

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ระบบติดตามในแนวแกน X-Y

X-Y tracking system



เลขหมู่.....
เลขทะเบียน **103061**
วัน,เดือน,ปี **27 ธ.ค. 2552**



ปฏิญานិพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมแมคคาทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2551

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ ปีการศึกษา 2551

สาขาวิชา วิศวกรรมแมคคาทรอนิกส์

คณะ วิศวกรรมศาสตร์

 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง ระบบติดตามในแนวแกน X-Y

 X-Y tracking system

ผู้จัดทำ

1. นายณัฐพล ผลเจริญพงศ์ 48010271

2. นางสาวสุดาภัทร จันทร์สง่า 48010983



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบติดตามในแนวแกน X-Y

โดย

นายณัฐพล ผลเจริญพงศ์ 48010271

นางสาวสุตาภัทร จันทร์สง่า 48010983

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.ดร. วันชัย ธีรรัฐจา

ปีการศึกษา 2551

บทคัดย่อ

ในวิทยานิพนธ์นี้เป็นการศึกษาระบบติดตามในแนวระนาบ X-Y โดยใช้การควบคุมการหมุนของมอเตอร์สองตัว ซึ่งสัญญาณอินพุตที่ระบุตำแหน่งของตัวต้นแบบ ได้มาจากค่าความต้านทานปรับค่าได้ จากนั้นสัญญาณอินพุตที่ได้จะถูกนำไปประมวลผลโดยใช้วงจรถิเลสทรอนิกส์ที่ทำงานแบบอนาล็อกเพื่อใช้ในการขับเคลื่อน ตัวเลียนแบบโดยใช้วงจรรขยายกำลัง ผลที่ได้คือ สามารถควบคุมตำแหน่งของมอเตอร์ได้อย่างแม่นยำและมีค่าความผิดพลาดน้อยมาก จึงสามารถนำผลจากการศึกษานี้ไปประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์ในเชิงอุตสาหกรรมต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

X-Y tracking system

By

Mr. Nuttapon poncharempong 48010271

Miss Sutaphat Jansa-nga 48010983

Advisor

Assoc. Prof. Vanchai Riewruja

Academic Year 2008

ABSTRACT

This project is to study the X-Y tracking system by controlling two motors. The input signal defined the position of model is achieved from the variable resistor. The obtained input signal is processed in the analog electronic for movement of simulator using power amplifier. The result of this system can control the movement of motor with low distortion. This project can be applied in industrial system.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

สารบัญภาพ	I
สารบัญตาราง	III
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 การทำแกนกลสำหรับติดตามในแนวแกน X-Y	3
2.1 การสร้างแกนกลจำลองการทำงาน	3
2.2 ประเภทของตัวต้านทาน	4
2.2.1 ตัวต้านทานแบบมีค่าคงที่	5
2.2.2 ตัวต้านทานแบบปรับค่าได้	6
2.2.3 ตัวต้านทานชนิดอื่นๆ	9
2.3 ตัวต้านทานที่ใช้ในระบบ	10
2.4 การออกแบบแกนกลจำลองการทำงาน	11
2.5 การทำงานของระบบมอเตอร์	14
2.6 มอเตอร์ที่ใช้งานในระบบ	17
2.7 หลักการทำงานของเซอร์โวมอเตอร์	19
2.8 การปรับแต่งเซอร์โวมอเตอร์	24
บทที่ 3 วงจรควบคุมระบบการทำงาน	25
3.1 ประวัติความเป็นมาของทรานซิสเตอร์	25
3.1.1 ชนิดของทรานซิสเตอร์	25
3.1.2 โครงสร้างและสัญลักษณ์ของทรานซิสเตอร์	26
3.1.3 ขาของทรานซิสเตอร์	27
3.1.4 การทำงานของทรานซิสเตอร์	27
3.1.5 การให้ไบอัสทรานซิสเตอร์	28
3.2 วงจรเปรียบเทียบสัญญาณ	31
3.3 รูปแบบวงจรการทำงาน โดยใช้ Different Amplifier และ Transistor	38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญภาพ

รูปที่ 2.1	รูปแบบแขนกลจำลองการทำงาน	3
รูปที่ 2.2	สัญลักษณ์ตัวต้านทาน	4
รูปที่ 2.3	ตัวต้านทานแบบมีค่าคงที่	5
รูปที่ 2.4	ตัวต้านทานแบบรีโอสแตส	6
รูปที่ 2.5	ตัวต้านทานแบบโพเทนติโอมิเตอร์	7
รูปที่ 2.6	กราฟแสดงลักษณะของตัวต้านทานปรับค่าได้	8
รูปที่ 2.7	ตัวต้านทานปรับค่าได้ใช้กับ Volume Gain Treble bass	8
รูปที่ 2.8	ตัวต้านทานแบบ Trimmer	9
รูปที่ 2.9	ตัวต้านทานแบบ Slide	9
รูปที่ 2.10	ตัวต้านทานที่ใช้ในระบบ	10
รูปที่ 2.11	สัญลักษณ์ของตัวต้านทานปรับค่าได้	17
รูปที่ 2.12	เซอร์โวมอเตอร์ที่ใช้ในระบบ	11
รูปที่ 2.13	เซอร์โวมอเตอร์ที่ยึดติดกับอะคริลิกสำหรับทำแขนกล	11
รูปที่ 2.14ก.	รูปแบบแขนกลการทำงาน	12
รูปที่ 2.14ข.	รูปแบบแขนกลการทำงาน	12
รูปที่ 2.15ก.	รูปแบบแขนกลพร้อมปากกาไว้สำหรับแสดงผลการทำงาน	13
รูปที่ 2.15ข.	รูปแบบแขนกลพร้อมปากกาไว้สำหรับแสดงผลการทำงาน	13
รูปที่ 2.16	โครงสร้างการทำงานของมอเตอร์	14
รูปที่ 2.17	ส่วนประกอบต่างๆของ Servo Motor	18
รูปที่ 2.18	รูปการทำงานของเซอร์โวมอเตอร์แบบสัญญาณพัลส์	19
รูปที่ 2.19	รูปภายในของเซอร์โวมอเตอร์	21
รูปที่ 2.20	รูปแสดงส่วนประกอบของเซอร์โวมอเตอร์	23
รูปที่ 2.21	รูปภายในของเซอร์โวมอเตอร์แบบสัญญาณพัลส์ก่อนการปรับแต่ง	24
รูปที่ 2.22	รูปภายในของเซอร์โวมอเตอร์หลังการปรับแต่ง	24
รูปที่ 3.1	สัญลักษณ์ทรานซิสเตอร์แบบ NPN	26
รูปที่ 3.2	สัญลักษณ์ทรานซิสเตอร์ชนิด PNP	26
รูปที่ 3.3	การให้ไบอัสของทรานซิสเตอร์ชนิด NPN	28
รูปที่ 3.4	การให้ไบอัสของทรานซิสเตอร์ชนิด PNP	29
รูปที่ 3.5	วงจร Noninverting comparator	31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญภาพ(ต่อ)

รูปที่ 3.6ก. output ของ Noninverting comparator จะเปลี่ยนเป็น $+V_{sat}$ เมื่อ $v^+ > v^-$	32
รูปที่ 3.6ข. output ของ Noninverting comparator จะเปลี่ยนเป็น $-V_{sat}$ เมื่อ $v^+ < v^-$	32
รูปที่ 3.7 output ของ Inverting comparator	33
รูปที่ 3.8 วงจร Integrator	34
รูปที่ 3.9 แสดง output ของวงจร Integrator เทียบกับเวลา t	35
รูปที่ 3.10 Diagram การทำงานของระบบ	38
รูปที่ 3.11 วงจร Differential Amplifier	38
รูปที่ 3.12 วงจร Differential Amplifier ในการทำงานของระบบ	40
รูปที่ 3.13 วงจร Voltage gain	40
รูปที่ 3.14 วงจร Differential Amplifier ที่มี Voltage gain	41
รูปที่ 3.15 กราฟของผลตอบสอง	42
รูปที่ 3.16 วงจรขยายแบบ Class B	43
รูปที่ 3.17 วงจรขยายแบบ Class B เพื่อควบคุมตำแหน่งมอเตอร์	43
รูปที่ 3.18 วงจรรวมการทำงาน	44
รูปที่ 4.1 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของความต้านทานตัวบน	47
รูปที่ 4.2 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของความต้านทานตัวล่าง	49
รูปที่ 4.3 กราฟแสดงองศาที่เปลี่ยนแปลงของมอเตอร์ตัวบนที่อินพุตและเอาต์พุต	51
รูปที่ 4.4 กราฟแสดงองศาที่เปลี่ยนแปลงของมอเตอร์ตัวล่างที่อินพุตและเอาต์พุต	53
รูปที่ 4.5ก. รูปภาพผลงานที่แสดงส่วนของแขนกล	54
รูปที่ 4.5ข. รูปภาพผลงานที่แสดงส่วนของแขนกล	54
รูปที่ 4.6 รูปแบบแขนกลพร้อมปากกาไว้สำหรับแสดงผลการทำงาน	54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ 1.1 การทดลองการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทาน ตัวบนจาก 0 – 90 องศา_____	46
ตารางที่ 1.2 การทดลองการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทาน ตัวล่าง จาก 0 – 90 องศา_____	48
ตารางที่ 1.3 การเปลี่ยนแปลงองศาของมอเตอร์ตัวบนที่อินพุทและเอาต์พุท จาก 0 – 90 องศา_	50
ตารางที่ 1.4 การเปลี่ยนแปลงองศาของมอเตอร์ตัวล่างที่อินพุทและเอาต์พุท จาก 0 – 90 องศา_	52



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันนี้ประเทศของเรากำลังจะพัฒนาจากประเทศเกษตรกรรมไปสู่ประเทศอุตสาหกรรม ซึ่งระบบการปฏิบัติการทางอุตสาหกรรมถือได้ว่าเป็นระบบที่สำคัญระบบหนึ่ง เนื่องจากระบบคลังสินค้ามีส่วนเกี่ยวข้องกับการสร้างผลิตภัณฑ์ต่างๆ และเพื่อให้ระบบต่างๆ ในกระบวนการทางอุตสาหกรรมสามารถดำเนินไปอย่างมีประสิทธิภาพนั้น ก็ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นความถูกต้องแม่นยำในการผลิต ความรวดเร็วในการผลิต แต่อย่างไรก็ตาม ในปัจจุบัน ยังไม่มีการนำเอาระบบการทำงานเลียนแบบการทำงานของมนุษย์ที่ใช้ในการทำงานทางอุตสาหกรรมหรือ เป็นการใช้งานอื่นที่มีการทำงานคล้ายการเลียนแบบการทำงานของมนุษย์ ทั้งนี้ อาจมีสาเหตุหลายประการ เช่น ระบบนี้อาจมีค่าใช้จ่ายสูง และอาจยังไม่สามารถลดความคิดในการควบคุมการทำงานเก่าโดยใช้แรงงานคนได้ ดังนั้นจึงจำเป็นที่ควรจะมีการส่งเสริมให้มีการพัฒนาการใช้งานระบบคอมพิวเตอร์อัตโนมัติในระบบอุตสาหกรรมมากขึ้น วิธีหนึ่งที่สามารถปฏิบัติได้นั้นคือ นำที่จะมีการสร้างสรรค์ผลงานที่เกี่ยวข้องกับด้านนี้นำเสนอต่อธุรกิจอุตสาหกรรมมากขึ้น เมื่อเกิดผู้พัฒนาผลิตภัณฑ์นำร่องออกมา

ปัญหาเกี่ยวกับการเลียนแบบการทำงานของมนุษย์ สาเหตุหนึ่งที่ทำให้ต้นทุนในการผลิตในการทำงานเพิ่มขึ้น ตัวอย่างของปัญหาเหล่านี้คือจะอย่างไรให้ระบบการเลียนแบบการทำงานของมนุษย์มีความเสถียรได้อย่างไร ใช้อุปกรณ์ชนิดใดจึงจะเหมาะสม ต้องใช้คนงานเท่าใดในการควบคุมเครื่อง เป็นต้น

โดยโครงการนี้จัดทำเพื่อลดปัญหาดังกล่าว เหมาะสมอย่างยิ่งที่จะนำไปใช้ในพื้นที่แคบ โดยสามารถทำงานได้เสถียรไม่แพ้การทำงานของมนุษย์และง่ายต่อการทำงานเพียงแต่สั่งการป้อนข้อมูลในคอมพิวเตอร์เท่านั้น ระบบการทำงานที่ออกมาจะปฏิบัติงานตามแบบการทำงานของมนุษย์ได้ทันที

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

เป็นการศึกษาการควบคุมตำแหน่ง และทิศทางการหมุนของมอเตอร์ เพื่อที่จะนำไปประยุกต์ใช้ในงานอุตสาหกรรม เช่น การสร้างเครื่องเชื่อมโลหะอัตโนมัติ รวมถึงเครื่องจักรที่ต้องมีการเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งที่ถูกต้อง การใช้วิธีควบคุมด้วยวงจรไฟฟ้าแบบที่มีการป้อนค่ากลับจะช่วยให้มอเตอร์มีประสิทธิภาพในการหมุนเข้าสู่ตำแหน่งที่ต้องการ ได้รวดเร็วและแม่นยำ อีกทั้งยังสามารถนำวงจรการควบคุมมอเตอร์นี้ไปใช้กับการควบคุมอุปกรณ์อื่นหรือระบบอื่นได้เช่น การควบคุมวาล์ว การควบคุมอุณหภูมิ เป็นต้น

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

ศึกษาเกี่ยวกับการควบคุมตำแหน่ง และทิศทางการหมุนของมอเตอร์ โดยใช้หลักการควบคุมแบบวงปิด เพื่อให้มอเตอร์หมุนไปยังตำแหน่งที่ต้องการได้อย่างรวดเร็ว และแม่นยำที่สุด รวมทั้งมีค่าความผิดพลาดน้อยที่สุดด้วย เมื่อสามารถควบคุมตำแหน่งและทิศทางการหมุนของมอเตอร์ได้ถูกต้องแล้ว จึงจะนำการควบคุมมอเตอร์นี้มาทำการติดตามตำแหน่งในแนวระนาบหรือในแนว X-Y โดยนำระบบควบคุมมอเตอร์นี้สองชุด มารวมกันทำให้เกิดชุดแกนกลของการติดตามตำแหน่งขึ้น ในส่วนของการป้อนอินพุตนั้น จะสร้างชุดแกนกลที่มีลักษณะคล้ายกับแกนกลข้างต้น เพื่อป้อนตำแหน่งที่ต้องการผ่านทางแกนกลอินพุตนี้ ค่าที่ป้อนจะอยู่ที่เทอมของแรงดันตั้งแต่ -8 จนถึง 8 โวลต์ ในส่วนของการแก้ไขค่าผิดพลาดที่เกิดขึ้นนั้น ทำโดยการเพิ่มวงจรเปรียบเทียบแรงดันและวงจรวกแรงดันทำให้ค่าความผิดพลาดลดลง

บทที่ 2

การทำแขนกลสำหรับติดตามในแนวแกน X-Y

2.1 การสร้างแขนกลจำลองการทำงาน

การสร้างมือควบคุม หรือมือรับรู้ ถูกสร้างมาจากตัวด้านทานปรับค่าได้ เพื่อสำหรับการส่งค่าการเปลี่ยนแปลงไปทำงานภายในวงจรควบคุมและส่งออกไปควบคุมการทำงานของ Servo motor เป็นการตอบสนองความสัมพันธ์เมื่อค่าตัวด้านทานปรับค่าเปลี่ยนไปจากการที่เราควบคุมตัวอินพุตจากนั้น จะมีการแสดงค่าเอาต์พุตตามอินพุตที่เปลี่ยนแปลงไป



รูปที่ 2.1 รูปแบบแขนกลจำลองการทำงาน

2.2 ประเภทของตัวต้านทาน

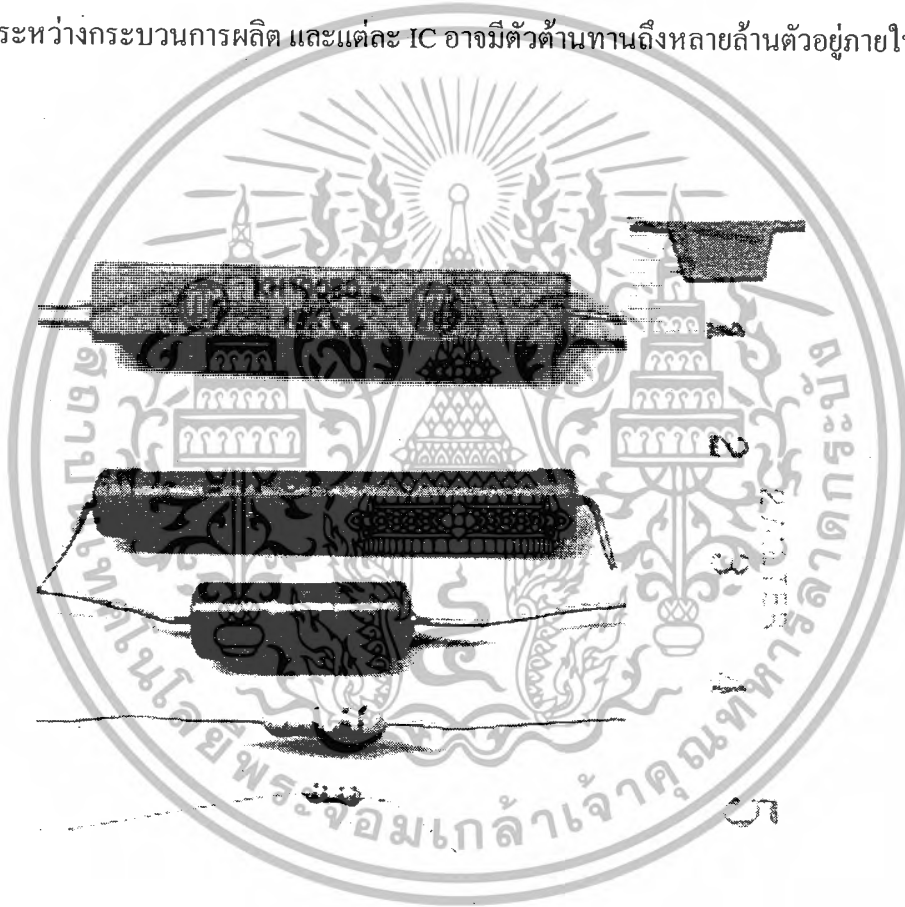
ตัวต้านทาน หรือ รีซิสเตอร์ (resistor) เป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าชนิดสองขั้ว ที่สร้างความต่างศักย์ทางไฟฟ้าขึ้นคร่อมขั้วทั้งสอง โดยมีสัดส่วนมากน้อยตามกระแสที่ไหลผ่าน อัตราส่วนระหว่างความต่างศักย์ และปริมาณกระแสไฟฟ้า ก็คือ ค่าความต้านทานทางไฟฟ้า หรือค่าความต้านทาน หน่วยค่าความต้านทานไฟฟ้าตามระบบเอสไอ คือ โอห์ม อุปกรณ์ที่มีความต้านทานค่า 1 โอห์มหากมีความต่างศักย์ 1 โวลต์ไหลผ่าน จะให้กระแสไฟฟ้า 1 แอมแปร์ ซึ่งเท่ากับการไหลของประจุไฟฟ้า 1 คูลอมบ์ (ประมาณ 6.241506×10^{18} อิเล็กตรอน) ต่อวินาที



ตัวต้านทานอาจแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ ตัวต้านทานที่มีค่าคงที่, ตัวต้านทานแบบปรับค่าได้และ ตัวต้านทานชนิดอื่นๆ ดังรายละเอียด ต่อไปนี้

2.2.1 ตัวต้านทานแบบมีค่าคงที่

ตัวต้านทานทั่วไปอาจมีรูปร่างเป็นทรงกระบอก โดยที่มีสารตัวต้านทานอยู่ที่แกนกลาง หรือ เป็นฟิล์มอยู่ที่ผิว และมีแกนโลหะตัวนำออกมาจากปลายทั้งสองข้าง ตัวต้านทานที่มีรูปร่างนี้ เรียกว่า ตัวต้านทานรูปร่างแบบ *แอกเซียล* ดังในรูปด้านล่าง ตัวต้านทานใช้สำหรับกำลังสูงจะถูก ออกแบบให้มีรูปร่างที่สามารถถ่ายเทความร้อนได้ดี โดยมักจะเป็น ตัวต้านทานแบบขดลวด ตัวต้านทานที่มักจะพบเห็นบนแผงวงจร เช่นคอมพิวเตอร์นั้น โดยปกติจะมีลักษณะเป็น ตัวต้านทานแบบประกบผิวหน้า (surface-mount) ขนาดเล็ก และ ไม่มีขาโลหะตัวนำยื่นออกมา นอกจากนั้นตัวต้านทานอาจจะถูกรวมอยู่ในใน อุปกรณ์วงจรรวม (IC - integrated circuit) โดยตัวต้านทานจะถูกสร้างขึ้นในระหว่างกระบวนการผลิต และแต่ละ IC อาจมีตัวต้านทานถึงหลายล้านตัวอยู่ใน



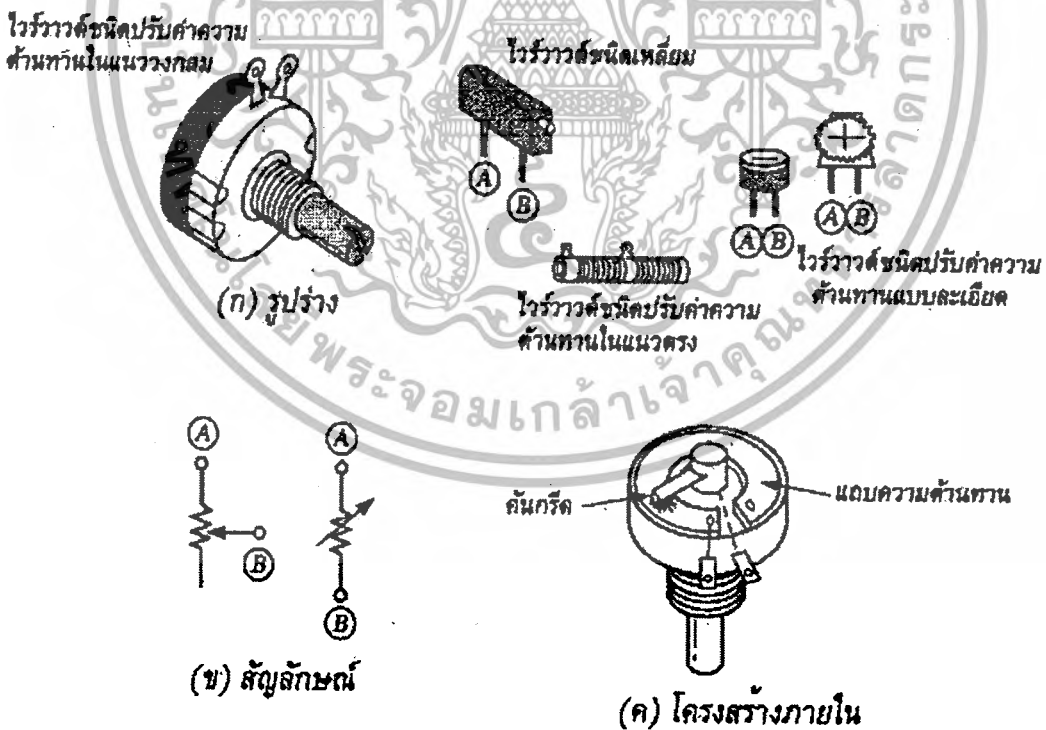
รูปที่ 2.3 ตัวต้านทานแบบมีค่าคงที่

2.2.2 ตัวต้านทานปรับค่าได้

ตัวต้านทานปรับค่าได้ เป็นตัวต้านทาน ที่ค่าความต้านทานสามารถปรับเปลี่ยนได้ โดยอาจมีปุ่มสำหรับ หมุน หรือ เลื่อน เพื่อปรับค่าความต้านทาน และบางครั้งก็เรียก โปเทนติโอมิเตอร์ (potentiometers) หรือ รีโอสแตต (rheostats)

ตัวต้านทานแบบปรับค่าได้ มีทั้งแบบที่หมุนได้เพียงรอบเดียว จนถึงแบบที่หมุนแบบเป็นเกลียวได้หลายรอบ บางชนิดมีอุปกรณ์แสดงนั้บรอบที่หมุน เนื่องจากตัวต้านทานปรับค่าได้นี้มีส่วนของโลหะที่ขัดสีสึกกร่อน บางครั้งจึงอาจขาดความน่าเชื่อถือ ในตัวต้านทานปรับค่าได้รุ่นใหม่ จะใช้วัสดุซึ่งทำจากพลาสติกที่ทนทานต่อการสึกกร่อนจากการขัดสี และ กัดกร่อน

- รีโอสแตต(rheostat): เป็นตัวต้านทานปรับค่าได้มี 2 ขา โดยที่ขาหนึ่งถูกยึดตายด้วยตัวส่วนขาที่เหลือเลื่อนไปมาได้ปกติ สำหรับส่วนที่มีปริมาณกระแสผ่านสูงรูปลักษณะของรีโอสแตตแบบต่างๆ ดังรูป ก ส่วนสัญลักษณ์ของรีโอสแตต ดังแสดงในรูป ข ส่วนรูป ค จะแสดงโครงสร้างภายในของรีโอสแตต



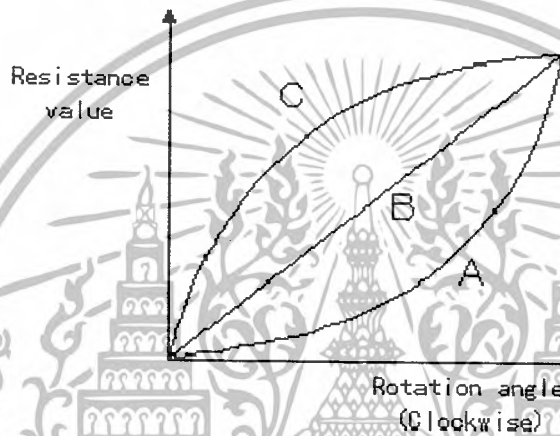
รูปที่ 2.4 ตัวต้านทานแบบรีโอสแตต

เราสามารถแบ่งคุณลักษณะการทำงานของ Variable Value Resistor เป็น 3 ประเภทใหญ่ๆ

1.แบบ A หรือ แบบ Log ซึ่งมีคุณสมบัติตามสมการ Log คือค่าจะกระโดดในช่วงท้ายตามรูปข้างล่าง

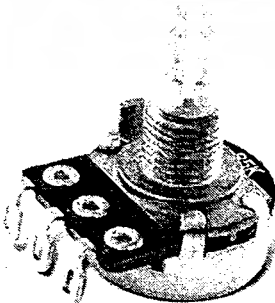
2.แบบ B หรือ แบบ Linear ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นเชิงเส้น คือ แกน $X = 1$ แกน $Y = 1$
 $X = 2$ $Y = 2$ คือเปลี่ยนแปลงไปเป็นตามลำดับไม่กระโดด

3.แบบ C เป็น แบบ ผกผันกลับจากแบบ A



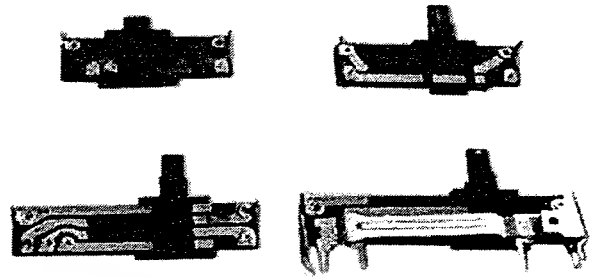
รูปที่ 2.6 กราฟแสดงลักษณะของตัวต้านทานปรับค่าได้

สำหรับการนำไปใช้งาน เราสามารถที่จะสลับกันใช้งานได้ทั้ง 3 แบบครับ แต่ว่าเรานิยมใช้แบบ A ส่วนปรับความดังเบา ที่ตำแหน่ง Gain หรือ Volume และนิยมใช้แบบ B กับภาค ToneControl พวก ปรับทุ้มแหลมครับ Treble Bass ครับ นอกจากนี้ยังต้องคำนึงถึงเรื่องของกายภาพ ในการใช้งาน VR แต่ละแบบ เช่น



รูปที่ 2.7 ตัวต้านทานปรับค่าได้ใช้กับ Volume Gain Treble bass

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.8 ตัวต้านทานแบบ Trimmer
นิยมใช้บนแผ่นวงจรเนื่องจากมีขนาดเล็ก

รูปที่ 2.9 ตัวต้านทานแบบ Slide นิยมใช้
ใน Equalizer, Mixer, Volume

2.2.3 ตัวต้านทานชนิดอื่น ๆ

- วาริสเตอร์โลหะออกไซด์ (metal oxide varistor-MOV) เป็นตัวต้านทานที่มีคุณสมบัติพิเศษคือ มีค่าความต้านทาน 2 สถานะ คือ ค่าความต้านทานสูงมากที่ ความต่างศักย์ต่ำ(ต่ำกว่าค่าความต่างศักย์กระตุ้น) และ ค่าความต้านทานต่ำมากที่ ความต่างศักย์สูง (สูงกว่าความต่างศักย์กระตุ้น) ใช้ประโยชน์ในการป้องกันวงจร เช่น ใช้ในการป้องกันความเสียหายจากฟ้าผ่าลงเสาไฟฟ้า หรือใช้เป็น สนับเบอร์ ในวงจรตัวเหนี่ยวนำ
- เทอร์มิสเตอร์ (thermistor) เป็นตัวต้านทานที่มีค่าความต้านทานเปลี่ยนแปลงตามระดับอุณหภูมิ แบ่งเป็นสองประเภท คือ
 - ตัวต้านทานที่มีค่าสัมประสิทธิ์ของความต้านทานต่ออุณหภูมิเป็นบวก (PTC - Positive Temperature Coefficient) เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ค่าความต้านทานมีค่าสูงขึ้นตาม มีพบใช้ในวงจรเครื่องรับโทรทัศน์ โดยต่ออนุกรมกับ ขดลวดลบลสนามแม่เหล็ก (demagnetizing coil) เพื่อป้องกันกระแสในช่วงเวลาสั้น ๆ ให้กับขดลวดในขณะที่เปิดโทรทัศน์ นอกจากนั้นแล้ว ตัวต้านทานประเภทนี้ยังมีการออกแบบเฉพาะเพื่อใช้เป็น ฟิวส์ (fuse) ที่สามารถซ่อมแซมตัวเองได้ เรียกว่า โพลีสวิตช์ (polyswitch)
 - ตัวต้านทานที่มีค่าสัมประสิทธิ์ของความต้านทานต่ออุณหภูมิเป็นลบ (NTC - Negative Temperature Coefficient) เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ค่าความต้านทานมีค่าลดลงปกติใช้เป็นอุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิ

