

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

วาล์วควบคุม  
CONTROL VALVE



T103979

โดย

นายชนะภณท์

โกยทอง

นายทวีลาภ

เจริญรัตน์

นายทัพไทย

ลิกิจวัฒน์

๒๗.  
๗/๒๖๖  
๒๕๕๑

เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน...103979  
วัน,เดือน,ปี 28 ต.ค. 2552

๑21๐๑ 2๑3

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิศวกรรมระบบควบคุม  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2551

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาโทปีการศึกษา 2551

สาขาวิชาวิศวกรรมระบบควบคุม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง วาล์วควบคุม

CONTROL VALVE

ผู้จัดทำ นายชนะภนต์ โกยทอง


รหัศ 48010170

นายทวีลาภ เจริญรัตน์

รหัศ 48010313

นายทัฬหายุทธ สติกิจวัฒน์

รหัศ 48010318



.....อาจารย์ที่ปรึกษา  
(อาจารย์วราธรณ์ดี เพชรมณีล้ำค่า)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# วาล์วควบคุม

โดย

นายชนะภนต์ โภยทอง รหัส 48010170

นายทวีลาภ เจริญรัตน์ รหัส 48010313

นายทัฬหไทย ลีกิจวัฒน์ รหัส 48010318

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์วรรณดี เพชรธณีนีลาคำ

ปีการศึกษา 2551

## บทคัดย่อ

ปฏิญานិพนธ์ฉบับนี้ นำเสนอทฤษฎีและการออกแบบระบบควบคุมวาล์วอัตโนมัติ สำหรับระบบควบคุมวาล์วอัตโนมัติ โดยโครงสร้างของระบบประกอบด้วยเกทวาล์วซึ่งติดอยู่กับเฟืองทด ตัวต้านทานปรับค่าได้และเซอร์โวมอเตอร์ รวมทั้งวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่เกี่ยวข้อง โดยจุดมุ่งหมายของโครงการนี้คือ การควบคุมการเปิด-ปิดของวาล์ว โดยการป้อนค่าสัญญาณกระแสมาตรฐาน 4-20 mA เข้าไปและให้วาล์วเปิด-ปิดอัตโนมัติคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ตั้งแต่ 0-100 เปอร์เซ็นต์ตามค่ากระแสอินพุตที่ป้อนเข้าไป

ขั้นตอนการดำเนินการ โครงการนี้เริ่มจากการเลือกหาวาล์วที่จะนำมาควบคุมการไหลของของไหลให้เหมาะสม แล้วออกแบบโครงสร้างของการประกอบเป็นตัววาล์วระหว่างเฟืองทด วาล์ว ตัวต้านทานปรับค่าได้และเซอร์โวมอเตอร์ พร้อมทั้งประกอบโครงสร้างของระบบควบคุมวาล์ว ทำการศึกษาและออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่จำเป็น สำหรับระบบควบคุมอัตโนมัตินี้ ประกอบด้วยวงจรเปรียบเทียบแรงดัน, วงจรขยายสัญญาณแบบกลับเฟส, วงจรตามแรงดัน, วงจรขยายสัญญาณผลต่าง, วงจรขยายกำลัง, วงจรปรับค่าความชันและตำแหน่งศูนย์ และวงจรรวมสัญญาณซึ่งเมื่อนำทุกวงจรมารวมเข้าด้วยกันแล้ว จะทำให้สามารถควบคุมวาล์วให้เปิด-ปิดได้อย่างอัตโนมัติตามที่ต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# CONTROL VALVE

By

Mr. Chanapon Koeythong

Mr. Taweelap Charoenrat

Mr. Thupthai Leekitchwatana

Advisor

Miss Wandee Petchmaneelumka

Academic Year 2008

## ABSTRACT

This thesis proposes the theory and design of automatic control system for automatic valve control. The structure of this system consists of gate valve coupling gears, potentiometers and servomotor, and electronic circuits which relate for this system. The purposes of this project is to control opening valve in range 0%-100% by supplying the standard current signal 4-20 mA.

Procedure of this project starts on selecting the suited valve. Then valve, gears, potentiometers, and servomotor is coupled. The electronic circuits including voltage comparator, inverting amplifier, voltage follower, differential amplifier, power amplifier, zero and span circuit and summing amplifier is studied and designed. The mechanic and electronic parts are incorporated. Finally, valve opening can be controlled automatically to obtain the desired value.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เพราะได้รับความช่วยเหลือจาก อาจารย์วรรณดี เพชรมณีล้ำค่า ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษา คอยแนะนำ สั่งสอน และให้โอกาสมาโดยตลอด รวมทั้งคอยถามถึงความคืบหน้าอยู่ตลอดเวลา ผู้จัดทำรู้สึกซาบซึ้งและขอกราบขอบพระคุณอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร. วันชัย ธีรรัฐจา ที่ให้คำแนะนำ สั่งสอน ติเตียน ทำให้สามารถทำงานได้อย่างมีคุณภาพ

ขอขอบพระคุณ พี่ อมรเทพ กาศย์แก้ว (พี่เพชร) ที่ให้ยืมเครื่องมือดีๆ มาใช้งาน

ขอขอบคุณเพื่อนๆ และน้องๆทุกคน ที่คอยให้กำลังใจ กระตุ้นเตือน รวมทั้งคอยถามถึงความคืบหน้าของโครงการอยู่เสมอ และให้ความช่วยเหลือในเรื่องต่างๆมาโดยตลอด

ขอขอบพระคุณคุณพ่อ คุณแม่ และครอบครัว ที่เป็นกำลังใจที่ดีเสมอมา รวมถึงการสนับสนุนในเรื่องของงบประมาณที่ขาดเหลือ จนทำให้โครงการชิ้นนี้สำเร็จลุล่วงขึ้นมาได้ สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณบุคคลทุกบุคคล และทุกสิ่งทุกอย่างที่ผ่านเข้ามาจนทำให้โครงการชิ้นนี้สำเร็จขึ้นได้ ขอขอบพระคุณมากครับ

ผู้จัดทำ

นายชนะภณท์ โกยทอง

นายทวีลาภ เจริญรัตน์

นายทัฬหายุทธ สิริกิจวัฒน์

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญภาพ	VII
สารบัญตาราง	VIII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 กล่าวนำ	1
1.2 วัตถุประสงค์ในการทำปริญญานิพนธ์	1
1.3 ขั้นตอนการศึกษาและจัดทำโครงการ	1
1.4 รายละเอียดของปริญญานิพนธ์	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและความรู้ที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 วาล์ว (Valve)	3
2.1.1 Globe Valve	3
2.1.2 Ball Valve	4
2.1.3 Butterfly Valve	4
2.1.4 Check Valve	5
2.1.5 Gate Valve	5
2.2 เซอร์โวมอเตอร์	6
2.3 เฟือง	8
2.4 ตัวต้านทานปรับค่าได้	9
2.5 สวิตช์จำกัดระยะ	10
2.6 ทรานซิสเตอร์	10
2.6.1 ทรานซิสเตอร์แบบรอยต่อคู่ (Bipolar junction transistor)	10
2.6.2 ทรานซิสเตอร์แบบสนามไฟฟ้า (Field-effect transistor)	10
2.7 วงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ในโครงการ	11
2.7.1 วงจรเปรียบเทียบแรงดัน (voltage comparator)	12
2.7.2 วงจรขยายสัญญาณแบบกลับเฟส (inverting amplifier)	13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.7.3 วงจรตามแรงดัน (voltage follower) หรือวงจรบัฟเฟอร์ (buffer)	14
2.7.4 วงจรขยายสัญญาณผลต่าง (differential amplifier)	15
2.7.5 วงจรปรับค่าความชันและตำแหน่งศูนย์ (zero and span circuit)	15
2.7.6 วงจรขยายกำลัง (power amplifier)	17
2.7.7 วงจรรวมสัญญาณ (summing amplifier)	17
บทที่ 3 การคำนวณและการสร้าง	19
3.1 การศึกษาค้นคว้า	19
3.1.1 การวิจัยหรือศึกษาจากเอกสารต่างๆที่เกี่ยวข้อง	19
3.1.2 การวิจัยการทดลอง	19
3.2 ส่วนประกอบและหลักการเลือกใช้อุปกรณ์	19
3.2.1 การเลือกवाल	19
3.2.2 สาเหตุที่เลือกใช้เกทवाल	20
3.2.3 การเลือกเซอร์โวมอเตอร์	20
3.2.4 การปรับแต่งเซอร์โวมอเตอร์	21
3.3 ขั้นตอนในการสร้าง	22
3.3.1 ออกแบบบล็อกไดอะแกรมการทำงาน	22
3.3.2 ออกแบบและประกอบตัวवाल	22
3.3.3 ออกแบบวงจรควบคุมवाल และทำการคำนวณค่าในวงจร	23
3.4 หลักการทำงาน	25
3.4.1 บล็อกไดอะแกรมของระบบ	25
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง	26
4.1 การทดลองวัดแรงดันเอาต์พุต และกระแสเอาต์พุตของเซอร์โวมอเตอร์ ในขณะที่ไม่มีโหลดเพียง(โครงสร้างทางกล)	26
4.2 การทดลองวัดแรงดันเอาต์พุต และกระแสเอาต์พุตของเซอร์โวมอเตอร์ ในขณะที่มีโหลดเพียง(โครงสร้างทางกล)	29
4.3 การทดลองการเปรียบเทียบค่าระหว่างผลการทดลองกับค่าจากการคำนวณ และค่าความผิดพลาดของอุปกรณ์	32
บทที่ 5 บทวิจารณ์และสรุป	33
5.1 สรุป	33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
5.2 ปัญหาและแนวทางการแก้ไข 33  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
5.3 ข้อเสนอแนะและแนวทางในการค้นคว้าพัฒนา	33
ภาคผนวก	34
เอกสารอ้างอิง	55



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญภาพ

	หน้า
รูปที่	
รูปที่ 2.1 ลักษณะทั่วไปของ Globe Valve	3
รูปที่ 2.2 ลักษณะทั่วไปของ Ball Valve	4
รูปที่ 2.3 ลักษณะทั่วไปของ Butterfly Valve	4
รูปที่ 2.4 ลักษณะทั่วไปของ Check Valve	5
รูปที่ 2.5 ลักษณะทั่วไปของ Gate Valve	6
รูปที่ 2.6 ลักษณะทั่วไปของเซอร์โวมอเตอร์	7
รูปที่ 2.7 การทำงานของเซอร์โวมอเตอร์	7
รูปที่ 2.8 เฟืองที่เลือกใช้	8
รูปที่ 2.9 ตัวต้านทานปรับค่าได้	9
รูปที่ 2.10 สวิตช์จำกัดระยะ	10
รูปที่ 2.11 ทรานซิสเตอร์	11
รูปที่ 2.12 วงจรเปรียบเทียบแรงดัน	13
รูปที่ 2.13 วงจรขยายสัญญาณแบบกลับเฟส	14
รูปที่ 2.14 วงจรตามแรงดัน	14
รูปที่ 2.15 วงจรขยายสัญญาณผลต่าง	15
รูปที่ 2.16 วงจรปรับค่าความชันและตำแหน่งศูนย์	16
รูปที่ 2.17 วงจรขยายกำลัง	17
รูปที่ 2.18 วงจรรวมสัญญาณ	17
รูปที่ 3.1 ลักษณะของเกทวาล์วที่ใช้	19
รูปที่ 3.2 การปรับแต่งเซอร์โวมอเตอร์	21
รูปที่ 3.3 บล็อกไดอะแกรมการทำงาน	22
รูปที่ 3.4 โครงสร้างทางกลของวาล์ว	22
รูปที่ 3.5 วงจรขับวาล์ว	23
รูปที่ 3.6 แผงวงจรขับวาล์ว	23
รูปที่ 3.7 บล็อกไดอะแกรมของระบบ	25
รูปที่ 4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันอินพุตกับแรงดันเอาต์พุต	31
รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสอินพุตกับแรงดันเอาต์พุต	31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1 การทดลองวัดแรงดันเอาต์พุต และกระแสเอาต์พุตของเซอร์โวมอเตอร์ ในขณะที่ไม่มีชุดเฟือง(โครงสร้างทางกล)	26
4.2 การทดลองวัดแรงดันเอาต์พุต และกระแสเอาต์พุตของเซอร์โวมอเตอร์ ในขณะที่มีชุดเฟือง(โครงสร้างทางกล)	29
4.3 ตารางเปรียบเทียบค่าระหว่างผลการทดลองกับค่าจากการคำนวณ และค่าความผิดพลาดของอุปกรณ์	32



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 กล่าวนำ

ในปัจจุบันนี้ตามโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ ได้มีการใช้อุปกรณ์ที่มีการควบคุมแบบอัตโนมัติเข้ามาเกี่ยวข้องเป็นจำนวนมาก ในหลายโรงงานได้มีการปรับเปลี่ยนอุปกรณ์การควบคุมการผลิตให้มีความทันสมัยขึ้นและเพื่อที่จะทำให้ได้ผลกำไรที่มากขึ้น ดังนั้นนักศึกษาที่ศึกษาในสาขาวิชาวิศวกรรมระบบควบคุมจึงจำเป็นต้องเรียนรู้และศึกษาทฤษฎีต่างๆ รวมไปถึงการปฏิบัติการทดลอง เพื่อที่จะได้มีความรู้ความเข้าใจ และสามารถนำความรู้ที่ได้ไปประยุกต์ใช้ในการออกแบบและควบคุมอุปกรณ์ตามระบบปฏิบัติการที่ต้องการ

สำหรับโครงการนี้คณะผู้จัดทำได้ศึกษาเกี่ยวกับเรื่องวาล์ว เซอร์โวมอเตอร์ ตัวต้านทานปรับค่าได้ และวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่เกี่ยวข้อง จนสามารถสร้างเป็นชิ้นงานที่เกี่ยวกับการควบคุมการเปิด-ปิดวาล์ว โดยได้ทำการทดลองและจำลองกระบวนการควบคุมไว้ ซึ่งมีวาล์ว เซอร์โวมอเตอร์ และตัวต้านทานปรับค่าได้ รวมถึงวงจรอิเล็กทรอนิกส์เข้ามาเกี่ยวข้องในกระบวนการ

ในการศึกษาอุปกรณ์ควบคุมแบบอัตโนมัตินั้น ได้มีการใช้เซอร์โวมอเตอร์เป็นตัวควบคุมการเปิด-ปิดวาล์วให้ได้ค่าตามที่ต้องการ ซึ่งมีเป้าหมายในการควบคุมคือ เพื่อให้วาล์วเปิด-ปิดให้ได้ค่าตามที่ต้องการเมื่อป้อนค่าอินพุตจากวงจรไฟฟ้า 4-20 mA เข้าไป คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ตั้งแต่ 0-100 เปอร์เซ็นต์ และมีความถูกต้องหรือผิดพลาดน้อยที่สุด

### 1.2 วัตถุประสงค์ในการทำปริญญานิพนธ์

- เพื่อศึกษาทฤษฎีการควบคุมอุปกรณ์แบบอัตโนมัติ
- เพื่อศึกษาอุปกรณ์ต่างๆ ที่จะนำมาสร้างให้เป็นตัววาล์วควบคุมแบบอัตโนมัติ และทดลองอุปกรณ์ต่างๆที่จะนำมาใช้งานจริง
- เพื่อสร้างตัวควบคุมการเปิด-ปิดวาล์วแบบอัตโนมัติ โดยใช้เซอร์โวมอเตอร์เป็นตัวควบคุมการเปิด-ปิดของวาล์ว และทำการป้อนสัญญาณกระแส 4-20 mA เพื่อให้วาล์วสามารถเปิด-ปิดได้โดยอัตโนมัติ

### 1.3 ขั้นตอนการศึกษาและการจัดทำโครงการ

1. ศึกษาส่วนประกอบทั้งหมดที่เกี่ยวข้องกับการทดลองในการทำตัววาล์วควบคุม ค้นคว้าหาข้อมูลและศึกษาการทำงานทั้งทางกลและทางอิเล็กทรอนิกส์ ควบคู่ไปกับการศึกษาการทำงานของอุปกรณ์ต่างๆที่ควบคุมแบบอัตโนมัติ
- เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
- ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ทำการจัดหาวัสดุอุปกรณ์และส่วนประกอบต่างๆ ทั้งทางกลและทางอิเล็กทรอนิกส์ที่จะนำมาใช้ประกอบขึ้นเป็นอุปกรณ์ว่าลั่วควบคุม ซึ่งได้แก่ เกทวาล์ว, เซอร์โวมอเตอร์, ตัวต้านทานปรับค่าได้ 10 รอบ เฟืองทด และอุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ เป็นต้น

3. ออกแบบและประกอบเป็น โครงสร้างชุด ควบคุมการเปิด-ปิดวาล์วอัตโนมัติ และทดสอบการทำงานของอุปกรณ์ทั้งหมด

4. ออกแบบวงจรคือ วงจรเปรียบเทียบแรงดัน (voltage comparator), วงจรขยายสัญญาณแบบกลับเฟส (inverting amplifier), วงจรตามแรงดัน (voltage follower), วงจรขยายสัญญาณผลต่าง (differential amplifier), วงจรขยายกำลัง (power amplifier), วงจรปรับค่าความชันและตำแหน่งศูนย์ (zero and span circuit) และวงจรรวมสัญญาณ (summing amplifier) รวมทั้งทำการทดสอบวงจรทุกวงจร ก่อนที่จะนำมารวมเข้าด้วยกัน

5. นำอุปกรณ์ทางกลและทางอิเล็กทรอนิกส์มาประกอบรวมเข้าด้วยกันเป็น โครงสร้างชุด ควบคุมการเปิด-ปิดวาล์วอัตโนมัติ และทดสอบการทำงานของอุปกรณ์ทั้งหมด

6. ทดลองและบันทึกผลการทดลอง รวมทั้งสรุปผลการทดลองทั้งหมด

#### 1.4 รายละเอียดของปฏิญานิพนธ์

เนื้อหาภายในปฏิญานิพนธ์เล่มนี้ประกอบด้วย

บทที่ 1 บทนำ กล่าวถึงวัตถุประสงค์ ในการทำปฏิญานิพนธ์ ขั้นตอนการศึกษาและการจัดทำโครงการ พร้อมทั้งรายละเอียดของปฏิญานิพนธ์แต่ละบท

บทที่ 2 ทฤษฎีและความรู้ที่เกี่ยวข้อง กล่าวถึง ประเภทของวาล์ว เซอร์โวมอเตอร์ เฟืองทด ตัวต้านทานปรับค่าได้ สวิตช์จำกัดระยะ ทราานซิสเตอร์และวงจรอิเล็กทรอนิกส์แบบต่างๆ เพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในการจัดทำโครงการ

บทที่ 3 การคำนวณและการสร้าง กล่าวถึง การศึกษาค้นคว้า อธิบายส่วนประกอบและหลักการเลือกใช้อุปกรณ์ต่างๆ ขั้นตอนในการสร้างชิ้นงาน และหลักการทำงานในส่วนต่างๆ

บทที่ 4 การทดลอง กล่าวถึง การทดลองวัดแรงดันเอาต์พุต และกระแสเอาต์พุตของเซอร์โวมอเตอร์ และการทดลองการเปรียบเทียบค่าระหว่างผลการทดลองกับค่าจากการคำนวณและค่าความผิดพลาดของอุปกรณ์

บทที่ 5 บทวิจารณ์และสรุป กล่าวถึง บทสรุปของโครงการ ปัญหาที่เกิดขึ้น แนวทางในการแก้ไขปัญหา และแนวทางในการปรับปรุงโครงการต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

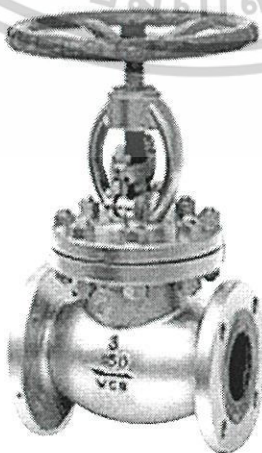
# ทฤษฎีและความรู้ที่เกี่ยวข้อง

จากที่ได้กล่าวไปแล้วข้างต้นในบทที่ 1 ว่า ก่อนที่จะทำการออกแบบและสร้างระบบควบคุมวาล์วได้นั้น มีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องทำการศึกษาถึงองค์ประกอบต่างๆที่มีความสำคัญและจำเป็นในระบบควบคุมวาล์วให้มีความเข้าใจให้ชัดเจนเสียก่อน ในระบบควบคุมวาล์วนั้นมีส่วนประกอบที่สำคัญอยู่หลายส่วนด้วยกัน ซึ่งในบทนี้จะอธิบายถึงองค์ประกอบส่วนต่างๆที่ประกอบรวมกันขึ้นเป็นระบบควบคุมวาล์วแบบอัตโนมัติ โดยเริ่มจากตัววาล์ว ซึ่งในปัจจุบันนี้วาล์วมีหลายประเภทขึ้นอยู่กับการใช้งาน การควบคุมวาล์วนั้นจะมีส่วนประกอบทางกล ซึ่งก็คือ เซอร์โวมอเตอร์ เฟืองทด และนอกจากนี้ต้องรู้ทฤษฎีวงจรระบบควบคุมแบบต่างๆด้วย

### 2.1 วาล์ว(Valve)

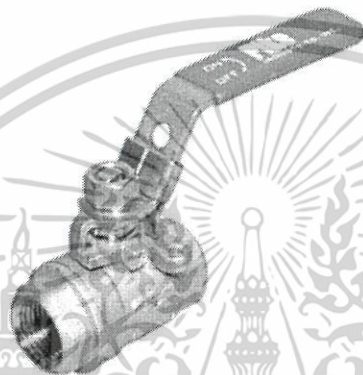
ถ้าแยกเป็นประเภทของตัวถัง ในปัจจุบันนี้มีหลายประเภท ในที่นี้จะอธิบายแบบที่นิยมใช้กันในโรงงานอุตสาหกรรม ดังนี้

