และเป็นตัวเบนกระแสไดร์เวอร์ที่จะไหลไปยังเบสของ Q_3 และ Q_4 จนกว่าไดโอดจะนำกระแสได้เท่ากับ 2 V_{γ} ซึ่งเวลานั้นทรานซิสเตอร์ Q_3 และ Q_4 สามารถนำกระแสได้แล้ว

ออฟ-แอมป์ U_1 ทำงานเป็นแหล่งจ่ายกระแส การป้อนกระแสกลับเกิดจากตัวความต้านทานทนกำลังไฟสูงค่า 0.1 โอห์มต่ออยู่ระหว่างมอเตอร์และกราวนด์ อัตราขยายกระแสแบบปิดลูฟของระบบกำหนดได้โดย

$$\frac{I_o}{E_1} = -\frac{R_3}{R_1 R_s} = -20 \text{ แอมป์/โวลท์} \quad \text{.....(2-46)}$$

เนื่องจาก

R_s = 0.1 โอห์ม

$\frac{R_3}{R_1}$ = 0.2

เรากำหนด R_1 = 10 K Ω

ดังนั้น R_3 = 2 K Ω

เพื่อกระทำให้ระบบมีเสถียรภาพจำเป็นต้องใช้วงจรชดเชยหลายแบบ ต่อไปจะแสดงถึงค่าตัวอย่าง มีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องตรวจสอบการชดเชยระบบซึ่งใช้มอเตอร์และออฟ-แอมป์ การทดสอบกระทำได้โดยใช้โหลดจำลองแทนตัวมอเตอร์ (R และ L) และตรวจสอบผลตอบสนองของกระแสเอาท์พุท I_o ต่ออินพุทสเตปฟังค์ชั่นโวลท์เต็จ E_1 การตรวจสอบนี้ควรจะรวมไปถึงการลิมิตกระแส ที่ R_s เป็นจุดที่สะดวกในการดูค่าโวลท์เต็จที่เป็นสัดส่วนกับกระแส I_o โดยออสซิโลสโคประบบควรจะได้รับการชดเชยเมื่อกระแสเอาท์พุทอยู่ในลักษณะ Critical Damping

วงจร lag/Lead ซึ่งประกอบด้วย $R_1 R_2$ และ C_1 มีอิทธิพลต่อระบบและแบนด์วิดท์ของระบบเปิดลูฟอย่างมาก แบนด์วิดท์ของระบบจะมีค่าสูงสุดโดยการลดค่า C_1 ลงต่ำสุดซึ่งจะทำให้ได้แอมปลิไฟที่มีเสถียรภาพที่มั่นคง ดังนั้นเสถียรภาพระบบเซอร์โวที่ใช้แอมปลิไฟเครื่องนั้นจะได้รับผลกระทบโดยตรงจากเสถียรภาพของแอมปลิไฟนั้น การชดเชยลิเนียร์แอมปลิไฟอีกวิธีหนึ่งกระทำได้โดยต่อ R-C อนุกรมจากขั้ว (-) ไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ยังขั้ว (+) ของอินพุทของออฟ-แอมป์

การชดเชยโพลที่ความถี่สูงในเพาเวอร์แอมป์ปลิไฟโดยใช้ R_4 และ C_3 ทำให้ได้ซีโรที่ความถี่สูง (หลายร้อยกิโลเฮิร์ท)

คาปาซิเตอร์ C_2 สำหรับตั้งแบนด์วิดท์ของระบบแบบปิดลูฟของแอมปลิไฟ การใช้ C_2 นี้เป็นเพียงเพื่อลดการกระตุ้นมอเตอร์ด้วยความถี่สูงเนื่องจากน้อยส์ (noise) จากทาโคมิเตอร์ และแหล่งกำเนิดอื่น ๆ และไม่ว่าในกรณีใด ๆ ขนาดของ C_2 ควรจะมีค่าน้อยที่สุดก็ต้องมากกว่าแบนด์วิดท์ของระบบเซอร์โวแบบปิดลูฟอย่างน้อยหนึ่งหลัก

ดังที่ได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อ 1.6 อินพุทโวลท์เต็จ E_1 อาจถูกบังคับ (ลิมิต) เพื่อเป็นการลิมิตกระแส ในกรณีนี้ ถ้า E_1 ถูกลิมิตที่ + 5 โวลท์ ดังนั้น I_0 จะถูกลิมิตอยู่ที่ ± 10 แอมป์นอกจากนั้นระบบการป้องกันอาจจะกระทำได้โดยใส่ไดโอดคร่อม R_5 และ R_6 เพื่อลิมิตกระแสเอาท์พุทอยู่ประมาณ $3 \times 0.7/0.22 = 9.55$ แอมป์ การลดตัวความต้านทานที่อิมิเตอร์ลงเล็กน้อยเป็น 0.18 โอห์ม จะช่วยเสริมการลิมิตกระแสเป็น $3 \times 0.7/0.18 = 11.9$ แอมป์ ซึ่งควรจะตั้งไว้ให้สูงกว่าการลิมิตกระแสหลักเล็กน้อย และควรจะทำงานเฉพาะขณะที่ออฟ-แอมป์ เสียเท่านั้น

ไดโอด D_5 และ D_6 จะเป็นตัวบังคับกดเอาท์พุทโวลท์เต็จไม่ให้มีค่าสูงกว่าโวลท์เต็จตกคร่อมไดโอดตัวหนึ่งซึ่งสูงกว่าซัพพลายโวลท์เต็จเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของ $\frac{di}{dt}$ ในอินดัคแต้นซ์ของมอเตอร์

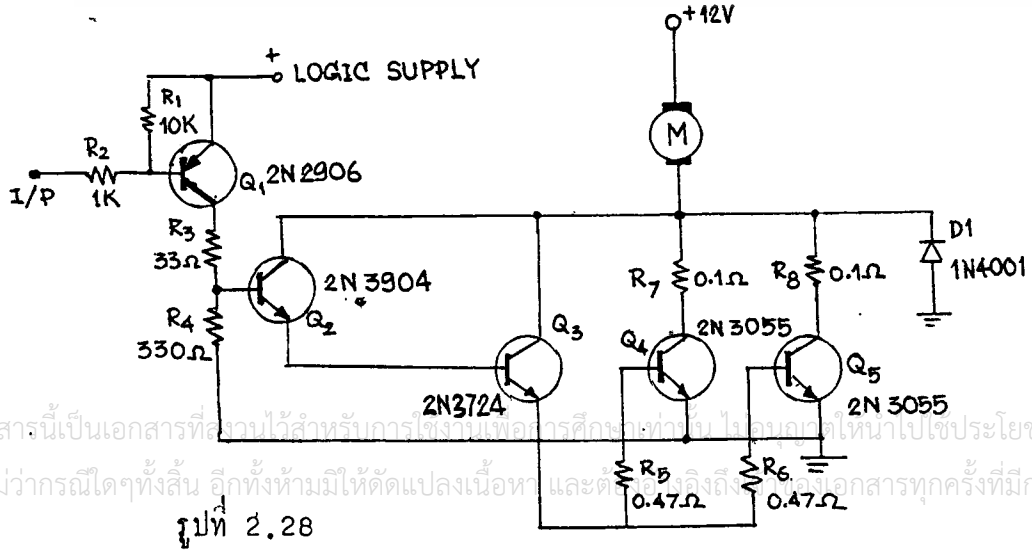
****

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรขับเคลื่อนมอเตอร์

วงจรที่ใช้ในการขับเคลื่อนมอเตอร์สำหรับล้อหน้า เป็นวงจรแบบอินเวอร์-ติ้ง(INVERTING) โดยวงจรนี้จะทำงานเมื่อให้อินพุทมีค่าเป็น 0 โวลท์ ซึ่งเหมาะสำหรับการใช้งานร่วมกับวงจรที่เป็นไอซีแบบซีทีแอล. ซึ่งจะให้ค่าที่เป็นเอาท์พุทได้ 2 ระดับ คือที่ระดับลอจิก "0" จะมีค่าแรงดันประมาณ 0.4 โวลท์ และที่ระดับลอจิก "1" จะให้แรงดันประมาณ 4.8 โวลท์ ดังนั้นที่ระดับลอจิก "0" เมื่อป้อนให้กับอินพุทของวงจรอินเวอร์ติ้งนี้ จะทำให้วงจรนี้ทำงานโดยจะจ่ายไฟให้กับมอเตอร์ทำงานได้ครบวงจรมอเตอร์จึงหมุนได้ และเมื่อให้ค่าลอจิก "1" ที่ด้านอินพุท จะทำให้มอเตอร์หยุดหมุน

จากวงจรขับเคลื่อนมอเตอร์แบบอินเวอร์ติ้งนี้ จะใช้แหล่งจ่ายไฟเท่ากับแหล่งจ่ายไฟของวงจรทีทีแอล. ซึ่งใช้เป็นตัวขับวงจรส่วนหน้าเพื่อให้วงจรนี้ทำงาน เมื่อมอเตอร์ทำงานจะใช้กระแสไฟสูงมากเพื่อทำให้มอเตอร์เกิดการหมุนในตอนระยะเริ่มแรก และกระแสจะลดลงมาเมื่อมอเตอร์หมุนแล้ว การเลือกใช้วงจรจึงต้องคำนึงถึงทรานซิสเตอร์กำลัง ซึ่งจะต้องสามารถทนกระแสสูงๆ ได้ ดังนั้นในวงจรนี้จึงใช้ทรานซิสเตอร์เบอร์ 2N 3055 ซึ่งเป็นทรานซิสเตอร์กำลังที่ทนกระแสได้สูง 2 ตัวนำมาต่อขนานกัน ซึ่งทำให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นในการใช้งานและทนกระแสได้เพิ่มมากขึ้นด้วย ถ้าพิจารณาจากวงจรจะเป็นทรานซิสเตอร์ Q4 และ Q5 โดยค่าความต้านทานค่าน้อยๆ ที่ต่ออนุกรมอยู่ที่ขาคอลเลคเตอร์ของ Q4 และ Q5 จะเป็นตัวช่วยทำให้การเกิดแรงดันอิ่มตัวที่ทรานซิสเตอร์กำลังดีขึ้น ส่วน Q2 และ Q3 จะเป็นภาคที่ใช้ขับทรานซิสเตอร์กำลังให้ทำงาน โดยในวงจรนี้จะใช้ Q2 กับ Q3 มาต่อเป็นแบบดาร์ลิงตัน(DRALINGTON) ซึ่งจะทำให้อัตราขยายสูงมากขึ้นมีผลทำให้ทรานซิสเตอร์กำลังทำงานได้เต็มที่ ส่วน D1 ในวงจรจะเป็นตัวป้องกันแรงดันย้อนกลับให้กับวงจรและมอเตอร์

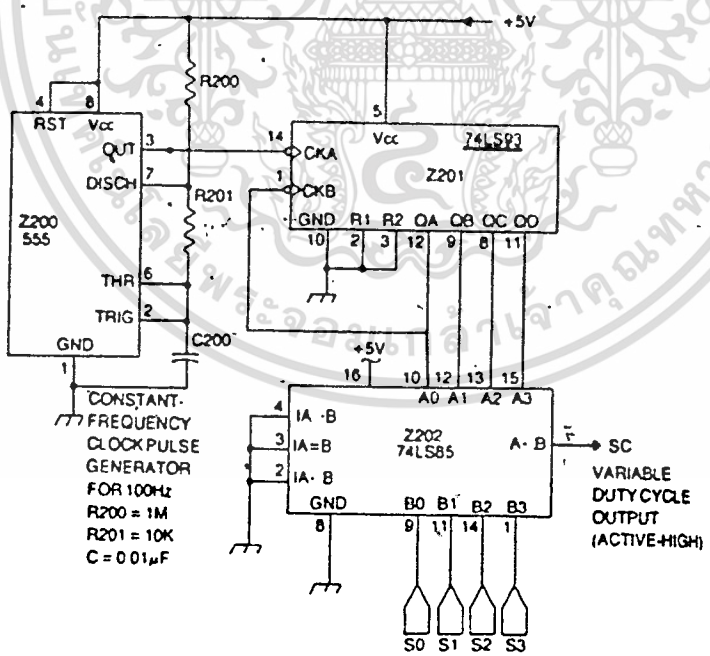


รูปที่ 2.28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรควบคุมความเร็วมอเตอร์

การควบคุมความเร็วมอเตอร์โดยทั่วๆ ไปนั้นสามารถที่จะควบคุมได้ด้วยวงจรที่มีสัญญาณควบคุมแบบอนาลอกหรือแบบดิจิตอล แต่ในการควบคุมความเร็วของ ดีซี.มอเตอร์ที่ใช้กับหุ่นยนต์จะใช้วงจรควบคุมแบบดิจิตอล ซึ่งวงจรดิจิตอลจะให้ผลการควบคุมหรือการใช้งานที่สะดวกและง่ายกว่าแบบอนาลอก โดยวงจรแสดงได้ตามรูปที่ 2.29 ซึ่งเป็นวงจรกำเนิดสัญญาณที่สามาถจะเปลี่ยนแปลงวงรอบการทำงานได้ ข้อดีของวงจรนี้ประการหนึ่งก็คือสามารถที่จะกำเนิดรูปคลื่นแบบ PWM (PULSE WIDTH MODULATION) ได้ถึง 16 รูปคลื่นที่แตกต่างกัน โดยขึ้นอยู่กับค่าไบนารีที่ป้อนให้ทางอินพุท เพื่อจะเลือกค่าใดค่าหนึ่งจาก 16 ค่าได้ตามต้องการ ในวงจรจะกำหนดให้ด้านอินพุทที่จะป้อนค่าไบนารีเป็น S0 ถึง S2 ซึ่งมีด้วยกัน 4 ตำแหน่งหรือ 4 ตัวแปร ในการใช้งานเพื่อควบคุมความเร็วมอเตอร์ ปกติแล้ว ดีซี.มอเตอร์ จะวิ่งก็ต่อเมื่อได้รับวงรอบการทำงาน(DUTY CYCLE) ที่มีค่าเกิน 60 เปอร์เซนต์ ของรูปคลื่นทั้งหมดที่กำเนิดสัญญาณออกมา



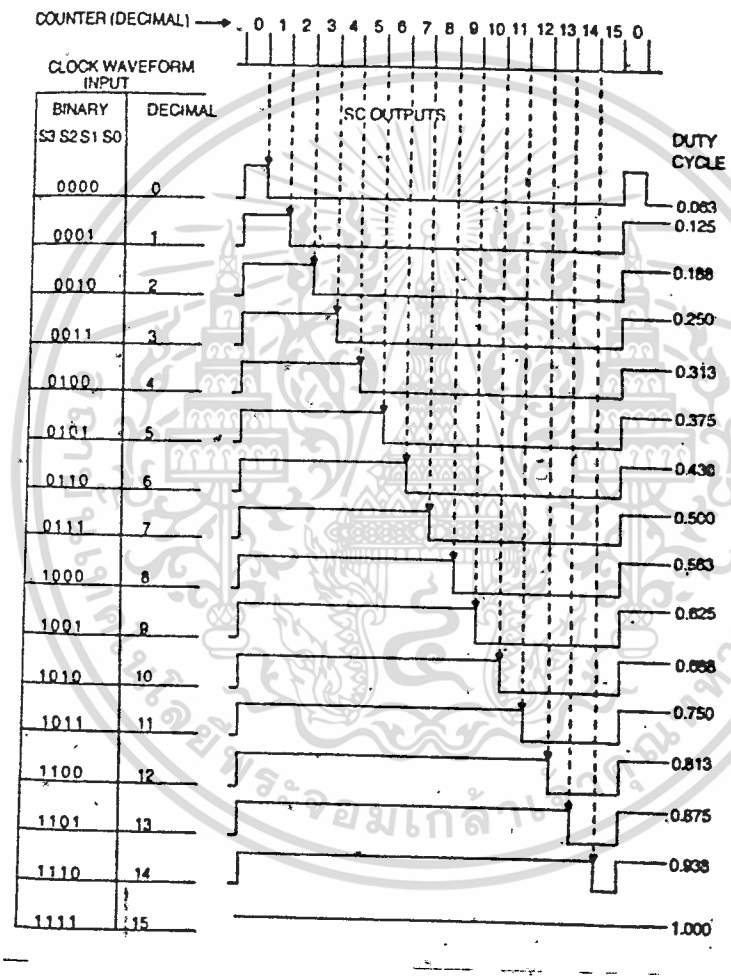
รูปที่ 2.29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำงานของวงจรในรูปนี้จะเป็นการทำงานแบบ PWM โดยจะมีตัวกำเนิดความถี่ออสซิเลเตอร์ที่ความถี่คงที่(Z 200) ทำการตั้งค่าความถี่ให้กับวงจรออสซิเลเตอร์ที่ความถี่ 100 เฮริท์ ซึ่งเป็นความถี่ที่ดีสำหรับการใช้งานกับระบบควบคุมของหุ่นยนต์ตัวนี้ สัญญาณพัลซ์ที่ความถี่คงที่ 100 เฮริท์นี้ จะถูกส่งไปยังวงจรนับขึ้นซึ่งใช้อินพุทมีค่า 4 บิทและเป็นค่าแบบไบนารี ที่ตัวนับ(Z 201) จะทำงานต่อเนื่องกันไป โดยนับค่าจาก 0 ถึง 15 ต่อเนื่องกันไปไม่หยุด อัตราการนับจะเท่ากับความถี่ที่กำเนิดโดยวงจรออสซิเลเตอร์ที่ป้อนให้วงจรนับ ไอซีตัวที่สามในวงจรนี้จะเป็นตัวเปรียบเทียบค่าที่มีขนาด 4 บิท ตัวเปรียบเทียบ(Z 202) นี้มีด้านอินพุท 2 ด้านด้วยกัน คือที่ตำแหน่ง A0 ถึงA3 และที่ B0 ถึง B3 ไอซีตัวนี้จะทำการเปรียบเทียบค่าที่ได้จากอินพุททั้ง 2 ที่-สถานะปัจจุบันของมันที่ป้อนเข้ามายังไอซี สัญญาณเอาท์พุทจะเกิดค่าเป็นลอจิก "1" ก็ต่อเมื่อสัญญาณที่นำมาเปรียบเทียบที่ด้าน มีค่าน้อยกว่าที่ด้านอินพุท ตัวเปรียบเทียบก็จะ-ให้เอาท์พุทที่มีระดับแรงดันไฟฟ้าประมาณ 5 โวลท์

อินพุทที่ B ที่นำมาเปรียบเทียบจะเป็นตัวเลือกความเร็ว ส่วนอินพุทที่ A จะได้รับเอาท์พุทมาจากตัวนับ(Z 201) เมื่อไรก็ตามที่อินพุท A น้อยกว่าอินพุท B เอาท์พุทที่ได้รับจะเป็นลอจิก "1" เช่น ถ้าป้อนค่าไบนารีที่มีค่าเท่ากับเลขฐานสิบคือค่า 12 เข้าไปที่ด้านอินพุท B เอาท์พุทที่ได้รับที่จุด SC ของ Z 201 จะเป็นลอจิก "1" ในขณะที่ตัวนับทำการนับค่าได้น้อยกว่าค่า 12 แต่เมื่อตัวนับทำการนับค่ามาจนผ่านค่า 12 ไปแล้วเอาท์พุทที่ได้จากจุด SC จะมีค่าเป็นลอจิก "0" ทันที จนกระทั่งนับผ่านค่า 15 เพื่อเริ่มต้นนับค่าที่ 0 ใหม่ ก็จะได้ค่าที่เอาท์พุทของ SC เปลี่ยนจากลอจิก "0" ไปเป็นลอจิก "1" ตามเดิมทันที รูปคลื่นที่ออกมาจากขา SC นั้นสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.30 ซึ่งรูปคลื่นการทำงานที่สามารถเปลี่ยนแปลงไปได้จะมี 15 รูปคลื่นที่วงจรนี้ ปกติในการเลือกใช้งานเราจะเลือกที่ย่าน 0.63 (63 เปอร์เซนต์)ถึง 1.0 (100 เปอร์เซนต์) เพราะมอเตอร์สามารถที่จะวิ่งได้ที่ย่านนี้ โดยอินพุทที่ป้อนเข้ามาที่ด้าน จะเป็นตัวเลือกความเร็ว ซึ่งมีด้วยกัน 4 บิทคือ S0, S1, S2 และ S3 ควบคุมความเร็วของ ดีซี.มอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรวัดระดับแรงดันแบตเตอรี่

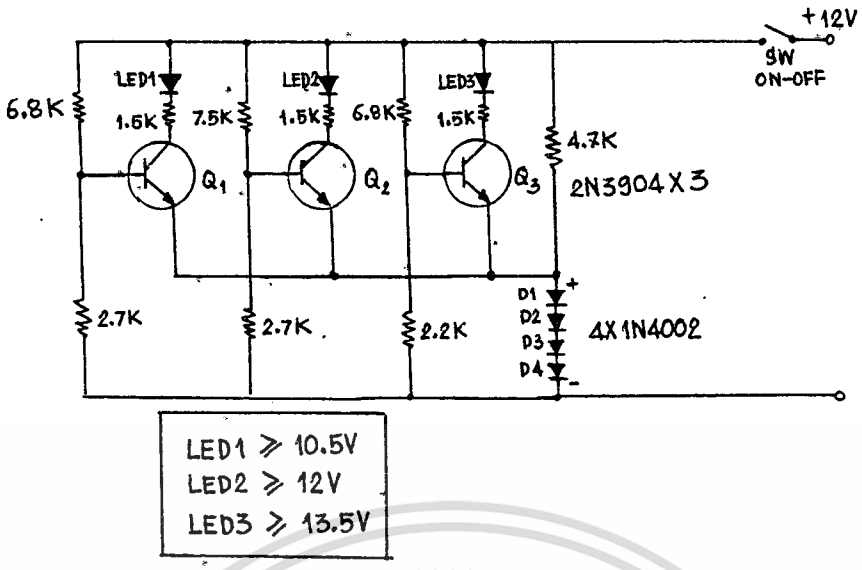
วงจรแสดงหรือโมนิเตอร์ระดับแรงดันแบตเตอรี่ 12 โวลท์ โดยใช้ไดโอดเปล่งแสง 3 ตัว ในการแสดงผล กล่าวคือ ถ้าไม่มีไดโอดเปล่งแสงตัวใดติดหรือเปล่งแสงออกมาเลย ก็แสดงว่าแรงดันมีขนาดต่ำกว่า 10.5 โวลท์ ถ้าติดตัวหนึ่งแสดงว่าแรงดันมีขนาด 10.5 โวลท์(หรือมากกว่า) ถ้าติด 2 ตัว แสดงว่า 12 โวลท์(หรือมากกว่า) และถ้ามีทั้งหมด 3 ดวง ก็แสดงว่าระดับแรงดันของแบตเตอรี่เป็น 13.5 โวลท์หรือสูงกว่า