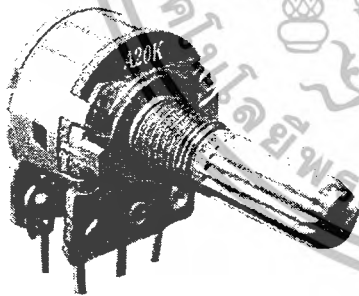
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เซนซิเตอร์ (sensor) เป็นตัวต้านทานที่สร้างจากสารกึ่งตัวนำ มีค่าสัมประสิทธิ์ของความต้านทานต่ออุณหภูมิเป็นลบ ใช้ในการชดเชยผลของอุณหภูมิ ในวงจรอิเล็กทรอนิกส์
- แอลดีอาร์ (LDR : Light Dependent Resistor) ตัวต้านทานปรับค่าตามแสงตกกระทบ ยังมีแสงตกกระทบมากยิ่งมีความต้านทานต่ำ
- ลวดตัวนำ ลวดตัวนำทุกชนิด ยกเว้น ซุปเปอร์คอนดักเตอร์ จะมีความต้านทานซึ่งเกิดจากเนื้อวัสดุที่ใช้ทำลวดนั้น โดยจะขึ้นกับ ภาวคัตขวางของลวด และ ค่าความนำไฟฟ้าของสาร

2.3 ตัวต้านทานที่ใช้ในระบบ

โพเทนชิโอมิเตอร์ (Potentiometer)

รูปแสดงลักษณะภายนอกของโพเทนชิโอมิเตอร์แบบต่างๆ ซึ่งบางครั้งนิยมเรียกอุปกรณชนิดนี้ว่า พอด (Pot) ดังแสดงในรูป ซึ่งขั้วต่อของโพเทนชิโอมิเตอร์จะมี 3 ขั้ว โดยการนำไปใช้งานสามารถต่อค่าความต้านทานได้ 3 แบบ ได้แก่ ระหว่าง A และ B (X) ระหว่าง B และ C (Y) และระหว่าง C และ A (Z) ส่วนที่เพิ่มเข้ามาที่ทำให้โพเทนชิโอมิเตอร์แตกต่างไปจากรีโอสตัส คือ ขั้วที่ 3 ที่ต่อเข้ากับปลายอีกด้านหนึ่งของแถบค่าความต้านทาน



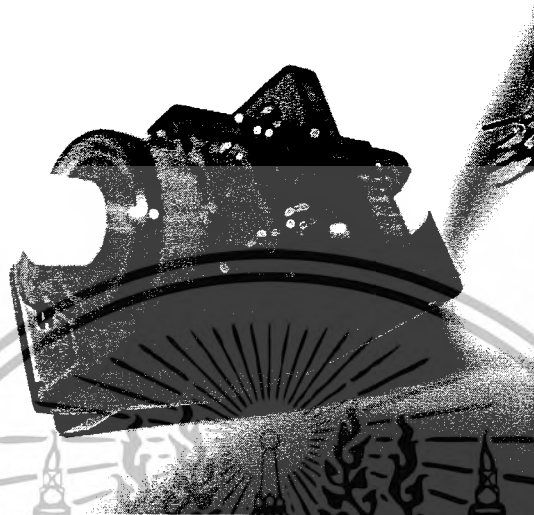
รูปที่ 2.10 ตัวต้านทานที่ใช้ในระบบ



รูปที่ 2.11 สัญลักษณ์ของตัวต้านทานปรับค่าได้

ซึ่งตัวต้านทานดังกล่าว จะนำมาประกอบเข้ากับแกนกลเพื่อจะเป็นตัวอินพุต เมื่อทำการเปลี่ยนแปลงค่าของตัวต้านเมื่อเรามีการขยับแกนกลในแต่ละครั้ง ตัวต้านทานที่ประกอบเข้ากับแกนกลนั้นก็จะทำการเปลี่ยนแปลงค่าไปตามการขยับแต่ละครั้งด้วย

2.4 การออกแบบแขนกลจำลองการทำงาน

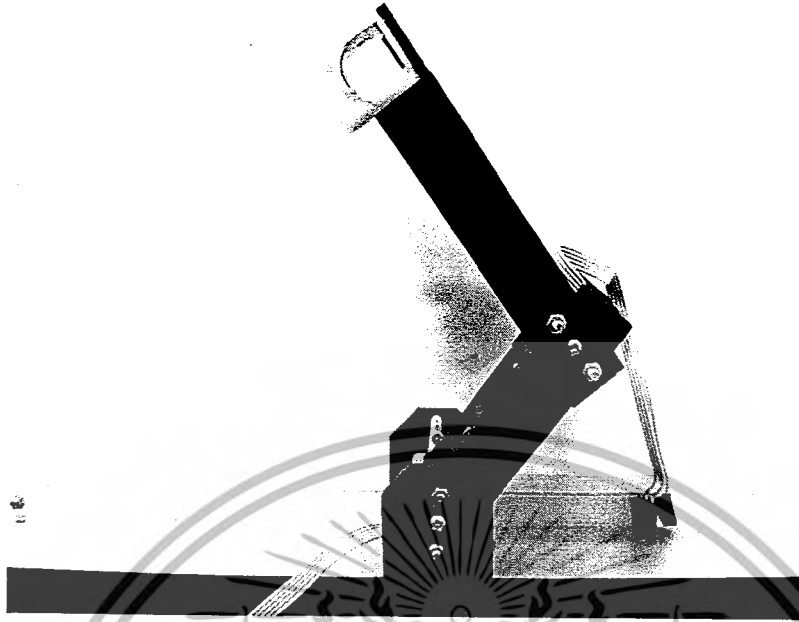


รูปที่ 2.12 เซอร์โวมอเตอร์ที่ใช้ในระบบ

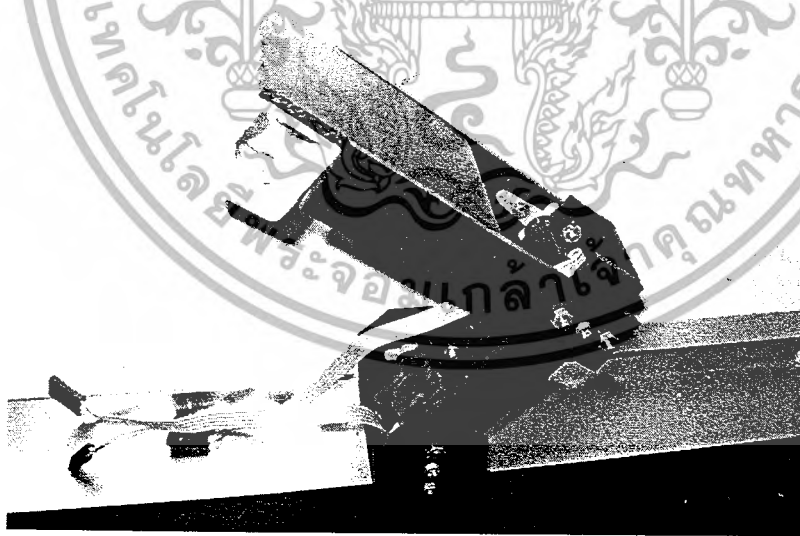


รูปที่ 2.13 เซอร์โวมอเตอร์ที่ยึดติดกับ

อะคริลิกสำหรับทำแขนกล



รูปที่ 2.14ก. รูปแบบแขนกลต้นแบบ



รูปที่ 2.14ข. รูปแบบแขนกลเลียนแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.15ก. รูปแบบแขนกลดัดแบบพร้อมปากกาไว้สำหรับแสดงผลการทำงาน

รูปที่ 2.15ข. รูปแบบแขนกลเลียนแบบพร้อมปากกาไว้สำหรับแสดงผลการทำงาน

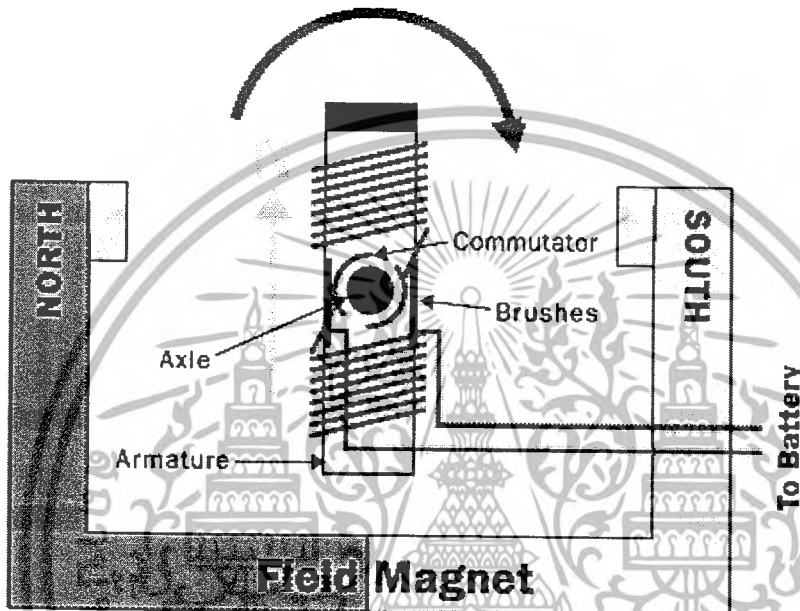
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 การทำงานของระบบมอเตอร์

มอเตอร์ไฟฟ้ามีอยู่ด้วยกันหลายชนิด โดยสามารถแบ่งออกเป็น 3 ประเภทคือ

1. มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (DC Motor)
2. มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ (AC Motor)
3. มอเตอร์สเตปป์ (Stepping Motor)

ส่วนประกอบของมอเตอร์ มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง 2 ขั้ว ซึ่งส่วนประกอบพื้นฐานมีอยู่ 6 ชิ้น



รูปที่ 2.16 โครงสร้างการทำงานของมอเตอร์

1. อาร์มาเจอร์หรือโรเตอร์ (Armature หรือ Rotor)
2. คอมมิวเตเตอร์ (commutator)
3. แปรง
4. เฟลา
5. แม่เหล็ก
6. เครื่องจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง DC

มอเตอร์ไฟฟ้าใช้แรงของแม่เหล็กทำให้เกิดการหมุน ถ้าคุณเคยเล่นแม่เหล็ก คุณจะทราบถึงธรรมชาติของแม่เหล็ก ถ้าขั้วแม่เหล็กเหมือนกันจะผลักกัน แต่ถ้าขั้วต่างกันจะดูดกัน ภาพข้างบนนี้ คุณจะเห็นเป็นแท่งแม่เหล็ก 2 แท่ง โดยแท่งในเป็นแม่เหล็กไฟฟ้า เรียกว่า อาร์มาเจอร์ (Armature) ขณะที่แม่เหล็กด้านนอกเป็นแม่เหล็กถาวรรูปเกือกม้า (หรือจะเป็นแม่เหล็กไฟฟ้าก็ได้สำหรับ

มอเตอร์ขนาดใหญ่ แต่ถ้าเป็นมอเตอร์ขนาดเล็ก มักจะใช้แม่เหล็กถาวรเพื่อประหยัดพลังงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออยู่ใต้เห็นายะโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อาร์มาเจอร์จะหมุนไปได้เนื่องจากการผลักของแม่เหล็ก และต้องมีการกลับขั้วของแม่เหล็กขณะที่ หมุนไปครึ่งรอบ ทำให้เกิดแรงผลักอย่างต่อเนื่อง ส่วนที่ใช้ในการกลับขั้วของแม่เหล็กคือ คอมมิวเตเตอร์ (Commutator) และแปรง (Brush) มอเตอร์ขนาดเล็กชนิดต่างๆที่ใช้ในการทำหุ่นยนต์ ทำความ รู้จักกับมอเตอร์ขนาดเล็กชนิดต่างๆที่ใช้ในการทำหุ่นยนต์แบบต่างๆ มอเตอร์นั้นเป็นเครื่องกล ไฟฟ้าชนิดหนึ่งซึ่งตัวมันเองจะเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าให้เป็นพลังงานกลโดยการหมุน ซึ่งใน ชีวิตประจำวันนั้นเราสามารถพบเห็นมอเตอร์ได้โดยทั่วไปในอุปกรณ์ไฟฟ้า-อิเล็กทรอนิกส์ เช่น พัด ลม เครื่องซักผ้า เครื่องดูดฝุ่น เครื่องเล่น CD DVD เป็นต้น ซึ่งมอเตอร์นั้นได้แบ่งได้หลายชนิด แต่ ในตอนนี้จะมาทำความรู้จักกับมอเตอร์ขนาดเล็กซึ่งจะใช้ในการสร้างหุ่นยนต์ ซึ่งมอเตอร์แต่ละชนิด จะมีข้อดีข้อเสียแตกต่างกันไป

มอเตอร์กระแสตรงเป็นมอเตอร์ที่นำมาใช้ประกอบของเล่นมากที่สุด เพราะตัวมันเองมีขนาด เล็ก ใช้กำลังไฟฟ้าน้อย ความเร็วรอบหมุนสูง ราคาถูกเรามักจะพบมอเตอร์แบบนี้ในรถบังคับ เรือ บังคับ และในการออกแบบระบบควบคุมทำได้ไม่ยากนัก มอเตอร์แบบทศรอบ มอเตอร์ชนิดนี้จะ เป็นมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง หรือ กระแสสลับก็ได้ การที่มอเตอร์นำมาทศรอบก็เพราะต้องการให้ ตัวมันหมุนช้าลง และมีกำลังในการรับภาระ(น้ำหนัก) ได้มากขึ้น ซึ่งมอเตอร์ชนิดนี้จะมีราคาสูงกว่า แบบไม่ทศรอบ ซึ่งนิยมนำมาใช้ในงานทำหุ่นยนต์มาก เพราะควบคุมได้ง่าย และให้กำลังสูง

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงมีโครงสร้างและส่วนประกอบที่สำคัญ 2 ส่วน คือ ส่วนที่อยู่กับที่ (Stator) และส่วนที่เคลื่อนที่ (Rotor) ซึ่งส่วนที่เคลื่อนที่นี้เรียกว่า อาร์มาเจอร์ (Armature) โดยจะมี ขดลวดที่บรรจุลงในสลิตของแกนเหล็กอาร์มาเจอร์ซึ่งด้านปลายของขดลวดจะถูกนำไปต่อเข้ากับ คอมมิวเตเตอร์ (Commutator) ซึ่งเป็นส่วนที่รับกระแสไฟฟ้าจากภายนอกโดยผ่านแปรงถ่าน (Brushes) เข้ามาเพื่อสร้างสนามแม่เหล็กอยู่กับที่ภายในมอเตอร์ แล้วสนามแม่เหล็กนี้จะกระทำ ร่วมกันกับกระแสในตัวนำของอาร์มาเจอร์เพื่อสร้างแรงบิดเพื่อไปหมุนอาร์มาเจอร์ เพื่อที่จะรักษา แรงบิดนี้ไว้การกระจายของกระแสในตัวนำของอาร์มาเจอร์จะต้องรักษาให้คงที่และสัมพันธ์กับ สนามแม่เหล็กที่เกี่ยวข้องกับการหมุนของอาร์มาเจอร์ โดยมีคอมพิวเตเตอร์เป็นตัวกลาง เพื่อที่จะกลับ ทิศทางของกระแสในตัวนำอาร์มาเจอร์ที่ผ่านจากขั้วแม่เหล็กหนึ่งไปสู่อีกขั้วแม่เหล็กหนึ่ง ขณะที่ ตัวนำอาร์มาเจอร์เคลื่อนที่จะสัมพันธ์กับสนามแม่เหล็ก แล้วจะเกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำขึ้นที่ อาร์มาเจอร์ ซึ่งปรากฏการณ์ดังกล่าวจะทำให้เกิดแรงบิดที่อาร์มาเจอร์ได้อย่างต่อเนื่องมอเตอร์ไฟฟ้า กระแสตรงมีข้อดีตรงที่สามารถจ่ายแรงบิดที่จะทำให้มอเตอร์หมุนได้มากกว่าแรงบิดขณะใช้งาน ปกติถึง 3 เท่า หรือมากกว่า และในสถานการณ์ฉุกเฉินมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงสามารถที่จะจ่าย แรงบิดได้มากกว่าถึง 5 เท่าของแรงบิดใช้งานปกติโดยปราศจากการหยุดกลางคัน(Stalling)(ต้น กำลังสามารถจ่ายกำลังให้ได้) การเบรคแบบ Dynamic (พลังงานที่เกิดจากมอเตอร์จะถูกป้อนเข้าไป ยังขดลวดความต้านทาน) หรือการเบรคแบบ Regenerative (พลังงานที่เกิดจากมอเตอร์

จะถูกป้อนกลับไปยังแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง)สามารถทำได้ง่ายคยากับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงในการที่ต้องการให้มอเตอร์หยุดอย่างรวดเร็ว ดังนั้นจึงไม่จำเป็นต้องมีเบรกทางกลหรืออาจจะลดขนาดของเบรกทางกลลงได้ มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงสามารถที่จะควบคุมความเร็วจนถึงศูนย์รอบต่อนาทีได้อย่างไม่มีอุปสรรคโดยการเร่งในทิศทางตรงกันข้ามอย่างทันทีทันใดโดยไม่ต้องเปลี่ยนวงจรกำลังและมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงจะตอบสนองการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณควบคุมได้อย่างรวดเร็วเนื่องจากมันมีอัตราแรงบิดต่อความเฉื่อยสูง

ขลวดสนามแม่เหล็กของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงโดยทั่วไปสามารถแบ่งได้เป็น 3 ชนิด โดยแยกประเภทของสนามแม่เหล็กของมอเตอร์ออกเป็น

1. มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบขนาน (Shunt DC Motor) มอเตอร์แบบนี้ขลวดอาร์มาเจอร์จะต่อขนานกับขลวดที่สเตเตอร์ โดยให้ความเร็วที่ค่อนข้างคงที่ และแรงบิดขณะเริ่มเดินไม่สูง เมื่อเปรียบเทียบกับมอเตอร์แบบอนุกรม

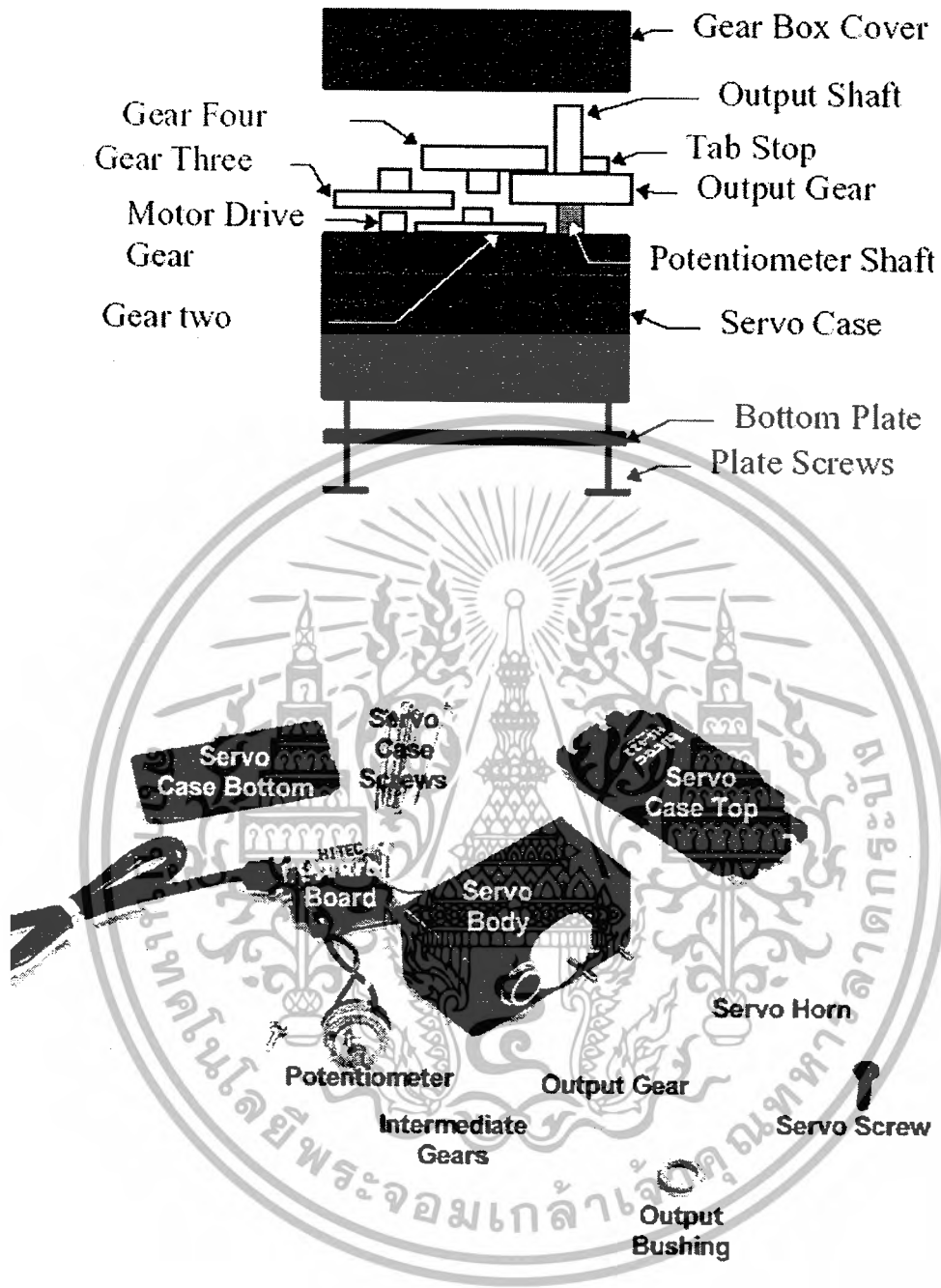
2. มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบอนุกรม (Series DC Motor) มอเตอร์แบบนี้ขลวดของอาร์มาเจอร์จะต่ออนุกรมกับขลวดที่สเตเตอร์ ข้อดีของมอเตอร์แบบนี้ คือ ให้แรงบิดขณะเริ่มต้นสูง และมีความเร็วรอบต่ำเมื่อโหลดมากๆ และความเร็วสูงเมื่อโหลดน้อยๆ ซึ่งอาจจะทำให้มอเตอร์ได้รับอันตรายได้จึงควรต่อ (Coupling) โดยตรงกับ โหลด

3. มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบผสม (Compound DC Motor) มอเตอร์แบบนี้จะมีขลวดที่สเตเตอร์ 2 ชุดและต่อเป็นแบบผสมร่วมกับขลวดที่อาร์มาเจอร์ หรือกล่าวอีกอย่างหนึ่งก็คือการนำมอเตอร์แบบอนุกรม และขนานมารวมไว้ในตัวเดียวกัน จึงทำให้คุณสมบัติของมอเตอร์ชนิดนี้อยู่ระหว่างมอเตอร์ทั้ง 2 แบบ

2.6 มอเตอร์ที่ใช้งานในระบบ

Servo motor คือ มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (DC motor) ที่ถูกประกอบรวมกับชุดเกียร์ และ ส่วนควบคุม ต่างๆ ไว้ในโมดูลเดียวกัน หรือ ภายในกล่องพลาสติกเดียวกัน โดยมอเตอร์ชนิดนี้จะมี สายต่อใช้งานเพียง 3 เส้นเท่านั้น คือ VCC,GND ,สายสัญญาณควบคุม(Control Line) ซึ่งสามารถ ควบคุมให้มอเตอร์หมุนซ้าย หรือ ขวาได้สายสัญญาณเพียงเส้นเดียว โดยสัญญาณที่ใช้ควบคุมนี้จะเป็น สัญญาณ พัลส์วีดมอด (PWM) แบบ TTL Level ระดับแรงดันที่จ่ายให้มอเตอร์นี้จะอยู่ในช่วง ประมาณ 4 ถึง 6 โวลท์ ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของมอเตอร์แต่ละตัว ข้อดีของมอเตอร์ชนิดนี้ก็คือ จะมี ขนาดเล็กน้ำหนักเบา,ให้แรงบิดสูง ,กินพลังงานน้อย และ สามารถควบคุม ด้วยแรงดันลอจิกที่เป็น TTL ได้โดยตรงไม่จำเป็นต้องต่อวงจรขับ(Driver) อื่นๆ เพราะ มอเตอร์ชนิดนี้จะมีวงจรควบคุม บรรจุไว้ภายในอยู่แล้ว ซึ่งมอเตอร์ชนิดนี้สามารถควบคุมให้หมุนไปในตำแหน่ง หรือ ทิศทางองศา ที่ต้องการได้ โดยอาศัยสัญญาณความกว้างพัลส์ ที่ป้อนให้มอเตอร์ แต่เซอร์โวมอเตอร์นี้จะหมุนได้ แค่เพียงในช่วงประมาณ 180° หรือ ครึ่งรอบเท่านั้น หรือ บางรุ่นอาจหมุนได้ถึง 210° แต่จะไม่สามารถหมุนเป็นวงรอบได้เนื่องจากโครงสร้างภายในจะประกอบด้วย ตัวต้านทานชนิดปรับค่าได้ (VR) ที่ทำหน้าที่ตรวจสอบตำแหน่งการหมุนของมอเตอร์ และ ตัวต้านทานนี้จะถูกยึดติดกับแกน หมุนของมอเตอร์ ซึ่งจากการที่ตัวต้านทานปรับค่านี้ไม่สามารถหมุนเป็นวงรอบได้ ดังนั้น เซอร์โวมอเตอร์จึงถูกออกแบบให้หมุนได้เพียงแค่ประมาณ 180 องศา หรือ ครึ่งรอบเท่านั้น เพื่อป้องกัน ความเสียหายที่จะเกิดกับตัวต้านทานปรับค่าได้

103061



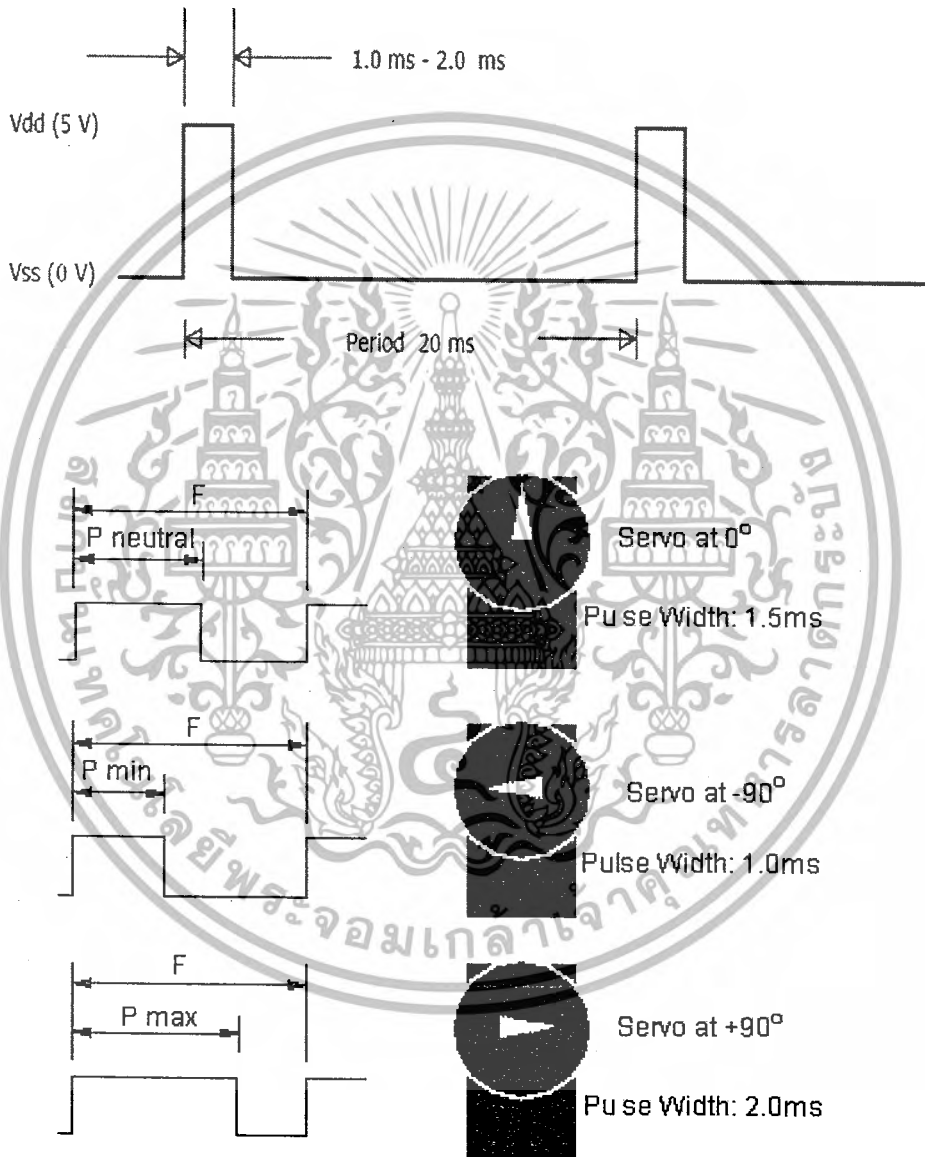
รูปที่ 2.17 ส่วนประกอบต่างๆของ Servo Motor