**2.1.1 Globe Valve** เป็นแบบที่นิยมใช้กันมากที่สุด ซึ่งมีชนิดและขนาดที่ต่างกันไป สำหรับทิศทางการไหลนั้นมีทั้งชนิด Flow-to-Close กล่าวคือ ความดันการไหลจะไปดัน Valve Plug เข้าหาบ่าวาล์ว ส่วนแบบ Flow-to-Open ซึ่งหมายถึงความดันของการไหลนั้นจะดัน Valve Plug ให้ถอยห่างออกจากบ่าวาล์ว โดยชนิดนี้จะนิยมใช้มากกว่าเพราะเป็นชนิดควบคุมให้มีเสถียรภาพได้ดี ส่วน Valve Body ในแบบ Globe Valve นี้ยังแบ่งย่อยตามลักษณะของช่องทางเดินได้อีก 2 แบบ คือ Single-Port Globe Valve และ Double-Port Globe Valve



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของ **รูปที่ 2.1 ลักษณะทั่วไปของ Globe Valve** มอนูญาตีให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

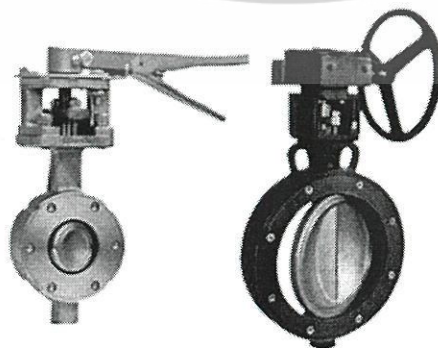
**2.1.2 Ball Valve** จัดเป็น Valve Body แบบหนึ่งที่มีการเคลื่อนไหวแบบ Rotary ที่ออกแบบให้เกิด Pressure Drop น้อยที่สุด (ในกรณีที่เป็นแบบ Full Ball) เมื่อมีอัตราการไหลมาก คือ มี Flow Capacity มากกว่า Globe Valve เมื่อมีขนาดเท่ากัน Ball Valve จัดอยู่ในพวก High Recovery Valve ทำให้เกิดความดันตกคร่อมน้อย แต่โอกาสที่จะเกิด Cavitations นั้นมีมากกว่าแบบอื่นๆ แต่โดยทั่วไปเราจะแบ่งประเภทของ Ball Valve ออกเป็น 2 ประเภท ตามลักษณะการออกแบบของผู้ผลิต คือ Full Ball Valve หรือเรียกว่า Full Port และ Segmented Ball Valve



รูปที่ 2.2 ลักษณะทั่วไปของ Ball Valve

**2.1.3 Butterfly Valve** เป็น Valve Body เป็นแบบหนึ่งของ Rotary Shaft Valve มีโครงสร้างและส่วนประกอบต่างๆ มีขนาดตั้งแต่ 2 นิ้วไปจนถึง 72 นิ้ว เหมาะที่จะนำไปใช้งานในระบบที่มีความดันต่ำ แต่มีปริมาณการไหลมาก คุณลักษณะการไหลเป็นแบบ Equal Percentage

Butterfly Valve ที่มีลักษณะของ Disc เป็นแบบ Conventional Disc คือแนวศูนย์กลางของ Shaft อยู่ในแนวเดียวกับ Disc แต่ถ้าเป็นแบบ Eccentric Disc จะออกแบบให้แนวศูนย์กลางของ Disc อยู่เอียงศูนย์กลางกับแนวของ Shaft ซึ่งมีข้อดี คือ ทำให้ได้แรงในการปิดสนิท (Shut Off) ได้มากกว่าแบบแรก ดังนั้นอัตราการรั่วซึม (Leakage) จะน้อยกว่าแบบแรก



รูปที่ 2.3 ลักษณะทั่วไปของ Butterfly Valve

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**2.1.4 Check Valve** เช็ควาล์วหรือวาล์วกันกลับ (Non-return Valve) เป็นวาล์วที่ทำงานโดยอัตโนมัติ ซึ่งจะเปิดเมื่อมีของไหลไหลผ่าน และจะปิดเมื่อของไหลมีทิศทางย้อนทางเดิม

จากลักษณะการควบคุมด้านการไหลดังกล่าว เป็นความต้องการในการป้องกันการไหลย้อนกลับ เนื่องจากทำให้เกิดผลบางอย่างที่ไม่พึงปรารถนาหากมีการไหลย้อนกลับเกิดขึ้น เช่น ทำให้อุปกรณ์ส่งของไหลจำพวกปั๊มต่างๆ หรือเครื่องปรับอากาศหมุนกลับทิศทางอันจะก่อให้เกิดความเสียหายแก่อุปกรณ์ได้ นอกจากนี้เช็ควาล์วอาจจำเป็นในเส้นทางน้ำป้อนที่บางครั้งอาจเกิดความดันเพิ่มขึ้นอย่างกะทันหันทางด้านปลายความดันต่ำ จนกระทั่งมีความดันสูงกว่าความดันทางด้านปลายความดันสูง

การทำงานของเช็ควาล์วนั้นจะทำงานในลักษณะที่หลีกเลี่ยงการเกิดความดันที่มีลักษณะขึ้นๆลงๆเป็นระลอกๆสูงเกิน ไปอันเป็นผลจากการปิดวาล์วและอีกอย่างคือ หลีกเลี่ยงการเคลื่อนที่แกว่งไป-มาอย่างรวดเร็วของลิ้นปิดวาล์ว



รูปที่ 2.4 ลักษณะทั่วไปของ Check Valve

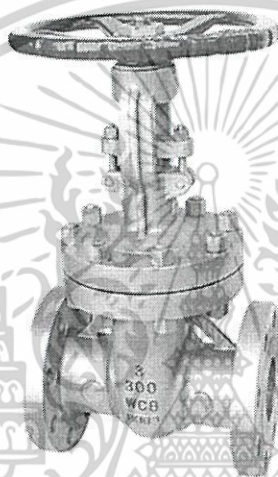
**2.1.5 Gate Valve** ที่เห็นในรูป เป็นเกทวาล์วที่ชิ้นส่วนปิดเป็นรูปลิ้ม โดยจุดมุ่งหมายที่ให้เป็นรูปลิ้มเพื่อทำให้เกิดแรงปิดวาล์วเพิ่มสูงขึ้น อันสามารถใช้เกทวาล์วรูปลิ้มบ่าโลหะใช้กันรั่วซึ่งไม่เพียงแต่ด้านความดันของไหลที่สูงเท่านั้น ยังใช้กับความดันของไหลต่ำได้ด้วย ดังนั้นระบบของการผิกันแน่นบ่าวาล์วที่สามารถทำสำเร็จได้ด้วยเกทวาล์วลิ้นลิ้มบ่าโลหะมีศักยภาพสูงกว่าด้วยเกทวาล์วลิ้นขนานบ่าโลหะ อย่างไรก็ตามแรงการปิดวาล์วต้นกระแสนี้เนื่องจากการอัดลิ้มไม่สูงพอที่จะผิกันรั่วบ่าวาล์วด้านต้นกระแสนี้ได้ด้วยเกทวาล์วลิ้นลิ้มบ่าโลหะ

สำหรับตัวเรือนของวาล์วชนิดนี้มีโครงนำสำหรับให้ลิ้นลิ้มเคลื่อนที่โดยโครงนำช่วยป้องกันลิ้มจากการหมุนระหว่างการเคลื่อนเพื่อให้อย่างมั่นใจว่า มีการตรงศูนย์กลางอย่างเหมาะสมของส่วนปิดวาล์วและทำให้ลิ้มแยกออกจากบ่าวาล์วด้านปลายกระแสนี้ ยกเว้นสำหรับระยะทางสั้นๆใกล้ตัว

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของตำแหน่งวาล์วปิด ดังนั้นการลดการสึกหรอของส่วนปิดวาล์วให้น้อยลง กรณีที่แตกต่างไปคือ วาล์วลิ้นลิ้นถูกนำเพียงลำพังด้วยแผ่นไดอะแกรมที่ทาอยู่บนผิวหน้าลิ้นลิ้น

ทางด้านข้อจำกัด เกทวาล์วลิ้นลิ้นไม่สามารถประกอบกับท่อตามเป็นเกทวาล์วได้สะดวกนัก และการขยายตัวทางความร้อนของก้านวาล์วสามารถทำให้ส่วนปิดวาล์วรับแรงมากเกินไป ยิ่งไปกว่านั้นส่วนปิดวาล์วของเกทวาล์วลิ้นลิ้นมีแนวโน้มที่จะดัดเคี้ยวของแข็งที่ถูกพัดมาด้วยของไหลที่ไหลผ่านมากกว่าเกทวาล์วลิ้นขนาน และอีกอย่างคือเกทวาล์วลิ้นลิ้นปกติไม่เหมาะสำหรับหน้าที่ในการปรับแต่งการไหล แต่ใช้เป็นหลักสำหรับหน้าที่เปิด-ปิด และสภาพการทำงานไม่บ่อยนัก

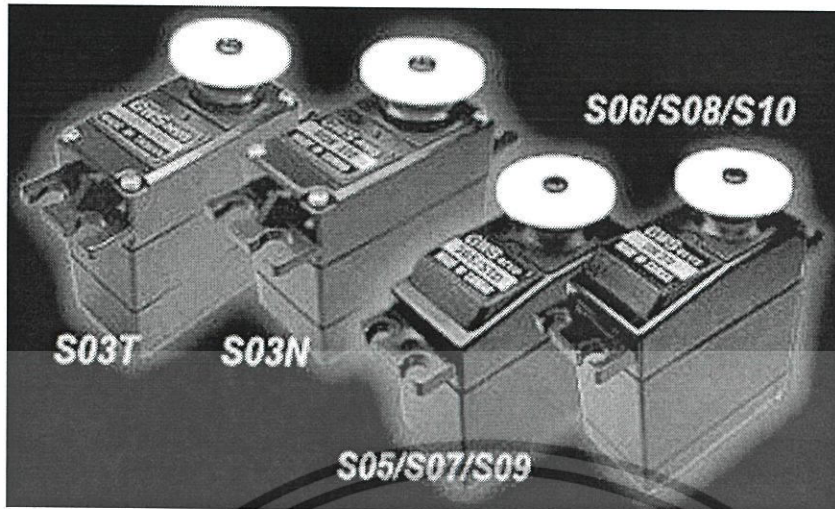


รูปที่ 2.5 ลักษณะทั่วไปของ Gate Valve

## 2.2 เซอร์โวมอเตอร์

2.2.1 เซอร์โวมอเตอร์ (Servo Motor) คือมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (DC Motor) ที่ถูกประกอบรวมด้วยชุดเฟืองและส่วนควบคุมต่างๆไว้ในโมดูลเดียวกัน โดยจะมีสายใช้งาน 3 สายด้วยกัน คือ Vcc, GND และสายสัญญาณควบคุม (Control Line) ซึ่งสามารถควบคุมให้มอเตอร์หมุนซ้ายหรือหมุนขวาได้ +90 องศาและ -90 องศา (180 องศา) ได้จากสายสัญญาณเพียงสายเดียว ปกติ เซอร์โวมอเตอร์ไม่สามารถหมุนได้ 360 องศา จึงต้องทำการปรับแต่ง (Modify) ดัดแปลงชิ้นส่วนบางอย่างของมอเตอร์ เพื่อให้สอดคล้องกับการหมุนของ เกทวาล์ว (Gate Valve) ที่ใช้ในการทำโครงการนี้

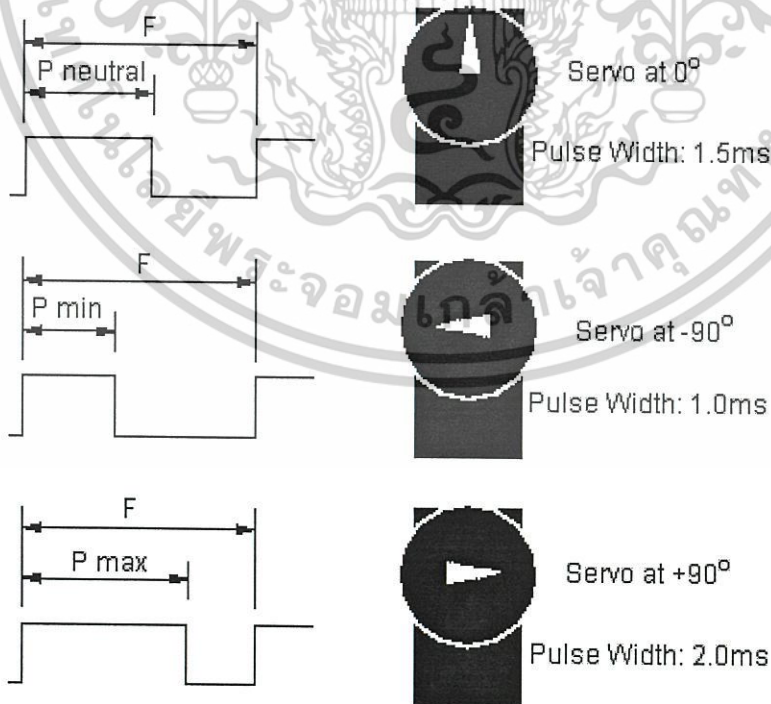
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 ลักษณะทั่วไปของเซอร์โวมอเตอร์

### 2.2.2) หลักการทำงานของเซอร์โวมอเตอร์

การควบคุมการทำงานของเซอร์โวมอเตอร์ (Servo Motor) สามารถทำได้โดยการป้อนสัญญาณความกว้างพัลส์ให้กับมอเตอร์ ซึ่งตำแหน่งและทิศทางการหมุนของมอเตอร์นี้จะขึ้นอยู่กับขนาดของความกว้างของพัลส์นั้นๆ โดยทั่วไปแล้วความกว้างของสัญญาณพัลส์จะมีจุดให้อ้างอิง 3 จุด ดังรูป คือ



รูปที่ 2.7 การทำงานของเซอร์โวมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

### 2.3 เฟือง

เฟือง คือ ส่วนประกอบหนึ่งของอุปกรณ์ซึ่งทำหน้าที่ส่งแรงหมุนไปยังเฟืองหรืออุปกรณ์ตัวอื่น รอบตัวเฟืองนั้นประกอบไปด้วยส่วนเชื่อมกันก็คือฟันเฟืองนั่นเอง ซึ่งฟันเฟืองนี้คือตัวประสานระหว่างเฟืองตัวหนึ่งกับเฟืองอีกตัวหนึ่ง โดยส่งพลังงานได้เต็มที่ ไม่เกิดการสูญเสียพลังงานเนื่องจากการสั่นไหว โดยขึ้นอยู่กับโครงสร้างของเฟืองและการจัดวางกระบวนเฟืองนั่นเอง ตัวเฟืองนั้นสามารถส่งพลังที่ต่างได้ทั้งความเร็ว ทอร์กและทิศทาง ซึ่งจะขึ้นอยู่กับแหล่งจ่ายพลังงาน



รูปที่ 2.8 เฟืองที่เลือกใช้

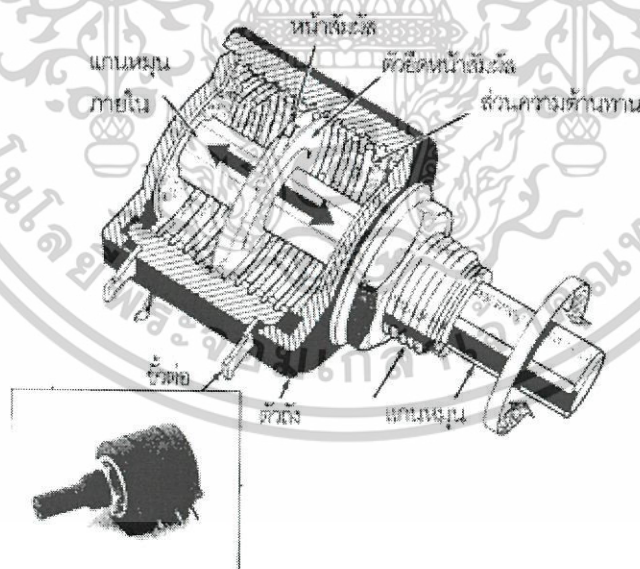
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.4 ตัวต้านทานปรับค่าได้

ตัวต้านทานปรับค่าได้ เป็นตัวต้านทานที่ค่าความต้านทานสามารถปรับเปลี่ยนได้ โดยอาจมีปุ่มสำหรับหมุน หรือเลื่อน เพื่อปรับค่าความต้านทาน และบางครั้งก็เรียก โปเทนติโอมิเตอร์ (potentiometers) หรือ รีโอสแตต(rheostats)

ตัวต้านทานแบบปรับค่าได้ มีทั้งแบบที่หมุนได้เพียงรอบเดียว จนถึงแบบที่หมุนแบบเป็นเกลียวได้หลายรอบ บางชนิดมีอุปกรณ์แสดงนับรอบที่หมุน เนื่องจากตัวต้านทานปรับค่าได้นี้มีส่วนของโลหะที่ขัดสีสึกกร่อน บางครั้งจึงอาจขาดความน่าเชื่อถือ ในตัวต้านทานปรับค่าได้รุ่นใหม่ จะใช้วัสดุซึ่งทำจากพลาสติกที่ทนทานต่อการสึกกร่อนจากการขัดสี และ กัดกร่อน

- รีโอสแตต (rheostat) เป็นตัวต้านทานปรับค่าได้มี 2 ขา โดยที่ขาหนึ่งถูกยึดตายตัว ส่วนขาที่เหลือเลื่อนไปมาได้ ปกติใช้สำหรับส่วนที่มีปริมาณกระแสผ่านสูง
- โปเทนติโอมิเตอร์ (potentiometer) เป็นตัวต้านทานปรับค่าได้ ที่พบเห็นได้ทั่วไป โดยเป็นปุ่มปรับความดัง สำหรับเครื่องขยายเสียง

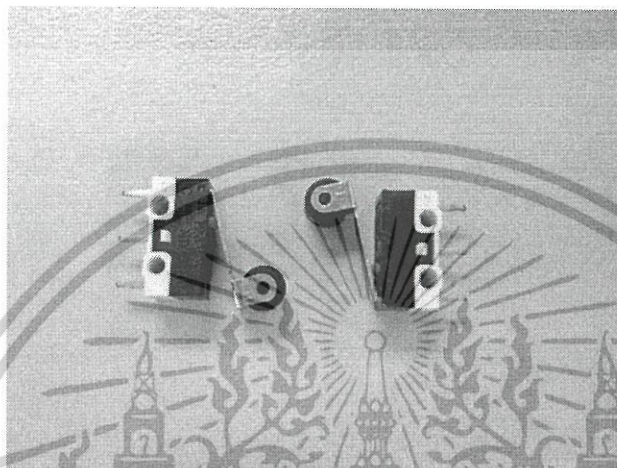


รูปที่ 2.9 ตัวต้านทานปรับค่าได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.5 สวิตช์จำกัดระยะ

ลิมิตสวิตช์(limit switch)เป็นสวิตช์ที่จำกัดระยะทาง การทำงานอาศัยแรงกดภายนอกมากระทำเช่น วางของทับที่ปุ่มกดหรือถูกเบียดมาชนที่ปุ่มกดและสามารถมีคอนแทคได้หลายอันมีคอนแทคปกติปิดและปกติเปิดมีโครงสร้างคล้ายสวิตช์ปุ่มกด



รูปที่ 2.10 สวิตช์จำกัดระยะ

## 2.6 ทรานซิสเตอร์

### 2.6.1 ทรานซิสเตอร์แบบรอยต่อคู่ (Bipolar junction transistor)

ทรานซิสเตอร์แบบรอยต่อคู่ (BJT) เป็นทรานซิสเตอร์ชนิดหนึ่ง มันเป็นอุปกรณ์สามขั้วต่อ ถูกสร้างขึ้นโดยวัสดุสารกึ่งตัวนำที่มีการเจือสารและอาจจะมีการใช้ในการขยายสัญญาณหรือ อุปกรณ์สวิตซ์ ทรานซิสเตอร์แบบรอยต่อคู่ถูกตั้งขึ้นมาตามชื่อของมันเนื่องจากช่องการนำสัญญาณหลักมีการใช้ทั้งอิเล็กตรอนและโฮลเพื่อนำกระแสไฟฟ้าหลัก โดยทรานซิสเตอร์แบบไบโพลาร์ที่สร้างขึ้นใช้งานมีอยู่ด้วยกัน 2 ชนิดคือ พีเอ็นพี(PNP) และเอ็นพีเอ็น(NPN)

### 2.6.2 ทรานซิสเตอร์แบบสนามไฟฟ้า (Field-effect transistor)

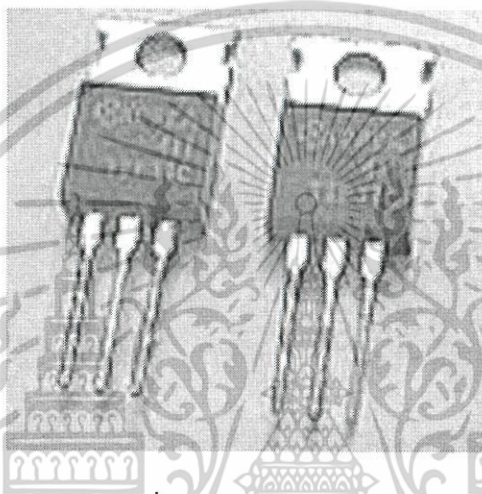
ทรานซิสเตอร์แบบสนามไฟฟ้า(FET) มีขั้วต่อสามขา คือ ขา เดรน(drain) เกท(gate) ซอร์ส (source) หลักการทำงานแตกต่างจากทรานซิสเตอร์แบบหัวต่อไบโพลาร์(BJT) นั่นคืออาศัยสนามไฟฟ้าในการสร้างช่องนำกระแส(channel) เพื่อให้เกิดการนำกระแสของตัวทรานซิสเตอร์ ในแง่ของการนำกระแส ทรานซิสเตอร์แบบสนามไฟฟ้าและแบบหัวต่อไบโพลาร์มีลักษณะของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านอุปกรณ์ที่แตกต่างกัน นั่นคือกระแสในทรานซิสเตอร์แบบหัวต่อไบโพลาร์จะเป็นกระแสที่เกิดจากพาหะส่วนน้อย(minor carrier) แต่กระแสในทรานซิสเตอร์สนามไฟฟ้าจะเกิดจากพาหะส่วนมาก(major carrier)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทรานซิสเตอร์แบบสนามไฟฟ้าแบ่งเป็น 3 ประเภทหลักๆ คือ