การทำงานของวงจรมีไดโอดเปล่งแสง 3 ดวง ไดโอดดังกล่าวจะถูกป้อนด้วยทรานซิสเตอร์ TR1 , TR2 และ TR3 ตามลำดับ โดยอิมิเตอร์ซึ่งต่อร่วมกันอยู่ทั้ง 3 ตัว จะต่อเข้ากับแรงดัน(ที่มีเสถียรภาพ) ที่ปรากฏคร่อมซิลิกอนไดโอด(ซึ่งได้รับไบอัสทางตรง) D1 ถึง D4 ซึ่งแรงดันคร่อมไดโอดเหล่านี้ในลักษณะแรงดันทางตรงต่ำจะมีค่าประมาณ 2.4 โวลท์ แรงดันที่ใช้แสดงผลจะป้อนเข้าที่ตัวแบ่งแรงดัน ซึ่งคัพปลิ้งเข้าที่เบสของ TR ประมาณคร่าวๆ จะมีแรงดันราว 1 ใน 4 ของแรงดันปรกติ 12 โวลท์ ที่เบสแต่ละอัน เมื่อทรานซิสเตอร์ทำงานเร็วกว่าที่ควร เมื่อแรงดันที่แบตเตอรีเพิ่มขึ้น ถ้าอีมิตเตอร์ของมันต่อโดยตรงกับไฟแหล่งจ่ายลบ ซึ่งในกรณีหลังตัวแบ่งศักย์แต่ละอันป้อนแรงดันประมาณ 0.6 โวลท์เข้าที่เบส ซึ่งแรงดันดังกล่าวก็เพียง 1 ใน 12 ของแรงดันปรกติเท่านั้น

เมื่อแรงดันแบตเตอรี่ที่มีระดับที่ต่ำกว่า 10.5 โวลท์ ทรานซิสเตอร์ทุกตัวก็จะไม่ทำงาน และไดโอดเปล่งแสงก็จะไม่ติด ต่อเมื่อแรงดันแบตเตอรี่เพิ่มสูงขึ้นเป็น 10.5 โวลท์ นั้นแล้วแรงดันที่ป้อนเข้าที่เบสของ TR1 ทางตัวต้านทาน R1 กับ R2 ก็จะมีพอที่จะทำให้ทรานซิสเตอร์ทำงานได้ ผลคือ LED 1 เริ่มติด และมันจะคงติดอยู่แม้ระดับแรงดันจะสูงขึ้นๆ สำหรับค่าของ R4 และ R5 ที่จะทำให้ TR2 ทำงานได้ที่แรงดัน 12 โวลท์ ก็อยู่ในราว 7.5 KΩ กับ 2.7 KΩ ตามลำดับ ซึ่ง LED2 ก็จะติดและคงอยู่เรื่อยไปแม้แรงดันจะสูงขึ้นก็ตาม ค่าของตัวต้านทาน R7 และ R8 จะทำให้ทรานซิสเตอร์ TR3 ทำงานที่แรงดัน 13.5 โวลท์ และไดโอดเปล่งแสงทั้ง 3 ตัว ติดเหมือนกันหมด

แรงดันคร่อมไดโอด D1 ถึง D4 นั้นมันจะเพิ่มขึ้นประมาณ 0.2 โวลท์ เมื่อไดโอดเปล่งแสงแต่ละตัวทำงานเต็มที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป2.31วงจรเครื่องวัดระดับแรงดัน

<u>วงจรแหล่งจ่ายไฟ</u>

วงจรแหล่งจ่ายไฟตรงที่ใช้นี้เป็นวงจรซึ่งได้ออกแบบให้สามารถจ่ายกระแสได้สูง และป้องกันการลัดวงจรด้วยทรานซิสเตอร์ด้วย โดยการใช้ทรานซิสเตอร์เข้ามาช่วยตามรูป. การหาค่า R เราสามารถหาค่าได้จากสมการดังต่อไปนี้คือ

$$R = \frac{V_{IN} - V_D}{I_D}$$

$$= \frac{12.7 - 1.5}{10\,mA} = 1.12\ K\Omega$$

$$\approx 1\ K\Omega$$

ส่วน R_{sc} นั้นก็สามารถคำนวณได้ดังนี้

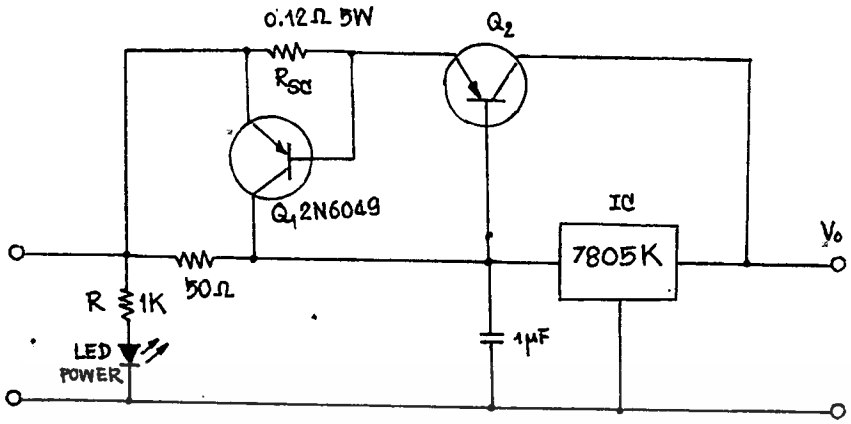
$$R_{sc} = \frac{0.6}{5A} = 0.12\ \Omega$$

หาค่าการทนวัตต์ของ R_{sc} ได้ดังนี้

$$P_D = I^2R = (5)^2 \times 0.12 = 3W$$

เมื่อ Q2 ทำงานกระแสจะไม่ไหลทาง Q1 แต่จะไหลมาทาง IC1 ภายในไอซี1 จะมีวงจรป้องกันการลัดวงจรอยู่แล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.32 แสดงวงจรแหล่งจ่ายไฟ ขนาด 5 โวลท์ 5 แอมป์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

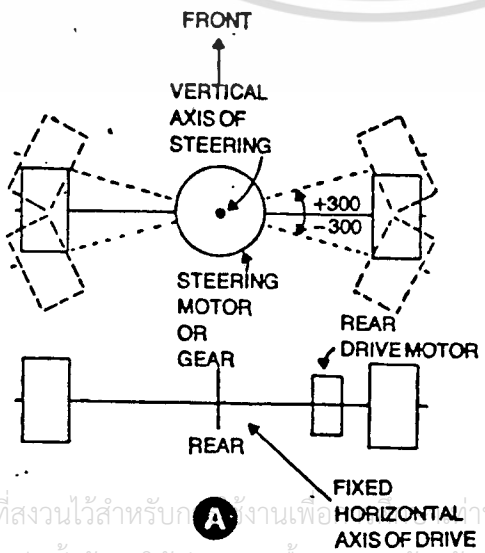
บทที่ 3
หลักการสร้าง

การตัดสินใจว่าจะใช้การขับเคลื่อนและทิศทางอย่างไร

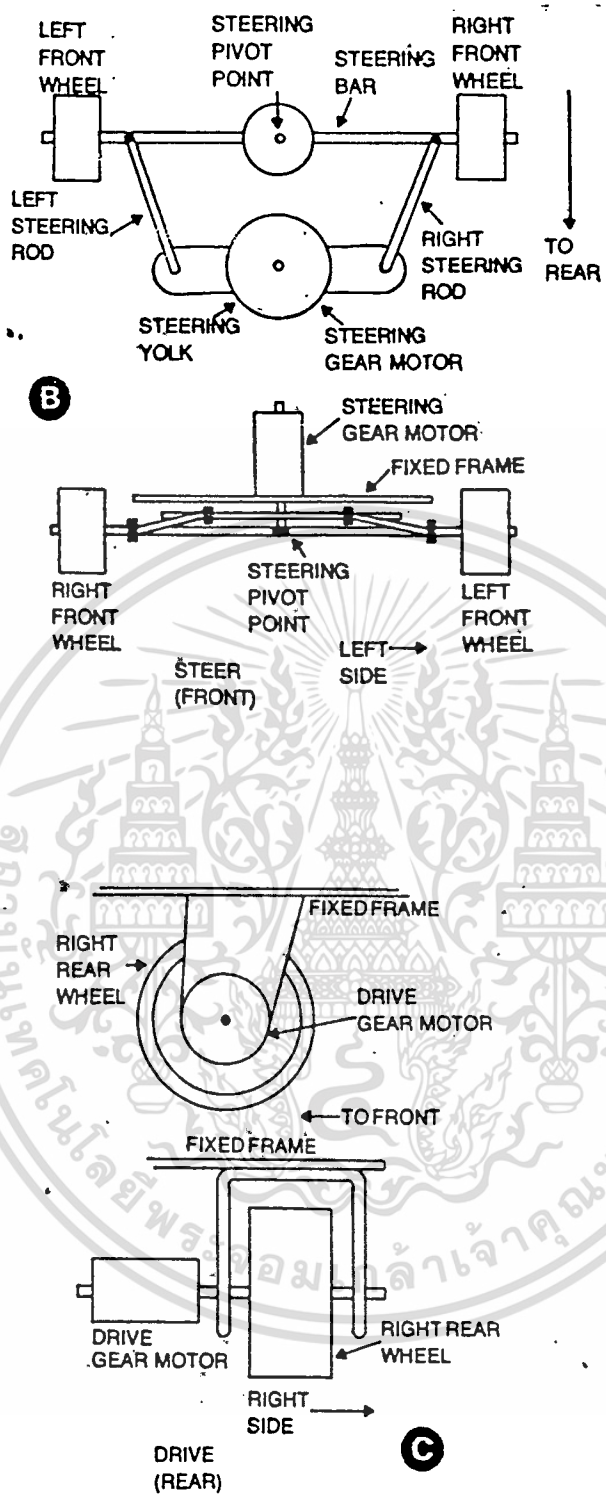
ในขั้นต้นเราจะทำการพิจารณาว่าจะออกแบบการขับเคลื่อนและบังคับทิศทางอย่างไรจึงจะให้ผลดีที่สุดและสะดวกต่อการควบคุมที่สุด เพื่อที่จะให้เดินตามเส้นทางได้ผลตามวัตถุประสงค์ของโครงงานนี้ ซึ่งรูปแบบของการขับเคลื่อนและบังคับทิศทางนี้จะต้องอยู่ภายใต้การทำงานของมอเตอร์ ซึ่งมีส่วนสัมพันธ์กับอุปกรณ์ตรวจจับ(SENSOR)ด้วย ดังมีรูปแบบการพิจารณาได้ 3 แบบดังนี้

1. การแยกมอเตอร์ขับเคลื่อนและบังคับทิศทาง

= แบบที่ 1 จากรูปที่ 3.1 แสดงให้เห็นถึงการใช้มอเตอร์ขับเคลื่อนและมอเตอร์บังคับทิศทางแยกกัน โดยมอเตอร์บังคับทิศทาง(STEER GEAR MOTOR) จะเป็นตัวบังคับล้อหน้าทั้งคู่ให้หมุนเป็นมุมต่างๆ ในขณะเลี้ยวซ้ายและเลี้ยวขวา ซึ่งรัศมีการหมุนนั้นจะมากหรือจะน้อยขึ้นอยู่กับขีดจำกัด การหมุนของมอเตอร์บังคับทิศทางและโครงสร้างของหุ่น ส่วนมอเตอร์ขับเคลื่อน(DRIVE GEAR MOTOR) จะติดตั้งที่ล้อข้างใดข้างหนึ่งหรือทั้งสองข้างของล้อหลัง หากติดตั้งที่ล้อหลังล้อเดียวจะต้องติดตั้งให้อยู่ในตำแหน่งที่เหมาะสมจึงจะทำให้ทิศทางการเคลื่อนที่สมดุลย์นั่นคือ มอเตอร์บังคับทิศทางต้องสามารถบังคับล้อหลังทั้งคู่ในเวลาชิดเยวกันนั่นเอง และจากรูปจะเห็นว่าโครงสร้างของฐานสำหรับแบบที่ 1 นี้จะเป็นลักษณะสี่เหลี่ยม



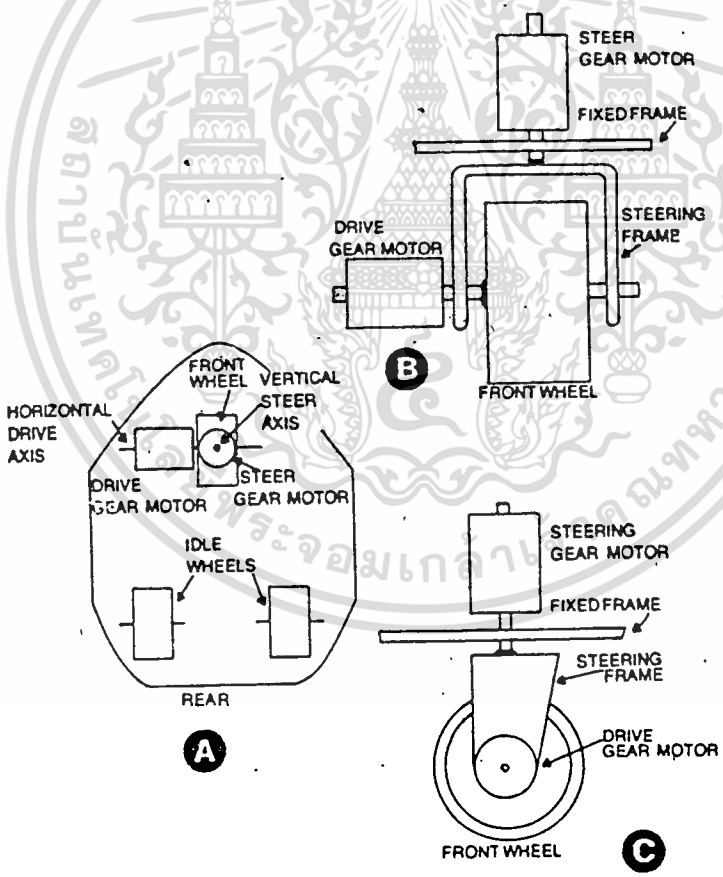
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- แบบที่ 2 จากรูป 3.2 แสดงให้เห็นถึงการใช้มอเตอร์ขับเคลื่อนและบังคับทิศทางแยกจากกัน โดยมอเตอร์ทั้งคู่นี้จะถูกติดตั้งไว้ที่ล้อหน้าเพียงล้อเดียว ส่วนสองล้อหลังจะปล่อยไว้อิสระมอเตอร์ทั้งคู่ที่ติดตั้งไว้ที่ล้อหน้าจะมีการติดตั้งในแถนที่สามารถทำหน้าที่ได้เฉพาะตัว กล่าวคือมอเตอร์ตัวหนึ่งบังคับทิศทางมอเตอร์อีกตัวก็จะขับเคลื่อน ซึ่งการบังคับทิศทางแบบนี้ สามารถจะบังคับได้เป็นมุมกว้างมาก โครงสร้างการทำงานก็ไม่ยุ่งยากมากนัก อีกทั้งสามารถควบคุมได้ง่ายกว่า ดังนั้นโครงงานหุ่นยนต์จึงใช้การบังคับทิศทางและการขับเคลื่อนแบบนี้ และจากรูปจะเห็นว่าโครงสร้างของฐานสำหรับแบบที่ 2 นี้จะเป็นลักษณะสามเหลี่ยม



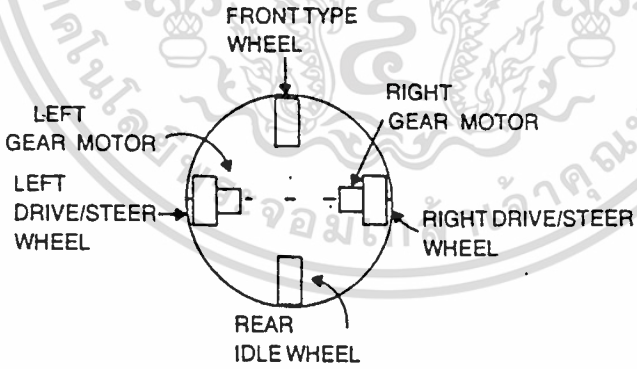
รูปที่ 3.2

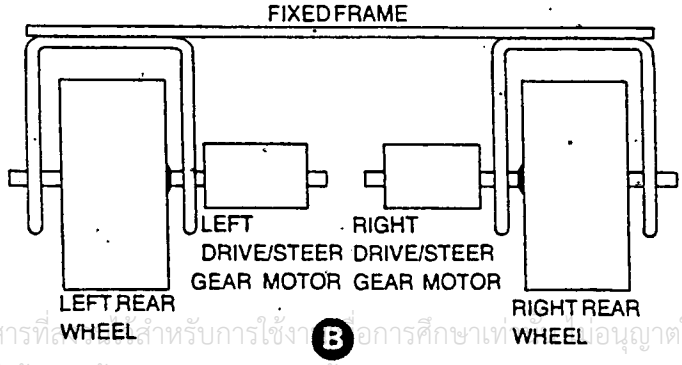
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2การใช้มอเตอร์สองตัวประกอบกันเพื่อการขับเคลื่อนและบังคับทิศทาง

จากรูป 3.3แสดงให้เห็นถึงการใช้มอเตอร์ 2 ตัว ประกอบกันเพื่อขับเคลื่อนและบังคับทิศทางซึ่งรูปแบบนี้ถือได้ว่าใช้กันมากในหุ่นยนต์ปัจจุบันนี้ โครงสร้างจะมีมอเตอร์สองตัวที่ติดตั้งไว้ตรงกันข้าม ซึ่งมอเตอร์ทั้งสองตัวนี้ จะสามารถทำหน้าที่ได้ทั้งขับเคลื่อนและบังคับทิศทาง ซึ่งสามารถอธิบายการทำงานได้ดังตาราง และจากรูปเห็นว่าโครงสร้างฐานจะเป็นรูปวงกลม

Left Motor	Right Motor	System Response
STOP	STOP	STOP
STOP	FORWARD	FORD, LEFT TURN
STOP	REVERSE	REVERSE, LEFT TURN
FORWARD	STOP	FORWARD, RIGHT TURN
FORWARD	FORWARD	FORWARD
FORWARD	REVERSE	CLOCKWISE SPIN
REVERSE	STOP	REVERSE, RIGHT TURN
REVERSE	FORWARD	COUNTERCLOCKWISE, SPIN
REVERSE	REVERSE	REVERSE





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.3

ขั้นตอนการสร้างด้าน MECHANIC

1. พิจารณาแบบต่างๆ ของหุ่นในข้อมูลที่หามาได้ ตามวัตถุประสงค์แล้วเลือกแบบที่เหมาะสมที่สุด

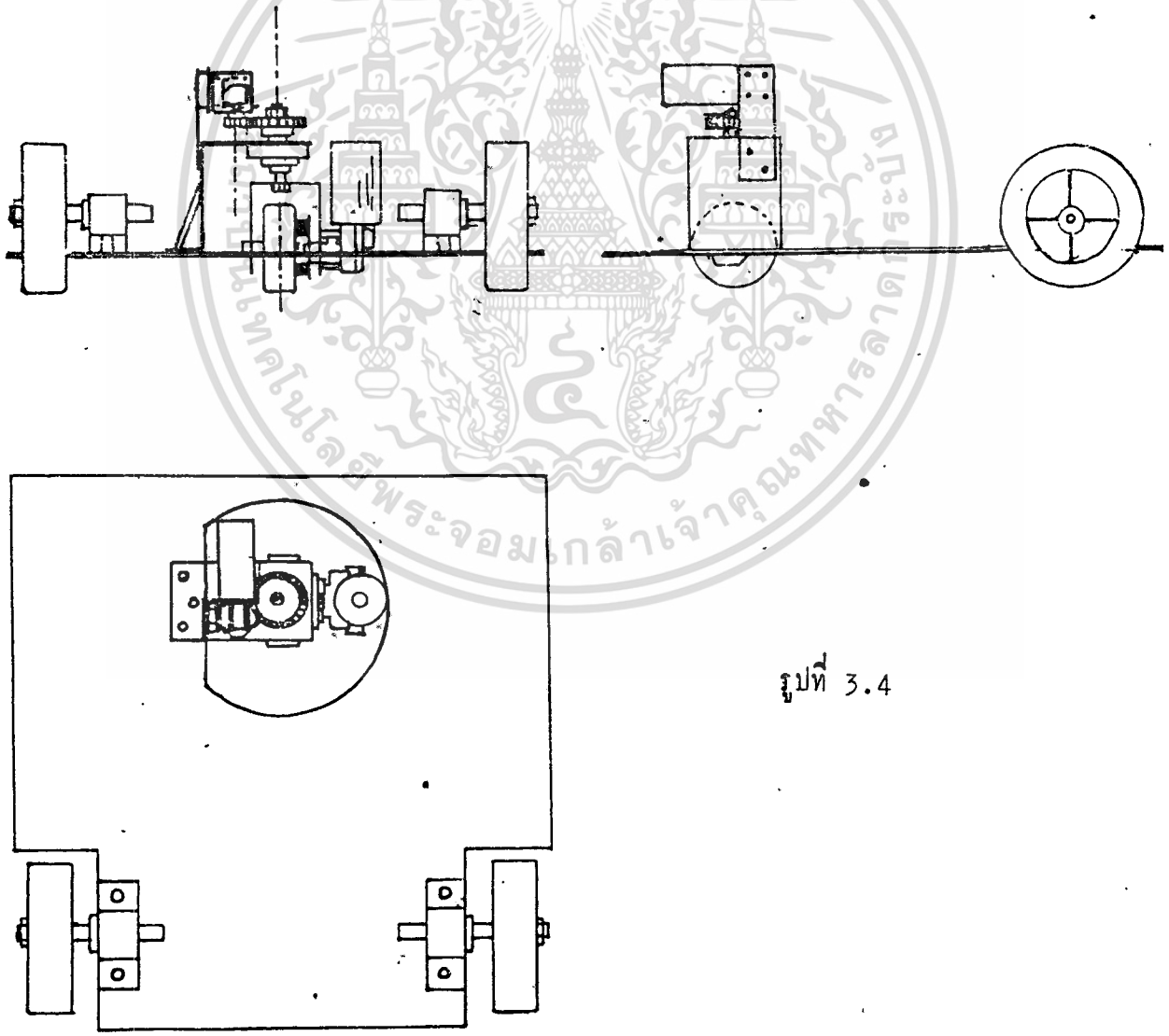
2. ออกแบบแล้ว เขียนแบบที่ต้องการให้เรียบร้อย

