

ระบบควบคุมการเคลื่อนที่โดยใช้หลักการรวมเวกเตอร์

Integrated Vector Motion Control; IVMC



โดย

นายทรงปรกรณ์ ภูหนองโอง เลขประจำตัว 40010260

นายทรงยศ วัฒนกิจ เลขประจำตัว 40010263

นายธนวัฒน์ นพคุณ เลขประจำตัว 40010294

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ. อธิชัย อรุณศรีแสงไชย

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 42645
วัน, เดือน, ปี: 5 ส.ย. 2545

b.....
i.....

ปริญญาบัตรนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2543

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2543

ภาควิชาอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง ระบบควบคุมการเคลื่อนที่โดยใช้หลักการรวมเวกเตอร์ (Integrated Vector Motion Control; IVMC)

ผู้จัดทำ

- 1.นายทรงปรกรณ์ ภูหนอง โอง 40010260
- 2.นายทรงยศ วัฒนกิจ 40010263
- 3.นายธนวัฒน์ นพคุณ 40010294



.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(รศ. อธิชัย อรุณศรีแสงไชย)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบควบคุมการเคลื่อนที่โดยใช้หลักการรวมเวกเตอร์

Integrated Vector Motion Control; IVMC

นายทรงปกรณ์ ภูหนองโอง 40010260

นายทรงยศ วัฒนกิจ 40010263

นายธนวัฒน์ นพคุณ 40010294

โครงการได้รับการตรวจสอบแล้ว พร้อมทั้งจะได้รับการสอบได้

ลงชื่อ.....



.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(รศ. อิทิชัย อรุณศรีแสงไชย)

วันที่ 12 / 12 / 64

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบควบคุมการเคลื่อนที่โดยใช้หลักการรวมเวกเตอร์

นายทรงปรกรณ์ ภูหนองโอง

นายทรงยศ วัฒนกิจ

นายธนวัฒน์ นพคุณ

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.อิทธิชัย อรุณศรีแสงไชย

ปีการศึกษา 2543

บทคัดย่อ

โครงการนี้ เป็นการจำลองระบบขับเคลื่อนและบังคับเลี้ยว 4 ล้อ ของรถที่สามารถคำนวณมุมและทิศทางการหมุนของล้อได้ด้วยสมการการถ่ายทอดเวกเตอร์ โดยทำการประมวลผลด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 และนำไปควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง 8 ตัว สำหรับบังคับการเลี้ยวและการขับเคลื่อน ผู้ใช้สามารถควบคุมการเคลื่อนที่ผ่านจอยสติ๊กแบบดิจิทัลเพื่อกำหนดทิศทางการเคลื่อนที่และการหมุน

แบบจำลองนี้ทำขึ้นเพื่อเสนอวิธีการลดข้อจำกัดในการเคลื่อนที่ของรถยนต์ เพื่อให้ผู้ขับขี่สามารถควบคุมรถได้อย่างอิสระตามต้องการ หลักการของ IVMC สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับงานในหลายด้านทั้งงานด้านอุตสาหกรรม เกษตรกรรม การทหาร และการคมนาคมขนส่ง

Integrated Vector Motion Control System ; IVMC

Songyot Wattanakit

Songpakorn Punongong

Tanawat Noppakun

Advisor

Assoc.Prof. Ittichai Arungsrisangchai

Academic year 2000

Abstract

This project is a model of a minicar, which demonstrates the working of 4 wheel steering and the drive system. The calculations of the direction and steering angle of each wheel used the equation of vector transformation. All the vector calculations are processed by an MCS-51 microcontroller and the result will drive 8 D.C. motors that used to control steering and motivation of the car. User can control the motion of the car through a digital joystick interface.

The constructed model presents a method that can brake the limits of motion so that a driver can freely control his/her vehicle. The concepts of IVMC can be applied to a wide range of applications such as industry, agriculture, military and transportation etc.

สารบัญ

หัวข้อ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ

สารบัญ

สารบัญรูปภาพ

สารบัญตาราง

บทนำ

1

บทที่ 1 ระบบบังคับควบคุมการเคลื่อนที่โดยใช้เวกเตอร์รวม

2

กฎของการเคลื่อนที่

3

การถ่ายทอดเวกเตอร์โดยตรง

4

การถ่ายทอดเวกเตอร์ผ่านจุดศูนย์กลางวงโคจร

5

ระบบบังคับเคลื่อนที่โดยใช้การรวมเวกเตอร์

6

บทที่ 2 ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

10

โครงสร้างภายในของ MCS-51

11

การจัดขาต่างๆของ MCS-51

12

โครงสร้างของพอร์ตอินพุทเอาต์พุท

14

โครงสร้างของหน่วยความจำ

16

Reset Operation

22

บทที่ 3 DC Motor

24

ชนิดของมอเตอร์ดีซีบ่งตามลักษณะการกระตุ้น

24

แรงเคลื่อนไฟฟ้าย้อนกลับ

26

แรงดันระหว่างแปรงถ่านและแรงดันระหว่างขั้ว

28

แรงบิด

30

ความสามารถในการปรับกระแสได้เองตามโหลด

31

ความสามารถในการเร่งหรือหน่วงความเร็วรอบ

31

การเปลี่ยนทิศทางการหมุน

32

บทที่ 4 แบบจำลองรถที่ใช้ระบบบังคับเคลื่อนที่ 4 ล้อ IVMC

33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อ	หน้า
จุดประสงค์ของโครงการ	33
ลักษณะแนวคิดในการสร้าง	33
ข้อมูลทางเทคนิค	34
ส่วนประกอบของแต่ละลื้อ	35
Joystick	36
การออกแบบเซนเซอร์และหน้าสัมผัสต่างๆ	37
แนวคิดของ Tree code	38
การคำนวณขนาดและทิศทางของเวกเตอร์ผู้ลื้อแต่ละลื้อ	39
แผนผังการประมวลผลของโปรแกรม	40
หลักการออกแบบวงจร Drive Motor สำหรับการขับเคลื่อนและขับเคลื่อน	41
บทที่ 5 ผลการทดสอบและประเมินผล	43
ภาคผนวก	
กิตติกรรมประกาศ	

สารบัญรูปภาพ

รูปภาพ	หน้า
รูปที่ 1.1 ระบบบังคับเลี้ยวพื้นฐาน	2
รูปที่ 1.2 เวกเตอร์พื้นฐานของการเคลื่อนที่	3
รูปที่ 1.3 การคำนวณการถ่ายทอดเวกเตอร์โดยตรง	4
รูปที่ 1.4 การถ่ายทอดเวกเตอร์ผ่านจุดศูนย์กลางการเคลื่อนที่วิถีโค้ง	5
รูปที่ 1.5 ภาพจำลองการเลี้ยวในที่แคบและการกลับริด	6
รูปที่ 1.6 การรักษาทัศนขณะเปลี่ยนช่องทาง	7
รูปที่ 1.7 เทคนิคการใช้แรงต้านอากาศช่วยการทรงตัว	7
รูปที่ 1.8 การควบคุมที่ลื่นไหลออกจากโค้ง	8
รูปที่ 1.9 วิธีการเคลื่อนที่ของล้อที่เกิดแรงเสียดทานแนวขวาง	9
รูปที่ 2.2 (a) แสดงโครงสร้างภายในของ MCS-51	11
รูปที่ 2.2 (b) ตำแหน่งของรีจิสเตอร์ต่างๆ และหน่วยความจำภายใน	12
รูปที่ 2.3 การจัดวางขาของ 8051	12
รูปที่ 2.4 แสดงวงจร Clock แบบต่างๆ ที่ใช้กับ MCS-51	14
(a) Using the on-chip Oscillator	
(b) Using the External Clock	
รูปที่ 2.5 แสดงโครงสร้างของพอร์ตทั้ง 4 ของ MCS-51	16
(a) Port 0 Bit	
(b) Port 1 Bit	
(c) Port 2 Bit	
(d) Port 3 Bit	

รูปภาพ	หน้า
รูปที่ 2.6 ไคอะแกรมเวลาแสดงผังหน่วยความจำของเบอร์ 8051/8052	
(a) ผังหน่วยความจำสำหรับเก็บ โปรแกรมสำหรับเบอร์ 8051	17
(b) ผังหน่วยความจำสำหรับเก็บ โปรแกรมสำหรับเบอร์ 8052	17
(c) ผังหน่วยความจำสำหรับ Data ของเบอร์ 8051	17
(d) ผังหน่วยความจำสำหรับ Data ของเบอร์ 8052	18
รูปที่ 2.7 แสดง 128 ไบต์ของ Internal RAM และ SFRs	19
รูปที่ 3.1 กฎมือซ้าย	24
รูปที่ 3.2 มอเตอร์คอมปาวัตต์แบบคิวมูเลทิฟ	25
รูปที่ 3.3 มอเตอร์คอมปาวัตต์แบบคิฟเฟอเรนเชียล	25
รูปที่ 3.4 ทิศทางของแรงเคลื่อนไฟฟ้ากลับ	26
รูปที่ 3.5 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงเคลื่อนไฟฟ้ากลับในอาร์มาเจอร์	27
รูปที่ 3.6 แรงดันระหว่างแปรงถ่านและแรงดันระหว่างขั้วของมอเตอร์คอมปาวัตต์แบบสอง ข ขั้ว	28
รูปที่ 3.7 แรงดันระหว่างแปรงถ่านและแรงดันระหว่างขั้วของมอเตอร์คอมปาวัตต์แบบช็อต ชน ขั้ว	29
รูปที่ 3.8 โมเมนต์ซึ่งลวดตัวนำอาร์มาเจอร์กระทำรอบจุดศูนย์กลาง	30
รูปที่ 4.2 อธิบายส่วนประกอบของแต่ละล้อ	35
รูปที่ 4.3 IVMC Joystick	36
รูปที่ 4.4 วงจรของ sensor แต่ละบิต	37
รูปที่ 4.5 ลายรหัส Tree Code พื้นฐาน	38
รูปที่ 4.6 การแปลง Tree Code เป็น Binary	39
รูปที่ 4.7 การกระจายเวกเตอร์สี่ล้อทั้ง 4	39
รูปที่ 4.8 แผนผังการทำงานของโปรแกรมส่วนที่ทำงานเป็นลูป	40
รูปที่ 4.9 วงจรไครฟ์มอเตอร์ขับเคลื่อนและเลี้ยวกระแสตรง	41
รูปที่ 5.1 การอ่าน Tree – Code	45

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
ตาราง 2.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 ของบริษัทอินเทล	11
ตาราง 2.8 แสดงบิตและหน้าที่ต่างๆใน PSW	20
ตาราง 4.1 ข้อมูลทางกายภาพของแบบจำลอง	34
ตาราง 4.10 แสดงสถานะทางลอจิกของมอเตอร์	42
ตาราง 5.1 ผลการตอบสนองของรถต่อการควบคุมด้วย Joystick	45
ตาราง 5.2 การทดลองวัดค่ามุมล้อที่ได้จริงเปรียบเทียบกับมุมที่คำนวณได้	47



บทนำ

สังคมโลกยุคปัจจุบันเต็มไปด้วยการแข่งขันและสร้างสรรค์เทคโนโลยี สิ่งที่สำคัญมากต่อการพัฒนาคุณภาพชีวิตคือการก้าวทันเทคโนโลยีและใช้เทคโนโลยีอย่างมีจิตสำนึก ยิ่งถ้าต้องการให้ความคิดสร้างสรรค์ผลักดันให้ประเทศก้าวหน้าอย่างมีประสิทธิภาพก็จำเป็นต้องมีการสนับสนุนและยอมรับในความคิดใหม่ๆ

ก่อนจะศึกษารายละเอียดของปริญญาโทฉบับนี้ โปรดทำความเข้าใจกับแนวคิดที่สำคัญอย่างมาก 4 ข้อ เพื่อท่านจะได้มองเห็นกระจ่างในสิ่งที่ผู้จัดทำต้องการจะสื่อให้เห็น

1. **โลกหมุนได้ด้วยการปฏิบัติ** – ทฤษฎีและแนวคิดอันน่าทึ่งที่มีผู้คิดค้นขึ้นมา ไม่จำกัดเฉพาะทางวิทยาศาสตร์ หากไม่มีผู้นำไปประยุกต์ใช้ก็เป็นสิ่งไร้ค่า ดังนั้นจึงถือว่าผู้ที่นำทฤษฎีไปปฏิบัติคือผู้สร้างสรรค์อย่างแท้จริงและย่อมมีความเข้าใจอย่างลึกซึ้งในทฤษฎีนั้นๆอย่างไม่ต้องสงสัย

2. **สิ่งใหม่ก็คือสิ่งใหม่** – อย่าประเมินกรอบความรู้ของผู้นำเสนอไว้เพียงแค่สิ่งที่เคยเห็นเพราะแนวคิดใหม่เกิดขึ้นได้ทุกที่ทุกเวลาและเกิดได้กับทุกคน

3. **ทฤษฎีหนึ่งอาจมีผู้ค้นพบหลายคน** ต่างเวลาและต่างมุมมอง – สมอของมนุษย์ที่เกิดในยุคนี้มีศักยภาพที่จะคิดค้นและค้นพบทฤษฎีต่างๆได้ด้วยตนเอง เช่นเดียวกับนักวิทยาศาสตร์ในยุคก่อนและไม่จำกัดว่าจะต้องมีค่านิยมที่เหมือนกันในทุกอย่างเพราะมนุษย์ทุกคนมีสมอเป็นของตนเอง จึงมีสิทธิที่จะเสนอแนวคิดต่างๆที่ค้นพบเองในมุมมองที่แตกต่าง

4. **วงษ์ภาษาไม่อาจสื่อความหมายได้ทุกอย่าง** - เนื่องจากภาษาพูดและตัวอักษรไม่ใช่ภาษาพื้นฐานตามสัญชาตญาณของมนุษย์บางครั้งไม่สามารถสื่ออย่างชัดเจน กระชับและตรงประเด็นได้ ปริญญาโทฉบับนี้จะไม่นำให้ยึดติดกับนิยามที่เป็นตัวอักษรหรือคำพูด ผู้จัดทำจึงขอมุ่งเน้นไปที่การดูและพิจารณาภาพประกอบควบคู่ไปด้วยเพื่อความเข้าใจที่ดีขึ้น แนวคิดข้อนี้น่าจะเป็นมาตรฐานของการศึกษาและทดสอบความรู้ทุกระดับในอนาคต

หากท่านเห็นด้วยกับแนวคิดที่กล่าวมานี้ ผู้จัดทำเชื่อว่าท่านจะได้รับประโยชน์สูงสุดจากการศึกษาโครงการนี้

ขอบพระคุณในความเข้าใจ

ผู้จัดทำและนำเสนอผลงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

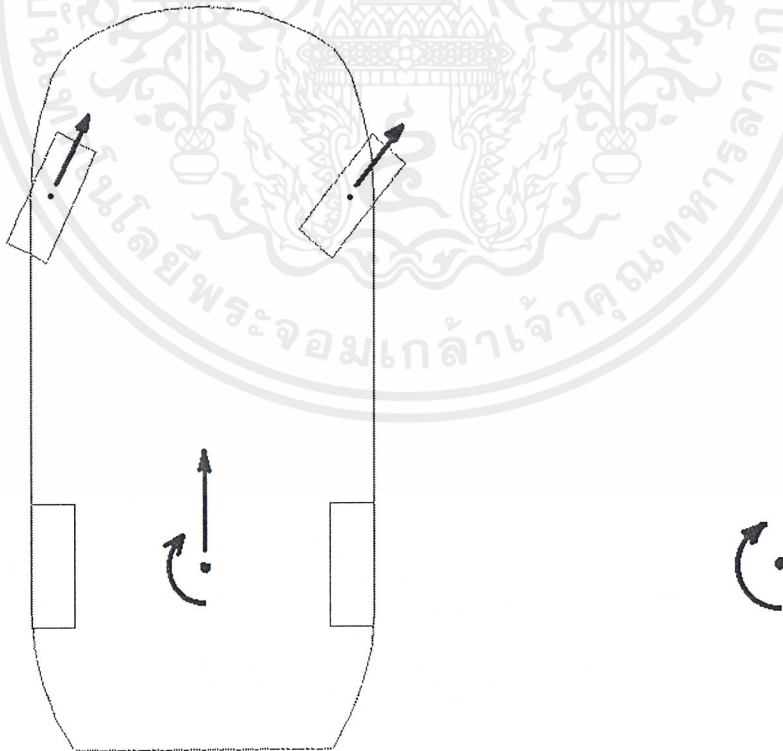
บทที่ 1

ระบบบังคับควบคุมการเคลื่อนที่โดยใช้เวกเตอร์รวม

Integrated Vector Motion Control System; IVMC

วิวัฒนาการของการควบคุมบังคับยานยนต์ มีมาตั้งแต่ยุคที่มนุษย์รู้จักใช้วัสดุกลมเช่นท่อนไม้ ก้อนหินมารองรับวัตถุที่ต้องการจะเคลื่อนย้าย รถยนต์คันแรกถูกประดิษฐ์ขึ้นในโลกโดยใช้ระบบบังคับเลี้ยวแบบง่าย ๆ แต่ทรงประสิทธิภาพตามหลักพลศาสตร์การเคลื่อนที่(Kinematics)

ระบบบังคับเลี้ยวของรถยนต์มีการเปลี่ยนแปลงในหลายด้านตามยุคสมัย มีเทคนิคต่างๆที่มีผู้สร้างสรรค์ดัดแปลงใช้ เช่น การปรับมุม Toe, Camber, Caster เพื่อรักษาสมดุลของการขับขี่ในสถานะต่างๆ ไปจนถึงการพัฒนาาระบบบังคับเลี้ยว 4 ล้อ (4-wheel steering; 4WS) ควบคู่ไปกับการพัฒนาระบบกันสะเทือนและช่วงล่าง แต่อย่างไรก็ตามล้อทุกล้อต้องอยู่ภายใต้กฎของการเคลื่อนที่ ดังนั้นการบังคับควบคุมที่แม่นยำและทรงประสิทธิภาพที่สุด ล้อทุกล้อต้องเคลื่อนที่เป็นแนวเดียว (Proportional) กับทิศทางที่หันไป และสัมผัสกับพื้นถนนอย่างสมบูรณ์แบบเป็นเรียงของระบบช่วงล่าง) นี่คือหลักการของ IVMC มาตรฐานการบังคับควบคุมทิศทางที่ควรจะเป็น

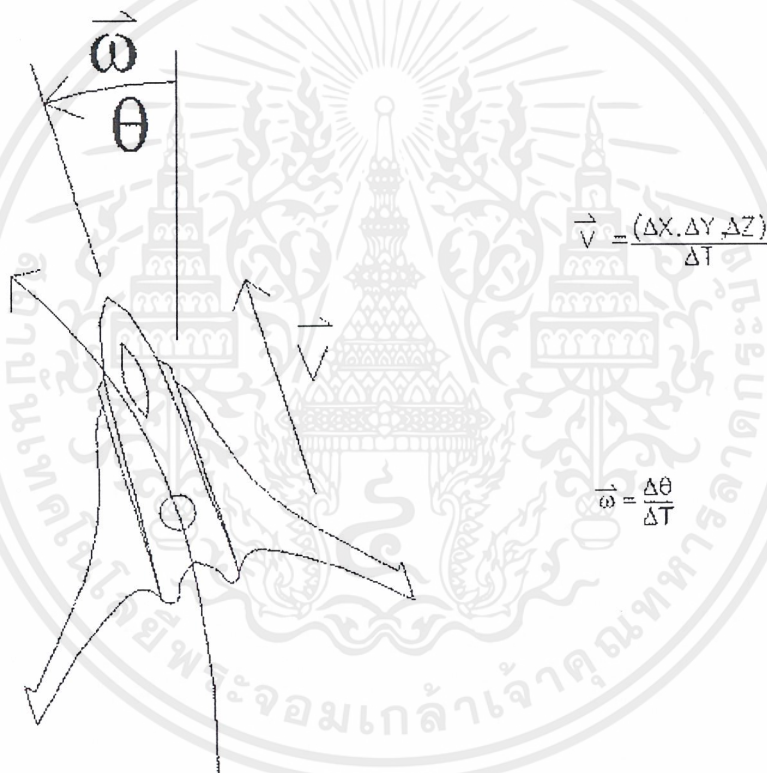


รูปที่ 1.1 ระบบบังคับเลี้ยวพื้นฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กฎของการเคลื่อนที่

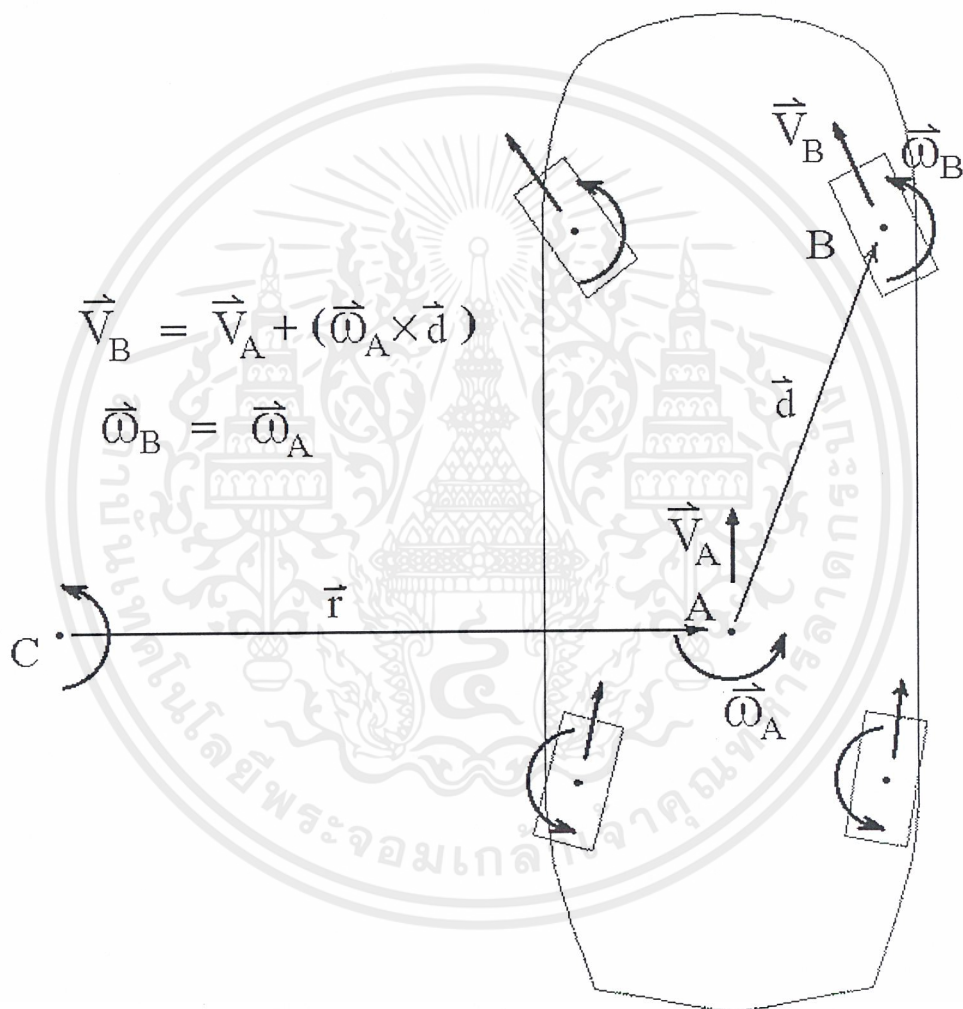
วัตถุทุกชนิดในเอกภพ (Space) หรือระนาบ (Plain) จะมีเวกเตอร์ของความเร็วเชิงเส้นขณะนั้น (Instant Linear Velocity) และความเร็วจเชิงมุม(การหมุน)ขณะนั้น (Instant Angular Velocity) บอกลักษณะการเคลื่อนที่ สองปริมาณนี้เป็นอิสระต่อกันและเป็นองค์ประกอบพื้นฐานขั้นที่หนึ่ง (First-order fundamental vectors) ของการเคลื่อนที่ เมื่อกำหนดให้ X, Y, Z เป็นพิกัดของวัตถุ T คือเวลา และ θ คือมุมที่อ้างอิงทิศทางของวัตถุ(ไม่ใช่ทิศทางของความเร็ว) เราสามารถอธิบายกฎของการเคลื่อนที่เป็นสมการและรูปได้ดังนี้



รูปที่ 1.2 เวกเตอร์พื้นฐานของการเคลื่อนที่

เมื่อพิจารณาวัตถุแข็งชิ้นเดียว (Rigid body) ที่เคลื่อนที่ในเอกภพหรือระนาบ ทุกอนุภาคของวัตถุนั้นจะมีเวกเตอร์การเคลื่อนที่สัมพันธ์กันโดยตรงตามหลักการถ่ายทอดเวกเตอร์บนวัตถุเดียวกัน ซึ่งมีวิธีง่ายๆ 2 วิธี คือ การถ่ายทอดโดยตรง (Direct redistribution) และการถ่ายทอดโดยอ้อมผ่านจุดศูนย์กลางการโคจร สามารถอธิบายได้ดังต่อไปนี้

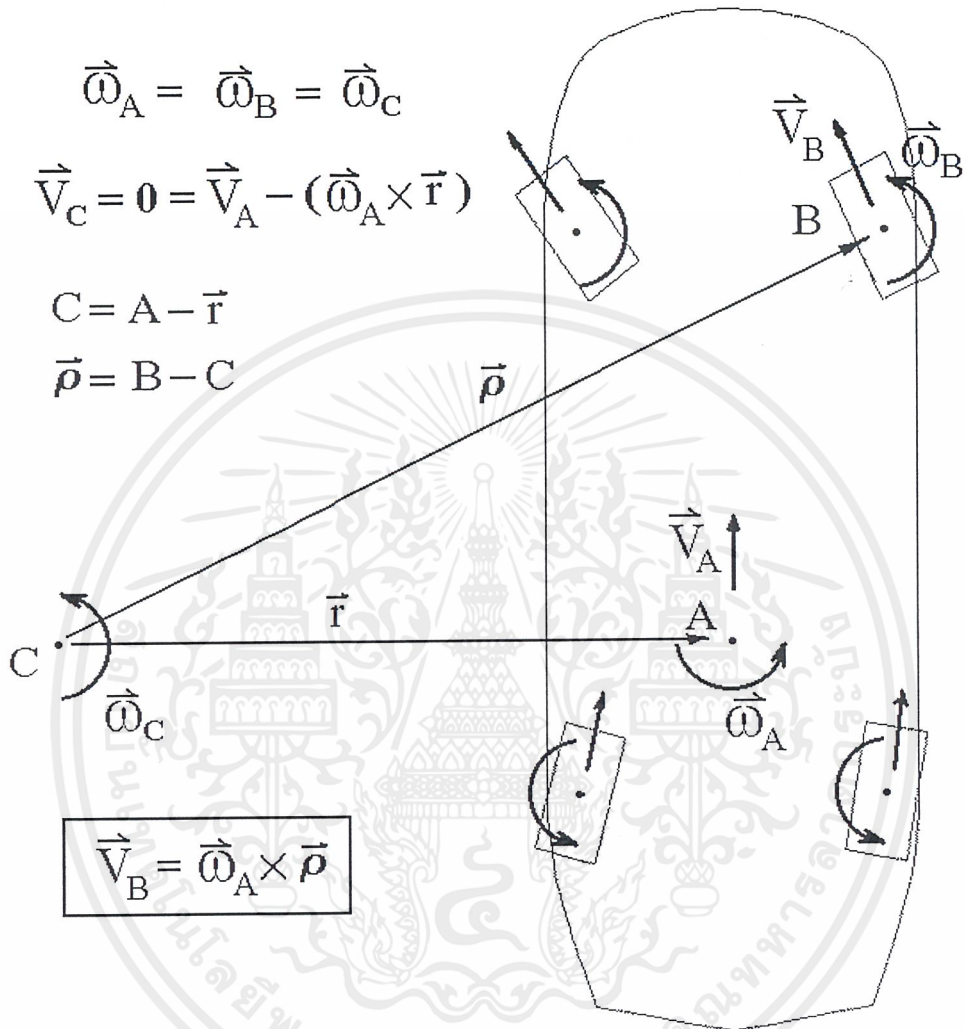
1. การถ่ายทอดเวกเตอร์โดยตรง(วิธีนี้ใช้ได้ทุกกรณี)



รูปที่ 1.3 การคำนวณการถ่ายทอดเวกเตอร์โดยตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การถ่ายทอดเวกเตอร์ผ่านจุดศูนย์กลางวงโคจร - วิธีนี้ประยุกต์มาจากวิธีแรก(ใช้ไม่ได้กับการเคลื่อนที่แนวตรง)



รูปที่ 1.4 การถ่ายทอดเวกเตอร์ผ่านจุดศูนย์กลางการเคลื่อนที่วิถีโค้ง

เมื่อเข้าใจกฎของการเคลื่อนที่แล้วก็สามารถคำนวณมุมล้อทุกล้อของรถยนต์ได้ตามทิศทางที่ต้องการ นี่คือหัวใจสำคัญของระบบควบคุมการเคลื่อนที่ IVMC ซึ่งจะกล่าวถึงคุณสมบัติในหัวข้อต่อไป

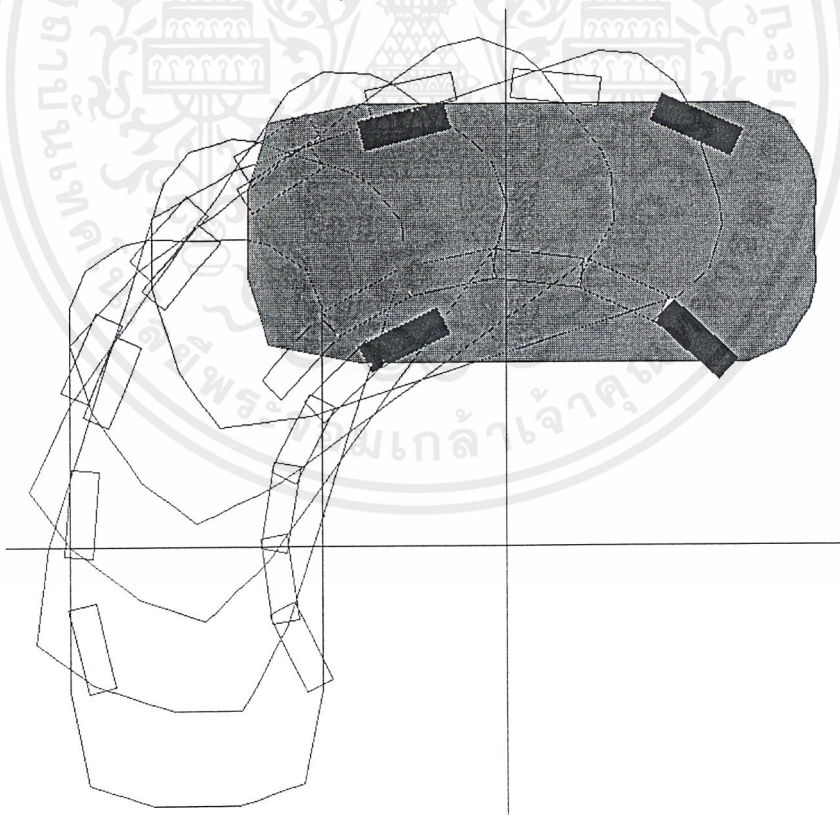
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบบังคับเลี้ยวสี่ล้อโดยใช้การรวมเวกเตอร์

(Four-wheel steering Integrated Vector Motion Control system; 4WS-IVMC)

รถยนต์โดยทั่วไปมี 4 ล้อเพราะมีความสะดวกด้านการจัดวางตำแหน่งห้องโดยสาร เครื่องยนต์ ฯลฯ รวมทั้งการทรงตัว การควบคุม และการดูแลรักษา เมื่อต้องการออกแบบรถยนต์ให้เคลื่อนที่ได้ไม่จำกัดทิศทาง จึงต้องใช้ล้อที่สามารถหมุนเลี้ยวได้อิสระรอบทิศทาง และมุมการเลี้ยวต้องแม่นยำจับไว เพื่อการบังคับควบคุมที่ต่อเนื่อง นุ่มนวล เป็นธรรมชาติ และมีประสิทธิภาพ ระบบ IVMC จึงถูกคิดค้นขึ้นมาเพื่อสนองต่อความต้องการดังกล่าว ต่อไปจะกล่าวถึงเป้าหมายของการพัฒนาระบบ 4WS-IVMC สู่ท้องถนนและงานเฉพาะทางต่างๆ โดยมุ่งเน้นที่การประยุกต์ใช้ในรถยนต์เป็นหลัก เพื่อให้รถยนต์มีสมรรถนะสูงขึ้นดังรายละเอียดต่อไปนี้