- JFET
- MESFET
- MOSFET ซึ่งแบ่งเป็นสองแบบคือ แบบ depletion และ enhancement

ทรานซิสเตอร์แบบสนามไฟฟ้าประเภทที่นิยมใช้กันมากที่สุดในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ คือ MOSFET



รูปที่ 2.11 ทรานซิสเตอร์

## 2.7 วงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ในโรงงาน

บางครั้งการใช้วงจรพาสซีฟเพื่อปรับแต่งสภาพสัญญาณและเชื่อมต่อสัญญาณเพียงอย่างเดียวไม่อาจตอบสนองเงื่อนไขและความต้องการในการออกแบบวงจรปรับแต่งสัญญาณเอาต์พุตที่ได้จากเซนเซอร์ได้อย่างสมบูรณ์แบบ ซึ่งในทางปฏิบัติเราจึงมักออกแบบโดยใช้วงจรแอคทีฟต่อใช้งานร่วมด้วยเสมอ และวงจรรขยายสัญญาณ (amplifier) ก็เป็นอุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์อีกชนิดหนึ่งที่ถูกนำมาใช้เป็นวงจรหลักในวงจรปรับแต่งสภาพสัญญาณและต่อเชื่อมสัญญาณในระบบเซนเซอร์ โดยมีหน้าที่สำคัญ คือ ขยายสัญญาณแรงดันหรือกระแสที่ได้จากเซนเซอร์ให้มีขนาดของสัญญาณใหญ่ขึ้น โดยไม่ทำให้คุณสมบัติของสัญญาณที่ได้เปลี่ยนไป วงจรรขยายสัญญาณนี้ทั่วไปสามารถออกแบบได้โดยใช้อุปกรณ์พาสซีฟและแอคทีฟต่อทำงานร่วมกัน

ในปัจจุบันนี้วงจรรขยายสัญญาณที่นิยมนำมาใช้งานกันแพร่หลายมากที่สุดวงจรหนึ่ง คือ วงจรรขยายสัญญาณออปแอมป์ (operational amplifier) หรือที่นิยมเรียกกันสั้นๆว่า “ออปแอมป์ (op-amp)” ออปแอมป์เป็นอุปกรณ์แอคทีฟที่ถูกออกแบบขึ้นด้วยเทคโนโลยีวงจรรวม (integrated circuit, IC) หรือ ไอซี แล้วนำไปบรรจุลงในชิปไอซีเดียวกัน ทำให้มีขนาดเล็ก ราคาถูก ใช้งานได้ง่าย และประหยัดพื้นที่ของวงจร ด้วยเหตุผลดังกล่าวจึงทำให้ออปแอมป์เป็นที่นิยมนำไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิฉะนั้นผู้ใดเห็นไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประยุกต์ใช้ในการออกแบบวงจรประมวลผลสัญญาณต่างๆ มากมาย รวมทั้งวงจรปรับแต่งสภาพสัญญาณและวงจรต่อเชื่อมสัญญาณอีกด้วย ออปแอมป์มีคุณสมบัติในทางอุดมคติที่สำคัญดังนี้

- อัตราขยายแรงดันรูปเปิด (open-loop voltage gain,  $A_{OL}$ ) มีค่าเป็นอนันต์ (infinite)
- ค่าอิมพีแดนซ์อินพุต (input impedance) ที่ขาอินพุตทั้งสองข้างต่างมีค่าเป็นอนันต์ ทำให้กระแสที่ไหลเข้าขาอินพุตของออปแอมป์ถือว่าน้อยมาก มีค่าประมาณศูนย์
- แรงดันอินพุตออฟเซต (input offset voltage,  $V_{OS}$ ) มีค่าเท่ากับศูนย์
- ค่าอิมพีแดนซ์เอาต์พุต (output impedance) ที่ขาเอาต์พุตมีค่าเท่ากับศูนย์

ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันเอาต์พุตกับแรงดันอินพุตของออปแอมป์ สามารถเขียนอธิบายได้ดังนี้

$$V_o = A_{OL}(V_2 - V_1)$$

โดยที่  $V_o$  คือ แรงดันเอาต์พุต

$A_{OL}$  คือ อัตราขยายแรงดันรูปเปิด

$V_1$  คือ แรงดันอินพุตกลับเฟส (inverting input voltage)

$V_2$  คือ แรงดันอินพุตไม่กลับเฟส (non-inverting input voltage)

ในระบบเซนเซอร์ ระบบการวัด และระบบควบคุมกระบวนการ ได้นำเอาออปแอมป์ไปประยุกต์ใช้งานหลากหลายรูปแบบ โดยมากจะนำไปออกแบบวงจรปรับแต่งสัญญาณเพื่อสังเคราะห์ฟังก์ชันแบบต่างๆ ซึ่งในบทนี้จะอธิบายถึงรายละเอียดรูปแบบวงจรที่เกี่ยวข้อง ซึ่งนำมาประยุกต์ใช้เป็นตัวคอนโทรลเลอร์ของวาล์วควบคุมอัตโนมัติ ซึ่งมีวงจรที่นำมาประยุกต์ใช้ดังนี้

### 2.7.1 วงจรเปรียบเทียบแรงดัน (voltage comparator)

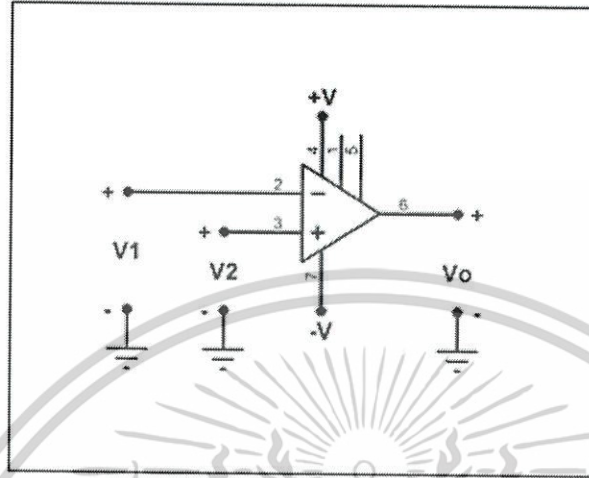
วงจรเปรียบเทียบแรงดันทำหน้าที่เปรียบเทียบสัญญาณระหว่างแรงดันอินพุตที่ป้อนให้ทางขากลับเฟส (inverting input)  $V_1$  กับที่ป้อนทางขาไม่กลับเฟส (non-inverting input)  $V_2$  แรงดันเอาต์พุตของวงจรจะมีเฟสเป็นไปตามแรงดันอินพุตที่มีขนาดสัญญาณมากกว่าดังความสัมพันธ์ซึ่งอธิบายได้ดังนี้

- ถ้า  $V_2 > V_1$  จะได้  $V_o$  มีค่าเป็นบวก
- ถ้า  $V_2 < V_1$  จะได้  $V_o$  มีค่าเป็นลบ
- ถ้า  $V_2 = V_1$  จะได้  $V_o$  มีค่าเป็นศูนย์

และ  $A_{OL}$  มีค่าสูงมาก (ในทางปฏิบัติประมาณ 100,000 เท่า) ทำให้ขนาดสัญญาณของแรงดันเอาต์พุต  $V_o$  ที่ออกมาจึงมีค่าสูงมากเช่นกัน แต่เนื่องจากขนาดแรงดันเอาต์พุตสูงสุดของออปแอมป์นั้นถูกจำกัดด้วยระดับแหล่งจ่ายไฟเลี้ยง  $\pm V$  ที่ป้อนให้กับออปแอมป์เอง หรือมีค่าไม่เกิน  $\pm V$  ดังนั้นเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$V_o$  ของวงจรเปรียบเทียบแรงดันนี้จึงมีการเปลี่ยนแปลงอยู่สองสภาวะ คือ  $V_o \cong +V$  เมื่อ  $V_2 > V_1$  และ  $V_o \cong -V$  เมื่อ  $V_2 < V_1$



รูปที่ 2.12 วงจรเปรียบเทียบแรงดัน

### 2.7.2 วงจรขยายสัญญาณแบบกลับเฟส (inverting amplifier)

รูปที่ 2.13 แสดงวงจรขยายสัญญาณแบบกลับเฟส แรงดันอินพุต  $V_i$  ถูกป้อนเข้าทางขาอินพุตกลับเฟสผ่านตัวต้านทาน  $R_i$  และแรงดันเอาต์พุต  $V_o$  ของวงจรที่ได้จะมีเฟสของสัญญาณตรงกันข้ามกับเฟสของแรงดันอินพุต หรือมีมุมต่างเฟสเท่ากับ  $180^\circ$

พิจารณาวงจรที่จุด x พบว่าผลรวมของกระแสมีค่าเท่ากับ

$$I_i = I_x + I_f$$

อาศัยคุณสมบัติของออปแอมป์จะได้ว่า  $I_x \cong 0$  สมการข้างบนจึงเขียนใหม่ได้เป็น

$$I_i = I_f$$

และเนื่องจาก  $V_{os} \cong 0$  จึงทำให้แรงดันที่จุด x มีค่าประมาณศูนย์ ( $V_x \cong 0$ ) ทำให้

$$I_i = \frac{V_i - 0}{R_i} \quad \text{และ} \quad I_f = \frac{0 - V_o}{R_f}$$

ดังนั้นจะได้

$$\frac{V_i}{R_i} = -\frac{V_o}{R_f}$$

หรือ

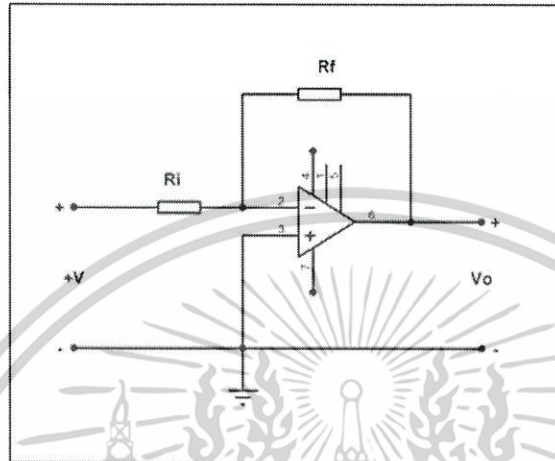
$$\frac{V_o}{V_i} = -\frac{R_f}{R_i} \quad (3.1)$$

อัตราขยายแรงดันลููปปิด (closed-loop voltage gain,  $A_{CL}$ ) ของวงจรขยายสัญญาณแบบกลับเฟส จึงมีค่าเท่ากับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

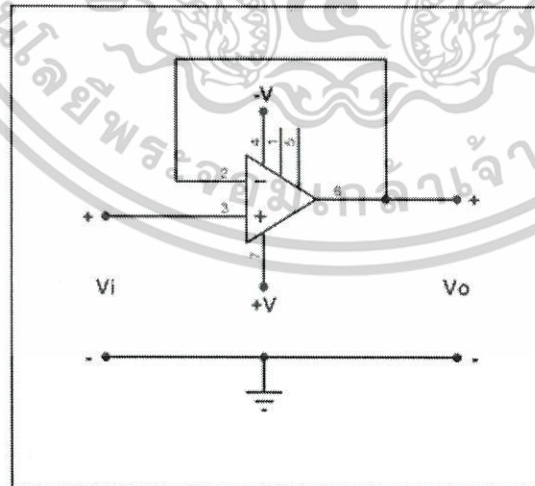
โดยที่เครื่องหมายลบแสดงให้เห็นว่าแรงดันเอาต์พุตของวงจรมีมุมต่างเฟสกับแรงดันอินพุตเป็นมุมเท่ากับ  $180^\circ$  และอัตราขยายแรงดันของวงจรสามารถปรับแต่งได้ด้วยอัตราส่วนของ  $\frac{R_f}{R_i}$



รูปที่ 2.13 วงจรขยายสัญญาณแบบกลับเฟส

### 2.7.3 วงจรตามแรงดัน (voltage follower) หรือวงจรบัฟเฟอร์ (buffer)

รูปที่ 2.14 แสดงวงจรตามแรงดัน (voltage follower) จากรูปแบบวงจรจะเห็นว่าแรงดันที่ขาอินพุตกลับเฟสของออปแอมป์ก็คือแรงดันเอาต์พุตของวงจรมันเอง ดังนั้น เมื่ออาศัยคุณสมบัติของออปแอมป์ที่ว่า  $V_{os} \cong 0$  เราจะได้  $V_o \cong V_i$  หรืออัตราขยายแรงดันลูปปิด  $A_{CL}$  มีค่าเท่ากับหนึ่ง ( $A_{CL} \cong 1$ )



รูปที่ 2.14 วงจรตามแรงดัน

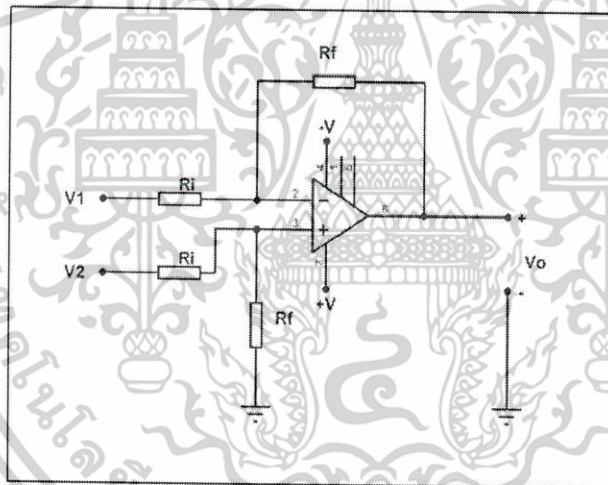
เนื่องจากแรงดันอินพุต  $V_i$  ถูกป้อนเข้าทางขาอินพุตของออปแอมป์โดยตรง ทำให้ค่าอิมพีแดนซ์อินพุตของวงจรมีค่าสูงมาก และในทางกลับกันค่าอิมพีแดนซ์เอาต์พุตก็จะมีค่าต่ำมาก เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เช่นกันซึ่งเป็นไปตามคุณสมบัติของออปแอมป์ จากคุณสมบัติของวงจรดังกล่าวจึงนิยมนำวงจรตามแรงดันนี้ไปประยุกต์ใช้ในการแมชชีนอิมพีแดนซ์โดยใช้เป็นวงจรต่อเชื่อมสัญญาณระหว่างวงจรจ่ายสัญญาณที่มีค่าอิมพีแดนซ์ภายในสูงมากกับวงจรรับสัญญาณที่มีค่าอิมพีแดนซ์ภายในต่ำมากเพื่อทำให้การส่งผ่านกำลังงานไฟฟ้าเกิดขึ้นได้สูงสุด บางครั้งเราจึงมักนิยมเรียกวจรนี้อีกชื่อหนึ่งว่า “วงจรบัฟเฟอร์(buffer)”

#### 2.7.4 วงจรขยายสัญญาณผลต่าง (differential amplifier)

รูปที่ 2.15 แสดงวงจรขยายสัญญาณผลต่าง ซึ่งเป็นวงจรขยายสัญญาณอีกชนิดหนึ่งที่ทำให้แรงดันเอาต์พุตเป็นสัดส่วนโดยตรงกับค่าผลต่างของแรงดันอินพุตสองชุดที่ป้อนให้กับวงจร ซึ่งสามารถเขียนอธิบายความสัมพันธ์ได้ดังสมการต่อไปนี้

$$V_o = \frac{R_f}{R_i} (V_2 - V_1) \quad (3.3)$$



รูปที่ 2.15 วงจรขยายสัญญาณผลต่าง

#### 2.7.5 วงจรปรับค่าความชันและตำแหน่งศูนย์ (zero and span circuit)

วงจรปรับค่าความชันและตำแหน่งศูนย์ ซึ่งเป็นวงจรที่มีความสำคัญวงจรหนึ่งในระบบเครื่องมือวัดและคัมค่ากระบวนการ โดยทำหน้าที่ส่งผ่าน (transmission) และปรับแต่งสัญญาณ (signal conditioner) ระหว่างสัญญาณเอาต์พุตกับอินพุตให้มีความสัมพันธ์เป็นไปตามเงื่อนไขที่ระบบต้องการ ซึ่งวงจรนี้จะทำหน้าที่เปลี่ยนแปลงความชัน (slope) และปรับตำแหน่งศูนย์ (zero) ของความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณเอาต์พุตกับสัญญาณอินพุต

วงจรปรับค่าความชันและตำแหน่งศูนย์และกราฟคุณสมบัติระหว่างแรงดันเอาต์พุต  $V_o$  กับแรงดันอินพุต  $V_i$  ของวงจร แสดงได้ดังรูปที่ 2.16 ซึ่งประกอบด้วยวงจรรวมสัญญาณ (summing) เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

amplifier)  $A_1$  และวงจรขยายสัญญาณแบบกลับเฟส (inverting amplifier)  $A_2$  ที่มีอัตราขยายเท่ากับ  $-1$  ดังนั้นแรงดันเอาต์พุตของ  $A_1 (V_{o1})$  จึงมีค่าเท่ากับ

$$V_{o1} = - \left( \frac{R_f}{R_i} V_i + \frac{R_f}{R_{os}} V \right) \quad (3.4)$$

จากนั้นสัญญาณเอาต์พุตที่ได้จาก  $A_1$  จะถูกป้อนเป็นสัญญาณอินพุตให้กับ  $A_2$  ซึ่งต่อเป็นวงจรขยายสัญญาณที่มีอัตราขยายเท่ากับ  $-1$  ทำให้แรงดันเอาต์พุตของ  $A_2 (V_o)$  มีค่าเท่ากับ

$$V_o = V_{o2} = (-1)V_{o1} = \left( \frac{R_f}{R_i} V_i + \frac{R_f}{R_{os}} V \right) \quad (3.5)$$

แสดงให้เห็นว่าความสัมพันธ์ระหว่าง  $V_o$  กับ  $V_i$  ของวงจรนั้นอยู่ในรูปของสมการเส้นตรง และจากรูปแบบทั่วไปของสมการเส้นตรง

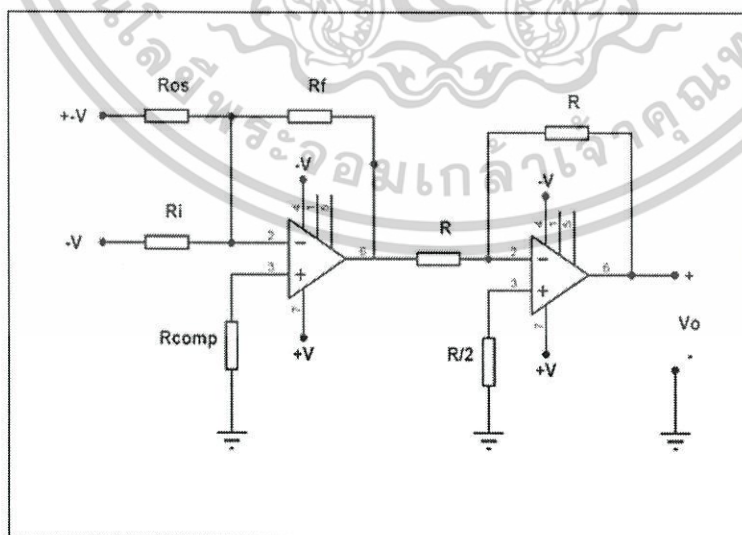
$$y = mx + b \quad (3.6)$$

ดังนั้นเมื่อทำการเปรียบเทียบสมการ กับสมการ แล้วพบว่า

$m = \frac{R_f}{R_i}$  คือ ค่าความชันของกราฟ (slope) หรืออัตราขยาย (gain) ของวงจร

และ  $b = \frac{R_f}{R_{os}} (\pm V)$  คือ จุดตัดแกน  $y$  ของกราฟ หรือตำแหน่งศูนย์

นั่นคือ การปรับค่าความชันสามารถทำการปรับแต่งได้จากค่าความต้านทาน  $R_i$  กับ  $R_f$  ของวงจร ในขณะที่ตำแหน่งศูนย์ของกราฟความสัมพันธ์จะปรับค่าได้ที่ค่าตัวต้านทาน  $R_{os}$  หรือแรงดันอ้างอิง  $+V$



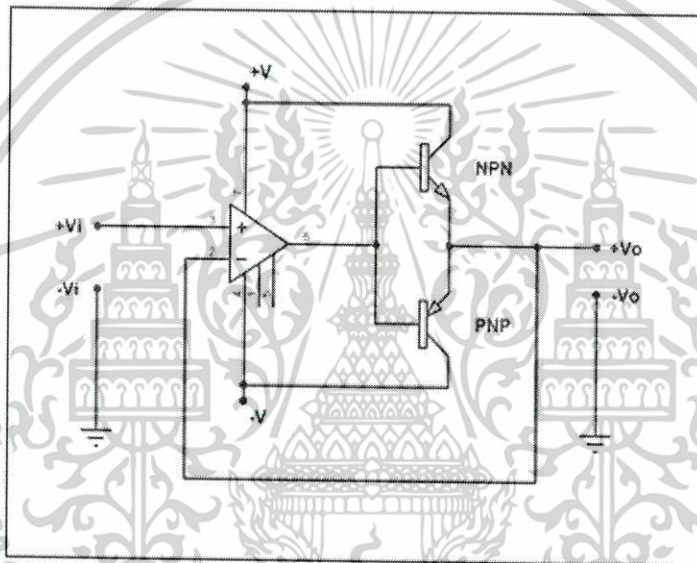
รูปที่ 2.16 วงจรปรับค่าความชันและตำแหน่งศูนย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.6 วงจรขยายกำลัง (Power Amplifier)