3. เลือกอุปกรณ์และวัสดุ ที่จะใช้ในการสร้าง

4. ทดลองสร้างเป็นแบบจำลองขึ้นก่อน โดยสร้างบนไม้อัด

5. หลังจากทดลองได้ผลดีแล้ว จึงสร้างจริงโดยใช้วัสดุเลือกไว้

แสดงแบบที่ผู้เขียนใช้



รูปที่ 3.4

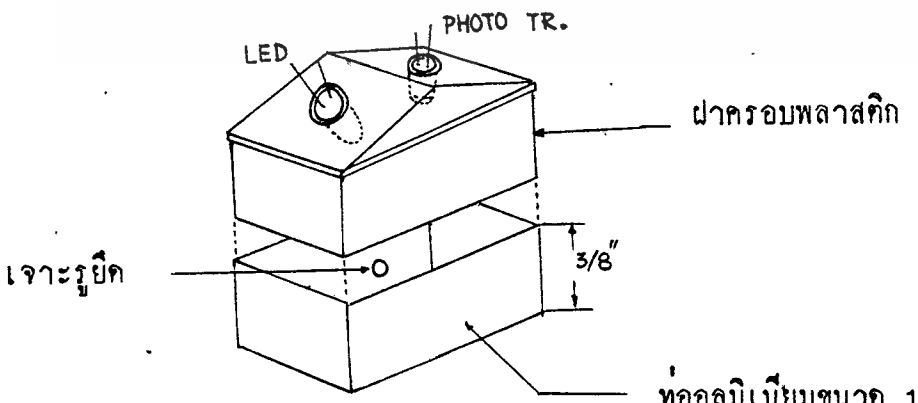
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเลือกวัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้

- แบริ่ง ทั้งหมดขนาด 4 หุน(รูปเพลา)
- เพลาสแตนเลส สำหรับล้อหลัง ขนาด 4 หุน
- ขนาดของเฟืองทดที่ล้อทิศทาง ประมาณ 2 ต่อ 1
- ล้อด้านหลัง 2 ข้าง เป็นแบบพลาสติก ซึ่งมีน้ำหนักเบา ขนาด 6 นิ้ว
- ล้อหน้า เป็นล้อเหล็กขอบยาง ซึ่งต้องการความแข็งแรงและช่วงคอนของเพลาน้อยที่สุด เนื่องจากเป็นทั้งล้อขับเคลื่อนและควบคุมทิศทาง
- มอเตอร์ใช้แบบมีเกียร์ทดรอบช้า เพื่อให้มีแรงขับสูง ขนาดที่ใช้คือ
  1. มอเตอร์ DRIVE เป็น ดีซี.มอเตอร์ ที่ใช้สำหรับปัดน้ำฝน ซึ่งใช้ในรถยนต์ มีความเร็วรอบประมาณ 60 รอบ/นาที
  2. มอเตอร์ STEERING เป็น ดีซี.มอเตอร์แบบที่มีเกียร์ทด. มีความเร็วรอบประมาณ 50 รอบ/นาที
- แผ่นฐานของหุ่น ใช้อลูมิเนียมหนา 3 มิลลิเมตร
- แท่นขาตั้งยึดสุดเป็นชุดขับล้อหน้า ใช้เหล็กหนา 3 มิลลิเมตร

การสร้างตัว SENSOR

การสร้างตัว SENSOR สามารถสร้างโดยใช้ LED ร่วมกับ PHOTO TR. โดยติดตั้งบนจุดพลาสติก เราจะเจาะรูด้านบน ทั้ง 2 ด้าน ให้พอดีกับตัว LED และ PHOTO TR. ดังรูป

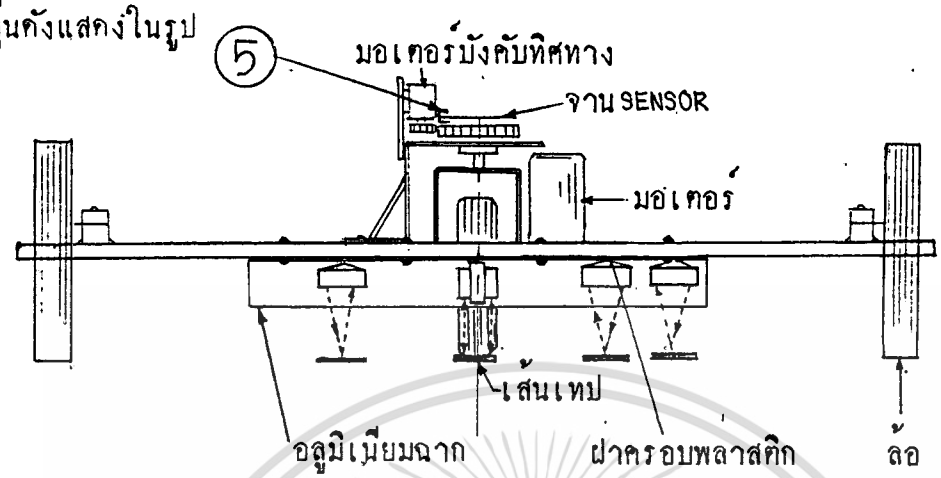


รูปที่ 3.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

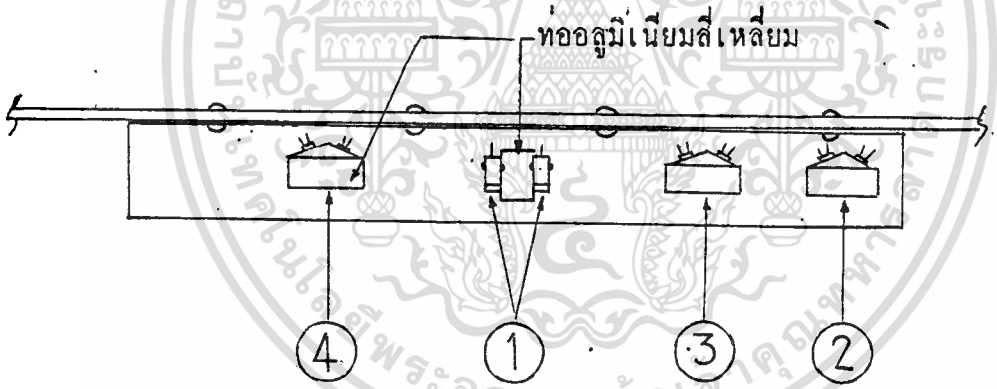
การติดตั้ง

จะนำตัว SENSOR ทั้งหมดยึดลงบนอลูมิเนียมฉากแล้วติดตั้งที่ใต้แท่นด้านหน้าของหุ่นดังแสดงในรูป



รูปที่ 3.6

SENSOR MECHANICAL



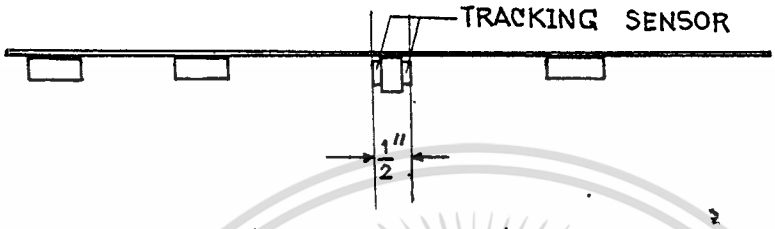
รูปที่ 3.7

ส่วนของ SENSOR จะประกอบด้วย SENSOR ทั้งหมด 5 ส่วนดังนี้

1. TRACKING SENSING
2. STOP SENSING
3. NUMBER SENSING
4. SPEED SENSING
5. STARTING STEER WHEEL SENSING

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. TRACKING SENSING คิดด้วยตัว SENSOR ทั้งหมด 2 ตัว ซึ่งมีหน้าที่ตรวจจับเส้นเทป ที่เดินไว้บนพื้น เส้นเทปที่ใช้เป็นอลูมิเนียมฟอยล์ขนาด 1/2-1 นิ้วโดย ตัว SENSOR ทั้ง 2 ตัว จะติดตั้งในลักษณะอยู่ชิดขอบด้านในเส้นเทป ดังรูป

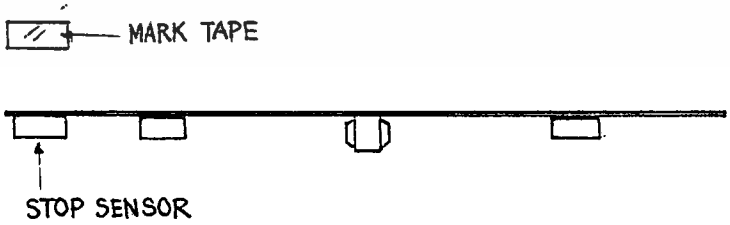


รูปที่ 3.8

สัญญาณที่ได้จาก TRACKING SENSING มี 3 กรณี

- ตำแหน่งของตัวหุ่นถูกต้อง อยู่ภายในเส้นเทปพอดี ทั้ง 2 ตัว สัญญาณที่ได้คือ 1,1
- ตำแหน่งของตัวหุ่นเอียงซ้าย สัญญาณที่ได้คือ 0,1
- ตำแหน่งของตัวหุ่นเอียงขวา สัญญาณที่ได้คือ 1,0

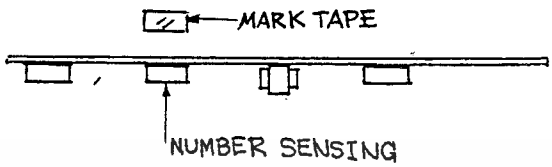
2. STOP SENSING เป็น SENSOR ให้ตรวจจับเส้นเทป ซึ่งเป็นตำแหน่งที่ต้องการให้ตัวหุ่นหยุด โดยจะมีเส้นเทปปิดไว้ที่พื้น



รูปที่ 3.9

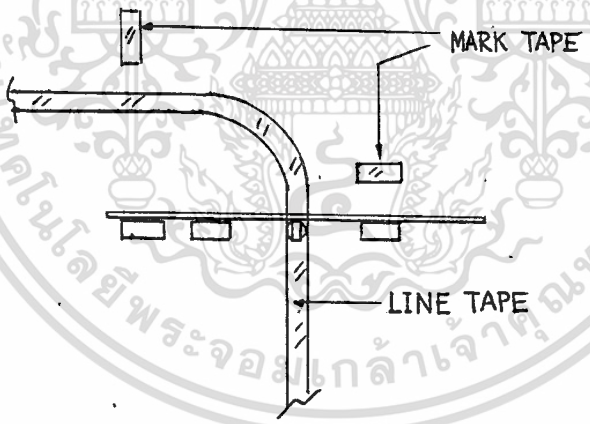
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. NUMBER SENSING ตัว SENSOR ตัวนี้จะใช้สำหรับ ตรวจจับหมายเลขห้อง ซึ่งมีทั้งหมด 4 ห้อง ลักษณะการปิดเส้นเทปจะเหมือน STOP SENSING



รูปที่ 3.10

4. SPEED SENSING เป็น SENSOR ที่ใช้ตรวจจับความเร็วในขณะที่หุ่นจะเดินเข้าโค้งและจะออกจากโค้ง โดยจะให้หุ่นลดความเร็วลงเมื่อจะถึงทางโค้งและให้หุ่นเพิ่มความเร็วเท่ากับปกติเมื่อหุ่นเดินออกจากโค้ง

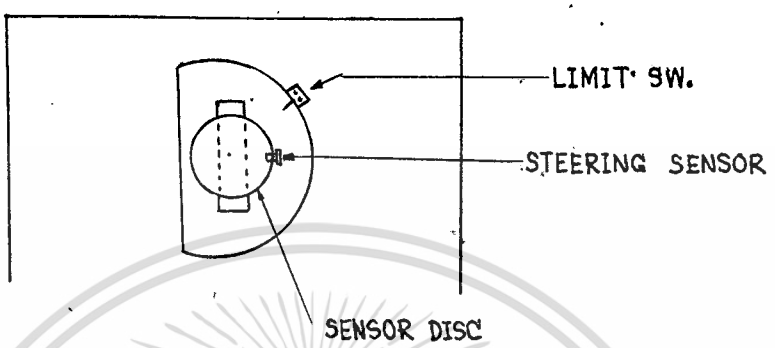


รูปที่ 3.11

5. STARTING STEER WHEEL SENSING จะประกอบด้วย SENSOR 2 ตัว ด้วยกันตัวแรก จะติดตั้งไว้ที่จาน SENSOR ซึ่งจานนี้จะติดตั้งบนส่วนของล้อหน้า-(ล้อขับเคลื่อน) การทำงานของมันก็คือ เมื่อเวลาเปิดเครื่อง(POWER ON) ลูกล้อจะหมุนกวาดไปด้านหนึ่ง แล้วกวาดกลับเพื่อให้ SENSOR ตรวจจับหารูที่จาน เมื่อพบรูแล้วจึงหยุด ซึ่งในตำแหน่งนี้ล้อจะมีทิศทางเคลื่อนที่ตรงไปข้างหน้าพอดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

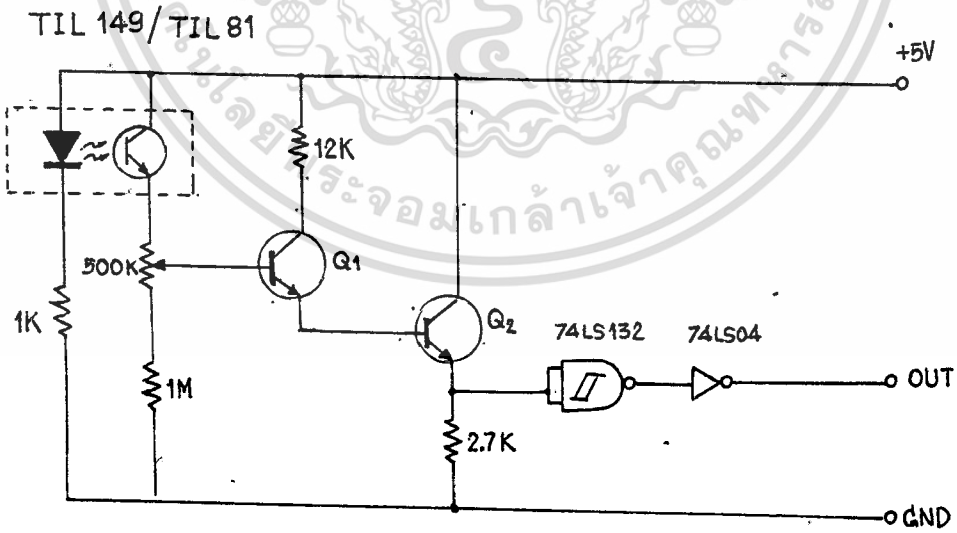
ส่วน SENSOR ตัวที่สองจะให้เป็น LIMIT SWITCH ป้องกันมิให้ล้อหน้ากวาดเกินระยะของมัน



รูปที่ 3.12

วงจร SENSING

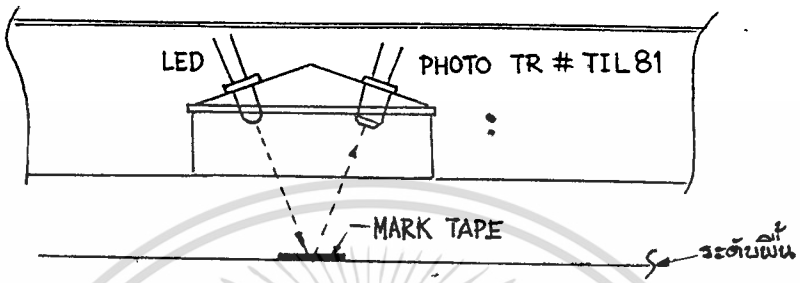
วงจร SENSING ทั้ง 5 ส่วนนั้นจะใช้วงจรเดียวกันหมด ดังแสดงในรูป



รูปที่ 3.13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนตัว SENSOR (ในเส้นประ) เราจะใช้ LED สีใส ร่วมกับPHOTO-TRANSITORโดย LED จะเป็นตัวส่งสัญญาณแสงไปสะท้อนกับเส้นเทปกลับมายัง PHOTO TRANSITOR ซึ่งเป็นตัวรับ



รูปที่ 3.14

ส่วนตัว SENSOR ที่ใช้เป็น TRACKING และ STARTING STEER WHEEL จะใช้เบอร์ TIL 149 และ MOC 7811 ตามลำดับ ซึ่ง SENSOR ทั้ง 2 เบอร์นี้ ตัวรับและตัวส่งจะหล่อรวมเป็นตัวเดียวกัน เรียกว่า OP-TO จะมีข้อดีคือขนาดเล็ก

รูปที่ 3.15

การทำงาน

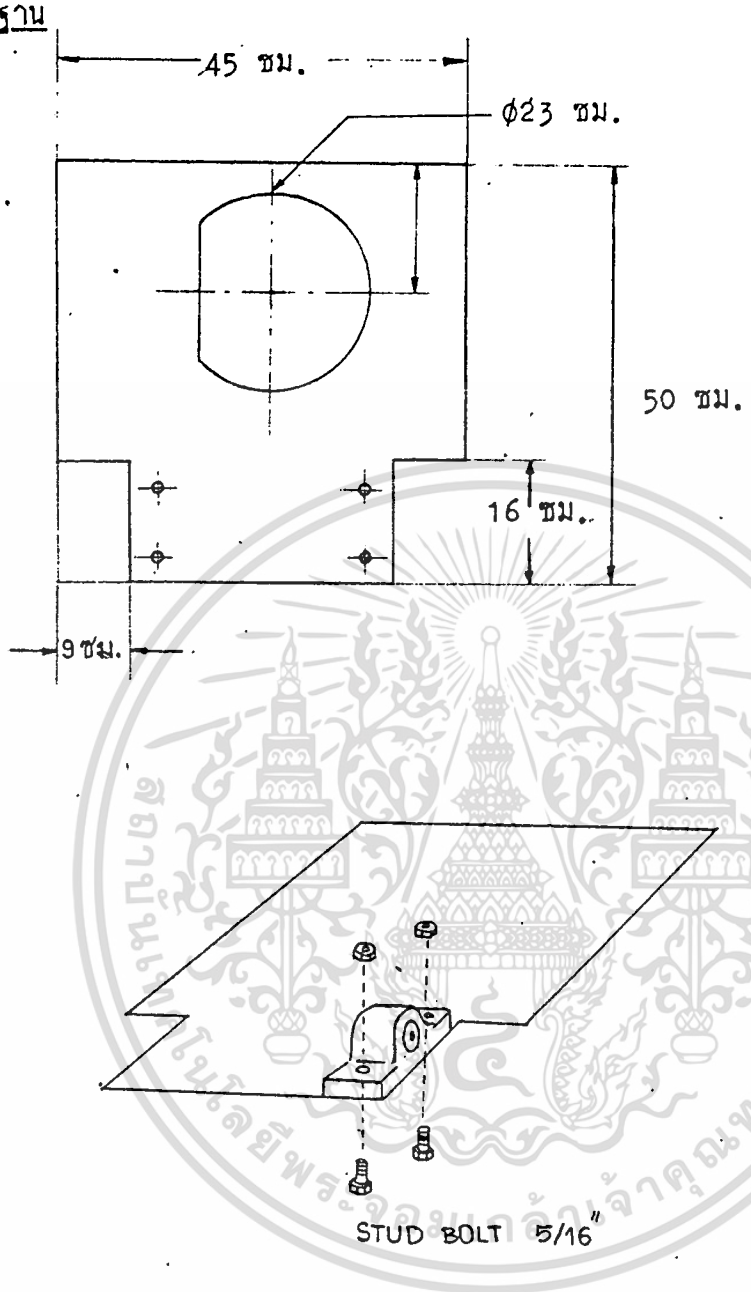
กรณีที่ไม่มีเส้นเทป แสงจาก LED จะสะท้อนกลับมายัง PHOTO TRANSISTOR น้อยมากทำให้ PHOTO TRANSISTOR ไม่มีการนำกระแส Q1 และ Q2 จึงไม่นำกระแส สัญญาณ OUTPUT ที่ได้จะเป็น "0" กรณีที่มีเส้นเทป PHOTO TRANSISTOR จะนำกระแสเกิดแรงดันตกคร่อม ขา B และ E ของ Q1 และ Q2 ทั้ง 2 ตัว ซึ่ง Q1 และ Q2 จะต่อกันมาในลักษณะ DARLINGTON ทำให้ Q1 และ Q2 นำกระแส เกิดแรงดันตกคร่อมตัวต้านทาน 2.7 กิโลโอห์ม ประมาณ 4 โวลต์ ทำให้ได้สัญญาณ OUTPUT เป็น "1" ส่วน GATE เบอร์ 74LS 132 เป็น SCHMITT TRIGGER มันจะทำหน้าที่เปลี่ยนแรงดันที่ INPUT ของตัวมันให้มีค่าเป็น "1" และ"0" เท่านั้น คือเมื่อ-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แรงดันตกคร่อมตัวต้านทาน 2.7 กิโลโอห์ม มีค่าต่ำกว่า 0.9 โวลต์ มันจะให้ OUTPUT เป็น "0" และเมื่อแรงดันตกคร่อมตัวต้านทาน 2.7 กิโลโอห์ม สูงกว่า 1.7 โวลต์ OUTPUT จะเป็น "1" (OUTPUT ที่กล่าวมานี้ หมายถึงผ่าน INVERTOR GATE มาแล้ว) ส่วนตัวต้านทาน 500 กิโลโอห์ม ที่เป็นแบบเกือกม้า ใช้ปรับความไวในการรับแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