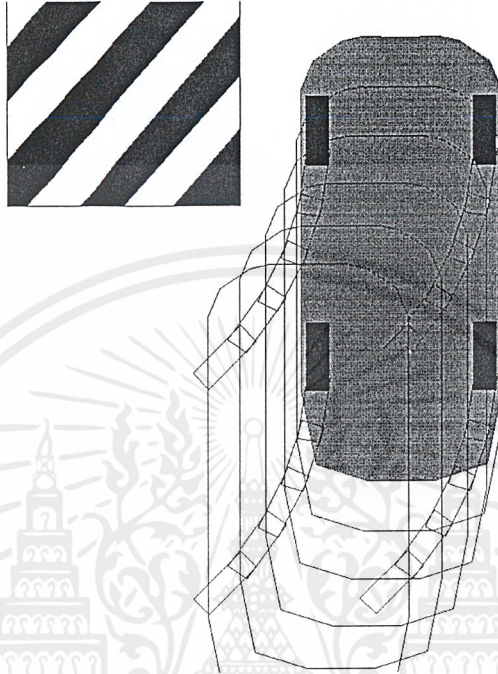
1. รัศมีวงเลี้ยวแคบลง – สามารถกลับรถได้ในที่แคบ การหลบหลีกสิ่งกีดขวางก็คล่องตัวขึ้น เพราะผู้ขับขี่สามารถบังคับเลี้ยวรถได้ทั้งสี่ล้อโดยตรง การหมุนรอบตัวเองก็สามารถทำได้ในบางกรณีขึ้นอยู่กับข้อจำกัดของกลไกการควบคุม



รูปที่ 1.5 ภาพจำลองการเลี้ยวในที่แคบและการกลับรถ

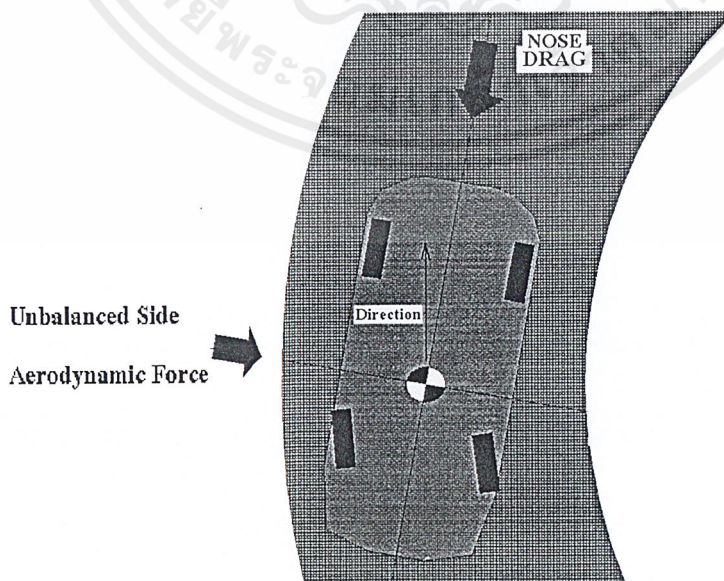
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. รักษาทัศนวิสัย – การเปลี่ยนช่องทางอย่างฉับพลันหรือการขึ้นจากขอบทาง ผู้ขับขี่สามารถรักษาทิศทางรถให้อยู่ในแนวตรงได้ตามต้องการ ทำให้มองเห็นช่องทางได้ชัดเจนตลอดทั้งด้านหน้าด้านหลัง โดยไม่ต้องสูญเสียตำแหน่งในการควบคุมอันอาจทำให้เสียทัศนวิสัยโดยรวม



รูปที่ 1.6 การรักษาทัศนวิสัยขณะเปลี่ยนช่องทาง

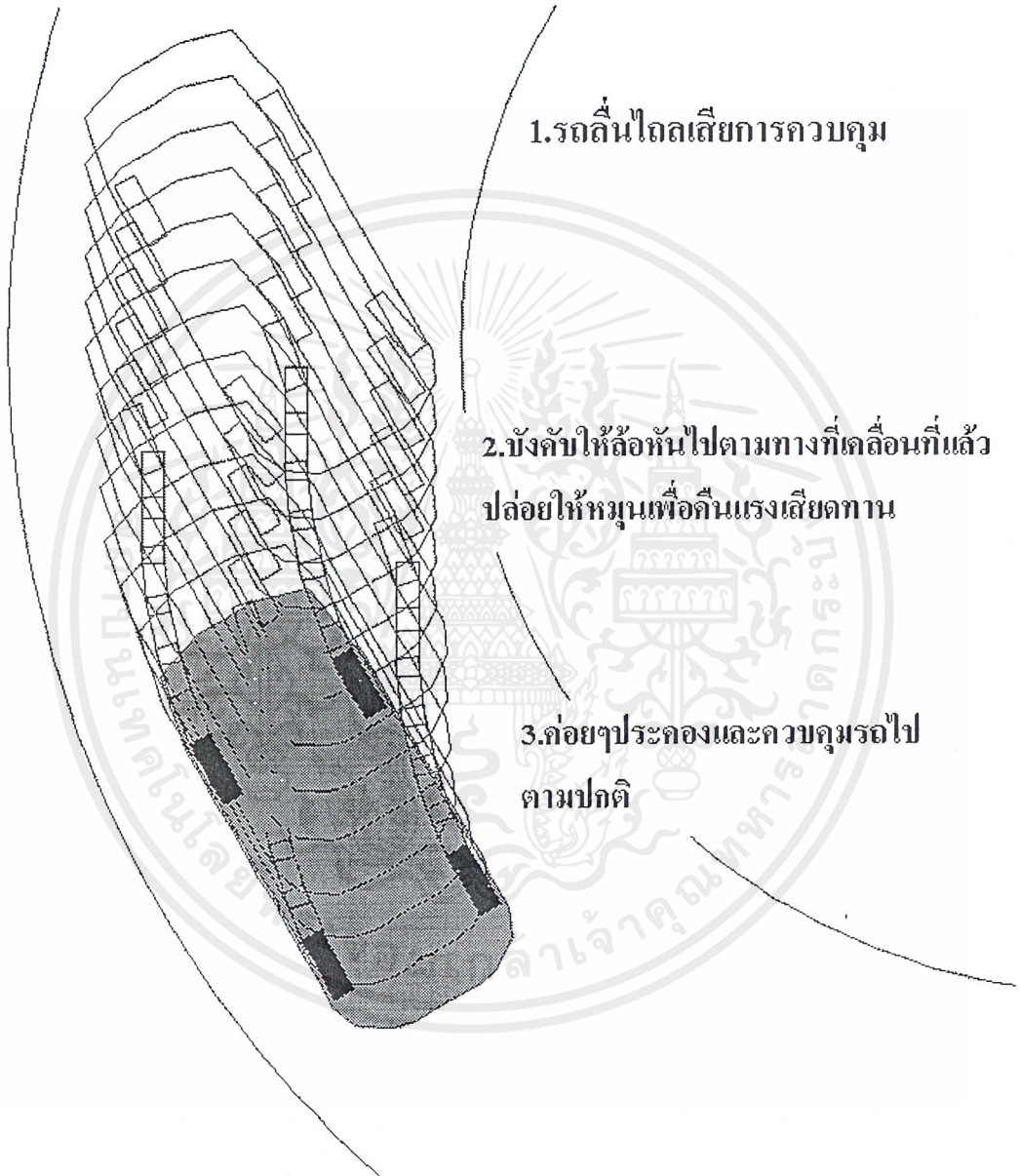
3. เพิ่มความมั่นคงในการควบคุมรถที่ความเร็วสูง – โดยเฉพาะการเลี้ยวโค้งโดยอาศัยแรงดันอากาศด้านข้าง(Unbalanced Side Aerodynamic Force) หักล้างแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางและรักษาการทรงตัว



รูปที่ 1.7 เทคนิคการใช้แรงดันอากาศช่วยการทรงตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

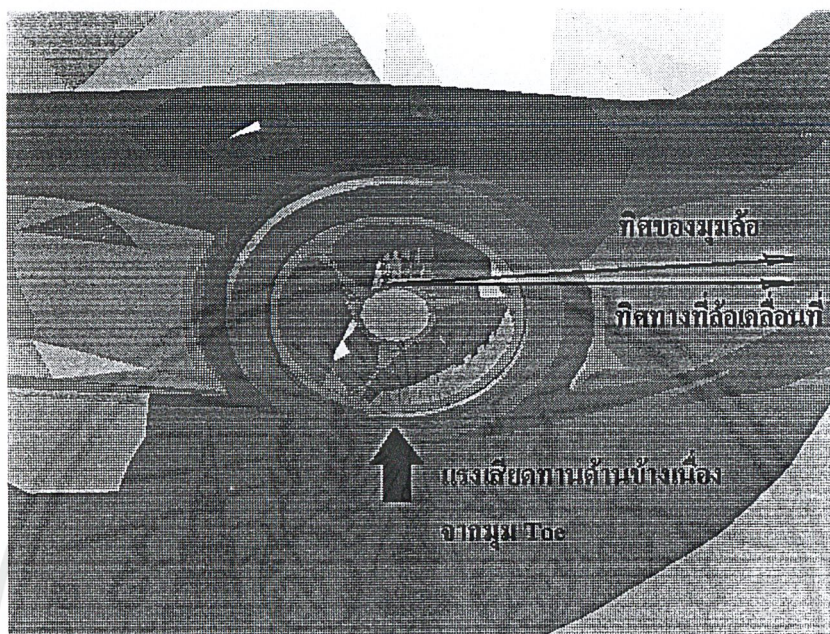
4. การแก้สถานการณ์ที่ล้อเสียแรงเสียดทาน (Slip Recovery) สามารถทำได้เร็วขึ้นทั้งสี่ล้อ – โดยการหันล้อทุกล้อไปตามทางที่ลื่นไถลแล้วปล่อยให้ล้อเป็นอิสระได้แรงเสียดทานกลับคืนมาทั้งสี่ล้อแล้วจึงบังคับทิศทางต่อตามปกติ Slip Recovery ของรถยนต์ที่บังคับเลี้ยวสี่ล้อ จึงทำได้ดีกว่าแบบที่เลี้ยวสองล้อหน้าซึ่งสองล้อหลังจะคืนแรงเสียดทานช้ากว่าล้อคู่หน้า



รูปที่ 1.8 การควบคุมรถที่ลื่นไถลออกจากโค้ง

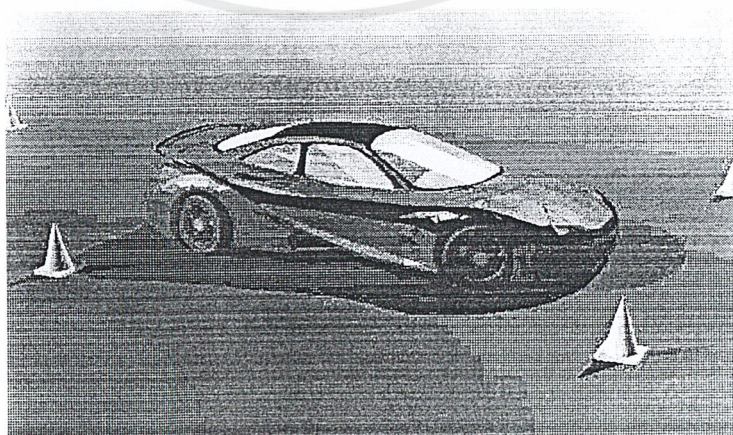
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ยึดอายุยางล้อและประหยัดพลังงาน – มุมล้อทุกล้อตรงกับทิศทางที่เคลื่อนที่ไป ลดการสึกหรอเนื่องจากแรงเสียดทานที่เกิดจากการขัดกันของทิศทางล้อที่มี Toe angle ซึ่งทำให้สูญเสียกำลังงานบางส่วนไปกับแรงเสียดทานแนวขวางนี้



รูปที่ 1.9 วิธีการเคลื่อนที่ของล้อที่เกิดแรงเสียดทานแนวขวาง

นอกจากนี้ยังมีข้อดีอีกหลายข้อที่เป็นเป้าหมายของการพัฒนาระบบ IVMC ผู้การใช้งานจริง รวมทั้งช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของระบบรักษาเสถียรภาพต่างๆ เช่น Anti-lock Braking System (ABS), Active Stability Control + Traction Control (ASC+T)** ให้ทำงานได้สมบูรณ์แบบยิ่งขึ้น ขั้นแรกของการพัฒนาเทคโนโลยีระบบบังคับเลี้ยว IVMC ก็คือการสร้างแบบจำลองที่ควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งจะกล่าวถึงรายละเอียดในบทต่อไป



**เทคโนโลยีของ BMW

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

ไมโครคอนโทรลเลอร์แบบชิพเดี่ยวตระกูล MCS-51 มีด้วยกันหลายเบอร์ขึ้นกับโครงสร้างภายในของมัน บางเบอร์จะมีหน่วยความจำเป็นแบบ ROM บางเบอร์เป็นแบบ EPROM บางเบอร์มี RAM ภายใน 128 ไบต์ บางเบอร์มี 256 ไบต์ เป็นต้น ซึ่งรายละเอียดจะศึกษาได้จากคู่มือของไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์นั้นๆ ได้โดยตรง และลักษณะของขาต่างๆจะเหมือนกัน คุณสมบัติที่สำคัญของ MCS-51 มีดังนี้

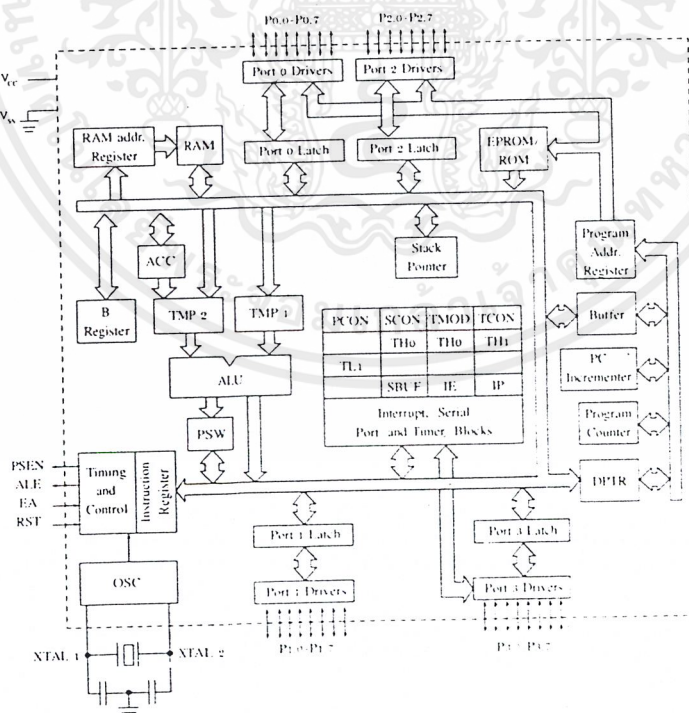
- ต้องการแหล่งจ่ายไฟ +5V ชุดเดียว
- มีหน่วยความจำโปรแกรม (Program Memory) หรือ ROM ขนาด 4 กิโลไบต์ สำหรับเบอร์ 8051 สำหรับเบอร์ 8052 มี 8 กิโลไบต์
- มีหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูล (Data Memory) หรือ RAM ขนาด 128 ไบต์ สำหรับเบอร์ 8052 ขึ้นไปมีถึง 256 กิโลไบต์
- มีพอร์ต I/O ขนาด 8 บิต 4 พอร์ต
- มี Timer ,Counter ขนาด 16 บิต 2 ชุด (สำหรับ 8052 มี 3 ชุด) ทำงานได้ 4 โหมด
- รับอินเตอร์รัพท์ได้ 5 แหล่ง 5 เวกเตอร์ สำหรับเบอร์ 8052 ขึ้นไปมี 8 แหล่ง 6 เวกเตอร์
- มีวงจรรอสซิงเกิลเดเตอร์และวงจรรนาฬิกาบนชิพ
- มีพอร์ตรับส่งข้อมูลอนุกรม(UART) 2 พอร์ต แบบ Full Duplex โดยสามารถเลือกรูปแบบได้ 4 โหมด
- อ้างหน่วยความจำโปรแกรมภายนอกได้ 64 K
- อ้างหน่วยความจำข้อมูลภายนอกได้ 64K
- สามารถประมวลผลทีละบิตได้
- สามารถอ้างหน่วยความจำแบบบิตได้ 210 ตำแหน่ง
- หนึ่งวัฏจักรคำสั่งกินเวลาประมาณ 1 ไมโครวินาที ขณะทำงานด้วย Clock 12 MHz

ตารางที่ 2.1 แสดงไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 ของบริษัทอินเทล

Device	ROMless Version	EPROM Version	ROM Bytes	RAM Bytes	8-Bit IO Ports	16-Bit Timer/Counters	Programmable Counter Array (PCA)	UART	Serial Expansion Port (SEP)	Global Serial Channel (GSC)	DMA Channels	A/D Channels	Interrupt Sources Vectors	Power Down and Idle Modes
8051	8031	-	4K	128	4	2		✓					6/5	
8061AH	8031AH	8751H 8751BH	4K	128	4	2		✓					6/5	
8052AH	8032AH	8752BH	8K	256	4	3		✓					8/8	
80C51BH	80C31BH	87C51	4K	128	4	2		✓					6/5	✓
80C52	80C32	-	8K	256	4	3		✓					8/8	✓
83C51FA	80C51FA	87C51FA	8K	256	4	3	✓	✓					14/7	✓
83C51FB	80C51FB	87C51FB	16K	256	4	3	✓	✓					14/7	✓
83C152JA	80C152JA	-	8K	256	5	2		✓		✓	2		19/11	✓
-	80C152JB	-	-	256	7	2		✓		✓	2		19/11	✓
83C152JC	80C152JC	-	8K	256	5	2		✓		✓	2		19/11	✓
-	80C152JD	-	-	256	7	2		✓		✓	2		19/11	✓
83C452	80C452	87C452P	8K	256	5	2		✓					9/8	✓

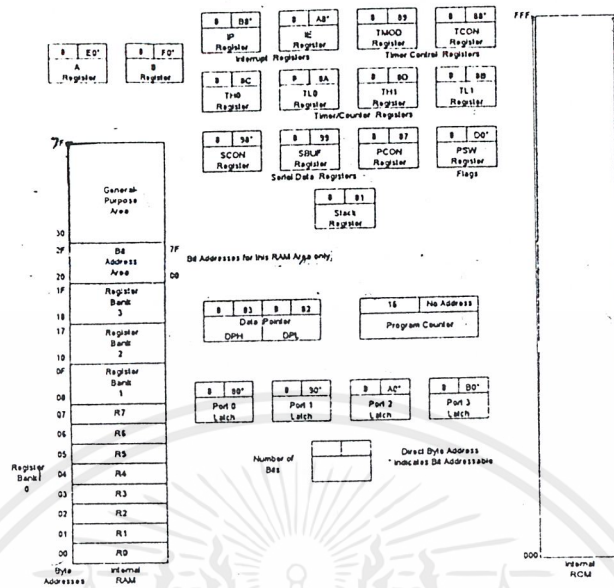
โครงสร้างภายในของ MCS-51

MCS-51 ใช้เทคโนโลยีในการผลิตแบบ NMOS และ CMOS ซึ่งช่วยให้ประหยัดพลังงาน เบอร์ 8032 และ 8052 จะมี ROM BASIC อยู่ภายในจึงสะดวกสำหรับโปรแกรมเมอร์ที่จะเขียนโปรแกรมด้วยภาษาเบสิก โครงสร้างภายในสำหรับเบอร์ 8051 แสดงดังในรูป 2.2(a) และ 2.2(b)



รูปที่ 2.2 (a) แสดงโครงสร้างภายในของ MCS-51

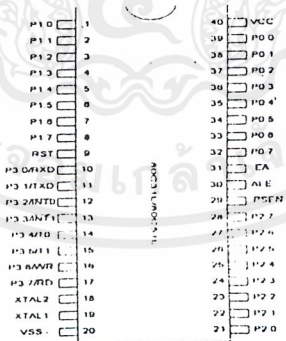
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 (b) ตำแหน่งของรีจิสเตอร์ต่างๆ และหน่วยความจำภายใน

การจัดขาต่างๆ ของ MCS-51

IC ไมโครคอนโทรลเลอร์ 8051 มีโครงสร้างเป็นแบบ DIP มีขาทั้งหมด 40 ขา โดยขาต่างๆ จะใช้เป็นขาพอร์ตอินพุท, เอาต์พุท, ขาสัญญาณควบคุม, ขาตำแหน่งหน่วยความจำ และขาของข้อมูล ดังรูป



รูปที่ 2.3 การจัดวางขาของ 8051

ความหมายของขาต่างๆมีดังนี้

1. พอร์ต 0 (Port 0) พอร์ต 0 ได้แก่ ขาที่ 32-39 สามารถใช้เป็น อินพุท เอาต์พุทได้ นอกจากนี้ในการติดต่อกับหน่วยความจำภายนอกยังใช้เป็นขา Address Bus และ Data Bus อีกด้วย

2. พอร์ต 1 (Port 1) พอร์ต 1 ได้แก่ขาที่ 1-8 เป็นพอร์ต 8 บิต สามารถอ้างอิงทีละบิตได้ คือ P1.0, P1.1, ...etc
3. พอร์ต 2 (Port 2) พอร์ต 2 ได้แก่ขาที่ 21-28 จะใช้ในงาน 2 หน้าที คือใช้เป็นพอร์ต 8 บิต กับใช้เป็นขา Address 8 บิต
4. พอร์ต 3 (Port 3) พอร์ต 3 ได้แก่ขาที่ 10-17 จะใช้งานสองหน้าที่คือ เป็นพอร์ต อินพุต และ เอาต์พุต และใช้เป็นขาควบคุมต่างๆ ดังจะได้กล่าวต่อไป
5. $\overline{\text{PSEN}}$ (Program Store Enable)

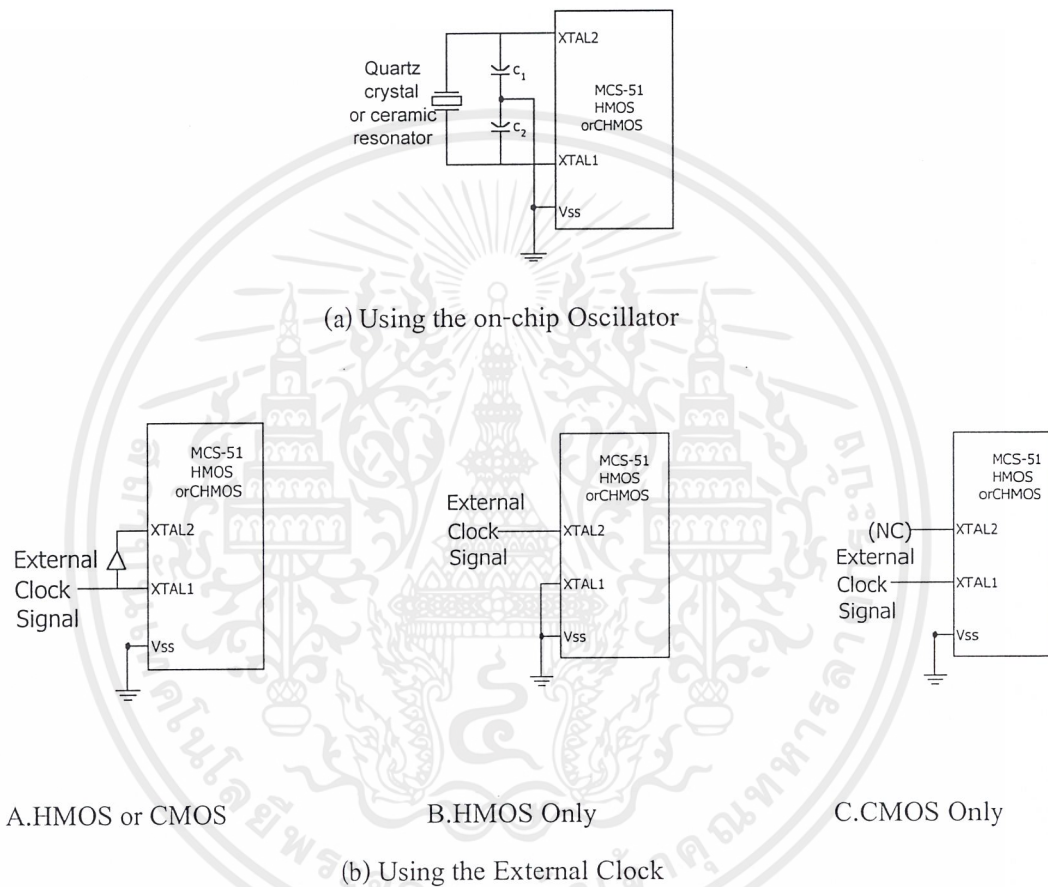
ขา $\overline{\text{PSEN}}$ เป็นขาที่ส่งสัญญาณออก คือขา 29 ขานี้จะแอกทีฟเมื่อ MCS-51 ต้องการอ่าน Code โปรแกรมภายนอก โดยปกติถ้าหน่วยความจำโปรแกรมภายนอก เป็น EPROM ขา $\overline{\text{PSEN}}$ จะต่อกับขา Output Enable ($\overline{\text{OE}}$) ของ EPROM
6. ALE (Address Latch Enable)

เนื่องจากพอร์ต 0 สามารถใช้เป็นขาอ้างอิงตำแหน่ง และขาข้อมูล MCS-51 จะมีขา ALE ได้ แก่ขา 30 ขานี้จะใช้ Multiplex สัญญาณ Address Bus ของพอร์ต 0 ในการใช้งานระบบ MCS-51 นั้นจะต้องมีอุปกรณ์มาต่อกับพอร์ต 0 ที่ทำหน้าที่ Latch สัญญาณ Address Bus เมื่อ MCS-51 ต้องการติดต่อกับหน่วยความจำภายนอก MCS-51 จะส่งสัญญาณ Address Bus ออกมาทางพอร์ต 0 จากนั้นจะส่งสัญญาณ ALE มา Latch อุปกรณ์ภายนอก ให้เก็บค่า Address Bus ของ Port 0 ไว้เพื่อ ใช้ Port 0 เป็น Data Bus ต่อไป
7. $\overline{\text{EA}}$ (External Access)

ขา $\overline{\text{EA}}$ ได้แก่ขาที่ 31 ถ้าขานี้เป็นลอจิก “1” จะใช้กับเบอร์ 8051/8052 เพื่อบอกว่าให้อ่าน โปรแกรมจากหน่วยความจำโปรแกรมภายใน แต่ถ้าเป็นลอจิก “0” จะบอกให้ MCS-51 ทำ โปรแกรมโดยอ่านจากหน่วยความจำโปรแกรมภายนอก (ถ้าขา $\overline{\text{EA}}$ เป็น 0 ขา $\overline{\text{PSEN}}$ จะแอกทีฟ) ถ้า หากเป็นเบอร์ 8031/8032 ขา EA จะเป็น “0” เสมอ เพราะ ว่าไม่มีหน่วยความจำโปรแกรมภายในแต่ ถ้าใช้เบอร์ 8051/8052 ซึ่งมีหน่วยความจำโปรแกรมภายใน และให้ขา $\overline{\text{EA}}$ เป็น “0” ซึ่งจะ Disable ROM ภายในและจะอ่านโปรแกรมจาก EPROM ภายนอกแทน
8. RST (Reset)

ขา RST ได้แก่ขา 9 จะใช้ในการ Reset MCS-51 โดยจะให้ขานี้เป็นลอจิก “1” อย่างน้อย 2 Machine Cycles จึงจะ Reset ได้
9. วงจร Clock ของ MCS-51

การต่อมีด้วยกัน 2รูปแบบคือใช้ Clock ภายใน และClock จากภายนอก สำหรับการต่อโดยใช้ Clock ภายในจะใช้วงจร Oscillator บนชิพ ได้แก่ขา 18-19 โดยต่อCrystal เข้ากับขานี้ โดยปกติมักจะใช้ Crystal ความถี่ 12 MHz กับตัวเก็บประจุ ส่วนการต่อแบบใช้ Clockภายนอกจะใช้สัญญาณนาฬิกาจาก TTL Clock Source ต่อกับ XTAL1 และ XTAL2 ดังรูปที่ 2.4 (a) และ (b)



รูปที่ 2.4 แสดงวงจร Clock แบบต่างๆที่ใช้กับ MCS-51

10. Power Connections

ใน MCS-51 จะใช้แหล่งจ่ายไฟ +5V ต่อเข้ากับขา Vcc(ขา 40) ส่วนขา Vss (ขา 20)จะต้องลง Ground

โครงสร้างของพอร์ทอินพุทเอาต์พุท(I/O Port structure)

-พอร์ท 0 (ขา 32-39) มีทั้งหมด 8 บิต คือ(P0.0-P0.7)ใช้งานได้ 2 หน้าทีคือ Address Bus และ Data Bus เมื่อต้องการติดต่อกับหน่วยความจำโปรแกรมภายนอก หรือ I/O Port ถ้าต้องการให้ทำงานเป็นอินพุทพอร์ทต้องส่งลอจิก “1” ไปยังพอร์ทนี้ จะมีผลให้ Q ของ D=FF เป็น “0” ทำให้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FET ตัวล่างมีสถานะ off สัญญาณที่ใช้อ่านอินพุทพอร์ทเลขที่โดยส่งสัญญาณ READ LATCH ไปกระตุ้นที่ Tri-State Buffer ตัวบนและการอ่าน Port(Pin) จะใช้สัญญาณ Read(Pin) โดยแสดงโครงสร้างภายในไว้ในรูปที่ 2.5 (a)

-พอร์ท 1 (ขา 1-8) มีทั้งหมด 8 บิต คือ(P1.0-P1.7) มีโครงสร้างคล้ายพอร์ท 0 แต่จะใช้ความต้านทานภายในพูลอัพแทน (Internal Pull Up Register) มีโครงสร้างดังรูป 2.5 (b)

-พอร์ท 2 (ขา 21-28) มีทั้งหมด 8 บิต คือ (P2.0-P2.7) มีโครงสร้างคล้ายพอร์ท 0 โดยมี FET ดังล่าง ดังเดียว ส่วนด้านบนใช้ความต้านทานพูลอัพแทน (Internal Pull Up)พอร์ทนี้ทำงานสองหน้าที่คือ สามารถใช้เป็น Address Bus ขนาด 8 บิต (A15-A8)และเป็น I/O Port ใช้งานทั่วไป เมื่อจะใช้งานเป็นพอร์ทอินพุทต้องส่งลอจิก “1” มาที่พอร์ทนี้ก่อน เพื่อบังคับให้ FET อยู่ในสถานะ Off ดังแสดงในรูป 2.5 (c)

-พอร์ท 3 (ขา 10-17) มีทั้งหมด 8 บิต คือขา P3.7-P3.0 มีโครงสร้างคล้ายพอร์ท 1 ทำงานได้ 2 หน้าที่ คือเป็น I/O Port ถ้าจะโปรแกรมให้เป็นอินพุทพอร์ทต้องส่งลอจิก “1” มาที่พอร์ทนี้ก่อน และอีกหน้าที่หนึ่งก็คือใช้ส่งสัญญาณควบคุมออกมา และรับสัญญาณเข้าไป สัญญาณต่างๆมีดังนี้

P3.0/RXD (Serial Input Port) เป็นขาที่ใช้รับข้อมูลแบบอนุกรม(UART)

P3.1/TXD(Serial Out Port) เป็นขาที่ใช้ส่งข้อมูลแบบอนุกรม(UART)

P3.2/INT0(External Interrupt 0) ใช้รับสัญญาณการขัดจังหวะจากภายนอกเบอร์ 0

P3.3/INT1(External Interrupt 1) ใช้รับสัญญาณการขัดจังหวะจากภายนอกเบอร์ 1

P3.4/T0(Counter 0 External Input) ขารับสัญญาณพัลส์อินพุทเข้าไปยังวงจร Counter 0

P3.5/T1(Counter 1 External Input) ขารับสัญญาณพัลส์อินพุทเข้าไปยังวงจร Counter 1

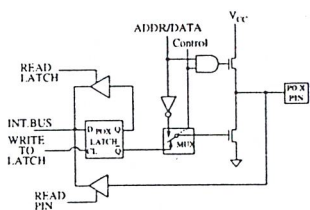
P3.6/ \overline{WR} (External Data Memory Write Strobe) ขาสัญญาณควบคุมการเขียนข้อมูลลง

หน่วยความจำข้อมูลภายนอก

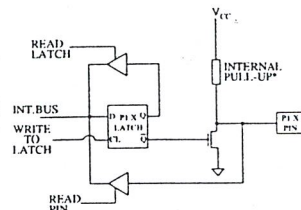
P3.7/ \overline{RD} (External Data Memory Read Strobe) ขาสัญญาณควบคุมการอ่านข้อมูลจาก

หน่วยความจำข้อมูลภายนอก

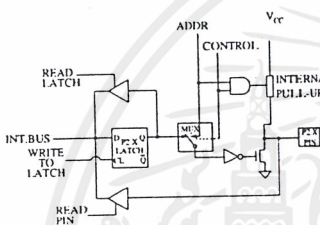
โดยโครงสร้างแสดงดังรูปที่ 2.5 (d)