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7 หลักการทำงานของเซอร์โวมอเตอร์

การควบคุมการทำงานของ เซอร์โวมอเตอร์ ทำได้โดย การป้อนสัญญาณความกว้างพัลส์ ให้กับมอเตอร์ซึ่งตำแหน่งและทิศทางการหมุนของมอเตอร์นี้จะขึ้นอยู่กับขนาดของความกว้างของพัลส์นั้นๆ โดยทั่วไปแล้วความกว้างของสัญญาณพัลส์

จะมีจุดให้อ้างอิง 3 จุด ดังรูป คือ



รูปที่ 2.18 รูปการทำงานของเซอร์โวมอเตอร์แบบสัญญาณพัลส์

- สัญญาณความกว้างพัลส์ขนาด 1.5 ms จะควบคุมให้เซอร์โวมอเตอร์หมุนไปอยู่ที่ตำแหน่งมุม 0 องศา หรือ จุดกึ่งกลางของมอเตอร์
- สัญญาณความกว้างพัลส์ขนาด 1 ms จะควบคุมให้เซอร์โวมอเตอร์หมุนไปอยู่ที่ตำแหน่งมุม - 90 องศา หรือในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา
- สัญญาณความกว้างพัลส์ขนาด 2 ms จะควบคุมให้เซอร์โวมอเตอร์หมุน ไปอยู่ที่ตำแหน่งมุม + 90 องศา หรือในทิศทางตามเข็มนาฬิกา

ส่วนการที่จะควบคุมให้มอเตอร์หมุนเป็นมุมอื่นๆ นั้นก็สามารถทำได้โดยการป้อนสัญญาณพัลส์เป็นระดับความกว้างต่างๆ โดยอ้างอิงจากจุด ทั้ง 3 จุดที่กล่าวมานี้ ตัวอย่างเช่น ถ้าต้องการให้มอเตอร์หมุนไปที่มุม - 45 องศา เราจะต้องป้อนสัญญาณพัลส์ที่มีความกว้าง 1.25 ms เป็นต้น และ สัญญาณพัลส์นี้จะต้องจ่ายให้มอเตอร์ทุกๆ 20 ms (Period) เพื่อรักษาสภาพตำแหน่งของมอเตอร์ไว้

ส่วนการที่จะควบคุมให้มอเตอร์หมุนเป็นมุมอื่นๆ นั้นก็สามารถทำได้โดยการป้อนสัญญาณพัลส์เป็นระดับความกว้างต่างๆ โดยอ้างอิงจากจุด ทั้ง 3 จุดที่กล่าวมานี้ ตัวอย่างเช่น ถ้าต้องการให้มอเตอร์หมุนไปที่มุม - 45 องศา เราจะต้องป้อนสัญญาณพัลส์ที่มีความกว้าง 1.25 ms เป็นต้น และ สัญญาณพัลส์นี้จะต้องจ่ายให้มอเตอร์ทุกๆ 20 ms (Period) เพื่อรักษาสภาพตำแหน่งของมอเตอร์ไว้

โดยหลักการก็คือ จะอาศัยการเปรียบเทียบช่วงเวลาของความกว้างพัลส์ที่จ่ายให้กับมอเตอร์ทางขาสัญญาณควบคุมกับค่าเวลาของวงจร RC ภายในบอร์ดควบคุมในตัวของมอเตอร์ ซึ่งค่าเวลาของวงจร RC นี้จะมีการเปลี่ยนแปลงตามการหมุนของมอเตอร์ เนื่องจากตัวต้านทานปรับค่าจะถูกยึดติดอยู่กับแกนหมุนของมอเตอร์ ซึ่งการหมุนของมอเตอร์จะทำให้ค่าความต้านทานของตัวต้านทานปรับค่า (VR) เปลี่ยนแปลงไป เป็นผลทำให้ค่าเวลาของวงจร RC เปลี่ยนแปลงตามไปด้วย โดยในขณะที่เราป้อนสัญญาณความกว้างพัลส์ให้กับมอเตอร์ทางขาสัญญาณควบคุม สัญญาณนี้จะถูกนำไปเปรียบเทียบกับค่าเวลาของวงจร RC หากค่าทั้ง 2 ไม่เท่ากันมอเตอร์ก็จะหมุนทำให้ค่าเวลาของวงจร RC เปลี่ยนแปลงจนกระทั่งค่าเวลาความกว้างพัลส์ของ วงจร RC เปลี่ยนแปลงจนเท่ากับสัญญาณพัลส์ทางขาควบคุม (Control line) มอเตอร์จึงจะหยุดหมุน

จากคุณสมบัติของ Servo motor ที่ผลิตออกมาจากโรงงานจะสามารถหมุนได้แค่เพียงประมาณ 180 องศา หรือประมาณครึ่งรอบเท่านั้น หากเราต้องการนำเอา Servo motor ไปใช้งานในลักษณะที่หมุนเป็นวงรอบนั้นก็ยังสามารถทำได้ แต่ก็จะมีข้อเสียการควบคุมในเรื่องของการสั่งให้มอเตอร์หมุนไปในตำแหน่ง หรือ มุมที่ต้องการไปด้วย จะทำได้ก็เพียงในเรื่องของการสั่งให้หมุนซ้าย , ขวา และหยุด เท่านั้น โดยการทำให้มอเตอร์สามารถหมุนเป็นวงรอบได้นั้นจะต้องทำการปรับแต่ง หรือแก้ไขโครงสร้างภายในบางส่วนของมอเตอร์ ซึ่งได้แก่

- การต่อตัวต้านทานคงที่ 2 ตัวอนุกรม แทนตัวต้านทานปรับค่าได้
- ตัดชิ้นส่วนของแกนเฟืองที่ทำหน้าที่หยุดมอเตอร์ (TAB STOP) ออก
- การตัดแปลงตัวต้านทานปรับค่าได้ (VR) ให้สามารถหมุนได้รอบทิศทาง (360°)

มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. ถอดชิ้นส่วนของ Servo motor ออกเป็นส่วนๆ



รูปที่ 2.19 รูปภายในของเซอร์โวมอเตอร์

2. ตัดแกนที่ติดกับเฟือง (TAB STOP) ออกโดยแกนนี้มีหน้าที่ป้องกันไม่ให้มอเตอร์หมุนเกินมุม 180 องศา ทั้งนี้เพื่อป้องกันความเสียหายที่จะเกิดขึ้นกับตัวต้านทานปรับค่าได้เนื่องจาก ตัวต้านทานชนิดปรับค่าได้ ไม่สามารถหมุนเป็นวงรอบได้ ดังนั้นเพื่อให้มอเตอร์หมุนเป็นวงรอบได้จึงต้องตัด TAB STOP ในส่วนนี้ออกดังรูป

3. ถอดตัวต้านทานปรับค่าได้ (VR) ออก แล้วใส่ตัวต้านทานชนิดค่าคงที่ 2 ตัวที่ต่ออนุกรมกันเข้าไปแทนในตำแหน่งของตัวต้านทานปรับค่าได้ โดยตัวต้านทานชนิดค่าคงที่ที่นำมาตอนนี้จะต้องมีค่าอยู่ในช่วง 2.2 k ถึง 3.3 k ทั้งนี้เนื่องจากตัวต้านทานชนิดปรับค่าได้ที่อยู่ในบอร์ดควบคุมของ Servo motor นั้นจะมีค่าความต้านทาน 5 k ดังนั้น จึงต้องนำตัวต้านทานค่าคงที่มาต่ออนุกรมกันเพื่อให้ได้ค่าความต้านทานใกล้เคียงกับของเดิม ดังรูปต่อไปนี้

4. ถึงแม้ว่าเราจะถอดตัวต้านทานปรับค่าได้ (VR) ออกจากวงจรแล้วก็ตาม แต่เนื่องจากเรายังคงต้องใช้ตัวต้านทานปรับค่าได้นี้ไปเป็นแกนหมุนของมอเตอร์อยู่ ซึ่งตัวต้านทานปรับค่าได้นี้ จะไม่สามารถหมุนเป็นวงรอบได้ ทำให้เราต้องแก้ไขเปลี่ยนแปลงบางส่วนของตัวต้านทานเพื่อให้

ตัวต้านทานสามารถหมุนรอบตัวเองได้ เพื่อที่จะได้ไม่ไปขัดขวางการหมุนของมอเตอร์ซึ่งทำได้โดย

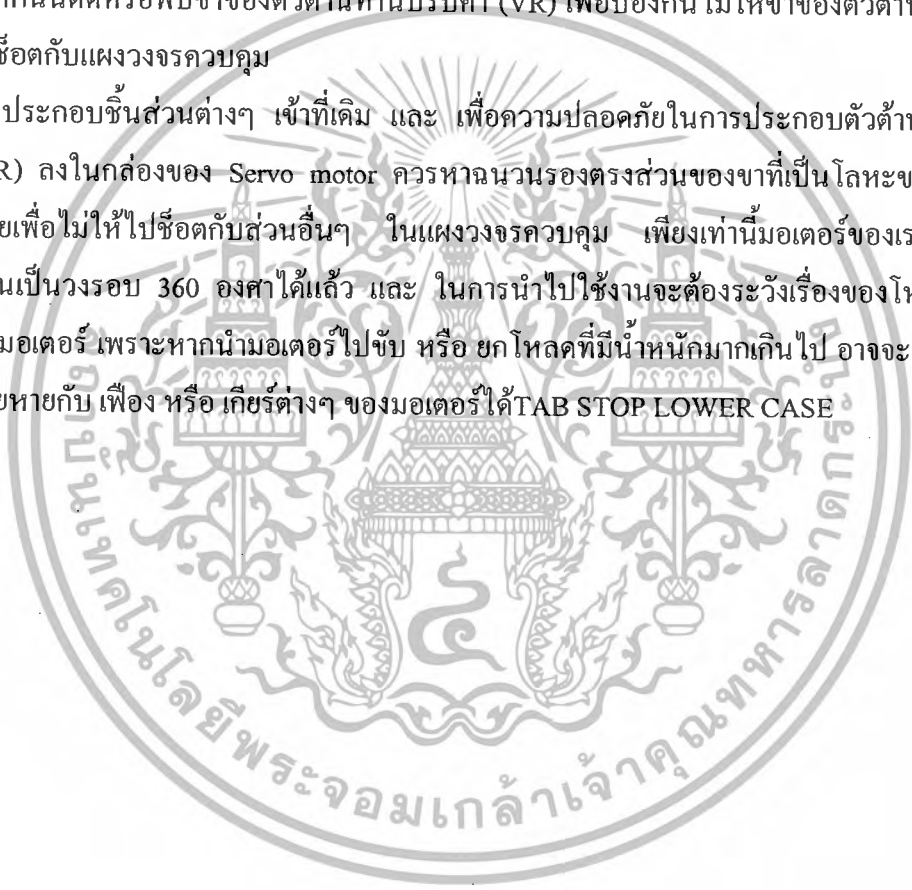
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตเห็นเข้า เว็บไซต์เผยแพร่ข้อมูลด้านการศึกษา
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ถอดชิ้นส่วนของตัวด้านทานปรับค่าออก

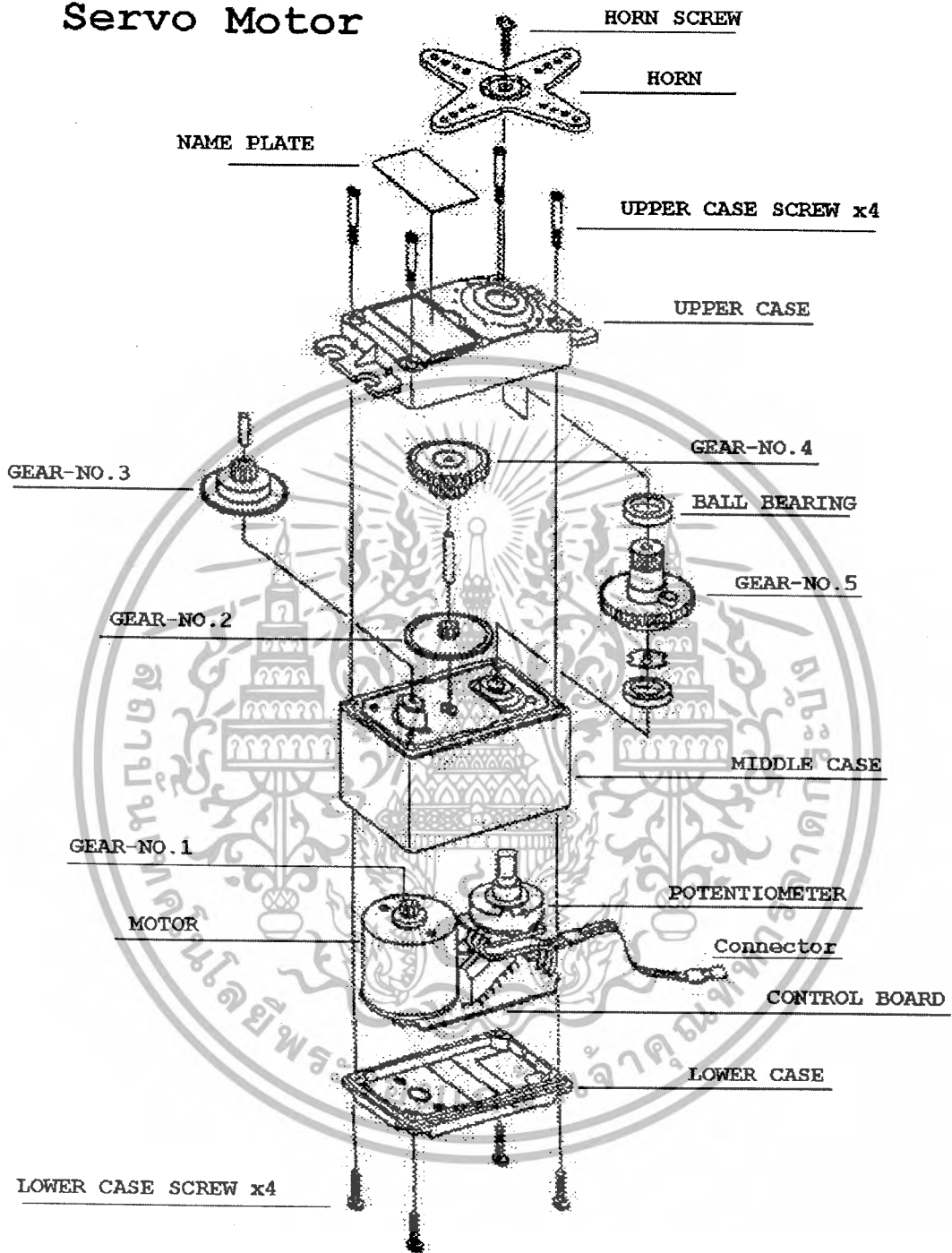
- ตัวด้านทานปรับค่าในมอเตอร์แต่ละรุ่นนั้น อาจจะใช้ไม่เหมือนกัน แต่จะมีหลักการเดียวกันโดยจะมีแท่งที่ทำหน้าที่หยุดการหมุนของตัวด้านทานอยู่ ให้เราทำการตัดส่วนนี้ออกแล้วทดลองหมุนแกนของตัวด้านทานปรับค่า ถ้าสามารถหมุนรอบตัวเองได้ ก็ทำการประกอบตัวด้านทานเข้าไว้เหมือนเดิม แต่ถ้ายังหมุนเป็นวงรอบไม่ได้ก็ให้พิจารณาว่ามีชิ้นส่วนใด ที่ยังขัดขวางการหมุนของตัวด้านทานอยู่ เมื่อพบก็ให้เอาออก หรือ ทำลายได้เลยโดยไม่ต้องสนใจว่าจะทำให้ตัวด้านทานนี้พัง เพราะเราไม่ได้ใช้ประโยชน์จากการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานนี้อีกแล้ว นอกจากใช้เป็นแกนหมุนของเฟืองเท่านั้น

- จากนั้นตัดหรือพับขาของตัวด้านทานปรับค่า (VR) เพื่อป้องกันไม่ให้ขาของตัวด้านทานดังกล่าวไปช๊อคกับแผงวงจรควบคุม

5. ประกอบชิ้นส่วนต่างๆ เข้าที่เดิม และ เพื่อความปลอดภัยในการประกอบตัวด้านทานปรับค่า (VR) ลงในกล่องของ Servo motor ควรหาฉนวนรองตรงส่วนของขาที่เป็นโลหะของตัวด้านทานด้วยเพื่อไม่ให้ไปช๊อคกับส่วนอื่นๆ ในแผงวงจรควบคุม เพียงเท่านั้นมอเตอร์ของเราจะสามารถหมุนเป็นวงรอบ 360 องศาได้แล้ว และ ในการนำไปใช้งานจะต้องระวังเรื่องของโพลด์ที่นำมาต่อกับมอเตอร์ เพราะหากนำมอเตอร์ไปขับ หรือ ยกโพลด์ที่มีน้ำหนักมากเกินไป อาจจะทำให้เกิดความเสียหายกับ เฟือง หรือ เกียร์ต่างๆ ของมอเตอร์ ได้ TAB STOP LOWER CASE



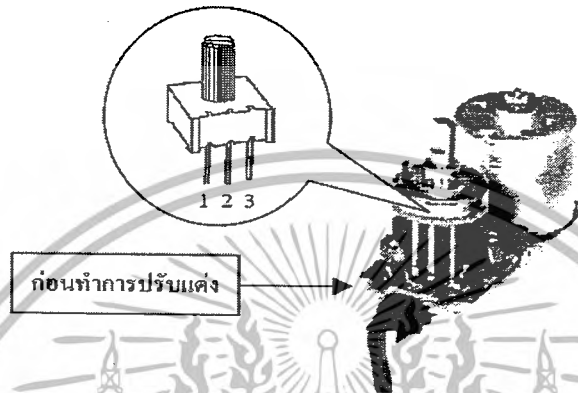
Servo Motor



รูปที่ 2.20 รูปแสดงส่วนประกอบของเซอร์โวมอเตอร์

2.8 การปรับแต่งเซอร์โวมอเตอร์

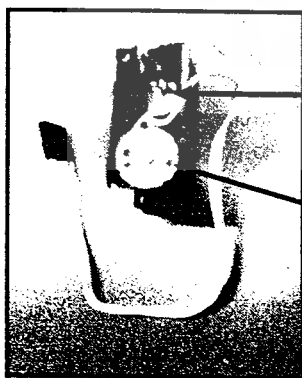
วงจรการทำงานของ Servo Motor ก่อนที่จะทำการปรับแต่งเพื่อให้เปลี่ยนจากการทำงานแบบพัลส์วีดมอด (PWM) เป็นการทำงานแบบ อะนาล็อก (Analog) เพื่อรับการควบคุมการทำงานจากวงจรควบคุมการทำงานที่รับมาจากการประมวลผลของถุงมือรับรู้



รูปที่ 2.21 รูปภายในของเซอร์โวมอเตอร์แบบสัญญาณพัลส์ก่อนการปรับแต่ง

ขั้นตอนการตัดแปลง

1. วงจรการทำงานภายในของ Servo Motor จะถูกนำออกเหลือเพียงตัวต้านทานปรับค่าได้และ DC Motor เพื่อนำไปใช้งานต่อไป
2. ทำสายแพเพื่อต่อในส่วนของตัวต้านทานปรับค่าได้ และ DC Motor เพื่อเป็นตัวเชื่อมต่อเข้าสู่วงจรควบคุมการทำงานของ Servo motor



มี 3 ขั้วสำหรับเชื่อมต่อกับความต้านทานปรับค่าได้ภายใน Servo motor

มี 2 ขั้วสำหรับเชื่อมต่อ

รูปที่ 2.22 รูปภายในของเซอร์โวมอเตอร์หลังการปรับแต่ง

มอเตอร์หลังการปรับแต่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วงจรควบคุมการทำงานของระบบ

3.1 ประวัติความเป็นมาของทรานซิสเตอร์

ในช่วงเวลาก่อนปี พ.ศ. 2490 ประมาณ 40 ปี หลอดสุญญากาศเป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีการพัฒนาและนำมาใช้งานมากที่สุด การใช้งานหลอดสุญญากาศมีปัญหาในการใช้งานมากเช่น กำลังไฟฟ้าสูญเสียมาก มีขนาดใหญ่ ชำรุดง่าย กรรมวิธีผลิตยุ่งยาก เป็นต้น เมื่อความต้องการใช้งานมากขึ้น หลอดสุญญากาศยังมีปัญหามากขึ้น จึงได้มีผู้คิดค้นสิ่งประดิษฐ์ใหม่ๆ ทางด้านอิเล็กทรอนิกส์มาใช้แทนหลอดสุญญากาศ

ในปลายปี พ.ศ. 2490 บริษัทเบลล์เทเลโฟนจำกัด (Bell Telephone CO.,LTD.) โดยจอห์น บาร์ดีน (John Bardeen) วิลเลียม แบรดฟอร์ด ช็อกลีย์ (William Bradford Shockly) และวอลเตอร์ ฮอว์ส แบรทเทน (Walter House Bratn) ได้ทดลองวงจรขยายด้วยทรานซิสเตอร์ตัวแรกที่ห้องทดลองของบริษัทเบลล์เทเลโฟนเป็นสำเร็จ ทรานซิสเตอร์ซึ่งเป็นอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำเมื่อเปรียบเทียบกับหลอดสุญญากาศก็คือ มีขนาดเล็ก น้ำหนักเบา ไม่ต้องมีตัวให้ความร้อน มีโครงสร้างแข็งแรงทนทาน กำลังไฟฟ้าสูญเสียน้อย ประสิทธิภาพสูง สามารถทำงานได้ทันทีเมื่อจ่ายไฟให้ ทรานซิสเตอร์เป็นอุปกรณ์เซมิคอนดักเตอร์ชนิดไบโพลาร์ ซึ่งความหมายของไบโพลาร์คือ อุปกรณ์หลายขั้วต่อทรานซิสเตอร์ได้จากการนำเอาสารกึ่งตัวนำชนิดพีและชนิดเอ็นมาต่อเรียงกัน

3.1.1 ชนิดของทรานซิสเตอร์

การแบ่งชนิดของทรานซิสเตอร์สามารถแบ่งออกได้หลายวิธีแล้วแต่ผู้ผลิตว่าการแบ่งชนิดของทรานซิสเตอร์จะยึดถือรูปลักษณะแบบไหน ถ้าแบ่งในรูปของการใช้งานก็จะแบ่งออกเป็นทรานซิสเตอร์ที่ทำหน้าที่สวิทซ์ ทรานซิสเตอร์กำลัง ทรานซิสเตอร์ความถี่สูง ฯลฯ การแบ่งอีกวิธีหนึ่งซึ่งนิยมใช้กันมากในยุคแรกๆ คือ การแบ่งโดยใช้สารที่นำมาสร้างเป็นเกณฑ์ซึ่งสามารถแบ่งออกได้ 2 ประเภทคือ

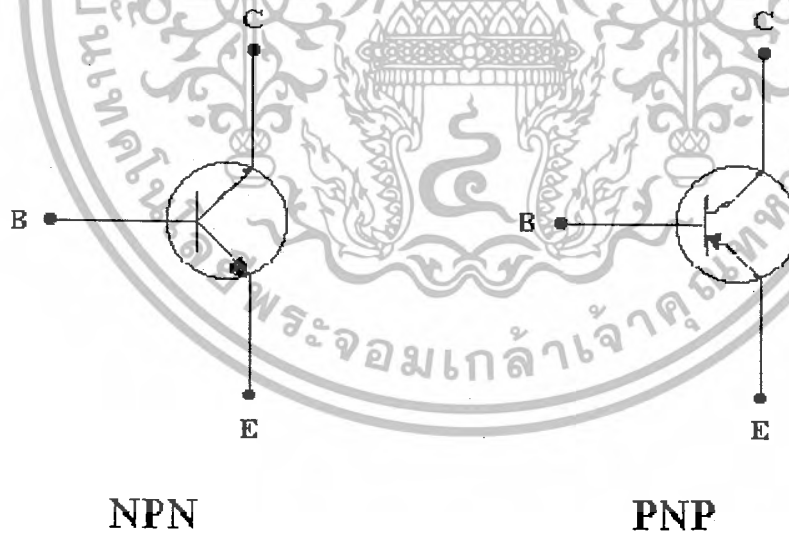
2.1 เยอรมันเนียมทรานซิสเตอร์ (Germanium transistor) เป็นทรานซิสเตอร์ยุคแรกๆ และเป็นชนิดที่มีกระแสรั่วไหลมากจึงไม่ค่อยมีผู้นิยมใช้

2.2 ซิลิกอนทรานซิสเตอร์ (Silicon Transistor) เป็นทรานซิสเตอร์ที่มีประสิทธิภาพสูง มีกระแสรั่วไหลน้อย (Leakage Current) เป็นทรานซิสเตอร์ที่ใช้กันมากในยุคปัจจุบัน

3.1.2 โครงสร้างและสัญลักษณ์ของทรานซิสเตอร์

เนื่องจากทรานซิสเตอร์ถูกสร้างขึ้นมาจากสารกึ่งตัวนำชนิดพี (P) และเอ็น (N) ซึ่งนำมาต่อกัน 3 ชั้น ทำให้เกิดรอยต่อขึ้นระหว่างเนื้อสาร 2 รอยต่อ หรือเรียกว่าจังก์ชัน (Junction) โดยที่สารที่อยู่ตรงกลางจะเป็นคนละชนิดกับสารที่อยู่หัวและท้าย มีขาต่อออกมาสำหรับนำไปใช้งาน 3 ขา ดังนั้นทรานซิสเตอร์จึงแบ่งออกเป็น 2 ชนิดตามโครงสร้างของสารที่นำมาใช้คือ

1. ทรานซิสเตอร์ชนิด เอ็น พี เอ็น (NPN)
2. ทรานซิสเตอร์ชนิด พี เอ็น พี (PNP)



รูปที่ 3.1 สัญลักษณ์ทรานซิสเตอร์แบบ NPN

รูปที่ 3.2 สัญลักษณ์ทรานซิสเตอร์ชนิด PNP

3.1.3 ขาของทรานซิสเตอร์

1. ขาคอลเลกเตอร์ (Collector) เรียกย่อๆ ว่าขา C เป็นขาที่มีโครงสร้างในการได้ปัสสารใหญ่ที่สุด
2. ขาอิมิตเตอร์ (Emitter) เรียกย่อๆ ว่าขา E เป็นขาที่มีโครงสร้างใหญ่รองลงมาและจะอยู่คนละด้านกับขาคอลเลกเตอร์
3. ขาเบส (Base) เรียกย่อๆ ว่าขา B เป็นส่วนที่อยู่ตรงกลางระหว่าง C และ E มีพื้นที่ของโครงสร้างแคบที่สุดเมื่อเทียบกับอีก 2 ส่วน เมื่อจำแนกลักษณะการต่อตัวทรานซิสเตอร์จึงคล้ายกับการนำเอาไดโอด 2 ตัวมาต่อกัน

3.1.4 การทำงานของทรานซิสเตอร์

จากการศึกษาเกี่ยวกับการไหลของกระแสภายในวงจรสารกึ่งตัวนำ การที่เราจะทำให้เกิดการไหลของกระแสหรือให้ทรานซิสเตอร์ทำงานได้นั้น จำเป็นจะต้องให้ไบอัสและกระแสที่ปรากฏทางด้านเอาต์พุตเราต้องสามารถควบคุมค่าของกระแสได้ด้วยจึงจะทำให้ทรานซิสเตอร์ขยายสัญญาณได้ตามความต้องการ

การอธิบายการทำงานของทรานซิสเตอร์จำเป็นจะต้องเข้าใจการไหลในรูปของโฮลและอิเล็กตรอน รวมถึงการไบอัสด้วยซึ่งการไบอัสเป็นวิธีการที่จะทำให้ทรานซิสเตอร์พร้อมที่จะทำงานนั่นเอง ในกรณีของทรานซิสเตอร์มี 3 ขา การป้องกันแรงเคลื่อนที่เหมาะสมหรือไบอัสที่ถูกต้องจะทำให้ทรานซิสเตอร์ทำงานได้

เมื่อพิจารณาโครงสร้างของทรานซิสเตอร์แล้วจะสามารถจัดรูปแบบการขยายสัญญาณโดยต้องมีอินพุตและเอาต์พุต เมื่อให้ขาหนึ่งเป็นอินพุตขาหนึ่งเป็นเอาต์พุต ขาที่เหลือก็จะต้องเป็นจุดร่วม (Common) อินพุตกับเอาต์พุต จากหลักการดังกล่าวเรากำหนดให้ระหว่าง B กับ E เป็นอินพุต (Input) และระหว่าง B กับ C เป็นเอาต์พุต (Out put) ดังนั้นจะสามารถจัดรูปแบบการขยายได้ 3 แบบ หรือ 3 คอมมอน

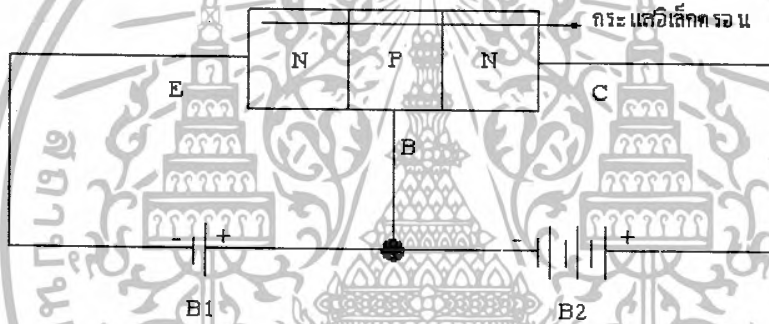
เนื่องจากวัตถุประสงค์ของทรานซิสเตอร์สร้างมาจากหลักการที่ต้องการให้กระแสทางด้านอินพุตไปควบคุมกระแสเอาต์พุต ดังนั้นจะต้องไบอัสทางด้านเอาต์พุตเป็นไบอัสแบบย้อนกลับ (Reverse Bias) ถ้าให้ไบอัสตรงจะทำให้ทางด้านเอาต์พุตเป็นอิสระไม่ครบวงจรเอาต์พุตทางด้านอินพุตจะให้ไบอัสตรง (Forward Bias) และแรงเคลื่อนที่มาไบอัสนี้ไม่จำเป็นจะต้องเป็น

แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่มีค่าสูงแต่อย่างไร เพราะถ้าให้กระแสอินพุตสูงเกินไปจะทำให้กระแสเอาต์พุตเกิดการอิ่มตัว

3.1.5 การให้ไบอัสทรานซิสเตอร์

ทรานซิสเตอร์ทั้งชนิด NPN และ PNP เมื่อนำไปใช้งานไม่ว่าจะใช้ในวงจรขยายสัญญาณหรือทำงานเป็นสวิตช์จะต้องทำการจัดแรงไฟให้เหมาะสมหรือเรียกว่าการให้ไบอัส(Bias)ให้ทรานซิสเตอร์ก่อน ทรานซิสเตอร์จึงจะทำงานได้โดยใช้หลักการไบอัสดังนี้

1. ไบอัสตรง (Forward Bias) ให้กับรอยต่อระหว่างอิมิตเตอร์กับเบส
2. ไบอัสกลับ (Reverse Bias) ให้กับรอยต่อระหว่างคอลเลคเตอร์กับเบส



รูปที่ 3.3 การให้ไบอัสของทรานซิสเตอร์ชนิด NPN

จากวงจร

B_1 และ B_2 เป็นแรงดันไฟฟ้าป้อนเป็นไบอัสให้ขาต่างๆ ของทรานซิสเตอร์ NPN

B_1 เป็นไบอัสตรงระหว่าง B-E ความต้านทานระหว่าง B-E จะต่ำมาก

B_2 เป็นไบอัสกลับระหว่าง B-C ความต้านทานระหว่าง B-C จะสูงมาก

ฉะนั้นกระแสอิเล็กตรอนจะไหลในวงจร B-E ครอบวงจรและอิเล็กตรอนในสารกึ่งตัวนำชนิด N จะเข้าไปประจุในสาร P ทันทีทันใด จึงเกิดแรงดันผลักดันให้อิเล็กตรอนเคลื่อนตัวไปขา C กระแสอิเล็กตรอนจะผ่าน B_1 - B_2 ครอบวงจรทางขา E

จากรูปสำหรับทรานซิสเตอร์ชนิด NPN ก็เช่นกัน การให้ไบอัสทางด้านอินพุตเป็นแบบฟอร์เวิร์ดไบอัสให้ไบอัสทางเอาต์พุตเป็นแบบรีเวิร์สไบอัส ในลักษณะเช่นนี้ถ้าใช้กระแสนิยมเป็นก็จะได้ทิศทางการไหลของกระแสทางอินพุต จากขาเบสไปยังอิมิตเตอร์ อย่างไรก็ตามเราได้ทราบ

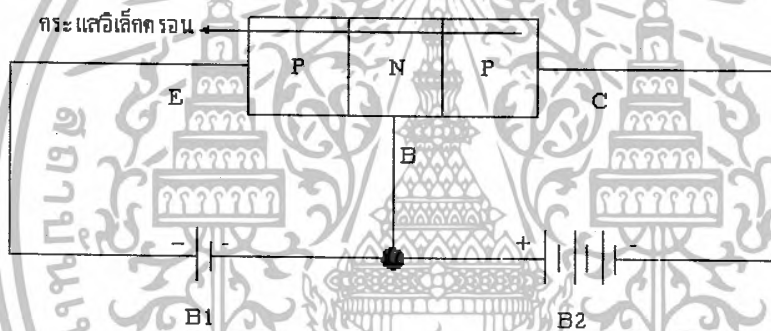
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แล้วว่าที่ขาเบสนั้นถูกโด้ปไว้แคบมากจึงทำให้ประจุส่วนใหญ่ไม่สามารถที่จะไหลไปได้จะต้องให้รีเวิร์สไบอัสระหว่างเบสกับคอลเลคเตอร์เป็นบวกมากๆ เพื่อผลักประจุเหล่านี้ให้เคลื่อนที่ไปยังอิมิตเตอร์ เช่นเดียวกันถ้าดูจากทิศทางการไหลของกระแสแล้วสามารถสรุปได้ว่า

$$I_E = I_B + I_C$$

การไล่ทิศทางการไหลของกระแสอีกแบบหนึ่งซึ่งนิยมไล่จากขั้วลบไปหาขั้วบวกซึ่งเราเรียกว่า การไล่แบบกระแสอิเล็กทรอนิกส์นั้น ทิศทางของกระแสจะทวนหัวลูกศรของสัญลักษณ์ทรานซิสเตอร์ แต่ผลที่ออกมาจะเหมือนกันทุกประการทั้งนี้เพราะการไหลของกระแส ไบโพลาร์ก็คือการแลกเปลี่ยนประจุกันระหว่างโฮลกับอิเล็กตรอนนั่นเอง

การให้ไบอัสทรานซิสเตอร์ชนิด PNP



รูปที่ 3.4 การให้ไบอัสทรานซิสเตอร์ชนิด PNP

จากวงจร

B_1 และ B_2 เป็นแรงดันไฟฟ้าป้อนเป็นไบอัสให้ขาต่างๆ ของทรานซิสเตอร์ PNP

B_1 เป็นไบอัสตรงระหว่าง B-E ความต้านทานระหว่าง B-E จะต่ำมาก

B_2 เป็นไบอัสกลับระหว่าง B-C ความต้านทานระหว่าง B-C จะสูงมาก

ฉะนั้นกระแสอิเล็กตรอนจะไหลในวงจร B ไป E สนามไฟฟ้าลบใน N จึงลุดค่าอิเล็กตรอนจากขา C จึงผ่าน B ไป E ผ่าน B_2 - B_1 ครบวงจร ลักษณะการทำงานในตัวของทรานซิสเตอร์ PNP คล้ายกับหลอดหรือโซลทางขา E วิ่งผ่าน B ไปยังขา C รับเอาอิเล็กตรอนหรือไฟลมาจาก B, จึงทำให้เกิดกระแสอิเล็กตรอนไหลครบวงจร

จากรูปเมื่อให้เบสกับอิมิตเตอร์ได้รับไบอัสแบบฟอร์เวิร์ด ทำให้มีกระแสไหลจากอิมิตเตอร์

ไปยังเบส (ตามทิศทางหัวลูกศร) ซึ่งเราเรียกว่า กระแสเบส ย่อด้วย I_B กระแสที่ใหญ่มีค่าประมาณ 2-5 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นับว่าเห็นว่าเป็นประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของค่ากระแสทั้งหมด เนื่องจากที่ขาเบสนั้นสารที่โด๊ปมีพื้นที่น้อยมากจึงทำให้ประจุจำนวนมากของ โอลิมารออยู่ที่ขาเบส ถ้าให้ไบอัสระหว่างเบสกับคอลเลคเตอร์แบบรีเวิร์สมากๆ จะทำให้มีกระแสไหลจากคอลเลคเตอร์ไปยังอิมิตเตอร์ได้ เรียกว่า กระแสคอลเลคเตอร์ ย่อด้วย I_C กระแสที่ไหลจะมีค่าประมาณ 95-98 % ของกระแสทั้งหมดซึ่งสามารถสรุปได้ว่า

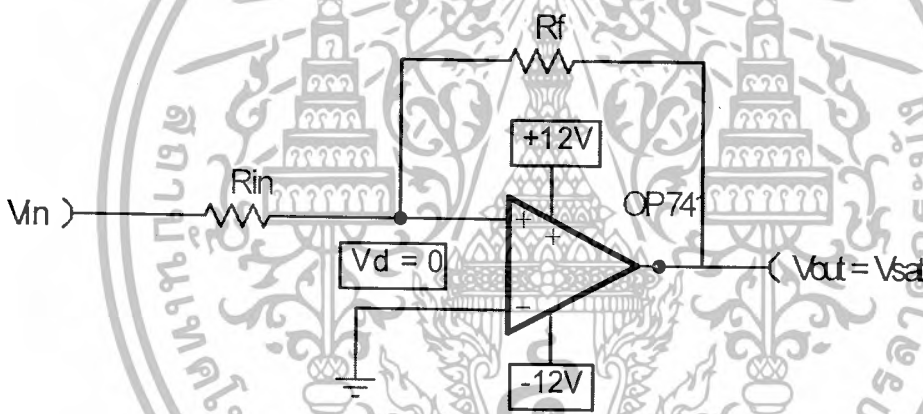
$$I_E = I_C + I_B$$

- I_E คือ กระแสอิมิตเตอร์มีค่าเท่ากับ 100 %
- I_C คือ กระแสคอลเลคเตอร์ มีค่าเท่ากับ 95-98 %
- I_B คือ กระแสเบส มีค่าเท่ากับ 2-5 %
- V_{BE} คือ แรงไฟไบอัสหรือศักย์ตกคร่อมระหว่างเบสกับอิมิตเตอร์ในขณะที่ทรานซิสเตอร์ทำงานปกติ



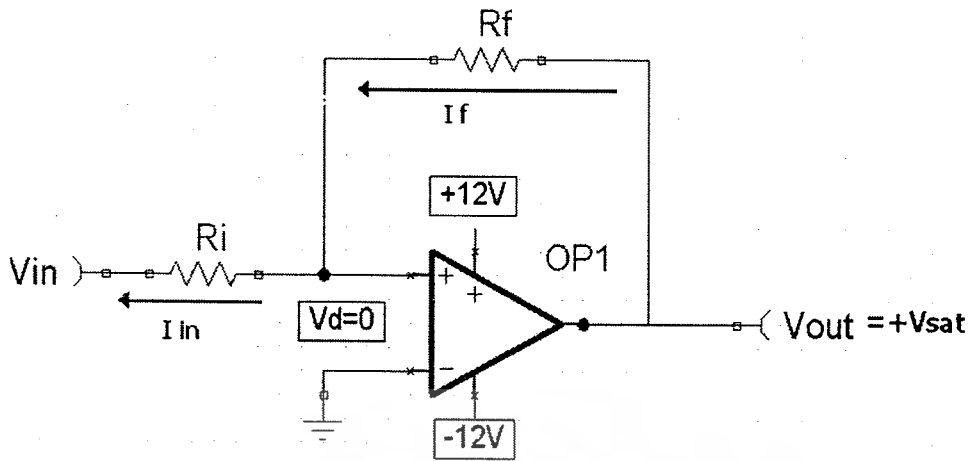
3.2 วงจรเปรียบเทียบสัญญาณ

two level comparator เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการเปรียบเทียบ 2 input ที่ inverting และ noninverting input เพราะจะมี open-loop gain (อัตราส่วนระหว่าง R_f และ R_i) ที่มาก output voltage จะถูกจำกัดเมื่อมีสัญญาณที่ต่างกันเล็กน้อยระหว่าง input level ตัวอย่างเช่น ถ้า input voltage ที่ขาบวกมีค่ามากกว่า input voltage ที่ขาลบเล็กน้อย amplifier จะเปลี่ยน output เป็นค่า max ทางด้านบวก ($+V_{sat}$) และเมื่อ input ที่ขาลบมีค่ามากกว่า input ที่ ขาบวกเล็กน้อย amplifier จะเปลี่ยนเป็นค่า max ทางด้านลบ ($-V_{sat}$) และเปรียบเทียบระดับ voltage output ของ comparator จะเป็น input อันใดอันหนึ่งใน 2 input ที่มีค่ามากกว่า ดังนั้นพื้นฐานของอุปกรณ์นี้คือจะสร้าง high output เมื่อมี 1 input ที่มากกว่าและจะเปลี่ยนเป็น low output ถ้ามี input อื่นที่มากกว่า ออปแอมป์ที่ใช้เป็น voltage comparator การทำงานจะเป็นแบบ open-loop (ไม่มี feedback)

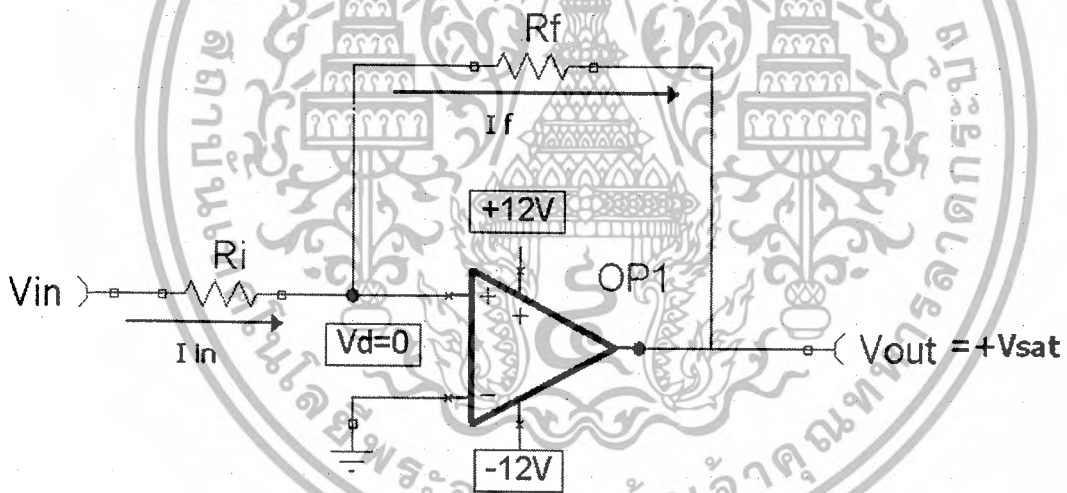


รูปที่ 3.5 วงจร Noninverting comparator

ในวงจร Noninverting comparator เมื่อป้อนสัญญาณ input ให้ที่ขา noninverting ทำให้ output ที่ได้มีเฟสตรงกันกับ input ดังนั้นเมื่อป้อนสัญญาณ output กลับมายัง input แรงดันรวมจะมีค่าสูงขึ้นเรื่อยๆจนกระทั่งอิมตัวที่ $+V_{sat}$ หรือ $-V_{sat}$ จากคุณสมบัติดังกล่าว เมื่อจ่ายไฟเลี้ยงออปแอมป์ แรงดันค่าน้อยๆระหว่างขั้ว input (V_d) หรือแรงดัน offset จะเป็นผลให้ output อิมตัวโดยมี V_{out} มีค่าเท่ากับ $+V_{sat}$ ดังรูปที่ 3.5



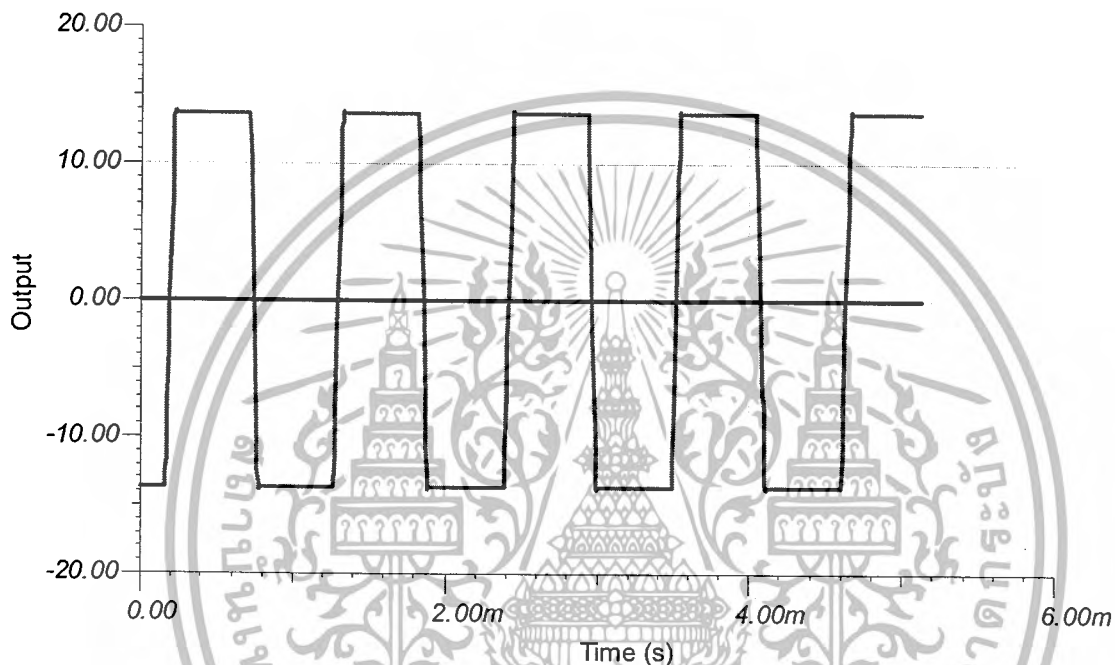
รูปที่ 3.6ก. output ของ Noninverting comparator จะเปลี่ยนเป็น $+V_{sat}$ เมื่อ $v^+ > v^-$



รูปที่ 3.6 ข. output ของ Noninverting comparator จะเปลี่ยนเป็น $-V_{sat}$ เมื่อ $v^+ < v^-$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

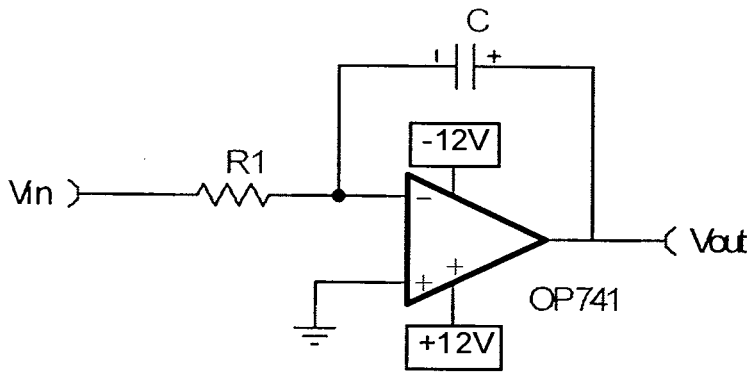
และจะอยู่ในสถานะนั้นจนกระทั่งแรงดัน input มีค่าลดต่ำลงจนถึงแรงดันค่าหนึ่ง ซึ่งจะทำให้สวิตช์ที่ปรากฏที่ขา noninverting มีค่าเป็นลบเมื่อเทียบกับสวิตช์ที่ขาลบซึ่งต่อกับกราวด์เป็นผลให้ V_{out} เปลี่ยนสถานะเป็น $-V_{sat}$ และจะเปลี่ยนสถานะของ output มี V_{out} มีค่าเท่ากับ $+V_{sat}$ และเป็นเช่นนั้นไปเรื่อยๆ ทำให้เกิดพัลส์สี่เหลี่ยม



รูปที่ 3.7 output ของ Inverting comparator

วงจรรวมอินทิเกรตเตอร์(Integrator)

วงจรรวมอินทิเกรตเตอร์ (Integrator) เป็นวงจรที่ประกอบด้วย ออปแอมป์ R และ C ดังรูปที่ 3.7 ซึ่งใช้สร้าง output waveform ที่มีค่าเวลาค่าหนึ่งจะเท่ากับผลรวมของพื้นที่ใต้กราฟ input waveform ที่เวลานั้นๆ วิธีนี้จะคล้ายกับการอินทิเกรตในทางคณิตศาสตร์ ซึ่งจะเขียนฟังก์ชันที่เปลี่ยนแปลงตามเวลาได้เป็น $\int v_i(t)dt$ สมมุติว่า input ของ วงจรรวมอินทิเกรตเตอร์ คือสัญญาณ DC , V_{in} โดยจุดเริ่มต้นของวงจรรวมอินทิเกรตเตอร์ที่เวลา $t=0$ โดย V_{in} waveform เปรียบเทียบกับเวลา



รูปที่ 3.8 วงจรอินทิเกรตเตอร์ (Integrator)

วงจร integrator ซึ่งจะต้องใช้ ออปแอมป์ ซึ่งส่วนที่เป็น feedback ของวงจรมันจะต้องต่อ capacitor และต้องเป็นแบบ inverting (feedback ต่อเข้าที่ขาลบของออปแอมป์) สมมุติว่า ออปแอมป์ที่ใช้เป็นออปแอมป์ในอุดมคติ จะได้ว่า input offset เป็น 0 ดังนั้นถ้าเป็นวงจร ideal integrator แทนการอินทิเกรตของ voltage ในช่วงเวลา $t=0$ ถึง $t=t_1$ ซึ่งจะได้ output ของวงจร โดยใช้สัญลักษณ์ $\int_0^{t_1} v dt$ ซึ่งจะแสดงการอินทิเกรตของวงจรรูปที่ 3.8 เนื่องจากกระแสที่เข้าที่ input ขาลบเป็น 0 และใช้ Kirchoff's Current law

$$i_i = i_c$$

ซึ่ง i_i เป็นกระแสของ input ที่ผ่าน R_1 และ i_c เป็นกระแส feedback ที่ผ่านตัวเก็บประจุ ตั้งแต่ $v^- = 0$ จะได้กระแสที่ไหลผ่านตัวเก็บประจุ (i_c) คือ

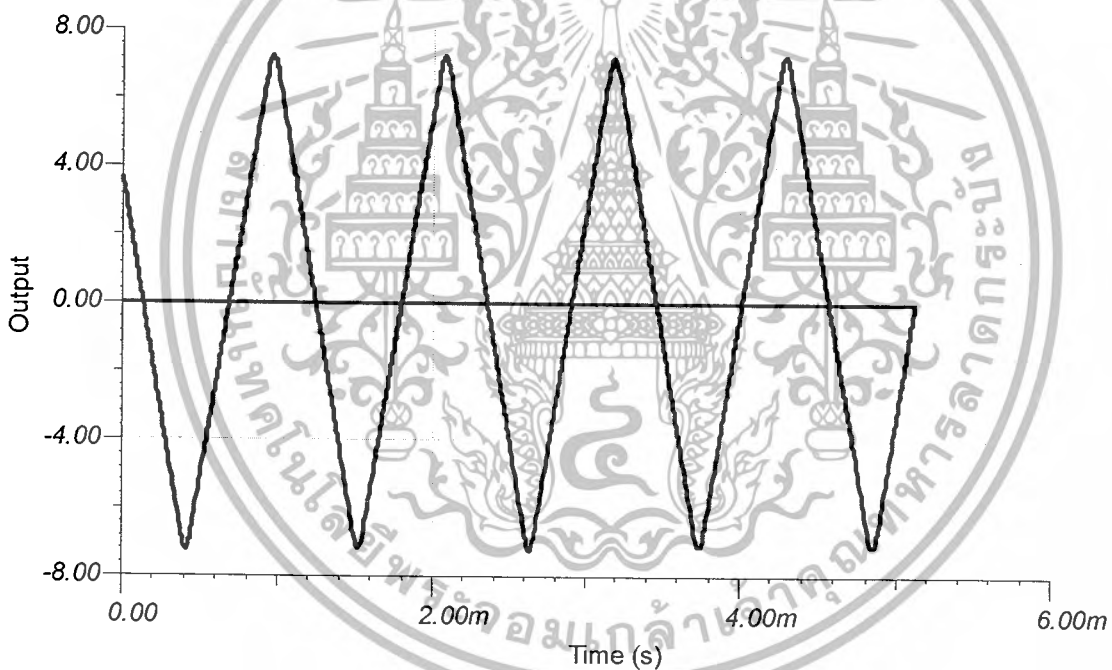
$$i_c = C \frac{dv_o}{dt}$$

ดังนั้น

$$\frac{v_i}{R_1} + C \frac{dv_o}{dt} = 0$$

$$v_o(t) = -\frac{1}{R_1 C} \int_0^t v_i dt$$

สมการนี้แสดงว่า output คือการอินทิเกรต input (แต่กลับขั้วเนื่องจากเป็นลบ) คูณกับค่าคงที่ $(\frac{1}{R_1C})$ ถ้าวงจรนี้ใช้อินทิเกรต DC waveform output ควรจะเป็น negative ramp ($v_o = \frac{-Et}{R_1C}$) เมื่อ input ของ integrator เป็น DC output จะเป็นเชิงเส้นตามเวลา และจะขึ้นไปได้สูงสุดถึงจุดที่ amplifier สามารถให้เป็นไปได้ และถ้าถึงจุดนั้นการทำงานจะหยุดทันที ถ้าแรงดันอินพุตเป็นลบในช่วงเวลาหนึ่ง พื้นที่รวมระหว่างช่วงนั้นจะเป็นลบ และจะลบออกจากส่วนที่เป็นพื้นที่บวกที่มีอยู่แล้ว ดังนั้น output Voltage ก็ลดลง เพราะฉะนั้น input จะต้องเป็นบวกและลบเป็นคาบๆ เพื่อป้องกันการที่ output ของ integrator จะไปถึงจุดจำกัดของช่วงบวกลบนั่นเอง จะได้ output เป็น Ramp Voltage ต่อกันไปเรื่อยๆ ดังแสดงในรูป



รูปที่ 3.9 แสดง output ของวงจร Integrator เทียบกับเวลา t

หลักการทํางาน เป็นการนำ output ของวงจร Integrator มาต่อเป็น input ของวงจร comparator และ นำinput ของวงจร Integrator มาต่อเป็น output ของวงจรcomparatorอีกที โดยที่วงจร comparator เป็นตัวกําหนดสัญญาณคลื่นรูปสี่เหลี่ยม เมื่อจ่ายไฟเลี้ยงออปแอมป์ แรงดันค่าน้อยๆระหว่างขั้ว input (V_d) หรือแรงดัน offset จะเป็นผลให้ output อิมตัวโดยมี V_{out} มีค่าเท่ากับ $+V_{sat}$ ป้อนเป็น input ของวงจร Integrater ทำให้การเก็บประจุ(charge)และคายประจุ(discharge) ของตัวเก็บประจุ (capacitor) ด้วยกระแสที่คงที่คําหนึ่ง โดย output ของ comparator จะต่อfeedbackไปที่ขาลบของ integrator ถ้าให้ $V_{p1} = +V_{sat}$ จะมีผลทำให้มีกระแสคงที่ ($I = \frac{V_{sat}}{R_i}$) ผ่าน capacitor เป็นผลให้ V_{p2} เกิดการ ramp down(โดย ramp down ที่เกิดขึ้นจะเป็น ramp ที่เป็นเชิงเส้น(linear) เนื่องจาก V_{p2} จะเปลี่ยนแปลงโดยเป็นสัดส่วนต่อเวลา ($\Delta V_{p2} = -\left(\frac{V_{sat}}{RC}\right) \times \Delta t$) จาก V_{UT} (Upper Threshold Voltage) ไปยัง V_{LT} (Lower Threshold Voltage) และในทางกลับกันเมื่อ V มาถึง V_{LT} ซึ่งจะมีผลทำให้ output ของ comparator (V_{p1}) เปลี่ยนเป็น $-V_{sat}$ เมื่อ $V_{p2} = -V_{sat}$ ทำให้กระแสกลับทิศผ่าน capacitorเป็นผลให้ V_{TR} เกิดการ ramp up จาก V_{LT} ไปยัง V_{UT} และเมื่อ V_{TR} มาถึง V_{UT} ก็จะทำให้ V_{SQ} เปลี่ยนจาก $-V_{sat}$ ไปเป็น $+V_{sat}$ จะเป็นอย่างนี้ไปเรื่อยๆทำให้เกิดออสซิลเลตตลอดเวลาเกิดเป็นคลื่นรูปสามเหลี่ยม

- V_{pp} ของสัญญาณคลื่นรูปสี่เหลี่ยม(Square wave) จะถูกจำกัดโดย Voltage ที่ต่อเข้ากับ opamp (Supply) แต่จะไม่เท่ากับค่า Supply ที่จ่ายเข้ามาเนื่องจากมีผลของ $V_{headroom}$ ของ opamp (แล้วแต่อุปกรณ์)ทำให้ค่าแอมพลิจูดที่ได้มีค่าเท่ากับ $\pm V_{sat}$

$$\pm V_{saturate} = V_{supply} - V_{headroom}$$

- V_{p-p} ของสัญญาณคลื่นรูปสามเหลี่ยม (Triangle wave) โดยที่แอมพลิจูดของคลื่นสามารถหาได้จากอัตราส่วนของ $\frac{R_i}{R_f}$

โดยที่
$$V_{p-p} = 2 \frac{R_i}{R_f} (+V_{sat})$$

$$V_{UT} = -\frac{R_i}{R_f} (-V_{sat})$$

$$V_{LT} = -\frac{R_i}{R_f} (+V_{sat})$$

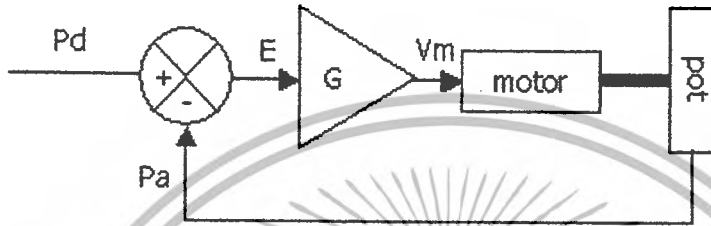
- ความถี่ของสัญญาณ output ที่ $V_{p1} = V_{p2}$

$$f = \left(\frac{R_f}{R_i} \right) \times \frac{1}{4R_1C}$$



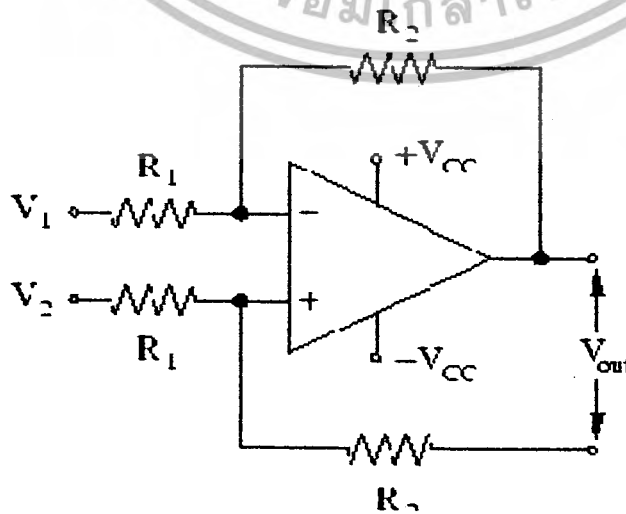
3.3 รูปแบบวงจรการทำงาน โดยใช้ Different Amplifier และ Transistor