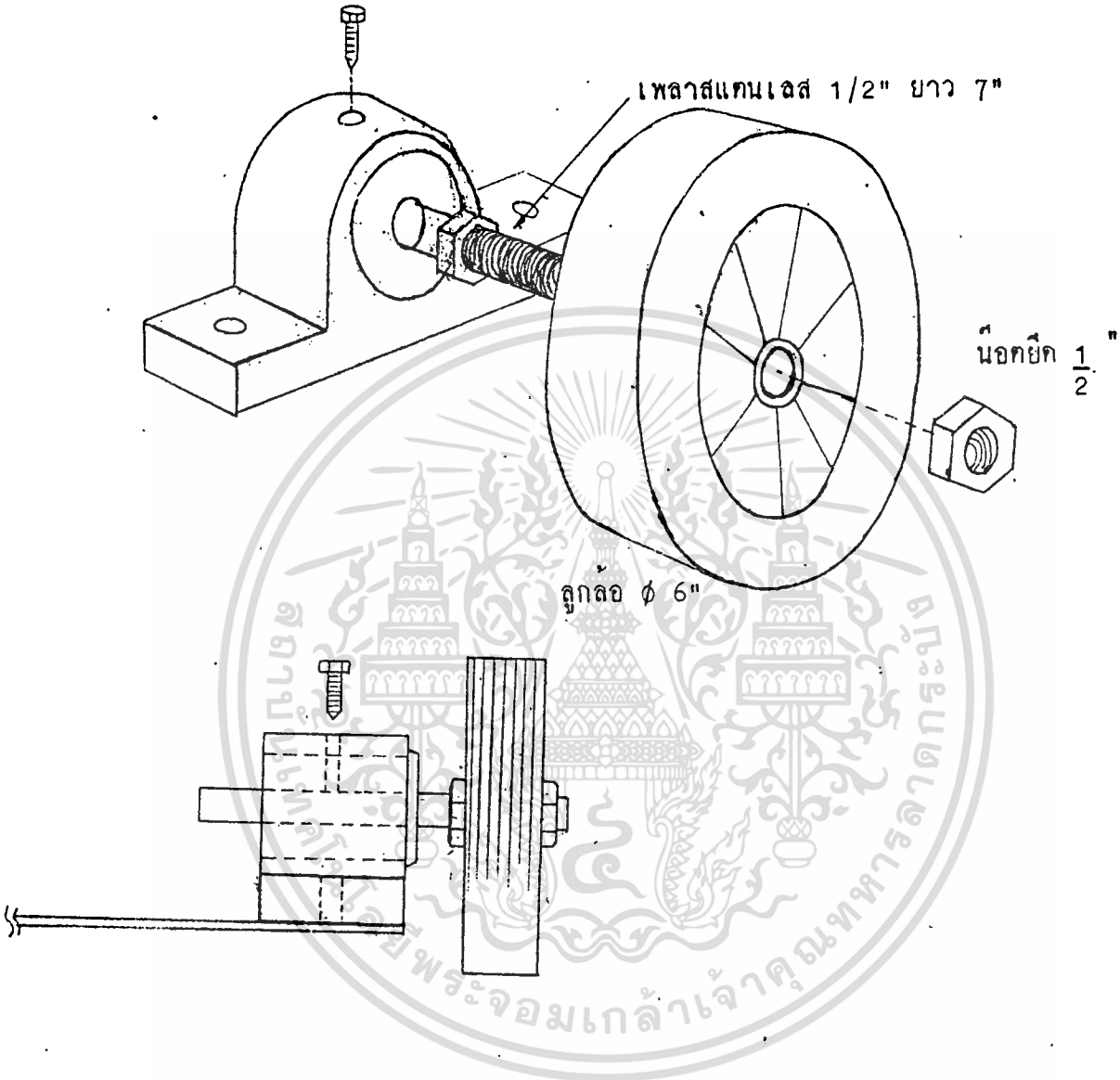
ส่วนของฐาน



รูป แสดงขนาดของส่วนฐานและการยึดแบริ่ง

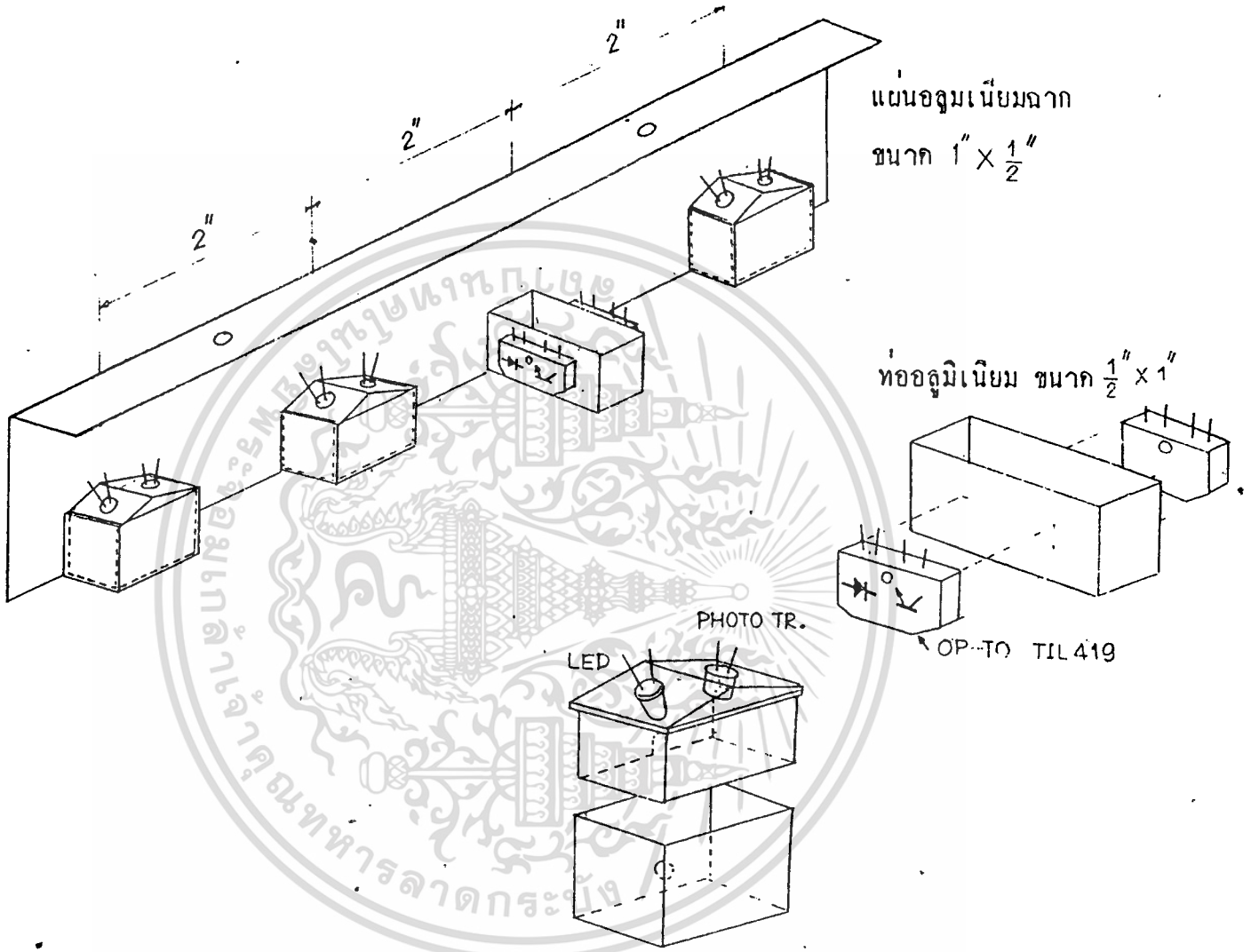
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การยึดลูกล้อด้านหลัง



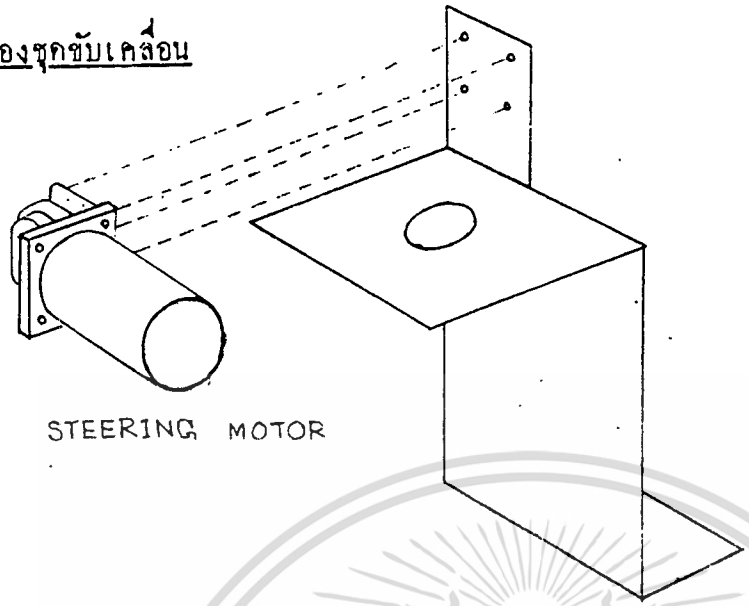
รูป แสดงการยึดลูกล้อเข้ากับแบริ่ง

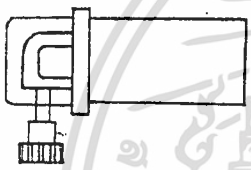
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



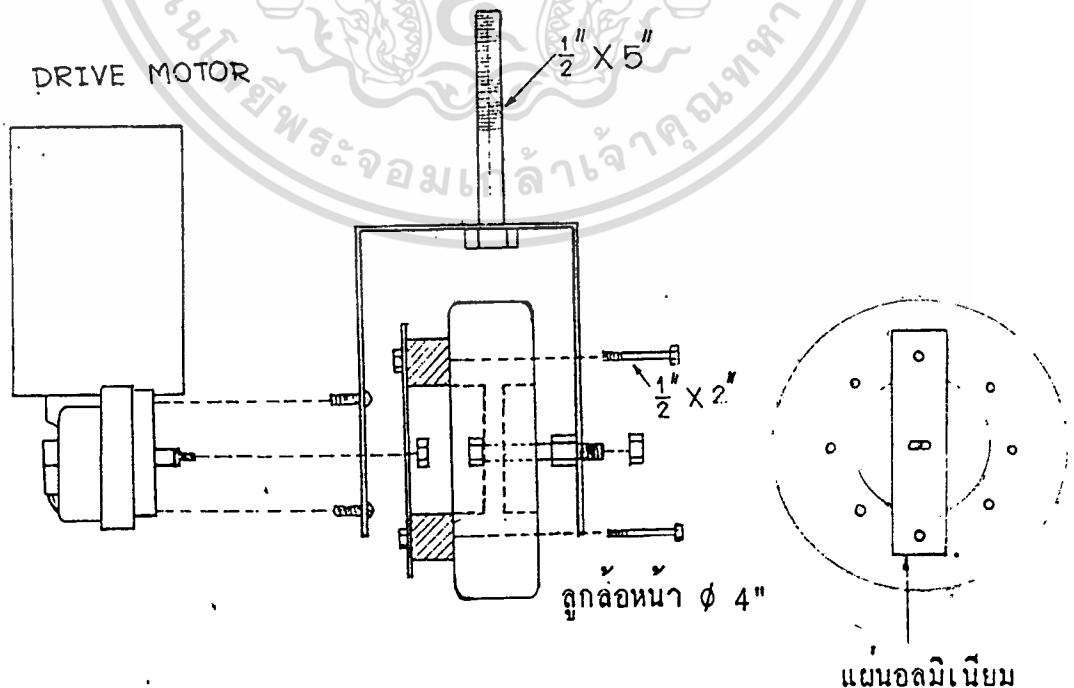
รูป แสดงการยึด SENSOR แต่ละตัว -

<u>ส่วนของชุดขับเคลื่อน</u>



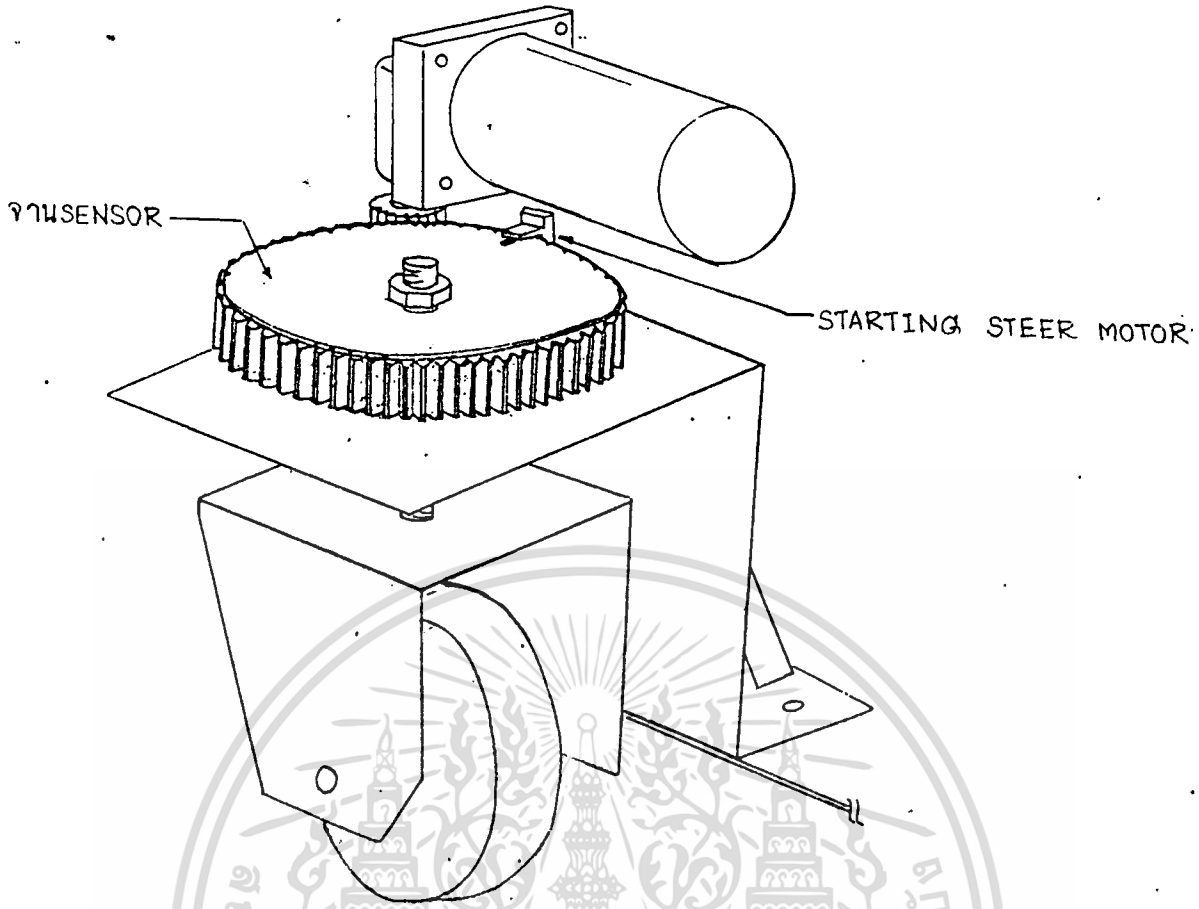


รูป แสดงการติดตั้งมอเตอร์เข้ากับแท่น

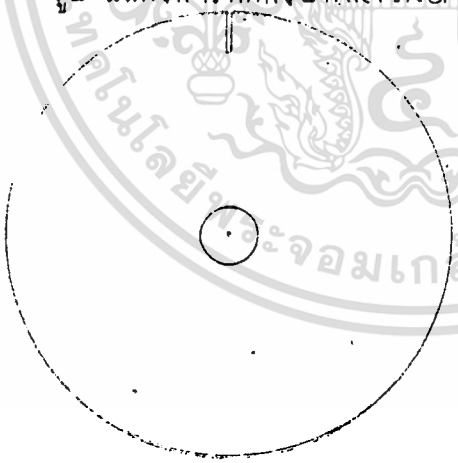


รูป แสดงขับเคลื่อนล้อหน้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

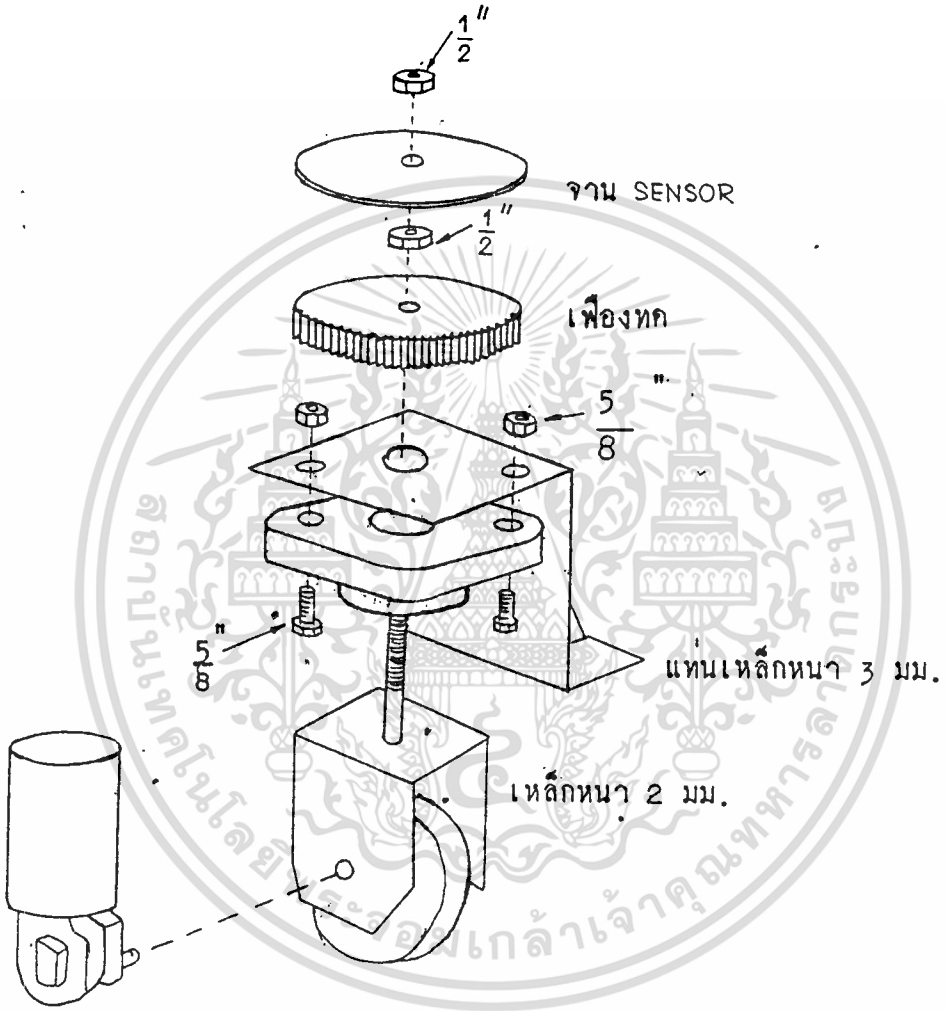


รูป แสดงการติดตั้ง STARTING STEER WHEEL SENSOR



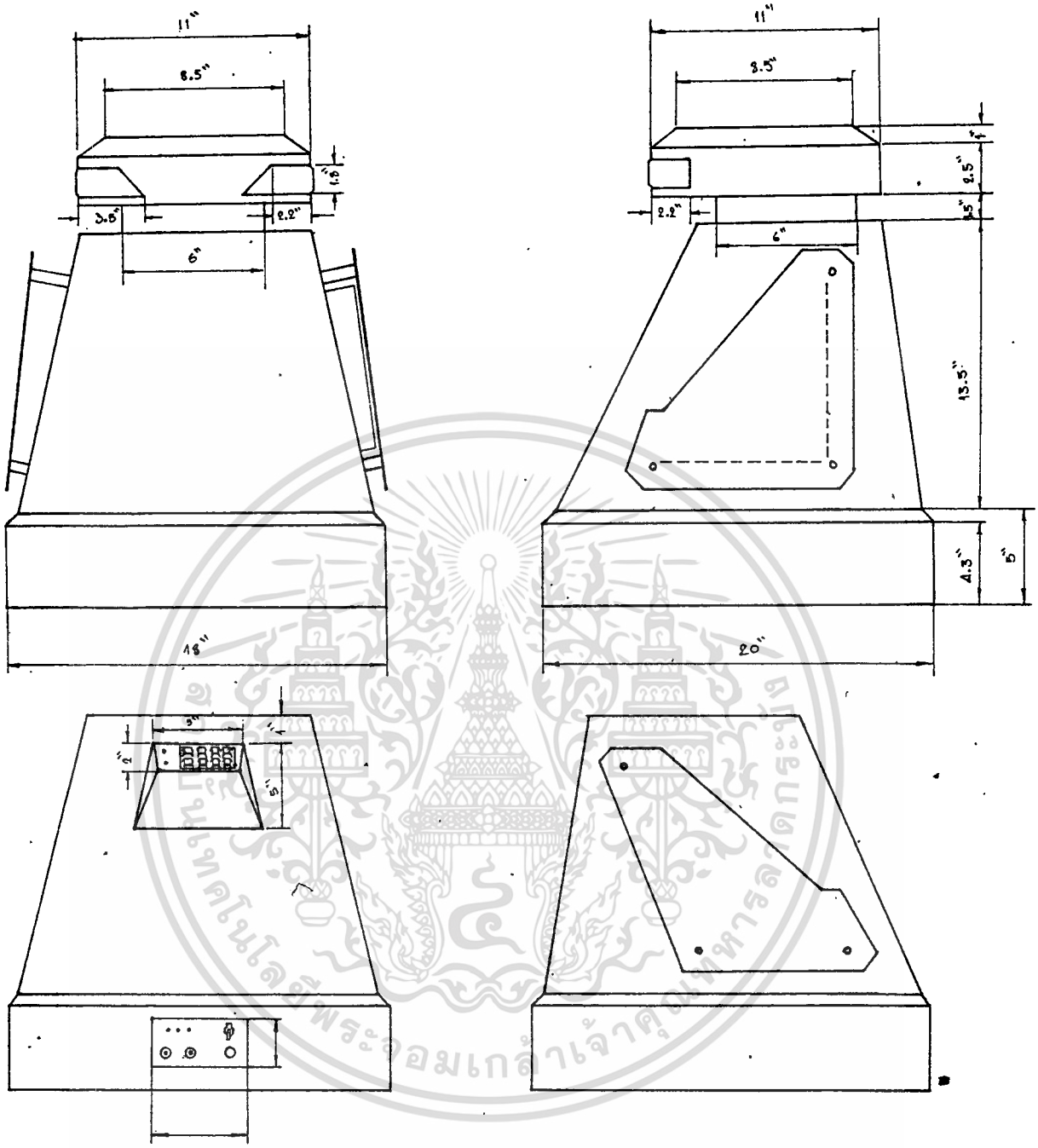
รูป แสดงการเจาะรูบนจาน SENSOR

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



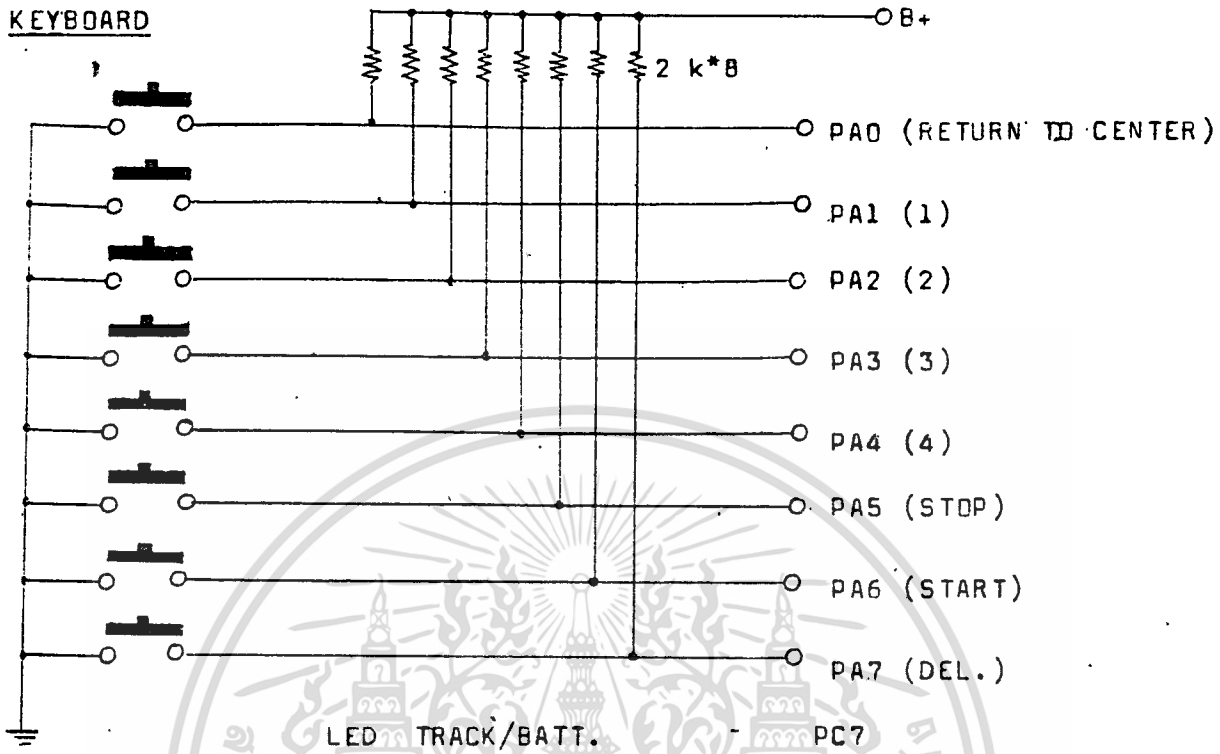
รูป แสดงการติดตั้งชุดขับเคลื่อนล้อหน้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