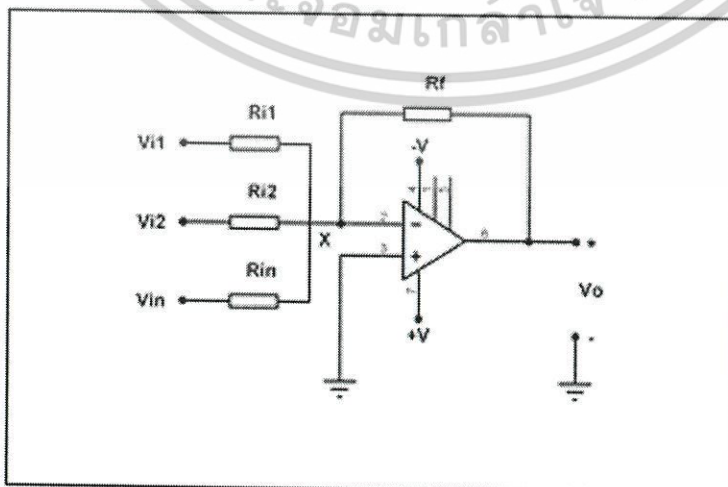
วงจรขยายกำลังคลาส B

การไบแอสทรานซิสเตอร์ของวงจรขยายคลาส A เป็นคลาสที่มีการขยายสัญญาณแบบครบรอบคาบสัญญาณ(360°) จึงทำให้เกิดกำลังงานสูญเสียที่ทรานซิสเตอร์ ถึงแม้ว่าจะไม่มีการป้อนสัญญาณที่อินพุตก็ตาม ดังนั้นจึงกำหนดให้ทรานซิสเตอร์ทำงานที่จุดคัทออฟ เรียกการขยายนี้ว่าคลาส B โดยให้ไบแอสทรานซิสเตอร์ที่จุดคัทออฟ ทำให้ไม่มีกระแสไหลที่ทรานซิสเตอร์เมื่อยังไม่ป้อนสัญญาณ จึงไม่เกิดกำลังงานสูญเสียที่ทรานซิสเตอร์ วงจรขยายคลาส B จะเป็นการสลับกันทำงานของอุปกรณ์ที่ละครึ่งคาบสัญญาณ



รูปที่ 2.17 วงจรขยายกำลัง

2.7.7 วงจรรวมสัญญาณ (summing amplifier)



รูปที่ 2.18 วงจรรวมสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.18 แสดงวงจรรวมสัญญาณ คือ วงจรขยายสัญญาณแบบกลับเฟสที่มีหลายอินพุต โดยแรงดันเอาต์พุตของวงจรในกรณีนี้จะเกิดจากผลรวมของอินพุตแต่ละตัวคูณกับอัตราขยายแรงดันของอินพุตนั้นๆ

ที่จุด x จะได้ผลรวมกระแสเท่ากับ

$$I_{i1} + I_{i2} + \dots + I_{in} = I_f$$

$$\frac{V_{i1}}{R_{i1}} + \frac{V_{i2}}{R_{i2}} + \dots + \frac{V_{in}}{R_{in}} = -\frac{V_o}{R_f}$$

หรือ 
$$V_o = -R_f \left( \frac{V_{i1}}{R_{i1}} + \frac{V_{i2}}{R_{i2}} + \dots + \frac{V_{in}}{R_{in}} \right) \quad (3.7)$$

ถ้าเลือกให้  $R_{i1} = R_{i2} = \dots = R_{in} = R_i$  แล้วสามารถเขียนใหม่กลายเป็น

$$V_o = \left( \frac{R_f}{R_i} \right) (V_{i1} + V_{i2} + \dots + V_{in}) \quad (3.8)$$

ถ้าเลือกให้  $R_f = R_i$  แล้วจะได้

$$V_o = -(V_{i1} + V_{i2} + \dots + V_{in}) \quad (3.9)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3

### การคำนวณและการสร้าง

#### 3.1 การศึกษาค้นคว้า

การศึกษาค้นคว้าเพื่อที่จะทำการทดลองและสร้างตัวควบคุมการเปิด-ปิดวาล์วแบบอัตโนมัติบนทางคณะผู้จัดทำได้ทำการศึกษาทั้งจากการวิจัยหรือศึกษาจากเอกสารต่างๆที่เกี่ยวข้องกับทุกๆส่วนประกอบในตัวระบบ และได้ศึกษาจากการทดลองการทำงานจริงควบคู่ไปด้วยเพื่อให้ได้ระบบที่มีเสถียรภาพมากที่สุด โดยการศึกษาค้นคว้ามีรายละเอียด ดังนี้

##### 3.1.1 การวิจัยหรือศึกษาจากเอกสารต่างๆที่เกี่ยวข้อง

ในการดำเนินการในส่วนนี้ ได้มีการศึกษาค้นคว้าทั้งในหนังสือ เอกสารต่างๆ และค้นคว้าจากทางเว็บไซต์ โดยศึกษาในด้านหลักการการทำงานของส่วนประกอบทั้งหมดในระบบที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ เกทวาล์ว เซอร์โวมอเตอร์ เฟืองทด ตัวต้านทานปรับค่าได้ และวงจรทางอิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ

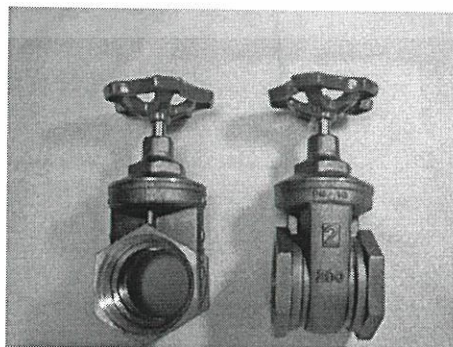
##### 3.1.2 การวิจัยการทดลอง

สำหรับการศึกษาและดำเนินการในส่วนนี้นั้น เป็นการศึกษาควบคู่ไปกับการทดลองปฏิบัติจริง ซึ่งในการทดลองนั้นอาจจะมีผิดพลาดเกิดขึ้นได้ ดังนั้นจึงได้ทำการศึกษาในส่วนนี้ควบคู่ไปกับการทดลองเพื่อที่จะได้ดำเนินการแก้ไขปรับปรุงในส่วนที่ผิดพลาด เพื่อให้ได้ผลการทดลองที่มีเสถียรภาพมากที่สุด

#### 3.2 ส่วนประกอบและหลักการเลือกใช้อุปกรณ์

##### 3.2.1 การเลือกวาล์ว

วาล์วที่เลือกใช้เป็นวาล์วชนิดเกทวาล์ว (Gate Valve) ขนาด 1½ นิ้ว ซึ่งมีลักษณะ คือ ตัวถึงวาล์วจะเป็นเหล็กทองเหลือง หัววาล์วสามารถถอดออกได้ และหัวหมุนได้ 360 องศา แผ่นกั้นน้ำสามารถเปิด-ปิดขึ้นลงได้ โดยที่การเปิด-ปิดแต่ละครั้ง ต้องหมุนวาล์ว 7½ รอบ จึงจะเปิด-ปิดได้สนิท



รูปที่ 3.1 ลักษณะของเกทวาล์วที่ใช้ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เฉพาะของคณะผู้จัดทำ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2.2 สาเหตุที่เลือกใช้เกทวาล์ว

- สามารถควบคุมการเปิด-ปิดคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ได้ละเอียดกว่าวาล์วอีกหลายๆชนิด เนื่องจากเป็นวาล์วที่หมุนได้ 360 องศา และต้องหมุนถึง 7½ รอบจึงจะเปิด-ปิดจนสุด ซึ่งทำให้เกิดค่าผิดพลาดที่น้อยหากเทียบกับวาล์วชนิดอื่นๆ
- เป็นทางเลือกใหม่ในการศึกษา เนื่องจากการทดลองใช้วาล์วชนิดอื่น ที่แตกต่างจากในโรงงานอุตสาหกรรม เพื่อทำให้เป็นอีกทางเลือกหนึ่งต่อไปในอนาคต
- เป็นวาล์วที่มีค่าความฝืดเหมาะสมและสอดคล้องกับตัวมอเตอร์ที่ใช้ โดยไม่มากหรือน้อยจนเกินไป โดยคำนวณแรงบิดได้จากสมการ

$$T = r \times F$$

เมื่อ

T = ทอร์ก

R = รัศมีระหว่างแรงกับจุดศูนย์กลางของวาล์ว

F = แรงในการเปิด-ปิดวาล์ว

เมื่อ

F = 1.15 kg.

r = 1.3 cm.

T = (1.15 kg)(1.3 cm)

= 1.495 kg-cm

ค่าทอร์กที่หาได้มีค่าประมาณ 1.5 kg-cm

### 3.2.3 การเลือกเซอร์โวมอเตอร์

เซอร์โวมอเตอร์ที่นำมาใช้เป็นรุ่น GWS S03T 2BB เพราะนำมาใช้ควบคุมวาล์วที่มีขนาดเล็กและมีวงจรถูกควบคุมในตัว ราคาไม่สูง มีค่าทอร์ก 3.5 kg-cm ซึ่งสามารถที่จะนำมาควบคุมวาล์วที่ต้องใช้แรงเปิด-ปิดที่ 1.5 kg-cm ได้

#### สาเหตุที่เลือกใช้เซอร์โวมอเตอร์

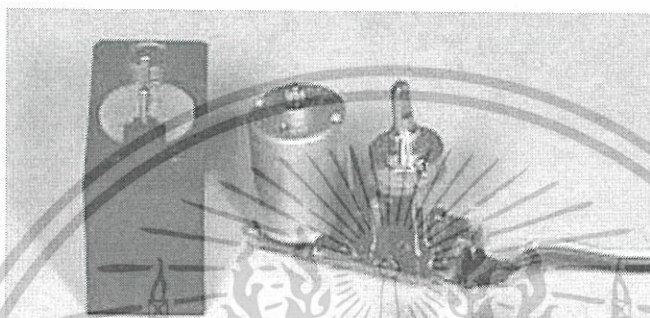
เนื่องจากเซอร์โวมอเตอร์สามารถนำมาปรับแต่งให้เหมาะสมกับชิ้นงานที่ทำได้ และมีกำลังในการขับวาล์วได้มากสามารถหมุนได้ 360 องศา เมื่อมีการปรับแต่ง และสอดคล้องกับวาล์วที่ใช้ซึ่งหมุนได้ 360 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2.4 การปรับแต่งเซอร์โวมอเตอร์

จากคุณสมบัติของเซอร์โวมอเตอร์(Servo Motor) ที่ผลิตออกมาจากโรงงานจะสามารถหมุนได้แค่เพียงประมาณ 180 องศา หรือประมาณครึ่งรอบเท่านั้น หากเราต้องการนำเอาเซอร์โวมอเตอร์ ไปใช้งานในลักษณะที่หมุน 360 องศา ก็สามารถทำได้ โดยการปรับแต่งหรือแก้ไขโครงสร้างภายในบางส่วนของมอเตอร์ สามารถทำได้ดังนี้

1. นำวงจรขับของเซอร์โวมอเตอร์ออก



2. ตัดชิ้นส่วนของแกนเฟืองที่ทำหน้าที่หยุดมอเตอร์ (TAB STOP) ออก

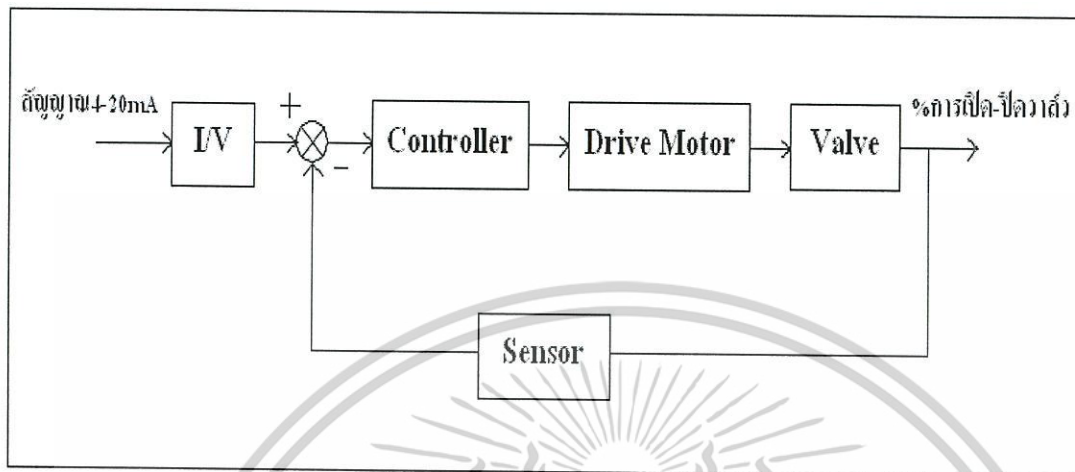


รูปที่ 3.2 การปรับแต่งเซอร์โวมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

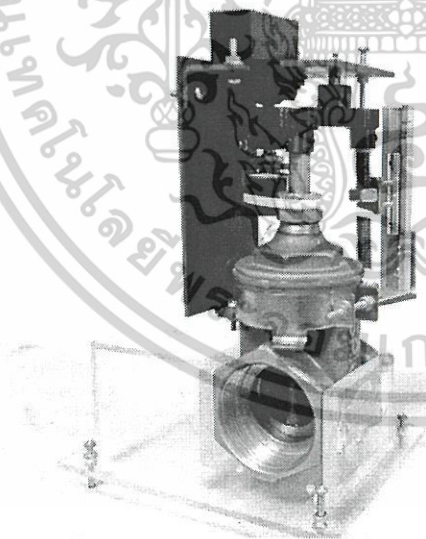
### 3.3 ขั้นตอนในการสร้าง

3.3.1) ออกแบบบล็อกไดอะแกรม เพื่อควบคุมการทำงานทั้งหมดของวาล์วควบคุม



รูปที่ 3.3 บล็อกไดอะแกรมการทำงาน

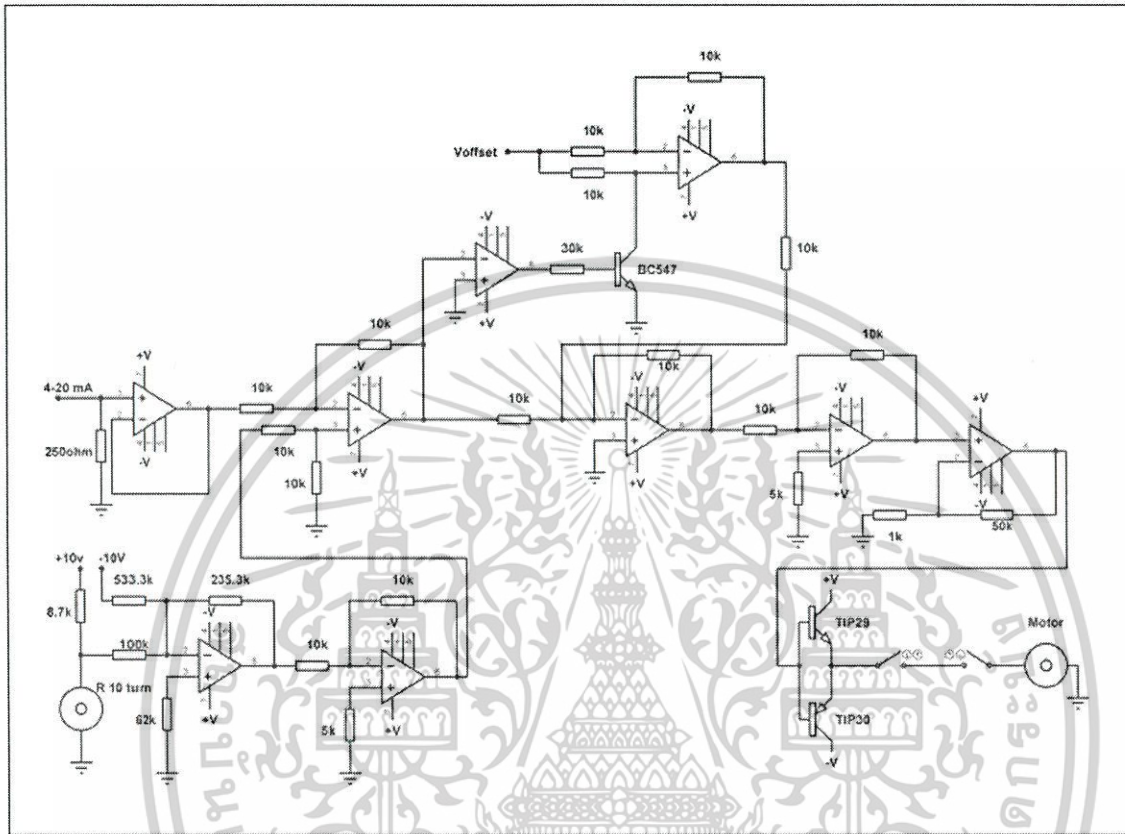
3.3.2) ออกแบบและประกอบตัววาล์วเข้ากับเฟือง โดยเฟืองที่ใช้มีอัตราทดที่ 2 ต่อ 1 รวมทั้งต่อเข้ากับตัวต้านทานปรับค่าได้ 10 รอบ



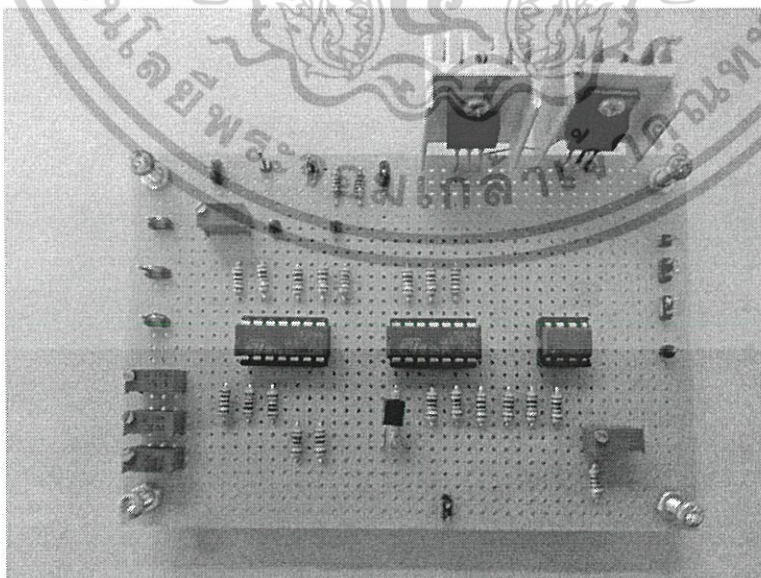
รูปที่ 3.4 โครงสร้างทางกล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.3) ออกแบบวงจรควบคุมวาล์ว และทำการคำนวณค่าของแต่ละวงจรที่ต้องใช้ต่อรวมกันเป็นวงจรควบคุมวาล์ว



รูปที่ 3.5 วงจรควบคุมวาล์ว



รูปที่ 3.6 แผงวงจรควบคุมวาล์ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าที่ต้องใช้จากการคำนวณ

จากวงจรปรับความชันและตำแหน่งศูนย์ ความชันที่ต้องการคือ

$$M = \frac{V_o}{V_i} = \frac{V_o(\max) - V_o(\min)}{V_i(\max) - V_i(\min)} = \frac{5 - 1}{4 - 2.3} = \frac{4}{1.7} = 2.353$$

หรือ  $M = \frac{R_f}{R_i} = 2.353$  ถ้าเลือก  $R_f = 235.3 \text{ k}\Omega$ ,  $R_i = 100 \text{ k}\Omega$

จาก  $y = mx + b$  หรือเขียนได้เป็น  $V_o = mV_i + b$

ดังนั้นที่  $V_i = 2.3 \text{ V}$  แล้ว  $V_o = 1$  นั่นคือ

$$1 = (2.353)(2.3) + b$$

จะได้

$$b = -4.4119 \text{ V}$$

แต่

$$b = \frac{R_f}{R_{os}}(\pm V) = -4.4119 \text{ V}$$

ในที่นี้เลือกไฟเลี้ยงเป็นไฟลบ  $V = -10 \text{ V}$  จะได้

$$\begin{aligned} R_{os} &= \frac{R_f}{R_{os}}(\pm V) \\ &= \frac{(235.3 \text{ k})(-10)}{-4.4119} \\ &= 533.33 \text{ k}\Omega \end{aligned}$$

และ  $R_{\text{comp}} = R_f // R_i // R_{os}$

$$\begin{aligned} R_f // R_i &= \frac{(R_f)(R_i)}{R_f + R_i} \\ &= \frac{(235.3 \text{ k})(100 \text{ k})}{335.3 \text{ k}} \end{aligned}$$

$$R_f // R_i = 70.18 \text{ k}\Omega$$

$$R_f // R_{os} = \frac{(R_f)(R_{os})}{R_f + R_{os}}$$

$$= \frac{(70.18 \text{ k}\Omega)(533.33 \text{ k}\Omega)}{603.51 \text{ k}\Omega}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$= 62.02 \text{ k}\Omega$$

$$R_{\text{comp}} = 62.02 \text{ k}\Omega$$

ดังนั้น  $R_f = 235.3 \text{ k}\Omega$

$$R_i = 100 \text{ k}\Omega$$

$$R_{\text{OS}} = 533.33 \text{ k}\Omega$$

$$R_{\text{comp}} = 62.02 \text{ k}\Omega$$

วงจรแปลงกระแสเป็นแรงดัน(I/V)