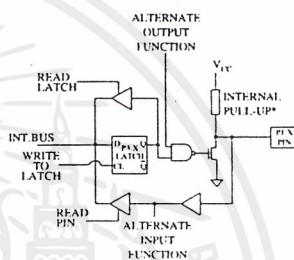
(a) Port 0 Bit



(b) Port 1 Bit



(c) Port 2 Bit

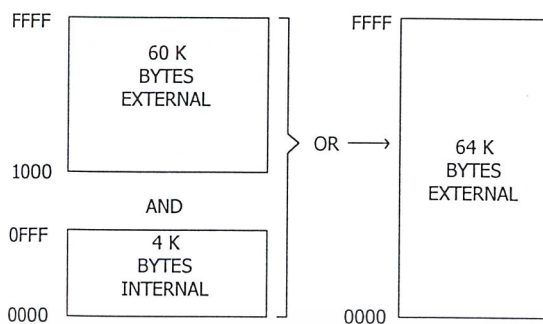


(d) Port 3 Bit

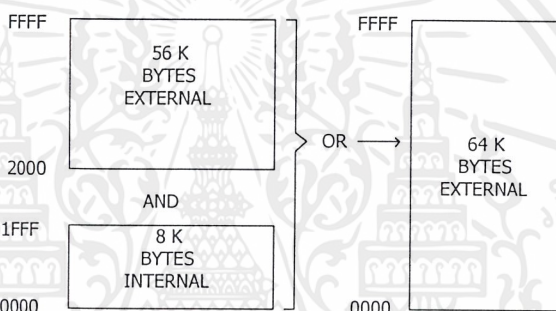
รูปที่ 2.5 แสดง โครงสร้างของพอร์ตทั้ง 4 ของ MCS-51

โครงสร้างของหน่วยความจำ

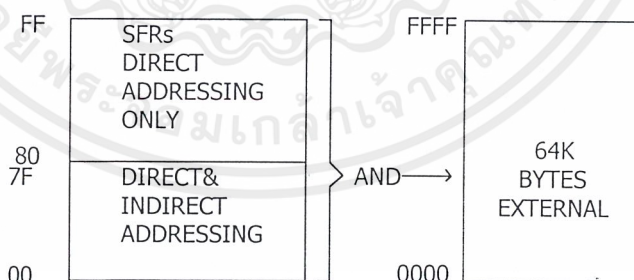
หน่วยความจำสำหรับ MCS-51 จะมี 2 ชนิด คือหน่วยความจำที่ใช้เก็บ โปรแกรม(ROM)กับ หน่วยความจำที่ใช้เก็บข้อมูลในการประมวลผล(RAM) MCS-51 บางเบอร์ เช่น 8051,8052 จะมี หน่วยความจำโปรแกรมภายในชิพ และ MCS-51 ทุกเบอร์สามารถอ้างอิงหน่วยความจำภายนอกได้ มากที่สุด 64K สำหรับหน่วยความจำ RAM ภายใน จะประกอบไปด้วย พื้นที่ใช้งานทั้งไป, รีจิสเตอร์แบงก์,พื้นที่ใช้งานระดับบิต และรีจิสเตอร์ฟังก์ชันพิเศษ โดยถ้าอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำ โปรแกรมมา \overline{PSEN} จะแอกทีฟ และถ้าต้องการติดต่อกับหน่วยความจำข้อมูลขา $\overline{RD}, \overline{WR}$ จะแอกทีฟ เราอาจเขียน ไคอะแกรมของหน่วยความจำของ 8051/8052 ได้ดังรูปที่ 2.6 (a),(b),(c) และ (d)



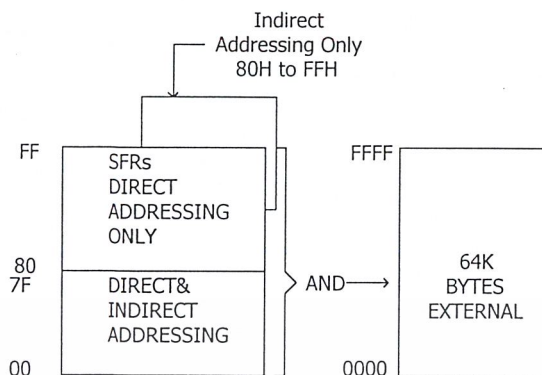
(a) ผังหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมสำหรับเบอร์ 8051



(b) ผังหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมสำหรับเบอร์ 8052



(c) ผังหน่วยความจำสำหรับ Data ของเบอร์ 8051



(d) ผังหน่วยความจำสำหรับ Data ของเบอร์ 8052
รูปที่ 2.6 โค้ดแอสเซมบลีแสดงผังหน่วยความจำของเบอร์ 8051/8052

บางครั้งอาจจะสงสัยว่า ตำแหน่งของหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมและข้อมูลมีตำแหน่งที่ซ้อนกัน CPU จะรู้ได้อย่างไรว่าติดต่อกับหน่วยความจำโปรแกรมและหน่วยความจำข้อมูล โดยบริษัทอินเทล ได้ออกแบบแยกคำสั่งออกเป็น 3 ส่วน คือ

MOV ใช้ติดต่อกับ RAM ภายใน

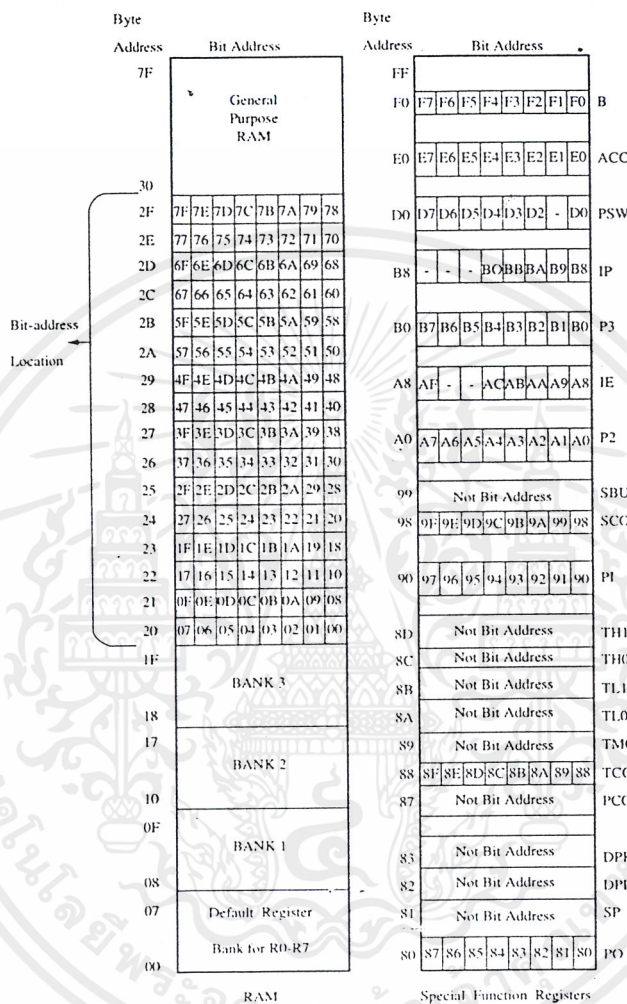
MOVC ใช้ติดต่อกับ Program Memory (ROM)

MOVX ใช้ติดต่อกับ Data Memory ภายนอกชิพ โดยระบุตำแหน่งผ่าน DPTR และ PC

*ชิพเบอร์ 8052 จะมีพื้นที่บริเวณ 80h-FFh ซึ่งถ้าจะเขียนหรืออ่านข้อมูล ณ บริเวณนี้จะเข้าถึงข้อมูลโดยทางอ้อมเท่านั้น ดังแผนผังแสดงหน่วยความจำดังรูปที่ 2.6(d)

พื้นที่หน่วยความจำบริเวณ(80h-FFh)ตามรูป 2.6(d) เป็นพื้นที่ที่ซ้อนกันอยู่อย่างละ 128 ไบต์โดยส่วนแรกจะเป็น SFR Address และ Indirect Address Area ดังนั้นผู้เขียนโปรแกรม ถ้าจะติดต่อกับ SFR จะต้อง ใช้คำสั่งแบบเข้าถึงข้อมูลโดยตรงเท่านั้น (Direct Address Area) ส่วนพื้นที่อีกส่วนหนึ่งจะเข้าถึงข้อมูลแบบทางอ้อมเท่านั้น (Indirect Address Area) ส่วนตำแหน่ง(00h-7Fh) จะเข้าถึงข้อมูลได้ทั้ง 2 แบบ

พื้นที่หน่วยหน่วยความจำที่เข้าถึงข้อมูลโดยตรงและโดยอ้อม(Direct and Indirect Address Area)



รูปที่ 2.7 แสดง 128 ไบต์ของ Internal RAM และ SFRs

พื้นที่ 128 ไบต์ ล่างสุดจะแบ่งเป็น 3 ส่วน ดังรูป 2.7

1)รีจิสเตอร์แบงก์ (Register bank 0-3)

ตั้งแต่ตำแหน่ง 00h-1Fh จะเป็นส่วนของรีจิสเตอร์แบงก์ 0-3 โดยแบ่งเป็นแบงก์ละ 8 ไบต์รวมแล้วได้ 32 ไบต์ โดยที่แต่ละแบงก์จะมีรีจิสเตอร์ R0,R1,R2,R3,R4,R5,R6,R7 ถ้าCPU ทำงานอยู่ที่แบงก์ 3 เมื่อถูก Reset ก็จะกลับมาที่แบงก์ 0 เสมอ และ SP จะมาเริ่มต้นที่ตำแหน่ง 07h พอดี

2)บริเวณหน่วยความจำที่ใช้คำสั่งอ่านเขียนทีละบิตได้(Bit Addressable Area)

พื้นที่ตั้งแต่ Address 20h-2Fh จำนวน 16 ไบต์หรือแบ่งเป็นบิตจะได้เท่ากับ 128 บิต ซึ่งตำแหน่งบิตมีดังนี้ 00,01,02,03,04,05,06,07 จนถึง 7Fh

เช่น บิต 00 ก็คือ D0 ของหน่วยความจำตำแหน่งที่ 20h

บิต 01 ก็คือ D1 ของหน่วยความจำตำแหน่งที่ 20h

รูป 2.6 ประกอบ เช่นต้องการ Set บิต 00 ต้องเขียนคำสั่งว่า SETB 00h

3) บริเวณหน่วยความจำที่ใช้งานทั่วไป (Scratch Pad Area)

พื้นที่ตั้งแต่ 30-7Fh จะเขียนข้อมูลได้ที่ละไบต์เท่านั้น ไม่สามารถใช้คำสั่งเกี่ยวกับบิตได้ ถ้าย้ายเนื้อที่สแตคมาไว้บริเวณนี้ไปรระวังในการเขียนข้อมูลมาทับสแตค

4) รีจิสเตอร์ฟังก์ชันพิเศษ (Special Function Register;SFR)

ใน MCS-51 รีจิสเตอร์จะใช้หน่วยความจำ RAM ภายในชิพ โดยส่วนหนึ่งเป็น รีจิสเตอร์ฟังก์ชันพิเศษ (Special Function Register;SFR) โดยจะเริ่มที่หน่วยความจำตั้งแต่ 80h-FFh ซึ่งมีทั้งหมด 128 ตำแหน่ง แต่จะเป็น SFR เพียง 21 ตำแหน่งสำหรับเบอร์ 8051 และ 26 ตำแหน่งสำหรับเบอร์ 8052 ดังรูปที่ 2.7 รีจิสเตอร์ในกลุ่ม Special Function Register มีดังนี้

4.1) Program Status Word

รีจิสเตอร์ตัวนี้เรียกอย่อว่า PSW จะอยู่ที่ตำแหน่ง D0H ซึ่งยังสามารถเข้าถึงข้อมูลระดับบิตได้โดยรีจิสเตอร์นี้จะป็นตั้งบอกสถานะต่างๆ ของไมโครคอนโทรลเลอร์ ความหมายของแต่ละบิตแสดงได้ดังตารางที่ 2.8

ตารางที่ 2.8 แสดงบิตและหน้าที่ต่างๆใน PSW

บิต	ชื่อบิต	ตำแหน่ง	ความหมาย
PSW.7	CY	D7H	Carry Flag
PSW.6	AC	D6H	Auxiliary Carry Flag
PSW.5	F0	D5H	Flag 0
PSW.4	RS1	D4H	บิตสำหรับเลือก Register Bank 1
PSW.3	RS0	D3H	บิตสำหรับเลือก Register Bank 0
			00 = Bank 0 ; Address 00H - 07H 01 = Bank 1 ; Address 08H - 0FH 10 = Bank 2 ; Address 10H - 17H 11 = Bank 3 ; Address 18H - 1FH
PSW.2	OV	D2H	Overflow Flag
PSW.1	-	D1H	Reserved
PSW.0	P	D0H	Even Parity Flag

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.1) แพลกตัวทด (Carry Flag;CF) บิตนี้เป็นบิตที่ 7 ของ PSW บิตนี้มีความสำคัญหากมีการกระทำทางคณิตศาสตร์โดยบิตนี้จะ Set เมื่อเกิดการทดของบิตที่ 7 กระทำการบวกเลข หรือ Set เมื่อเกิดการยืมของบิตที่ 7 เมื่อเกิดการลบเลข นอกจากนี้ บิต CF สามารถใช้เป็น”Boolean Accumulator”ได้ซึ่งอาจเรียกว่าเป็นรีจิสเตอร์ขนาด 1 บิต ได้

4.1.2) แพลกตัวช่วยทด (Auxiliary Carry Flag;AC) เมื่อทำการบวกแบบ Binary Code Decimal (BCD) บิต AC จะ ถูกSet เมื่อมีการทดจากบิตที่ 3 ไปบิตที่ 4 หรือถ้าใน Lower Nibble มีค่าระหว่าง 0AH-0FH เนื่องจากรหัส BCD นี้มีค่าได้มากที่สุดแค่ 9 ถ้าหาก มีการบวกเลขแบบ BCD จะต้องตามด้วยคำสั่ง DAA (Decimal Adjust Accumulator) เพื่อปรับค่าที่มีค่าเกิน 9 โดยบวกเลข 6 เข้าไป จะทำให้เป็นรหัส BCD ที่แทนเลขฐานสิบได้

4.1.3) แพลกศูนย์ (Zero Flag) เป็นแพลกที่ผู้ใช้สามารถใช้งานทั่วไปได้

4.1.4) บิตเลือกรีจิสเตอร์แบงก์ (Register Bank Select Bit) ตามที่ทราบมาแล้วว่าใน MCS-51 จะมีชุดรีจิสเตอร์อยู่ 4 ชุด ถ้าจะเลือกให้ชุดใด แอดทีฟจะกำหนดได้ในบิต RS1 และ RS0 ของ PSW และจะเคลียร์ตัวเองเมื่อระบบถูก Reset

4.1.5) แพลกโอเวอร์โฟลว์ (Overflow Flag;OV) แพลกนี้จะถูก Set หลังจากการกระทำทางคณิตศาสตร์ แล้วเกิด Overflow คือ จำนวนที่ทำการบวกหรือลบ มีค่าเกินกว่าที่จำนวนไบต์จะเป็นไปได้ คือมากกว่า +127 หรือ -128

4.1.6) บิตพาริตี (Parity Bit;P) เป็นบิตที่บอกค่าพาริตีของรีจิสเตอร์ Accumulator ซึ่งอาจจะเป็นตัวตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลได้ โดยจะ Set หรือ Clear ขึ้นอยู่กับผลที่เกิดขึ้นกับ Accumulator เช่น ถ้า Accumulator เป็น 10101101B บิต P จะเป็น “1”

4.2) รีจิสเตอร์ B (B Register)

รีจิสเตอร์ B จะอยู่ที่ตำแหน่ง FOH ของหน่วยความจำข้อมูลภายใน เป็นรีจิสเตอร์ที่สามารถใช้งานทั่วไปได้ โดยทั่วไปรีจิสเตอร์นี้ จะใช้คูณหรือหารกับรีจิสเตอร์ Accumulator เช่น การทำคำสั่ง MUL AB ซึ่งเป็นการคูณแบบ 8 บิต โดยผลลัพธ์ที่ได้จะมีขนาด 16 บิตซึ่งรีจิสเตอร์ A จะเก็บค่า 8 บิตต่ำ และ รีจิสเตอร์ B จะเก็บค่า 8 บิตสูง สำหรับการหารโดยคำสั่ง DIV AB โดยค่าใน A จะถูกหารด้วย B ผลลัพธ์ที่ได้จะเก็บใน รีจิสเตอร์ AB โดย รีจิสเตอร์ A จะเก็บค่า 8 บิตสูง B จะเก็บค่า 8 บิตต่ำ รีจิสเตอร์ B นี้สามารถเข้าถึงข้อมูลระดับบิตได้

4.3) ตัวชี้สแตค (Stack Pointer)

Stack Pointer (SP) เป็นรีจิสเตอร์ขนาด 8 บิต อยู่ที่ตำแหน่ง 81H การเขียนค่าเข้าไปยังตำแหน่งที่ SP ชื่ออยู่นี้ เรียกว่า “Pushing” สำหรับการอ่านค่าที่ SP ชื่ออยู่เรียกว่า “Popping” ถ้าหาก

MCS-51 ถูก Reset ค่า SP จะถูกกำหนดเองเป็น 07H ซึ่งจะเห็นว่าทับกับ Register Bank 1 ถ้าหากงานที่ออกแบบขึ้นมีการใช้ Register bank 1 ด้วยควรกำหนดค่า SP เสียก่อน

4.4) รีจิสเตอร์ Data Pointer (DPTR)

รีจิสเตอร์นี้ใช้สำหรับชี้ตำแหน่งรหัสโปรแกรมหรือข้อมูลในหน่วยความจำภายนอก โดยเป็นรีจิสเตอร์ขนาด 16 บิต ซึ่งประกอบด้วย รีจิสเตอร์ 2 ตัวคือ DPL ที่ตำแหน่ง 82H โดยจะเก็บเป็น 8 บิตต่ำ และ DPH ตำแหน่งที่ 83H โดยจะเก็บเป็น 8 บิตสูง รีจิสเตอร์ ทั้งสองตัวนี้จะรวมกันกลายเป็นรีจิสเตอร์ ขนาด 16 บิต

4.5) รีจิสเตอร์เวลา(Timer Register)

ใน MCS-51 เบอร์ 8051 จะมีรีจิสเตอร์ที่ใช้นับและจับเวลาขนาด 16 บิต 2 ตัวคือ Timer 0 อยู่ที่ตำแหน่ง 8AH และ 8CH โดยตำแหน่ง 8AH หมายถึง TL0 ซึ่งจะเก็บเป็น 8 ไบต์ต่ำ และ 8CH หมายถึง 8 ไบต์สูง TH0 รีจิสเตอร์อีกตัวคือ Timer 1 โดยแบ่งเป็น TL1 อยู่ที่ตำแหน่ง 8BH เป็นไบต์ต่ำ และ TH1 อยู่ที่ตำแหน่ง 8DH เป็นไบต์สูง การใช้ Timer จะต้องกำหนดการทำงานใน รีจิสเตอร์ TMOD (Timer/Counter Mode Control Register) ซึ่งอยู่ที่ตำแหน่ง 88H เสียก่อน

4.6) รีจิสเตอร์พอร์ทอนุกรม(Serial Port Register)

MCS-51 จะมีพอร์ทสื่อสารอนุกรม (Serial Port) อยู่ภายในชิพ ซึ่งสามารถจะรับหรือส่งข้อมูลได้โดยติดต่อผ่านรีจิสเตอร์ SBUF(Serial Data Buffer) ซึ่งอยู่ที่ตำแหน่ง 99H โดยถ้าต้องการส่งข้อมูลแบบอนุกรมให้เขียนข้อมูลไปที่รีจิสเตอร์นี้ ตัว Serial Port สามารถโปรแกรมให้ทำงานได้ 4 โหมด โดยโปรแกรมผ่านรีจิสเตอร์ SCON(Serial port Control Register)

4.7) รีจิสเตอร์อินเตอร์รัพท์(Interrupt Register)

ใน MCS-51 สามารถ Interrupt ได้ 5 ตำแหน่ง โดยมี 2-Priority ตัว Interrupt นี้ จะถูก Disable หลังจากระบบถูก Reset และจะ Enable หลังจากที่เขียนข้อมูลลงไปที่ รีจิสเตอร์ IE หรือที่ตำแหน่ง A8H ลำดับความสำคัญสามารถ Set ได้ที่รีจิสเตอร์ IP หรือที่ตำแหน่ง B8H

4.8) Power Control register(PCON)

รีจิสเตอร์ PCON อยู่ที่ตำแหน่ง 87H ใช้หยุดการทำงานของ MCS-51 โดยจะหยุดจ่ายสัญญาณนาฬิกาให้ระบบ ทำให้ข้อมูลต่างๆ ภายใน MCS-51 ไม่มีการเปลี่ยนแปลง นอกจากนี้ยังลดพลังงานไฟฟ้าที่จ่ายให้ MCS-51 ลงด้วย

Reset Operation

การ Reset หรือการเริ่มต้นใหม่ของ MCS-51 จะต้องให้ลอจิก "1" ที่ขา RST เป็นเวลา 2 Machine Cycles (1 Machine Cycle เท่ากับ 12 Clock) จากนั้นให้กลับเป็นลอจิก "0"

เมื่อ MCS-51 ถูก Reset ค่ารีจิสเตอร์ ต่างๆ จะถูกกำหนดค่าดังตาราง โดย PC จะชี้ไปอยู่ที่ตำแหน่งเริ่มต้น คือ 0000H เมื่อขา RST กลับเป็น “0” MCS-51 จะเริ่มทำโปรแกรมที่ตำแหน่งแรก สำหรับเนื้อหาส่วนอื่นๆซึ่งไม่ค่อยมีความสำคัญกับ โครงการงานชิ้นนี้มากนัก จะไม่ขอกล่าวถึง ผู้สนใจสามารถหาอ่านเพิ่มเติมได้จากหนังสือคู่มือ MCS-51 ที่มีโดยทั่วไป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

DC มอเตอร์

หลักการของ DC MOTOR

มอเตอร์ คือ อุปกรณ์ซึ่งทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกล และมอเตอร์ซึ่งขับเคลื่อนด้วยกระแสไฟฟ้า ดีซี นี้เรียกว่า มอเตอร์ดีซี และที่ขับเคลื่อนด้วยกระแสไฟฟ้า เอซี เรียกว่า มอเตอร์ เอซี นอกจากนี้ยังมีมอเตอร์ขนาดเล็กซึ่งอาจขับเคลื่อนได้ทั้งกระแสไฟ ดีวี หรือ เอซี ทิศทางการหมุนของมอเตอร์ดีซีจะตรงข้ามกับกรณีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีซีโดยสิ้นเชิง แต่สำหรับโครงสร้างแล้วจะเหมือนกันทุกประการ จึงสามารถนำเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ดีซีมาใช้ทำหน้าที่ของมอเตอร์ดีซีได้

เมื่อป้อนกระแสให้กับมอเตอร์ดีซี ทิศทางการหมุนของมอเตอร์จะเป็นไปตามกฎมือซ้ายดังแสดงในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 กฎมือซ้าย

ชนิดของมอเตอร์ดีซีแบ่งตามลักษณะการกระตุ้น

การแบ่งชนิดของมอเตอร์ดีซีตามลักษณะการกระตุ้นจะเหมือนกับกรณีของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีซี โดยแบ่งออกเป็น 2 ชนิดดังนี้

1. มอเตอร์ดีซีแบบกระตุ้นแยก
2. มอเตอร์ดีซีแบบกระตุ้นตัวเอง
 - มอเตอร์ดีซีแบบชันท์(Shunt DC Motor)
 - มอเตอร์ดีซีแบบซีรีส์(Series DC Motor)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

-มอเตอร์ดีซีแบบคอมปาวด์(Compound DC Motor)

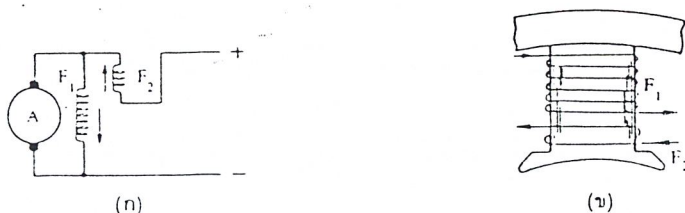
มอเตอร์ดีซีแบบกระตุ้นแยกนั้น กระแสที่ป้อนให้ชุดขดลวดสนามและขดอาร์มาเจอร์จะมาจากแหล่งจ่ายไฟดีซีที่วิ่งแยกชุดกัน ส่วนแบบกระตุ้นตัวเองนั้นจะมาจากแหล่งจ่ายไฟดีซีชุดเดียวกัน กรณีที่ต้องการปรับความเร็วรอบของมอเตอร์ดีซี โดยการปรับระดับแรงดันที่ป้อนให้กับมอเตอร์ จะใช้มอเตอร์ดีซีแบบกระตุ้นแยกเท่านั้น แต่โดยทั่วไปจะใช้แบบกระตุ้นตัวเองเป็นส่วนมาก สำหรับลักษณะการต่อวงจรของมอเตอร์ดีซีแบบซีรีส์ แบบชัณฑ์ และแบบคอมปาวด์นั้น จะเหมือนกันกับกรณีของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีซีทุกประการ

หนึ่งสำหรับการต่อวงจรภายในเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีซีแบบคอมปาวด์นั้นจะมี 2 ลักษณะด้วยกันคือ ต่อในลักษณะที่ให้ แอมแปร์จากขดลวดสนามแบบชัณฑ์เสริมหรือหักล้างกัน ขดลวดสนามแบบซีรีส์มอเตอร์ซึ่งต่อในลักษณะแรกนี้เรียกว่า มอเตอร์คอมปาวด์แบบคิวมูลทีฟ และแบบหลังเรียกว่าแบบดิฟเฟอเรนเชียล ซึ่งแสดงได้ดังรูปที่ 3.2 และรูปที่ 3.3 ตามลำดับ



รูป 3.2 มอเตอร์คอมปาวด์แบบคิวมูลทีฟ

รูปที่ 3.2 (ก) และ (ข) แสดงทิศทางของ MMF จากขดลวดสนามแบบชัณฑ์ และขดลวดสนามแบบซีรีส์ของมอเตอร์คอมปาวด์คิวมูลทีฟ ส่วนรูปที่ 3.3 (ก) และ (ข) แสดงทิศทางของกรณีดิฟเฟอเรนเชียล



รูปที่ 3.3 มอเตอร์คอมปาวด์แบบดิฟเฟอเรนเชียล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทฤษฎีของมอเตอร์ดีซี

แรงเคลื่อนไฟฟ้าย้อนกลับ (Back Electromotive Force)

เมื่อมอเตอร์ดีซีหมุน ลวดตัวนำแต่ละเส้นซึ่งมีกระแสไหลผ่านจะตัดกับเส้นแรงแม่เหล็กจากขั้วแม่เหล็กใหญ่ ทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำขึ้นมาจำนวนหนึ่งในทิศที่สวนกับทิศทางของกระแสที่ป้อนให้กับมอเตอร์ ลองพิจารณา ทิศทางของแรงเคลื่อนไฟฟ้ากลับดังรูปที่ 3.4



ก) ทิศทางแรงเคลื่อนไฟฟ้าย้อนกลับของอาร์มาเจอร์ ข) ทิศทางกระแสอาร์มาเจอร์

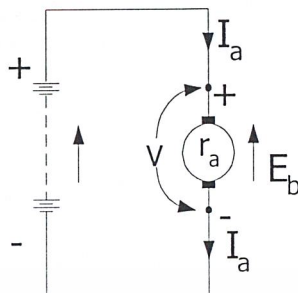
รูปที่ 3.4 ทิศทางของแรงเคลื่อนไฟฟ้ากลับ

สมมติให้เส้นแรงแม่เหล็กจากขั้วแม่เหล็กใหญ่ และการหมุนของขดลวดมีทิศทางดังแสดงในรูปที่ 3.4 (ก) ขณะนี้แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ผลิตขึ้นในลวดตัวนำ C1 และ C2 จะต้องมีทิศพุ่งเข้า (X) และพุ่งออก (.) ตามลำดับ แต่การที่ลวดตัวนำจะยังคงหมุนในทิศทางตามเข็มนาฬิกาได้นั้น จากกฎมือซ้าย กระแสที่ไหลในเส้นลวดตัวนำ C1 และ C2 จะต้องมีทิศทางดังแสดงในรูปที่ 3.4(ข) เท่านั้น นั่นคือมีทิศทางของกระแสที่ตรงข้ามกับแรงเคลื่อนไฟฟ้าในรูปที่ 3.4 (ก) แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ผลิตขึ้นในรูปที่ 3.4 (ก) สำหรับกรณีมอเตอร์เท่านั้นเรียกว่า แรงเคลื่อนไฟฟ้ากลับ เนื่องจากแรงเคลื่อนไฟฟ้ากลับเกิดจากการที่ลวดตัวนำหมุนตัดผ่านเส้นแรงแม่เหล็กจากขั้วแม่เหล็กใหญ่ ในทำนองเดียวกับกรณีของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีซี จึงมีสมการเหมือนกับกรณีหาค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ผลิตขึ้นได้ในเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ดังนี้

$$E_b = p\phi \times n / 60 \times Z_c / a \quad (3.1)$$

จากสมการที่ 3.1 เนื่องจากแรงเคลื่อนไฟฟ้ากลับแปรผันโดยตรงกับจำนวนรอบที่มอเตอร์หมุน ดังนั้นในกรณีที่มอเตอร์ยังไม่เริ่มหมุน ($n = 0$) แรงเคลื่อนไฟฟ้ากลับจะมีค่าเท่ากับศูนย์ด้วย กำหนดมอเตอร์ดีซีขนาด 4KW 200V ความต้านทานภายในของอาร์มาเจอร์ 0.5 ถ้าป้อนไฟดีซีจากแหล่งจ่ายขนาด 200V ให้กับมอเตอร์ในสภาพที่หยุดหมุน จะเห็นว่ากระแสจะไหลในขดอาร์มาเจอร์ทันทีถึง 400 A ($200/0.5$) แต่เนื่องจากกระแสที่ไหลในขดอาร์มาเจอร์ แม้ตำแหน่งที่ไหลเต็มที่ จะมีขนาดน้อยกว่านี้มากประมาณ 25 A ได้นั้นเนื่องจากแรงเคลื่อนไฟฟ้ากลับที่เกิดขึ้นนี้จะพยายามต้านการจ่ายกระแสจากตำแหน่งจ่ายไฟดีซี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงเคลื่อนไฟฟ้ากลับในอาร์มาเจอร์

ความสัมพันธ์ระหว่างแรงเคลื่อนไฟฟ้าย้อนกลับและกระแส

เมื่อกำหนดให้ V คือ แรงดันจากแหล่งจ่ายไฟดีซีระหว่างคู่แปรงถ่าน

E_b คือ แรงเคลื่อนไฟฟ้ากลับ

r_a คือ ความต้านทานภายในทั้งหมดในวงจรของอาร์มาเจอร์

I_a คือ กระแสอาร์มาเจอร์

จากรูปที่ 3.5 จะได้ว่า

$$I_a = (V - E_b) / r_a \quad (3.2)$$

หรือ

$$V = E_b + I_a / r_a$$

$$E_b = V - I_a r_a \quad (3.3)$$

กรณีมอเตอร์ทำงานที่โหลดเต็มที่แรงดันตกคร่อม $I_a r_a$ จะมีค่าประมาณ 10% ของ V ขณะที่มอเตอร์หยุดหมุน เนื่องจาก $E_b = 0$ จะได้

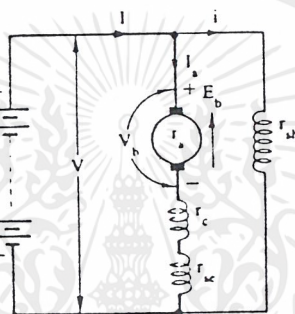
$$I_s = V / r_a \quad (3.4)$$

โดยที่ I_s คือ กระแสตอนเริ่มเดินเครื่องมีหน่วยเป็นแอมแปร์ (A)

จากสมการที่ (3.2) และ (3.4) สามารถอธิบายได้ว่า ขณะที่มอเตอร์ยังไม่หมุน เมื่อป้อนไฟดีซีจะมีกระแส $I_2 = V / r_a$ จำนวนมากไหลในขดอาร์มาเจอร์ มอเตอร์จะหมุนด้วยความเร็วรอบสูงในทันที ทำให้ E_b มีค่าสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว และกระแสในอาร์มาเจอร์จะมีค่าลดลงเรื่อยๆ จนมีค่าคงที่ในที่สุด