วงจรการทำงานเพื่อสำหรับการควบคุมการทำงานของ Servo Motor โดยการใช้ทฤษฎีทางระบบควบคุมการทำงาน DC motor servo และสมการในการคำนวณเพื่อหาเสถียรภาพของระบบควบคุมการทำงาน ดังทฤษฎีการทำงาน ต่อไปนี้



รูปที่ 3.10 Diagram การทำงานของระบบ

หลักการทำงานของระบบคือ เริ่มต้นที่สัญญาณ Pd (Demand position) ซึ่งเป็นสัญญาณของตำแหน่งที่ต้องการ จะถูกป้อนเข้ามาสู่ระบบ ในรูปของ ความต่างศักย์ ซึ่ง Pd ก็คือสัญญาณ Input ที่ป้อนมารวมกับ Pa (Actual position) ซึ่งสัญญาณที่ถูกป้อนกลับมาจากมอเตอร์ บงบอกถึงตำแหน่งของมอเตอร์ ในเวลาปัจจุบัน ที่จุดรวมสัญญาณ (Summing junction) ทำหน้าที่ เปรียบเทียบแรงดัน 2 แรงดัน แล้วหาค่าผลต่างของแรงดันทั้งสองนี้ จุดรวมสัญญาณนี้ จะใช้วงจร Differential Amplifier เพื่อหาผลต่างแรงดัน ที่ V_{out} ของวงจร Differential Amplifier เราจะได้สัญญาณที่เป็นผลต่างของ สัญญาณตำแหน่งที่ต้องการ กับ ตำแหน่งจริงของมอเตอร์ ซึ่งคือ Position signal (P_s)



รูปที่ 3.11 วงจร Differential Amplifier

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับคุณเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$P_s = V_{ref} - V_{out}$$

P_s = Position signal

$V_1 = V_{ref}$ = อินพุตจากถ่วงมีอร์รับรู้

$V_2 = V_{out}$ = อินพุตจากเซอร์โวมอเตอร์

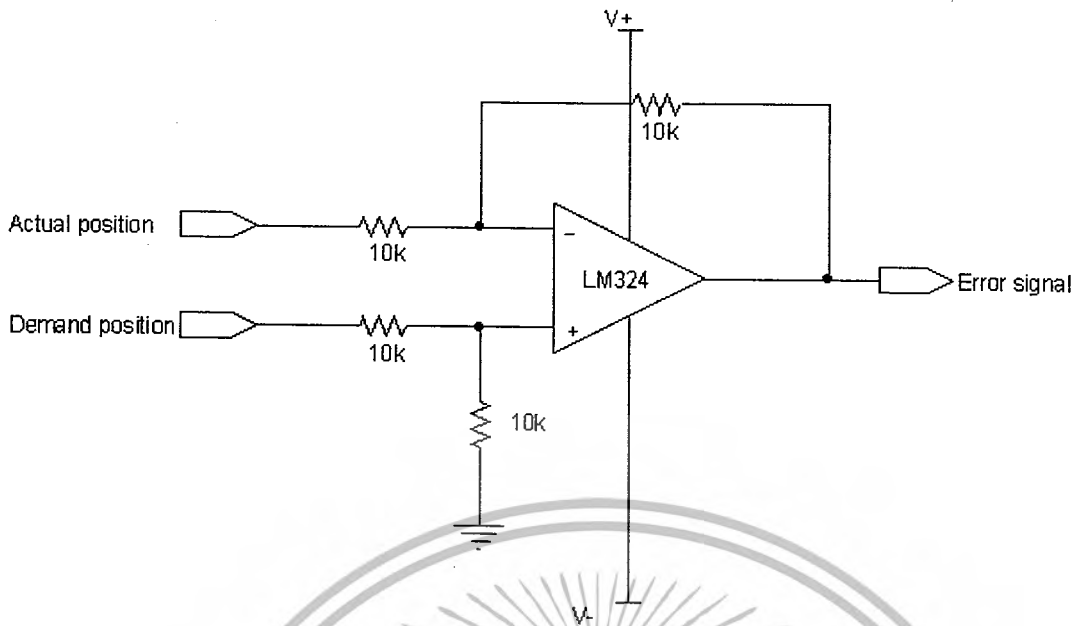
Position signal ที่ได้จากวงจรเปรียบเทียบแรงดันนั้น จะเป็นข้อมูลบ่งบอกว่าตำแหน่งของมอเตอร์ปัจจุบัน ต่างจาก ตำแหน่งที่ต้องการเท่าไร และ รวมถึงทิศทางของมอเตอร์ด้วย โดยค่าของ Error signal จะมากหรือน้อย ขึ้นอยู่กับสมการของ Differential Amplifier

$$V_o = \frac{R_2}{R_1}(V_2 - V_1)$$

โดยค่าของ R_1 และ R_2 ในวงจรจะใช้ค่าที่เท่ากันทำให้สมการนี้ กลายเป็น

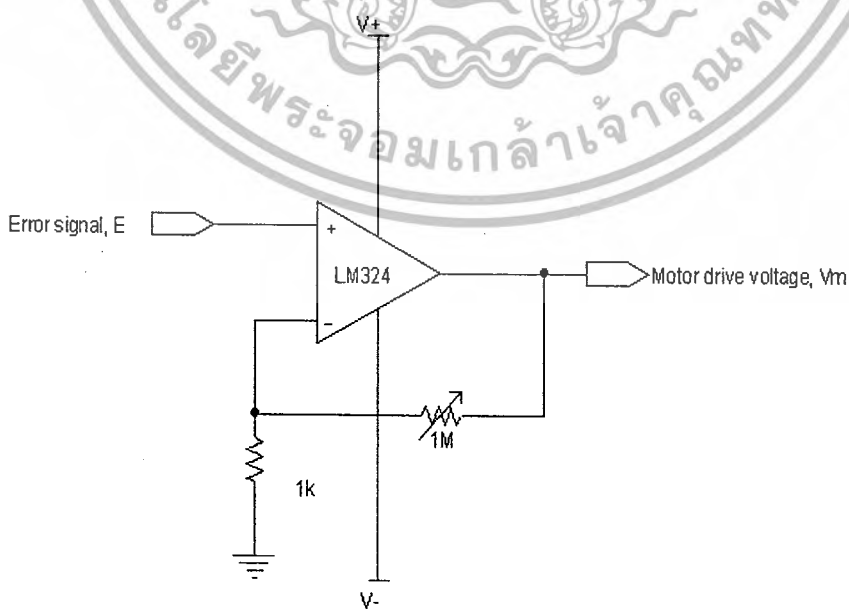
$$V_o = V_2 - V_1$$

ค่าของ V_o จะบ่งบอกถึง Position Signal หรือบอกว่า ตำแหน่งของมอเตอร์ปัจจุบันต่างจากตำแหน่งที่ต้องการมากเท่าไร ส่วนเครื่องหมายของ V_o จะบ่งบอกถึง ทิศทางการหมุนของมอเตอร์ว่าอยู่ในทิศทางทวนเข็มนาฬิกาหรือตามเข็มนาฬิกา กับตำแหน่งที่ต้องการ แต่จากการใช้งานจริงของวงจร Differential Amplifier จะใช้ค่าเฉพาะส่วนที่เป็นค่าบวก จะไม่ใช้ในส่วนที่เป็นค่าลบ ดังนั้นในการต่อวงจรเพื่อใช้งาน จะต่อ Ground ให้กับขา $-V_{cc}$ แทนที่จะต่อความต้านทานที่มีศักย์เป็นลบ ซึ่งจะเกิดความยากลำบากในการนำไปใช้งาน การต่อแบบนี้จะทำให้เราต้องใช้วงจร Differential Amplifier สองชุดเพื่อควบคุม ทิศทางการหมุนของมอเตอร์ได้อย่างสมบูรณ์



รูปที่ 3.12 วงจร Differential Amplifier ในการทำงานของระบบ

โดยการทำงานของวงจรนี้คือ เมื่อตำแหน่งจริงของมอเตอร์ อยู่ในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา กับตำแหน่งที่ต้องการ วงจร Differential Amplifier ชุดบนจะทำงาน ส่วนวงจรชุดล่างจะไม่ทำงาน แต่ถ้าทิศทางของมอเตอร์ อยู่ในทิศทางตามเข็มนาฬิกา กับตำแหน่งที่ต้องการ Differential Amplifier ชุดล่างจะทำงาน แต่วงจรชุดบนจะไม่ทำงาน Position signal ที่ได้จากวงจร Differential Amplifier จะถูกส่งไปยังส่วนของ วงจรขยายสัญญาณ Voltage gain เพื่อขยายสัญญาณที่ได้ให้มีความเหมาะสมก่อนที่จะส่งไปให้วงจรส่วนอื่นต่อไป โดยวงจรขยายสัญญาณนี้จะใช้ วงจรตามนี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับรูปที่ 3.13 วงจร Voltage gain เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Output ของวงจรนี้จะเป็น สัญญาณที่จะนำไปใช้ในการขับมอเตอร์ V_m (Motor drive level) โดย V_m มีความสัมพันธ์ตามนี้

$$V_m = G * E$$

V_m = Motor drive level

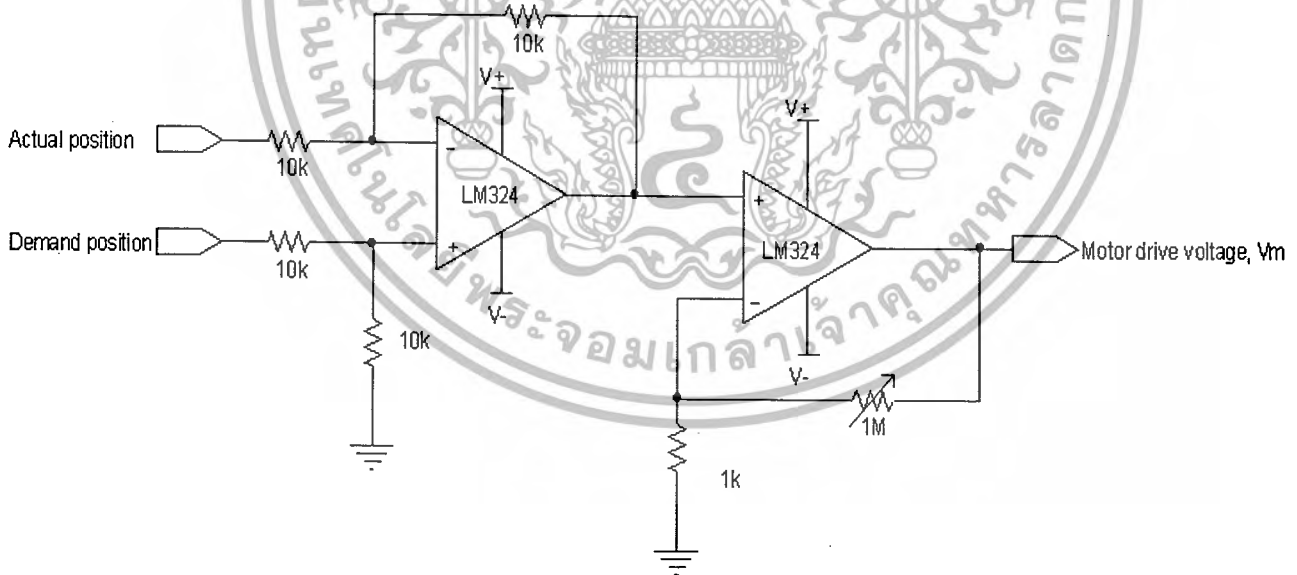
P_s = Position Signal

G = constant of proportionality

ค่าของอัตราขยาย G จะขึ้นอยู่กับค่าของ R1 และ R2 ในวงจร Voltage gain

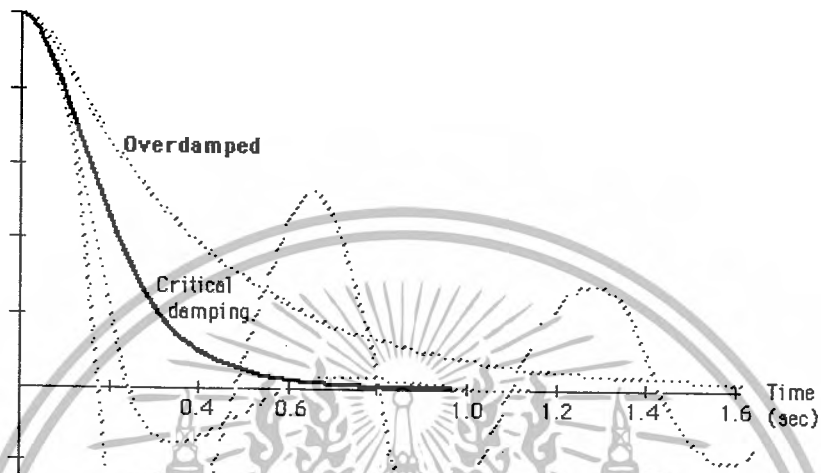
$$V_o = \frac{1+R2}{R1} (V_{in})$$

จากวงจร Voltage gain เราจะใช้ R2 เป็นแบบที่ปรับค่าได้ เพื่อที่จะได้สามารถปรับค่าของอัตราขยายให้เหมาะสม ทำให้มอเตอร์หมุนเข้าสู่ตำแหน่งที่ต้องการได้เร็วที่สุด



รูปที่ 3.14 วงจร Differential Amplifier ที่สามารถปรับอัตราขยายแรงดันได้

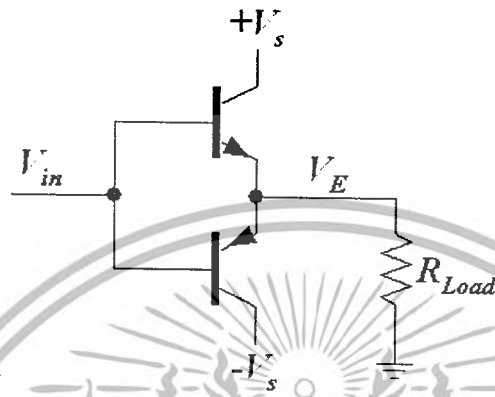
ในการปรับอัตราขยายของ Voltage gain เราจะต้องปรับให้ค่าอัตราขยายมีความเหมาะสม หากมีค่ามากเกินไปจะทำให้ระบบไม่เสถียร



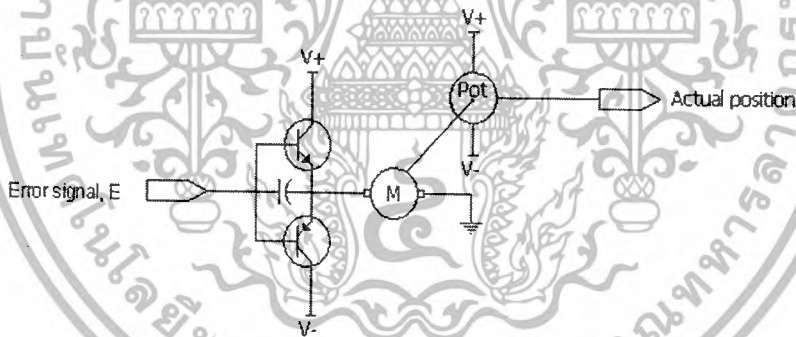
รูปที่ 3.15 กราฟของผลตอบสนององการทำงานของมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อได้ค่าของ V_m (Motor drive level) แล้วจะนำค่านี้ส่งไปให้ยังวงจรขับมอเตอร์ ซึ่งวงจรขับมอเตอร์ที่จะนำมาใช้ จะต้องเป็นวงจรขับมอเตอร์สองทางด้วยวงจรขยายแบบ Class B โดยใช้ Transistor ที่สามารถขับกระแสได้สูงๆ มาต่อเป็นวงจรนี้



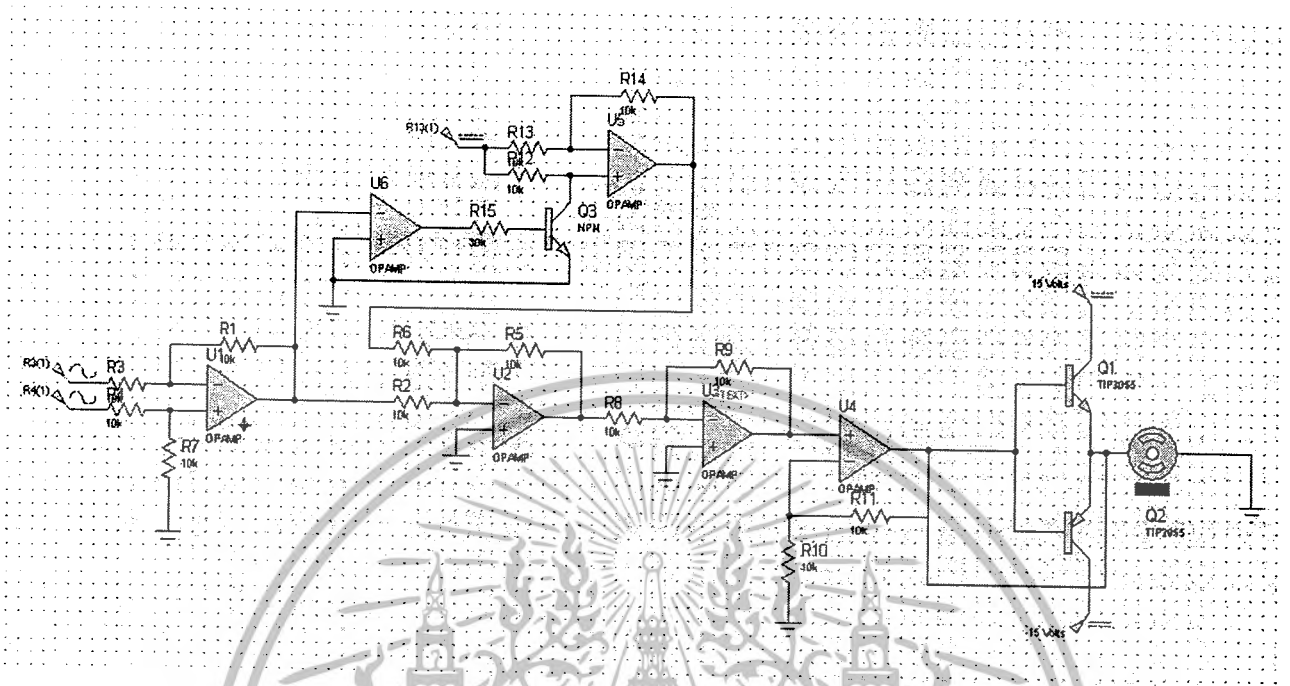
รูปที่ 3.16 วงจรขยายแบบ Class B



รูปที่ 3.17 วงจรขยายแบบ Class B เพื่อควบคุมตำแหน่งมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปแบบวงจรรวมการทำงานของระบบ



รูปที่ 3.18 วงจรรวมการทำงาน

จากวงจรรวมข้างต้น จะมีการแสดงค่าคุณสมบัติต่างๆของตัวอุปกรณ์ประกอบไปด้วย ทรานซิสเตอร์ ทรานซิสเตอร์ รายละเอียดที่จะกล่าวนั้นจะเป็นคุณสมบัติของ LM324, Tip29 และ Tip30

บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

4.1 การทดลองและผลการทดลอง

จากขอบเขตงานในส่วนของภาคเรียนนี้ จะเจาะจงไปที่เมื่อมีการขยับแขนกลที่เป็นตัวอินพุตจะมีการสั่งการทำงาน โดยผ่านวงจรควบคุมการทำงานแล้วทำให้เซอร์โวมอเตอร์ที่เป็นโครงสร้างของตัวเอาต์พุต มีการขยับไปในองศาเดียวกับการขยับตัวอินพุต ดังผลการทดลองที่แสดงดังตารางผลการทดลองและผลของกราฟที่ออกมา ดังต่อไปนี้

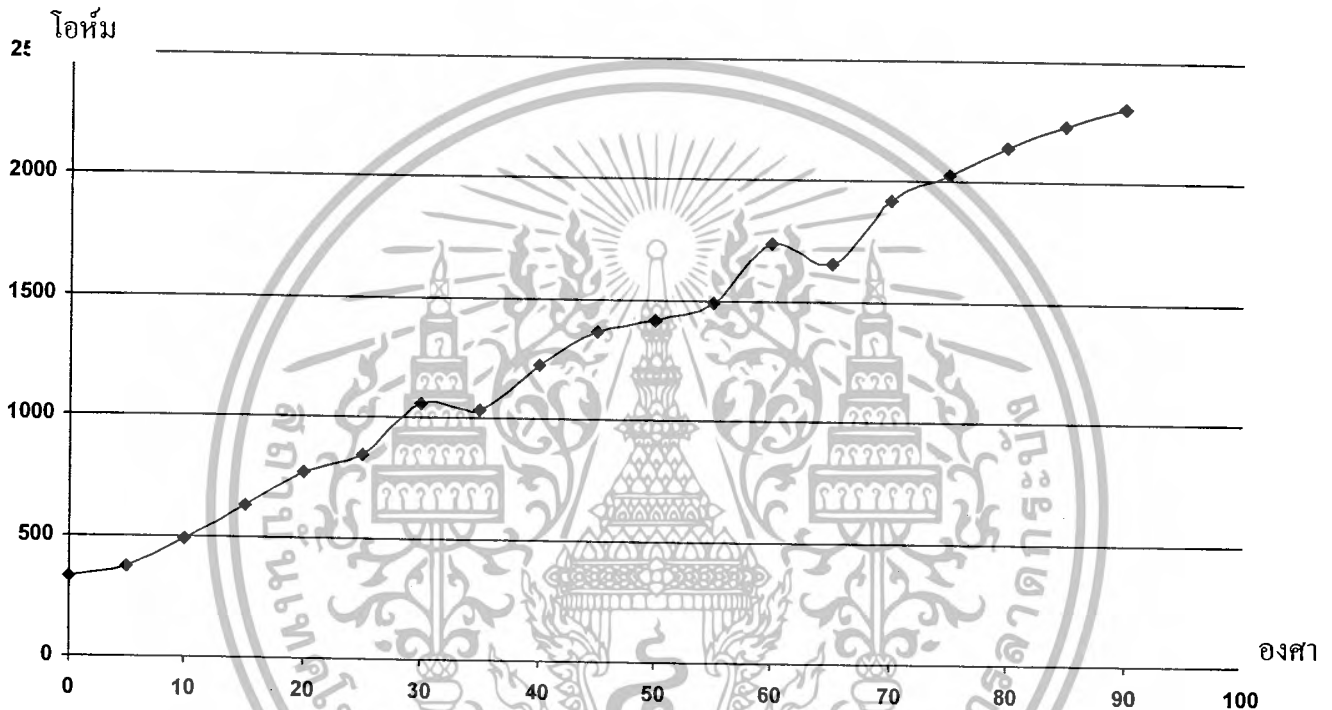


ตารางที่ 1.1 การทดลองการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทาน ตัวบวจาก 0 – 90 องศา

องศาที่เปลี่ยนแปลง (องศา)	ค่าที่อ่านได้ ครั้งที่1 (โอห์ม)	ค่าที่อ่านได้ ครั้งที่2 (โอห์ม)	ค่าที่อ่านได้ ครั้งที่3 (โอห์ม)	ค่าที่อ่านได้ ครั้งที่4 (โอห์ม)	ค่าที่อ่านได้ ครั้งที่5 (โอห์ม)	ค่าที่อ่านได้ ครั้งที่6 (โอห์ม)	ค่าที่อ่านได้ ครั้งที่7 (โอห์ม)	ค่าที่อ่านได้ ครั้งที่8 (โอห์ม)	ค่าที่อ่านได้ ครั้งที่9 (โอห์ม)	ค่าที่อ่านได้ ครั้งที่10 (โอห์ม)	ค่าความต้านทานเฉลี่ย (โอห์ม)
0	335.6	323.4	343.6	331.2	326.7	339.5	343.5	317.8	338.5	330.3	333.0
0 – 5	365.4	376.3	362.3	386.6	384.3	356.4	371.1	364.3	359.1	372.3	369.8
5 – 10	496.6	491.3	489.3	495.6	481.9	491.5	479.5	487.9	487.9	498.4	489.9
10 – 15	621.4	631.2	622.1	623.2	630.2	625.2	622.4	643.1	625.9	633.4	627.8
15 – 20	771	732	801	769	798	769	774	781	718	789	770.2
20 – 25	842	847	851	844	838	838	841	834	835	858	842.8
25 – 30	1055	1044	1059	1063	1058	1047	1067	1065	1071	1067	1059.6
30 – 35	1107	1112	1109	1122	1121	1211	1125	1123	1211	1130	1035.4
35 – 40	1212	1211	1223	1232	1215	1226	1221	1237	1231	1227	1223.5
40 – 45	1358	1346	1391	1365	1354	1346	1399	1356	1367	1362	1364.4
45 – 50	1426	1458	1456	1397	1419	1433	1291	1411	1434	1435	1416.0
50 – 55	1630	1641	1645	1598	1634	1649	1648	1633	1624	1638	1487.3
55 – 60	1741	1734	1722	1723	1709	1725	1754	1765	1756	1733	1736.2
60 – 65	1838	1851	1819	1808	1810	1802	1811	1821	1828	1819	1657.8
65 – 70	1921	1921	1916	1928	1923	1916	1913	1923	1931	1927	1921.9
70 – 75	2023	2021	2034	2035	2035	2039	2023	2029	2025	2035	2029.9
75 – 80	2151	2141	2134	2145	2182	2179	2133	2129	2129	2137	2146.0
80 – 85	2234	2233	2235	2231	2291	2239	2235	2198	2228	2239	2236.3
85 – 90	2322	2332	2325	2322	2324	2336	2327	2237	2318	2235	2307.8

4.1.1 การทดสอบการเปลี่ยนแปลงของตัวต้านทานตัวบน จาก 0-90 องศา

จากการทดลองที่แสดงผลออกมาดังตารางทดลองที่ 1.1 โดยการที่เริ่มทำการแขนกลข้อที่หนึ่งหรือตัวต้านทานตัวบน ตั้งแต่ 0 องศาถึง 90 องศาจะเห็นได้ว่าในช่วงองศาที่เปลี่ยนแปลงทีละ 5 องศา ของแต่ละการเคลื่อนที่นั้นผลการทดลองที่แสดงออกจะมีลักษณะเป็นแบบเชิงเส้น ดังกราฟด้านล่างนี้



รูปที่ 4.1 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของความต้านทานตัวบน

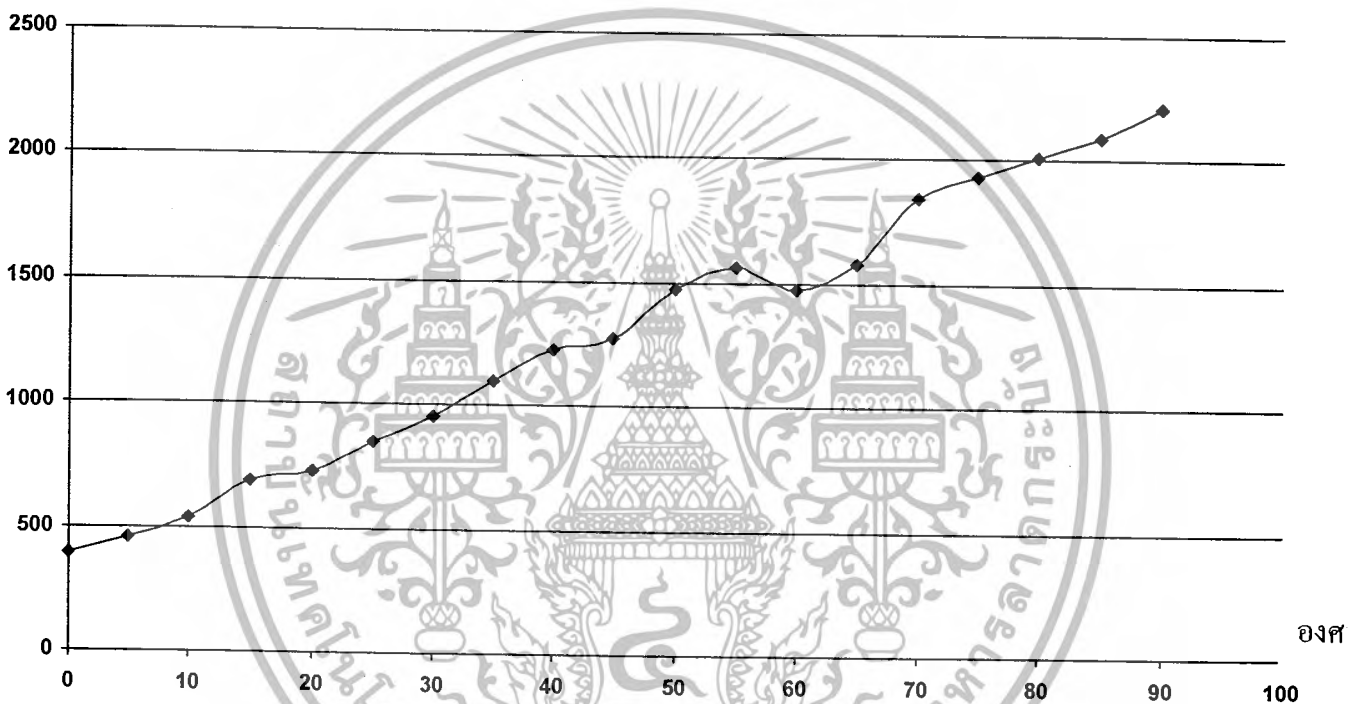
ตารางที่ 1.2 การทดลองการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทาน ตัวล่าง จาก 0 – 90 องศา