จาก

ถ้า  $I = 4\text{mA}$ ,  $V = 1\text{V}$

จะได้

$$R = \frac{V}{I} = \frac{1\text{V}}{4\text{mA}} = 250 \Omega$$

ถ้า  $I = 20\text{mA}$ ,  $V = 5\text{V}$

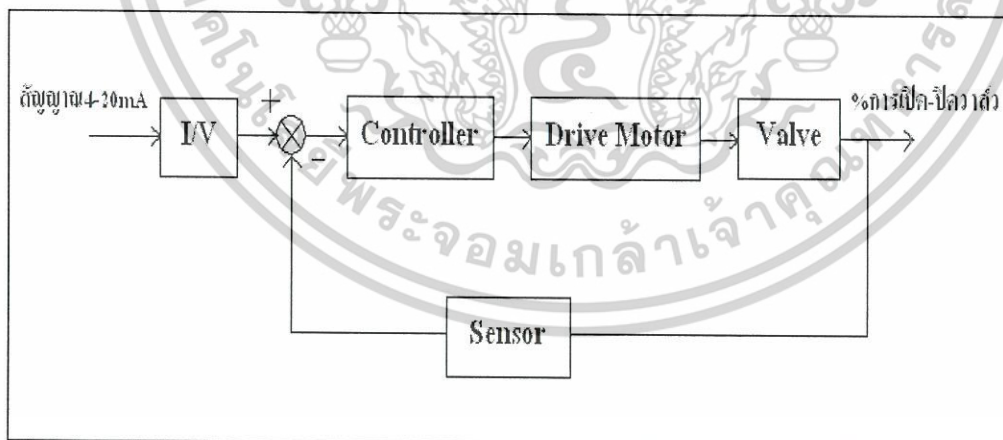
จะได้

$$R = \frac{V}{I} = \frac{5\text{V}}{20\text{mA}} = 250 \Omega$$

เพราะฉะนั้นใช้  $R = 250 \Omega$

### 3.4) หลักการทำงาน

#### 3.4.1) บล็อกไดอะแกรมของระบบ



รูปที่ 3.7 บล็อกไดอะแกรมของระบบ

เริ่มจากสัญญาณอินพุตเป็นสัญญาณกระแส 4-20 mA ผ่านวงจรแปลงกระแสเป็นแรงดัน (I/V) จากนั้นแรงดันที่ได้จะเข้าวงจรคอนโทรลเลอร์ ซึ่งสัญญาณเอาต์พุตจากวงจรคอนโทรลเลอร์จะไปเป็นสัญญาณอินพุตของวงจรขับเคลื่อนมอเตอร์ ส่งผลให้เซอร์วอมอเตอร์ขับเคลื่อนวาล์วควบคุมติดตัวต้านทานปรับค่าได้ 10 รอบ ซึ่งเป็นตัวควบคุมป้อนกลับ ทำให้วาล์วสามารถเปิด-ปิดได้ตามที่เราตั้งค่าไว้ไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### การทดลองและผลการทดลอง

ในบทนี้จะเป็นส่วนของการทดลองการทำงานของชุดทดลองระบบควบคุมวาล์วอัตโนมัติ ทั้งโครงสร้างทางกลโดยไม่มีส่วนของวงจรรีเลย์ทรอนิกส์ และโครงสร้างทางกลโดยมีส่วนของวงจรรีเลย์ทรอนิกส์ รวมถึงระบบควบคุมวาล์วอัตโนมัติที่ประกอบเสร็จสมบูรณ์

#### 4.1 การทดลองวัดแรงดันเอาต์พุต และกระแสเอาต์พุตของเซอร์โวมอเตอร์ ในขณะที่ไม่โหลด (โครงสร้างทางกล)

ตารางแสดงผลการทดลอง

$V_i(V)$	$V_{o1}(V)$	$V_{o2}(V)$	$V_{o_{av}}(V)$	$I_1(mA)$	$I_2(mA)$	$I_{av}(mA)$
0.0	0.00	0.00	0.00	0.49	0.47	0.48
0.1	0.07	0.07	0.07	10.04	10.23	10.14
0.2	0.13	0.13	0.13	19.50	18.76	19.13
0.3	0.19	0.20	0.20	28.60	28.60	28.60
0.4	0.26	0.26	0.26	38.01	37.41	37.71
0.5	0.32	0.33	0.33	41.97	47.27	44.62
0.6	0.45	0.45	0.45	38.36	37.56	37.96
0.7	0.53	0.54	0.54	42.58	42.82	42.70
0.8	0.62	0.62	0.62	47.03	46.42	46.73
0.9	0.70	0.72	0.71	50.09	47.50	48.80
1.0	0.79	0.80	0.80	53.44	50.12	51.78
1.1	0.88	0.88	0.88	56.05	54.22	55.14
1.2	0.97	0.97	0.97	58.16	56.61	57.39
1.3	1.06	1.06	1.06	59.20	60.62	59.91
1.4	1.15	1.15	1.15	60.57	62.35	61.46
1.5	1.24	1.24	1.24	62.96	65.10	64.03
1.6	1.33	1.33	1.33	65.60	66.30	65.95
1.7	1.43	1.43	1.43	67.60	66.60	67.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$V_i$ (V)	$V_{o1}$ (V)	$V_{o2}$ (V)	$V_{o\text{av}}$ (V)	$I_1$ (mA)	$I_2$ (mA)	$I_{\text{av}}$ (mA)
1.8	1.52	1.50	1.51	67.70	68.80	68.25
1.9	1.61	1.60	1.61	69.10	70.10	69.60
2.0	1.70	1.71	1.71	71.00	70.30	70.65
2.1	1.79	1.81	1.80	73.00	72.90	72.95
2.2	1.89	1.89	1.89	73.90	73.30	73.60
2.3	1.98	1.99	1.99	75.80	74.90	75.35
2.4	2.07	2.07	2.07	76.70	75.90	76.30
2.5	2.16	2.15	2.16	77.20	77.00	77.10
2.6	2.25	2.26	2.26	78.30	80.20	79.25
2.7	2.35	2.34	2.35	79.70	79.50	79.60
2.8	2.44	2.43	2.44	79.40	80.90	80.15
2.9	2.53	2.53	2.53	81.10	81.80	81.45
3.0	2.64	2.62	2.63	79.70	82.40	81.05
3.1	2.74	2.72	2.73	79.70	82.80	81.25
3.2	2.84	2.81	2.83	80.80	83.20	82.00
3.3	2.93	2.91	2.92	81.00	83.00	82.00
3.4	3.02	3.00	3.01	84.00	82.50	83.25
3.5	3.12	3.11	3.12	81.60	83.50	82.55
3.6	3.22	3.20	3.21	83.40	83.10	83.25
3.7	3.31	3.29	3.30	82.10	83.40	82.75
3.8	3.41	3.40	3.41	82.80	84.10	83.45
3.9	3.50	3.49	3.50	82.80	84.10	83.45
4.0	3.60	3.59	3.60	83.30	84.40	83.85
4.1	3.70	3.71	3.71	83.40	84.70	84.05
4.2	3.79	3.80	3.80	84.40	85.00	84.70
4.3	3.89	3.88	3.89	84.10	84.10	84.10
4.4	3.98	3.99	3.99	84.40	83.80	84.10
4.5	4.11	4.09	4.10	77.50	84.00	80.75

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$V_i$ (V)	$V_{o1}$ (V)	$V_{o2}$ (V)	$V_{o_{av}}$ (V)	$I_1$ (mA)	$I_2$ (mA)	$I_{av}$ (mA)
4.6	4.20	4.21	4.21	79.00	83.40	81.20
4.7	4.30	4.31	4.31	78.10	83.70	80.90
4.8	4.41	4.42	4.42	79.00	84.70	81.85
4.9	4.51	4.52	4.52	76.10	83.90	80.00
5.0	4.60	4.60	4.60	76.60	82.10	79.35



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4.2 การทดลองวัดแรงดันเอาต์พุต และกระแสเอาต์พุตของเซอร์โวมอเตอร์ ในขณะที่มีชุดเฟือง(โครงสร้างทางกล)

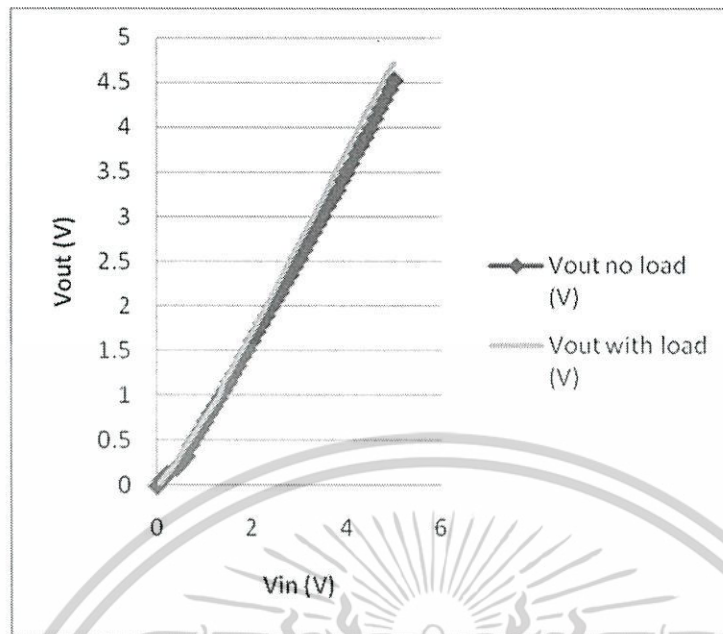
ตารางแสดงผลการทดลอง

$V_i$ (V)	$V_{o1}$ (V)	$V_{o2}$ (V)	$V_{oav}$ (V)	$I_1$ (mA)	$I_2$ (mA)	$I_{av}$ (mA)
0.0	0.00	0.00	0.00	0.21	0.24	0.23
0.1	0.06	0.06	0.06	10.46	10.58	10.52
0.2	0.13	0.14	0.14	20.73	21.58	21.16
0.3	0.20	0.20	0.20	30.14	31.56	30.85
0.4	0.27	0.29	0.28	39.94	42.72	41.33
0.5	0.38	0.37	0.38	55.13	53.44	54.29
0.6	0.46	0.44	0.45	66.80	63.80	65.30
0.7	0.54	0.52	0.53	77.60	75.00	76.30
0.8	0.62	0.59	0.61	88.80	84.90	86.85
0.9	0.70	0.67	0.69	99.90	95.30	97.60
1.0	0.78	0.75	0.77	110.70	106.90	108.80
1.1	0.86	0.82	0.84	120.40	117.30	118.85
1.2	0.94	0.89	0.92	131.00	126.40	128.70
1.3	1.01	0.98	1.00	141.40	137.60	139.50
1.4	1.18	1.15	1.17	127.00	122.00	124.50
1.5	1.25	1.23	1.24	132.00	133.00	132.50
1.6	1.33	1.36	1.35	140.00	137.00	138.50
1.7	1.43	1.45	1.44	137.30	136.00	136.65
1.8	1.51	1.54	1.53	141.40	139.20	140.30
1.9	1.62	1.62	1.62	143.00	143.00	143.00
2.0	1.70	1.71	1.71	144.00	148.00	146.00
2.1	1.79	1.82	1.81	149.00	152.00	150.50
2.2	1.90	1.91	1.91	155.00	153.00	154.00
2.3	1.99	2.02	2.01	155.00	160.00	157.50
2.4	2.11	2.13	2.12	157.00	159.00	158.00
2.5	2.20	2.24	2.22	163.00	157.00	160.00

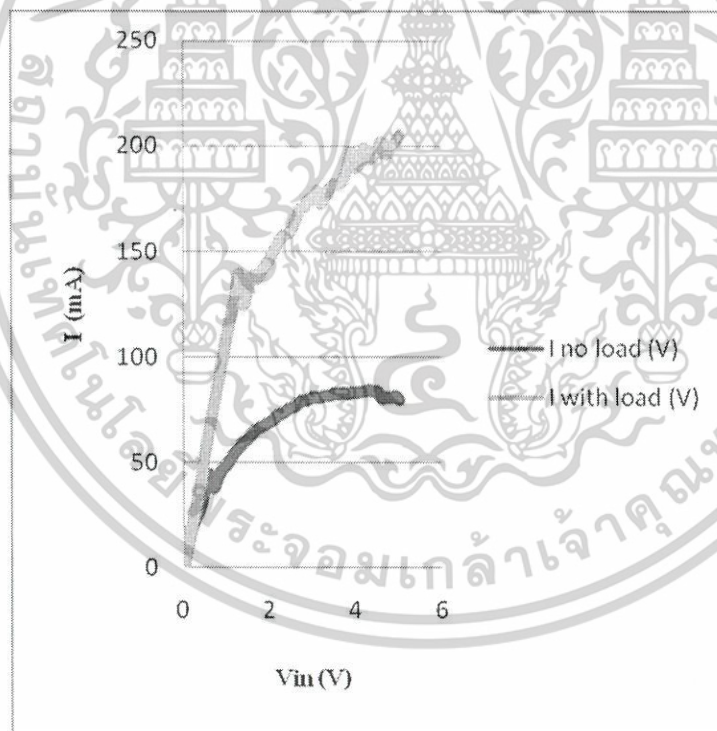
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปตีพิมพ์ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$V_i$ (V)	$V_{o1}$ (V)	$V_{o2}$ (V)	$V_{o\text{av}}$ (V)	$I_1$ (mA)	$I_2$ (mA)	$I_{\text{av}}$ (mA)
2.6	2.29	2.34	2.32	166.00	163.00	164.50
2.7	2.40	2.45	2.43	168.00	172.00	170.00
2.8	2.51	2.56	2.54	171.00	171.00	171.00
2.9	2.60	2.66	2.63	172.00	178.00	175.00
3.0	2.71	2.74	2.73	172.00	177.00	174.50
3.1	2.80	2.84	2.82	177.00	181.00	179.00
3.2	2.91	2.93	2.92	172.00	173.00	172.50
3.3	2.99	3.03	3.01	171.00	181.00	176.00
3.4	3.11	3.14	3.13	176.00	184.00	180.00
3.5	3.18	3.24	3.21	180.00	184.00	182.00
3.6	3.30	3.34	3.32	183.00	180.00	181.50
3.7	3.41	3.46	3.44	187.00	180.00	183.50
3.8	3.52	3.56	3.54	190.00	188.00	189.00
3.9	3.61	3.67	3.64	200.00	194.00	197.00
4.0	3.72	3.76	3.74	192.00	187.00	189.50
4.1	3.80	3.87	3.84	195.00	188.00	191.50
4.2	3.89	3.96	3.93	197.00	201.00	199.00
4.3	4.02	4.05	4.04	192.00	196.00	194.00
4.4	4.15	4.17	4.16	192.00	197.00	194.50
4.5	4.23	4.24	4.24	196.00	199.00	197.50
4.6	4.33	4.33	4.33	201.00	203.00	202.00
4.7	4.42	4.45	4.44	197.00	195.00	196.00
4.8	4.53	4.56	4.55	193.00	207.00	200.00
4.9	4.62	4.63	4.63	200.00	203.00	201.50
5.0	4.69	4.73	4.71	197.00	213.00	205.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันอินพุตกับแรงดันเอาต์พุตของเซอร์ไวโมเตอร์



รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสอินพุตกับแรงดันเอาต์พุตของเซอร์ไวโมเตอร์

จากผลการทดลองเทียบทั้ง 2 ตาราง แสดงให้เห็นว่า เมื่อทำการวัดเอาต์พุตของเซอร์ไวโมเตอร์ที่ต่อเข้ากับ โครงสร้างทางกล และไม่ต่อกับ โครงสร้างทางกล เอาต์พุตที่ได้จะมีค่าน้อยกว่า อินพุตที่ป้อนเข้าไปเล็กน้อยซึ่งค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้น น่าจะมีผลมาจากค่าความต้านทาน ภายในของตัวเซอร์ไวโมเตอร์เอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.3 การทดลองการเปรียบเทียบค่าระหว่างผลการทดลองกับค่าจากการคำนวณ และค่าความผิดพลาดของอุปกรณ์

ตารางแสดงผลการทดลอง

%การเปิด ปิดวาล์ว	$I_i$ (mA)	$V_i$ (V)	จากการคำนวณ	จากการปฏิบัติ	ค่าความ ผิดพลาด	%ความ ผิดพลาด
			แรงดันตกคร่อม ตัวต้านทานปรับ ค่าได้(V)	แรงดันตกคร่อม ตัวต้านทานปรับ ค่าได้(V)		
0%	4.0	1.0	1.0	0.98	0.02	2.00
10%	5.6	1.4	1.4	1.38	0.02	1.43
20%	7.2	1.8	1.8	1.78	0.02	1.11
30%	8.8	2.2	2.2	2.18	0.02	0.91
40%	10.4	2.6	2.6	2.56	0.04	1.54
50%	12.0	3.0	3.0	2.95	0.05	1.67
60%	13.6	3.4	3.4	3.36	0.04	1.18
70%	15.2	3.8	3.8	3.76	0.04	1.05
80%	16.8	4.2	4.2	4.14	0.06	1.43
90%	18.4	4.6	4.6	4.54	0.06	1.30
100%	20.0	5.0	5.0	4.93	0.07	1.40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### บทวิจารณ์และสรุป

#### 5.1 สรุป

หลังจากได้ทำโครงการเสร็จเรียบร้อยแล้ว พบว่าในตอนแรกเมื่อทำการป้อนกระแสอินพุตเพื่อทำการเปิดปิดวาล์ว ผลการทดลองที่ได้มีค่าผิดพลาดเยอะมาก จึงได้ทำการปรับปรุงวงจรโดยเพิ่มส่วนของตัวชดเชยสัญญาณ(offset) ขึ้นมา และได้ทำการทดลองอีกครั้ง ปรากฏว่าเปอร์เซ็นต์การเปิดปิดของวาล์วควบคุม มีค่าความผิดพลาดน้อยมาก และวาล์วควบคุมหมุนเปิดปิดได้เร็วขึ้น มีเสถียรภาพมากขึ้นกว่าเดิม

#### 5.2 ปัญหาและแนวทางแก้ไข

จากการศึกษาและทำโครงการนี้มีปัญหาที่เกิดขึ้นคือ ในการทำโครงสร้างทางกล รวมทั้งการคัปปลิง(Coupling)ในช่วงแรก โครงสร้างไม่แข็งแรงเนื่องจากใช้อะคริลิก และใช้กาวเป็นตัวเชื่อมชิ้นส่วนแต่ละชิ้น ทำให้ชิ้นส่วนบางชิ้นเมื่อได้รับความเสียหายทำการเปลี่ยนได้ลำบาก ดังนั้นจึงทำการเปลี่ยนแปลงโดยใช้เหล็กทำเป็นโครงสร้าง รวมทั้งทำให้ชิ้นสามารถถอดออกได้ทุกชิ้น โดยใช้สกรูเกลียวมายึดแต่ละชิ้น ซึ่งสกรูเกลียวสามารถใช้ไขควงเพื่อถอดเปลี่ยนได้ ทำให้เมื่อต้องการแก้ไขโครงการทำได้สะดวกยิ่งขึ้น

ในส่วนของวงจรอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งเมื่อทดลองต่อวงจรในบอร์ดการทดลอง วงจรบางวงจรได้ค่าของการทดลองคาดเคลื่อนมากกว่าค่าของการคำนวณมาก หรือบางครั้งวงจรก็ไม่ทำงาน ทำให้เสียเวลาในการทดลองวงจรค่อนข้างมาก ซึ่งปัญหาที่เกิดขึ้นนี้ผู้ทำโครงการคิดว่าน่าจะเกิดจากค่าความผิดพลาดของบอร์ดทดลอง ดังนั้นจึงต้องทำการทดลองต่อวงจรลงแผ่นปริ้นท์ ซึ่งให้ค่าของความผิดพลาดน้อยมาก อีกทั้งยังช่วยประหยัดเวลาด้วย

ส่วนปัญหาที่พบและแก้ไขไม่ได้ คือ วงจรเปรียบเทียบสัญญาณให้ค่าไม่ได้ตามที่คำนวณไว้ และมีค่าความผิดพลาดมาก

#### 5.3 ข้อเสนอแนะและแนวทางในการค้นคว้าพัฒนา

วาล์วควบคุม(Control Valve) สามารถนำไปค้นคว้าและพัฒนาต่อได้ โดยส่วนของตัวควบคุม อาจใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ หรือ PLCเป็นตัวควบคุม เพื่อให้ได้ค่าของเปอร์เซ็นต์การเปิดปิดวาล์วที่แม่นยำ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของระบบ และสามารถที่จะนำไปประยุกต์กับอุตสาหกรรมต่างๆ ที่ต้องการใช้วาล์วควบคุมเป็นส่วนหนึ่งของกระบวนการผลิตและดำเนินงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

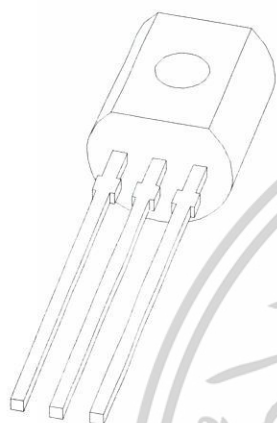


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

## เอกสารคู่มืออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์

ข้อมูลของทรานซิสเตอร์ BC574



# BC546; BC547 NPN general purpose transistors

Product specification

Supersedes data of 1997 Mar 04

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

**Philips**  
Semiconductors

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและตั้งชื่อถึงเจ้าของ



**PHILIPS**

## NPN general purpose transistors

## BC546; BC547

## FEATURES

- Low current (max. 100 mA)
- Low voltage (max. 65 V).

## APPLICATIONS

- General purpose switching and amplification.

## DESCRIPTION

NPN transistor in a TO-92; SOT54 plastic package.  
PNP complements: BC556 and BC557.

## PINNING

PIN	DESCRIPTION
1	emitter
2	base
3	collector

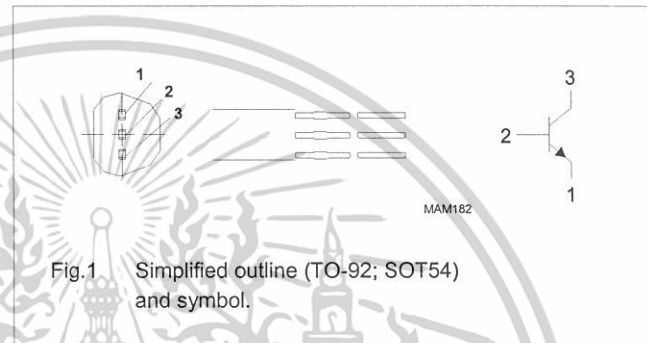


Fig.1 Simplified outline (TO-92; SOT54) and symbol.

## LIMITING VALUES

In accordance with the Absolute Maximum Rating System (IEC 134).

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	MAX.	UNIT
$V_{CB0}$	collector-base voltage	open emitter			
	BC546		–	80	V
	BC547		–	50	V
$V_{CEO}$	collector-emitter voltage	open base			
	BC546		–	65	V
	BC547		–	45	V
$V_{EBO}$	emitter-base voltage	open collector			
	BC546		–	6	V
	BC547		–	6	V
$I_C$	collector current (DC)		–	100	mA
$I_{CM}$	peak collector current		–	200	mA
$I_{BM}$	peak base current		–	200	mA
$P_{tot}$	total power dissipation	$T_{amb} \leq 25\text{ }^\circ\text{C}$ ; note 1	–	500	mW
$T_{stg}$	storage temperature		–65	+150	$^\circ\text{C}$
$T_j$	junction temperature		–	150	$^\circ\text{C}$
$T_{amb}$	operating ambient temperature		–65	+150	$^\circ\text{C}$

## Note

1. Transistor mounted on an FR4 printed-circuit board.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## NPN general purpose transistors

## BC546; BC547

## THERMAL CHARACTERISTICS

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	VALUE	UNIT
$R_{th\ j-a}$	thermal resistance from junction to ambient	note 1	0.25	K/mW

## Note

1. Transistor mounted on an FR4 printed-circuit board.

## CHARACTERISTICS

$T_j = 25\text{ }^\circ\text{C}$  unless otherwise specified.