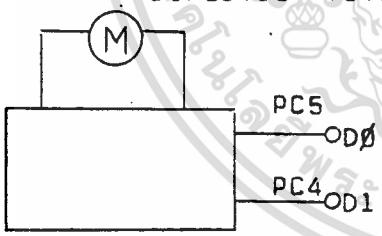


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แสดงการเชื่อมโยงวงจรต่างๆ เข้ากับพอร์ทของ 8255

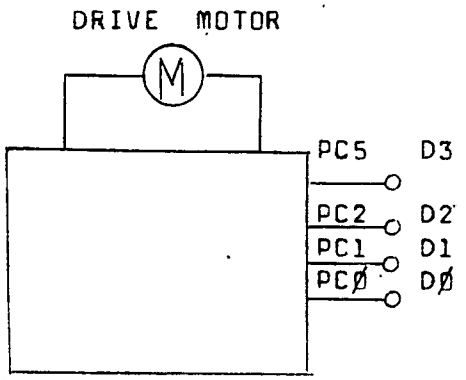


CONTROL DIRECTION



DØ	D1	MOTOR
Ø	Ø	STOP
Ø	1	RIGHT
1	Ø	LEFT
1	1	STOP

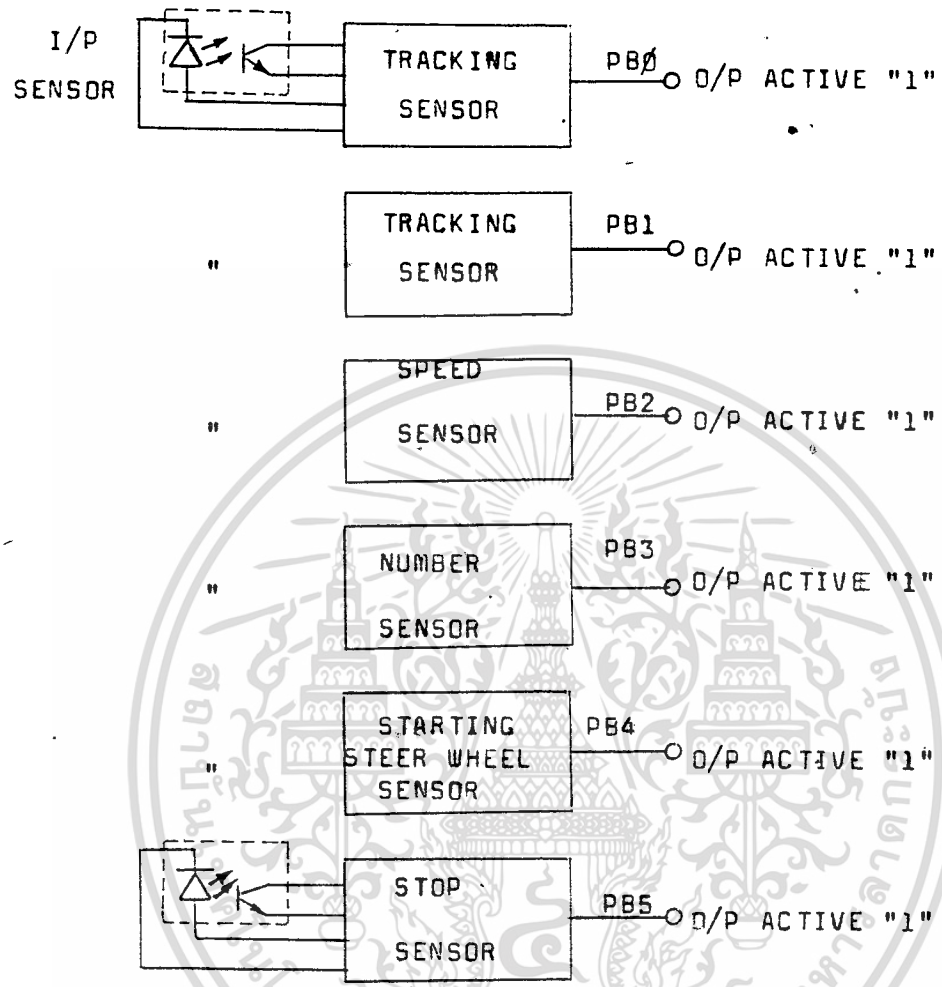
CONTROL SPEED



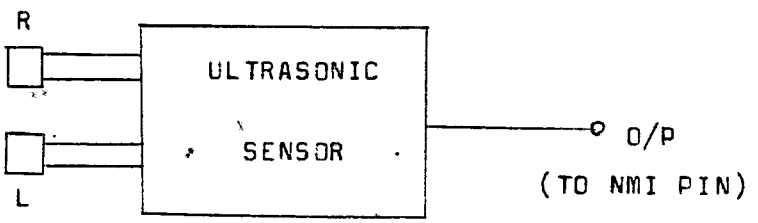
D3	D2	D1	DØ	speed
O	O	O	O	stop
O	O	O	1	Stop
O	O	1	O	StoP
O	O	1	1	stop
O	1	O	O	stop
O	1	O	1	StoP
O	1	1	O	StoP
O	1	1	1	LOW
1	O	O	O	LOW
1	O	O	1	LOW
1	O	1	O	LOW
1	O	1	1	LOW
1	O	O	O	LOW
1	1	O	1	LOW
1	1	1	O	LOW
1	1	1	1	HIGH

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SENSING

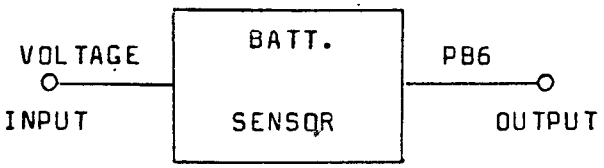


ULTRASONIC SENSOR



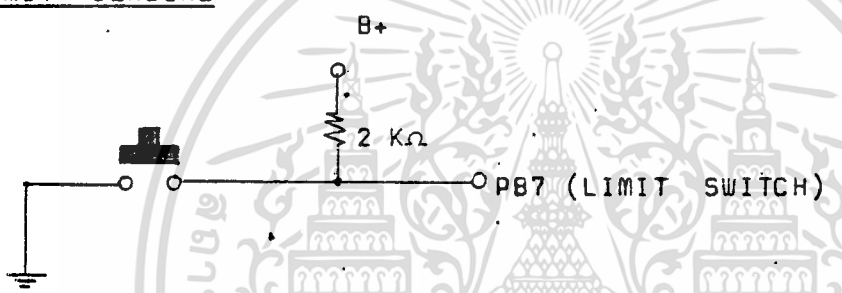
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

BATTERY SENSING



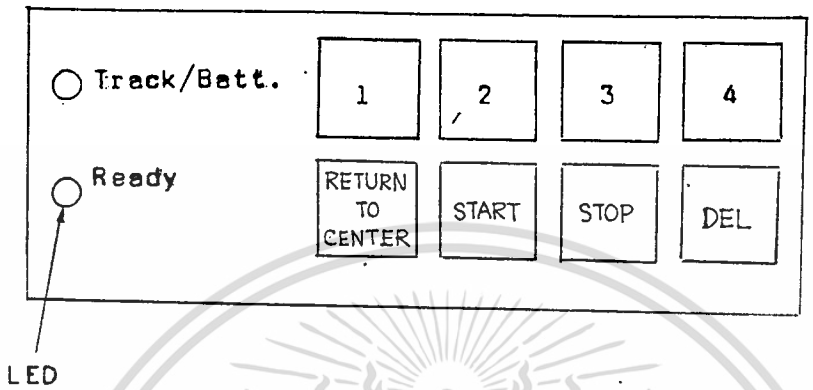
VOLTAGE	OUTPUT
LOW	0
HIGH	1

LIMIT SENSING



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คีย์บอร์ด (KEY BOARD)



KEYBOARD

- KEY หมายเลข [1] ถึง [4] เป็น KEY หมายเลขห้อง เช่น ต้องการให้ไปห้องที่ 1 ก็ให้กด KEY [1] แล้วกด [START]

- RETURN TO CENTER KEY นี้จะถูกกดเมื่อต้องการให้หุ่นกลับไปที่จุด CENTER

- START เมื่อต้องการเริ่มต้น

- STOP เมื่อต้องการให้หยุดจะกดปุ่มนี้

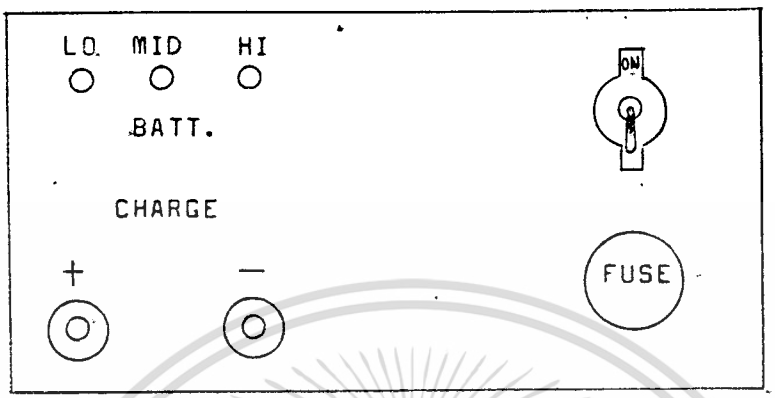
- DEL. ใช้เมื่อกดหมายเลขห้องผิดและต้องการเปลี่ยนหมายเลขห้องใหม่ เช่น กดหมายเลข [2] ถ้าไม่ต้องการให้กด [DEL.] แล้วจึงกดหมายเลขห้องที่ต้องการ

- LED TRACK/BATT ในกรณีที่หุ่นอยู่ที่จุด CENTER ถ้า TRACK SENSOR ไม่ตรงกับเส้นเทป เมื่อเปิดเครื่อง LED ตัวนี้จะกระพริบ ส่วนอีกกรณีหนึ่งคือ เมื่อแรงดันไฟฟ้าที่ BATTERY ต่ำมาก LED ตัวนี้จะติดค้าง

- LED READY LED ตัวนี้จะติดค้างเพื่อแสดงว่าหุ่นพร้อมแล้ว หลังจากที่เปิดเครื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้าบัคการทำงาน (BOARD POWER)



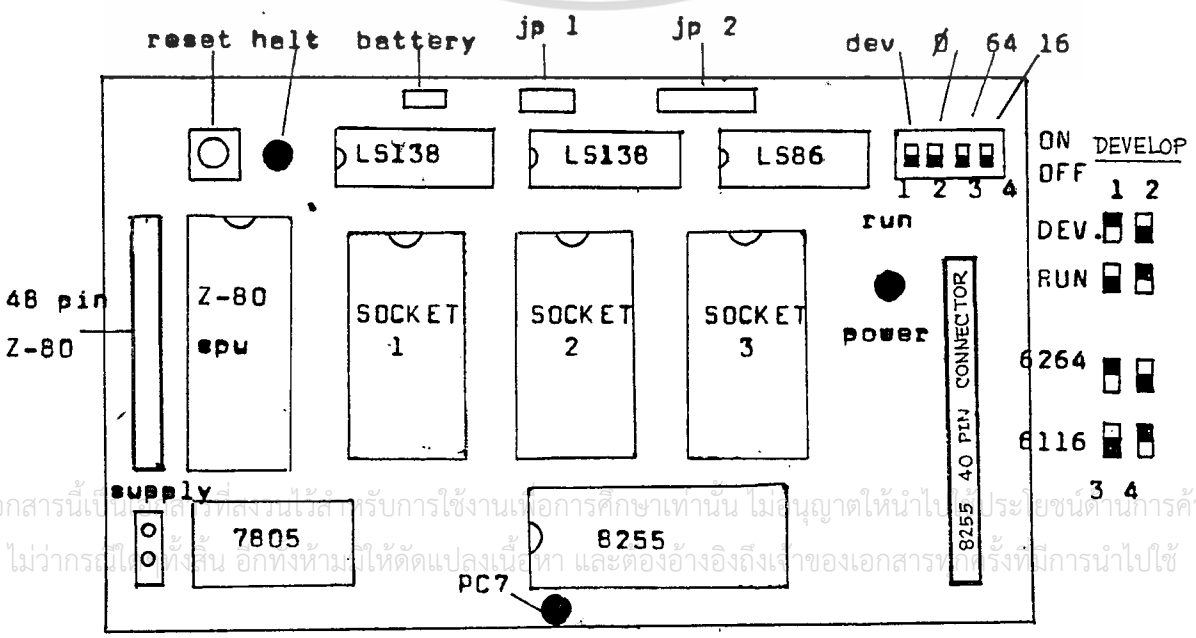
- SWITCH POWER และ FUSE ขนาด 15 แอมป์
- CHARGING เมื่อ BATTERY หมดจะต้อง CHARGE โดยการเสียบสายไฟเข้าที่ขั้วทั้ง 2 นี้ ขนาด BATTERY ที่ใช้ คือ 12 โวลท์ 20 แอมป์ต่อชั่วโมง
- LED BATTERY ประกอบด้วย LED 3 ตัว วัดแรงดันของ BATT.CAUTION ในขณะที่ CHARGE ห้ามเปิด SWITCH POWER

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนควบคุม

ในโครงงานนี้จะมีการใช้ Z-80 CP-A CONTRON PACK . มาควบคุมการทำงานของหุ่นยนต์แทนการใช้วงจรอิเล็คทรอนิคส์ ซึ่งสามารถทำงานได้เฉพาะอย่างเท่านั้น ถ้าจะสร้างวงจรอะไรใหม่เพื่อจุดประสงค์ให้มีการทำงานอย่างอื่นก็ต้องมา ออกแบบกันใหม่อีก โดยเฉพาะยิ่งเป็นวงจรดิจิตอลด้วยแล้วยิ่งทำให้ยุ่งยากมากที่เดียว แต่หากใช้Z-80 CP-A CONTROL PACK แล้วจะทำให้สามารถใช้งานได้อเนกประสงค์และมีความเร็วในการทำงานสูงกว่าอีกทั้งยังสามารถจะปรับปรุงแก้ไขเพิ่มเติมได้ง่าย โดยการทำทางโปรแกรมที่จะเป็นตัวกำหนดความสามารถของ Z-80 CP-A CONTROL PACK

ชุด Z-80 CP-A CONTROL PACK นี้ประกอบด้วย Z-80 CPU เบอร์ Z-80 หน่วยความจำขนาด 8 Kbyte จะเป็น EPROM เบอร์ 2764 หรือ RAM เบอร์ 6264 (RAM เบอร์ 6264 สามารถ BACK UP ข้อมูลได้ ถ้าต่อ BATTERY) ถ้าไม่ต้องการขนาดหน่วยความจำมากนักก็อาจและ EPROM เบอร์ 2732 ตามลำดับก็ได้ โดยสามารถเลือกได้จาก dip switch แต่เพื่อความสะดวกในการแก้ไขเปลี่ยนแปลงโปรแกรมควรจะใช้ RAM เป็นตัวเก็บโปรแกรมก่อน โดยการ BACK UP ข้อมูลของ RAM ไว้ด้วยการต่อ BATTERY หรือที่เรียกว่า การสร้าง ROM จาก RAM นั่นเอง ต่อเมื่อสามารถพัฒนาโปรแกรมได้สมบูรณ์แล้วก็อาจใช้ EPROM เก็บโปรแกรมถาวรเลย อีกทั้งยังมีพอร์ทเบอร์ 8255 ซึ่งมี RAM สามารถเก็บข้อมูลได้ 256 ไบท์ และยังประกอบด้วยพอร์ทที่สามารถโปรแกรมได้(PROGRAMMABLE I/O PORT) อีก 3 พอร์ท คือพอร์ท A, B, C, อย่างละ 8 ขา



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SOCKET 1 ใช้กับเบอร์ 2732,2764,6264

SOCKET 2 ใช้กับเบอร์ 6264 โดยจะสามารถ BACK-UP ข้อมูลได้ ถ้าต่อ BATTERY

SOCKET 3 ใช้กับเบอร์ 6116,6264 โดยเลือกได้จาก DIP SWITCH ตัวที่ 3,4

JP 1 สำหรับเลือกสถานะของ SOCKET 1 โดยถ้าต่อกับ WR(62) จะใช้กับ 6264 และ 2732 แต่ถ้าต่อกับ Vcc (27) จะใช้กับ 2764

JP 2 สำหรับเลือกเบอร์ PORT ของ 8255

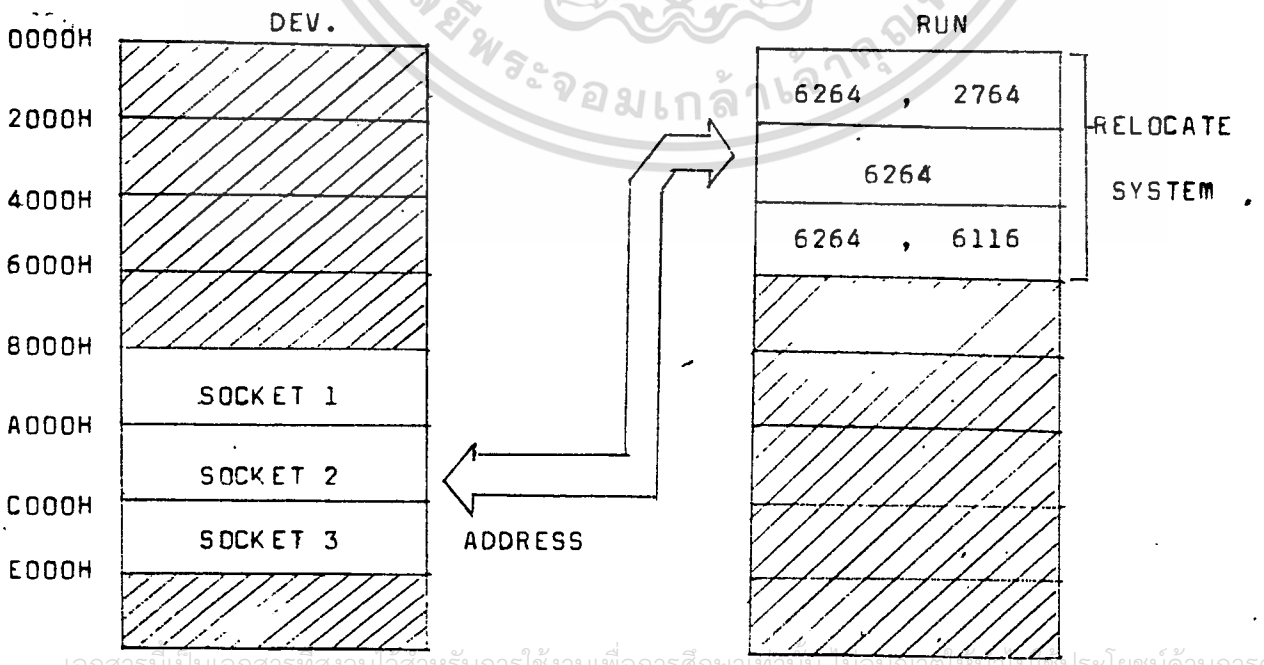
DIP 1 สำหรับเลือกโหมดในการใช้งาน DEV. คือโหมดในขณะทำการพัฒนา RUN คือโหมดสำหรับการใช้งาน

DIP 2 สำหรับดักหรือต่อความถี่ CLOCK ปกติจะใช้ร่วมกับตัวที่ 1 คือถ้าขณะทำการพัฒนาจะ OFF ไว้

DIP 3 เลือก SOCKET 3 ให้ใช้กับ 6264

DIP 4 เลือก SOCKET 4 ให้ใช้กับ 6116 (ตัวที่ 3,4 นี้จะ ON ตัวใดตัวหนึ่งเท่านั้น)

การจัดหน่วยความจำและ PORT



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การจัดหน่วยความจำของ CP-A นี้จะอ้าง ADDRESS เริ่มต้นที่ 0008 เพื่อให้ทำโปรแกรมได้สะดวกจากเครื่องแอปเปิ้ลและเมื่อจะนำโปรแกรมไปใช้งาน CP-A มีระบบ RELOCATE เพื่อให้หน่วยความจำไปเริ่มต้นที่ 0000 ได้(ในโหมด RUN) เพื่อให้เป็น ADDRESS ที่ทำงานเมื่อเริ่มเปิดเครื่องหรือกด RESET

ระบบ PORT จะทำการ DECODE ไว้ทั้งหมด 8 ช่วง และจะสามารถเลือกเบอร์ได้ 7 ตำแหน่ง โดยการ JUMP สายบนแผ่นปริ้น ซึ่งมีเบอร์ PORT ดังนี้

ตำแหน่ง	เบอร์ PORT
1	00 - 1F
2	20 - 3F
3	60 - 7F
4	80 - 9F
5	A0 - BF
6	C0 - DF
7	E0 - FF