แรงดันระหว่างแปรงถ่านและแรงดันระหว่างขั้ว

จากรูปที่ 3.5 แรงดันระหว่างแปรงถ่านและแรงดันระหว่างขั้วจะมีค่าเท่ากัน แต่ในกรณีของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่มีอินเตอร์โพล หรือกรณีของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบคอมปาวด์ แรงดันทั้งสองเล็กน้อย



รูปที่ 3.6 แรงดันระหว่างแปรงถ่านและแรงดันระหว่างขั้ว

จากรูปที่ 3.6 เป็นมอเตอร์คอมปาวด์แบบลองชันต์ ซึ่งมอเตอร์ทั่วไปจะมีลักษณะการต่อเช่นนี้เป็นส่วนมาก ในรูปที่ 3.6 แรงดันระหว่างขั้วจะมีค่ามากกว่าแรงดันระหว่างแปรงถ่านด้วยค่าแรงดันตกคร่อมขดซีรีส์ และคอมมิวเตเตอร์(หรือขดอินเตอร์โพล)

เมื่อกำหนดให้ V_b คือ แรงดันระหว่างแปรงถ่าน

r_{se} คือ ความต้านทานระหว่างขดซีรีส์

r_c คือ ความต้านทานภายในของขดคอมมิวเตเตอร์

$$\text{จาก } V = V_b + I_a (r_{se} + r_c)$$

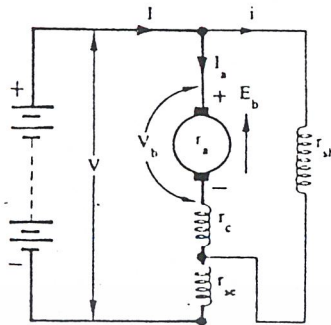
$$V_b = E_b + I_a r_a$$

$$\text{ดังนั้น } V = E_b + I_a r_a + I_a (r_{se} + r_c)$$

$$= E_b + I_a (r_a + r_{se} + r_c)$$

$$\text{จะได้ } I_a = (V - E_b) / (r_a + r_{se} + r_c)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.7 แรงดันระหว่างแปรงถ่านและแรงดันระหว่างขั้ว

จากรูปที่ 3.7 เป็นมอเตอร์คอมพาวด์แบบช็อตชัณฑ์ซึ่งได้ว่า

$$V = V_b + I_a r_c + (I_a + i) r_{se}$$

$$I_a = (V - E_b - i r_{se}) / (r_a + r_{se} + r_c)$$

เนื่องจากในทางปฏิบัติ r_{se} และ i มีค่าน้อยมาก $i r_{se}$ จึงมีค่าน้อยสามารถตัดทิ้งได้

$$\text{ดังนั้น } I_a = (V - E_b) / (r_a + r_{se} + r_c)$$

นั่นคือไม่ว่ามอเตอร์จะเป็นแบบลونغชัณฑ์ หรือ ช็อตชัณฑ์จะมีสมการของ I_a เหมือนกัน

สมการ Output ของอาร์มาเจอร์

จากสมการที่ (3.3) จะได้ว่า

$$V = E_b + I_a r_a \quad (V)$$

$$\text{หรือ } E_b = V - I_a r_a \quad (V)$$

เมื่อคูณ I_a ตลอดจะได้

$$VI_a = E_b I_a + I_a^2 r_a$$

$$\text{หรือ } E_b I_a = VI_a - I_a^2 r_a$$

โดยที่ VI_a คือ กำลังไฟฟ้าทางด้าน Input ที่ป้อนให้กับอาร์มาเจอร์

$I_a^2 r_a$ คือ การสูญเสียจากลวดตัวนำในอาร์มาเจอร์

เมื่อหัก $I_a^2 r_a$ ออกจาก VI_a จะเหลือ $E_b I_a$ ซึ่งเป็นกำลังไฟฟ้าส่วนที่เปลี่ยนแปลงไปเป็นกำลังกล

ภายในอาร์มาเจอร์ กำหนดให้เป็น P_{ar} ดังนั้นจะได้

$$P_{ar} = E_b I_a \quad (3.5)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำลังกล P_{ar} บางส่วนจะสูญเสียไปในรูปของการสูญเสียทางกล และการสูญเสียในแกน เหล็กจึงสามารถปรากฏออกมาให้เห็นได้หมด จากสมการที่ (3.1)

$$E_b = p/a \times n/60 \times Z_c \times \phi$$

เนื่องจากมอเตอร์ซึ่งสร้างสำเร็จรูป นอกจาก n และ ϕ แล้วค่าอื่นๆ คือ p/a , Z_c มีค่าคงที่หมด จึงสามารถเขียนสมการใหม่ได้ดังนี้

$$E_b = K_n \phi \quad (3.6)$$

โดยที่ $K = p/a \times Z_c/60$

เมื่อคูณ I_a ตลอดจะได้

$$E_b I_b = K_n \phi I_a = P_{ar} \quad (3.7)$$

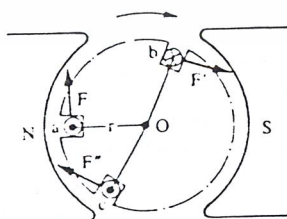
แรงบิด (Torque)

รูปที่ 3.8 แสดงแสดงแรงที่กระทำบนลวดตัวนำ (a) ซึ่งห่างจากจุดศูนย์กลาง (o) เป็นระยะ r (หน่วยเป็นเมตร) ในทิศทางสัมผัสกับกับเส้นรอบวงของแกนเหล็กอาร์มาเจอร์ ที่ตำแหน่งนี้กำหนดให้มีค่า F นิวตัน ดังนั้นแรงที่กระทำบนลวดตัวนำนี้จะมีโมเมนต์เท่ากับ $F \times r$ ซึ่งจะพยายามขับเคลื่อนแกนเหล็กอาร์มาเจอร์ให้หมุนเคลื่อนที่ไป แต่เนื่องจากในแกนเหล็กอาร์มาเจอร์มีสล๊อตเป็นจำนวนมาก และแต่ละสล๊อตก็มีลวดตัวนำจำนวนมากเช่นกัน ดังนั้นแรงที่กระทำบนลวดตัวนำทั้งหมด จะมีโมเมนต์ซึ่งพยายามขับเคลื่อนแกนเหล็กให้หมุนไปในทิศทางเดียวกัน เมื่อรวมโมเมนต์ย่อยทั้งหมดนี้เข้าด้วยกัน จะได้ผลรวมของโมเมนต์ ดังนี้

$$T_a = (F_r + F' \cdot r + F'' \cdot r + \dots)$$

โดยที่ T_a คือ แรงบิดที่เกิดขึ้นมีหน่วยเป็น N-m

ดังนั้นแรงบิดคือผลรวมของ โมเมนต์ของแรงที่กระทำต่อลวดตัวนำรอบจุดศูนย์กลาง



รูปที่ 3.8 โมเมนต์ซึ่งลวดตัวนำอาร์มาเจอร์กระทำรอบจุดศูนย์กลาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความสามารถในการปรับกระแสได้เองตามโหลด

เมื่อป้อนแรงดัน V คงที่ให้กับมอเตอร์แบบซิริส และทำงานที่โหลดต่างๆ มอเตอร์จะหมุนที่ความเร็วรอบ (n) ค่าหนึ่ง และจะดึงกระแสจากแหล่งจ่ายไฟดีซีด้วยค่า I_a ค่าหนึ่ง เนื่องจากกำลังงานที่ด้าน Output ของมอเตอร์ในขณะนี้มีค่าน้อย VI_a จึงมีค่าน้อยด้วย นั่นคือกระแส I_a ที่แหล่งจ่ายไฟดีซีจ่ายออกจะต้องมีค่าต่ำด้วย เมื่อให้มอเตอร์ทำงานที่โหลดมากๆ VI_a จะต้องมีความมากขึ้น สำหรับกรณีที่แรงดันของแหล่งจ่ายไฟมีค่าคงที่ I_a จำเป็นต้องมีค่ามากขึ้นด้วย นั่นคือเมื่อโหลดน้อยมอเตอร์จะดึงกระแสจากแหล่งจ่ายไฟดีซีน้อย และเมื่อโหลดมากจะดึงกระแสมากขึ้น โดยอัตโนมัติ

ความสามารถในการเร่งหรือหน่วงความเร็วรอบ

ลองพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างภาระแรงบิดที่โหลดต้องการ (Load Torque) กับแรงบิดมอเตอร์ที่มอเตอร์จ่ายให้กับโหลด (Motor Torque) เพื่อให้เข้าใจได้ง่ายขึ้นจะยกตัวอย่างมอเตอร์ดีซีแบบชนิดในการอธิบาย การหมุนของมอเตอร์ในขณะที่มีโหลดทางกลนั้น จะเท่ากับการใส่แรงเบรกระงับต่อแกนของอาร์มาเจอร์เมื่อโหลดทอร์กสูงขึ้น ก็เท่ากับแรงเบรกระงับต่อแกนของอาร์มาเจอร์มีค่ามากขึ้น นั่นคือขณะที่มอเตอร์กำลังหมุนภายใต้โหลดค่าหนึ่งด้วยเสถียรภาพที่ดี ถ้าให้ Load Torque มีค่าสูงขึ้น หรือแรงเบรกระงับที่มีค่ามากขึ้น จะทำให้เกิดความหน่วงขึ้น ความเร็วรอบ n จะมีค่าลดลง สำหรับกรณีของมอเตอร์แบบชนิดตราบไคที่แรงดันระหว่างขั้วมีค่าคงที่อาจถือได้ว่า Φ มีค่าไม่เปลี่ยนแปลง (แต่ในทางปฏิบัติ) เนื่องจากอาร์มาเจอร์รีแอกชันทำให้ Φ มีค่าเปลี่ยนแปลงไปบ้าง ดังนั้นถ้าความเร็วรอบน้อยลงแรงเคลื่อนไฟฟ้ากลับ (E_b) จะมีค่าต่ำลง แต่เนื่องจาก $I_a = (V - E_b) / r_a$ และทอร์ก $T = K\Phi I_a$ Motor Torque จะมีค่าเพิ่มขึ้น ดังนั้นความเร็วรอบจะลดลงเรื่อยๆ จนกระทั่งทำให้ทอร์ก T เท่ากับโหลดพอดี จากนั้นมอเตอร์จะเริ่มทำงานที่ตำแหน่งใหม่นี้

ในทางตรงกันข้ามถ้า Load Torque มีค่าน้อยกว่า Motor Torque แรงที่หมุนแกนอาร์มาเจอร์จะมากกว่าแรงเบรค ทำให้เกิดความเร่งขึ้นและความเร็วรอบจะเพิ่มขึ้น เมื่อความเร็วรอบเพิ่มขึ้นแรงเคลื่อนไฟฟ้ากลับจะมีค่ามากขึ้น กระแส $I_a = (V - E_b) / r_a$ จะมีค่าน้อยลง ทอร์ก $T = K\Phi I_a$ จะมีค่าลดลงความเร่งจะน้อยลงจนเป็น 0 เมื่อแรงบิดจากมอเตอร์มีค่าเท่ากับ Load Torque พอดี จากนั้นมอเตอร์จะเริ่มทำงานที่ตำแหน่งใหม่นี้ ในการเริ่มเดินมอเตอร์จากสภาพที่หยุดนิ่ง จนกระทั่งหมุนนั้น แรงเคลื่อนไฟฟ้ากลับ (E_b) จะค่อยๆเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จาก $E_b = 0$ ในช่วงแรกสุดนั้นเนื่องจากมีกระแสสูงมาก ความเร็วรอบจะสูงขึ้นเรื่อยๆ จนกระทั่ง Load Torque เท่ากับ Motor Torque และความเร็วรอบจะคงที่ Load Torque จะเปลี่ยนแปลงตามความเร็วรอบ หรือมีค่าคงที่เมื่อความเร็วรอบ

เปลี่ยนไป หรือไม่นั้นขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของโหลด ตัวอย่างเช่น พัดลมที่ยิ่งหมุนที่ความเร็วรอบสูงขึ้น โหลดทอร์กหรือหรือทอร์กที่โหลดต้องการจะยิ่งมีค่ามากขึ้นในขณะที่เครื่องกลึงไม่ว่าความเร็วรอบจะเปลี่ยนแปลงไปอย่างไรก็ตาม โหลดจะต้องการแรงบิดเกือบคงที่โดยตลอด

การเปลี่ยนทิศทางการหมุน

การทำให้เครื่องจักรกลเดินหน้าหรือถอยหลังได้นั้น จำเป็นที่จะต้องสลับเปลี่ยนทิศทางการหมุนของมอเตอร์ สำหรับเครื่องจักรกลในโรงงาน สามารถควบคุมการเดินหน้าถอยหลังได้โดยให้มอเตอร์มีทิศทางการหมุนมางเดียวกันตลอด แต่ต้องอาศัยเกียร์ช่วยในการเปลี่ยนทิศทางการหมุน ซึ่งวิธีนี้เป็นวิธีที่ใช้กันโดยทั่วไป แต่ในบางโอกาสการเปลี่ยนทิศทางการหมุนของเครื่องจักรกลอาจใช้วิธีการเปลี่ยนทิศทางการหมุนของมอเตอร์โดยตรง

ทิศทางการหมุนของมอเตอร์สามารถหาได้โดยอาศัยกฎมือซ้าย ดังนั้นไม่ว่าจะเปลี่ยนทิศทางเส้นแรงแม่เหล็กใหญ่(นั่นคือทิศทางของกระแสสนาม)หรือทิศทางกระแสอาร์มาเจอร์ก็ตามอย่างใดอย่างหนึ่งแล้ว ก็สามารถกลับทิศทางการหมุนของมอเตอร์ได้ สำหรับมอเตอร์ดีซีแบบซีรีส์หรือแบบชัณฑ์นั้น ถ้ากลับขั้วที่ต่อกับแหล่งจ่ายไฟดีซีแล้ว เนื่องจากทิศทางของกระแสอาร์มาเจอร์และทิศทางของกระแสสนามจะกลับทิศพร้อมกัน ทิศทางการหมุนจะเหมือนเดิมโดยไม่กลับทิศ ในกรณีที่มีอินเตอร์โพลติดตั้งอยู่นั้น ถ้าต้องการกลับทิศกระแสอาร์มาเจอร์ก็จำเป็นที่จะต้องกลับทิศกระแสของอินเตอร์โพลไปพร้อมกัน นั่นคือในการกลับทิศนั้น ให้ถือว่าขดอินเตอร์โพลและขดอาร์มาเจอร์เป็นขดขุดเดียวกัน จะแยกกลับเพียงขดหนึ่งไม่ได้โดยเด็ดขาด

บทที่ 4

แบบจำลองรถที่ใช้ระบบบังคับด้วยสี่ล้อ IVMC

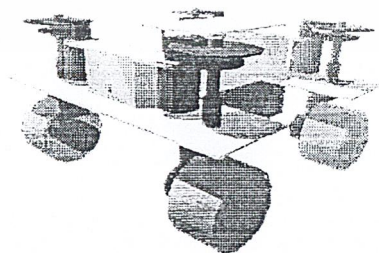
จุดประสงค์ของโครงการนี้ตามลำดับความสำคัญ

- นำเสนอแนวคิดของระบบควบคุมการเคลื่อนที่โดยใช้เวกเตอร์รวม (IVMC) หาแนวทางและการสนับสนุนด้านทุนและความรู้ เพื่อจะได้นำไปพัฒนาให้ใช้ได้จริงต่อไป
- เพื่อศึกษาและทำความเข้าใจถึงการประยุกต์แนวคิดของ IVMC มาสร้างเป็นแบบจำลอง โดยเงินทุนและวัสดุ รวมถึงจินตนาการและความรู้ที่ล้ำสมมา
- ทดลองและแก้ไขข้อผิดพลาดของแบบจำลองเพื่อศึกษาปัญหาและความเป็นไปได้ที่จะพัฒนาระบบ IVMC สู่ความเป็นจริง

ลักษณะและแนวคิดในการสร้างแบบจำลอง

แบบจำลองมีลักษณะเป็นรถไฟฟ้าสี่ล้อทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัส ขับเคลื่อนและบังคับด้วยสี่ล้อ อย่างไม่มีการจำกัดของทิศทางการเคลื่อนที่ ผู้บังคับสามารถควบคุมรถได้โดยใช้ Joystick ชนิด 3-Axis ประกอบด้วย ทิศทางแนวตรง; y ทิศทางแนวขวาง; x และทิศทางการหมุน; r ผ่านสายควบคุมขนาน 12-bit จำนวนมุมและทิศทางการหมุนของทุกล้อด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ AT89C51 สั่งการขั้วมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง 8 ตัว แบบ Real-time โดยผ่านวงจรขั้วมอเตอร์ 8 ชุด ประกอบด้วยมอเตอร์ขับเคลื่อน 4 ตัว และมอเตอร์บังคับด้วย 4 ตัว ควบคุมองศาการเลี้ยวด้วยระบบ Closed Loop Control ป้อนกลับแบบลบด้วย Tree code* binary 8-bit Rotation Sensor

ต่อไปจะเป็นรายละเอียดทางกายภาพของโครงการ



*เหมือน Gray code แต่ผู้สร้างโครงการคิดค้นขึ้นมาเองเพื่อจุดประสงค์ในการทำ sensor จึงมีสิทธิ์ตั้งชื่อตามรูปร่าง และต้องการนำเสนอแนวคิดในมุมมองที่แตกต่างแต่ไม่ผิดเพราะใช้ได้จริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูลทางเทคนิค

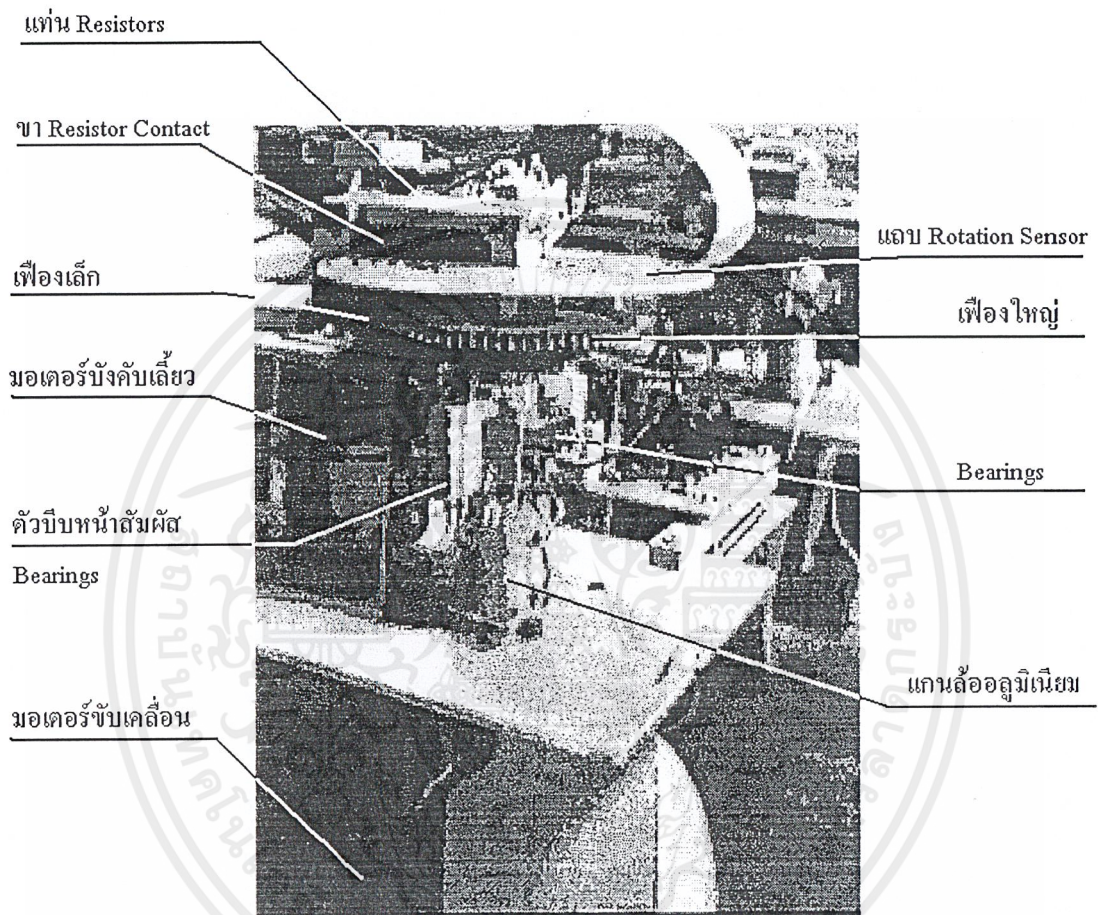
มิติทั้งหมด	
กว้าง × ยาว × สูง (cm × cm × cm)	36 × 36.6 × 23
ระยะฐานล้อหน้า/หลัง (cm)	24
ระยะศูนย์ล้อ หน้า/หลัง (cm/cm)	24/24
ส่วนต่ำสุดของตัวรถวัดจากพื้น (cm)	5.5
รัศมีวงล้อ (cm)	9
น้ำหนักเฉพาะตัวรถ หน้า/หลัง (kg/kg)	
วัสดุที่ใช้	
โครงสร้างหลัก	อลูมิเนียม,อลูมิเนียมผสม
แกนล้อ	เหล็กพับ,อลูมิเนียม
ชิ้นส่วนย่อยและ sensor	ไม้อัด,พลาสติก,อลูมิเนียม
วัสดุเชื่อมต่อโครงสร้าง	นอต,กาวซีเมนต์,Resin
แหล่งพลังงาน	
วงจรขับเคลื่อนมอเตอร์ขับเคลื่อน	แบตเตอรี่ 12 VDC 7.5 AH ของ spa®
วงจรขับเคลื่อนมอเตอร์บังคับเดี่ยว	12 VDC Regulated to 9.2 VDC ใช้ IC 7810
วงจรประมวลผลและเซนเซอร์	12 VDC Regulated to 5 VDC ใช้ IC 7805
มอเตอร์	
มอเตอร์ขับเคลื่อน	maxon ® 24 Volts DC
มอเตอร์บังคับเดี่ยว	9 Volts DC
วงจรไฟฟ้ากำลัง	

ตารางที่ 4.1 ข้อมูลทางกายภาพของแบบจำลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนประกอบของแต่ละล้อ

ล้อทุกล้อจะมีมอเตอร์ 2 ตัวบังคับทิศทางและขับเคลื่อน มีชุดเซนเซอร์วัดมุมเดี่ยว Bearings สายไฟและแกนรับน้ำหนัก

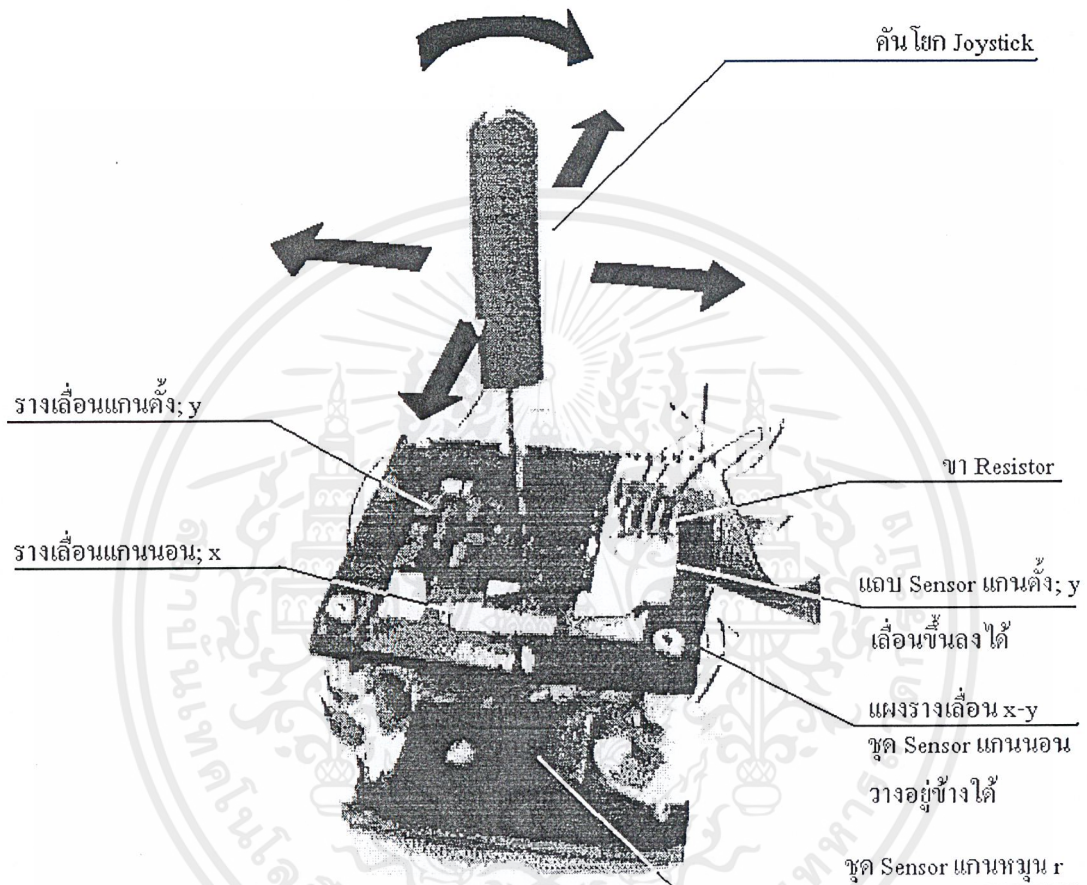


รูปที่ 4.2 อธิบายส่วนประกอบของแต่ละล้อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Joystick

รถจำลองระบบ IVMC ใช้ 3-Axis Joystick โดยมีแกน X -Y บังคับทิศทางการเคลื่อนที่ และแกน R บังคับทิศทางการหมุน โดยมีส่วนประกอบต่างๆดังรูป

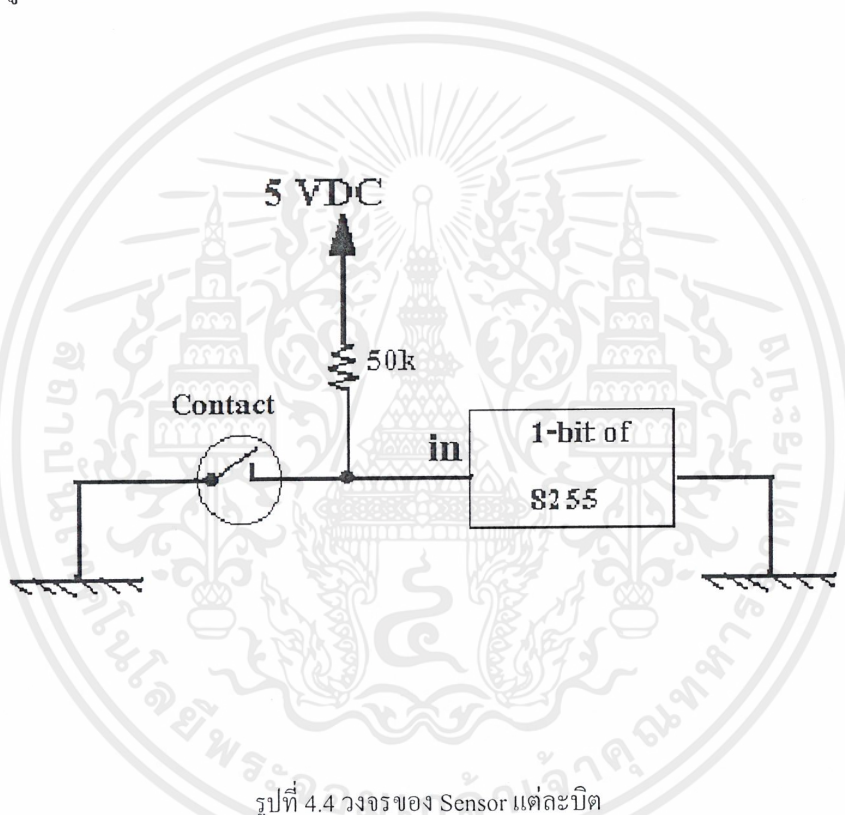


รูปที่ 4.3 IVMC Joystick

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การออกแบบเซนเซอร์และหน้าสัมผัสต่างๆ

เพื่อประสิทธิภาพและประหยัดต้นทุนจึงเน้นการออกแบบให้รอยต่อจากวงจรมาถึงขา Input ของ Port 8255 มีน้อยที่สุดเท่าที่จะทำได้ Contact Sensor ทุกชุดจึงใช้ขาตัวด้านทานสัมผัส โดยตรงกับลาย Tree Code PCB โดยค่าความต้านทานเฉลี่ยที่หน้าสัมผัสวัดได้ระหว่าง 2 – 10 Ω ถือว่าน้อยมากเมื่อเทียบกับ Input impedance ของ Port 8255 ใน Input Mode ซึ่งมีค่า 200k Ω โดยประมาณ ลักษณะการต่อวงจรสู่ Port จาก Sensor ของแต่ละบิตโดยสมมติให้ Contact ทำงานเหมือน Switch จึงมีรูปแบบดังนี้

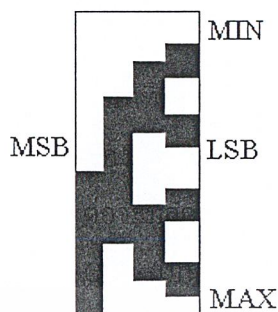


ค่า R 50k คำนวณได้โดยยึดหลักที่ให้อุปกรณ์แต่ละบิตกินกระแสอย่างน้อยที่สุดเมื่อ Contact-ON (Logic-0) แต่ต้องการ Input Voltage เมื่อ Contact-OFF (Logic-1) มีค่าอย่างน้อย 4 Volts ค่า R 50k จึงคำนวณจากสมการ $V_{in} = 4 = 5 \times R / (R + Z_{in})$ เมื่อ Z_{in} คือ Input Impedance ของ Port 8255 เท่ากับ 200k และถ้าให้ Contact ON พร้อมกันทุกตัววงจรส่วนนี้ก็จะมีกินกระแสเกินกว่า 4.4 mA

แผ่น PCB ของ Sensor ออกแบบเป็นลายรหัส Tree Code*** ต่อตรงกับ Common ground ของระบบคือตัวโครงรถโดยแถบโลหะแทน Logic-1 ของ Sensor ข้อมูลที่อ่านได้จะเป็น Negative Value ต้องนำมาทำ Complement ในส่วนของโปรแกรมก่อนจึงจะนำไปประมวลผลได้ แนวคิดของ Tree Code จะขอกกล่าวถึงที่มาและรายละเอียดในหัวข้อต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แนวคิดของ Tree Code

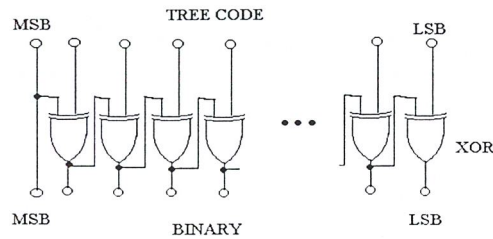


ส่วนของ Tree Code ลายทองแดงที่นำไฟฟ้า คือ พื้นที่ที่ให้ค่า Logic-1 โดยในแต่ละบิตนั้นลายทองแดงจะเชื่อมต่อเป็นแผ่นเดียวกัน การเชื่อมต่อจะมีลักษณะคล้ายสาขาค้นไม้ จึงเรียกว่า Tree Code (เป็นการค้นพบด้วยตนเองของผู้สร้างโครงการ)

รูปที่ 4.5 ลายรหัส Tree code พื้นฐาน

อุปกรณ์ในการอ่านค่าข้อมูลของล้อ และ ของ Joystick ใช้ Sensor ที่ทำมาจาก Tree-Code โดยจะรับค่าข้อมูลเป็น Digital จึงต้องการข้อมูลที่อยู่ในรูปของ Binary แต่ Binary Code จะมีปัญหา มากเมื่อนำมาใช้กับ Sensor เนื่องจากอุปกรณ์ทางเครื่องกลมีโอกาสดัดแปลงได้ง่าย และยังมีโอกาสเกิดความผิดพลาดทางตรรกะในขณะการเปลี่ยนสถานะของข้อมูลที่อ่านจาก Sensor เช่น การเปลี่ยน จากตำแหน่ง 00001111 \Rightarrow 00010000 คือจาก 0FH ไป 10H ข้อมูลที่บิต 0 และ 1 ต้องมีการเปลี่ยนแปลงพร้อมกันจริงๆ ซึ่งเป็นไปได้ยากในทางปฏิบัติเพราะความไม่เป็นอุดมคติของอุปกรณ์ทั้งทาง อิเล็กทรอนิกส์และเครื่องกล จากตัวอย่างจึงอาจเกิดการเปลี่ยนแปลงบิตอย่างไม่พร้อมเพียงได้หลาย บิต และกรณีที่ร้ายแรงที่สุดที่เป็นไปได้คือ 00001111 \Rightarrow 00011111 คือ บิตที่ 4 เกิดการเปลี่ยนแปลงก่อน ซึ่งเป็นลักษณะของการเกิด logical race จะเห็นว่ามีโอกาสเกิด 00011111 ก่อนที่จะเป็น 00010000 และถ้า Microprocessor อ่านค่านี้เข้าไปประมวลผลจะทำให้เกิดความผิดพลาดถึง 16 เท่า ของการเปลี่ยนแปลงข้อมูลปกติอาจทำให้เกิดการประมวลผลที่ผิดพลาดขึ้นอย่างรุนแรงได้