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
$I_{CR0}$	collector cut-off current	$I_E = 0; V_{CB} = 30\text{ V}$	–	–	15	nA
		$I_E = 0; V_{CB} = 30\text{ V}; T_j = 150\text{ }^\circ\text{C}$	–	–	5	$\mu\text{A}$
$I_{E0}$	emitter cut-off current	$I_C = 0; V_{EB} = 5\text{ V}$	–	–	100	nA
$h_{FE}$	DC current gain	$I_C = 10\text{ }\mu\text{A}; V_{CE} = 5\text{ V};$ see Figs 2, 3 and 4	–	90	–	
			–	150	–	
			–	270	–	
	DC current gain	$I_C = 2\text{ mA}; V_{CE} = 5\text{ V};$ see Figs 2, 3 and 4	110	180	220	
			200	290	450	
			420	520	800	
110			–	800		
	BC546		110	–	450	
$V_{CEsat}$	collector-emitter saturation voltage	$I_C = 10\text{ mA}; I_B = 0.5\text{ mA}$	–	90	250	mV
		$I_C = 100\text{ mA}; I_B = 5\text{ mA}$	–	200	600	mV
$V_{BEsat}$	base-emitter saturation voltage	$I_C = 10\text{ mA}; I_B = 0.5\text{ mA};$ note 1	–	700	–	mV
		$I_C = 100\text{ mA}; I_B = 5\text{ mA};$ note 1	–	900	–	mV
$V_{BE}$	base-emitter voltage	$I_C = 2\text{ mA}; V_{CE} = 5\text{ V};$ note 2	580	660	700	mV
		$I_C = 10\text{ mA}; V_{CE} = 5\text{ V}$	–	–	770	mV
$C_c$	collector capacitance	$I_E = I_E = 0; V_{CB} = 10\text{ V}; f = 1\text{ MHz}$	–	1.5	–	pF
$C_e$	emitter capacitance	$I_C = I_C = 0; V_{EB} = 0.5\text{ V}; f = 1\text{ MHz}$	–	11	–	pF
$f_T$	transition frequency	$I_C = 10\text{ mA}; V_{CE} = 5\text{ V}; f = 100\text{ MHz}$	100	–	–	MHz
F	noise figure	$I_C = 200\text{ }\mu\text{A}; V_{CE} = 5\text{ V};$ $R_S = 2\text{ k}\Omega; f = 1\text{ kHz}; B = 200\text{ Hz}$	–	2	10	dB

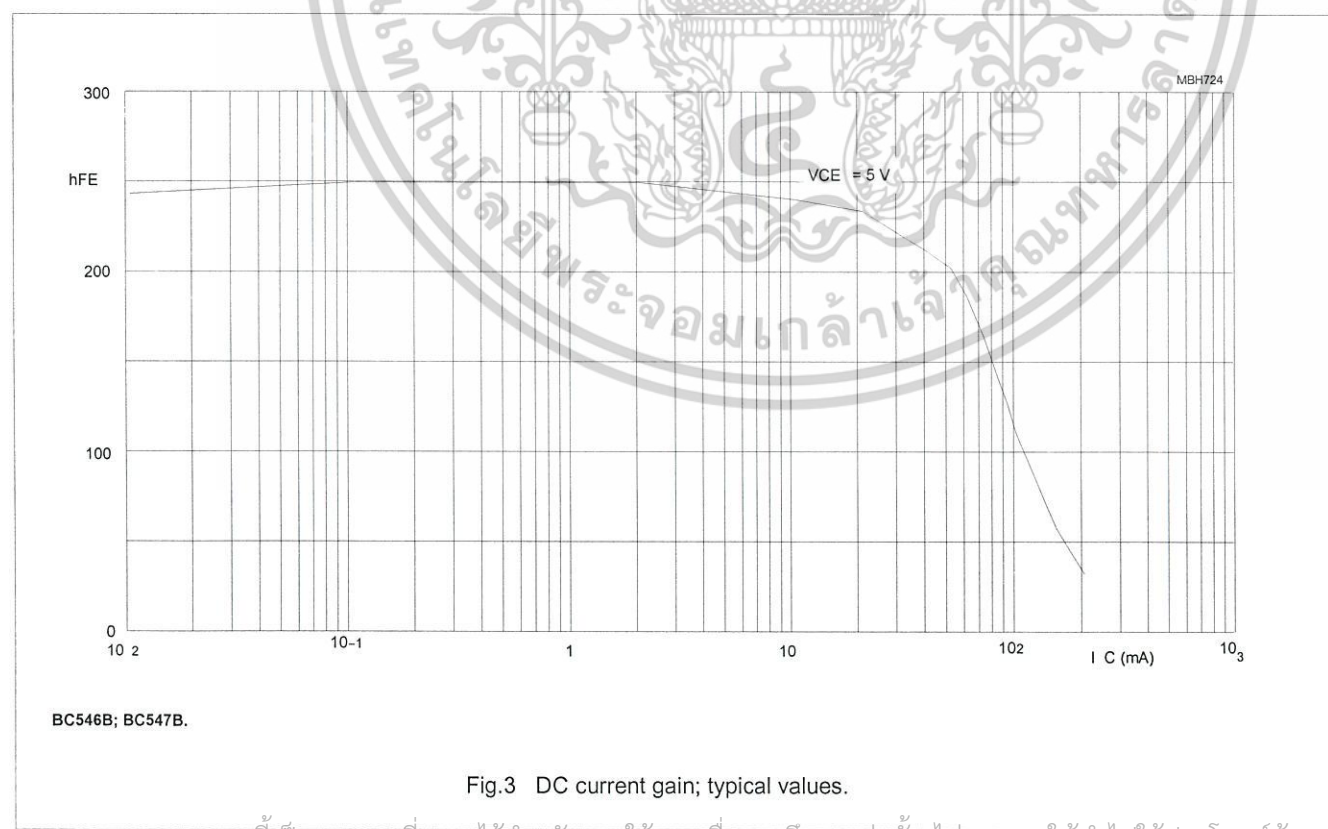
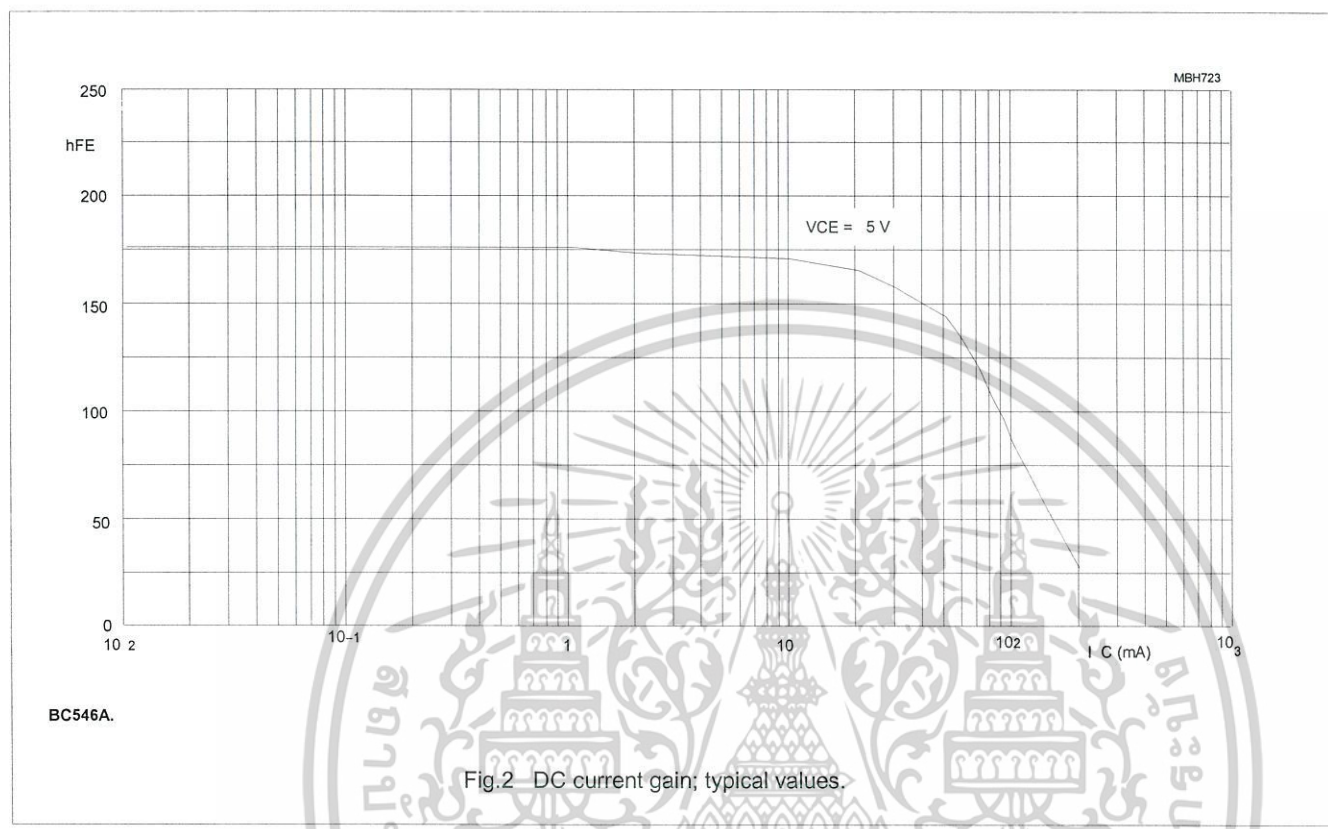
## Notes

1.  $V_{RFsat}$  decreases by about 1.7 mV/K with increasing temperature.
2.  $V_{BE}$  decreases by about 2 mV/K with increasing temperature.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

NPN general purpose transistors

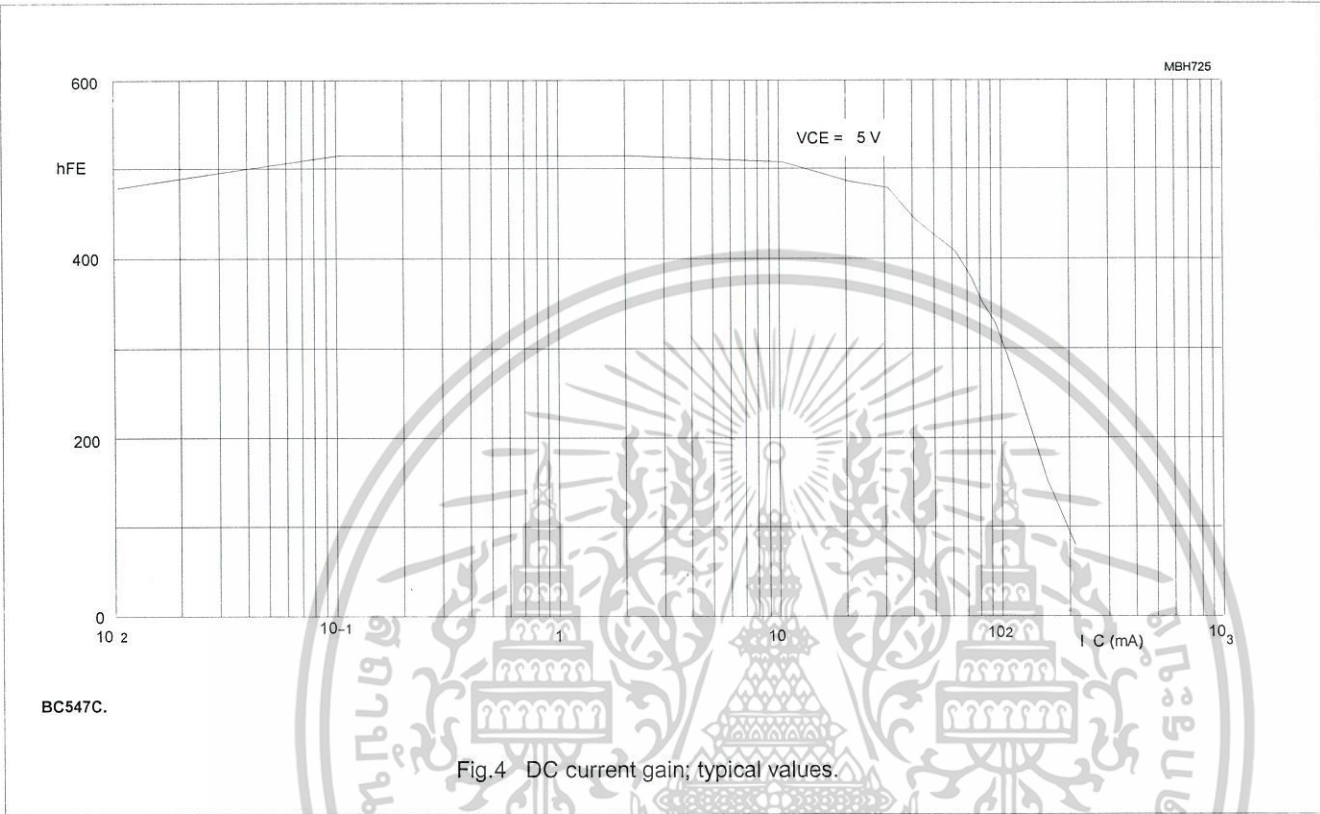
BC546; BC547



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

NPN general purpose transistors

BC546; BC547



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

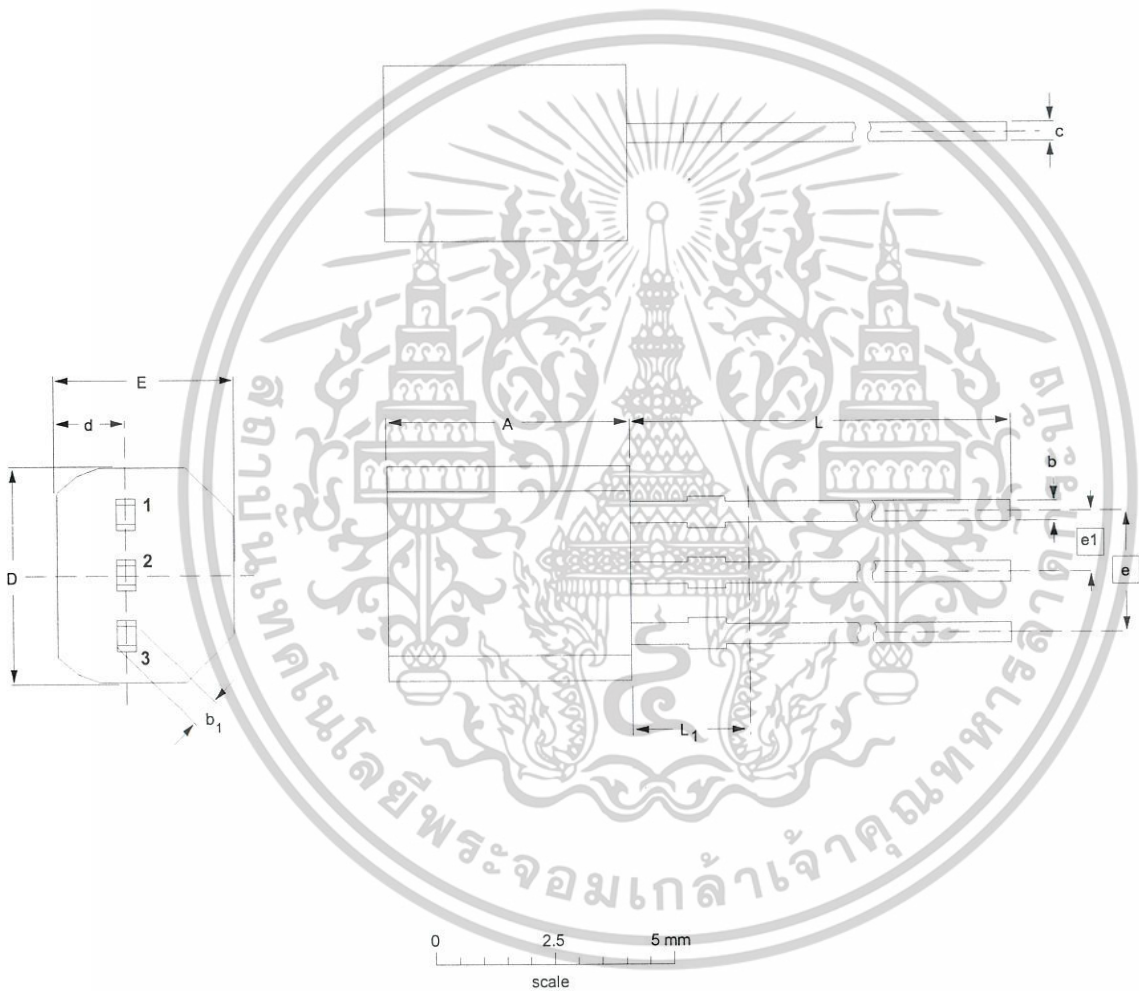
NPN general purpose transistors

BC546; BC547

PACKAGE OUTLINE

Plastic single-ended leaded (through hole) package; 3 leads

SOT54



DIMENSIONS (mm are the original dimensions)

UNIT	A	b	b1	c	D	d	E	e	e1	L	L1 <sup>(1)</sup>
mm	5.2	0.48	0.66	0.45	4.8	1.7	4.2	2.54	1.27	14.5	2.5
	5.0	0.40	0.56	0.40	4.4	1.4	3.6			12.7	

Note

1. Terminal dimensions within this zone are uncontrolled to allow for flow of plastic and terminal irregularities.

OUTLINE VERSION	REFERENCES			EUROPEAN PROJECTION	ISSUE DATE
	IEC	JEDEC	EIAJ		
SOT54		TO-92	SC-43		97-02-28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

NPN general purpose transistors

BC546; BC547

**DEFINITIONS**

<b>Data Sheet Status</b>	
Objective specification	This data sheet contains target or goal specifications for product development.
Preliminary specification	This data sheet contains preliminary data; supplementary data may be published later.
Product specification	This data sheet contains final product specifications.
<b>Limiting values</b>	
Limiting values given are in accordance with the Absolute Maximum Rating System (IEC 134). 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.	
<b>Application information</b>	
Where application information is given, it is advisory and does not form part of the specification.	

**LIFE SUPPORT APPLICATIONS**

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 customers using or selling these products for use in such applications do so at their own risk and agree to fully indemnify Philips for any damages resulting from such improper use or sale.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# Philips Semiconductors - a worldwide company

**Argentina:** see South America

**Australia:** 34 Waterloo Road, NORTH RYDE, NSW 2113,  
Tel. +61 2 9805 4455, Fax. +61 2 9805 4466

**Austria:** Computerstr. 6, A-1101 WIEN, P.O. Box 213,  
Tel. +43 1 60 101 1248, Fax. +43 1 60 101 1210

**Belarus:** Hotel Minsk Business Center, Bld. 3, r. 1211, Volodarski Str. 6,  
220050 MINSK, Tel. +375 172 20 0733, Fax. +375 172 20 0773

**Belgium:** see The Netherlands

**Brazil:** see South America

**Bulgaria:** Philips Bulgaria Ltd., Energoproject, 15th floor,  
51 James Bourchier Blvd., 1407 SOFIA,  
Tel. +359 2 68 9211, Fax. +359 2 68 9102

**Canada:** PHILIPS SEMICONDUCTORS/COMPONENTS,  
Tel. +1 800 234 7381, Fax. +1 800 943 0087

**China/Hong Kong:** 501 Hong Kong Industrial Technology Centre,  
72 Tat Chee Avenue, Kowloon Tong, HONG KONG,  
Tel. +852 2319 7888, Fax. +852 2319 7700

**Colombia:** see South America

**Czech Republic:** see Austria

**Denmark:** Sydhavnsgade 23, 1780 COPENHAGEN V,  
Tel. +45 33 29 3333, Fax. +45 33 29 3905

**Finland:** Sinikalliontie 3, FIN-02630 ESPOO,  
Tel. +358 9 615 800, Fax. +358 9 6158 0920

**France:** 51 Rue Carnot, BP317, 92156 SURESNES Cedex,  
Tel. +33 1 4099 6161, Fax. +33 1 4099 6427

**Germany:** Hammerbrookstraße 69, D-20097 HAMBURG,  
Tel. +49 40 2353 60, Fax. +49 40 2353 6300

**Hungary:** see Austria

**India:** Philips INDIA Ltd, Band Box Building, 2nd floor,  
254-D, Dr. Annie Besant Road, Worli, MUMBAI 400 025,  
Tel. +91 22 493 8541, Fax. +91 22 493 0966

**Indonesia:** PT Philips Development Corporation, Semiconductors Division,  
Gedung Philips, Jl. Buncit Raya Kav.99-100, JAKARTA 12510,  
Tel. +62 21 794 0040 ext. 2501, Fax. +62 21 794 0080

**Ireland:** Newstead, Clonskeagh, DUBLIN 14,  
Tel. +353 1 7640 000, Fax. +353 1 7640 200

**Israel:** RAPAC Electronics, 7 Kehilat Saloniki St, PO Box 18053,  
TEL AVIV 61180, Tel. +972 3 645 0444, Fax. +972 3 649 1007