ส่วนเบอร์ PORT 40 - 5F นั้น ไว้สำหรับการขยายได้อีกทางด้าน 8255 CONNECTOR

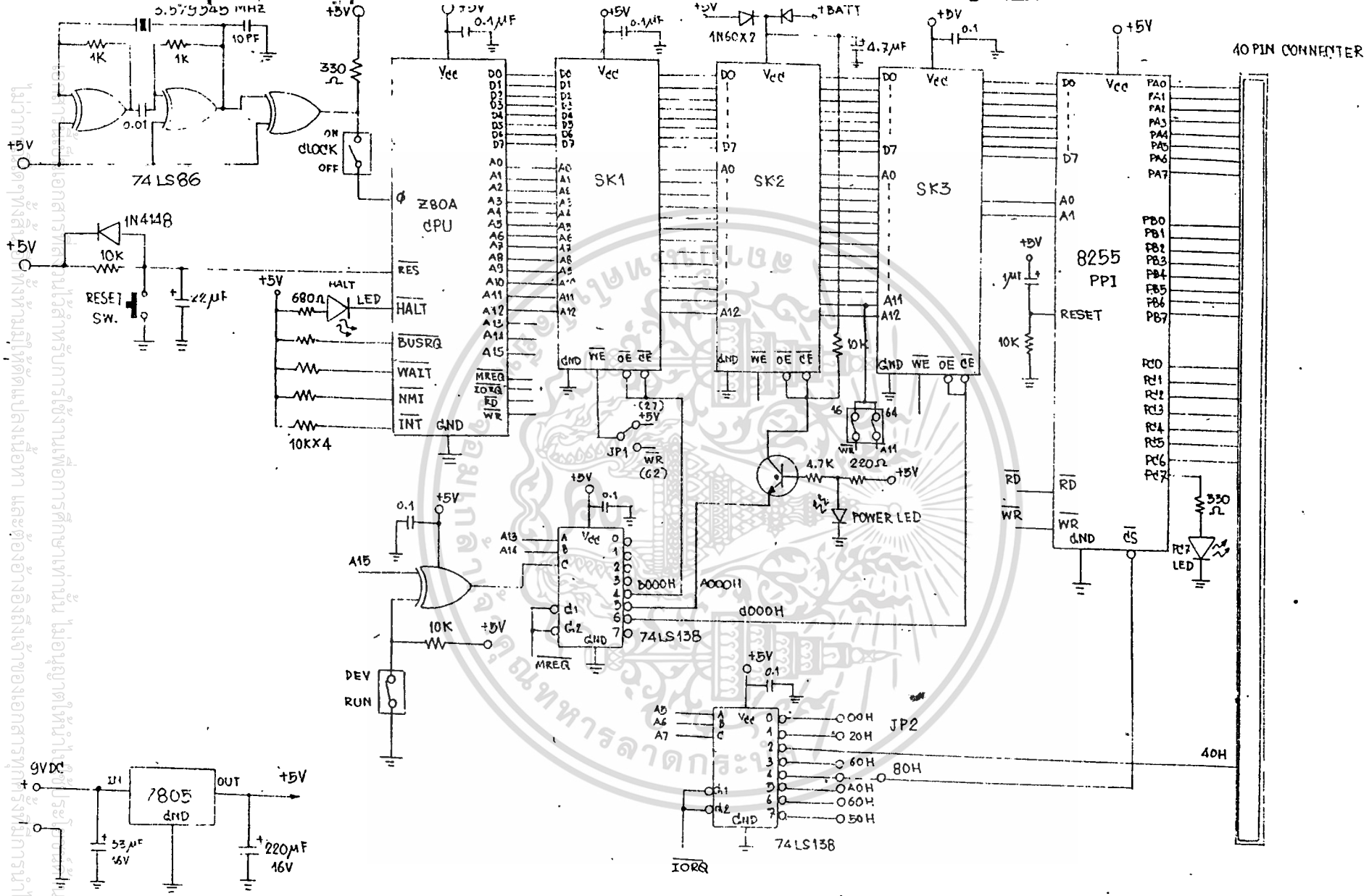
SPECIFICATION

CPU	Z-80A
MEMORY	6264/2764/2732 SOCKET (8 Kbyte at 8000H)
	6264 RAM (8 Kbyte at A000H) & BACKUP CIRCUIT
	6264/6116 SOCKET (8 Kbyte at e000H)
port	8255 I/o port (8*3 bit)
LED	1 POWER RED LED
	1 PC 7 PORT RED LED
	1 HALT GREEN LED
DIODE	2 1N60
TRANSISTOR	1 BC547

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TTL	3	74LS86 & 74LS138*2
REGULATOR	1	40-PIN EXPANSION HEADER-STRIP (Z80PIN)
	1	40-pin PERIPHERAL HEADER-STRIP (8255)
	1	2-PIN FOR DC 9 V SUPPLY
SWITCH	4	DIP SWITCH
		(RUN/DEVELOPE, CLOCK-ON, 6116, 6264 SELECT)
CLOCK RATE	3.57 MHz	
SUPPLY	COMSUMPTION 5V DC	
	MAIN INPUT 9-12V DC	
PCB SIZE	8.5 * 12 cm.	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



1995 Z80 CONTROL PACK – ADVANCE

บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

4.1 การทดลองความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วมอเตอร์กับเซนต์เซอร์

การทดลองนี้เป็นการทดสอบความเร็วของมอเตอร์เปรียบเทียบกับการตรวจจับของอุปกรณ์เซนต์เซอร์ที่ใช้จับเส้นเทปที่พื้น โดยอุปกรณ์เซนต์เซอร์จะคิดตามเส้นเทปและส่งผลออกมาเพื่อควบคุมมอเตอร์ให้ขับเคลื่อนไปได้ตรงตามเส้นเทป ซึ่งมีหลักการคือ เมื่อล้อซ้ายหน้าเบนไปทางซ้ายมันจะต้องเบนกลับทางขวาด้วยระยะเวลาเท่ากันจึงจะทำให้ระบบเดินทางได้เป็นเส้นตรง

ผลการทดลอง

ความเร็ว / ระยะเวลา	ความเร็ว "7"	ความเร็ว "8"	ความเร็ว "9"	ความเร็ว "10"	หมายเหตุ
10 mS	พอดี	หลุด	หลุด	หลุด	
20 mS	หลุด	พอดี	หลุด	หลุด	ความเร็วสูง
30 mS	หลุด	หลุด	พอดี	หลุด	กว่านี้จะไม
40 mS	หลุด	หลุด	หลุด	พอดี	สามารถควบคุมได

-การหลุดออกจากเส้นเกิดจากการที่ความเร็วในการบังคับทิศทาง ซึ่งไม่สัมพันธ์กับความเร็วขับเคลื่อนของหุ่นยนต์ โดยอาศัยการควบคุมจากโปรแกรม ซึ่งเขียนโดยค่า SET TIME ซึ่งเป็นค่าที่คงที่ แล้วทำการเพิ่มค่า SET TIME เพื่อให้สัมพันธ์กับความเร็วที่เพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การทดลองการหาจุดเริ่มต้นของล้อหน้า

การทดลองนี้เป็นการทดสอบอุปกรณ์เซ็นเซอร์อีกตัวหนึ่ง ซึ่งเป็นตัวตรวจสอบหาจุดเริ่มต้นของล้อหน้า โดยเมื่อค้นหาพบจุดเริ่มต้นได้แล้วล้อหน้าจึงจะหยุดล้อ

ตารางและผลการทดลอง

ตำแหน่งล้อหน้าก่อนเปิดเครื่อง (เทียบกับจุดเริ่มต้น)	ตำแหน่งหลังจากเปิดเครื่องแล้ว (เทียบกับจุดเริ่มต้น)
ซ้าย	ตรง
ตรง	ตรง
ขวา	ตรง

ผลการทดลอง

การหาจุดเริ่มต้นของล้อหน้า โดยใช้อุปกรณ์เซ็นเซอร์และมีลิมิต สวิชท์ เป็นตัวช่วยตรวจ จากการทดลองล้อหน้าจะหยุดที่จุดเริ่มต้นเสมอไม่ว่าตำแหน่งของล้อก่อนเปิดเครื่องจะอยู่ที่ตำแหน่งไหนก็ตาม โดยที่ตำแหน่งล้อหน้าเมื่ออยู่ข้างซ้ายหรือขวาก่อนเปิดเครื่องมันจะเคลื่อนล้อไปทางขวาเสมอจนกระทั่งมันไปแตะ ลิมิต สวิชท์ ล้อก็จะเคลื่อนมาตรงตำแหน่งจุดเริ่มต้นทันที หลังจากเปิดเครื่องแล้ว

4.3 การทดลองเซ็นเซอร์ความเร็ว,หมายเลขห้อง

การทดลองนี้เป็นการตรวจสอบอุปกรณ์เซ็นเซอร์ที่ใช้ตรวจจับเพื่อกำหนดความเร็วให้กับล้อหน้าซึ่งใช้ในการขับเคลื่อนขณะที่จะเข้าโค้ง และเซ็นเซอร์ที่ใช้ตรวจจับหมายเลขห้อง โดยเมื่อเจอเครื่องหมายต่างๆ เหล่านี้อุปกรณ์เซ็นเซอร์จะต้องทำงานได้ทันที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.1 <u>เซ็นเซอร์ความเร็ว</u>

นำเอาเส้นเทปสะท้อนแสงมาติดที่ไม้บรรทัดหรือแผ่นไม้ โดยเส้นเทปที่ติดเป็นชนิดเดียวกันกับเส้นเทปที่ติดพื้น ยกล้อหน้าของหุ่นยนต์ขึ้นให้ลอยอยู่เหนือพื้น จากนั้นเปิดเครื่องจนกระทั่งล้อหน้ามาอยู่ที่ตำแหน่งเริ่มต้น กดหมายเลขห้องและกดปุ่ม START ล้อหน้าจะหมุน นำเอาเส้นเทปที่ติดที่ไม้บรรทัดมาไว้ใต้เซ็นเซอร์ความเร็ว โดยครั้งแรกให้จ่อไว้แล้วดึงออก สังเกตแล้วบันทึกผล ครั้งที่สอง จากครั้งแรกให้จ่อเข้าไปอีกครั้งแล้วดึงออก สังเกตผลแล้วบันทึก

-<u>ครั้งแรก</u> เมื่อจ่อไว้ที่เซ็นเซอร์ความเร็ว ความเร็วล้อหน้าจะลดลง และจะเริ่มเลี้ยว โดยมีความเร็วคงที่ที่ค่าหนึ่งแต่น้อยกว่าตอนแรก

-<u>ครั้งที่สอง</u> เมื่อจ่อเข้าไปอีกครั้งหนึ่ง ความเร็วจะเพิ่มขึ้นและล้อจะหมุนกลับมาที่ตำแหน่งเดิมเมื่อตอนเริ่มต้น โดยความเร็วของมันจะคงที่ที่ความเร็วปกติ

4.3.2 <u>เซ็นเซอร์หมายเลขห้อง</u>

ปฏิบัติเหมือนกับการทดลองเซ็นเซอร์ความเร็ว แต่จ่อเส้นเทปที่ติดไว้บนไม้บรรทัดที่หมายเลขห้อง โดยสมมุติให้กดเลขห้องที่หมายเลข 2 ทำการทดลองบันทึกผล

-จากผลการทดลอง เมื่อจ่อไม้บรรทัดแล้วดึงออกมาครั้งแรกล้อหน้าจะยังคงหมุนด้วยความเร็วปกติ เมื่อจ่อครั้งที่สองล้อหน้าจะหยุดทันที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปและวิจารณ์

ด้านกลไก

ดังที่ได้กล่าวมาแล้วว่า โครงงานนี้ได้ตัดสินใจเลือกระบบการทำงานทางกลไกแบบที่ 2 ซึ่งมีการแยกมอเตอร์ขับเคลื่อนและทิศทาง โดยมอเตอร์ขับเคลื่อนและบังคับทิศทางจะถูกติดตั้งไว้ที่ล้อหน้าเพียงล้อเดียว ส่วนล้อหลังจะปล่อยไว้อิสระมอเตอร์ทั้งคู่ที่ติดตั้งไว้ที่ล้อหน้าจะมีการติดตั้งเป็นแกนที่สามารถทำหน้าที่ได้เฉพาะตัวกล่าวคือ มอเตอร์ตัวหนึ่งบังคับทิศทางมอเตอร์อีกตัวก็ขับเคลื่อน แต่ถึงอย่างไรก็ตามหุ่นยนต์นี้ก็ยังมีข้อดีและข้อเสียอยู่นั้นเอง ซึ่งอาจจะกล่าวได้ดังนี้

-การที่มอเตอร์มีการคลอนเกิดขึ้นที่เพลาของมอเตอร์บังคับทิศทางทำให้การบังคับทิศทางของหุ่นยนต์ให้วิ่งไปบนเส้นเทปได้ตรงเป็นไปได้ยาก จึงต้องออกแบบโปรแกรมเพื่อชดเชยค่าตาคเคลื่อนตัวนี้

-การที่มอเตอร์มีการคลอนเกิดขึ้นที่เพลาของมอเตอร์ขับเคลื่อนทำให้ล้อไม่ได้สมดุลย์ จึงอาจเป็นเหตุให้ล้อเบนออกจากเส้นเทปได้ ดังนั้นโปรแกรมที่ใช้ควบคุมจึงต้องมีการตอบสนองที่สัมพันธ์กันระหว่างความเร็วของมอเตอร์ขับเคลื่อนกับอุปกรณ์เซ็นเซอร์

-การใช้ชิ้นส่วนกลไกการขับเคลื่อนและบังคับทิศทางที่มีจำนวนน้อยชิ้น ทำให้มอเตอร์สามารถส่งกำลังได้โดยตรงและมีการสูญเสียกำลังงานการถ่ายทอดต่ำ ซึ่งจะเป็นผลให้มอเตอร์และแบตเตอรี่มีอายุการใช้งานยาวนานขึ้น

-การจัดให้มอเตอร์ขับเคลื่อนและมอเตอร์ควบคุมทิศทางอยู่บนชุดเดียวกัน ทำให้การควบคุมเป็นไปได้ง่ายกว่าการแยกออกจากกัน

-วัสดุอุปกรณ์และชิ้นส่วนทางกลไกที่ใช้กับหุ่นยนต์ตัวนี้ สามารถหาซื้อได้ตามท้องตลาดและมีราคาถูก ทำให้สะดวกต่อการสร้างและประหยัดค่าใช้จ่าย แต่ชิ้นส่วนบางตัวจะต้องทำการดัดแปลงหรือสร้างขึ้นใหม่ ซึ่งมีเพียงส่วนน้อยเท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ด้านการควบคุม

ในการควบคุมหุ่นยนต์ตัวนี้ มีการนำเอาวงจรต่างๆ มาประกอบร่วมกัน ซึ่งแต่ละวงจรก็จะมีข้อดีของแต่ละวงจร ทำให้การทำงานร่วมกันมีประสิทธิภาพสูงขึ้น โดยในการควบคุมนี้มีการนำเอาไมโครโปรเซสเซอร์มาใช้เพื่อควบคุมส่วนต่างๆ ของแต่ละวงจร ในการใช้ไมโครโปรเซสเซอร์กับหุ่นยนต์นี้ได้พิจารณาเลือกใช้ ซีพียู. เบอร์ z-80 ซึ่งเป็นไมโครโปรเซสเซอร์ขนาด 8 บิท ที่ได้รับความนิยมแพร่หลาย วงจรของส่วนควบคุมที่นำมาประกอบร่วมกันมีข้อดีและข้อเสียซึ่งสามารถที่จะกล่าวได้ดังต่อไปนี้

-การใช้ไมโครโปรเซสเซอร์มาเป็นตัวควบคุมการทำงานของส่วนต่างๆ ซึ่งมีการทำงานที่แตกต่างกันออกไปของแต่ละวงจรนั้น ไมโครโปรเซสเซอร์จะทำการควบคุมส่วนต่างๆ ทั้งหมด จึงมีความคล่องตัวในการทำงานสูงและทำงานได้รวดเร็วเพราะมันจะมีการประมวลผลภายในตัวของมันเอง

-การใช้ไมโครโปรเซสเซอร์ โดยเลือก ซีพียู. เบอร์ z-80 นั้น เพราะมันมีชุดคำสั่งให้ใช้ได้มากมาย มีการประมวลผลเร็ว ราคาไม่แพงและสะดวกต่อการประกอบใช้งาน

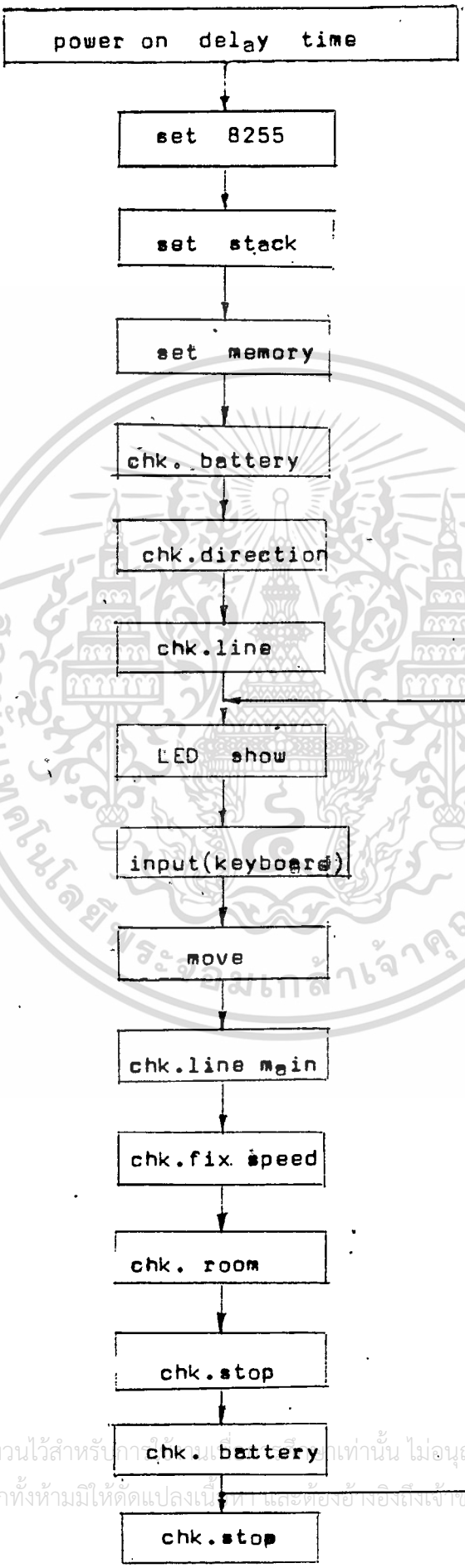
-การใช้วงจรบริดจ์ในการควบคุมทิศทางการเคลื่อนที่ของมอเตอร์ทิศทาง ทำให้การควบคุมการทำงานมีประสิทธิภาพสูง โดยมันสามารถที่จะหยุดหรือชับเคลื่อนมอเตอร์ได้ในตำแหน่งที่แน่นอนและแม่นยำสูง

-การใช้วงจรดิจิตอลในการกำเนิดพัลซ์และใช้วงจรอนาลอกเป็นภาคขับในส่วนของการควบคุมความเร็วมอเตอร์ โดยแต่ละวงจรจะมีความสัมพันธ์กันในการทำงาน เมื่อมีการป้อนอินพุทเข้ามาส่วนของดิจิตอลจะทำงานก่อน แล้วจึงส่งให้ส่วนของอนาลอกเป็นภาคสุดท้าย ทำให้การทำงานมีความแน่นอนและประสิทธิภาพสูง แต่ถ้าส่วนหนึ่งส่วนใดเสียหรือผิดพลาดก็จะทำให้การทำงานหยุดชงักหรือผิดพลาดไปด้วย

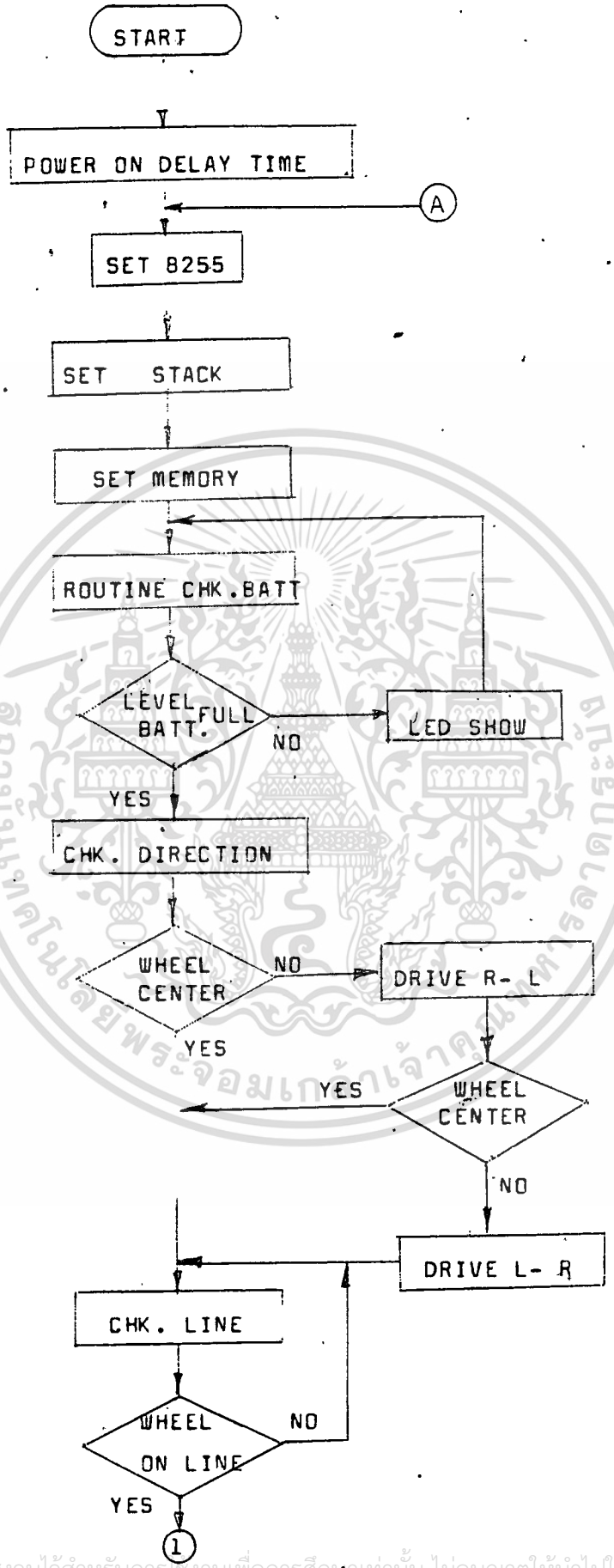
-การใช้แหล่งจ่ายไฟที่ป้อนให้กับวงจรต่างๆ มีหลายค่าจะทำให้สับสนและยุ่งยากต่อการดัดแปลง แต่ในหุ่นยนต์ตัวนี้จะพิจารณาใช้เพียงไฟเลี้ยง 2 ค่าคือ 12 โวลท์, 5 โวลท์ เท่านั้น จึงต้องแปลงไฟเพียงที่ระดับ 5 โวลท์ เท่านั้น ทำให้สะดวกต่อการใช้งานและประหยัด โดยวงจรที่ใช้ขับหุ่นยนต์ตัวนี้สามารถจ่ายไฟได้คงที่และจ่ายไฟได้สูงด้วย