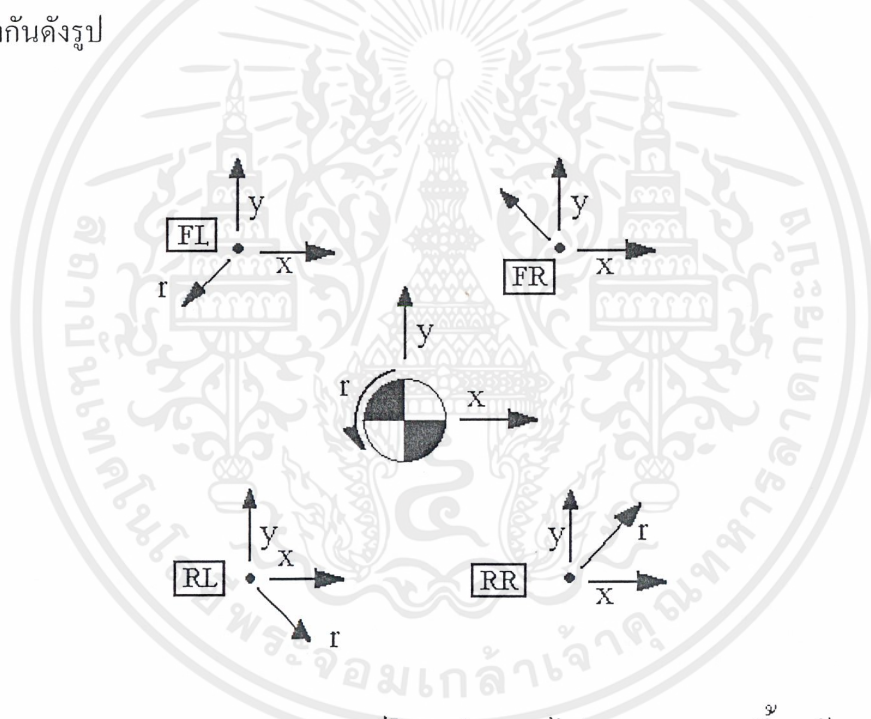
ดังนั้นจึงต้องใช้ รหัสข้อมูลที่ป้องกันการเกิด Race ได้ นั่นคือ ข้อมูลที่อยู่ติดกันจะ มีความแตกต่างกันเพียง 1 บิต เท่านั้น และเพื่อความง่ายต่อการออกแบบ ลาย PCB ให้เป็นแผ่นเดียวกัน Logic 1 ทุกแถบต้องมีพื้นที่ติดกันดังรูป และวิธีง่าย ๆ ในการแปลงข้อมูล Tree-Code ให้เป็น Binary โดยทางทฤษฎี คือการนำค่า Output ของบิตที่แล้วที่อยู่ติดกัน มา XOR กับ Input ของบิตที่ต้องการแปลงก็จะได้ Output ออกมาอยู่ในรูป Binary ดังรูป



รูปที่ 4.6 การแปลง Tree code เป็น Binary

การคำนวณขนาดและทิศทางของเวกเตอร์สี่ล้อแต่ละล้อ

โดยใช้หลักการถ่ายทอดเวกเตอร์จากจุดศูนย์กลางรถทำให้ได้ขนาดของเวกเตอร์ส่วนที่กระจายมาจากเวกเตอร์การหมุน (r) มีค่าเท่ากันทุกล้อแต่มีทิศทางต่างกัน ส่วนค่า $x - y$ กระจายไปสู่ทุกล้อเท่ากันดังรูป



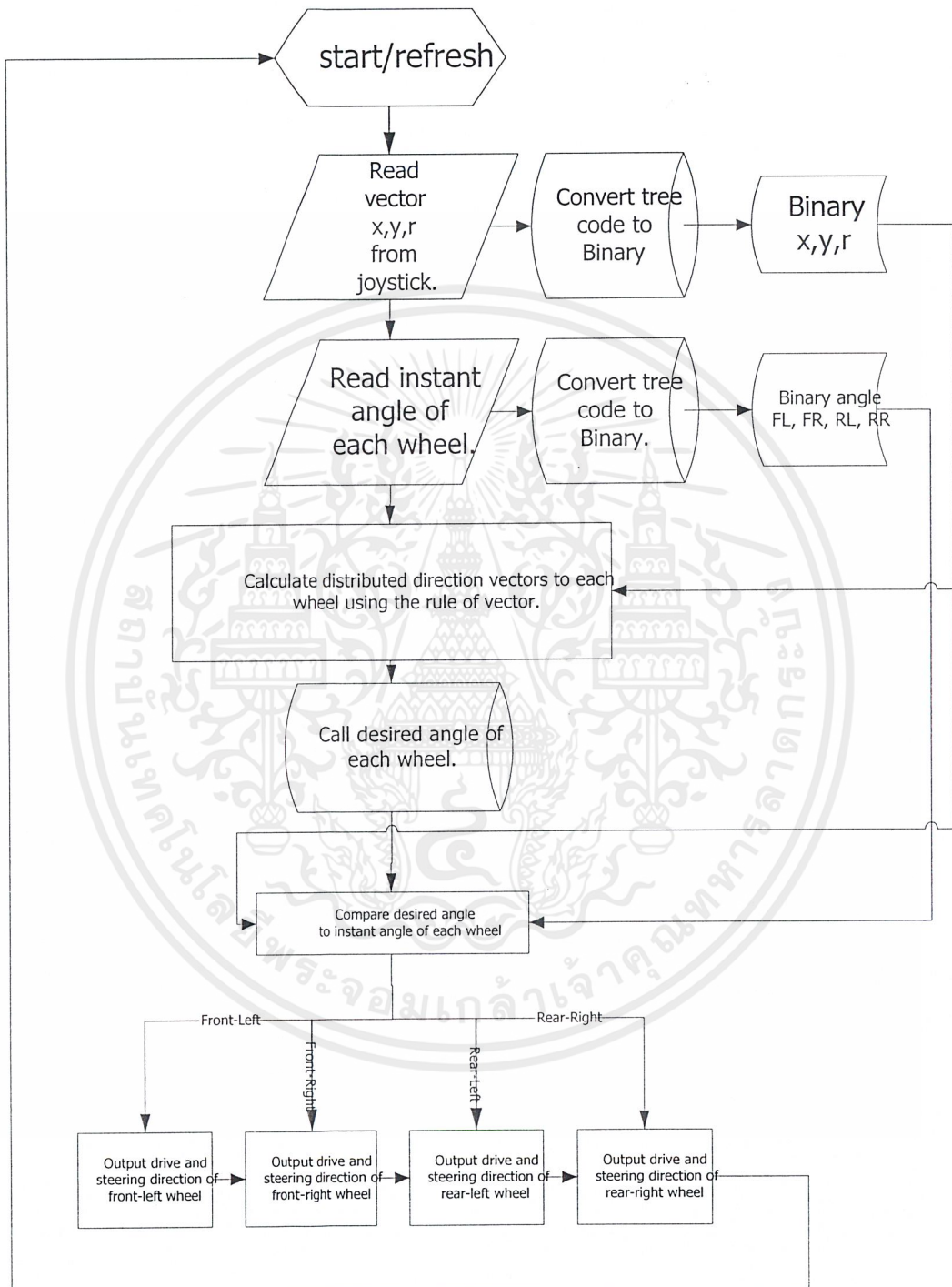
นำผลรวมของเวกเตอร์ในรูป $X-Y$ ไปคำนวณมุมเฉลี่ยล้อ

รูปที่ 4.7 การกระจายเวกเตอร์สี่ล้อทั้งสี่

จาก Joystick ค่า x , y และ r ที่อ่านได้จะมีขอบเขตระหว่าง $(-7,7)$ โดย r จะมีค่าทั้งแนวตั้งและแนวนอนที่มีขนาดเท่ากันแต่เครื่องหมายต่างกันในแต่ละล้อ จะทำให้ได้ X และ Y ที่มีค่าอยู่ระหว่าง $(-14,14)$ ค่าของเวกเตอร์ที่ได้เป็นการอ้างอิงทิศทางด้วยพิคัดเชิงเส้นซึ่งจะต้องนำไปแปลงเป็นพิคัดเชิงมุมเพื่อสั่งการสู่มอเตอร์ควบคุมทิศทางโดยการใช้ตาราง Arctangent Y/X

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต่อไปนี้เป็นแผนผังการประมวลผลของโปรแกรมในไมโครคอนโทรลเลอร์ AT89C51



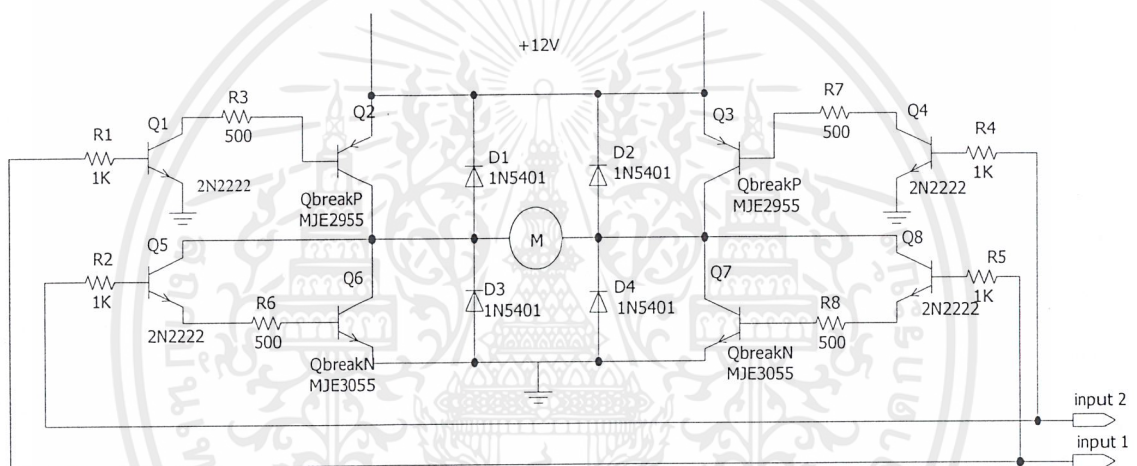
รูปที่ 4.8 แผนผังการทำงานของโปรแกรมส่วนที่ทำงานเป็น Loop

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลักการออกแบบวงจร Drive Motor สำหรับการขับเคลื่อนและขับเคลื่อน

เนื่องจากในโครงการชิ้นนี้ได้ใช้ มอเตอร์ดีซีเป็นหลัก ทั้งในการขับเคลื่อน และขับเคลื่อนของล้อ จึงจำเป็นต้องมีการออกแบบวงจร Drive ดีซีมอเตอร์เพื่อให้สามารถจ่ายกระแสให้เพียงพอ กับโหลดทอร์คที่เกิดขึ้น เพื่อให้รถสามารถเคลื่อนที่ได้ตรงตามเป้าหมาย

สำหรับวงจรที่จะนำมาใช้ในการขับเคลื่อนดีซีมอเตอร์จะเป็นวงจรแบบ Bipolar Voltage Drive ซึ่งสามารถควบคุมทิศทางการหมุนของมอเตอร์ได้โดยการป้อน Logic ที่มีค่าต่างกันไป ซึ่งวงจรที่นำมาใช้ในโครงการชิ้นนี้ หลักการทำงานของวงจรคือ ใช้แรงดันไฟ 5 v จำนวน 2 บิต (จาก Controller) ควบคุมการหมุน ดังรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 วงจรไดร์ฟมอเตอร์ขับเคลื่อนและขับเคลื่อนแบบกระแสตรง

เมื่อมีแรงดัน 5 V ต่อที่ขา Input 1 จะทำให้ Transistor Q1, Q2, Q7 และ Q8 อยู่ในสภาวะ turn on (เนื่องจากมีแรงดันตกคร่อม Q1, Q2, Q7, Q8 เกิน 0.7 V) Transistor Q1, Q2, Q7, Q8 จะสามารถนำกระแสได้ ที่บริเวณ Q2, Q7 ที่ต่อกับ Vcc ในสภาวะ ON จะมี แรงดันตกคร่อมที่ขา C กับ E ไม่สูงมากนัก ทำให้ Voltage ส่วนใหญ่จะตกคร่อมอยู่ที่มอเตอร์โดยที่จุด 3 จะเป็นบวก จุด 4 จะเป็นลบ แต่ถ้าต่อ 0 Volt เข้าที่ขา Input 1 Q1, Q2, Q7, Q8 จะอยู่ในสภาวะ turn off จึงไม่สามารถนำกระแสได้ Volt ตกคร่อมมอเตอร์จะเป็น 0 แต่ถ้า มีการจ่ายแรงดัน 5 V เข้าที่ Input 1 และ Input 2 จะทำให้ Transistor ทุกตัว on ทำให้กระแสไหลผ่าน Q2, Q3, Q6, Q7 ลง Ground โดยจะไม่ไหลผ่านมอเตอร์ เนื่องจากมีศักย์เท่ากัน

ตารางแสดงสถานะของมอเตอร์ที่ลอจิกต่างๆ

สถานะลอจิก (0 = 0 volt, 1 = 5 volt)		สภาวะการหมุน ของมอเตอร์
A	B	
0	0	ไม่หมุน
0	1	หมุนซ้าย
1	0	หมุนขวา
1	1	ไม่หมุน

ตารางที่ 4.10 แสดงสถานะทางลอจิกของมอเตอร์

จากรูปที่ 4.9 จะเห็นว่า มี ไดโอด 4 ตัว ต่อขนานกับทรานซิสเตอร์แต่ละตัว จุดประสงค์เพื่อทำให้เกิดเส้นทางการไหลของกระแสฟรีวีลิ่ง (Freewheeling Current) ไดโอด D2 และ D3 จะเป็นทางผ่านของกระแสหลังจากที่ทรานซิสเตอร์ Q2 และ Q7 หยุดทำงาน ส่วน D1 และ D4 จะมีกระแสไหลผ่านขณะที่ทรานซิสเตอร์ Q6 และ Q3 หยุดทำงาน

บทที่ 5

ผลการทดสอบและประเมินผล

เนื่องจากโครงการชิ้นนี้ไม่มีจุดประสงค์เพื่อแสดงความเข้าใจในชิ้นงาน แต่เพื่อแลกเปลี่ยนแนวคิดและมุมมองใหม่ๆทางเทคโนโลยี ทั้งยังไม่มีการนำเสนอผลงานแบบนี้มาก่อนในสถาบันฯ จึงขอเพิ่มส่วนที่เป็นขั้นตอนในการทำงานเข้าไปด้วยเพื่อเป็นกรณีศึกษา และยินดีที่จะรับคำแนะนำเพื่อการนำเสนอที่ดีกว่า ในอนาคต

ในระหว่างขั้นตอนสร้างต้นแบบของระบบ IVMC พบปัญหาและอุปสรรคหลายด้านซึ่งได้มีการคิดหาวิธีแก้ปัญหาโดยทำการทดสอบและแก้ไขข้อบกพร่องอย่างสม่ำเสมอ ขั้นตอนของการทำงาน ปัญหาและการแก้ไขป้องกันตามลำดับเหตุการณ์โดยสรุปเป็นดังต่อไปนี้

- คิดค้นระบบบังคับลิ้ว IVMC ประกอบแนวคิดส่งไปเพื่อเข้าร่วมในการแข่งขันหุ่นยนต์ Robocon 2000 รอบคัดเลือก ของ สสวท. ปลายปี 2542 เริ่มทำชิ้นส่วนเครื่องกลบางส่วนแต่ขาดความรู้เรื่อง Microcontroller จึงล้มเหลวในครั้งนั้น

- ภาคเรียนที่ 2 ของปีการศึกษา 2543 เสนอ IVMC เป็น โครงการที่จะทำแล้วลงมือศึกษาและออกแบบอย่างจริงจัง

- ปัญหาแรกที่พบคือชิ้นส่วนกลไกที่ต้องการไม่สามารถหามาได้ง่ายๆและบางชิ้นมีราคาแพง จึงต้องออกแบบและทำขึ้นมาเองบางส่วนและซ่อมแซมชิ้นส่วนเก่าๆที่มีอยู่จำกัดให้ใช้งานต่อไปได้ เป็นช่วงที่มีการลองผิดลองถูกหลายครั้งและลงทุนมากที่สุด

- หลังจากสร้างชิ้นส่วนกลไกเสร็จเป็นรูปเป็นร่างแล้วก็เริ่มทำส่วนที่เป็น Mechatronics อย่างแรกคือ Contact Sensor เพื่อลดผลกระทบอันอาจเกิดจากความไม่แน่นอนของการประดิษฐ์ชิ้นส่วนเครื่องกล เช่น การเรียงแถวของขั้วด้านทานที่ไม่ตรงแนวอาจทำให้การอ่านข้อมูลผิดพลาดถ้าเลือกใช้ แอมป์ส Binary ธรรมดา จำเป็นต้องออกแบบแอมป์สที่ลดความผิดพลาดนี้ได้ นั่นคือ Tree Code ซึ่งได้กล่าวไว้ในบทที่แล้ว จากนั้นจึงเขียนแบบลาย PCB ของ Tree code ด้วย AutoCAD ©2000 โดยกำหนดให้การแปลรหัสข้อมูลทุกอย่างอยู่ที่โปรแกรม คือเน้นให้ Software ทำงานมากที่สุดเพราะสามารถแก้ไขได้ง่ายและน่าเชื่อถือกว่า Hardware

- ชิ้นส่วนทางอิเล็กทรอนิกส์ที่สร้างขึ้นต่อมาก็อวงจรมอเตอร์ที่ออกแบบลาย PCB ให้มีขนาดเล็กเพื่อประหยัดเนื้อที่แต่วงจรมอเตอร์บังคับลิ้ว 4 ชุดที่ทำมาในตอนแรกใช้เนื้อที่ค่อนข้างมากเพราะไม่ได้ลง PCB และยังมีปัญหาด้าน Reliability จึงต้องเปลี่ยนมาใช้วงจรมอเตอร์แบบเดียวกันทั้งมอเตอร์บังคับลิ้วและขับเคลื่อน ต่างกันที่ไฟเลี้ยง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

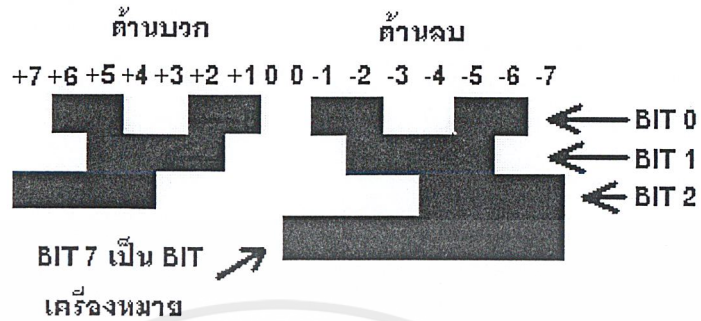
- เมื่อนำชิ้นส่วนมาประกอบกันเกือบจะใช้ได้ก็เริ่มมีการทดสอบการทำงานของทุกอย่างว่าสามารถทำงานร่วมกันได้หรือไม่ มีข้อบกพร่องส่วนใด ปรากฏว่ามีปัญหาเกิดขึ้นทุกวันทั้งที่เป็นลักษณะเส้นผมบังภูเขา (เช่นการสลับสายไฟ) และงานหนัก (เช่นการแก้ไข Bearings) เมื่อทุกส่วนพอทำงานได้แล้วก็นำ Algorithm ของการประมวลผลที่ออกแบบไว้ในตอนแรกมาเขียนเป็นโปรแกรม โดยเรียนรู้วิธีการเขียนโปรแกรมและการใช้อุปกรณ์ไปพร้อมๆกับการใช้งานจริง และช่วงนี้ก็ยังเกิดปัญหามากขึ้นแต่ก็สามารถแก้ไขได้ดีขึ้นเพราะมีความคุ้นเคยกับงานในระดับหนึ่ง

- ในการทดสอบบนแท่นโดยให้รถวิ่งอยู่กับที่ให้ลือลอยจากพื้นพบว่า Power Supply ไม่สามารถจ่ายกระแสให้ตามต้องการได้ทำให้ Microcontroller เกิดการ Reset หลายครั้ง จึงแก้ไขโดยการทดสอบเฉพาะระบบบังคับความเร็วไม่ต้องขับมอเตอร์ขับเคลื่อน ปรากฏว่าไม่เป็นไปตามต้องการเลยจึงต้องตรวจสอบหาข้อบกพร่องที่ละจุดตั้งแต่ Sensor ของทั้ง Joystick และลือ ไปจนถึง Bearings และวงจรขับมอเตอร์

- เมื่อตรวจสอบและแก้ไขจนแน่ใจแล้วว่าจุดบกพร่องของ Hardware เป็นที่ยอมรับได้ คือแทบไม่มีผลต่อการทำงานของระบบโดยรวม แล้วจึงทำการทดสอบอีกครั้งแต่ก็ยังให้ผลไม่เป็นที่น่าพอใจ ข้อสรุปของปัญหาจึงอยู่ที่ Software

- หลังจากทำการแก้ไขและ Debug พร้อมทั้งทำให้ Software มีความยืดหยุ่นมากขึ้นแล้ว ก็ทำการทดสอบก่อนวิ่งจริงโดยเก็บโปรแกรมไว้ชั่วคราวใน REM55 emulator และใช้เบตเตอร์จริงโดยคราวนี้ทำให้ลือขับเคลื่อนหมุนไปด้วย ในตอนแรกต่อ IC 7805 ไว้กับแหล่งจ่ายไฟ 6 VDC เมื่อไมโครคอนโทรลเลอร์และ Port 8255 รับภาระมากๆจะเกิดการ Reset บ่อย เนื่องจากแรงดันไฟเลี้ยงมี 4.5 Volts ต้องเปลี่ยนไปใช้แหล่งจ่ายไฟหลัก 12 VDC ร่วมกันทั้งระบบและให้ผลเป็นที่น่าพอใจแม้จะมีข้อบกพร่องด้าน โปรแกรมอยู่บ้างแต่รถก็สามารถวิ่งและบังคับความเร็วได้ตามที่ต้องการ จึงถือได้ว่าโครงงานมีความพร้อมแล้วที่จะนำเสนอแต่การแก้ไขปัญหาและพัฒนาจะยังคงดำเนินต่อไป

วิธีการอ่านค่า Tree – Code ของ Joystick ดังรูป 5.1



รูปที่ 5.1 การอ่าน Tree - code

ต่อไปเป็นผลการตอบสนองอย่างคร่าวๆของการเคลื่อนที่ของรถต่อ Joystick

ตำแหน่งแกนนอน	ตำแหน่งแกนตั้ง	ตำแหน่งแกนหมุน	การเคลื่อนที่
0	0	0	หยุดนิ่ง
ขวาสุด	0	0	รถเคลื่อนที่ไปทางขวาของตัวมันเอง
ขวาสุด	บนสุด	0	รถเคลื่อนที่ไปด้านหน้าขวาของตัวมันเอง
0	บนสุด	หมุนขวาเล็กน้อย	โค้งขวาหันหน้าไปตามทิศทางที่ไป
0	0	หมุนขวาสุด	หมุนรอบตัวเอง
ซ้ายสุด	บนสุด	ขวาสุด	หมุนขวาโดยลื้อหน้าขวาเป็นศูนย์กลาง
โยกคัน Joystick เป็นวงกลมทวนเข็มนาฬิกา		0	วิ่งเป็นวงกลมทวนเข็มนาฬิกาไปทิศเดียวตลอด

ตาราง 5.1 ผลการตอบสนองของรถต่อการควบคุมด้วย Joystick

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางผลการทดลองวัดค่ามุมที่ลื้อเปรียบเทียบกับมุมที่คำนวณได้เมื่อให้ Input ดังนี้

ตำแหน่ง Joystick			มุมลื้อที่คำนวณจากสูตร				มุมลื้อที่วัดได้				Errors/ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน			
x	y	R	FL	FR	RL	RR	FL	FR	RL	RR	FL	FR	RL	RR
4	0	0	0	0	0	0	<u>-3.10</u>	<u>0.00</u>	<u>-3.50</u>	<u>0.90</u>	-2.52	0.00	-2.11	0.78
							<u>2.70</u>	<u>2.40</u>	<u>1.10</u>	<u>3.70</u>	2.20	1.54	0.66	3.19
							<u>0.90</u>	<u>-2.80</u>	<u>2.60</u>	<u>0.40</u>	0.73	-1.80	1.57	0.34
ค่าเฉลี่ย			0	0	0	0	<u>0.17</u>	<u>-0.13</u>	<u>0.07</u>	<u>1.67</u>	0.14	-0.08	0.04	1.44
0	3	0	90	90	90	90	<u>85.80</u>	<u>89.30</u>	<u>90.00</u>	<u>90.90</u>	-3.41	-0.45	0.00	0.78
							<u>92.70</u>	<u>90.70</u>	<u>94.00</u>	<u>90.70</u>	2.20	0.45	2.41	0.60
							<u>90.00</u>	<u>90.60</u>	<u>88.50</u>	<u>91.10</u>	0.00	0.38	-0.30	0.95
ค่าเฉลี่ย			90	90	90	90	<u>89.50</u>	<u>90.20</u>	<u>90.83</u>	<u>90.90</u>	-0.41	0.13	0.50	0.78
0	0	6	45	135	135	45	<u>44.10</u>	133.3	<u>135.6</u>	48.50	-0.73	-1.15	0.36	3.02
							<u>41.00</u>	132.7	<u>131.8</u>	45.90	-3.25	-1.47	-1.93	0.78
							<u>40.50</u>	134.6	<u>135.1</u>	46.20	-2.85	-0.26	0.06	1.03
ค่าเฉลี่ย			45	135	135	45	<u>41.87</u>	133.5	<u>134.2</u>	46.87	-2.54	-0.96	-0.48	1.61
5	7	0	54.46	54.46	54.46	54.46	<u>55.50</u>	<u>55.40</u>	<u>51.90</u>	<u>57.70</u>	0.85	0.60	-1.54	2.79
							<u>54.30</u>	<u>56.80</u>	<u>54.40</u>	<u>55.70</u>	-0.13	1.50	-0.04	1.07
							<u>55.00</u>	<u>58.10</u>	<u>53.70</u>	<u>54.60</u>	0.44	2.33	-0.46	0.12
ค่าเฉลี่ย			54.46	54.46	54.46	54.46	<u>54.93</u>	<u>56.77</u>	<u>53.33</u>	<u>56.00</u>	0.38	1.48	-0.68	1.33
6	4	5	153.4	77.47	174.8	39.29	<u>152.6</u>	<u>77.30</u>	<u>172.9</u>	<u>40.00</u>	-0.65	-0.11	-1.14	0.61
							<u>153.3</u>	<u>79.80</u>	<u>175.5</u>	<u>41.90</u>	0.08	1.50	0.42	2.25
							<u>153.0</u>	<u>77.50</u>	<u>174.5</u>	<u>39.00</u>	-0.33	0.02	-0.18	-0.25
ค่าเฉลี่ย			153.4	77.47	174.8	39.29	<u>153.0</u>	<u>78.20</u>	<u>174.3</u>	<u>40.30</u>	-0.33	0.47	-0.31	0.87
-3	0	0	0	0	0	0	1.50	-0.50	-2.30	2.70	1.22	-0.32	-1.39	2.33
							-0.10	-2.30	-1.80	0.20	-0.08	-1.47	-1.08	0.17
							-3.80	-4.10	-2.40	3.10	-3.09	-2.63	-1.45	2.67
ค่าเฉลี่ย			0	0	0	0	-0.80	-2.30	-2.17	2.00	-0.65	-1.47	-1.31	1.72

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตำแหน่ง Joystick			มูมลือที่คำนวณได้จากสูตร				มูมลือที่วัดได้				Error/ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน			
x	y	r	FL	FR	RL	RR	FL	FR	RL	RR	FL	FR	RL	RR
0	-7	0	90	90	90	90	90.60	92.80	89.90	90.00	0.49	1.80	-0.06	0.00
							91.40	90.30	90.70	90.00	1.14	0.19	0.42	0.00
							90.50	93.20	90.50	90.90	0.41	2.05	0.30	0.78
ค่าเฉลี่ย			90	90	90	90	90.83	92.10	90.37	90.30	0.67	1.35	0.22	0.26
0	0	-5	45	135	135	45	44.60	<u>136.9</u>	135.4	<u>46.70</u>	-0.33	1.22	0.24	1.47
							43.20	<u>135.0</u>	136.6	<u>43.30</u>	-1.46	0.00	0.96	-1.47
							44.50	<u>137.1</u>	138.5	<u>45.80</u>	-0.41	1.35	2.11	0.69
ค่าเฉลี่ย			45	135	135	45	44.10	<u>136.3</u>	136.8	<u>45.27</u>	-0.73	0.83	1.08	0.23
-4	-7	0	29.74	29.74	29.74	29.74	29.70	26.50	29.40	26.90	-0.03	-2.08	-0.20	-2.45
							26.80	28.00	27.30	27.10	-2.39	-1.12	-1.47	-2.28
							28.00	30.10	29.50	29.00	-1.41	0.23	-0.14	-0.64
ค่าเฉลี่ย			29.74	29.74	29.74	29.74	27.17	28.20	28.73	27.67	-2.09	-0.99	-0.61	-1.78
-7	-3	-2	11.31	45.00	6.34	29.05	11.30	44.60	6.00	30.00	-0.01	-0.26	-0.20	0.04
							12.20	42.30	7.00	28.70	0.72	-1.73	0.40	-0.30
							11.40	43.50	5.50	33.90	0.07	-0.96	-0.51	4.18
ค่าเฉลี่ย			11.31	45.00	6.34	29.05	11.63	43.47	6.17	30.87	0.26	-0.98	-0.10	1.57
-6	4	-5	96.34	45.00	140.7	5.19	<u>97.00</u>	44.90	<u>140.3</u>	5.20	0.54	-0.06	-0.24	0.01
							<u>96.70</u>	43.20	<u>140.8</u>	8.50	0.30	-1.15	0.06	2.85
							<u>98.60</u>	44.80	<u>143.8</u>	7.50	1.84	-0.13	1.87	1.99
ค่าเฉลี่ย			96.34	45.00	140.7	5.19	<u>97.43</u>	44.30	<u>141.6</u>	7.07	0.89	-0.45	0.54	1.62
3	-7	6	77.00	18.43	124.7	173.7	77.00	17.80	125.0	174.0	0.00	-0.40	0.18	0.26
							76.90	17.50	124.9	175.3	-0.08	-10.7	0.12	1.38
							76.50	16.20	125.8	176.6	-0.41	-1.43	0.66	2.50
ค่าเฉลี่ย			77.00	18.43	124.7	173.7	76.80	17.17	125.2	175.3	-0.16	-0.81	0.30	1.39

ตาราง 5.2 การทดลองวัดค่ามูมลือที่ได้จริงเปรียบเทียบกับมูมที่คำนวณได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

* หมายเหตุ ในตารางช่องมุมลือที่วัดได้อักษร A หมายถึง ล้อหมุนเคลื่อนที่ไปข้างหน้า
A หมายถึง ล้อหมุนกลับทิศไปด้านหลัง

* สังเกตค่ามุมที่คำนวณได้ในตารางจะมีค่าอยู่ระหว่าง $0 - 180$ องศา เนื่องจากมอเตอร์ขับเคลื่อนสามารถหมุนได้ 2 ทิศทาง ดังนั้น มุม 90° กับมุม 270° จึงให้ผลเหมือนกันเพียงกลับทิศทาง การวิ่ง

สำหรับผลการตอบสนองต่อการควบคุมนั้นเป็นการเคลื่อนไหวยของรถ ไม่สามารถบรรยายให้กระจ่างได้ในที่นี้ ผลการทดสอบที่สมบูรณ์ให้การสาธิตจริงของระบบ IVMC

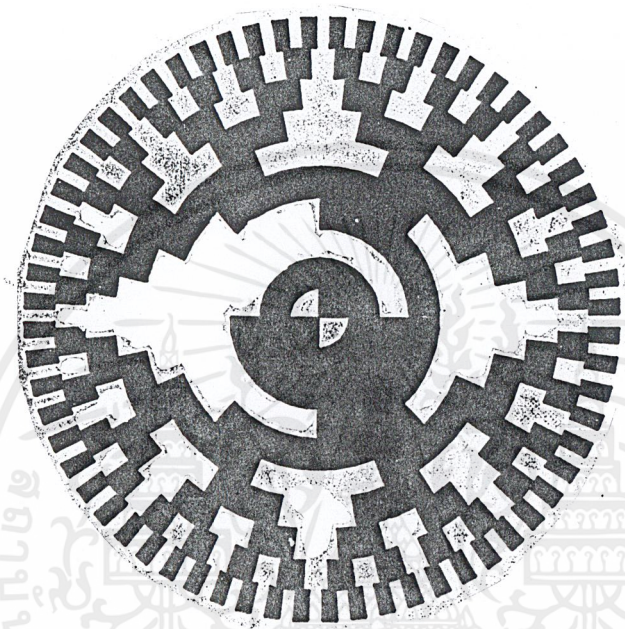
ผู้จัดทำและนำเสนอโครงการนี้ได้ทำการทดสอบและปรึกษากับผู้เชี่ยวชาญหลายท่าน ได้ข้อสรุปถึงความเป็นไปได้ว่าการพัฒนา IVMC สามารถทำได้จริงและให้ผลคุ้มค่า สิ่งที่ต้องการคือการสนับสนุนอย่างจริงจัง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



TREE-CODE 8 BIT

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Standard Specification

maxon service for you:

- With our Standard Specification we offer you a means to judge **maxon DC motors** in the most important respects. To our knowledge it covers normal applications. The Standard Specification is part of our «General Conditions of Sale».