**Italy:** PHILIPS SEMICONDUCTORS, Piazza IV Novembre 3,  
20124 MILANO, Tel. +39 2 6752 2531, Fax. +39 2 6752 2557

**Japan:** Philips Bldg 13-37, Kohnan 2-chome, Minato-ku,  
TOKYO 108-8507, Tel. +81 3 3740 5130, Fax. +81 3 3740 5077

**Korea:** Philips House, 260-199 Itaewon-dong, Yongsan-ku, SEOUL,  
Tel. +82 2 709 1412, Fax. +82 2 709 1415

**Malaysia:** No. 76 Jalan Universiti, 46200 PETALING JAYA, SELANGOR,  
Tel. +60 3 750 5214, Fax. +60 3 757 4880

**Mexico:** 5900 Gateway East, Suite 200, EL PASO, TEXAS 79905,  
Tel. +9-5 800 234 7381, Fax +9-5 800 943 0087

**Middle East:** see Italy

**Netherlands:** Postbus 90050, 5600 PB EINDHOVEN, Bldg. VB,  
Tel. +31 40 27 82785, Fax. +31 40 27 88399

**New Zealand:** 2 Wagener Place, C.P.O. Box 1041, AUCKLAND,  
Tel. +64 9 849 4160, Fax. +64 9 849 7811

**Norway:** Box 1, Manglerud 0612, OSLO,  
Tel. +47 22 74 8000, Fax. +47 22 74 8341

**Pakistan:** see Singapore

**Philippines:** Philips Semiconductors Philippines Inc.,  
106 Valero St. Salcedo Village, P.O. Box 2108 MCC, MAKATI,  
Metro MANILA, Tel. +63 2 816 6380, Fax. +63 2 817 3474

**Poland:** Ul. Lukiska 10, PL 04-123 WARSZAWA,  
Tel. +48 22 612 2831, Fax. +48 22 612 2327

**Portugal:** see Spain

**Romania:** see Italy

**Russia:** Philips Russia, Ul. Usatcheva 35A, 119048 MOSCOW,  
Tel. +7 095 755 6918, Fax. +7 095 755 6919

**Singapore:** Lorong 1, Toa Payoh, SINGAPORE 319762,  
Tel. +65 350 2538, Fax. +65 251 6500

**Slovakia:** see Austria

**Slovenia:** see Italy

**South Africa:** S.A. PHILIPS Pty Ltd., 195-215 Main Road Martindale,  
2092 JOHANNESBURG, P.O. Box 7430 Johannesburg 2000,  
Tel. +27 11 470 5911, Fax. +27 11 470 5494

**South America:** Al. Vicente Pinzon, 173, 6th floor,  
04547-130 SÃO PAULO, SP, Brazil,  
Tel. +55 11 821 2333, Fax. +55 11 821 2382

**Spain:** Balmes 22, 08007 BARCELONA,  
Tel. +34 93 301 6312, Fax. +34 93 301 4107

**Sweden:** Kottbygatan 7, Akalla, S-16485 STOCKHOLM,  
Tel. +46 8 5985 2000, Fax. +46 8 5985 2745

**Switzerland:** Allmendstrasse 140, CH-8027 ZÜRICH,  
Tel. +41 1 488 2741 Fax. +41 1 488 3263

**Taiwan:** Philips Semiconductors, 6F, No. 96, Chien Kuo N. Rd., Sec. 1,  
TAIPEI, Taiwan Tel. +886 2 2134 2886, Fax. +886 2 2134 2874

**Thailand:** PHILIPS ELECTRONICS (THAILAND) Ltd.,  
209/2 Sanpavuth-Bangna Road Prakanong, BANGKOK 10260,  
Tel. +66 2 745 4090, Fax. +66 2 398 0793

**Turkey:** Talatpasa Cad. No. 5, 80640 GÜLTEPE/ISTANBUL,  
Tel. +90 212 279 2770, Fax. +90 212 282 6707

**Ukraine:** PHILIPS UKRAINE, 4 Patrice Lumumba str., Building B, Floor 7,  
252042 KIEV, Tel. +380 44 264 2776, Fax. +380 44 268 0461

**United Kingdom:** Philips Semiconductors Ltd., 276 Bath Road, Hayes,  
MIDDLESEX UB3 5BX, Tel. +44 181 730 5000, Fax. +44 181 754 8421

**United States:** 811 East Arques Avenue, SUNNYVALE, CA 94088-3409,  
Tel. +1 800 234 7381, Fax. +1 800 943 0087

**Uruguay:** see South America

**Vietnam:** see Singapore

**Yugoslavia:** PHILIPS, Trg N. Pasica 5/v, 11000 BEOGRAD,  
Tel. +381 11 62 5344, Fax.+381 11 63 5777

For all other countries apply to: Philips Semiconductors,  
International Marketing & Sales Communications, Building BE-p, P.O. Box 218,  
5600 MD EINDHOVEN, The Netherlands, Fax. +31 40 27 24825

Internet: <http://www.semiconductors.philips.com>

© Philips Electronics N.V. 1999

SCA63

All rights are reserved. Reproduction in whole or in part is prohibited without the prior written consent of the copyright owner.

The information presented in this document does not form part of any quotation or contract, is believed to be accurate and reliable and may be changed without notice. No liability will be accepted by the publisher for any consequence of its use. Publication thereof does not convey nor imply any license under patent- or other industrial or intellectual property rights.

Printed in The Netherlands

115002/00/03/pp8

Date of release: 1999 Apr 15

Document order number:

9397 750 05677

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้เชิงพาณิชย์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกรนำมาใช้

**Philips**  
Semiconductors

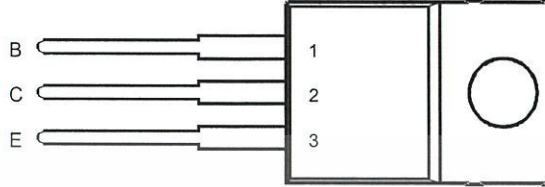


Let's make things better.  
**PHILIPS**

# ข้อมูลของทรานซิสเตอร์ TIP29

## TIP29, TIP29A, TIP29B, TIP29C NPN SILICON POWER TRANSISTORS

TO-220 PACKAGE  
(TOP VIEW)



Pin 2 is in electrical contact with the mounting base.

MDRACA

Copyright © 1997, Power Innovations Limited, UK

- q **Designed for Complementary Use with the TIP30 Series**
- q **30 W at 25°C Case Temperature**
- q **1 A Continuous Collector Current**
- q **3 A Peak Collector Current**
- q **Customer-Specified Selections Available**

**absolute maximum ratings at 25°C case temperature (unless otherwise noted)**

RATING	SYMBOL	VALUE	UNIT
Collector-base voltage ( $I_E = 0$ )	TIP29	80	V
	TIP29A	100	
	TIP29B	120	
	TIP29C	140	
Collector-emitter voltage ( $I_B = 0$ )	TIP29	40	V
	TIP29A	60	
	TIP29B	80	
	TIP29C	100	
Emitter-base voltage	VEBO	5	V
Continuous collector current	IC	1	A
Peak collector current (see Note 1)	ICM	3	A
Continuous base current	IB	0.4	A
Continuous device dissipation at (or below) 25°C case temperature (see Note 2)	Ptot	30	W
Continuous device dissipation at (or below) 25°C free air temperature (see Note 3)	Ptot	2	W
Unclamped inductive load energy (see Note 4)	$\frac{1}{2} I_C^2$	32	mJ
Operating junction temperature range	Tj	-65 to +150	°C
Storage temperature range	Tstg	-65 to +150	°C
Lead temperature 3.2 mm from case for 10 seconds	TL	250	°C

NOTES: 1. This value applies for  $t_{on} \leq 0.3$  ms, duty cycle  $\leq 10\%$ .

2. Derate linearly to 150°C case temperature at the rate of 0.24 W/°C.

3. Derate linearly to 150°C free air temperature at the rate of 16 mW/°C.

4. This rating is based on the capability of the transistor to operate safely in a circuit of:  $L = 20$  mH,  $I_{B(on)} = 0.4$  A,  $R_{BE} = 100 \Omega$ ,  $V_{BE(off)} = 0$ ,  $R_S = 0.1 \Omega$ ,  $V_{CC} = 20$  V.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้วยประการ  
 ใดๆ เว้นแต่จะขออนุญาตจากทางผู้ผลิตให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสาร

**PRODUCT INFORMATION**  
 Information is current as of publication date. Products conform to specifications in accordance with the terms of Power Innovations standard warranty. Production processing does not necessarily include testing of all parameters.



# IP29, TIP29A, TIP29B, TIP29C PN SILICON POWER TRANSISTORS

JULY 1968 - REVISED MARCH 1997

## Electrical characteristics at 25°C case temperature

PARAMETER	TEST CONDITIONS			MIN	TYP	MAX	UNIT
$V_{(BR)CEO}$ Collector-emitter breakdown voltage	$I_C = 30 \text{ mA}$ (see Note 5)	$I_B = 0$	TIP29 TIP29A TIP29B TIP29C	40 60 80 100			V
$I_{CES}$ Collector-emitter cut-off current	$V_{CE} = 80 \text{ V}$ $V_{CE} = 100 \text{ V}$ $V_{CE} = 120 \text{ V}$ $V_{CE} = 140 \text{ V}$	$V_{BE} = 0$ $V_{BE} = 0$ $V_{BE} = 0$ $V_{BE} = 0$	TIP29 TIP29A TIP29B TIP29C			0.2 0.2 0.2 0.2	mA
$I_{CEO}$ Collector cut-off current	$V_{CE} = 30 \text{ V}$ $V_{CE} = 60 \text{ V}$	$I_B = 0$ $I_B = 0$	TIP29/29A TIP29B/29C			0.3 0.3	mA
$I_{EBO}$ Emitter cut-off current	$V_{EB} = 5 \text{ V}$	$I_C = 0$				1	mA
$h_{FE}$ Forward current transfer ratio	$V_{CE} = 4 \text{ V}$ $V_{CE} = 4 \text{ V}$	$I_C = 0.2 \text{ A}$ $I_C = 1 \text{ A}$	(see Notes 5 and 6)	40 15		75	
$V_{CE(sat)}$ Collector-emitter saturation voltage	$I_B = 125 \text{ mA}$	$I_C = 1 \text{ A}$	(see Notes 5 and 6)			0.7	V
$V_{BE}$ Base-emitter voltage	$V_{CE} = 4 \text{ V}$	$I_C = 1 \text{ A}$	(see Notes 5 and 6)			1.3	V
$h_{fe}$ Small signal forward current transfer ratio	$V_{CE} = 10 \text{ V}$	$I_C = 0.2 \text{ A}$	$f = 1 \text{ kHz}$	20			
$ h $ Small signal forward current transfer ratio	$V_{CE} = 10 \text{ V}$	$I_C = 0.2 \text{ A}$	$f = 1 \text{ MHz}$	3			

NOTES: 5. These parameters must be measured using pulse techniques,  $t_p = 300 \mu\text{s}$ , duty cycle  $\leq 2\%$ .

6. These parameters must be measured using voltage-sensing contacts, separate from the current carrying contacts.

## Thermal characteristics

PARAMETER	MIN	TYP	MAX	UNIT
$R_{\theta JC}$ Junction to case thermal resistance			4.17	°C/W
$R_{\theta JA}$ Junction to free air thermal resistance			62.5	°C/W

## Resistive-load-switching characteristics at 25°C case temperature

PARAMETER	TEST CONDITIONS <sup>†</sup>			MIN	TYP	MAX	UNIT
$t_{on}$ Turn-on time	$I_C = 1 \text{ A}$	$I_{B(on)} = 0.1 \text{ A}$	$I_{B(off)} = -0.1 \text{ A}$		0.5		$\mu\text{s}$
$t_{off}$ Turn-off time	$V_{BE(off)} = -4.3 \text{ V}$	$R_L = 30 \Omega$	$t_p = 20 \mu\text{s}$ , dc $\leq 2\%$		2		$\mu\text{s}$

Voltage and current values shown are nominal; exact values vary slightly with transistor parameters.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

PRODUCT INFORMATION

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ยกเว้นหากมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# TIP29, TIP29A, TIP29B, TIP29C NPN SILICON POWER TRANSISTORS

JULY 1968 - REVISED MARCH 1997

## TYPICAL CHARACTERISTICS

TYPICAL DC CURRENT GAIN  
vs  
COLLECTOR CURRENT

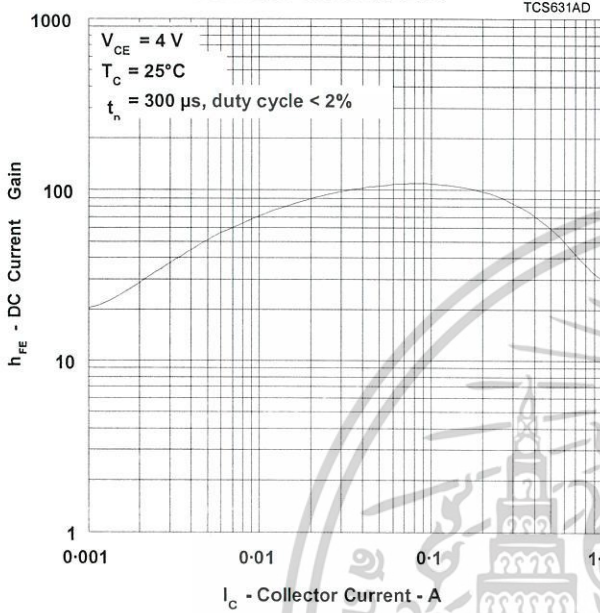


Figure 1.

COLLECTOR-EMITTER SATURATION VOLTAGE  
vs  
BASE CURRENT

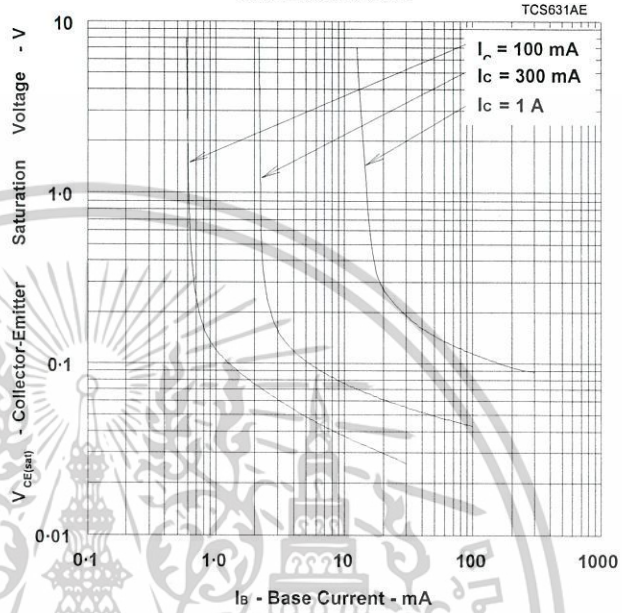


Figure 2.

BASE-EMITTER VOLTAGE  
vs  
COLLECTOR CURRENT

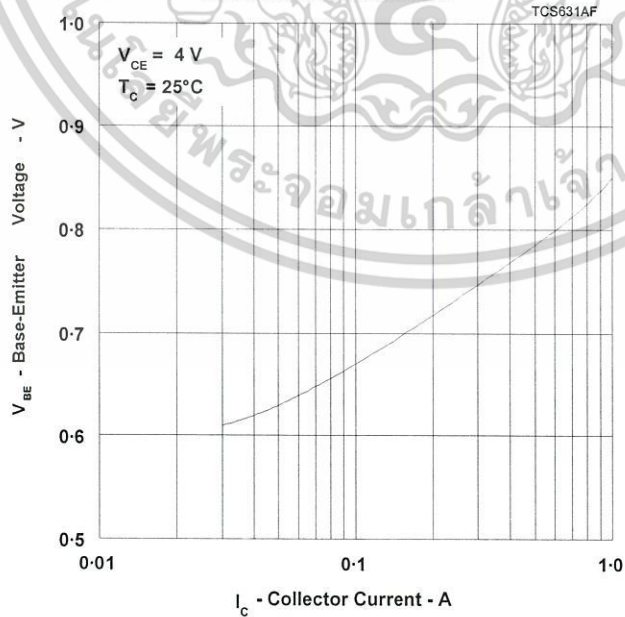


Figure 3.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้วยการค้า

PRODUCT INFORMATION

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งในการนำไปใช้



IP29, TIP29A, TIP29B, TIP29C  
 IPN SILICON POWER TRANSISTORS

JLY 1968 - REVISED MARCH 1997

MAXIMUM SAFE OPERATING REGIONS

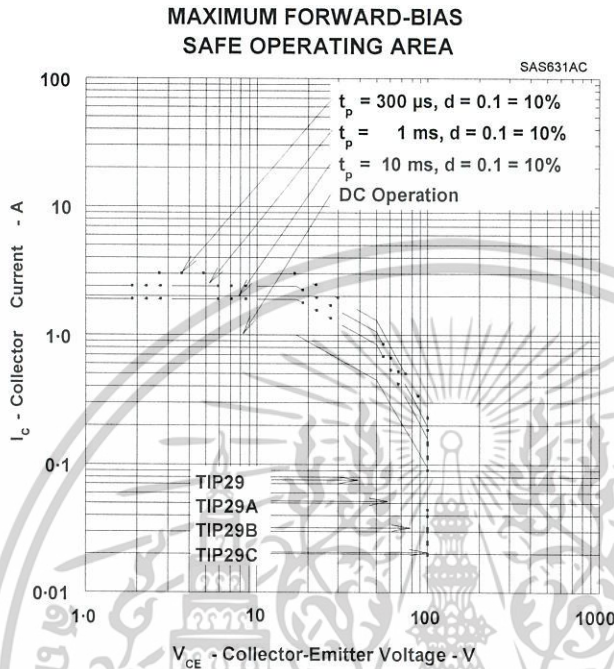


Figure 4.

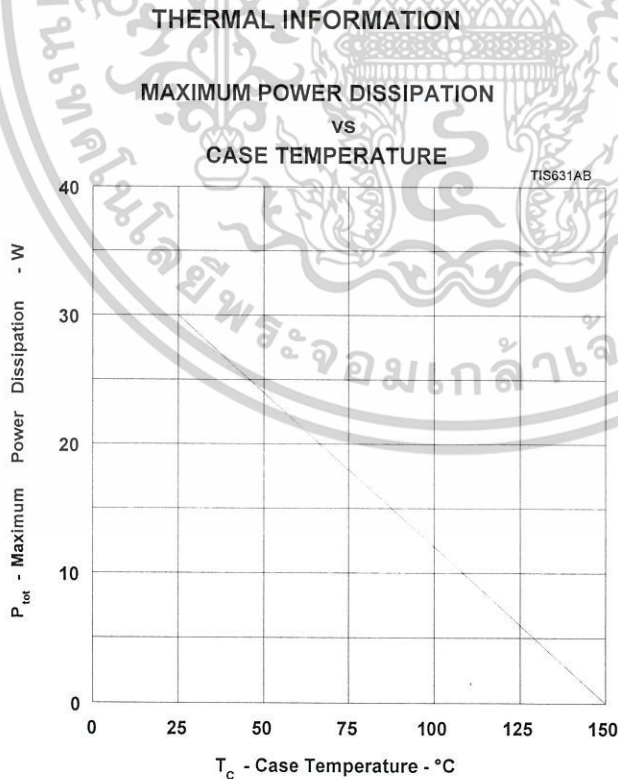


Figure 5.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

PRODUCT

INFORMATION

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ออกให้ตามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TIP29, TIP29A, TIP29B, TIP29C  
NPN SILICON POWER TRANSISTORS

JULY 1968 - REVISED MARCH 1997

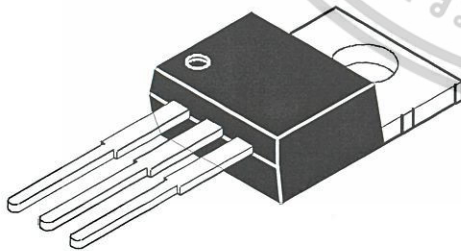
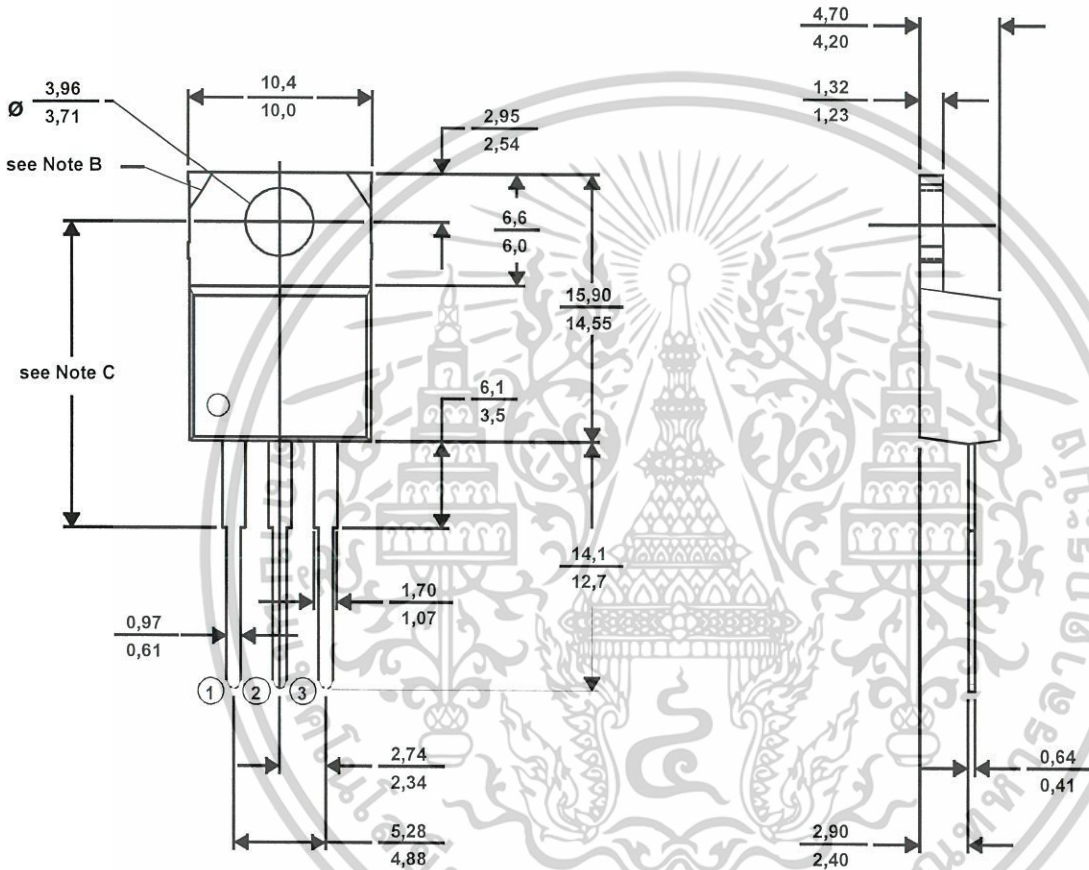
MECHANICAL DATA

TO-220

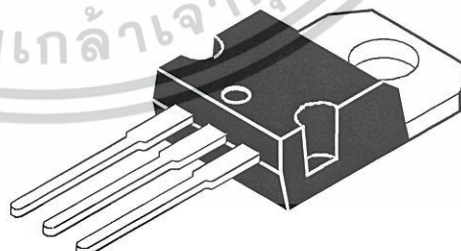
3-pin plastic flange-mount package

This single-in-line package consists of a circuit mounted on a lead frame and encapsulated within a plastic compound. The compound will withstand soldering temperature with no deformation, and circuit performance characteristics will remain stable when operated in high humidity conditions. Leads require no additional cleaning or processing when used in soldered assembly.