องศาที่ เปลี่ยนแปลง (องศา)	ค่าที่อ่านได้ ครั้งที่1 (โอห์ม)	ค่าที่อ่านได้ ครั้งที่2 (โอห์ม)	ค่าที่อ่านได้ ครั้งที่3 (โอห์ม)	ค่าที่อ่านได้ ครั้งที่4 (โอห์ม)	ค่าที่อ่านได้ ครั้งที่5 (โอห์ม)	ค่าที่อ่านได้ ครั้งที่6 (โอห์ม)	ค่าที่อ่านได้ ครั้งที่7 (โอห์ม)	ค่าที่อ่านได้ ครั้งที่8 (โอห์ม)	ค่าที่อ่านได้ ครั้งที่9 (โอห์ม)	ค่าที่อ่านได้ ครั้งที่10 (โอห์ม)	ค่าความ ต้านทานเฉลี่ย (โอห์ม)
0	435.6	423.4	443.6	431.2	426.7	439.5	443.5	417.8	438.5	430.3	390.2
0 – 5	505.4	506.3	512.3	506.6	514.3	511.4	523.1	504.3	505.1	502.3	459.2
5 – 10	596.6	591.3	599.3	595.6	583.9	593.5	589.5	587.9	587.9	598.4	532.9
10 – 15	771	732	801	769	798	769	774	781	718	789	691.8
15 – 20	812	831	822	798	829	814	821	809	821	811	732.6
20 – 25	0942	0945	0955	0944	0928	0938	0945	0934	0935	0958	847.1
25 – 30	1055	1044	1059	1063	1058	1047	1067	1065	1071	1067	953.4
30 – 35	1210	1221	1233	1212	1221	1236	1223	1217	1221	1229	1099.9
35 – 40	1358	1346	1391	1365	1354	1346	1399	1356	1367	1362	1228.7
40 – 45	1426	1458	1456	1397	1419	1433	1291	1411	1434	1435	1273.0
45 – 50	1630	1641	1645	1598	1634	1649	1648	1633	1624	1638	1470.7
50 – 55	1741	1734	1722	1723	1709	1725	1754	1765	1756	1733	1563.4
55 – 60	1838	1851	1819	1808	1810	1802	1811	1821	1828	1819	1476.4
60 – 65	1945	1941	1934	1955	1945	1930	1942	1954	1951	1944	1576.5
65 – 70	2021	2011	2134	2045	2032	2089	2023	2009	2023	2043	1839.2
70 – 75	2121	2211	2134	2145	2132	2189	2123	2109	2123	2133	1929.2
75 – 80	2231	2210	2224	2225	2291	2239	2231	2197	2228	2189	2008.8
80 – 85	2332	2312	2324	2312	2321	2331	2332	2257	2358	2239	2088.4
85 - 90	2456	2436	2495	2434	24411	2449	2501	2422	2437	2483	2207.6

4.1.2 การทดลองการเปลี่ยนแปลงของตัวต้านทานตัวล่าง จาก 0-90 องศา

จากการทดลองที่แสดงผลออกมาดังตารางทดลองที่ 1.2 โดยการที่เริ่มทำการแขนกลข้อที่สองหรือตัวต้านทานตัวล่าง ตั้งแต่ 0 องศาถึง 90 องศาจะเห็นได้ว่าในช่วงองศาที่เปลี่ยนแปลงทีละ 5 องศา ของแต่ละการเคลื่อนที่นั้นผลการทดลองที่แสดงออกมาจะมีลักษณะเป็นแบบเชิงเส้น ดังกราฟด้านล่างนี้

โอห์ม



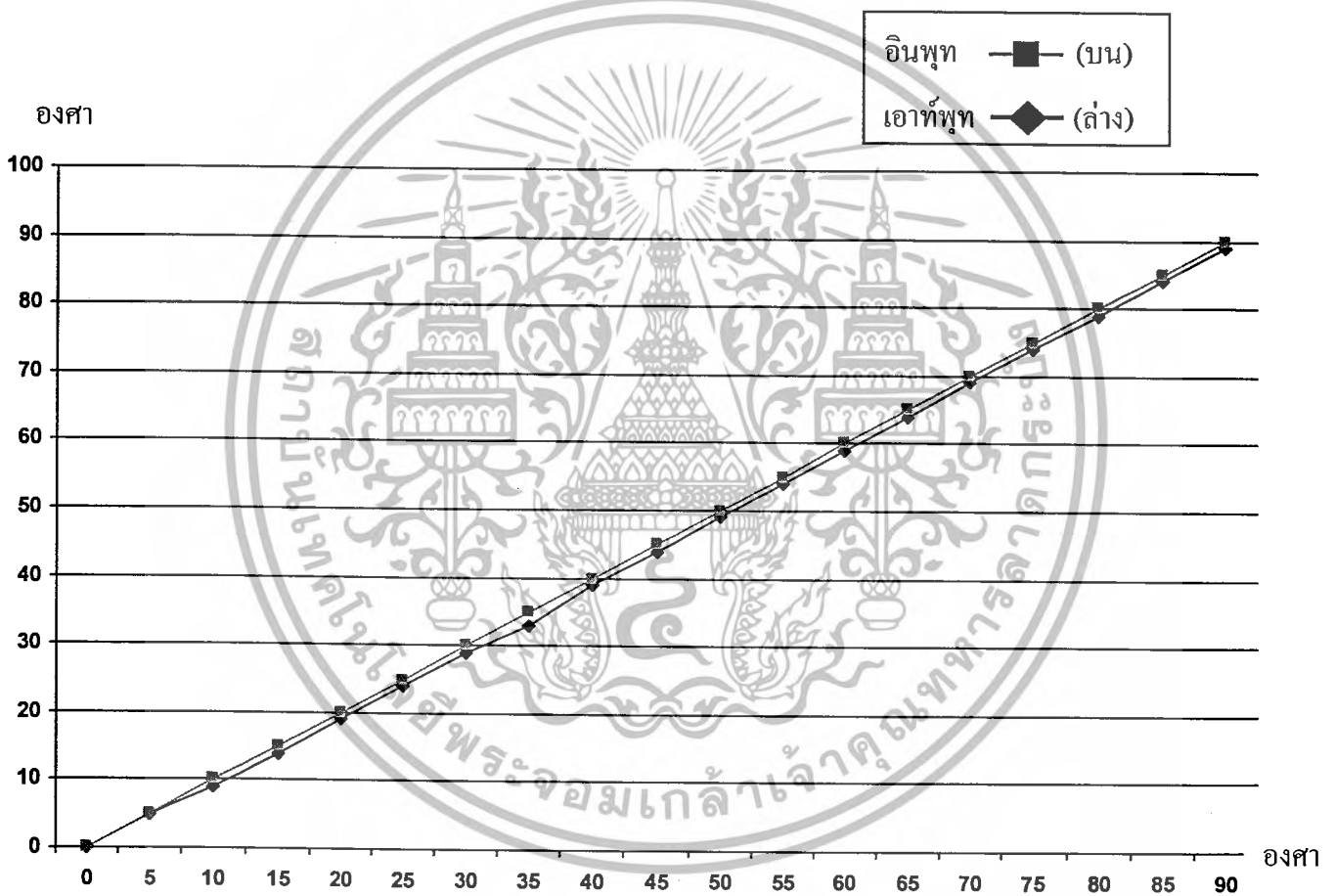
รูปที่ 4.2 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของความต้านทานตัวล่าง

ตารางที่ 1.3 การทดลองการเปลี่ยนแปลงองศาของมอเตอร์ตัวบนที่อินพุทและเอาต์พุท จาก 0 – 90 องศา

ค่าความดันเปลี่ยนแปลง (องศา)	ค่าที่อ่านได้ ครั้งที่1 (องศา)	ค่าที่อ่านได้ ครั้งที่2 (องศา)	ค่าที่อ่านได้ ครั้งที่3 (องศา)	ค่าที่อ่านได้ ครั้งที่4 (องศา)	ค่าที่อ่านได้ ครั้งที่5 (องศา)	ค่าที่อ่านได้ ครั้งที่6 (องศา)	ค่าที่อ่านได้ ครั้งที่7 (องศา)	ค่าที่อ่านได้ ครั้งที่8 (องศา)	ค่าที่อ่านได้ ครั้งที่9 (องศา)	ค่าที่อ่านได้ ครั้งที่10 (องศา)	ค่าความดันทานเฉลี่ย (องศา)
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0 – 5	3	4	3	2	2	4	5	3	4	5	3.5
5 – 10	8	9	7	7	7	9	8	8	9	9	8.1
10 – 15	13	13	12	13	12	14	15	13	14	14	13.3
15 – 20	19	18	19	17	18	17	18	18	17	19	18
20 – 25	23	24	23	22	23	22	24	25	24	24	23.4
25 – 30	28	29	28	27	29	27	29	28	27	29	28.1
30 – 35	33	34	33	32	34	34	33	33	32	33	33.1
35 – 40	38	39	38	37	39	39	37	38	37	39	38.1
40 – 45	43	44	43	42	44	44	42	43	42	44	43.1
45 – 50	48	49	48	47	48	48	47	48	47	49	47.9
50 – 55	53	54	53	52	53	53	52	53	52	54	52.9
55 – 60	58	59	58	57	58	58	57	57	58	59	57.9
60 – 65	63	64	63	64	64	64	63	63	64	64	63.6
65 – 70	68	69	67	68	68	67	67	68	69	69	68
70 – 75	73	74	73	73	73	73	74	74	73	74	73.4
75 – 80	78	78	77	77	78	78	79	77	78	79	77.9
80 – 85	84	83	84	84	84	83	83	84	83	84	83.6
85 – 90	88	88	89	89	87	88	87	89	88	89	88.2

4.1.3 การทดลองการเปลี่ยนแปลงองศาของมอเตอร์ตัวบนที่อินพุตและเอาต์พุต จาก 0 – 90 องศา

จากการทดลองที่แสดงผลออกมาดังตารางทดลองที่ 1.3 โดยการที่เริ่มทำการเปลี่ยนแปลงมุมของแกนกลข้อที่หนึ่งที่ตัวอินพุตส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงมุมของแกนกลที่ตัวเอาต์พุต ตั้งแต่ 0 องศาถึง 90 องศาจะเห็นได้ว่าในช่วงองศาที่เปลี่ยนแปลงทีละ 5 องศา ของแต่ละการเคลื่อนของแกนกลตัวอินพุตและเอาต์พุตนั้น ผลการทดลองที่แสดงออกมามีลักษณะเป็นแบบเชิงเส้น ดังกราฟด้านล่างนี้



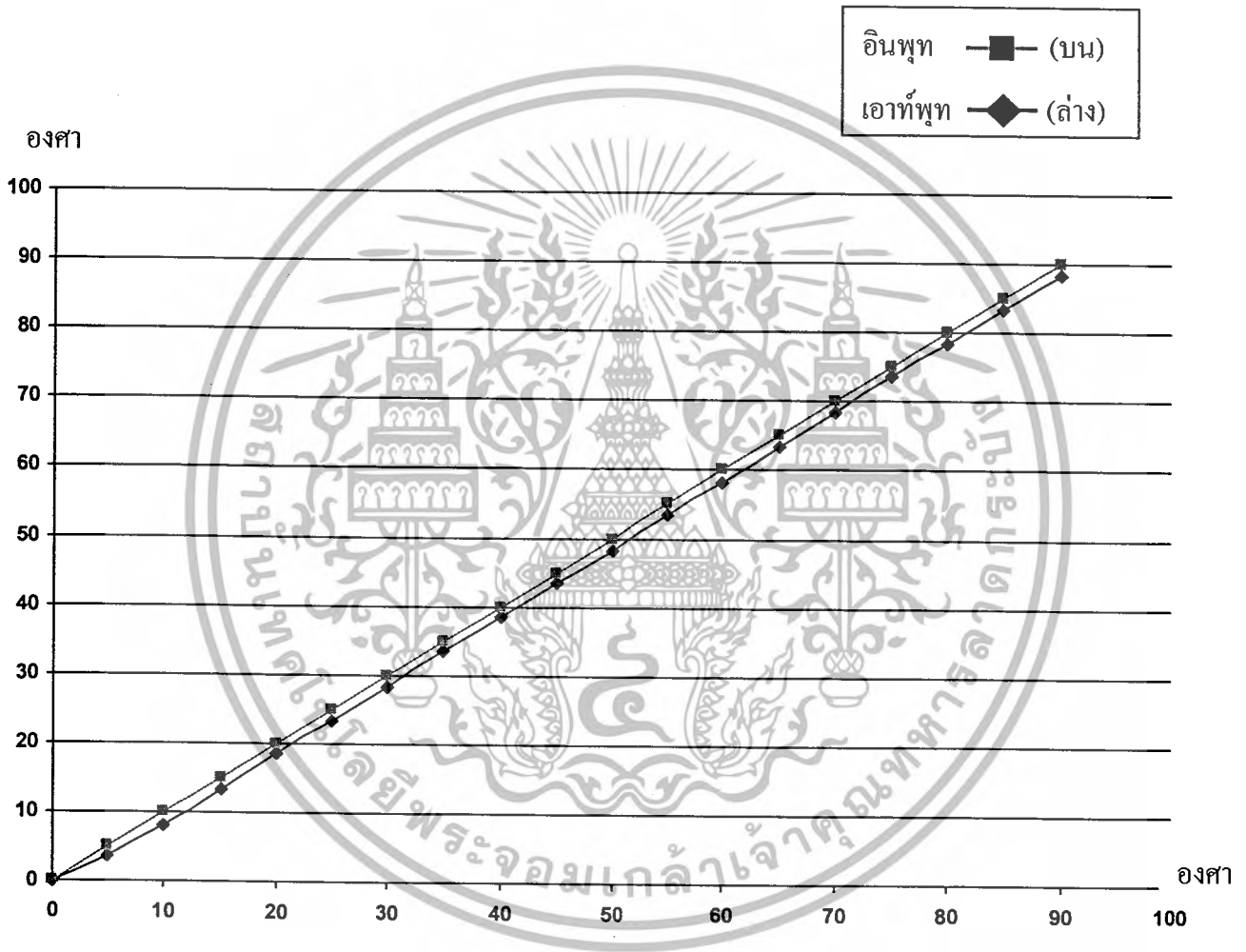
รูปที่ 4.3 กราฟแสดงองศาที่เปลี่ยนแปลงของมอเตอร์ตัวบนที่อินพุตและเอาต์พุต

ตารางที่ 1.4 การทดลองการเปลี่ยนแปลงองศาของมอเตอร์ตัวล่างที่อินพุทและเอาท์พุท จาก 0 – 90 องศา

ค่าความดันเปลี่ยนแปลง (องศา)	ค่าที่อ่านได้ ครั้งที่1 (องศา)	ค่าที่อ่านได้ ครั้งที่2 (องศา)	ค่าที่อ่านได้ ครั้งที่3 (องศา)	ค่าที่อ่านได้ ครั้งที่4 (องศา)	ค่าที่อ่านได้ ครั้งที่5 (องศา)	ค่าที่อ่านได้ ครั้งที่6 (องศา)	ค่าที่อ่านได้ ครั้งที่7 (องศา)	ค่าที่อ่านได้ ครั้งที่8 (องศา)	ค่าที่อ่านได้ ครั้งที่9 (องศา)	ค่าที่อ่านได้ ครั้งที่10 (องศา)	ค่าความดันทานเฉลี่ย (องศา)
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0 – 5	4	4	3	4	4	3	4	3	4	3	3.6
5 – 10	9	8	9	8	7	8	7	8	8	8	8.0
10 – 15	13	14	13	13	14	13	13	14	14	13	13.4
15 – 20	19	18	18	19	19	18	18	19	19	18	18.5
20 – 25	23	24	23	23	24	23	23	24	24	23	23.4
25 – 30	28	29	28	29	28	28	28	29	28	28	28.3
30 – 35	33	34	34	34	33	33	33	34	34	33	33.5
35 – 40	38	39	39	38	38	38	39	39	39	38	38.5
40 – 45	43	44	44	43	44	43	44	43	44	43	43.5
45 – 50	48	49	48	47	48	48	49	48	49	48	48.2
50 – 55	54	54	53	53	54	53	54	53	54	53	53.5
55 – 60	58	59	58	58	59	58	59	58	58	58	58.3
60 – 65	63	64	63	64	64	63	63	63	64	64	63.5
65 – 70	68	68	69	68	68	69	68	68	69	68	68.3
70 – 75	74	73	74	74	73	74	74	73	74	73	73.6
75 – 80	78	79	78	79	78	78	79	78	78	79	78.4
80 – 85	83	84	84	83	83	83	84	83	84	84	83.5
85 - 90	89	88	89	88	89	88	88	88	89	88	88.4

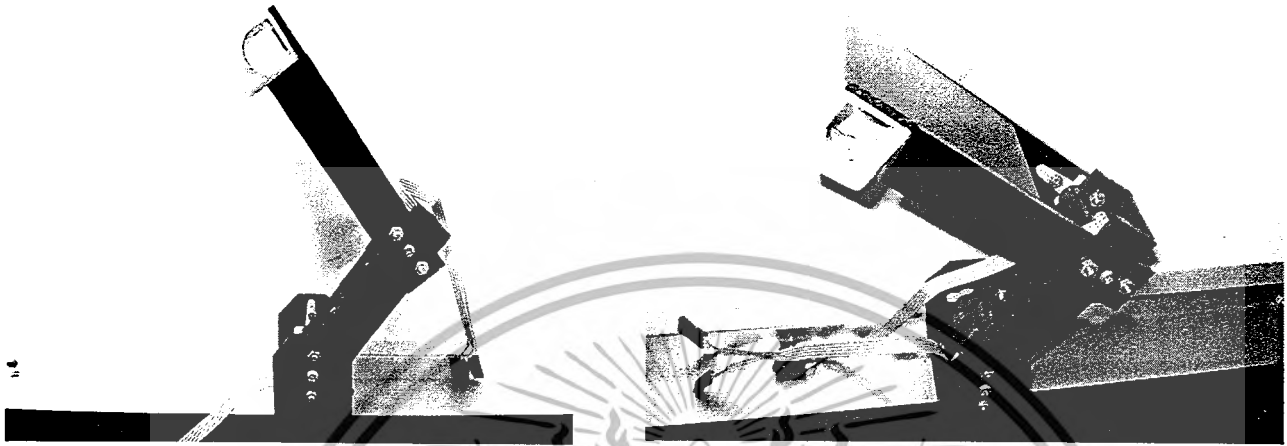
4.1.4 การทดลองการเปลี่ยนแปลงองศาของมอเตอร์ตัวล่างที่อินพุตและเอาต์พุต จาก 0 – 90 องศา

จากการทดลองที่แสดงผลออกมาดังตารางทดลองที่ 1.4 โดยการที่เริ่มทำการเปลี่ยนแปลงมุมของแกนกลข้อที่สองที่ตัวอินพุตส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงมุมของแกนกลที่ตัวเอาต์พุต ตั้งแต่ 0 องศาถึง 90 องศาจะเห็นได้ว่าในช่วงองศาที่เปลี่ยนแปลงทีละ 5 องศา ของแต่ละการเคลื่อนของแกนกลตัวอินพุตและเอาต์พุตนั้น ผลการทดลองที่แสดงออกมามีลักษณะเป็นแบบเชิงเส้น ดังกราฟด้านล่างนี้



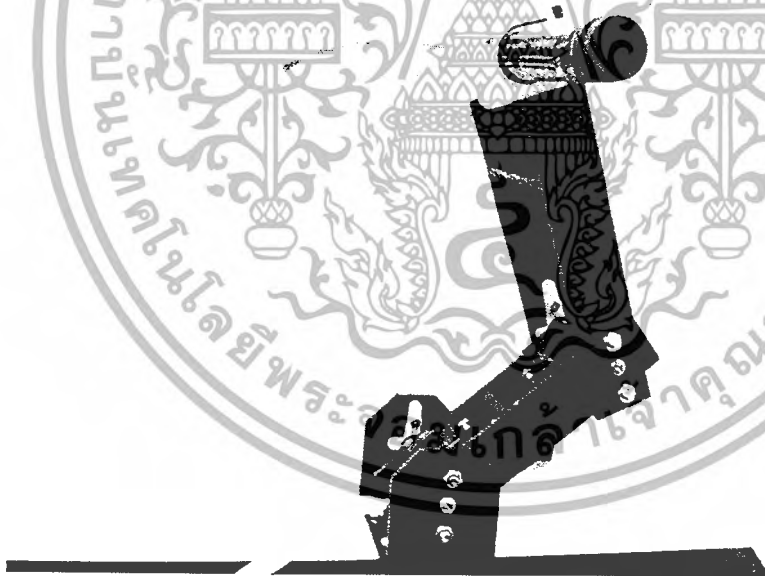
รูปที่ 4.4 กราฟแสดงองศาที่เปลี่ยนแปลงของมอเตอร์ตัวล่างที่อินพุตและเอาต์พุต

4.2 รูปภาพผลงาน



รูปที่ 4.5ก. รูปภาพผลงานที่แสดงส่วนของแขนกลต้นแบบ

รูปที่ 4.5ข. รูปภาพผลงานที่แสดงส่วนของแขนกลเลียนแบบ



รูปที่ 4.6 รูปแบบแขนกลพร้อมปากกาไว้
สำหรับแสดงผลการทำงาน

บทที่ 5

สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

5.1 สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

สรุปผลการทดลองการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานที่ได้จากแกนกลอินพุต พบว่า เมื่อขยับแกนกลอินพุตด้วยองศาที่เพิ่มมากขึ้น โดยการเพิ่มองศาทีละ 5 องศาไปเรื่อยๆจนถึง 90 องศา จะทำให้ค่าความต้านทานจาก ตัวต้านทานที่อยู่ภายในแกนกลอินพุต มีค่ามากขึ้น ค่าที่เพิ่มมากขึ้นนี้แปรผันตามองศาของแกนกลอินพุตที่เพิ่มมากขึ้น กราฟที่ออกมาจะมีลักษณะเป็นเชิงเส้น โดยมีความชันเป็นค่าบวก สำหรับค่าความต้านทานเริ่มต้นในขณะที่ยูนิทของแกนกลเป็น 0 องศา คือ 335 โอห์ม และสำหรับค่าความต้านทานสุดท้าย ในขณะที่ยูนิทของแกนกลเป็น 90 องศา คือ 2.3 กิโลโอห์ม

วิจารณ์ผลการทดลองการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานจากการทดลองหาค่าความต้านทานที่ได้จากแกนกลอินพุตนั้นมีอุปสรรคในการทดลองอยู่ นั่นคือ การวัดมุมของแกนกลอินพุตที่เปลี่ยนแปลงไป เนื่องจากลักษณะของ แกนกล เป็นแกนกลขนาดเล็ก ที่ประกอบขึ้นมาจากแผ่นพลาสติกอคริลิก ทำให้ไม่มีจุดอ้างอิงในการวัดองศาที่เปลี่ยนแปลงไป จึงจำเป็นต้องตัดแปลงอุปกรณ์สำหรับวัดมุมขึ้นมาใหม่เพื่อใช้วัดมุมของแกนกล เพราะถ้าหากไม่มีอุปกรณ์วัดมุมนี้แล้วจะทำให้การทดลองเป็นไปได้ยากและผลที่ออกมาจะแสดงถึงเสถียรภาพที่ลดลง

ทางด้านการทดลองการเปลี่ยนแปลงองศาของมอเตอร์วัดความสัมพันธ์ของมุมระหว่างแกนกลอินพุตและแกนกลเอาต์พุต พบว่าเมื่อขยับแกนกลอินพุตขึ้นทีละ 5 องศาตั้งแต่ 0 องศาจนถึง 90 องศา พบว่าแกนกลเอาต์พุต จะขยับตามตำแหน่งที่แกนกลอินพุตขยับไป โดยจะมีระยะผิดพลาดเกิดขึ้นอยู่บ้าง ทั้งนี้เกิดจากการปรับค่าของตัวต้านทานในส่วนของวงจรขยายสัญญาณ ถ้าหากปรับค่าเกนในส่วนนี้มากเกินไปจะทำให้แกนกลเอาต์พุตเกิดการสั่นและไม่เข้าสู่ตำแหน่งสมดุล แต่ถ้าหากปรับค่าเกนน้อยเกินไปจะทำให้ แกนกลเคลื่อนที่เข้าสู่ตำแหน่งที่ต้องการช้า อีกทั้งยังทำให้ระยะที่ผิดพลาดมีค่ามากขึ้นอีกด้วย แต่ถ้าหากปรับได้ค่าที่เหมาะสมพอดีแล้ว จะทำให้แกนกลขยับเข้าสู่ตำแหน่งที่ต้องการได้ดีที่สุด รวดเร็วที่สุดและ มีระยะผิดพลาดน้อยที่สุดด้วย จากกราฟที่นำมาแสดงผล เป็นกราฟของการปรับค่าของเกนที่เหมาะสมที่สุดแล้ว ค่าที่อ่านได้จากกราฟจึง เป็นค่าของตำแหน่งผิดพลาดที่น้อยที่สุดด้วย

วิจารณ์ผลการทดลองการเปลี่ยนแปลงองศาของมอเตอร์วัดความสัมพันธ์ของมุมระหว่าง
แกนกลอินพุตและแกนกลเอาต์พุต นั้น มีอุปสรรคในการทดลองอยู่ นั่นคือ การวัดมุมของแกนกล
อินพุตที่เปลี่ยนแปลงไป เนื่องจากลักษณะของ แกนกล เป็นแกนกลขนาดเล็ก ที่ประกอบขึ้นมาจาก
แผ่นพลาสติกอคริลิก ทำให้ไม่มีจุดอ้างอิงในการวัดองศาที่เปลี่ยนแปลงไป จึงจำเป็นต้องตัดแปลง
อุปกรณ์สำหรับวัดมุมขึ้นมาใหม่เพื่อใช้วัดมุมของแกนกล เพราะถ้าหากไม่มีอุปกรณ์วัดมุมนี้แล้วจะ
ทำให้การทดลองเป็นไปอย่างยากลำบาก





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DATA SHEET



**LM124/224/324/324A/
SA534/LM2902**
Low power quad op amps

Product data
Supersedes data of 2002 Jul 12

2003 Sep 19

Philips
Semiconductors



PHILIPS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ใช้ในการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Low power quad op amps

LM124/224/324/324A/ SA534/LM2902

DESCRIPTION

The LM124/SA534/LM2902 series consists of four independent, high-gain, internally frequency-compensated operational amplifiers designed specifically to operate from a single power supply over a wide range of voltages.

UNIQUE FEATURES

In the linear mode, the input common-mode voltage range includes ground and the output voltage can also swing to ground, even though operated from only a single power supply voltage.

The unity gain crossover frequency and the input bias current are temperature-compensated.

FEATURES

- Internally frequency-compensated for unity gain
- Large DC voltage gain: 100 dB
- Wide bandwidth (unity gain): 1 MHz (temperature-compensated)
- Wide power supply range Single supply: 3 V_{DC} to 30 V_{DC} or dual supplies: ±1.5 V_{DC} to ±15 V_{DC}
- Very low supply current drain: essentially independent of supply voltage (1 mW/op amp at +5 V_{DC})
- Low input biasing current: 45 nA_{DC} (temperature-compensated)
- Low input offset voltage: 2 mV_{DC} and offset current: 5 nA_{DC}
- Differential input voltage range equal to the power supply voltage
- Large output voltage: 0V_{DC} to V_{CC}-1.5 V_{DC} swing

PIN CONFIGURATION

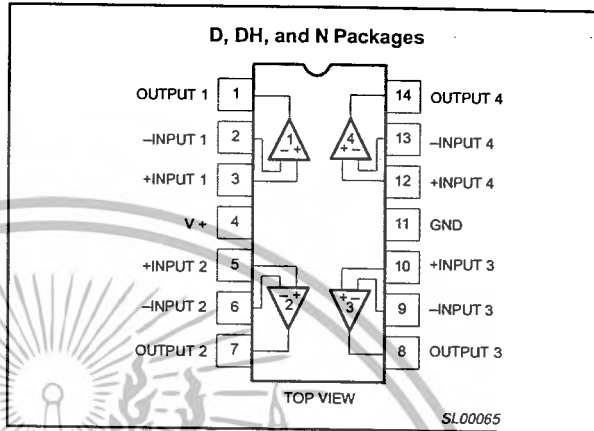


Figure 1. Pin configuration.