The CE sign means that the product conforms to EU guidelines and procedures designed to achieve conformity were carried out.

- If additional requirements need to be met, we shall cooperate with you to work out more detailed specifications.

The Standard Specification No. 100 for maxon DC motor and maxon A-max

- The **standard specification** defines checks and tests performed on the **complete motor**.
To assure the high level of quality which is determined by ourselves, we verify materials, parts and subassemblies through the manufacturing process and the complete motor.
The obtained measurements are recorded and can be made available to customers if so required. Sampling plans are according to ISO 2859, MIL STD 105E and DIN/ISO 3951 (Inspection by attributes, sequential sampling, variables inspection) as well as manufacturing self check.
- The following items are inspected/tested on the complete motor:
 - Electrical data** according to computer sheet at 22° C to 25° C.
Measurement voltage +/- 0.5 %
Speed +/- 10 %
No load current: Not to exceed the max. specified value
Sense of rotation:
Standard version cw (clockwise) if voltage '+' is applied to '+' terminal and as seen from shaft end. For CCW running the specified tolerance data may be exceeded.
The terminal resistance is verified sporadically. It must be noted that the terminal resistance depends on the rotor's rotational position. The highest reading is recorded.
Too low a reading results with precious metal brush motors if a set of brush blades bridges two commutator segments, thus short-circuiting one coil segment.
It should be noted that measuring the terminal resistance on a graphite brush motor is not meaningful in most instances on account of its dependence on current density.
The remaining electrical values are sufficiently assured with these measurements.
Commutation: The neutral position of the brushes is verified and checks for open or partially short circuited windings are, for example, made using storage oscilloscopes.
Commutation displays for precious metal brushes and graphite brushes on the oscilloscope are not directly comparable. Precious metal brush commutation display, features rather clean traces up to around the motor's recommended maximum speed. With graphite brushes, this is only expected up to approx. one third of that.
In addition, it should be noted that the contact resistance of graphite brushes and the torque constant may change some during the run-in period due to increased brush seating. As a result, no load speed and no load current could drift marginally. The same effect may be observed if motors are being operated under no load condition for an extended period of time.
In spite of the fact that each individual motor is adjusted and evaluated 100% during the manufacturing process, the Quality Control Department rechecks these values using a sampling process.
 - Mechanical characteristics** per outline drawing:
Standard measuring instruments such as test instructions for electrical length measuring DIN 32876, micrometer per DIN 863, dial indicator per DIN 878, caliper per DIN 862, bore caliper per DIN 2245, thread caliper per DIN 2280 and others are being used.
 - Physical data**
Rotor imbalance: Rotors are balanced according to standard data or customer requirements during manufacturing. The completely assembled motor permits only a subjective assessment, which is done using the sampling method.
Inductance is determined during the development/design phase and verified by way of sampling method on the basis of the winding resistance.
Corrosion resistance: Our products fulfil the requirements according to test climate 23/83-1 DIN 50015.
 - Surface treatment and coating procedures used by Interelectric were selected on the basis of their merits to resist corrosion. Evaluations of these treatments are made according to their applicable standard such as ISO 2082, DIN 50017 KK respectively.
 - Necessary motions in motor cause **noise** of varying degrees, of varying frequency and varying intensity, depending on material and surface qualities.
An objective assessment is only possible at great expense, and with precise specifications. For this reason, Interelectric chooses to evaluate routinely, but only on a subjective basis and for extremes within a lot. Therefore, the noise level experienced with a single sample unit should not be interpreted to be indicative of the noise level to be expected with future deliveries.
 - The **life expectancy** of a motor essentially depends on the operating and ambient conditions as well as on rotor inductance. The many possible variations do not allow us to make a general life expectancy statement. For this reason, Interelectric performs internal tests under uniform criteria to ascertain product consistency with expectations.
- Motor parameters deviating from or supplementing those on standard Interelectric data sheets can be implemented on customer request. These are then treated as customer specifications and will be considered as such during our systematic tests and inspections. Test/Inspection certificates are issued, subject to prior mutual agreement.

February 2000 edition / subject to change

Note to the Catalogue 2000:

maxon motor ag accepts no liability for the accuracy of the information contained in this catalogue, nor for any

damages which may result directly or indirectly from the use of such information. การใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่

This disclaimer does not apply to wilful intent, gross negligence, and does not affect legislation governing product liability.

The new number system

In April 1997 we introduced new article numbers for a large part of the present maxon product range and for all future products. The new number system is a future oriented, modern numbering

technique and is a basis for rational order processing. The new, 6-digit item number and a descriptive, easy to understand article text satisfies all requirements.

Some Advantages:

- clear item number for each article
- very short, only 6 digits
- modern and efficient
- customer friendly

Ident.-No.	Description (Details in catalogue etc.)				
123456	Type	Diameter	Continuous Torque	No. of Stages	Bearings
Example:					
110321	maxon gear planetary gear	Ø16 mm	0.1 Nm	1 stage	Sleeve bearings

Combinations of motors with gearhead and encoder etc. are so allocated, that all possible crosswise comparisons can be made. The products are indelibly marked with a unique order number.

Sample of an order confirmation:

Sachnummer / Artikeltext Type number / Item No d'affaire / Object	Menge Quantity Quantité	Stückpreis Price p. P. Prix unitaire	Betrag / Termin Amount / Date Montant / Délai
118401 MAXON DC MOTOR RE13 EB 1.2W SL 1WE	1000		
137628 KOMBI MOTOR GEAR TACHO BRAKE =118821 MAXON DC MOTOR RE75 GB 250W KL +110408 MAXON GEAR GP81 20NM 1ST KL +136749 MAXON TACHO ENC 1000IMP 3K +109654 MAXON ACCESSORIES AB 24VDC 1.2NM	5		
123456 KOMBI MOTOR GEAR =123457 MAXON DC MOTOR RE75 GB 250W KL +123457 MAXON GEAR GP81 120NM 3ST KL			
EB PRECIOUS METAL BRUSHES DC DIRECT CURRENT SL SINTER SLEEVE BEARINGS GS SPUR GEARHEAD DCT DC-TACHO	GB GRAPHITE BRUSHES BL BRUSHLESS KL BALL BEARINGS GP PLANETARY GEARHEAD ENC ENCODER	RES RESOLVER	CLL CAPACITOR LONG LIFE ST STAGES K CHANNELS IMP IMPULSE AB BRAKE

Structure of combination numbers (old numbering system)

Example:



- 41 Motor-gearhead combination
- 43 Motor-DC-tacho combination
- 44 Motor-encoder combination
- 46 Motor-gearhead-DC-tacho combination
- 47 Motor-gearhead-encoder-combination
- 49 Motor-brake
(also with gearhead, DC-tacho or encoder)
- 40 Motor-DC-tacho/encoder
(with or without gearhead)

Motor diameter in mm

Gearhead diameter in mm

Specification; consecutive number

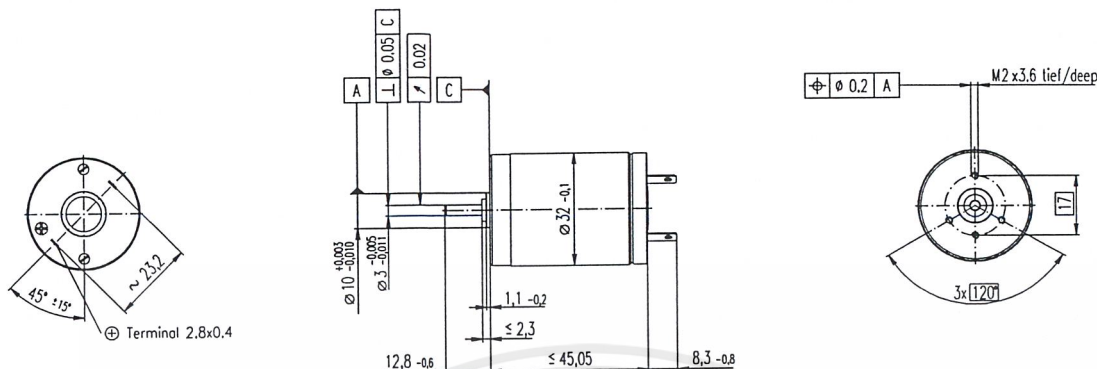
- Encoder:
- 00 without encoder
 - 07 digital encoder 3407..., HP HEDS 5010
 - 09 digital encoder 3409..., HP HEDS 5500
 - 16 digital encoder 3416..
 - 17 digital encoder 3417..., HP HEDS 6010
 - 19 digital encoder 3419..
 - 20 digital magnetic encoder 3420...
 - 36.03 DC-tacho/encoder 3603
 - 32.04 DC-tacho/encoder 3604

- DC-tacho
- 00 without DC-tacho
 - 22 DC-tacho 2822

maxon DC motor



S 2332
 Ø32 mm, Graphite Brushes, 11 Watt



Motor Data:

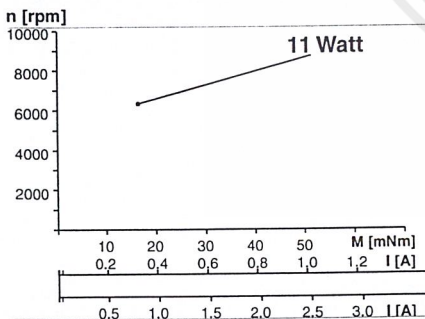
Order Number

	Winding number	900	904	905	906	908	909	910	911	912	913
1 Assigned power rating	W	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11
2 Nominal voltage	Volt	4.5	9.0	9.0	12.0	18.0	24.0	30.0	36.0	48.0	48.0
3 No load speed	rpm	7730	8510	7370	7930	7980	8830	8770	8400	8930	7390
4 Stall torque	mNm	52.3	66.4	58.7	66.2	67.4	74.5	74.7	69.4	74.5	59.9
5 Speed/torque gradient	rpm/mNm	176	138	135	126	123	122	120	124	122	126
6 No load current	mA	160	83	68	55	37	31	25	19	16	12
7 Starting current	mA	11200	7100	5410	4840	3250	2960	2340	1730	1480	986
8 Terminal resistance	Ohm	0.403	1.27	1.66	2.48	5.54	8.12	12.8	20.8	32.5	48.7
9 Max. permissible speed	rpm	9200	9200	9200	9200	9200	9200	9200	9200	9200	9200
10 Max. continuous current	mA	1500	1500	1500	1280	877	729	585	462	371	304
11 Max. continuous torque	mNm	7.01	14.0	16.3	17.5	18.2	18.4	18.6	18.5	18.7	18.5
12 Max. power output at nominal voltage	mW	8630	13600	10500	13000	13600	16700	16800	15000	17100	11400
13 Max. efficiency	%	60	72	72	75	77	78	79	79	80	78
14 Torque constant	mNm/A	4.68	9.35	10.8	13.7	20.8	25.2	31.9	40.0	50.4	60.8
15 Speed constant	rpm/V	2040	1020	881	698	460	379	300	239	189	157
16 Mechanical time constant	ms	38	27	27	25	24	23	23	23	22	22
17 Rotor inertia	gcm ²	20.9	18.7	18.8	19.0	18.4	18.2	18.1	17.5	17.6	17.0
18 Terminal inductance	mH	0.04	0.17	0.22	0.36	0.82	1.21	1.94	3.06	4.85	7.05
19 Thermal resistance housing-ambient	K/W	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14
20 Thermal resistance rotor-housing	K/W	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2
21 Thermal time constant winding	s	9	8	8	8	8	8	8	8	8	8

Operating Range

Comments

Details on page 36



Recommended operating range

Continuous operation
 In observation of above listed thermal resistances (lines 19 and 20) the maximum permissible rotor temperature will be reached during continuous operation at 25°C ambient.
 = Thermal limit.

Short term operation
 The motor may be briefly overloaded (recurring).

- 912** Motor with high resistance winding
- 908** Motor with low resistance winding

Stock program

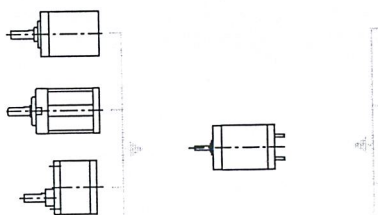
Standard program

Special program (on request!)

- Axial play 0.05 - 0.15 mm
- Max. ball bearing loads axial (dynamic) not preloaded 3.2 N preloaded 2 N radial (5 mm from flange) 16 N Press-fit force (static) 64 N
- Radial play ball bearings 0.025 mm
- Ambient temperature range -20/+100°C
- Max. rotor temperature +125°C
- Number of commutator segments 13
- Weight of motor 174 g
- Values listed in the table are nominal. For applicable tolerances (see page 33) and additional details please request our computer printout.

maxon Modular System

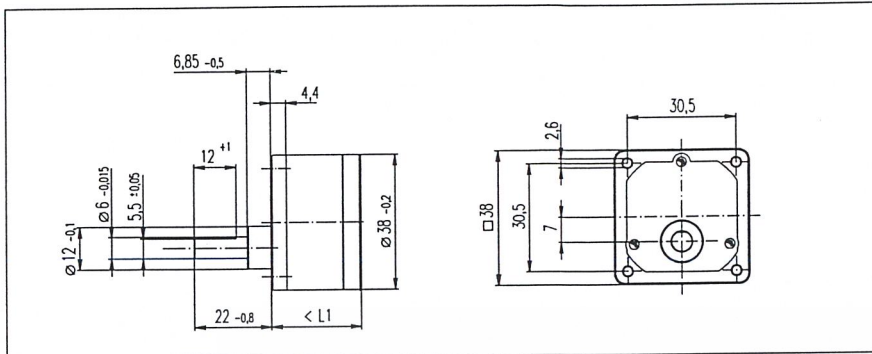
- Planetary Gearhead** Ø32 mm 0.75-4.5 Nm Details page 160
- Planetary Gearhead** Ø32 mm 0.4-2 Nm Details page 163
- Spur Gearhead** Ø38 mm 0.1-0.6 Nm Details page 164



- Options: Our standard program includes ball bearings in place of sleeve bearings and pigtails in place of solder terminals. Planetary Gearhead 2932.70 ... see page 216

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุ... see page 216 ไปประโยชน์ด้านการค้า

Spur Gearhead GS 38
 Ø38 mm, 0.1-0.6 Nm

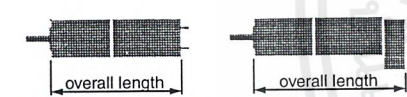


Technical Data

Spur Gearhead	straight teeth
Output shaft	stainless steel
Bearing at output	sleeve bearing
Radial play, 5 mm from bearing	max. 0.1 mm
Axial play	0.03 - 0.2 mm
Max. perm. radial load, 5 mm from bearing	50 N
Max. permissible axial load	30 N
Max. permissible force for press fits	500 N
Average backlash no load	2°
Backlash at nominal load torque	3°
Recommended input speed	< 5000 rpm
Recommended temperature range	-5/+80°C

Gearhead Data:

Order number	110451	110452	110453	110454	110455	110456	110457	110458	110459
1 Reduction	6 : 1	10 : 1	18 : 1	30 : 1	60 : 1	100 : 1	200 : 1	500 : 1	900 : 1
2 Reduction absolute	6	10	18	30	60	100	200	500	900
3 Number of stages	2	2	3	3	4	4	5	6	6
4 Max. continuous torque at gear output	Nm 0.1	0.1	0.2	0.2	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
5 Intermittently permissible torque at gear output	Nm 0.3	0.3	0.6	0.6	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8
6 Sense of rotation, drive to output	=	=	≠	≠	=	=	≠	=	=
7 Max. efficiency	% 81	81	73	73	66	66	59	53	53
8 Weight	g 55	55	60	60	65	65	70	75	75
9 Gearhead length L1	mm 20.7	20.7	23.2	23.2	25.7	25.7	28.2	30.7	30.7



Stock program
 Standard program
 Special program (on request!)

Combination:

+ Motor	Page	+ Tacho	Page	Overall length [mm]																
S 2326, 6 W	71/72			65.4	65.4	67.9	67.9	70.4	70.4	72.9	75.4	75.4								
S 2326, 6 W	72	DC-Tacho 22	173	86.7	86.7	89.2	89.2	91.7	91.7	94.2	96.7	96.7								
S 2326, 6 W	72	Digital Encoder 22	174	81.3	81.3	83.8	83.8	86.3	86.3	88.8	91.3	91.3								
S 2326, 6 W	72	Digital Encoder HED_ 55_	176/178	85.2	85.2	87.7	87.7	90.2	90.2	92.7	95.2	95.2								
S 2332, 11 W	73/74			65.8	65.8	68.3	68.3	70.8	70.8	73.3	75.8	75.8								
S 2332, 11 W	74	DC-Tacho 22	173	82.7	82.7	85.2	85.2	87.7	87.7	90.2	92.7	92.7								
S 2332, 11 W	74	Digital Encoder 22	174	82.3	82.3	84.8	84.8	87.3	87.3	89.8	92.3	92.3								
S 2332, 11 W	74	Digital Encoder HED_ 55_	177/179	85.5	85.5	88.0	88.0	90.5	90.5	93.0	95.5	95.5								
F 2140, 4 W	88			64.7	64.7	67.2	67.2	69.7	69.7	72.2	74.7	74.7								
F 2140, 6 W	89/90			68.7	68.7	71.2	71.2	73.7	73.7	76.2	78.7	78.7								
F 2140, 6 W	90	Digital Encoder 22	175	86.3	86.3	88.8	88.8	91.3	91.3	93.8	96.3	96.3								
A-max 26	109-116			65.4	65.4	67.9	67.9	70.4	70.4	72.9	75.4	75.4								
A-max 26	109-115	Digital Magnetic Encoder 13	184	72.5	72.5	75.0	75.0	77.5	77.5	80.0	82.5	82.5								
A-max 26	110-116	Digital Encoder 22	175	79.9	79.9	82.4	82.4	84.9	84.9	87.4	89.9	89.9								
A-max 26	110-116	Digital Encoder HED_ 55_	177/179	83.8	83.8	86.3	86.3	88.8	88.8	91.3	93.8	93.8								
A-max 32	117-119			80.7	80.7	83.2	83.2	85.7	85.7	88.2	90.7	90.7								
A-max 32	118/120	Digital Encoder HED_ 55_	177/179	99.1	99.1	101.6	101.6	104.1	104.1	106.6	109.1	109.1								

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

1N5400 - 1N5408

Features

- 3.0 ampere operation at $T_A = 75^\circ\text{C}$ with no thermal runaway.
- High current capability.
- Low leakage.



DO-201AD
COLOR BAND DENOTES CATHODE

3.0 Ampere General Purpose Rectifiers

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

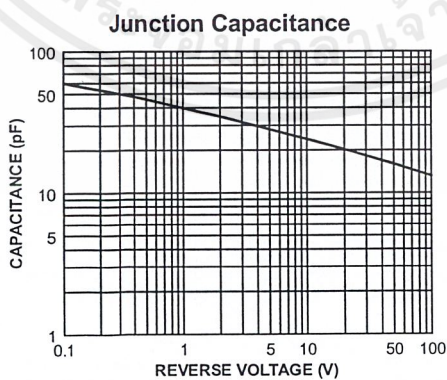
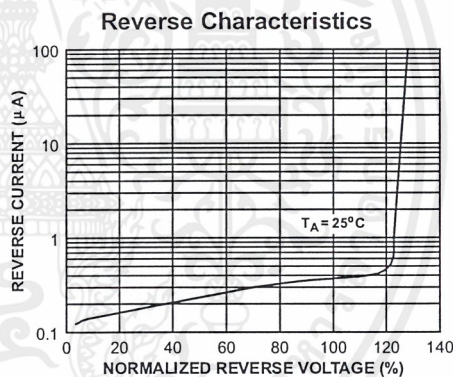
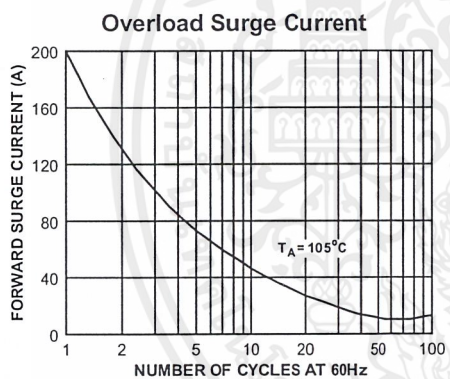
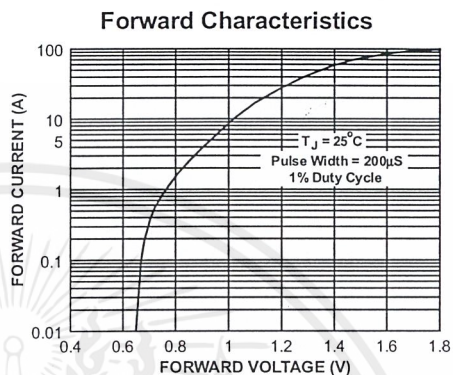
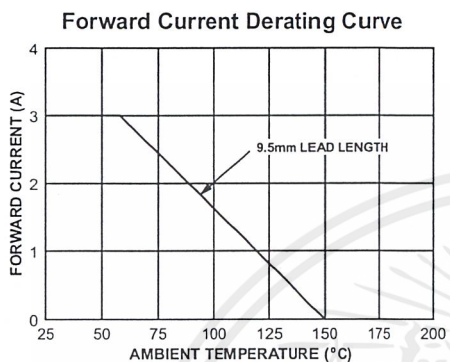
Symbol	Parameter	Value	Units
$I_{F(AV)}$	Average Rectified Current .375" lead length @ $T_A = 75^\circ\text{C}$	3.0	A
I_{FSM}	Non-repetitive Peak Forward Surge Current 8.3 ms single half-sine-wave Superimposed on rated load (JEDEC method)	200	A
P_D	Total Device Dissipation Derate above 25°C	6.25 50	W mW/ $^\circ\text{C}$
$R_{\theta JA}$	Thermal Resistance, Junction to Ambient	20	$^\circ\text{C}/\text{W}$
T_{stg}	Storage Temperature Range	-55 to +150	$^\circ\text{C}$
T_J	Operating Junction Temperature	-55 to +150	$^\circ\text{C}$

*These ratings are limiting values above which the serviceability of any semiconductor device may be impaired.

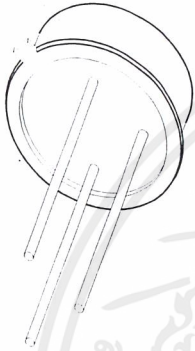
Electrical Characteristics $T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Device									Units
		5400	5401	5402	5403	5404	5405	5406	5407	5408	
V_{RRM}	Maximum Repetitive Reverse Voltage	50	100	200	300	400	500	600	800	1000	V
V_{RMS}	Maximum RMS Voltage	35	70	140	210	280	350	420	560	700	V
V_R	DC Reverse Voltage (Rated V_R)	50	100	200	300	400	500	600	800	1000	V
I_{RM}	Maximum Instantaneous Reverse Current @ rated V_R $T_A = 25^\circ\text{C}$ $T_A = 100^\circ\text{C}$	5.0									μA
		500									μA
V_{FM}	Maximum Instantaneous Forward Voltage @ 3.0 A	1.2									V
I_{rr}	Maximum Full Load Reverse Current, Full Cycle $T_A = 105^\circ\text{C}$	0.5									mA
C	Typical Junction Capacitance $V_R = 4.0\text{ V}$, $f = 1.0\text{ MHz}$	30									pF

Typical Characteristics



DATA SHEET



2N2222; 2N2222A NPN switching transistors

Product specification
Supersedes data of September 1994
File under Discrete Semiconductors, SC04

1997 May 29

NPN switching transistors

2N2222; 2N2222A

FEATURES

- High current (max. 800 mA)
- Low voltage (max. 40 V).

APPLICATIONS

- Linear amplification and switching.

DESCRIPTION

NPN switching transistor in a TO-18 metal package.
PNP complement: 2N2907A.

PINNING

PIN	DESCRIPTION
1	emitter
2	base
3	collector, connected to case

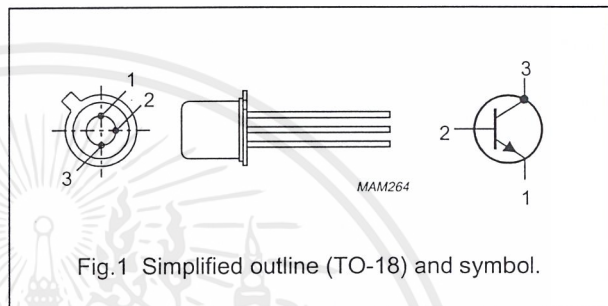


Fig. 1 Simplified outline (TO-18) and symbol.

QUICK REFERENCE DATA

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	MAX.	UNIT
V_{CBO}	collector-base voltage	open emitter			
	2N2222		–	60	V
	2N2222A		–	75	V
V_{CEO}	collector-emitter voltage	open base			
	2N2222		–	30	V
	2N2222A		–	40	V
I_C	collector current (DC)		–	800	mA
P_{tot}	total power dissipation	$T_{amb} \leq 25\text{ }^\circ\text{C}$	–	500	mW
h_{FE}	DC current gain	$I_C = 10\text{ mA}; V_{CE} = 10\text{ V}$	75	–	
f_T	transition frequency	$I_C = 20\text{ mA}; V_{CE} = 20\text{ V}; f = 100\text{ MHz}$			
	2N2222		250	–	MHz
	2N2222A		300	–	MHz
t_{off}	turn-off time	$I_{Con} = 150\text{ mA}; I_{Bon} = 15\text{ mA}; I_{Boff} = -15\text{ mA}$	–	250	ns

NPN switching transistors

2N2222; 2N2222A

LIMITING VALUES

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

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	MAX.	UNIT
V _{CBO}	collector-base voltage	open emitter			
	2N2222		–	60	V
	2N2222A		–	75	V
V _{CEO}	collector-emitter voltage	open base			
	2N2222		–	30	V
	2N2222A		–	40	V
V _{EBO}	emitter-base voltage	open collector			
	2N2222		–	5	V
	2N2222A		–	6	V
I _C	collector current (DC)		–	800	mA
I _{CM}	peak collector current		–	800	mA
I _{BM}	peak base current		–	200	mA
P _{tot}	total power dissipation	T _{amb} ≤ 25 °C	–	500	mW
		T _{case} ≤ 25 °C	–	1.2	W
T _{stg}	storage temperature		–65	+150	°C
T _j	junction temperature		–	200	°C
T _{amb}	operating ambient temperature		–65	+150	°C

THERMAL CHARACTERISTICS

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	VALUE	UNIT
R _{th j-a}	thermal resistance from junction to ambient	in free air	350	K/W
R _{th j-c}	thermal resistance from junction to case		146	K/W

NPN switching transistors

2N2222; 2N2222A

CHARACTERISTICS

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

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	MAX.	UNIT
I_{CBO}	collector cut-off current 2N2222	$I_E = 0; V_{CB} = 50\text{ V}$	–	10	nA
		$I_E = 0; V_{CB} = 50\text{ V}; T_{amb} = 150\text{ }^\circ\text{C}$	–	10	μA
I_{CBO}	collector cut-off current 2N2222A	$I_E = 0; V_{CB} = 60\text{ V}$	–	10	nA
		$I_E = 0; V_{CB} = 60\text{ V}; T_{amb} = 150\text{ }^\circ\text{C}$	–	10	μA
I_{EBO}	emitter cut-off current	$I_C = 0; V_{EB} = 3\text{ V}$	–	10	nA
h_{FE}	DC current gain	$I_C = 0.1\text{ mA}; V_{CE} = 10\text{ V}$	35	–	
		$I_C = 1\text{ mA}; V_{CE} = 10\text{ V}$	50	–	
		$I_C = 10\text{ mA}; V_{CE} = 10\text{ V}$	75	–	
		$I_C = 150\text{ mA}; V_{CE} = 1\text{ V}; \text{note 1}$	50	–	
		$I_C = 150\text{ mA}; V_{CE} = 10\text{ V}; \text{note 1}$	100	300	
h_{FE}	DC current gain 2N2222A	$I_C = 10\text{ mA}; V_{CE} = 10\text{ V}; T_{amb} = -55\text{ }^\circ\text{C}$	35	–	
h_{FE}	DC current gain 2N2222 2N2222A	$I_C = 500\text{ mA}; V_{CE} = 10\text{ V}; \text{note 1}$	30	–	
			40	–	
V_{CEsat}	collector-emitter saturation voltage 2N2222	$I_C = 150\text{ mA}; I_B = 15\text{ mA}; \text{note 1}$	–	400	mV
		$I_C = 500\text{ mA}; I_B = 50\text{ mA}; \text{note 1}$	–	1.6	V
V_{CEsat}	collector-emitter saturation voltage 2N2222A	$I_C = 150\text{ mA}; I_B = 15\text{ mA}; \text{note 1}$	–	300	mV
		$I_C = 500\text{ mA}; I_B = 50\text{ mA}; \text{note 1}$	–	1	V
V_{BEsat}	base-emitter saturation voltage 2N2222	$I_C = 150\text{ mA}; I_B = 15\text{ mA}; \text{note 1}$	–	1.3	V
		$I_C = 500\text{ mA}; I_B = 50\text{ mA}; \text{note 1}$	–	2.6	V
V_{BEsat}	base-emitter saturation voltage 2N2222A	$I_C = 150\text{ mA}; I_B = 15\text{ mA}; \text{note 1}$	0.6	1.2	V
		$I_C = 500\text{ mA}; I_B = 50\text{ mA}; \text{note 1}$	–	2	V
C_c	collector capacitance	$I_E = I_E = 0; V_{CB} = 10\text{ V}; f = 1\text{ MHz}$	–	8	pF
C_e	emitter capacitance 2N2222A	$I_C = I_C = 0; V_{EB} = 500\text{ mV}; f = 1\text{ MHz}$	–	25	pF
f_T	transition frequency 2N2222 2N2222A	$I_C = 20\text{ mA}; V_{CE} = 20\text{ V}; f = 100\text{ MHz}$	250	–	MHz
			300	–	MHz
F	noise figure 2N2222A	$I_C = 200\text{ }\mu\text{A}; V_{CE} = 5\text{ V}; R_S = 2\text{ k}\Omega;$ $f = 1\text{ kHz}; B = 200\text{ Hz}$	–	4	dB