TO220



VERSION 1



VERSION 2

ALL LINEAR DIMENSIONS IN MILLIMETERS

- NOTES: A. The centre pin is in electrical contact with the mounting tab.  
 B. Mounting tab corner profile according to package version.  
 C. Typical fixing hole centre stand off height according to package version.  
 Version 1, 18.0 mm. Version 2, 17.6 mm.

MDXXBE

### IMPORTANT NOTICE

Power Innovations Limited (PI) reserves the right to make changes to its products or to discontinue any semiconductor product or service without notice, and advises its customers to verify, before placing orders, that the information being relied on is current.

PI warrants performance of its semiconductor products to the specifications applicable at the time of sale in accordance with PI's standard warranty. Testing and other quality control techniques are utilized to the extent PI deems necessary to support this warranty. Specific testing of all parameters of each device is not necessarily performed, except as mandated by government requirements.

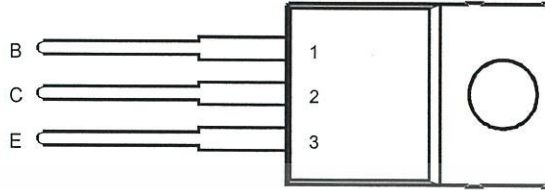
PI accepts no liability for applications assistance, customer product design, software performance, or infringement of patents or services described herein. Nor is any license, either express or implied, granted under any patent, copyright, design right, or other intellectual property right of PI covering or relating to any combination, machine, or process in which such semiconductor products or services might be or are used.

PI SEMICONDUCTOR PRODUCTS ARE NOT DESIGNED, INTENDED, AUTHORIZED, OR WARRANTED TO BE SUITABLE FOR USE IN LIFE-SUPPORT APPLICATIONS, DEVICES OR SYSTEMS.

Copyright © 1997, Power Innovations Limited

# ข้อมูลของทรานซิสเตอร์ TIP30

## TIP30, TIP30A, TIP30B, TIP30C PNP SILICON POWER TRANSISTORS TO-220 PACKAGE (TOP VIEW)



Pin 2 is in electrical contact with the mounting base.

MDTRACA

Copyright © 1997, Power Innovations Limited, UK  
 q **Designed for Complementary Use with the TIP29 Series**

q **30 W at 25°C Case Temperature**

q **1 A Continuous Collector Current**

q **3 A Peak Collector Current**

q **Customer-Specified Selections Available**

**absolute maximum ratings at 25°C case temperature (unless otherwise noted)**

RATING		SYMBOL	VALUE	UNIT
Collector-base voltage ( $I_E = 0$ )	TIP30	$V_{CBO}$	-80	V
	TIP30A		-100	
	TIP30B		-120	
	TIP30C		-140	
Collector-emitter voltage ( $I_B = 0$ )	TIP30	$V_{CEO}$	-40	V
	TIP30A		-60	
	TIP30B		-80	
	TIP30C		-100	
Emitter-base voltage		$V_{EBO}$	-5	V
Continuous collector current		$I_C$	-1	A
Peak collector current (see Note 1)		$I_{CM}$	-3	A
Continuous base current		$I_B$	-0.4	A
Continuous device dissipation at (or below) 25°C case temperature (see Note 2)		$P_{tot}$	30	W
Continuous device dissipation at (or below) 25°C free air temperature (see Note 3)		$P_{tot}$	2	W
Unclamped inductive load energy (see Note 4)		$\frac{1}{2}LI_C^2$	32	mJ
Operating junction temperature range		$T_j$	-65 to +150	°C
Storage temperature range		$T_{stg}$	-65 to +150	°C
Lead temperature 3.2 mm from case for 10 seconds		$T_L$	250	°C

- NOTES: 1. This value applies for  $t_{on} \leq 0.3$  ms, duty cycle  $\leq 10\%$ .  
 2. Derate linearly to 150°C case temperature at the rate of 0.24 W/°C.  
 3. Derate linearly to 150°C free air temperature at the rate of 16 mW/°C.  
 4. This rating is based on the capability of the transistor to operate safely in a circuit of:  $L = 20$  mH,  $I_{B(on)} = -0.4$  A,  $R_{BE} = 100 \Omega$ ,  $V_{BE(off)} = 0$ ,  $R_S = 0.1 \Omega$ ,  $V_{CC} = -20$  V.

# IP30, TIP30A, TIP30B, TIP30C

## NP SILICON POWER TRANSISTORS

JLY 1968 - REVISED MARCH 1997

### Electrical characteristics at 25°C case temperature

PARAMETER	TEST CONDITIONS			MIN	TYP	MAX	UNIT
$V_{(BR)CEO}$ Collector-emitter breakdown voltage	$I_C = -30 \text{ mA}$ (see Note 5)	$I_B = 0$	TIP30 TIP30A TIP30B TIP30C	-40 -60 -80 -100			V
$I_{CES}$ Collector-emitter cut-off current	$V_{CE} = -80 \text{ V}$ $V_{CE} = -100 \text{ V}$ $V_{CE} = -120 \text{ V}$ $V_{CE} = -140 \text{ V}$	$V_{BE} = 0$ $V_{BE} = 0$ $V_{BE} = 0$ $V_{BE} = 0$	TIP30 TIP30A TIP30B TIP30C			-0.2 -0.2 -0.2 -0.2	mA
$I_{CEO}$ Collector cut-off current	$V_{CE} = -30 \text{ V}$ $V_{CE} = -60 \text{ V}$	$I_B = 0$ $I_B = 0$	TIP30/30A TIP30B/30C			-0.3 -0.3	mA
$I_{EBO}$ Emitter cut-off current	$V_{EB} = -5 \text{ V}$	$I_C = 0$				-1	mA
$h_{FE}$ Forward current transfer ratio	$V_{CE} = -4 \text{ V}$ $V_{CE} = -4 \text{ V}$	$I_C = -0.2 \text{ A}$ $I_C = -1 \text{ A}$	(see Notes 5 and 6)	40 15		75	
$V_{CE(sat)}$ Collector-emitter saturation voltage	$I_B = -125 \text{ mA}$	$I_C = -1 \text{ A}$	(see Notes 5 and 6)			-0.7	V
$V_{BE}$ Base-emitter voltage	$V_{CE} = -4 \text{ V}$	$I_C = -1 \text{ A}$	(see Notes 5 and 6)			-1.3	V
$h_{fe}$ Small signal forward current transfer ratio	$V_{CE} = -10 \text{ V}$	$I_C = -0.2 \text{ A}$	$f = 1 \text{ kHz}$	20			
$ h $ Small signal forward current transfer ratio	$V_{CE} = -10 \text{ V}$	$I_C = -0.2 \text{ A}$	$f = 1 \text{ MHz}$	3			

NOTES: 5. These parameters must be measured using pulse techniques,  $t_p = 300 \mu\text{s}$ , duty cycle  $\leq 2\%$ .

6. These parameters must be measured using voltage-sensing contacts, separate from the current carrying contacts.

### Thermal characteristics

PARAMETER	MIN	TYP	MAX	UNIT
$R_{\theta JC}$ Junction to case thermal resistance			4.17	°C/W
$R_{\theta JA}$ Junction to free air thermal resistance			62.5	°C/W

### Resistive-load-switching characteristics at 25°C case temperature

PARAMETER	TEST CONDITIONS †			MIN	TYP	MAX	UNIT
$t_{on}$ Turn-on time	$I_C = -1 \text{ A}$	$I_{B(on)} = -0.1 \text{ A}$	$I_{B(off)} = 0.1 \text{ A}$		0.3		$\mu\text{s}$
$t_{off}$ Turn-off time	$V_{BE(off)} = 4.3 \text{ V}$	$R_L = 30 \Omega$	$t_p = 20 \mu\text{s}$ , dc $\leq 2\%$		1		$\mu\text{s}$

Voltage and current values shown are nominal; exact values vary slightly with transistor parameters.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
**PRODUCT INFORMATION**  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TYPICAL CHARACTERISTICS

TYPICAL DC CURRENT GAIN  
vs  
COLLECTOR CURRENT

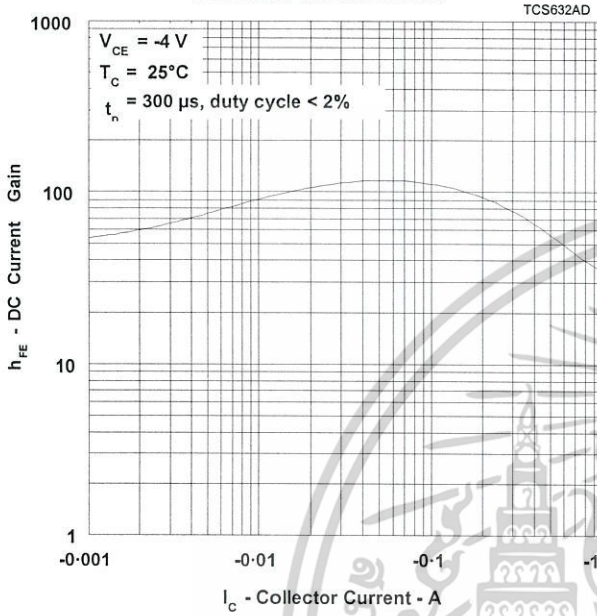


Figure 1.

COLLECTOR-EMITTER SATURATION VOLTAGE  
vs  
BASE CURRENT

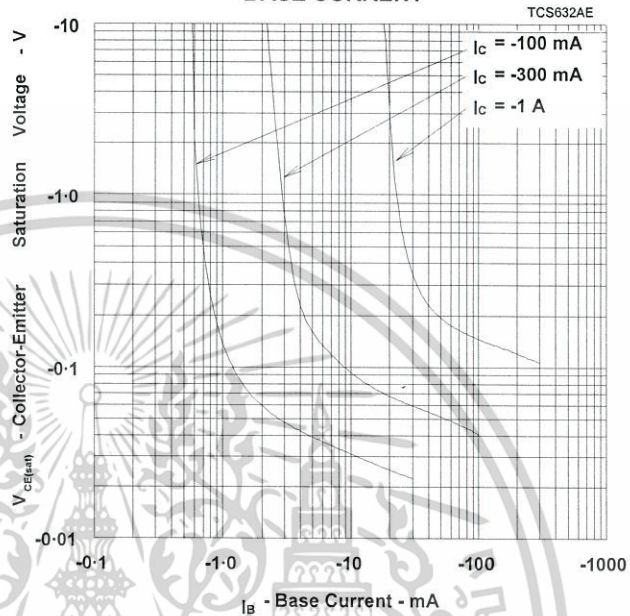


Figure 2.

BASE-EMITTER VOLTAGE  
vs  
COLLECTOR CURRENT

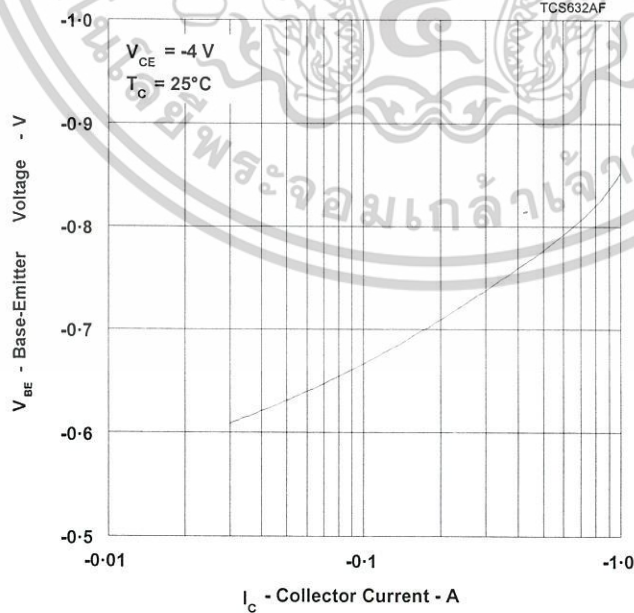


Figure 3.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

PRODUCT INFORMATION

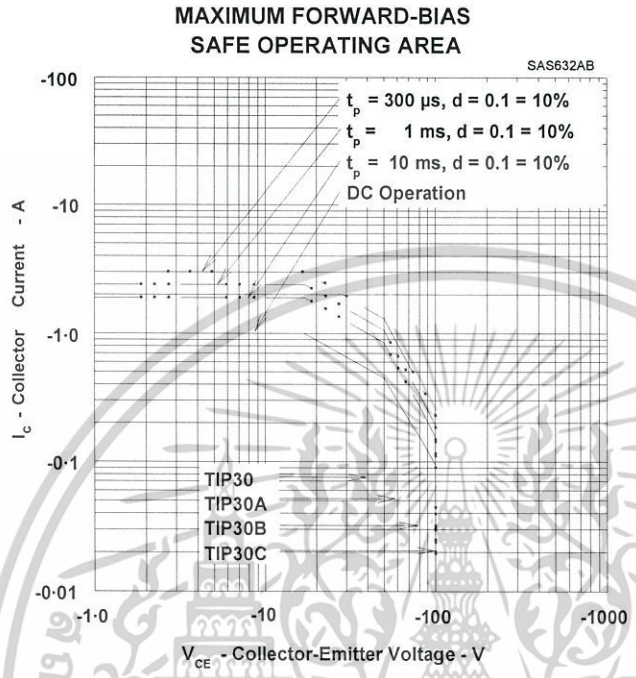
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**IP30, TIP30A, TIP30B, TIP30C  
NP SILICON POWER TRANSISTORS**

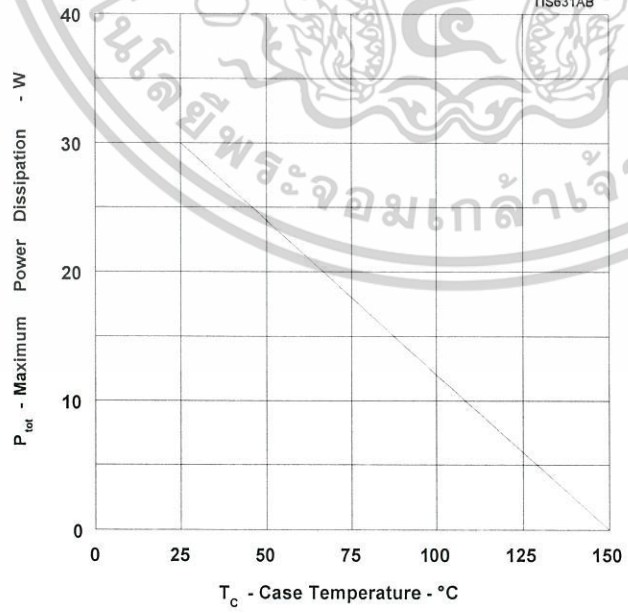
JLY 1968 - REVISED MARCH 1997

**MAXIMUM SAFE OPERATING REGIONS**



**THERMAL INFORMATION**

**MAXIMUM POWER DISSIPATION  
vs  
CASE TEMPERATURE**



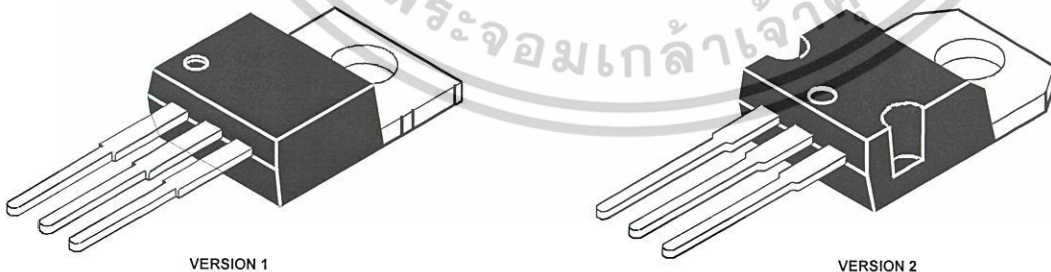
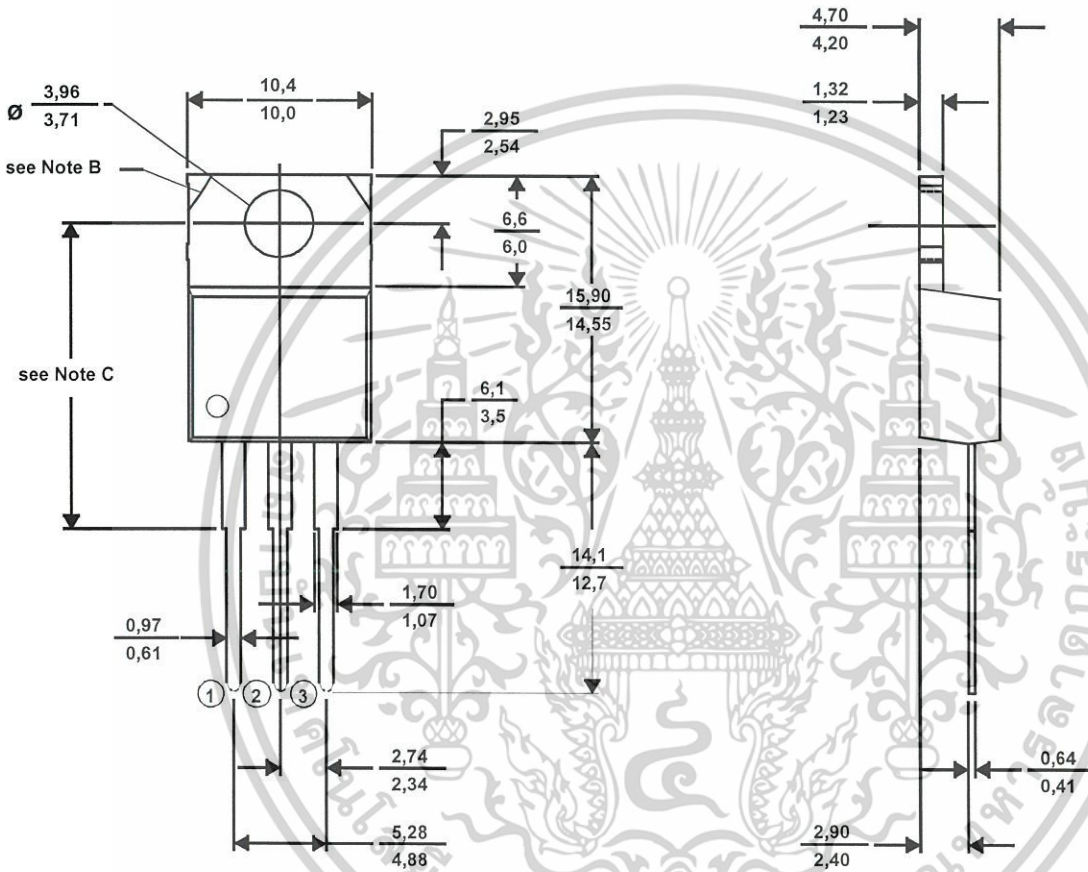
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
PRODUCT INFORMATION  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MECHANICAL DATA

TO-220  
3-pin plastic flange-mount package

This single-in-line package consists of a circuit mounted on a lead frame and encapsulated within a plastic compound. The compound will withstand soldering temperature with no deformation, and circuit performance characteristics will remain stable when operated in high humidity conditions. Leads require no additional cleaning or processing when used in soldered assembly.

TO220



ALL LINEAR DIMENSIONS IN MILLIMETERS

- NOTES: A. The centre pin is in electrical contact with the mounting tab.  
 B. Mounting tab corner profile according to package version.  
 C. Typical fixing hole centre stand off height according to package version.  
 Version 1, 18.0 mm. Version 2, 17.6 mm.

MDXXBE

# IP30, TIP30A, TIP30B, TIP30C NP SILICON POWER TRANSISTORS

JLY 1968 - REVISED MARCH 1997

## IMPORTANT NOTICE

Power Innovations Limited (PI) reserves the right to make changes to its products or to discontinue any semiconductor product or service without notice, and advises its customers to verify, before placing orders, that the information being relied on is current.

PI warrants performance of its semiconductor products to the specifications applicable at the time of sale in accordance with PI's standard warranty. Testing and other quality control techniques are utilized to the extent PI deems necessary to support this warranty. Specific testing of all parameters of each device is not necessarily performed, except as mandated by government requirements.

PI accepts no liability for applications assistance, customer product design, software performance, or infringement of patents or services described herein. Nor is any license, either express or implied, granted under any patent right, copyright, design right, or other intellectual property right of PI covering or relating to any combination, machine, or process in which such semiconductor products or services might be or are used.

PI SEMICONDUCTOR PRODUCTS ARE NOT DESIGNED, INTENDED, AUTHORIZED, OR WARRANTED TO BE SUITABLE FOR USE IN LIFE-SUPPORT APPLICATIONS, DEVICES OR SYSTEMS.

Copyright © 1997, Power Innovations Limited

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
**PRODUCT INFORMATION**  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง

- [1] รศ.ประสิทธิ์ จุลเสรีวงศ์. วิศวกรรมการวัดคุม. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2549.
- [2] รศ. ดร.วรพงษ์ ตั้งศรีรัตน์. เซนเซอร์และทรานสดิวเซอร์ : ทฤษฎีและการประยุกต์ใช้ในระบบการวัดคุมและระบบควบคุม. กรุงเทพมหานคร: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น). 2548.
- [3] ข้อมูลจาก <http://www.ett.co.th>
- [4] ข้อมูลจาก <http://www.9engineer.com>
- [5] ข้อมูลจาก <http://www.eanic.com>



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้