ORDERING INFORMATION

DESCRIPTION	TEMPERATURE RANGE	ORDER CODE	DWG #
14-Pin Plastic Dual In-Line Package (DIP)	-55 °C to +125 °C	LM124N	SOT27-1
14-Pin Plastic Small Outline (SO) Package	-25 °C to +85 °C	LM224D	SOT108-1
14-Pin Plastic Dual In-Line Package (DIP)	-25 °C to +85 °C	LM224N	SOT27-1
14-Pin Plastic Small Outline (SO) Package	0 °C to +70 °C	LM324AD	SOT108-1
14-Pin Plastic Dual In-Line Package (DIP)	0 °C to +70 °C	LM324AN	SOT27-1
14-Pin Plastic Small Outline (SO) Package	0 °C to +70 °C	LM324D	SOT108-1
14-Pin Plastic Thin Shrink Small Outline Package (TSSOP)	0 °C to +70 °C	LM324DH	SOT402-1
14-Pin Plastic Dual In-Line Package (DIP)	0 °C to +70 °C	LM324N	SOT27-1
14-Pin Plastic Small Outline (SO) Package	-40 °C to +85 °C	SA534D	SOT108-1
14-Pin Plastic Dual In-Line Package (DIP)	-40 °C to +85 °C	SA534N	SOT27-1
14-Pin Plastic Small Outline (SO) Package	-40 °C to +125 °C	LM2902D	SOT108-1
14-Pin Plastic Thin Shrink Small Outline Package (TSSOP)	-40 °C to +125 °C	LM2902DH	SOT402-1
14-Pin Plastic Dual In-Line Package (DIP)	-40 °C to +125 °C	LM2902N	SOT27-1

Low power quad op amps

LM124/224/324/324A/
SA534/LM2902

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

SYMBOL	PARAMETER	RATING	UNIT
V_{CC}	Supply voltage	32 or ± 16	V_{DC}
V_{IN}	Differential input voltage	32	V_{DC}
V_{IN}	Input voltage	-0.3 to +32	V_{DC}
P_D	Maximum power dissipation, $T_{amb} = 25^\circ C$ (still-air) ¹		
	N package	1420	mW
	D package	1040	mW
	DH package	762	mW
	Output short-circuit to GND one amplifier ² $V_{CC} < 15 V_{DC}$ and $T_{amb} = 25^\circ C$	Continuous	
I_{IN}	Input current ($V_{IN} < -0.3 V$) ³	50	mA
T_{amb}	Operating ambient temperature range		
	LM324/324A	0 to +70	$^\circ C$
	LM224	-25 to +85	$^\circ C$
	SA534	-40 to +85	$^\circ C$
	LM2902	-40 to +125	$^\circ C$
	LM124	-55 to +125	$^\circ C$
T_{stg}	Storage temperature range	-65 to +150	$^\circ C$
T_{sld}	Lead soldering temperature (10 sec max)	230	$^\circ C$

NOTES:

- Derate above $25^\circ C$ at the following rates:
N package at 11.4 mW/ $^\circ C$
D package at 8.3 mW/ $^\circ C$
DH package at 6.1 mW/ $^\circ C$
- Short-circuits from the output to V_{CC+} can cause excessive heating and eventual destruction. The maximum output current is approximately 40 mA, independent of the magnitude of V_{CC} . At values of supply voltage in excess of +15 V_{DC} continuous short-circuits can exceed the power dissipation ratings and cause eventual destruction.
- This input current will only exist when the voltage at any of the input leads is driven negative. It is due to the collector-base junction of the input PNP transistors becoming forward biased and thereby acting as input bias clamps. In addition, there is also lateral NPN parasitic transistor action on the IC chip. This action can cause the output voltages of the op amps to go to the $V+$ rail (or to ground for a large overdrive) during the time that the input is driven negative.

Low power quad op amps

LM124/224/324/324A/
SA534/LM2902

DC ELECTRICAL CHARACTERISTICS

 $V_{CC} = 5\text{ V}$; $T_{amb} = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$, unless otherwise specified.

SYMBOL	PARAMETER	TEST CONDITIONS	LM124/LM224			LM324/SA534/LM2902			UNIT
			Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
V_{OS}	Offset voltage ¹	$R_S = 0\ \Omega$		± 2	± 5		± 2	± 7	mV
		$R_S = 0\ \Omega$, over temp.			± 7			± 9	
$\Delta V_{OS}/\Delta T$	Temperature drift	$R_S = 0\ \Omega$, over temp.		7			7		$\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$
I_{BIAS}	Input current ²	$I_{IN(+)}$ or $I_{IN(-)}$		45	150		45	250	nA
		$I_{IN(+)}$ or $I_{IN(-)}$, over temp.		40	300		40	500	
$\Delta I_{BIAS}/\Delta T$	Temperature drift	Over temp.		50			50		$\text{pA}/^{\circ}\text{C}$
I_{OS}	Offset current	$I_{IN(+)} - I_{IN(-)}$		± 3	± 30		± 5	± 50	nA
		$I_{IN(+)} - I_{IN(-)}$, over temp.			± 100			± 150	
$\Delta I_{OS}/\Delta T$	Temperature drift	Over temp.		10			10		$\text{pA}/^{\circ}\text{C}$
V_{CM}	Common-mode voltage range ³	$V_{CC} \leq 30\text{ V}$	0		$V_{CC} - 1.5$	0		$V_{CC} - 1.5$	V
		$V_{CC} \leq 30\text{ V}$; over temp.	0		$V_{CC} - 2$	0		$V_{CC} - 2$	
CMRR	Common-mode rejection ratio	$V_{CC} = 30\text{ V}$	70	85		65	70		dB
V_{OUT}	Output voltage swing	$R_L = 2\text{ k}\Omega$, $V_{CC} = 30\text{ V}$, over temp.	26			26			V
V_{OH}	Output voltage high	$R_L \leq 10\text{ k}\Omega$, $V_{CC} = 30\text{ V}$, over temp.	27	28		27	28		V
V_{OL}	Output voltage low	$R_L \leq 10\text{ k}\Omega$; over temp.		5	20		5	20	mV
I_{CC}	Supply current	$R_L = \infty$, $V_{CC} = 30\text{ V}$; over temp.		1.5	3		1.5	3	mA
		$R_L = \infty$; over temp.		0.7	1.2		0.7	1.2	
A_{VOL}	Large-signal voltage gain	$V_{CC} = 15\text{ V}$ (for large V_O swing); $R_L \geq 2\text{ k}\Omega$	50	100		25	100		V/mV
		$V_{CC} = 15\text{ V}$ (for large V_O swing); $R_L \geq 2\text{ k}\Omega$; over temp.	25			15			
	Amplifier-to-amplifier coupling ⁵	$f = 1\text{ kHz}$ to 20 kHz , input referred		-120			-120		dB
PSRR	Power supply rejection ratio	$R_S \leq 0\ \Omega$	65	100		65	100		dB
I_{OUT}	Output current source	$V_{IN+} = +1\text{ V}$, $V_{IN-} = 0\text{ V}$, $V_{CC} = 15\text{ V}$	20	40		20	40		mA
		$V_{IN+} = +1\text{ V}$, $V_{IN-} = 0\text{ V}$, $V_{CC} = 15\text{ V}$, over temp.	10	20		10	20		
	Output current sink	$V_{IN-} = +1\text{ V}$, $V_{IN+} = 0\text{ V}$, $V_{CC} = 15\text{ V}$	10	20		10	20		
		$V_{IN-} = +1\text{ V}$, $V_{IN+} = 0\text{ V}$, $V_{CC} = 15\text{ V}$, over temp.	5	8		5	8		
		$V_{IN-} = +1\text{ V}$, $V_{IN+} = 0\text{ V}$, $V_O = 200\text{ mV}$	12	50		12	50		
I_{SC}	Short-circuit current ⁴		10	40	60	10	40	60	mA
GBW	Unity gain bandwidth			1			1		MHz
SR	Slew rate			0.3			0.3		$\text{V}/\mu\text{s}$
V_{NOISE}	Input noise voltage	$f = 1\text{ kHz}$		40			40		$\text{nV}/\sqrt{\text{Hz}}$
V_{DIFF}	Differential input voltage ³				V_{CC}			V_{CC}	V

Low power quad op amps

LM124/224/324/324A/
SA534/LM2902

DC ELECTRICAL CHARACTERISTICS (Continued)

 $V_{CC} = 5\text{ V}$, $T_{amb} = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ unless otherwise specified.

SYMBOL	PARAMETER	TEST CONDITIONS	LM324A			UNIT
			Min	Typ	Max	
V_{OS}	Offset voltage ¹	$R_S = 0\ \Omega$		± 2	± 3	mV
		$R_S = 0\ \Omega$, over temp.			± 5	
$\Delta V_{OS}/\Delta T$	Temperature drift	$R_S = 0\ \Omega$, over temp.		7	30	$\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$
I_{BIAS}	Input current ²	$I_{IN(+)} \text{ or } I_{IN(-)}$		45	100	nA
		$I_{IN(+)} \text{ or } I_{IN(-)}$, over temp.		40	200	
$\Delta I_{BIAS}/\Delta T$	Temperature drift	Over temp.		50		$\text{pA}/^{\circ}\text{C}$
I_{OS}	Offset current	$I_{IN(+)} - I_{IN(-)}$		± 5	± 30	nA
		$I_{IN(+)} - I_{IN(-)}$, over temp.			± 75	
$\Delta I_{OS}/\Delta T$	Temperature drift	Over temp.		10	300	$\text{pA}/^{\circ}\text{C}$
V_{CM}	Common-mode voltage range ³	$V_{CC} \leq 30\text{ V}$	0		$V_{CC} - 1.5$	V
		$V_{CC} \leq 30\text{ V}$, over temp.	0		$V_{CC} - 2$	V
CMRR	Common-mode rejection ratio	$V_{CC} = 30\text{ V}$	65	85		dB
V_{OUT}	Output voltage swing	$R_L = 2\text{ k}\Omega$, $V_{CC} = 30\text{ V}$; over temp.	26			V
V_{OH}	Output voltage high	$R_L \leq 10\text{ k}\Omega$, $V_{CC} = 30\text{ V}$; over temp.	27	28		V
V_{OL}	Output voltage low	$R_L \leq 10\text{ k}\Omega$, over temp.		5	20	mV
I_{CC}	Supply current	$R_L = \infty$, $V_{CC} = 30\text{ V}$, over temp.		1.5	3	mA
		$R_L = \infty$, over temp.		0.7	1.2	
A_{VOL}	Large-signal voltage gain	$V_{CC} = 15\text{ V}$ (for large V_O swing), $R_L \geq 2\text{ k}\Omega$	25	100		V/mV
		$V_{CC} = 15\text{ V}$ (for large V_O swing), $R_L \geq 2\text{ k}\Omega$, over temp.	15			V/mV
	Amplifier-to-amplifier coupling ⁵	$f = 1\text{ kHz}$ to 20 kHz , input referred		-120		dB
PSRR	Power supply rejection ratio	$R_S \leq 0\ \Omega$	65	100		dB
I_{OUT}	Output current source	$V_{IN+} = +1\text{ V}$, $V_{IN-} = 0\text{ V}$, $V_{CC} = 15\text{ V}$	20	40		mA
		$V_{IN+} = +1\text{ V}$, $V_{IN-} = 0\text{ V}$, $V_{CC} = 15\text{ V}$, over temp.	10	20		
	Output current sink	$V_{IN-} = +1\text{ V}$, $V_{IN+} = 0\text{ V}$, $V_{CC} = 15\text{ V}$	10	20		mA
		$V_{IN-} = +1\text{ V}$, $V_{IN+} = 0\text{ V}$, $V_{CC} = 15\text{ V}$, over temp.	5	8		
		$V_{IN-} = +1\text{ V}$, $V_{IN+} = 0\text{ V}$, $V_O = 200\text{ mV}$	12	50		
I_{SC}	Short-circuit current ⁴		10	40	60	mA
V_{DIFF}	Differential input voltage ³				V_{CC}	V
GBW	Unity gain bandwidth					MHz
SR	Slew rate			1		$\text{V}/\mu\text{s}$
V_{NOISE}	Input noise voltage	$f = 1\text{ kHz}$		40		$\text{nV}/\sqrt{\text{Hz}}$

NOTES:

- $V_O = 1.4\text{ V}_{DC}$, $R_S = 0\ \Omega$ with V_{CC} from 5 V to 30 V and over full input common-mode range (0 V_{DC} to $V_{CC} - 1.5\text{ V}$).
- The direction of the input current is out of the IC due to the PNP input stage. This current is essentially constant, independent of the state of the output so no loading change exists on the input lines.
- The input common-mode voltage or either input signal voltage should not be allowed to go negative by more than 0.3 V . The upper end of the common-mode voltage range is $V_{CC} - 1.5$, but either or both inputs can go to $+32\text{ V}$ without damage.
- Short-circuits from the output to V_{CC} can cause excessive heating and eventual destruction. The maximum output current is approximately 40 mA independent of the magnitude of V_{CC} . At values of supply voltage in excess of $+15\text{ V}_{DC}$, continuous short-circuits can exceed the power dissipation ratings and cause eventual destruction. Destructive dissipation can result from simultaneous shorts on all amplifiers.
- Due to proximity of external components, insure that coupling is not originating via stray capacitance between these external parts. This typically can be detected as this type of coupling increases at higher frequencies.

Low power quad op amps

LM124/224/324/324A/
SA534/LM2902

EQUIVALENT CIRCUIT

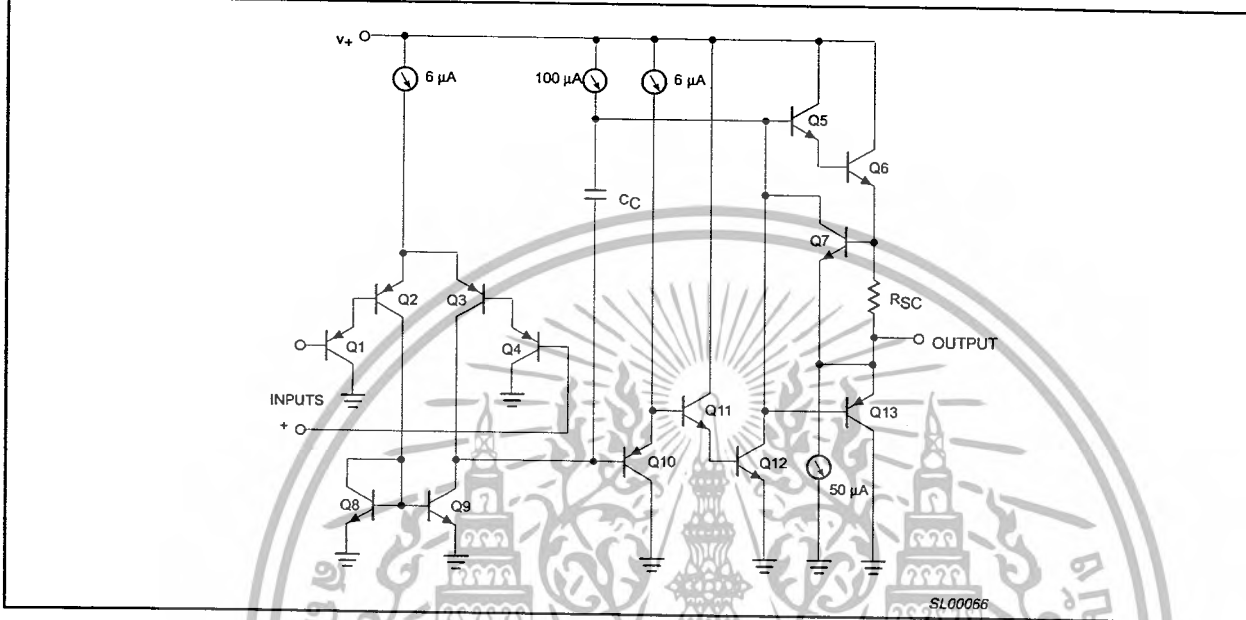


Figure 2. Equivalent circuit.

Low power quad op amps

LM124/224/324/324A/
SA534/LM2902

TYPICAL PERFORMANCE CHARACTERISTICS

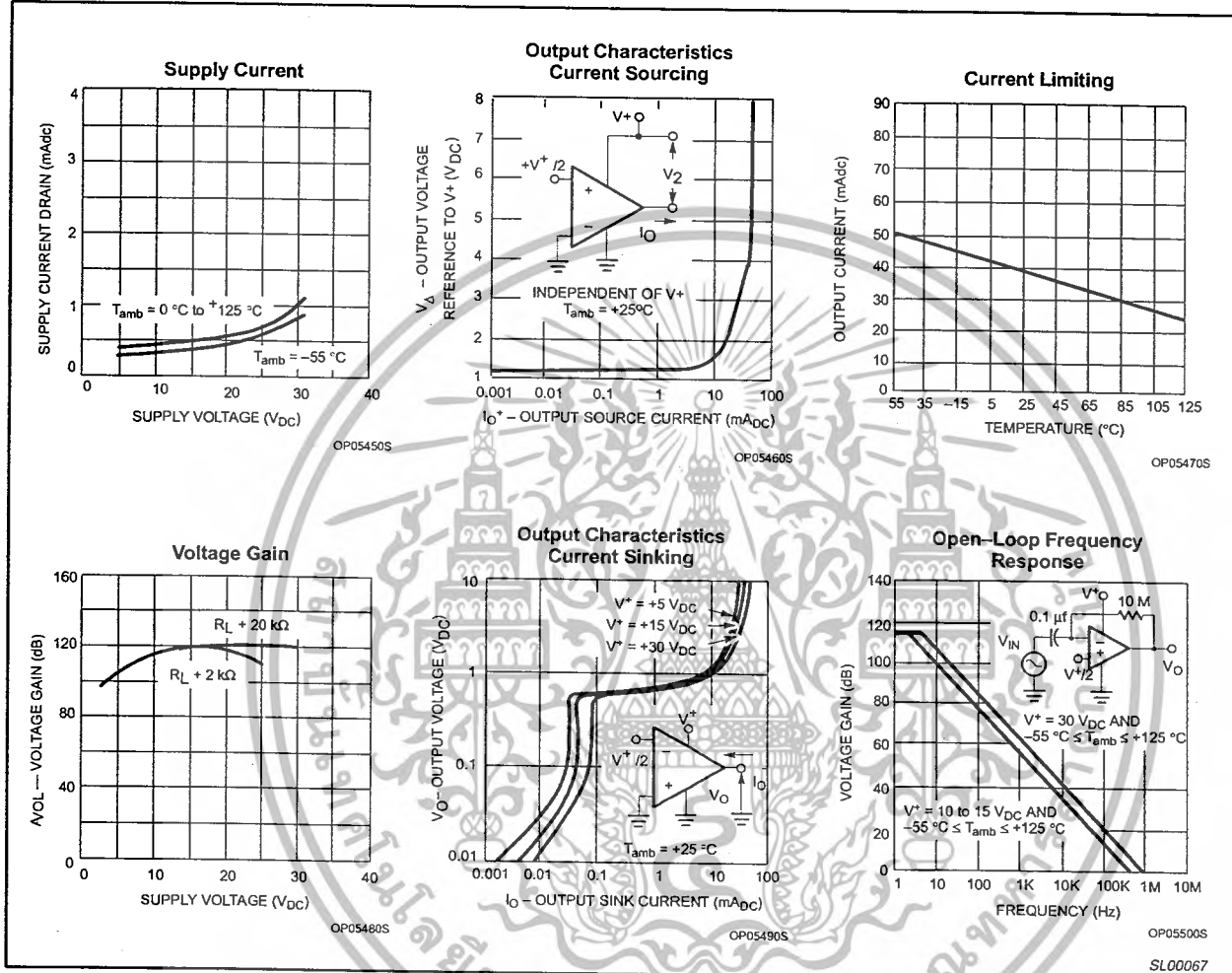


Figure 3. Typical Performance Characteristics

Low power quad op amps

LM124/224/324/324A/
SA534/LM2902

TYPICAL PERFORMANCE CHARACTERISTICS (Continued)

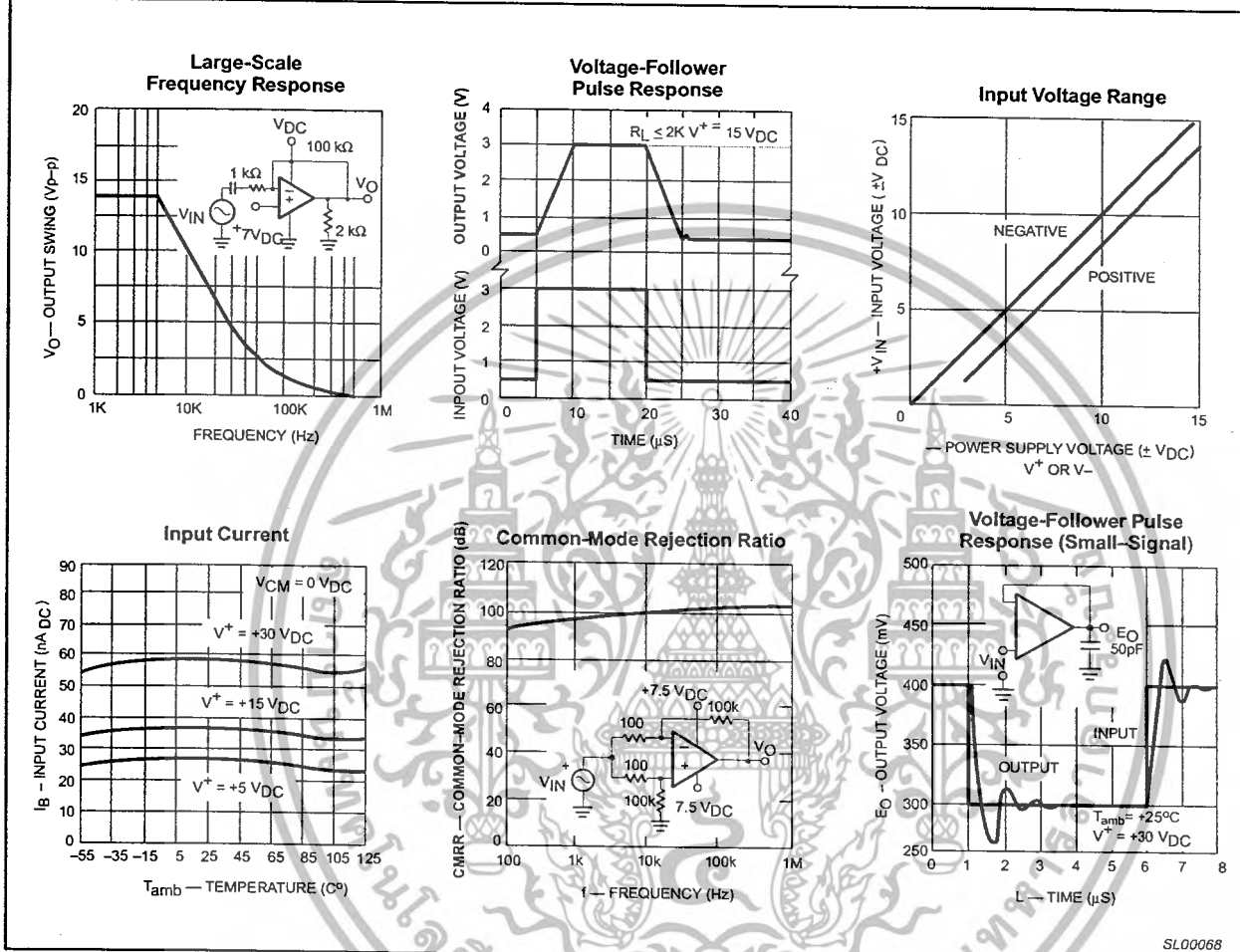


Figure 4. Typical Performance Characteristics (cont.)

TYPICAL APPLICATIONS

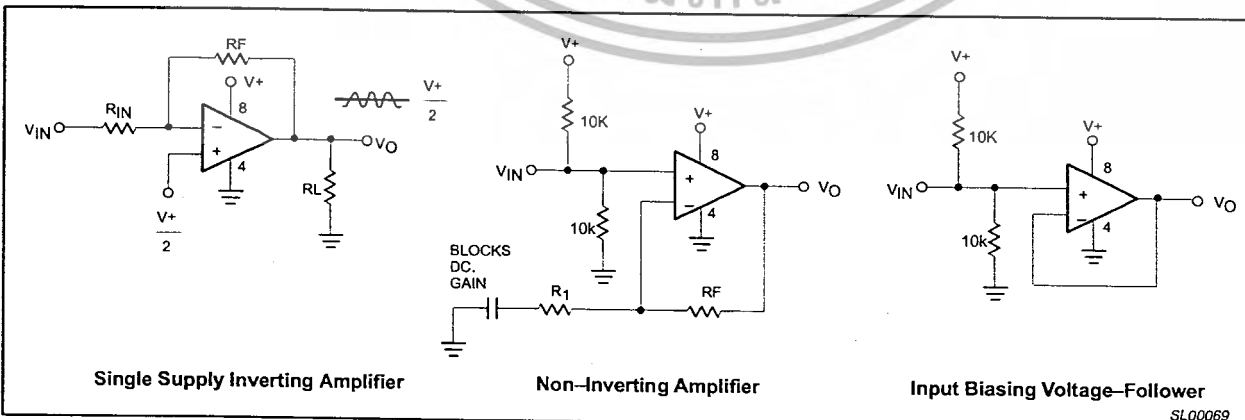


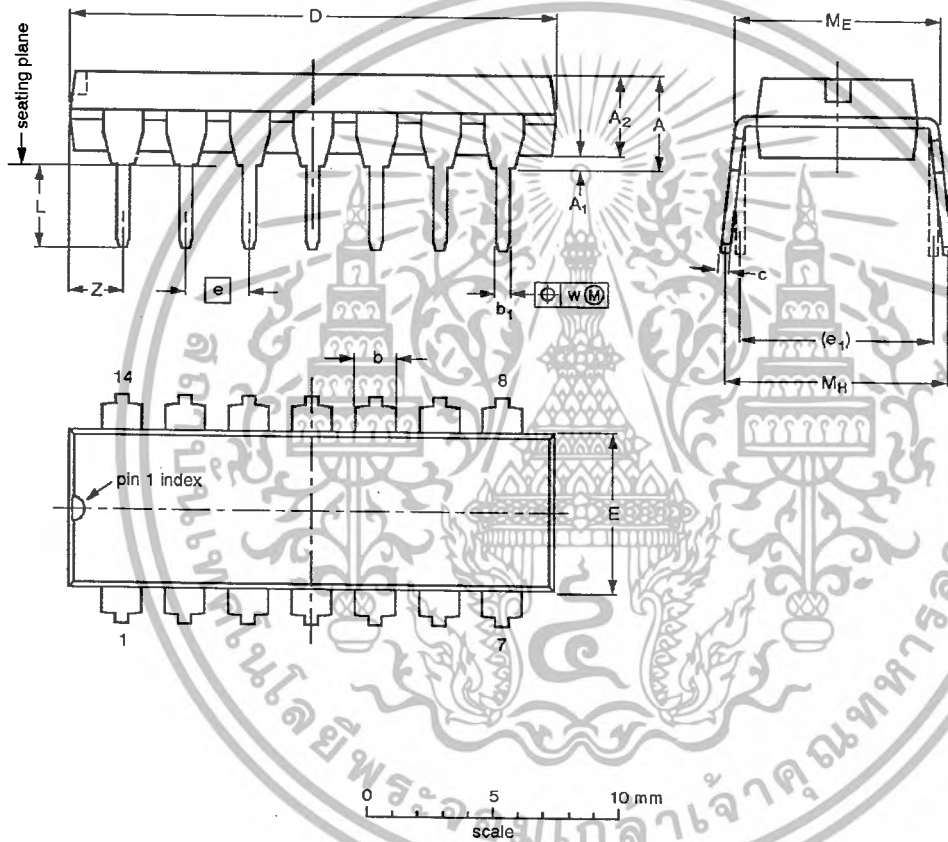
Figure 5. Typical Applications

Low power quad op amps

LM124/224/324/324A/
SA534/LM2902

DIP14: plastic dual in-line package; 14 leads (300 mil)

SOT27-1



DIMENSIONS (inch dimensions are derived from the original mm dimensions)

UNIT	A max.	A ₁ min.	A ₂ max.	b	b ₁	c	D ⁽¹⁾	E ⁽¹⁾	e	e ₁	L	M _E	M _H	w	Z ⁽¹⁾ max.
mm	4.2	0.51	3.2	1.73 1.13	0.53 0.38	0.36 0.23	19.50 18.55	6.48 6.20	2.54	7.62	3.60 3.05	8.25 7.80	10.0 8.3	0.254	2.2
inches	0.17	0.02	0.13	0.068 0.044	0.021 0.015	0.014 0.009	0.77 0.73	0.26 0.24	0.1	0.3	0.14 0.12	0.32 0.31	0.39 0.33	0.01	0.087

Note

1. Plastic or metal protrusions of 0.25 mm (0.01 inch) maximum per side are not included.

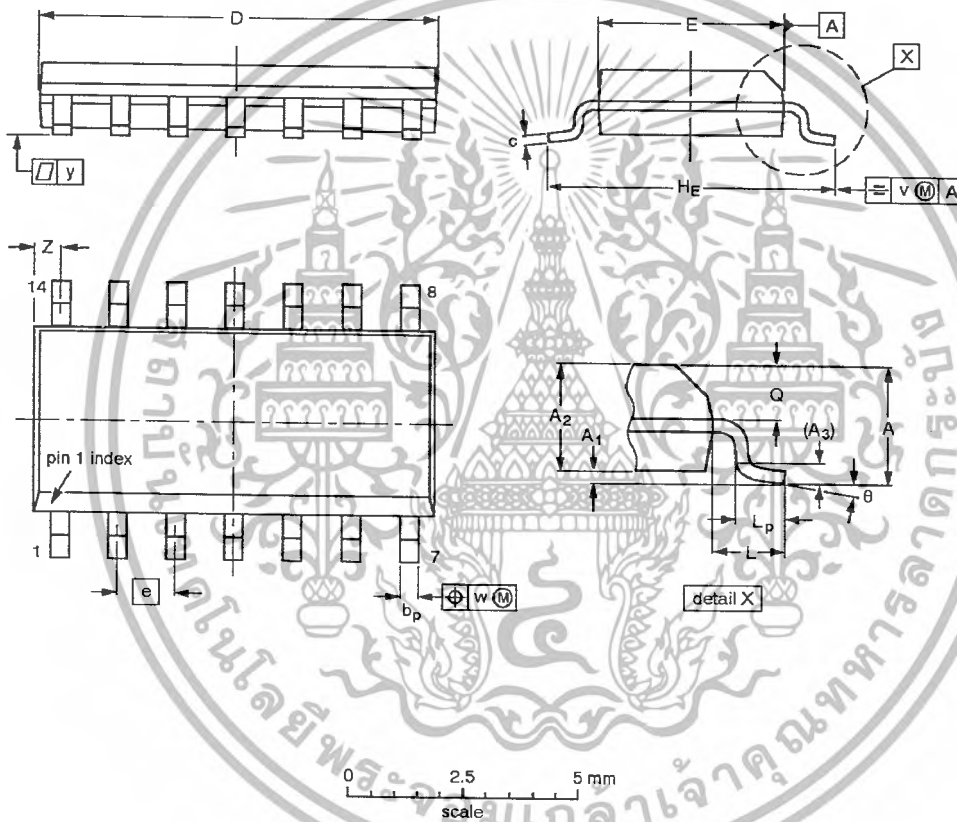
OUTLINE VERSION	REFERENCES			EUROPEAN PROJECTION	ISSUE DATE
	IEC	JEDEC	JEITA		
SOT27-1	050G04	MO-001	SC-501-14		99-12-27 03-02-13