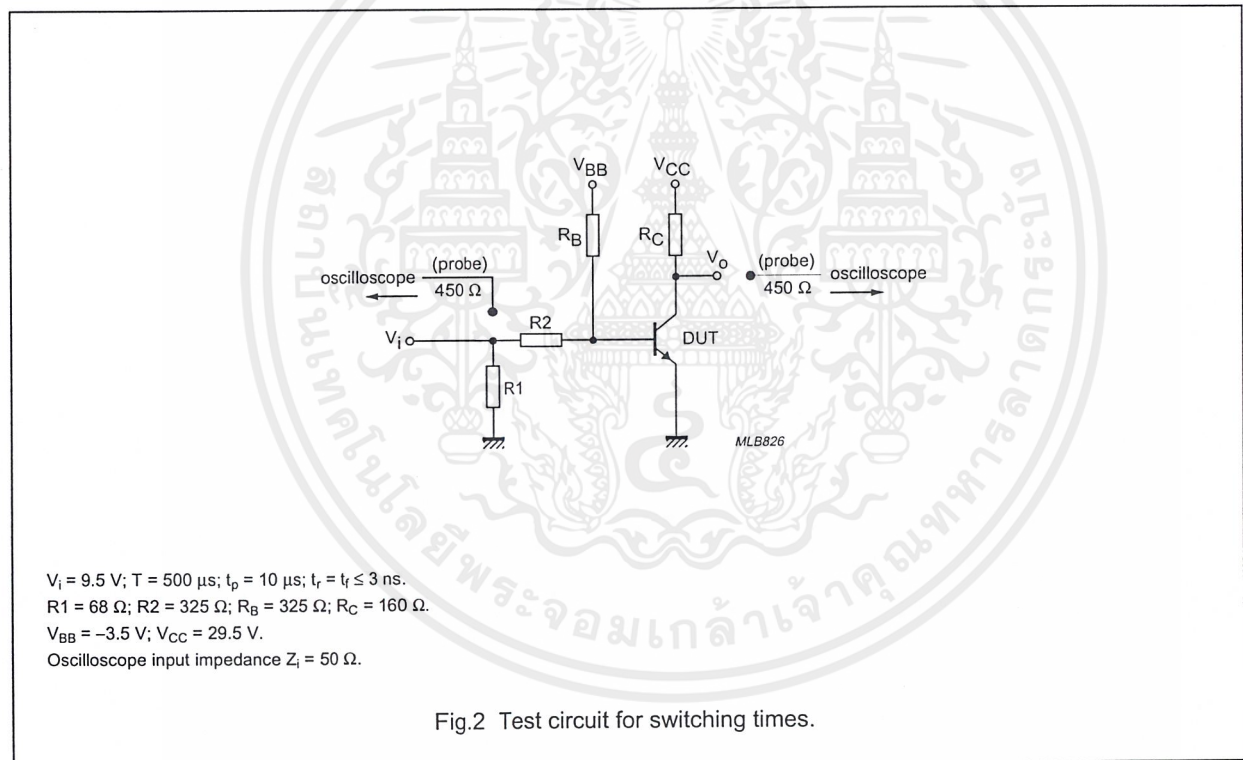
NPN switching transistors

2N2222; 2N2222A

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	MAX.	UNIT
Switching times (between 10% and 90% levels); see Fig.2					
t_{on}	turn-on time	$I_{Con} = 150 \text{ mA}; I_{Bon} = 15 \text{ mA}; I_{Boff} = -15 \text{ mA}$	–	35	ns
t_d	delay time		–	10	ns
t_r	rise time		–	25	ns
t_{off}	turn-off time		–	250	ns
t_s	storage time		–	200	ns
t_f	fall time		–	60	ns

Note

1. Pulse test: $t_p \leq 300 \mu\text{s}; \delta \leq 0.02$.



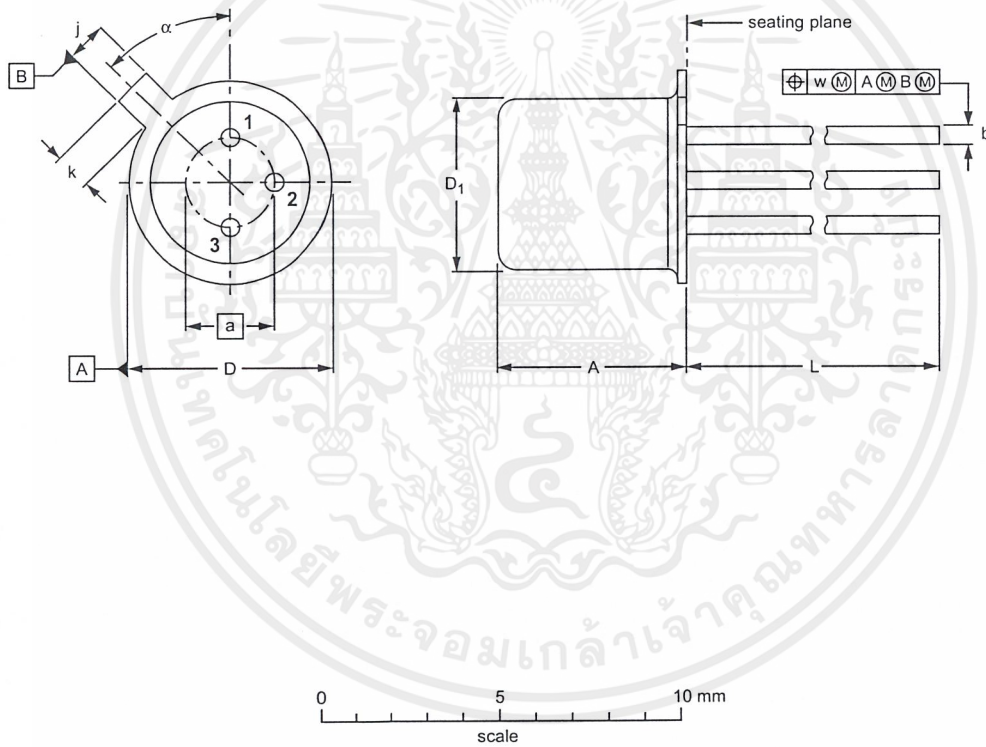
NPN switching transistors

2N2222; 2N2222A

PACKAGE OUTLINE

Metal-can cylindrical single-ended package; 3 leads

SOT18/13



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

UNIT	A	a	b	D	D ₁	j	k	L	w	α
mm	5.31 4.74	2.54	0.47 0.41	5.45 5.30	4.70 4.55	1.03 0.94	1.1 0.9	15.0 12.7	0.40	45°

OUTLINE VERSION	REFERENCES			EUROPEAN PROJECTION	ISSUE DATE
	IEC	JEDEC	EIAJ		
SOT18/13	B11/C7 type 3	TO-18			97-04-18

NPN switching transistors

2N2222; 2N2222A

DEFINITIONS

Data sheet status	
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.
Limiting values	
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.	
Application information	
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.

MJE3055T

MJE3055T

General Purpose and Switching Applications

- DC Current Gain Specified to $I_C = 10A$
- High Current Gain-Bandwidth Product : $f_T = 2MHz$ (Min.)

TO-220

1.Base 2.Collector 3.Emitter

NPN Silicon Transistor

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

Symbol	Parameter	Value	Units
V_{CB0}	Collector -Base Voltage	70	V
V_{CEO}	Collector-Emitter Voltage	60	V
V_{EBO}	Emitter-Base Voltage	5	V
I_C	Collector Current	10	A
I_B	Base Current	6	A
P_C	Collector Dissipation ($T_C = 25^\circ C$)	75	W
P_C	Collector Dissipation ($T_a = 25^\circ C$)	0.6	W
T_J	Junction Temperature	150	$^\circ C$
T_{STG}	Storage Temperature	- 55 ~ 150	$^\circ C$

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

Symbol	Parameter	Test Condition	Min.	Max.	Units
BV_{CEO}	Collector-Emitter Breakdown Voltage	$I_C = 200mA, I_B = 0$	60		V
I_{CEO}	Collector Cut-off Current	$V_{CE} = 30V, I_B = 0$		700	μA
I_{CEX1} I_{CEX2}	Collector Cut-off Current	$V_{CE} = 70V, V_{BE}(off) = -1.5V$ $V_{CE} = 70V, V_{BE}(off) = -1.5V$ @ $T_C = 150^\circ C$		1 5	mA mA
I_{EBO}	Emitter Cut-off Current	$V_{EB} = 5V, I_C = 0$		5	mA
h_{FE}	*DC Current Gain	$V_{CE} = 4V, I_C = 4A$ $V_{CE} = 4V, I_C = 10A$	20 5	100	
$V_{CE}(sat)$	*Collector-Emitter Saturation Voltage	$I_C = 4A, I_B = 0.4A$ $I_C = 10A, I_B = 3.3A$		1.1 8	V V
$V_{BE}(on)$	*Base-Emitter On Voltage	$V_{CE} = 4V, I_C = 4A$		1.8	V
f_T	Current Gain Bandwidth Product	$V_{CE} = 10V, I_C = 500mA$	2		MHz

* Pulse test: $PW \leq 300\mu s$, duty cycles 2% Pulse

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Characteristics

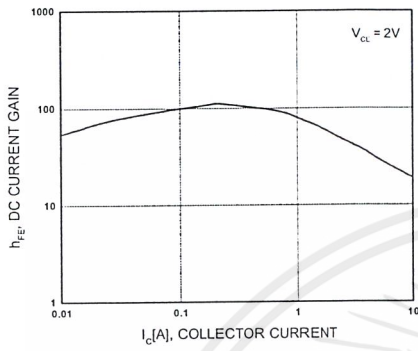


Figure 1. DC current Gain

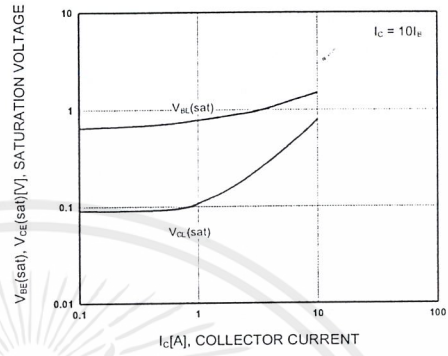


Figure 2. Base-Emitter Saturation Voltage
Collector-Emitter Saturation Voltage

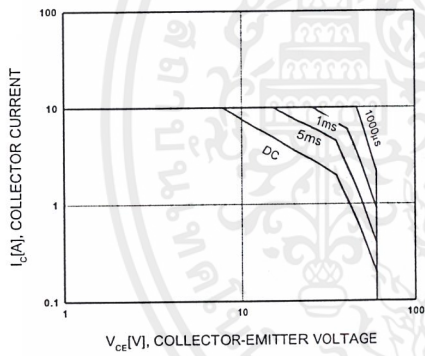


Figure 3. Safe Operating Area

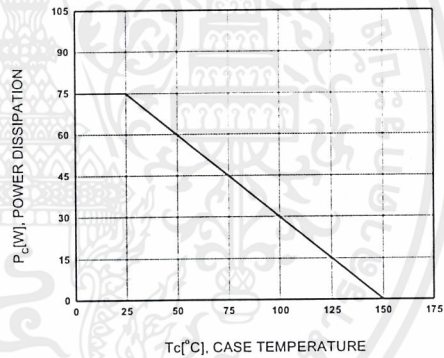
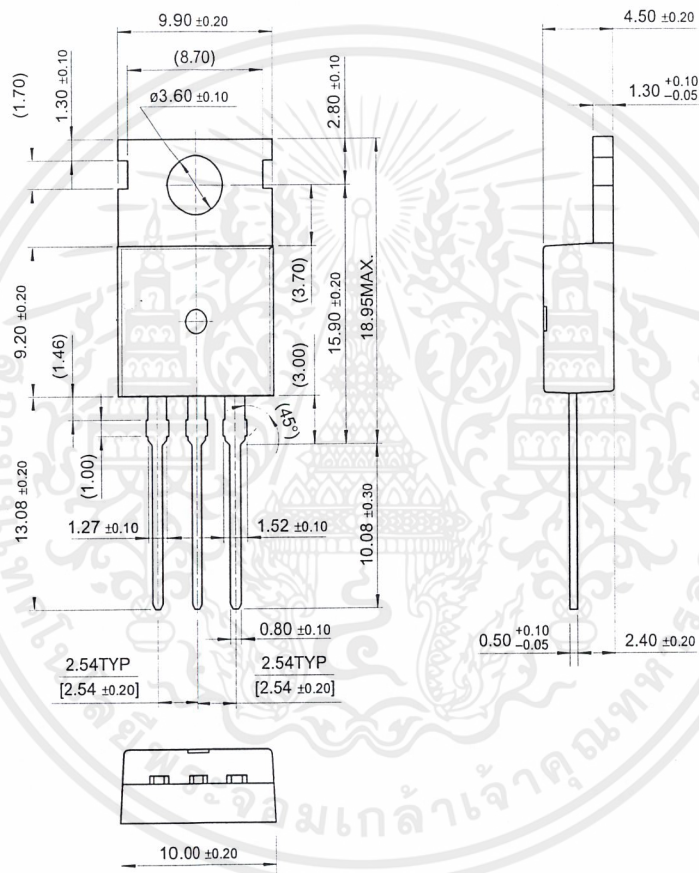


Figure 4. Power Derating

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Package Dimensions

TO-220



Dimensions in Millimeters

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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 ^r ™	PowerTrench [®]	SyncFET™
Bottomless™	GlobalOptoisolator™	QFET™	TinyLogic™
CoolFET™	GTO™	QS™	VCX™
CROSSVOLT™	HiSeC™	QT Optoelectronics™	UHC™
DOME™	ISOPLANAR™	Quiet Series™	
E ² CMOS™	MICROWIRE™	LILENT SWITCHER [®]	
EnSigna™	OPTOLOGIC™	SMART START™	
FACT™	OPTOPLANAR™	SuperSOT™-3	
FACT Quiet Series™	PACMAN™	SuperSOT™-6	
FAST [®]	POP™	SuperSOT™-8	

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.

MJE2955T

MJE2955T

General Purpose and Switching Applications

- DC Current Gain Specified to $I_C = 10 \text{ A}$
- High Current Gain Bandwidth Product : $f_T = 2 \text{ MHz}$ (Min.)



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

PNP Silicon Transistor

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

Symbol	Parameter	Value	Units
V_{CBO}	Collector-Base Voltage	- 70	V
V_{CEO}	Collector-Emitter Voltage	- 60	V
V_{EBO}	Emitter-Base Voltage	- 5	V
I_C	Collector Current	- 10	A
I_B	Base Current	- 6	A
P_C	Collector Dissipation ($T_C=25^\circ\text{C}$)	75	W
P_C	Collector Dissipation ($T_a=25^\circ\text{C}$)	0.6	W
T_J	Junction Temperature	150	$^\circ\text{C}$
T_{STG}	Storage Temperature	- 55 ~ 150	$^\circ\text{C}$

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

Symbol	Parameter	Test Condition	Min.	Max.	Units
BV_{CEO}	Collector- Emitter Breakdown Voltage	$I_C = - 200\text{mA}, I_B = 0$	-60		V
I_{CEO}	Collector Cut-off Current	$V_{CE} = - 30\text{V}, I_B = 0$		-700	μA
I_{CEX1}	Collector Cut-off Current	$V_{CE} = - 70\text{V}, V_{BE}(\text{off}) = 1.5\text{V}$		-1	mA
I_{CEX2}	Collector Cut-off Current	$V_{CE} = - 70\text{V}, V_{BE}(\text{off}) = 1.5\text{V}$ @ $T_C = 150^\circ\text{C}$		-5	mA
I_{EBO}	Emitter Cut-off Current	$V_{EB} = - 5\text{V}, I_C = 0$		-5	mA
h_{FE}	* DC Current Gain	$V_{CE} = - 4\text{V}, I_C = - 4\text{A}$ $V_{CE} = - 4\text{V}, I_C = - 10\text{A}$	20 5	100	
$V_{CE}(\text{sat})$	* Collector-Emitter Saturation Voltage	$I_C = - 4\text{A}, I_B = - 0.4\text{A}$ $I_C = - 10\text{A}, I_B = - 3.3\text{A}$		-1.1 -8	V V
$V_{BE}(\text{on})$	* Base-Emitter ON Voltage	$V_{CE} = - 4\text{V}, I_C = - 4\text{A}$		-1.8	V
f_T	Current Gain Bandwidth Product	$V_{CE} = - 10\text{V}, I_C = - 500\text{mA}$	2		MHz

* Pulse test: $PW \leq 300\mu\text{s}$, duty cycles $\leq 2\%$ Pulse

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Characteristic

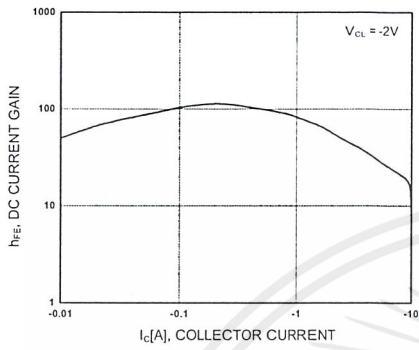


Figure 1. DC current Gain

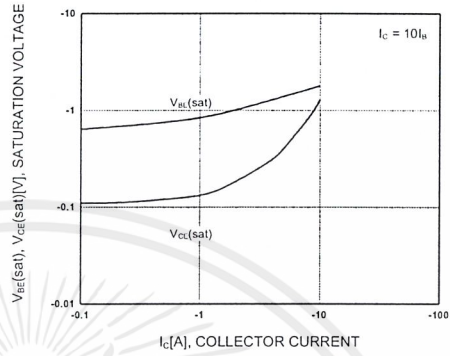


Figure 2. Base-Emitter Saturation Voltage
Collector-Emitter Saturation Voltage

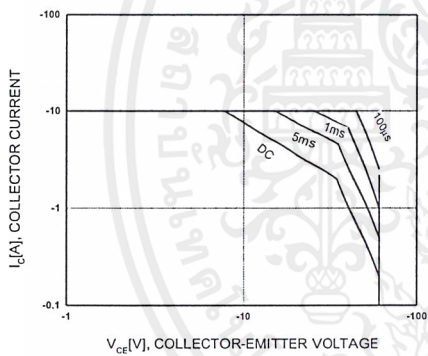


Figure 3. Safe Operating Area

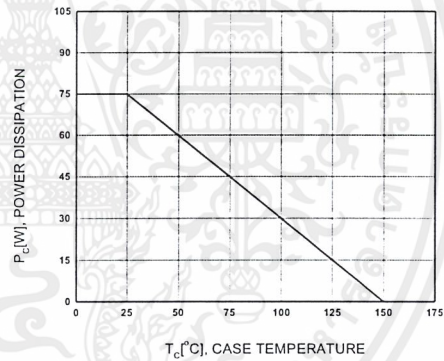


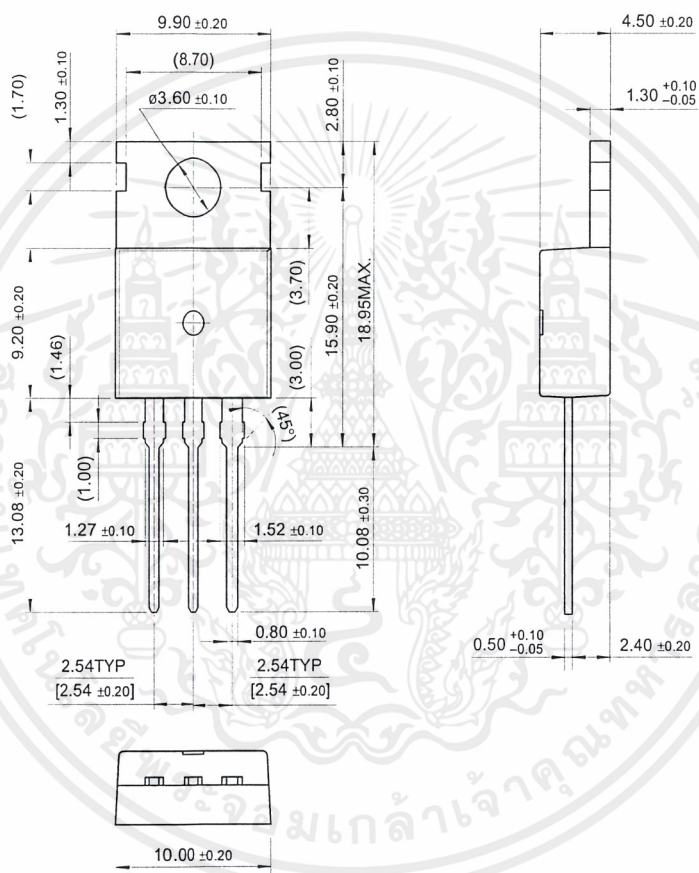
Figure 4. Power Derating

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Package Demensions

MJE2955T

TO-220



Dimensions in Millimeters

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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.

ACEx™	FASTr™	PowerTrench®	SyncFET™
Bottomless™	GlobalOptoisolator™	QFET™	TinyLogic™
CoolFET™	GTO™	QS™	VCX™
CROSSVOLT™	HiSeC™	QT Optoelectronics™	UHC™
DOME™	ISOPLANAR™	Quiet Series™	
E ² CMOS™	MICROWIRE™	LILENT SWITCHER®	
EnSigna™	OPTOLOGIC™	SMART START™	
FACT™	OPTOPLANAR™	SuperSOT™-3	
FACT Quiet Series™	PACMAN™	SuperSOT™-6	
FAST®	POP™	SuperSOT™-8	

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.

MC78XX/LM78XX

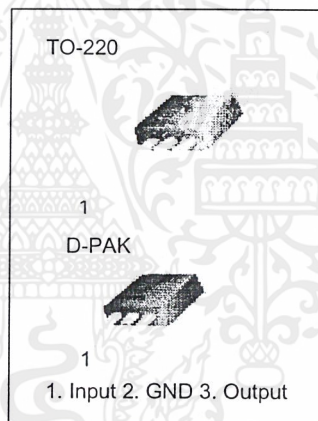
3-terminal 1A positive voltage regulator

Features

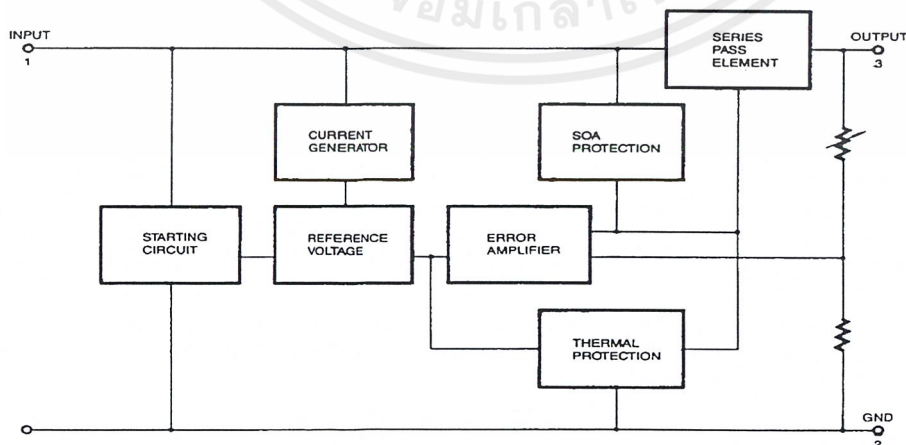
- Output Current up to 1A
- Output Voltages of 5, 6, 8, 9, 10, 11, 12, 15, 18, 24V
- Thermal Overload Protection
- Short Circuit Protection
- Output Transistor Safe Operating area Protection

Description

The MC78XX/LM78XX series of three-terminal positive regulators are available in the TO-220/D-PAK package and with several fixed output voltages, making them useful in a wide range of applications. Each type employs internal current limiting, thermal shut-down and safe operating area protection, making it essentially indestructible. If adequate heat sinking is provided, they can deliver over 1A output current. Although designed primarily as fixed voltage regulators, these devices can be used with external components to obtain adjustable voltages and currents.



Internal Block Diagram



Rev. 5.0

Absolute Maximum Ratings

Parameter	Symbol	Value	Unit
Input Voltage (for $V_O = 5V$ to $18V$) (for $V_O = 24V$)	V_I V_I	35 40	V V
Thermal Resistance Junction-Cases	$R_{\theta JC}$	5	$^{\circ}C/W$
Thermal Resistance Junction-Air	$R_{\theta JA}$	65	$^{\circ}C/W$
Operating Temperature Range (MC78XXCT/LM78XXCT/MC78XXCDT)	T_{OPR}	0 ~ +125	$^{\circ}C$
Storage Temperature Range	T_{STG}	-65 ~ +150	$^{\circ}C$

Electrical Characteristics (MC7805/LM7805)

(Refer to test circuit, $0^{\circ}C < T_J < 125^{\circ}C$, $I_O = 500mA$, $V_I = 10V$, $C_I = 0.33\mu F$, $C_O = 0.1\mu F$, unless otherwise specified)

Parameter	Symbol	Conditions	MC7805/LM7805			Unit	
			Min.	Typ.	Max.		
Output Voltage	V_O	$T_J = +25^{\circ}C$	4.8	5.0	5.2	V	
		$5.0mA \leq I_O \leq 1.0A$, $P_O \leq 15W$ $V_I = 7V$ to $20V$ $V_I = 8V$ to $20V$	4.75	5.0	5.25		
Line Regulation	ΔV_O	$T_J = +25^{\circ}C$	$V_O = 7V$ to $25V$	-	4.0	100	mV
			$V_I = 8V$ to $12V$	-	1.6	50	
Load Regulation	ΔV_O	$T_J = +25^{\circ}C$	$I_O = 5.0mA$ to $1.5A$	-	9	100	mV
			$I_O = 250mA$ to $750mA$	-	4	50	
Quiescent Current	I_Q	$T_J = +25^{\circ}C$	-	5.0	8	mA	
Quiescent Current Change	ΔI_Q	$I_O = 5mA$ to $1.0A$	-	0.03	0.5	mA	
		$V_I = 7V$ to $25V$	-	0.3	1.3		
Output Voltage Drift	$\Delta V_O / \Delta T$	$I_O = 5mA$	-	-0.8	-	mV/ $^{\circ}C$	
Output Noise Voltage	V_N	$f = 10Hz$ to $100KHz$, $T_A = +25^{\circ}C$	-	42	-	μV	
Ripple Rejection	RR	$f = 120Hz$ $V_O = 8V$ to $18V$	62	73	-	dB	
Dropout Voltage	V_O	$I_O = 1A$, $T_J = +25^{\circ}C$	-	2	-	V	
Output Resistance	R_O	$f = 1KHz$	-	15	-	m Ω	
Short Circuit Current	I_{SC}	$V_I = 35V$, $T_A = +25^{\circ}C$	-	230	-	mA	
Peak Current	I_{PK}	$T_J = +25^{\circ}C$	-	2.2	-	A	

- Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Changes in V_O due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty is used.

Typical Performance Characteristics

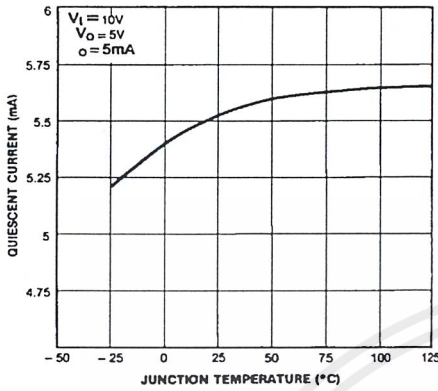


Figure 1. Quiescent Current

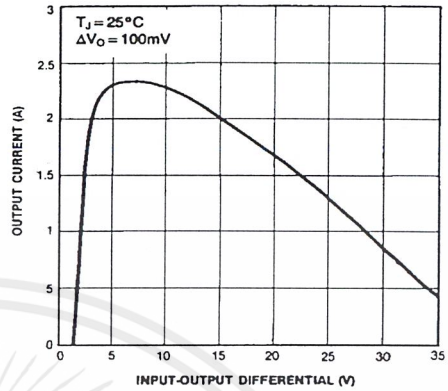


Figure 2. Peak Output Current

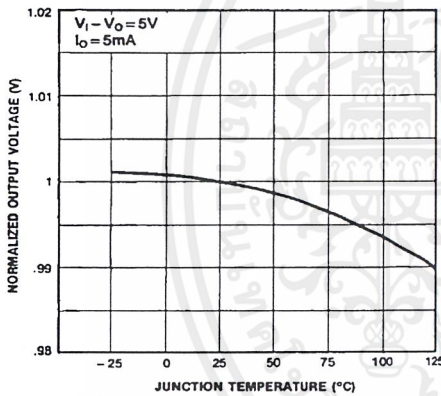


Figure 3. Output Voltage

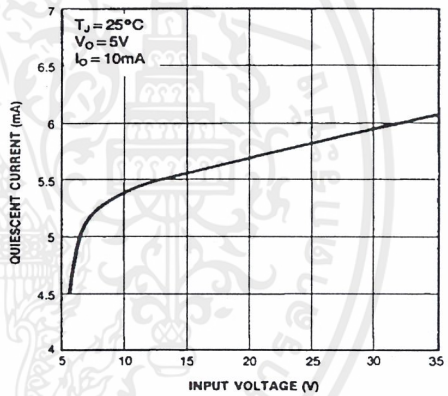
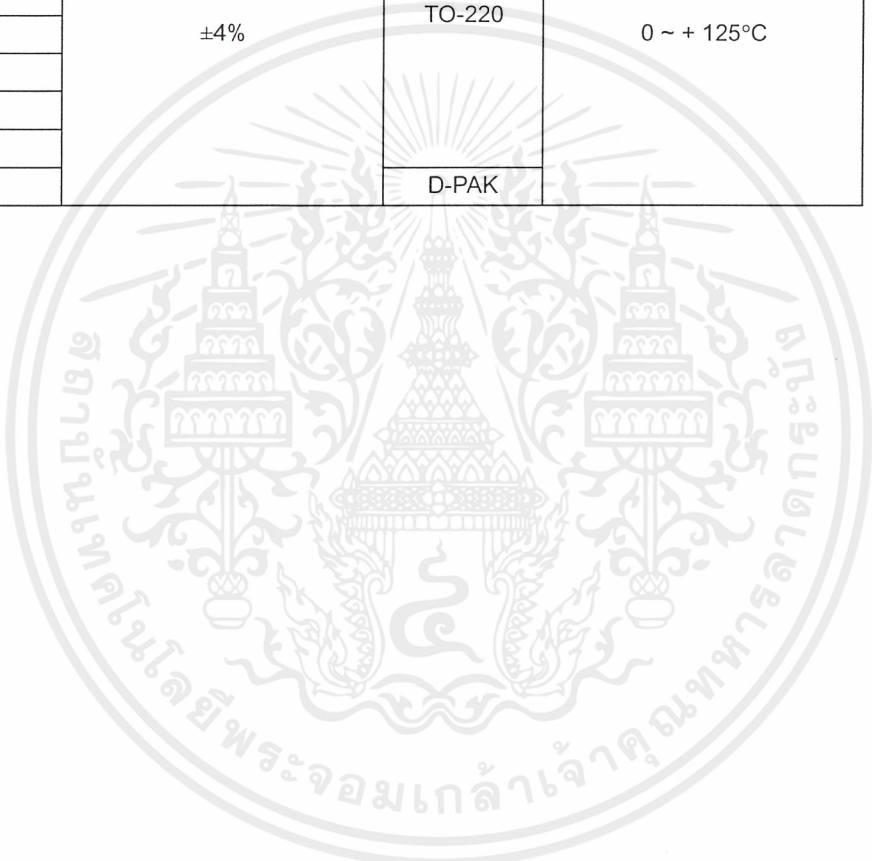


Figure 4. Quiescent Current

Ordering Information

Product Number	Output Voltage Tolerance	Package	Operating Temperature
LM7805CT	±4%	TO-220	0 ~ + 125°C

Product Number	Output Voltage Tolerance	Package	Operating Temperature
MC7805CT	±4%	TO-220	0 ~ + 125°C
MC7806CT			
MC7808CT			
MC7809CT			
MC7812CT			
MC7815CT			
MC7818CT			
MC7824CT			
MC7809CDT		D-PAK	



Features

- Compatible with MCS-51™ Products
- 4 Kbytes of In-System Reprogrammable Flash Memory
Endurance: 1,000 Write/Erase Cycles
- Fully Static Operation: 0 Hz to 24 MHz
- Three-Level Program Memory Lock
- 128 x 8-Bit Internal RAM
- 32 Programmable I/O Lines
- Two 16-Bit Timer/Counters
- Six Interrupt Sources
- Programmable Serial Channel
- Low Power Idle and Power Down Modes

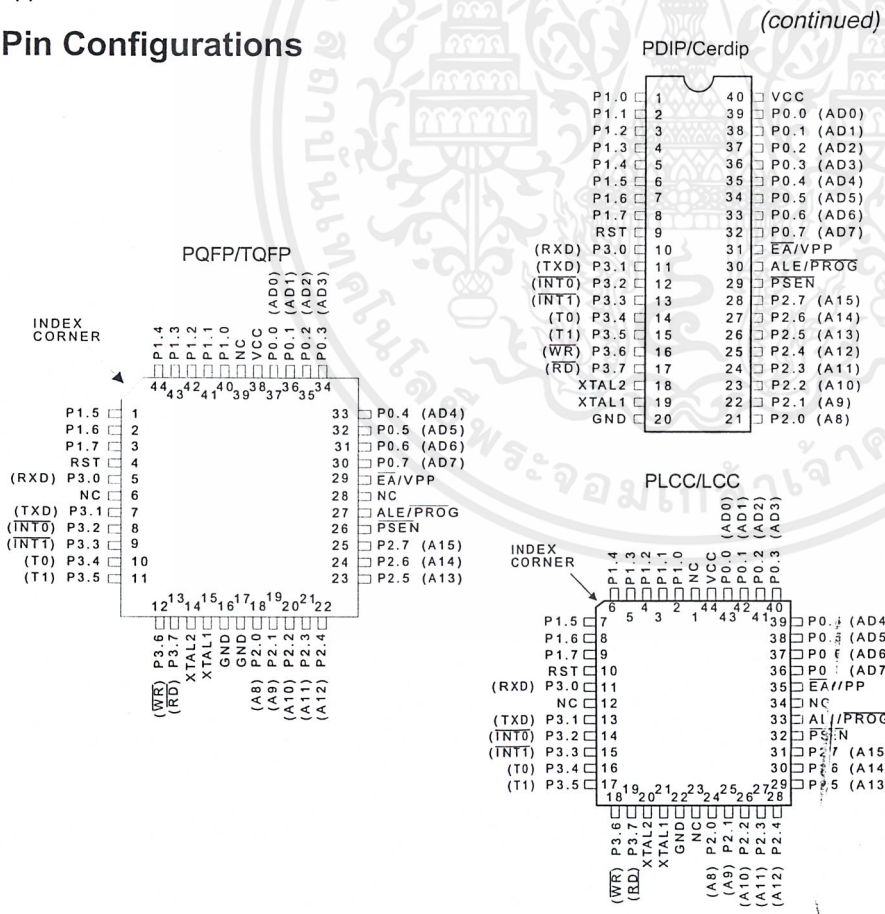
Description

The AT89C51 is a low-power, high-performance CMOS 8-bit microcomputer with 4 Kbytes of Flash Programmable and Erasable Read Only Memory (PEROM). The device is manufactured using Atmel's high density nonvolatile memory technology and is compatible with the industry standard MCS-51™ instruction set and pinout. The on-chip Flash allows the program memory to be reprogrammed in-system or by a conventional nonvolatile memory programmer. By combining a versatile 8-bit CPU with Flash on a monolithic chip, the Atmel AT89C51 is a powerful microcomputer which provides a highly flexible and cost effective solution to many embedded control applications.