-ส่วนของการเซ็นเซอร์จะมีการเลือกใช้ออฟโต้ที่เหมาะสมกับงานในการเซ็นเซอร์งานแต่ละประเภทที่ต้องการมุมสะท้อนกว้างหรือแคบ นำมาประยุกต์กับหุ่นยนต์ตัวนี้

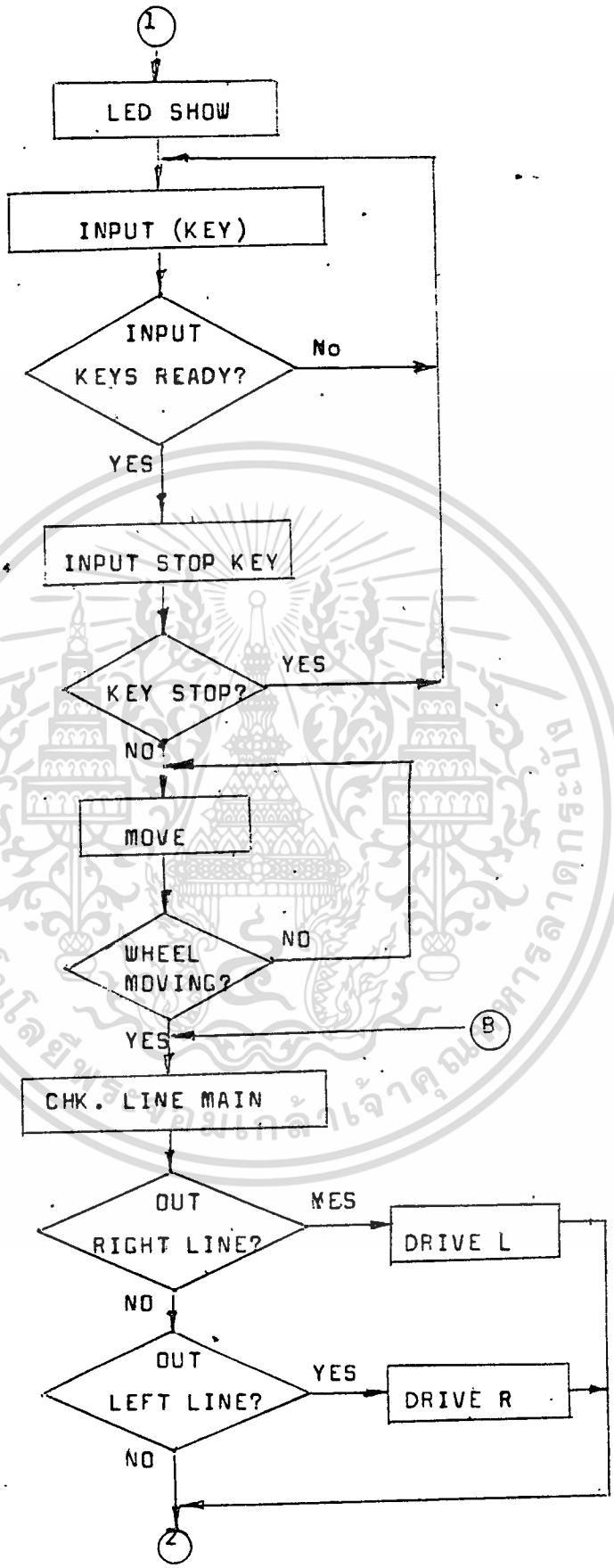
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



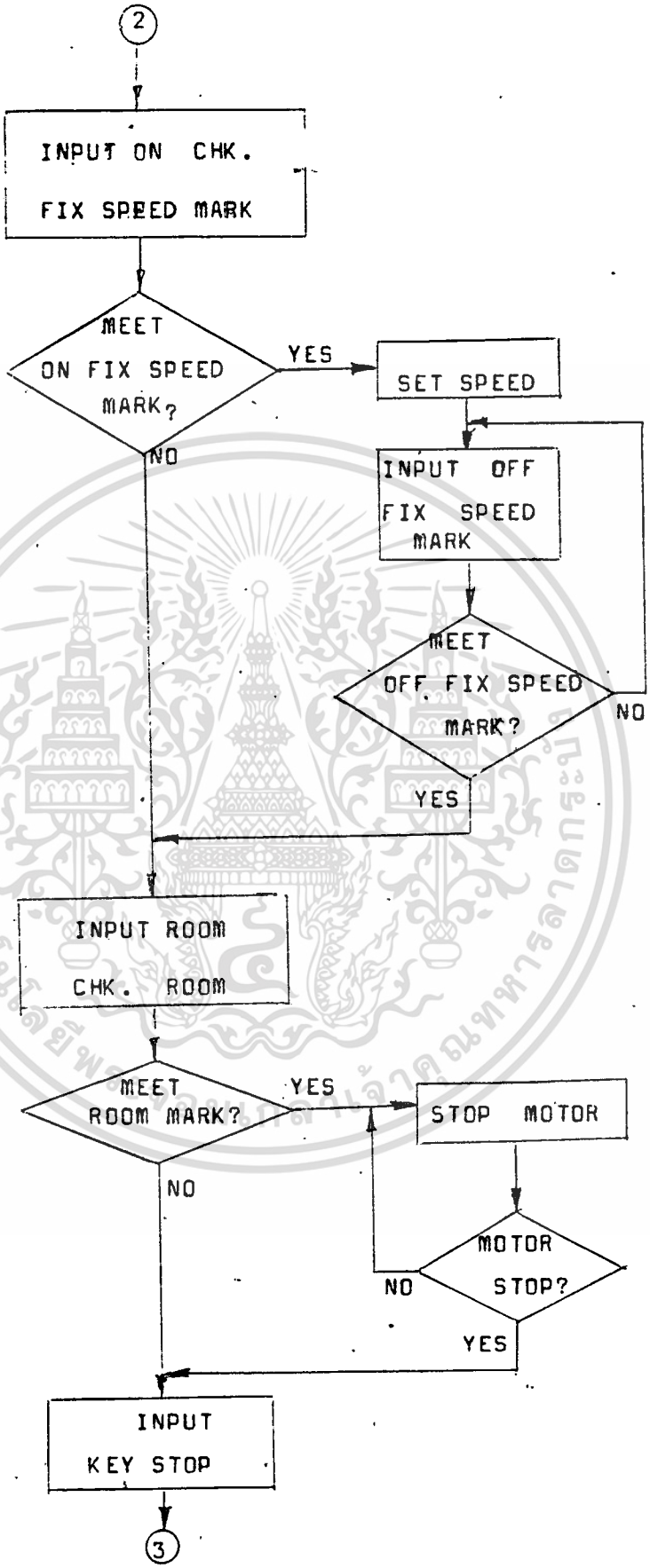
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



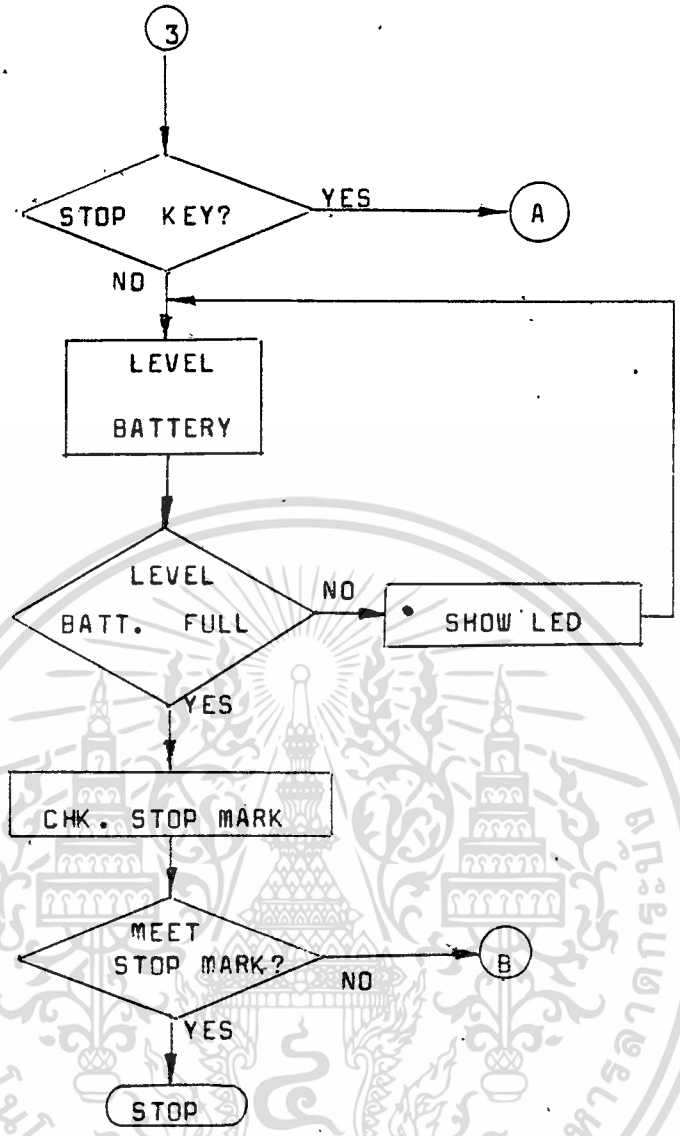
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
:PR#1
:ASM