Low power quad op amps

LM124/224/324/324A/
SA534/LM2902

SO14: plastic small outline package; 14 leads; body width 3.9 mm

SOT108-1



DIMENSIONS (inch dimensions are derived from the original mm dimensions)

UNIT	A max.	A ₁	A ₂	A ₃	b _p	c	D ⁽¹⁾	E ⁽¹⁾	e	H _E	L	L _p	Q	v	w	y	Z ⁽¹⁾	θ
mm	1.75	0.25 0.10	1.45 1.25	0.25	0.49 0.36	0.25 0.19	8.75 8.55	4.0 3.8	1.27	6.2 5.8	1.05	1.0 0.4	0.7 0.6	0.25	0.25	0.1	0.7 0.3	8° 0°
inches	0.069	0.010 0.004	0.057 0.049	0.01	0.019 0.014	0.0100 0.0075	0.35 0.34	0.16 0.15	0.05	0.244 0.228	0.041	0.039 0.016	0.028 0.024	0.01	0.01	0.004	0.028 0.012	

Note

1. Plastic or metal protrusions of 0.15 mm (0.006 inch) maximum per side are not included.

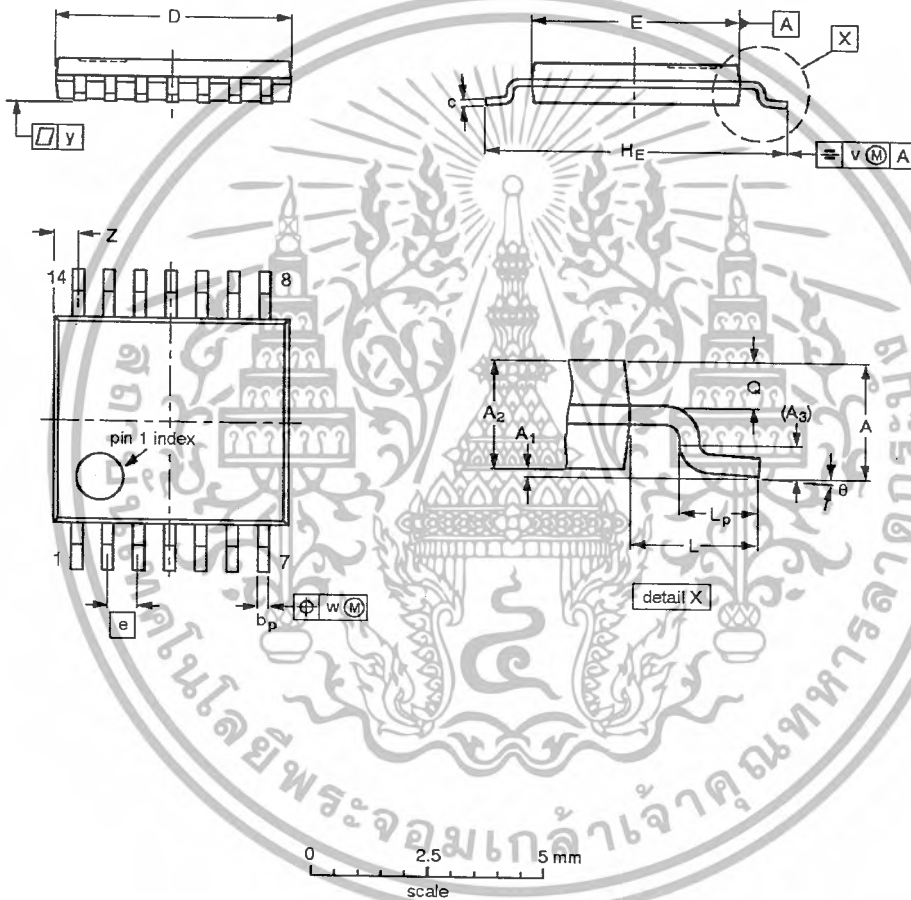
OUTLINE VERSION	REFERENCES			EUROPEAN PROJECTION	ISSUE DATE
	IEC	JEDEC	JEITA		
SOT108-1	076E06	MS-012			99-12-27 03-02-19

Low power quad op amps

LM124/224/324/324A/
SA534/LM2902

TSSOP14: plastic thin shrink small outline package; 14 leads; body width 4.4 mm

SOT402-1



DIMENSIONS (mm are the original dimensions)

UNIT	A max.	A ₁	A ₂	A ₃	b _p	c	D ⁽¹⁾	E ⁽²⁾	e	H _E	L	L _p	Q	v	w	y	Z ⁽¹⁾	θ
mm	1.1	0.15 0.05	0.95 0.80	0.25	0.30 0.19	0.2 0.1	5.1 4.9	4.5 4.3	0.65	6.6 6.2	1	0.75 0.50	0.4 0.3	0.2	0.13	0.1	0.72 0.38	8° 0°

Notes

1. Plastic or metal protrusions of 0.15 mm maximum per side are not included.
2. Plastic interlead protrusions of 0.25 mm maximum per side are not included.

OUTLINE VERSION	REFERENCES			EUROPEAN PROJECTION	ISSUE DATE
	IEC	JEDEC	JEITA		
SOT402-1		MO-153			99-12-27 03-02-18

Low power quad op amps

LM124/224/324/324A/
SA534/LM2902

REVISION HISTORY

Rev	Date	Description
_5	20030919	Product data (9397 750 12078). ECN 853-0929 30369 of 19 September 2003. Modifications: • Modified Figure 2; Q10 and Q13 changed from NPN to PNP.
_4	20020712	Product data (9397 750 10172). ECN 853-0929 28616 of 12 July 2002.

Data sheet status

Level	Data sheet status [1]	Product status [2] [3]	Definitions
I	Objective data	Development	This data sheet contains data from the objective specification for product development. Philips Semiconductors reserves the right to change the specification in any manner without notice.
II	Preliminary data	Qualification	This data sheet contains data from the preliminary specification. Supplementary data will be published at a later date. Philips Semiconductors reserves the right to change the specification without notice, in order to improve the design and supply the best possible product.
III	Product data	Production	This data sheet contains data from the product specification. Philips Semiconductors reserves the right to make changes at any time in order to improve the design, manufacturing and supply. Relevant changes will be communicated via a Customer Product/Process Change Notification (CPCN).

[1] Please consult the most recently issued data sheet before initiating or completing a design.

[2] The product status of the device(s) described in this data sheet may have changed since this data sheet was published. The latest information is available on the Internet at URL <http://www.semiconductors.philips.com>.

[3] For data sheets describing multiple type numbers, the highest-level product status determines the data sheet status.

Definitions

Short-form specification — The data in a short-form specification is extracted from a full data sheet with the same type number and title. For detailed information see the relevant data sheet or data handbook.

Limiting values definition — Limiting values given are in accordance with the Absolute Maximum Rating System (IEC 60134). Stress above one or more of the limiting values may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only and operation of the device at these or at any other conditions above those given in the Characteristics sections of the specification is not implied. Exposure to limiting values for extended periods may affect device reliability.

Application information — Applications that are described herein for any of these products are for illustrative purposes only. Philips Semiconductors make no representation or warranty that such applications will be suitable for the specified use without further testing or modification.

Disclaimers

Life support — These products are not designed for use in life support appliances, devices, or systems where malfunction of these products can reasonably be expected to result in personal injury. Philips Semiconductors customers using or selling these products for use in such applications do so at their own risk and agree to fully indemnify Philips Semiconductors for any damages resulting from such application.

Right to make changes — Philips Semiconductors reserves the right to make changes in the products—including circuits, standard cells, and/or software—described or contained herein in order to improve design and/or performance. When the product is in full production (status 'Production'), relevant changes will be communicated via a Customer Product/Process Change Notification (CPCN). Philips Semiconductors assumes no responsibility or liability for the use of any of these products, conveys no license or title under any patent, copyright, or mask work right to these products, and makes no representations or warranties that these products are free from patent, copyright, or mask work right infringement, unless otherwise specified.

Contact information

For additional information please visit
<http://www.semiconductors.philips.com> Fax: +31 40 27 24825

© Koninklijke Philips Electronics N.V. 2003
All rights reserved. Printed in U.S.A.

For sales offices addresses send e-mail to:
sales.addresses@www.semiconductors.philips.com

Date of release: 09-03
Document order number: 9397 750 12078

Let's make things better.

Philips
Semiconductors



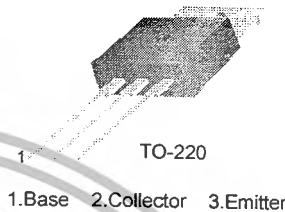
PHILIPS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TIP29 Series(TIP29/29A/29B/29C)

Medium Power Linear Switching Applications

- Complementary to TIP30/30A/30B/30C



NPN Epitaxial Silicon Transistor

Absolute Maximum Ratings $T_C=25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Value	Units
V_{CBO}	Collector-Base Voltage	: TIP29	40
		: TIP29A	60
		: TIP29B	80
		: TIP29C	100
V_{CEO}	Collector-Emitter Voltage	: TIP29	40
		: TIP29A	60
		: TIP29B	80
		: TIP29C	100
V_{EBO}	Emitter-Base Voltage	5	V
I_C	Collector Current (DC)	1	A
I_{CP}	Collector Current (Pulse)	3	A
I_B	Base Current	0.4	A
P_C	Collector Dissipation ($T_C=25^\circ\text{C}$)	30	W
	Collector Dissipation ($T_a=25^\circ\text{C}$)	2	W
T_J	Junction Temperature	150	$^\circ\text{C}$
T_{STG}	Storage Temperature	- 65 ~ 150	$^\circ\text{C}$

Electrical Characteristics $T_C=25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Test Condition	Min.	Max.	Units
$V_{CE0(sus)}$	*Collector-Emitter Sustaining Voltage	$I_C = 30\text{mA}, I_B = 0$: TIP29	40	V
			: TIP29A	60	V
			: TIP29B	80	V
			: TIP29C	100	V
I_{CEO}	Collector Cut-off Current	$V_{CE} = 30\text{V}, I_B = 0$ $V_{CE} = 60\text{V}, I_B = 0$		0.3	mA
				0.3	mA
I_{CES}	Collector Cut-off Current	$V_{CE} = 40\text{V}, V_{EB} = 0$ $V_{CE} = 60\text{V}, V_{EB} = 0$ $V_{CE} = 80\text{V}, V_{EB} = 0$ $V_{CE} = 100\text{V}, V_{EB} = 0$		200	μA
				200	μA
				200	μA
				200	μA
I_{EBO}	Emitter Cut-off Current	$V_{EB} = 5\text{V}, I_C = 0$		1.0	mA
h_{FE}	*DC Current Gain	$V_{CE} = 4\text{V}, I_C = 0.2\text{A}$ $V_{CE} = 4\text{V}, I_C = 1\text{A}$	40		
			15	75	
$V_{CE(sat)}$	*Collector-Emitter Saturation Voltage	$I_C = 1\text{A}, I_B = 125\text{mA}$		0.7	V
$V_{BE(sat)}$	*Base-Emitter Saturation Voltage	$V_{CE} = 4\text{V}, I_C = 1\text{A}$		1.3	V
f_T	Current Gain Bandwidth Product	$V_{CE} = 10\text{V}, I_C = 200\text{mA}$	3.0		MHz

* Pulse Test: $PW \leq 300\mu\text{s}$, Duty Cycles $\leq 2\%$

Typical Characteristics

TIP29 Series (TIP29/29A/29B/29C)

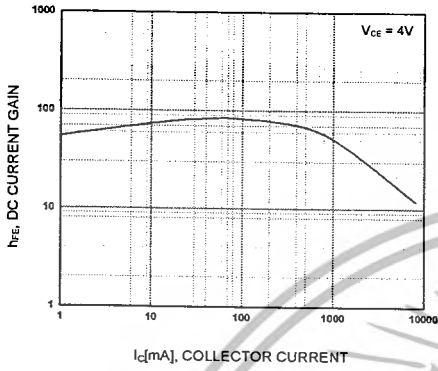


Figure 1. DC current Gain

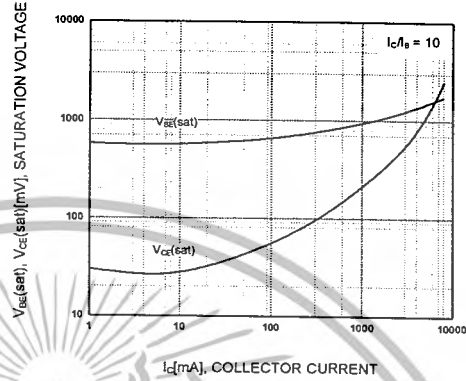


Figure 2. Base-Emitter Saturation Voltage
Collector-Emitter Saturation Voltage

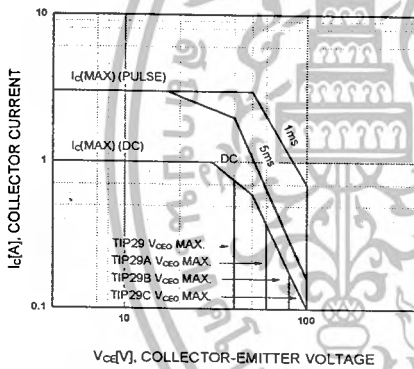


Figure 3. Safe Operating Area

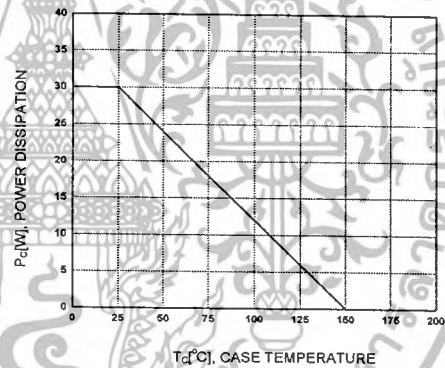


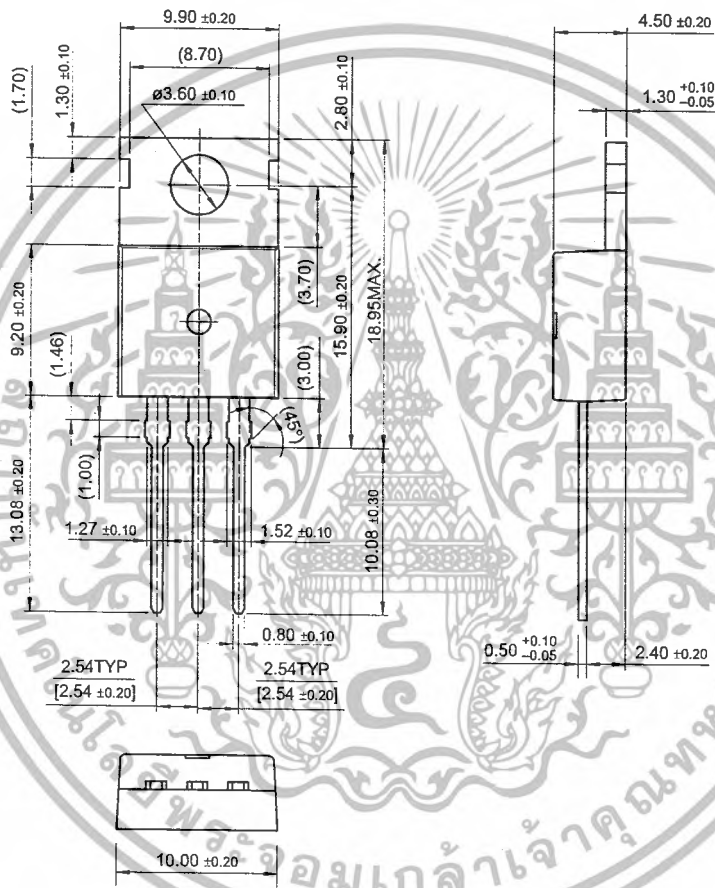
Figure 4. Power Derating

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Package Demensions

TO-220

TIP29 Series (TIP29/29A/29B/29C)



Dimensions in Millimeters

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TRADEMARKS

The following are registered and unregistered trademarks Fairchild Semiconductor owns or is authorized to use and is not intended to be an exhaustive list of all such trademarks.

ACE ^x ™	FAST [®]	OPTOPLANAR™	STAR*POWER™
Bottomless™	FASTr™	PACMAN™	Stealth™
CoolFET™	FRFET™	POP™	SuperSOT™-3
CROSSVOLT™	GlobalOptoisolator™	Power247™	SuperSOT™-6
DenseTrench™	GTO™	PowerTrench [®]	SuperSOT™-8
DOME™	HiSeC™	QFET™	SyncFET™
EcoSPARK™	ISOPLANAR™	QS™	TruTranslation™
E ² CMOS™	LittleFET™	QT Optoelectronics™	TinyLogic™
EnSigna™	MicroFET™	Quiet Series™	UHC™
FACT™	MICROWIRE™	SLIENT SWITCHER [®]	UltraFET [®]
FACT Quiet Series™	OPTOLOGIC™	SMART START™	VGX™

STAR*POWER is used under license

DISCLAIMER

FAIRCHILD SEMICONDUCTOR RESERVES THE RIGHT TO MAKE CHANGES WITHOUT FURTHER NOTICE TO ANY PRODUCTS HEREIN TO IMPROVE RELIABILITY, FUNCTION OR DESIGN. FAIRCHILD DOES NOT ASSUME ANY LIABILITY ARISING OUT OF THE APPLICATION OR USE OF ANY PRODUCT OR CIRCUIT DESCRIBED HEREIN; NEITHER DOES IT CONVEY ANY LICENSE UNDER ITS PATENT RIGHTS, NOR THE RIGHTS OF OTHERS.

LIFE SUPPORT POLICY

FAIRCHILD'S PRODUCTS ARE NOT AUTHORIZED FOR USE AS CRITICAL COMPONENTS IN LIFE SUPPORT DEVICES OR SYSTEMS WITHOUT THE EXPRESS WRITTEN APPROVAL OF FAIRCHILD SEMICONDUCTOR CORPORATION.

As used herein:

1. Life support devices or systems are devices or systems which, (a) are intended for surgical implant into the body, or (b) support or sustain life, or (c) whose failure to perform when properly used in accordance with instructions for use provided in the labeling, can be reasonably expected to result in significant injury to the user.
2. A critical component is any component of a life support device or system whose failure to perform can be reasonably expected to cause the failure of the life support device or system, or to affect its safety or effectiveness.

PRODUCT STATUS DEFINITIONS

Definition of Terms

Datasheet Identification	Product Status	Definition
Advance Information	Formative or In Design	This datasheet contains the design specifications for product development. Specifications may change in any manner without notice.
Preliminary	First Production	This datasheet contains preliminary data, and supplementary data will be published at a later date. Fairchild Semiconductor reserves the right to make changes at any time without notice in order to improve design.
No Identification Needed	Full Production	This datasheet contains final specifications. Fairchild Semiconductor reserves the right to make changes at any time without notice in order to improve design.
Obsolete	Not In Production	This datasheet contains specifications on a product that has been discontinued by Fairchild semiconductor. The datasheet is printed for reference information only.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TIP30 Series(TIP30/30A/30B/30C)

Medium Power Linear Switching Applications

- Complementary to TIP29/29A/29B/29C



TO-220
1.Base 2.Collector 3.Emitter

PNP Epitaxial Silicon Transistor

Absolute Maximum Ratings $T_C=25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Value	Units
V_{CBO}	Collector-Base Voltage	: TIP30	-40
		: TIP30A	-60
		: TIP30B	-80
		: TIP30C	-100
V_{CEO}	Collector-Emitter Voltage	: TIP30	-40
		: TIP30A	-60
		: TIP30B	-80
		: TIP30C	-100
V_{EBO}	Emitter-Base Voltage	-5	V
I_C	Collector Current (DC)	-1	A
I_{CP}	Collector Current (Pulse)	-3	A
I_B	Base Current	-0.4	A
P_C	Collector Dissipation ($T_C=25^\circ\text{C}$)	30	W
P_C	Collector Dissipation ($T_a=25^\circ\text{C}$)	2	W
T_J	Junction Temperature	150	$^\circ\text{C}$
T_{STG}	Storage Temperature	-65 ~ 150	$^\circ\text{C}$

Electrical Characteristics $T_C=25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Test Condition	Min.	Max.	Units
$V_{CEO(sus)}$	* Collector-Emitter Sustaining Voltage	$I_C = -30\text{mA}, I_B = 0$: TIP30	-40	V
			: TIP30A	-60	V
			: TIP30B	-80	V
			: TIP30C	-100	V
I_{CEO}	Collector Cut-off Current	$V_{CE} = -30\text{V}, I_B = 0$		-0.3	mA
		$V_{CE} = -60\text{V}, I_B = 0$		-0.3	mA
I_{CES}	Collector Cut-off Current	$V_{CE} = -40\text{V}, V_{EB} = 0$		-200	μA
		$V_{CE} = -60\text{V}, V_{EB} = 0$		-200	μA
		$V_{CE} = -80\text{V}, V_{EB} = 0$		-200	μA
		$V_{CE} = -100\text{V}, V_{EB} = 0$		-200	μA
I_{EBO}	Emitter Cut-off Current	$V_{EB} = -5\text{V}, I_C = 0$		-1.0	mA
h_{FE}	* DC Current Gain	$V_{CE} = -4\text{V}, I_C = -0.2\text{A}$	40		
		$V_{CE} = -4\text{V}, I_C = -1\text{A}$	15	75	
$V_{CE(sat)}$	* Collector-Emitter Saturation Voltage	$I_C = -1\text{A}, I_B = -125\text{mA}$		-0.7	V
$V_{BE(sat)}$	* Base-Emitter Saturation Voltage	$V_{CE} = -4\text{V}, I_C = -1\text{A}$		-1.3	V
f_T	Current Gain Bandwidth Product	$V_{CE} = -10\text{V}, I_C = -200\text{mA}$	3.0		MHz

* Pulse Test: PWs300 μs , Duty Cycles2%

TIP30 Series(TIP30/30A/30B/30C)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Characteristics

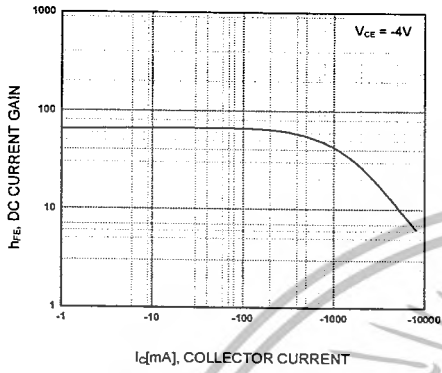


Figure 1. DC current Gain

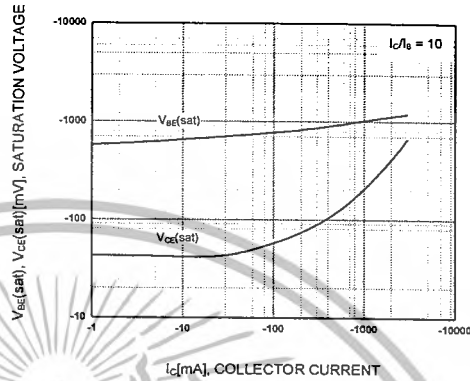


Figure 2. Base-Emitter Saturation Voltage
Collector-Emitter Saturation Voltage

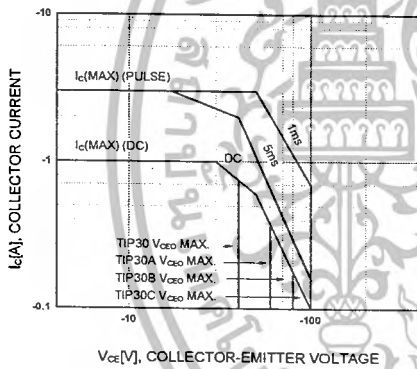


Figure 3. Safe Operating Area

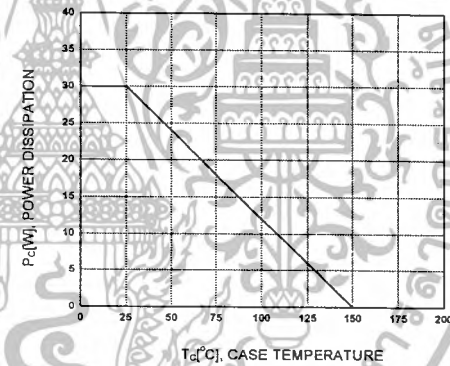


Figure 4. Power Derating

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TRADEMARKS

The following are registered and unregistered trademarks Fairchild Semiconductor owns or is authorized to use and is not intended to be an exhaustive list of all such trademarks.

ACE ^x ™	HiSeC™	SuperSOT™-8
Bottomless™	ISOPLANAR™	SyncFET™
CoolFET™	MICROWIRE™	TinyLogic™
CROSSVOLT™	POP™	UHC™
E ² CMOS™	PowerTrench®	VCX™
FACT™	QFET™	
FACT Quiet Series™	QS™	
FAST®	Quiet Series™	
FASTr™	SuperSOT™-3	
GTO™	SuperSOT™-6	

DISCLAIMER

FAIRCHILD SEMICONDUCTOR RESERVES THE RIGHT TO MAKE CHANGES WITHOUT FURTHER NOTICE TO ANY PRODUCTS HEREIN TO IMPROVE RELIABILITY, FUNCTION OR DESIGN. FAIRCHILD DOES NOT ASSUME ANY LIABILITY ARISING OUT OF THE APPLICATION OR USE OF ANY PRODUCT OR CIRCUIT DESCRIBED HEREIN; NEITHER DOES IT CONVEY ANY LICENSE UNDER ITS PATENT RIGHTS, NOR THE RIGHTS OF OTHERS.

LIFE SUPPORT POLICY

FAIRCHILD'S PRODUCTS ARE NOT AUTHORIZED FOR USE AS CRITICAL COMPONENTS IN LIFE SUPPORT DEVICES OR SYSTEMS WITHOUT THE EXPRESS WRITTEN APPROVAL OF FAIRCHILD SEMICONDUCTOR INTERNATIONAL.

As used herein:

1. Life support devices or systems are devices or systems which, (a) are intended for surgical implant into the body, or (b) support or sustain life, or (c) whose failure to perform when properly used in accordance with instructions for use provided in the labeling, can be reasonably expected to result in significant injury to the user.
2. A critical component is any component of a life support device or system whose failure to perform can be reasonably expected to cause the failure of the life support device or system, or to affect its safety or effectiveness.

PRODUCT STATUS DEFINITIONS

Definition of Terms

Datasheet Identification	Product Status	Definition
Advance Information	Formative or In Design	This datasheet contains the design specifications for product development. Specifications may change in any manner without notice.
Preliminary	First Production	This datasheet contains preliminary data, and supplementary data will be published at a later date. Fairchild Semiconductor reserves the right to make changes at any time without notice in order to improve design.
No Identification Needed	Full Production	This datasheet contains final specifications. Fairchild Semiconductor reserves the right to make changes at any time without notice in order to improve design.
Obsolete	Not In Production	This datasheet contains specifications on a product that has been discontinued by Fairchild semiconductor. The datasheet is printed for reference information only.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณบิดามารดาของพวกเราทุกคนที่ให้กำเนิดเลี้ยงดู และให้การศึกษาแก่พวกเรา

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร.วันชัย ธีรรัฐจา ที่ให้คำแนะนำ คำปรึกษา และให้ความรู้ความช่วยเหลือแก่
พวกเราทุกคนตลอดช่วงเวลาของการทำงานและการเรียน

ขอขอบพระคุณอาจารย์ทุกๆท่าน และสถาบันแห่งนี้ที่ให้ความรู้ และอบรมสั่งสอนพวกเรามาโดย
ตลอดขอขอบพระคุณพี่ๆห้องธุรการ และห้องสโตร์ ที่ช่วยอำนวยความสะดวกเรื่องต่างๆ โดยเฉพาะการเบิก
เงินและอุปกรณ์ต่างๆ

ขอขอบคุณเพื่อนๆและน้องๆชุมนุมโรบอททุกคนที่ให้กำลังใจและช่วยเหลือมาตลอด ทั้งเรื่อง
โปรแกรมและอุปกรณ์ต่างๆ

ขอขอบคุณคอมพิวเตอร์และสิ่งอำนวยความสะดวกต่างๆที่ทำให้พวกเราทำงานสบาย

ขอขอบคุณปริญญานิพนธ์ของรุ่นพี่ๆที่เป็นต้นแบบให้ดูบางส่วน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หนังสืออ้างอิง

(Reference)

1. รศ.ดร. วรพงศ์ ตั้งศรีสวัสดิ์, “เซนเซอร์และทรานดิวเซอร์”, สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี [ไทย-ญี่ปุ่น], เมษายน 2550
2. G. Chen, and X. Dong, “Ordering chaos of chu’s circuit-A feedback control approach,” 1993 *IEEE International Symposium on Circuit and System*, Vol.4, 3-6 May 1993, pp.2604-2607.
3. R.C. Hilborn, *Linear Dynamics*, Oxford University Press, 2000
4. A.N. Sharkovsky, “circuit and systems”, *IEEE Transactions on circuit and systems*, Vol.40, No.10, October 1993, pp.781-429
5. <http://homepages.which.net/~paul.hills/Circuits/PowerServo/PowerServo.html>
6. <http://robots.freehostia.com/>