                    1000 ************************
                    1010 *:::::::::::::::::::::::*
                    1020 *: PROGRAM MINI ROBOT :*
                    1030 *:::::::::::::::::::::::*
                    1040 ************************
                    1050 *
                    1060 *         POWER ON
                    1070 *
                    1080          .OR   00H
                    1090          .TA   4000H
0000- 0E 00         1100          LD    C,00H
0002- 06 00         1110 LOOP0    LD    B,00H
0004- 10 FE         1120 .1       DJNZ  .1
0006- 0D            1130          DEC   C
0007- 20 F9         1140          JR    NZ,LOOP0
                    1150 *
                    1160 *  SET-8255
                    1170 *
0009- 3E 92         1180          LD    A,92H
000B- D3 03         1190          OUT   (03H),A
000D- 3E 00         1200          LD    A,00H
000F- D3 02         1210          OUT   (PORTC),A
                    1220 *
                    1230 *  SET-STACK
                    1240 *
0011- 31 00 40      1250          LD    SP,4000H
                    1260 *
                    1270 *  SET-MERORY
                    1280 *
0014- 3E 00         1290          LD    A,00H
0016- 32 00 20      1300          LD    (DATA0),A
0019- 3E AA         1310          LD    A,0AAH
001B- 32 02 20      1320          LD    (DATA8),A
001E- 32 04 20      1330          LD    (DATAF),A
0021- C3 A6 0E      1340          JP    MAIN1
                    1350 *
                    1360 *  ROUTINE-DELAY TIME
                    1370 *
0024- 11 00 24      1380 DELAY1   LD    DE,COMST1
0027- 1B            1390 D1       DEC   DE
0028- 7A            1400          LD    A,D
0029- B3            1410          OR    E
002A- C2 27 00      1420          JP    NZ,D1
002D- C9            1430          RET
                    1440 *
002E- 11 00 70      1450 DELAY2   LD    DE,COMST2
0031- 1B            1460 D2       DEC   DE
0032- 7A            1470          LD    A,D
0033- B3            1480          OR    E
0034- C2 31 00      1490          JP    NZ,D2
0037- C9            1500          RET
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                        1510 *
0038- 0E 00             1520 DELAY3 LD    C,00H
003A- 06 00             1530 Y1     LD    B,00H
003C- 10 FE             1540 W2     DJNZ  W2
003E- 0D                1550        DEC   C
003F- 20 F9             1560        JR    NZ,Y1
0041- C9                1570        RET
                        1580 *
0042- 11 34 82          1590 DELAY5 LD    DE,8234H
0045- 1B                1600 DEX    DEC   DE
0046- 7A                1610        LD    A,D
0047- B3                1620        OR    E
0048- C2 45 00          1630        JP    NZ,DEX
004B- C9                1640        RET
                        1650 *
004C- 11 19 41          1660 DELAY6 LD    DE,4119H
004F- 1B                1670 DEX1   DEC   DE
0050- 7A                1680        LD    A,D
0051- B3                1690        OR    E
0052- C2 4F 00          1700        JP    NZ,DEX1
0055- C9                1710        RET
                        1720 *
0056- 11 80 20          1730 DELAY7 LD    DE,2080H
0059- 1B                1740 DEX2   DEC   DE
005A- 7A                1750        LD    A,D
005B- B3                1760        OR    E
005C- C2 59 00          1770        JP    NZ,DEX2
005F- C9                1780        RET
                        1790 *
0060- 06 04             1800 DELAY4 LD    B,4
0062- 21 00 8C          1810 DEL    LD    HL,8C00H
0065- 22 0A 20          1820        LD    (TIME),HL
0068- CD 6E 00          1830        CALL  DELAY.25.6
006B- 10 F5             1840        DJNZ  DEL
006D- C9                1850        RET
                        1860 *
                        1870 DELAY.25.6
006E- 2A 0A 20          1880        LD    HL,(TIME)
0071- 7D                1890 DE2    LD    A,L
0072- 00                1900 DE1    NOP
0073- 00                1910        NOP
0074- 3D                1920        DEC   A
0075- C2 72 00          1930        JP    NZ,DE1
0078- 25                1940        DEC   H
0079- 20 F6             1950        JR    NZ,DE2
007B- C9                1960        RET
007C- CD 60 00          1970 MAKE1  CALL  DELAY4
007F- 3E 00             1980        LD    A,00H
0081- D3 02             1990        OUT   (PORTC),A
0083- CD 38 00          2000        CALL  DELAY3
0086- C9                2010        RET
                        2020 *
0087- CD 24 00          2030 MAKE2  CALL  DELAY1
008A- CD 24 00          2040        CALL  DELAY1
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
008D- CD 24 00 2050          CALL  DELAY1
0090- CD 24 00 2060          CALL  DELAY1
0093- 3E 00    2070          LD    A,00H
0095- D3 02    2080          OUT   (PORTC),A
0097- CD 24 00 2090          CALL  DELAY1
009A- CD 24 00 2100          CALL  DELAY1
009D- C9       2110          RET
               2120 *
               2130 *
               2140 *  ROUTINE-CH.BATARY
               2150 *
009E- CD 24 00 2160 CH.B     CALL  DELAY1
00A1- DB 01    2170          IN    A,(PORTB)
00A3- CB 77    2180          BIT   6,A
00A5- CA A6 05 2190          JP    Z,MAIN1
00A8- 3E 80    2200          LD    A,80H
00AA- D3 02    2210 NA       OUT   (PORTC),A
00AC- C3 AA 00 2220          JP    NA
               2230 *
               2240 *ROUTINE-CH.D
               2250 *
00AF- 3E 10    2260 CH.D     LD    A,10H
00B1- D3 02    2270          OUT   (PORTC),A
00B3- CD 7C 00 2280          CALL  MAKE1
00B6- DB 01    2290          IN    A,(PORTB)
00B8- CB 67    2300          BIT   4,A
00BA- C2 B4 05 2310          JP    NZ,MAIN3
00BD- CB 7F    2320          BIT   7,A
00BF- CA C5 00 2330          JP    Z,REW
00C2- C3 AF 00 2340          JP    CH.D
00C5- 3E 20    2350 REW      LD    A,20H
00C7- D3 02    2360          OUT   (PORTC),A
00C9- CD 87 00 2370          CALL  MAKE2
00CC- DB 01    2380          IN    A,(PORTB)
00CE- CB 67    2390          BIT   4,A
00D0- C2 B4 05 2400          JP    NZ,MAIN3
00D3- 18 F0    2410          JR    REW
               2420 *
               2430 *  ROUTINE-CHECK LINE
               2440 *
00D5- 3E 80    2450 CH.L     LD    A,80H
00D7- D3 02    2460          OUT   (PORTC),A
00D9- CD 7C 00 2470          CALL  MAKE1
00DC- C3 B4 05 2480          JP    MAIN3
               2490 *
               2500 *  ROUTINE-CHECK.KEY
               2510 *
00DF- CD 24 00 2520 CH.KC    CALL  DELAY1
00E2- DB 00    2530          IN    A,(PORTA)
00E4- CB 47    2540          BIT   0,A
00E6- C2 C7 05 2550          JP    NZ,MAIN4
00E9- 3E 00    2560          LD    A,KEYC
00EB- 32 06 20 2570          LD
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                                                (ROOM),A
00EE- C3 39 01 2580            JP    LOOPR
               2590 *
00F1- CD 24 00 2600 CH.K1      CALL  DELAY1
00F4- DB 00    2610            IN    A,(PORTA)
00F6- CB 4F    2620            BIT   1,A
00F8- C2 C7 05 2630            JP    NZ,MAIN4
00FB- 3E 01    2640            LD    A,KEY1
00FD- 32 06 20 2650            LD    (ROOM),A
0100- C3 39 01 2660            JP    LOOPR
               2670 *
0103- CD 24 00 2680 CH.K2      CALL  DELAY1
0106- DB 00    2690            IN    A,(PORTA)
0108- CB 57    2700            BIT   2,A
010A- C2 C7 05 2710            JP    NZ,MAIN4
010D- 3E 02    2720            LD    A,KEY2
010F- 32 06 20 2730            LD    (ROOM),A
0112- C3 39 01 2740            JP    LOOPR
               2750 *
0115- CD 24 00 2760 CH.K3      CALL  DELAY1
0118- DB 00    2770            IN    A,(PORTA)
011A- CB 5F    2780            BIT   3,A
011C- C2 C7 05 2790            JP    NZ,MAIN4
011F- 3E 03    2800            LD    A,KEY3
0121- 32 06 20 2810            LD    (ROOM),A
0124- C3 39 01 2820            JP    LOOPR
               2830 *
0127- CD 24 00 2840 CH.K4      CALL  DELAY1
012A- DB 00    2850            IN    A,(PORTA)
012C- CB 67    2860            BIT   4,A
012E- C2 C7 05 2870            JP    NZ,MAIN4
0131- 3E 04    2880            LD    A,KEY4
0133- 32 06 20 2890            LD    (ROOM),A
0136- C3 39 01 2900            JP    LOOPR
               2910 *
0139- DB 00    2920 LOOPR      IN    A,(PORTA)
013B- CB 77    2930            BIT   6,A
013D- CA 47 01 2940            JP    Z,LOOPR1
0140- CB 7F    2950 01         BIT   7,A
0142- 28 0F    2960            JR    Z,LOOPR2
0144- C3 39 01 2970            JP    LOOPP
               2980 *
0147- CD 24 00 2990 LOOPR1     CALL  DELAY1
014A- DB 00    3000            IN    A,(PORTA)
014C- CB 77    3010            BIT   6,A
014E- 28 F0    3020            JR    Z,01
0150- C3 ED 05 3030            JP    MAIN5
               3040 *
0153- CD 24 00 3050 LOOPR2     CALL  DELAY1
0156- DB 00    3060            IN    A,(PORTA)
0158- CB 7F    3070            BIT   7,A
015A- 28 DD    3080            JR    Z,LOOPR
015C- C3 B4 05 3090            JP    MAIN3
               3100 *
               3110 *  ROUTINE-CH.LINE.M
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                        3120 *
015F- 06 00             3130 CH.LL  LD    B,00H
0161- 3A 00 20          3140 K1     LD    A,(DATA0)
0164- CB E7             3150        SET   4,A
0166- D3 02             3160        OUT   (PORTC),A
0168- 32 00 20          3170        LD    (DATA0),A
016B- CD 2E 00          3180        CALL  DELAY2
016E- CD 2E 00          3190        CALL  DELAY2
0171- CD 2E 00          3200        CALL  DELAY2
0174- CD 2E 00          3210        CALL  DELAY2
0177- CD 2E 00          3220        CALL  DELAY2
017A- CD 2E 00          3230        CALL  DELAY2
017D- CD 2E 00          3240        CALL  DELAY2
0180- CD 2E 00          3250        CALL  DELAY2
0183- CD 2E 00          3260        CALL  DELAY2
0186- CD 2E 00          3270        CALL  DELAY2
0189- CD 2E 00          3280        CALL  DELAY2
018C- CD 2E 00          3290        CALL  DELAY2
018F- CD 2E 00          3300        CALL  DELAY2
0192- CD 2E 00          3310        CALL  DELAY2
0195- CD 2E 00          3320        CALL  DELAY2
0198- CD 2E 00          3330        CALL  DELAY2
019B- CD 2E 00          3340        CALL  DELAY2
019E- CD 2E 00          3350        CALL  DELAY2
01A1- CD 2E 00          3360        CALL  DELAY2
01A4- CD 2E 00          3370        CALL  DELAY2
01A7- 3A 00 20          3380        LD    A,(DATA0)
01AA- CB A7             3390        RES   4,A
01AC- D3 02             3400        OUT   (PORTC),A
01AE- 32 00 20          3410        LD    (DATA0),A
01B1- CD 2E 00          3420        CALL  DELAY2
01B4- CD 2E 00          3430        CALL  DELAY2
01B7- CD 2E 00          3440        CALL  DELAY2
01BA- CD 2E 00          3450        CALL  DELAY2
01BD- CD 2E 00          3460        CALL  DELAY2
01C0- CD 2E 00          3470        CALL  DELAY2
01C3- CD 2E 00          3480        CALL  DELAY2
01C6- CD 2E 00          3490        CALL  DELAY2
01C9- CD 2E 00          3500        CALL  DELAY2
01CC- CD 2E 00          3510        CALL  DELAY2
01CF- 10 90             3520        DJNZ  K1
01D1- C3 D4 01          3530        JP    K2
                        3540 *
01D4- 06 00             3550 K2     LD    B,00H
01D6- 3A 00 20          3560 K3     LD    A,(DATA0)
01D9- CB EF             3570        SET   5,A
01DB- D3 02             3580        OUT   (PORTC),A
01DD- 32 00 20          3590        LD    (DATA0),A
01E0- CD 2E 00          3600        CALL  DELAY2
01E3- CD 2E 00          3610        CALL  DELAY2
01E6- CD 2E 00          3620        CALL  DELAY2
01E9- CD 2E 00          3630        CALL  DELAY2
01EC- CD 2E 00          3640        CALL  DELAY2
01EF- CD 2E 00          3650        CALL  DELAY2
01F2- CD 2E 00          3660        CALL  DELAY2
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
01F5- CD 2E 00 3670          CALL DELAY2
01F8- CD 2E 00 3680          CALL DELAY2
01FB- CD 2E 00 3690          CALL DELAY2
01FE- CD 2E 00 3700          CALL DELAY2
0201- CD 2E 00 3710          CALL DELAY2
0204- CD 2E 00 3720          CALL DELAY2
0207- CD 2E 00 3730          CALL DELAY2
020A- CD 2E 00 3740          CALL DELAY2
020D- CD 2E 00 3750          CALL DELAY2
0210- CD 2E 00 3760          CALL DELAY2
0213- CD 2E 00 3770          CALL DELAY2
0216- CD 24 00 3780          CALL DELAY1
0219- 3A 00 20 3790          LD   A,(DATA0)
021C- CB AF    3800          RES  5,A
021E- D3 02    3810          OUT  (PORTC),A
0220- 32 00 20 3820          LD   (DATA0),A
0223- CD 2E 00 3830          CALL DELAY2
0226- CD 2E 00 3840          CALL DELAY2
0229- CD 2E 00 3850          CALL DELAY2
022C- CD 2E 00 3860          CALL DELAY2
022F- CD 2E 00 3870          CALL DELAY2
0232- CD 2E 00 3880          CALL DELAY2
0235- CD 2E 00 3890          CALL DELAY2
0238- CD 2E 00 3900          CALL DELAY2
023B- CD 2E 00 3910          CALL DELAY2
023E- CD 2E 00 3920          CALL DELAY2
0241- CD 2E 00 3930          CALL DELAY2
0244- 10 90    3940          DJNZ K3
0246- C3 FB 05 3950          JP   MAIN7
               3960 *
0249- 06 00    3970 CH.LR    LD   B,00H
024B- 3A 00 20 3980 K4       LD   A,(DATA0)
024E- CB EF    3990          SET  5,A
0250- D3 02    4000          OUT  (PORTC),A
0252- 32 00 20 4010          LD   (DATA0),A
0255- CD 2E 00 4020          CALL DELAY2
0258- CD 2E 00 4030          CALL DELAY2
025B- CD 2E 00 4040          CALL DELAY2
025E- CD 2E 00 4050          CALL DELAY2
0261- CD 2E 00 4060          CALL DELAY2
0264- CD 2E 00 4070          CALL DELAY2
0267- CD 2E 00 4080          CALL DELAY2
026A- CD 2E 00 4090          CALL DELAY2
026D- CD 2E 00 4100          CALL DELAY2
0270- CD 2E 00 4110          CALL DELAY2
0273- CD 2E 00 4120          CALL DELAY2
0276- CD 2E 00 4130          CALL DELAY2
0279- CD 2E 00 4140          CALL DELAY2
027C- CD 2E 00 4150          CALL DELAY2
027F- CD 2E 00 4160          CALL DELAY2
0282- CD 2E 00 4170          CALL DELAY2
0285- CD 2E 00 4180          CALL DELAY2
0288- CD 2E 00 4190          CALL DELAY2
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
028B- CD 2E 00 4200          CALL DELAY2
028E- CD 2E 00 4210          CALL DELAY2
0291- CD 2E 00 4220          CALL DELAY2
0294- CD 2E 00 4230          CALL DELAY2
0297- CD 2E 00 4240          CALL DELAY2
029A- CD 2E 00 4250          CALL DELAY2
029D- CB AF    4260          RES  5,A
029F- D3 02    4270          OUT  (PORTC),A
02A1- 32 00 20 4280          LD   (DATA0),A
02A4- CD 2E 00 4290          CALL DELAY2
02A7- CD 2E 00 4300          CALL DELAY2
02AA- CD 2E 00 4310          CALL DELAY2
02AD- CD 2E 00 4320          CALL DELAY2
02B0- CD 2E 00 4330          CALL DELAY2
02B3- CD 2E 00 4340          CALL DELAY2
02B6- CD 2E 00 4350          CALL DELAY2
02B9- CD 2E 00 4360          CALL DELAY2
02BC- CD 2E 00 4370          CALL DELAY2
02BF- CD 2E 00 4380          CALL DELAY2
02C2- CD 2E 00 4390          CALL DELAY2
02C5- 10 B4    4400          DJNZ K4
02C7- C3 CA 02 4410          JP   K5
               4420 *
02CA- 06 00    4430 K5       LD   B,00H
02CC- 3A 00 20 4440 K6       LD   A,(DATA0)
02CF- CB E7    4450          SET  4,A
02D1- D3 02    4460          OUT  (PORTC),A
02D3- 32 00 20 4470          LD   (DATA0),A
02D6- CD 2E 00 4480          CALL DELAY2
02D9- CD 2E 00 4490          CALL DELAY2
02DC- CD 2E 00 4500          CALL DELAY2
02DF- CD 2E 00 4510          CALL DELAY2
02E2- CD 2E 00 4520          CALL DELAY2
02E5- CD 2E 00 4530          CALL DELAY2
02E8- CD 2E 00 4540          CALL DELAY2
02EB- CD 2E 00 4550          CALL DELAY2
02EE- CD 2E 00 4560          CALL DELAY2
02F1- CD 2E 00 4570          CALL DELAY2
02F4- CD 2E 00 4580          CALL DELAY2
02F7- CD 24 00 4590          CALL DELAY1
02FA- CD 2E 00 4600          CALL DELAY2
02FD- CD 2E 00 4610          CALL DELAY2
0300- 3A 00 20 4620          LD   A,(DATA0)
0303- CB A7    4630          RES  4,A
0305- D3 02    4640          OUT  (PORTC),A
0307- 32 00 20 4650          LD   (DATA0),A
030A- CD 2E 00 4660          CALL DELAY2
030D- CD 2E 00 4670          CALL DELAY2
0310- CD 2E 00 4680          CALL DELAY2
0313- CD 2E 00 4690          CALL DELAY2
0316- CD 2E 00 4700          CALL DELAY2
0319- CD 2E 00 4710          CALL DELAY2
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
031C- CD 2E 00 4720          CALL DELAY2
031F- CD 2E 00 4730          CALL DELAY2
0322- 10 A8    4740          DJNZ K6
0324- C3 FB 05 4750          JP   MAIN7
               4760 *
               4770 *  ROUTINE-FIX.S
               4780 *
0327- DB 01    4790 CH.F     IN   A,(PORTB)
0329- CB 57    4800          BIT  2,A
032B- C2 27 03 4810          JP   NZ,CH.F
032E- C3 58 03 4820          JP   S2
               4830 *
               4840 *  ROUTINE-CH.ROOM
               4850 *
0331- DB 01    4860 CH.R     IN   A,(PORTB)
0333- CB 6F    4870          BIT  5,A
0335- C2 31 03 4880          JP   NZ,CH.R
0338- 3A 08 20 4890          LD   A,(DATAC)
033B- 4F       4900          LD   C,A
033C- 3A 06 20 4910          LD   A,(ROOM)
033F- B9       4920          CP   C
0340- CA 4B 03 4930          JP   Z,S3
0343- 0C       4940          INC- C
0344- 79       4950          LD   A,C
0345- 32 08 20 4960          LD   (DATAC),A
0348- C3 ED 05 4970          JP   MAIN5
034B- 3E 00    4980 S3       LD   A,00H
034D- D3 02    4990          OUT  (PORTC),A
034F- CD 42 00 5000          CALL DELAY5
0352- CD 42 00 5010          CALL DELAY5
0355- C3 B4 05 5020          JP   MAIN3
0358- 06 07    5030 S2       LD   B,07H
035A- 3E 00    5040          LD   A,00H
035C- 32 00 20 5050          LD   (DATA0),A
035F- D3 02    5060          OUT  (PORTC),A
0361- CD 42 00 5070 S8       CALL DELAY5
0364- 10 FB    5080          DJNZ S8
0366- C3 69 03 5090          JP   J1
               5100 *
               5110 *
0369- 06 02    5120 J1       LD   B,02H
036B- 3A 00 20 5130 H1       LD   A,(DATA0)
036E- CB EF    5140          SET  5,A
0370- D3 02    5150          OUT  (PORTC),A
0372- CD 42 00 5160          CALL DELAY5
0375- 10 F4    5170          DJNZ H1
0377- C3 5B 05 5180          JP   J3
               5190 *
037A- 06 00    5200 CH.LL1   LD   B,00H
037C- 3A 00 20 5210 P1       LD   A,(DATA0)
037F- CB E7    5220          SET  4,A
0381- D3 02    5230          OUT  (PORTC),A
0383- 32 00 20 5240          LD   (DATA0),A
0386- CD 2E 00 5250          CALL DELAY2
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
0389- CD 2E 00 5260          CALL DELAY2
038C- CD 2E 00 5270          CALL DELAY2
038F- CD 2E 00 5280          CALL DELAY2
0392- CD 2E 00 5290          CALL DELAY2
0395- CD 2E 00 5300          CALL DELAY2
0398- CD 2E 00 5310          CALL DELAY2
039B- CD 2E 00 5320          CALL DELAY2
039E- CD 2E 00 5330          CALL DELAY2
03A1- CD 2E 00 5340          CALL DELAY2
03A4- CD 2E 00 5350          CALL DELAY2
03A7- CD 2E 00 5360          CALL DELAY2
03AA- CD 2E 00 5370          CALL DELAY2
03AD- CD 2E 00 5380          CALL DELAY2
03B0- CD 2E 00 5390          CALL DELAY2
03B3- CD 2E 00 5400          CALL DELAY2
03B6- CD 2E 00 5410          CALL DELAY2
03B9- CD 2E 00 5420          CALL DELAY2
03BC- CD 2E 00 5430          CALL DELAY2
03BF- CD 2E 00 5440          CALL DELAY2
03C2- 3A 00 20 5450          LD   A,(DATA0)
03C5- CB A7    5460          RES  4,A
03C7- D3 02    5470          OUT  (PORTC),A
03C9- 32 00 20 5480          LD   (DATA0),A
03CC- CD 2E 00 5490          CALL DELAY2
03CF- CD 2E 00 5500          CALL DELAY2
03D2- CD 2E 00 5510          CALL DELAY2
03D5- CD 2E 00 5520          CALL DELAY2
03D8- CD 2E 00 5530          CALL DELAY2
03DB- CD 2E 00 5540          CALL DELAY2
03DE- CD 2E 00 5550          CALL DELAY2
03E1- CD 2E 00 5560          CALL DELAY2
03E4- CD 2E 00 5570          CALL DELAY2
03E7- CD 2E 00 5580          CALL DELAY2
03EA- 10 90    5590          DJNZ P1
03EC- C3 EF 03 5600          JP   P2
               5610 ;
03EF- 06 00    5620 P2       LD   B,00H
03F1- 3A 00 20 5630 P3       LD   A,(DATA0)
03F4- CB EF    5640          SET  5,A
03F6- D3 02    5650          OUT  (PORTC),A
03F8- 32 00 20 5660          LD   (DATA0),A
03FB- CD 2E 00 5670          CALL DELAY2
03FE- CD 2E 00 5690          CALL DELAY2
0401- CD 2E 00 5690          CALL DELAY2
0404- CD 2E 00 5700          CALL DELAY2
0407- CD 2E 00 5710          CALL DELAY2
040A- CD 2E 00 5720          CALL DELAY2
040D- CD 2E 00 5730          CALL DELAY2
0410- CD 2E 00 5740          CALL DELAY2
0413- CD 2E 00 5750          CALL DELAY2
0416- CD 2E 00 5760          CALL DELAY2
0419- CD 2E 00 5770          CALL DELAY2
041C- CD 2E 00 5780          CALL DELAY2
041F- CD 2E 00 5790          CALL DELAY2
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
04B5- CB AF      6320          RES  5,A
04B7- D3 02      6330          OUT  (PORTC),A
04B9- 32 00 20   6340          LD   (DATA0),A
04BC- CD 2E 00   6350          CALL DELAY2
04BF- CD 2E 00   6360          CALL DELAY2
04C2- CD 2E 00   6370          CALL DELAY2
04C5- CD 2E 00   6380          CALL DELAY2
04C8- CD 2E 00   6390          CALL DELAY2
04CB- CD 2E 00   6400          CALL DELAY2
04CE- CD 2E 00   6410          CALL DELAY2
04D1- CD 2E 00   6420          CALL DELAY2
04D4- CD 2E 00   6430          CALL DELAY2
04D7- CD 2E 00   6440          CALL DELAY2
04DA- CD 2E 00   6450          CALL DELAY2
04DD- 10 84      6460          DJNZ P4
04DF- C3 E2 04   6470          JP   P5
                 6480 *
04E2- 06 00      6490 P5       LD   B,00H
04E4- 3A 00 20   6500 P6       LD   A,(DATA0)
04E7- CB E7      6510          SET  4,A
04E9- D3 02      6520          OUT  (PORTC),A
04EB- 32 00 20   6530          LD   (DATA0),A
04EE- CD 2E 00   6540          CALL DELAY2
04F1- CD 2E 00   6550          CALL DELAY2
04F4- CD 2E 00   6560          CALL DELAY2
04F7- CD 2E 00   6570          CALL DELAY2
04FA- CD 2E 00   6580          CALL DELAY2
04FD- CD 2E 00   6590          CALL DELAY2
0500- CD 2E 00   6600          CALL DELAY2
0503- CD 2E 00   6610          CALL DELAY2
0506- CD 2E 00   6620          CALL DELAY2
0509- CD 2E 00   6630          CALL DELAY2
050C- CD 2E 00   6640          CALL DELAY2
050F- CD 2E 00   6650          CALL DELAY2
0512- CD 2E 00   6660          CALL DELAY2
0515- 3A 00 20   6670          LD   A,(DATA0)
0518- CB A7      6680          RES  4,A
051A- D3 02      6690          OUT  (PORTC),A
051C- 32 00 20   6700          LD   (DATA0),A
051F- CD 2E 00   6710          CALL DELAY2
0522- CD 2E 00   6720          CALL DELAY2
0525- CD 2E 00   6730          CALL DELAY2
0528- CD 2E 00   6740          CALL DELAY2
052B- CD 2E 00   6750          CALL DELAY2
052E- CD 2E 00   6760          CALL DELAY2
0531- CD 2E 00   6770          CALL DELAY2
0534- CD 2E 00   6780          CALL DELAY2
0537- 10 AB      6790          DJNZ P6
0539- C3 51 05   6800          JP   J9
053C- 3E 08      6810 J6       LD   A,08H
053E- D3 02      6820          OUT  (PORTC),A
0540- 32 00 20   6830          LD   (DATA0),A
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
0543- DB 01     6840          IN    A,(PORTB)
0545- CB 4F     6850          BIT   1,A
0547- CA 7A 03  6860          JP    Z,CH.LL1
054A- DB 01     6870          IN    A,(PORTB)
054C- CB 47     6880          BIT   0,A
054E- CA 61 04  6890          JP    Z,CH.LR1
0551- DB 01     6900 J9       IN    A,(PORTB)
0553- CB 57     6910          BIT   2,A
0555- C2 8B 05  6920          JP    NZ,U2
0558- C3 3C 05  6930          JP    J6
                6940 *
055B- 06 EF     6950 J3       LD    B,DL
055D- 3E 10     6960 NB1      LD    A,10H
055F- D3 02     6970          OUT   (PORTC),A
0561- CD 2E 00  6980          CALL  DELAY2
0564- 3E 00     6990          LD    A,00H
0566- D3 02     7000          OUT   (PORTC),A
0568- DB 01     7010          IN    A,(PORTB)
056A- CB 67     7020          BIT   4,A
056C- C2 74 05  7030          JP    NZ,J5
056F- 10 EC     7040          DJNZ  NB1
0571- C3 5B 05  7050          JP    J3
                7060 *
0574- 06 01     7070 J5       LD    B,01H
0576- 3A 00 20  7080          LD    A,(DATA0)
0579- CB E7     7090          SET   4,A
057B- D3 02     7100          OUT   (PORTC),A
057D- 32 00 20  7110          LD    (DATA0),A
0580- CD 4C 00  7120 K11      CALL  DELAY6
0583- CD 56 00  7130          CALL  DELAY7
0586- 10 F8     7140          DJNZ  K11
0588- C3 3C 05  7150          JP    J6
                7160 *
058B- 3E 20     7170 U2       LD    A,20H
058D- D3 02     7180          OUT   (PORTC),A
058F- CD 4C 00  7190          CALL  DELAY6
0592- 3E 00     7200          LD    A,00H
0594- D3 02     7210          OUT   (PORTC),A
0596- CD 4C 00  7220          CALL  DELAY6
0599- CD 4C 00  7230          CALL  DELAY6
059C- DB 01     7240          IN    A,(PORTB)
059E- CB 67     7250          BIT   4,A
05A0- C2 09 06  7260          JP    NZ,MAIN8
05A3- C3 8B 05  7270          JP    U2
                7280 *
                7290 *
                7300 *
                7310 *    MAIN-PROGRAM
                7320 *
05A6- DB 01     7330 MAIN1    IN    A,(PORTB)
05A8- CB 77     7340          BIT   6,A
05AA- CA 9E 00  7350          JP    Z,CH.B
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
05AA- CA 9E 00 7350          JP   Z,CH.B
05AD- DB 01    7360 MAIN2    IN   A,(PORTB)
05AF- CB 67    7370          BIT  4,A
05B1- CA AF 00 7380          JP   Z,CH.D
05B4- DB 01    7390 MAIN3    IN   A,(PORTB)
05B6- CB 47    7400          BIT  0,A
05B8- CA D5 00 7410          JP   Z,CH.L
05BB- CB 4F    7420          BIT  1,A
05BD- CA D5 00 7430          JP   Z,CH.L
05C0- 3E 40    7440          LD   A,40H
05C2- D3 02    7450          OUT  (PORTC),A
05C4- 32 00 20 7460          LD   (DATA0),A
05C7- 3E 00    7470 MAIN4    LD   A,00H
05C9- 32 06 20 7480          LD   (ROOM),A
05CC- 32 08 20 7490          LD   (DATAC),A
05CF- DB 00    7500          IN   A,(PORTA)
05D1- CB 47    7510          BIT  0,A
05D3- CA DF 00 7520          JP   Z,CH.KC
05D6- CB 4F    7530          BIT  1,A
05D8- CA F1 00 7540          JP   Z,CH.K1
05DB- CB 57    7550          BIT  2,A
05DD- CA 03 01 7560          JP   Z,CH.K2
05E0- CB 5F    7570          BIT  3,A
05E2- CA 15 01 7580          JP   Z,CH.K3
05E5- CB 67    7590          BIT  4,A
05E7- CA 27 01 7600          JP   Z,CH.K4
05EA- C3 B4 05 7610          JP   MAIN3
05ED- DB 01    7620 MAIN5    IN   A,(PORTB)
05EF- CB 4F    7630          BIT  1,A
05F1- CA 5F 01 7640          JP   Z,CH.LL
05F4- DB 01    7650 MAIN6    IN   A,(PORTB)
05F6- CB 47    7660          BIT  0,A
05F8- CA 49 02 7670          JP   Z,CH.LP
05FB- DB 01    7680 MAIN7    IN   A,(PORTB)
05FD- CB 57    7690          BIT  2,A
05FF- C2 27 03 7700          JP   NZ,CH.F
0602- 3E 09    7710          LD   A,09H
0604- D3 02    7720          OUT  (PORTC),A
0606- 32 00 20 7730          LD   (DATA0),A
0609- DB 01    7740 MAIN8    IN   A,(PORTB)
060B- CB 6F    7750          BIT  5,A
060D- C2 31 03 7760          JP   NZ,CH.R
0610- DB 00    7770          IN   A,(PORTA)
0612- CB 6F    7780          BIT  5,A
0614- CA 4B 03 7790          JP   Z,S3
0617- C3 ED 05 7800          JP   MAIN5
               7810          .OR  2000H
2000-          7820 DATA0    .BS  2
2002-          7830 DATA8    .BS  2
2004-          7840 DATAF    .BS  2
2006-          7850 ROOM     .BS  2
2008-          7860 DATAC    .BS  2
200A-          7870 TIME     .BS  2
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                7880 *
2400-           7890 COMST1  .EQ  2400H
7000-           7900 COMST2  .EQ  7000H
0000-           7910 KEYC    .EQ  00H
0001-           7920 KEY1    .EQ  01H
0002-           7930 KEY2    .EQ  02H
0003-           7940 KEY3    .EQ  03H
0004-           7950 KEY4    .EQ  04H
00EF-           7960 DL      .EQ  0EFH
0028-           7970 DR      .EQ  28H
0000-           7980 PORTA   .EQ  00H
0001-           7990 PORTB   .EQ  01H
0002-           8000 PORTC   .EQ  02H
```

SYMBOL TABLE

```
009E- CH.B
00AF- CH.D
0327- CH.F
00F1- CH.K1
0103- CH.K2
0115- CH.K3
0127- CH.K4
00DF- CH.KC
00D5- CH.L
015F- CH.LL
037A- CH.LL1
0249- CH.LR
0461- CH.LR1
0331- CH.R
2400- COMST1
7000- COMST2
0027- D1
0031- D2
2008- DATAC
2004- DATAF
2000- DATAL
2002- DATAS
0072- DE1
0071- DE2
0062- DEL
016E- DELAY.25.S
0024- DELAY1
002E- DELAY2
0038- DELAY3
0060- DELAY4
0042- DELAY5
004C- DELAY6
0056- DELAY7
0045- DEX
004F- DEX1
0059- DEX2
00EF- DL
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
0028- DR
036B- H1
0369- J1
055B- J3
0574- J5
053C- J6
0551- J9
0161- K1
0580- K11
01D4- K2
01D6- K3
024B- K4
02CA- K5
02CC- K6
0001- KEY1
0002- KEY2
0003- KEY3
0004- KEY4
0000- KEYC
0002- LOOPO
.01=0004
0139- LOOPR
0147- LOOPR1
0153- LOOPR2
05A6- MAIN1
05AD- MAIN2
05B4- MAIN3
05C7- MAIN4
05ED- MAIN5
05F4- MAIN6
05FB- MAIN7
0609- MAIN8
007C- MAKE1
0087- MAKE2
00AA- NA
055D- NB1
037C- P1
03EF- P2
03F1- P3
0463- P4
04E2- P5
04E4- P6
0000- PORTA
0001- PORTB
0002- PORTC
0140- Q1
00C5- REW
2006- ROOM
0358- S2
034F- S3
0361- S8
200A- TIME
058B- U2
003C- W2
003A- Y1
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หนังสืออ้างอิง

1.ทนง โชติสรยุทธ์ , "เทคนิคการใช้งานอุลตร้าโซนิค ทรานสดิวเซอร์สำหรับนักทดลอง", วารสารเซมิคอนดัคเตอร์อิเลคทรอนิกส์, ฉบับที่ 44, หน้า 58-73, 2524

2.ยืน ภู่วรวรรณและวัฒนา เชียงกูล, "การโปรแกรมด้วยภาษาแอสเซมบลี", หน้า 127-148 , บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด,2527

3.โยธิน เปรมปราณีรัชต์, "วิเคราะห์และออกแบบระบบการควบคุมมอเตอร์", บริษัท อิเลคทรอนิกส์ เวิลด์ จำกัด,2527

4.DAVID L. HEISERMAN, "HOW TO DESIGN AND BUILD YOUR OWN CUSTOM ROBOT", TAB BOOK INC., PP.25-33, 157-159,185-191,1981

5.LANCE A. LEVENTHAL, "Z-80 ASSEMBLY LANGUAGE PROGRAMMING",PP.3.1-3.174

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้