8-Bit Microcontroller with 4 Kbytes Flash

AT89C51

Pin Configurations

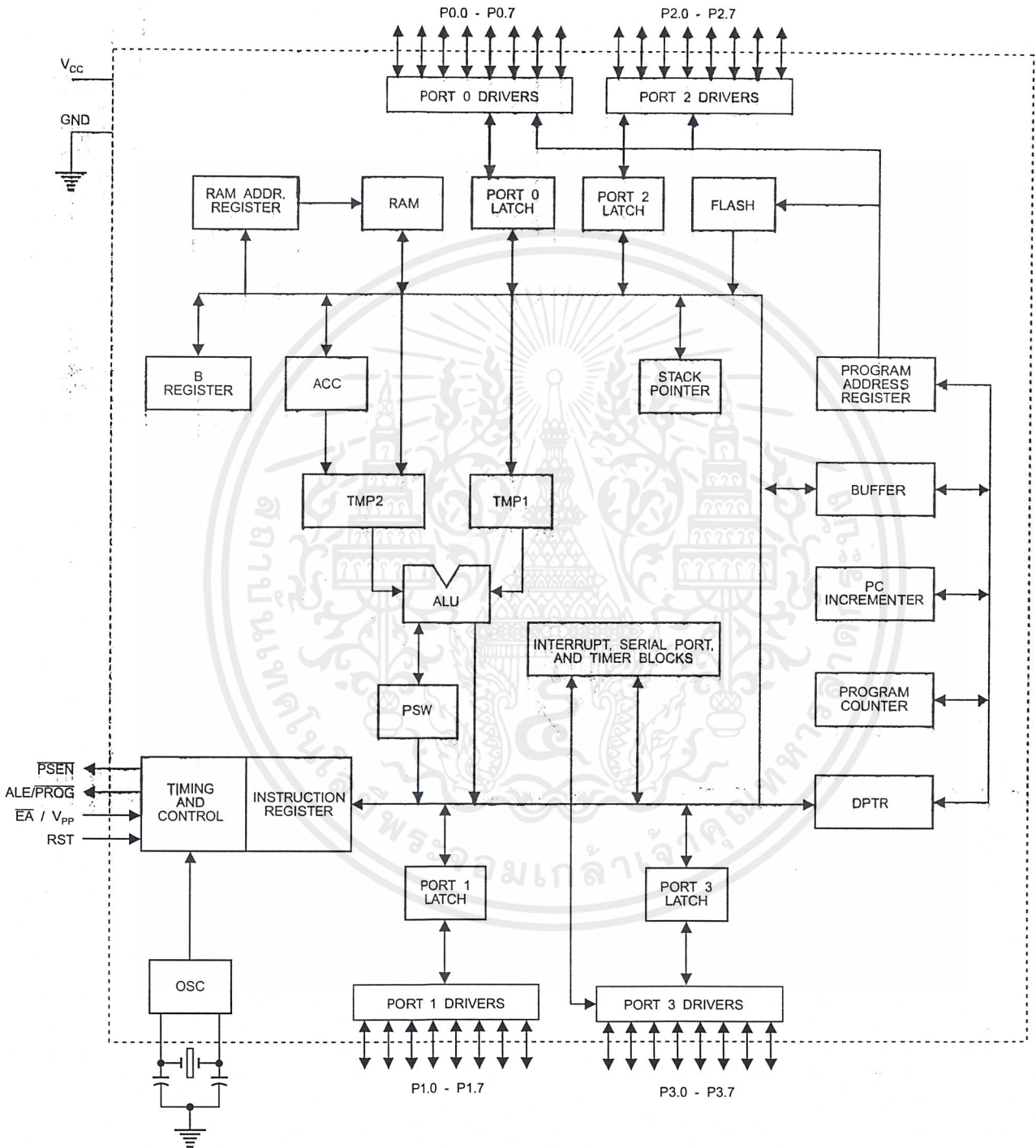


0265E



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Block Diagram



Description (Continued)

The AT89C51 provides the following standard features: 4 Kbytes of Flash, 128 bytes of RAM, 32 I/O lines, two 16-bit timer/counters, a five vector two-level interrupt architecture, a full duplex serial port, on-chip oscillator and clock circuitry. In addition, the AT89C51 is designed with static logic for operation down to zero frequency and supports two software selectable power saving modes. The Idle Mode stops the CPU while allowing the RAM, timer/counters, serial port and interrupt system to continue functioning. The Power Down Mode saves the RAM contents but freezes the oscillator disabling all other chip functions until the next hardware reset.

Pin Description

V_{CC}

Supply voltage.

GND

Ground.

Port 0

Port 0 is an 8-bit open drain bidirectional I/O port. As an output port each pin can sink eight TTL inputs. When 1s are written to port 0 pins, the pins can be used as high-impedance inputs.

Port 0 may also be configured to be the multiplexed low-order address/data bus during accesses to external program and data memory. In this mode P0 has internal pullups.

Port 0 also receives the code bytes during Flash programming, and outputs the code bytes during program verification. External pullups are required during program verification.

Port 1

Port 1 is an 8-bit bidirectional I/O port with internal pullups. The Port 1 output buffers can sink/source four TTL inputs. When 1s are written to Port 1 pins they are pulled high by the internal pullups and can be used as inputs. As inputs, Port 1 pins that are externally being pulled low will source current (I_{IL}) because of the internal pullups.

Port 1 also receives the low-order address bytes during Flash programming and program verification.

Port 2

Port 2 is an 8-bit bidirectional I/O port with internal pullups. The Port 2 output buffers can sink/source four TTL inputs. When 1s are written to Port 2 pins they are pulled high by the internal pullups and can be used as inputs. As inputs, Port 2 pins that are externally being pulled low will source current (I_{IL}) because of the internal pullups.

Port 2 emits the high-order address byte during fetches from external program memory and during accesses to external data memory that use 16-bit addresses (MOVX

@ DPTR). In this application it uses strong internal pullups when emitting 1s. During accesses to external data memory that use 8-bit addresses (MOVX @ RI), Port 2 emits the contents of the P2 Special Function Register.

Port 2 also receives the high-order address bits and some control signals during Flash programming and verification. Port 3

Port 3 is an 8-bit bidirectional I/O port with internal pullups. The Port 3 output buffers can sink/source four TTL inputs. When 1s are written to Port 3 pins they are pulled high by the internal pullups and can be used as inputs. As inputs, Port 3 pins that are externally being pulled low will source current (I_{IL}) because of the pullups.

Port 3 also serves the functions of various special features of the AT89C51 as listed below:

Port Pin	Alternate Functions
P3.0	RXD (serial input port)
P3.1	TXD (serial output port)
P3.2	INT0 (external interrupt 0)
P3.3	INT1 (external interrupt 1)
P3.4	T0 (timer 0 external input)
P3.5	T1 (timer 1 external input)
P3.6	WR (external data memory write strobe)
P3.7	RD (external data memory read strobe)

Port 3 also receives some control signals for Flash programming and programming verification.

RST

Reset input. A high on this pin for two machine cycles while the oscillator is running resets the device.

ALE/PROG

Address Latch Enable output pulse for latching the low byte of the address during accesses to external memory. This pin is also the program pulse input (PROG) during Flash programming.

In normal operation ALE is emitted at a constant rate of 1/6 the oscillator frequency, and may be used for external timing or clocking purposes. Note, however, that one ALE pulse is skipped during each access to external Data Memory.

If desired, ALE operation can be disabled by setting bit 0 of SFR location 8EH. With the bit set, ALE is active only during a MOVX or MOVC instruction. Otherwise, the pin is weakly pulled high. Setting the ALE-disable bit has no effect if the microcontroller is in external execution mode.

PSEN

Program Store Enable is the read strobe to external program memory.

(continued)



Pin Description (Continued)

When the AT89C51 is executing code from external program memory, $\overline{\text{PSEN}}$ is activated twice each machine cycle, except that two $\overline{\text{PSEN}}$ activations are skipped during each access to external data memory.

$\overline{\text{EA}}/\text{V}_{\text{PP}}$

External Access Enable. $\overline{\text{EA}}$ must be strapped to GND in order to enable the device to fetch code from external program memory locations starting at 0000H up to FFFFH. Note, however, that if lock bit 1 is programmed, $\overline{\text{EA}}$ will be internally latched on reset.

$\overline{\text{EA}}$ should be strapped to V_{CC} for internal program executions.

This pin also receives the 12-volt programming enable voltage (V_{PP}) during Flash programming, for parts that require 12-volt V_{PP} .

XTAL1

Input to the inverting oscillator amplifier and input to the internal clock operating circuit.

XTAL2

Output from the inverting oscillator amplifier.

Oscillator Characteristics

XTAL1 and XTAL2 are the input and output, respectively, of an inverting amplifier which can be configured for use as an on-chip oscillator, as shown in Figure 1. Either a quartz crystal or ceramic resonator may be used. To drive the device from an external clock source, XTAL2 should be left unconnected while XTAL1 is driven as shown in Figure 2. There are no requirements on the duty cycle of the external clock signal, since the input to the internal clocking circuitry is through a divide-by-two flip-flop, but minimum and maximum voltage high and low time specifications must be observed.

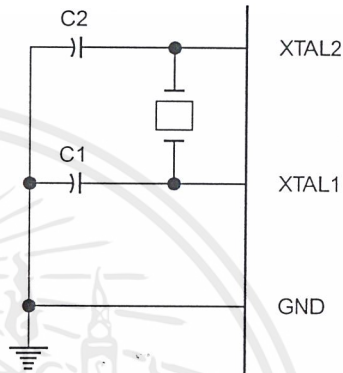
Idle Mode

In idle mode, the CPU puts itself to sleep while all the on-chip peripherals remain active. The mode is invoked by software. The content of the on-chip RAM and all the special functions registers remain unchanged during this

mode. The idle mode can be terminated by any enabled interrupt or by a hardware reset.

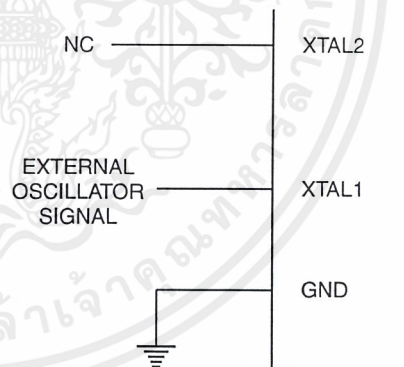
It should be noted that when idle is terminated by a hardware reset, the device normally resumes program execution, from where it left off, up to two machine cycles before the internal reset algorithm takes control. On-chip hard-

Figure 1. Oscillator Connections



Notes: C1, C2 = 30 pF ± 10 pF for Crystals
= 40 pF ± 10 pF for Ceramic Resonators

Figure 2. External Clock Drive Configuration



Status of External Pins During Idle and Power Down

Mode	Program Memory	ALE	$\overline{\text{PSEN}}$	PORT0	PORT1	PORT2	PORT3
Idle	Internal	1	1	Data	Data	Data	Data
Idle	External	1	1	Float	Data	Address	Data
Power Down	Internal	0	0	Data	Data	Data	Data
Power Down	External	0	0	Float	Data	Data	Data

ware inhibits access to internal RAM in this event, but access to the port pins is not inhibited. To eliminate the possibility of an unexpected write to a port pin when Idle is terminated by reset, the instruction following the one that invokes Idle should not be one that writes to a port pin or to external memory.

Power Down Mode

In the power down mode the oscillator is stopped, and the instruction that invokes power down is the last instruction executed. The on-chip RAM and Special Function Registers retain their values until the power down mode is terminated. The only exit from power down is a hardware reset. Reset redefines the SFRs but does not change the on-chip RAM. The reset should not be activated before Vcc

is restored to its normal operating level and must be held active long enough to allow the oscillator to restart and stabilize.

Program Memory Lock Bits

On the chip are three lock bits which can be left unprogrammed (U) or can be programmed (P) to obtain the additional features listed in the table below:

When lock bit 1 is programmed, the logic level at the \overline{EA} pin is sampled and latched during reset. If the device is powered up without a reset, the latch initializes to a random value, and holds that value until \overline{reset} is activated. It is necessary that the latched value of \overline{EA} be in agreement with the current logic level at that pin in order for the device to function properly.

Lock Bit Protection Modes

Program Lock Bits				
	LB1	LB2	LB3	Protection Type
1	U	U	U	No program lock features.
2	P	U	U	MOV _C instructions executed from external program memory are disabled from fetching code bytes from internal memory, EA is sampled and latched on reset, and further programming of the Flash is disabled.
3	P	P	U	Same as mode 2, also verify is disabled.
4	P	P	P	Same as mode 3, also external execution is disabled.

Programming the Flash

The AT89C51 is normally shipped with the on-chip Flash memory array in the erased state (that is, contents = FFH) and ready to be programmed. The programming interface accepts either a high-voltage (12-volt) or a low-voltage (Vcc) program enable signal. The low voltage programming mode provides a convenient way to program the AT89C51 inside the user's system, while the high-voltage programming mode is compatible with conventional third party Flash or EPROM programmers.

The AT89C51 is shipped with either the high-voltage or low-voltage programming mode enabled. The respective top-side marking and device signature codes are listed in the following table.

	V _{PP} = 12 V	V _{PP} = 5 V
Top-Side Mark	AT89C51 xxxx yyww	AT89C51 xxxx-5 yyww
Signature	(030H)=1EH (031H)=51H (032H)=FFH	(030H)=1EH (031H)=51H (032H)=05H

The AT89C51 code memory array is programmed byte-by-byte in either programming mode. To program any non-blank byte in the on-chip Flash Memory, the entire memory must be erased using the Chip Erase Mode.

Programming Algorithm: Before programming the AT89C51, the address, data and control signals should be set up according to the Flash programming mode table and Figures 3 and 4. To program the AT89C51, take the following steps.

1. Input the desired memory location on the address lines.
2. Input the appropriate data byte on the data lines.
3. Activate the correct combination of control signals.
4. Raise EA/V_{PP} to 12 V for the high-voltage programming mode.
5. Pulse ALE/PROG once to program a byte in the Flash array or the lock bits. The byte-write cycle is self-timed and typically takes no more than 1.5 ms. Repeat steps 1 through 5, changing the address and data for the entire array or until the end of the object file is reached.

Data Polling: The AT89C51 features Data Polling to indicate the end of a write cycle. During a write cycle, an at-





Programming the Flash (Continued)

tempted read of the last byte written will result in the complement of the written datum on PO.7. Once the write cycle has been completed, true data are valid on all outputs, and the next cycle may begin. Data Polling may begin any time after a write cycle has been initiated.

Ready/Busy: The progress of byte programming can also be monitored by the RDY/BSY output signal. P3.4 is pulled low after ALE goes high during programming to indicate BUSY. P3.4 is pulled high again when programming is done to indicate READY.

Program Verify: If lock bits LB1 and LB2 have not been programmed, the programmed code data can be read back via the address and data lines for verification. The lock bits cannot be verified directly. Verification of the lock bits is achieved by observing that their features are enabled.

Chip Erase: The entire Flash array is erased electrically by using the proper combination of control signals and by holding ALE/PROG low for 10 ms. The code array is written with all "1"s. The chip erase operation must be executed before the code memory can be re-programmed.

Reading the Signature Bytes: The signature bytes are read by the same procedure as a normal verification of locations 030H,

031H, and 032H, except that P3.6 and P3.7 must be pulled to a logic low. The values returned are as follows.

(030H) = 1EH indicates manufactured by Atmel

(031H) = 51H indicates 89C51

(032H) = FFH indicates 12 V programming

(032H) = 05H indicates 5 V programming

Programming Interface

Every code byte in the Flash array can be written and the entire array can be erased by using the appropriate combination of control signals. The write operation cycle is self-timed and once initiated, will automatically time itself to completion.

All major programming vendors offer worldwide support for the Atmel microcontroller series. Please contact your local programming vendor for the appropriate software revision.

Flash Programming Modes

Mode	RST	PSEN	ALE/ PROG	EA/ V _{PP}	P2.6	P2.7	P3.6	P3.7								
Write Code Data	H	L		H/12V ⁽¹⁾	L	H	H	H								
Read Code Data	H	L	H	H	L	L	H	H								
Write Lock	Bit - 1	L		H/12V	H	H	H	H								
									Bit - 2	L		H/12V ⁽²⁾	H	H	L	L
Chip Erase	H	L		H/12V	H	L	L	L								
Read Signature Byte	H	L	H	H	L	L	L	L								

Notes: 1. The signature byte at location 032H designates whether V_{PP} = 12 V or V_{PP} = 5 V should be used to enable programming.

2. Chip Erase requires a 10 ms $\overline{\text{PROG}}$ pulse.

Figure 3. Programming the Flash

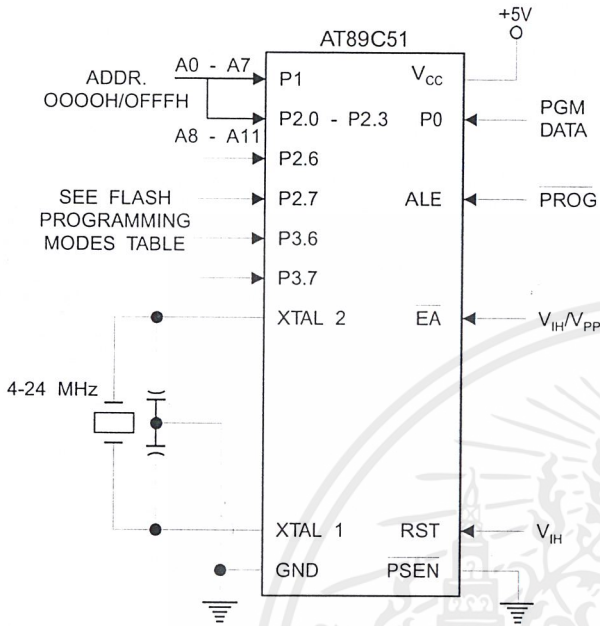
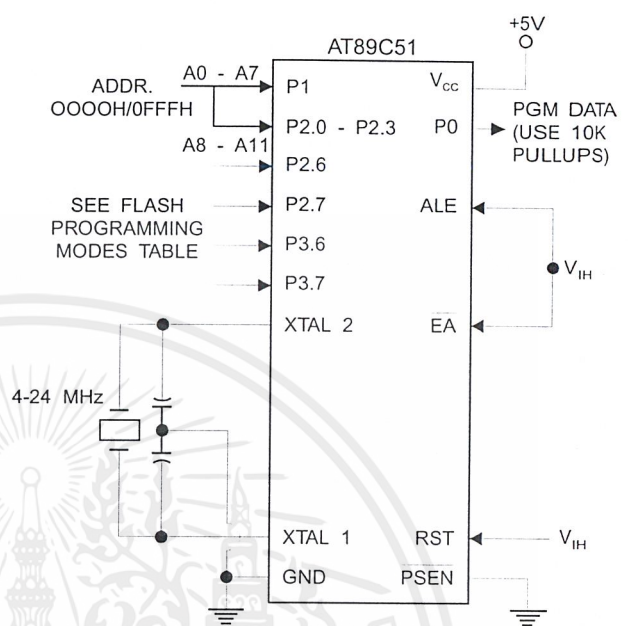


Figure 4. Verifying the Flash



Flash Programming and Verification Characteristics

$T_A = 21^\circ\text{C}$ to 27°C , $V_{CC} = 5.0 \pm 10\%$

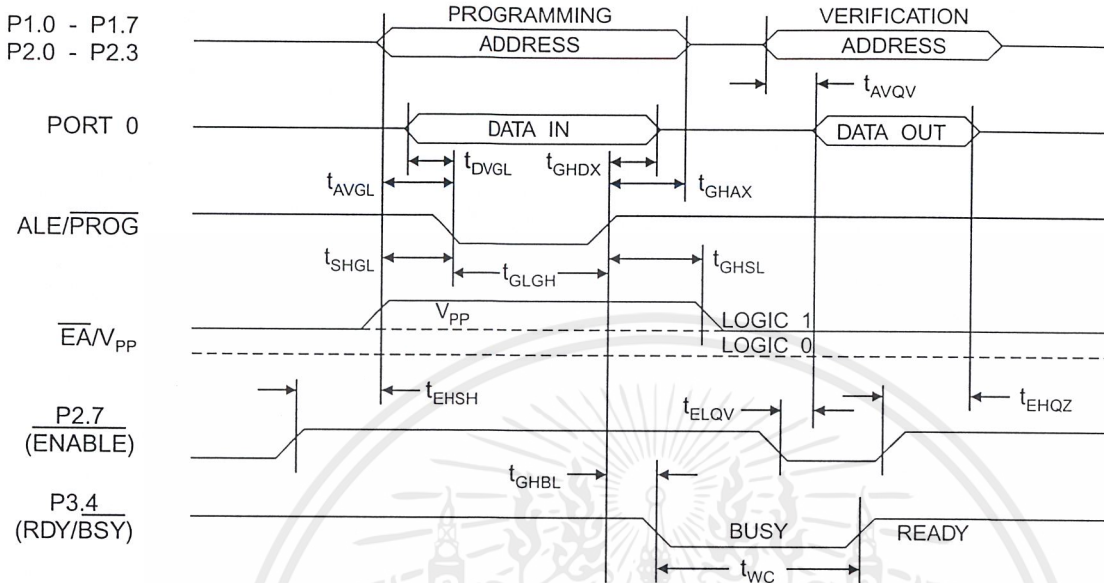
Symbol	Parameter	Min	Max	Units
$V_{PP}^{(1)}$	Programming Enable Voltage	11.5	12.5	V
$I_{PP}^{(1)}$	Programming Enable Current		1.0	mA
$1/t_{CLCL}$	Oscillator Frequency	4	24	MHz
t_{AVGL}	Address Setup to $\overline{\text{PROG}}$ Low	$48t_{CLCL}$		
t_{GHAX}	Address Hold After $\overline{\text{PROG}}$	$48t_{CLCL}$		
t_{DVGL}	Data Setup to $\overline{\text{PROG}}$ Low	$48t_{CLCL}$		
t_{GHDX}	Data Hold After $\overline{\text{PROG}}$	$48t_{CLCL}$		
t_{EHS}	P2.7 (ENABLE) High to V_{PP}	$48t_{CLCL}$		
t_{SHGL}	V_{PP} Setup to $\overline{\text{PROG}}$ Low	10		μs
$t_{GHSL}^{(1)}$	V_{PP} Hold After $\overline{\text{PROG}}$	10		μs
t_{GLGH}	$\overline{\text{PROG}}$ Width	1	110	μs
t_{AVQV}	Address to Data Valid		$48t_{CLCL}$	
t_{ELQV}	ENABLE Low to Data Valid		$48t_{CLCL}$	
t_{EHQV}	Data Float After ENABLE	0	$48t_{CLCL}$	
t_{GHBL}	$\overline{\text{PROG}}$ High to BUSY Low		1.0	μs
t_{WC}	Byte Write Cycle Time		2.0	ms

Note: 1. Only used in 12-volt programming mode.

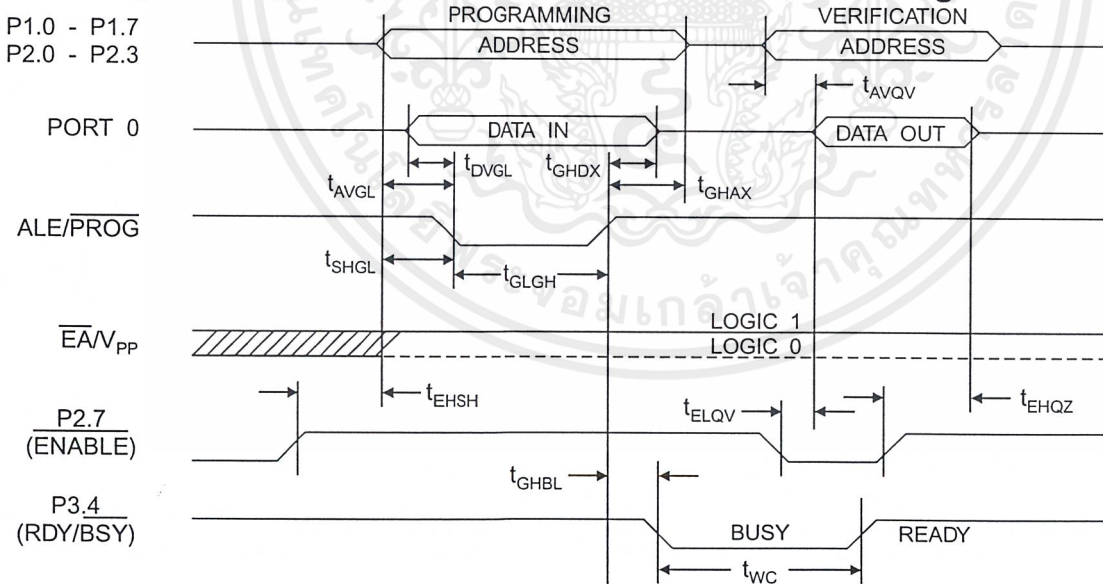




Flash Programming and Verification Waveforms - High Voltage Mode



Flash Programming and Verification Waveforms - Low Voltage Mode



Absolute Maximum Ratings*

Operating Temperature.....	-55°C to +125°C
Storage Temperature.....	-65°C to +150°C
Voltage on Any Pin with Respect to Ground	-1.0 V to +7.0 V
Maximum Operating Voltage	6.6 V
DC Output Current.....	15.0 mA

*NOTICE: Stresses beyond those listed under "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. This is a stress rating only and functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated in the operational sections of this specification is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended periods may affect device reliability.

D.C. Characteristics

T_A = -40°C to 85°C, V_{CC} = 5.0 V ± 20% (unless otherwise noted)

Symbol	Parameter	Condition	Min	Max	Units
V _{IL}	Input Low Voltage	(Except $\bar{E}A$)	-0.5	0.2 V _{CC} -0.1	V
V _{IL1}	Input Low Voltage ($\bar{E}A$)		-0.5	0.2 V _{CC} -0.3	V
V _{IH}	Input High Voltage	(Except XTAL1, RST)	0.2 V _{CC} +0.9	V _{CC} +0.5	V
V _{IH1}	Input High Voltage	(XTAL1, RST)	0.7 V _{CC}	V _{CC} +0.5	V
V _{OL}	Output Low Voltage ⁽¹⁾ (Ports 1,2,3)	I _{OL} = 1.6 mA		0.45	V
V _{OL1}	Output Low Voltage ⁽¹⁾ (Port 0, ALE, PSEN)	I _{OL} = 3.2 mA		0.45	V
V _{OH}	Output High Voltage (Ports 1,2,3, ALE, PSEN)	I _{OH} = -60 μA, V _{CC} = 5 V ± 10%	2.4		V
		I _{OH} = -25 μA	0.75 V _{CC}		V
		I _{OH} = -10 μA	0.9 V _{CC}		V
V _{OH1}	Output High Voltage (Port 0 in External Bus Mode)	I _{OH} = -800 μA, V _{CC} = 5 V ± 10%	2.4		V
		I _{OH} = -300 μA	0.75 V _{CC}		V
		I _{OH} = -80 μA	0.9 V _{CC}		V
I _{IL}	Logical 0 Input Current (Ports 1,2,3)	V _{IN} = 0.45 V		-50	μA
I _{TL}	Logical 1 to 0 Transition Current (Ports 1,2,3)	V _{IN} = 2 V		-650	μA
I _{LI}	Input Leakage Current (Port 0, EA)	0.45 < V _{IN} < V _{CC}		±10	μA
RRST	Reset Pulldown Resistor		50	300	KΩ
C _{IO}	Pin Capacitance	Test Freq. = 1 MHz, T _A = 25°C		10	pF
I _{CC}	Power Supply Current	Active Mode, 12 MHz		20	mA
		Idle Mode, 12 MHz		5	mA
	Power Down Mode ⁽²⁾	V _{CC} = 6 V		100	μA
		V _{CC} = 3 V		40	μA

Notes: 1. Under steady state (non-transient) conditions, I_{OL} must be externally limited as follows:
 Maximum I_{OL} per port pin: 10 mA
 Maximum I_{OL} per 8-bit port:
 Port 0: 26 mA
 Ports 1, 2, 3: 15 mA

Maximum total IOL for all output pins: 71 mA
 If IOL exceeds the test condition, V_{OL} may exceed the related specification. Pins are not guaranteed to sink current greater than the listed test conditions.

2. Minimum V_{CC} for Power Down is 2 V.





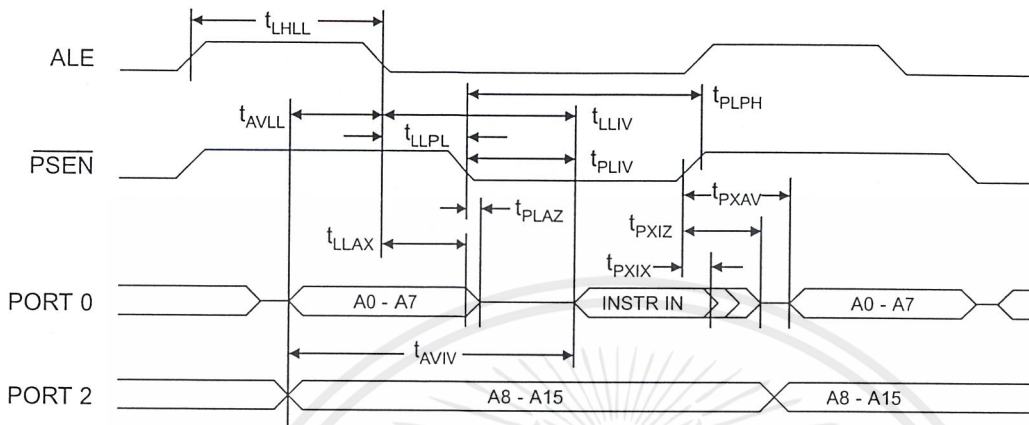
A.C. Characteristics

(Under Operating Conditions; Load Capacitance for Port 0, ALE/ $\overline{\text{PROG}}$, and $\overline{\text{PSEN}}$ = 100 pF; Load Capacitance for all other outputs = 80 pF)

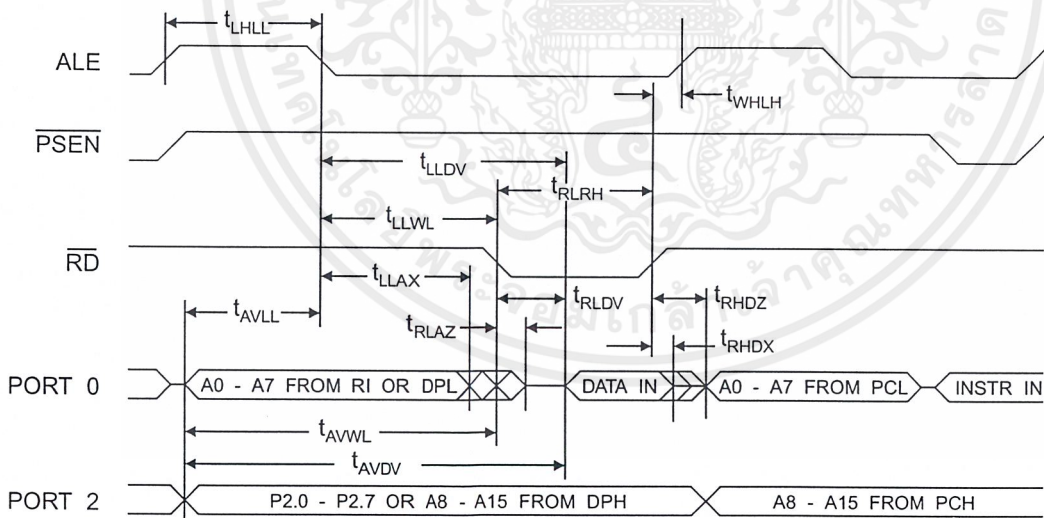
External Program and Data Memory Characteristics

Symbol	Parameter	12 MHz Oscillator		16 to 24 MHz Oscillator		Units
		Min	Max	Min	Max	
1/t _{CLCL}	Oscillator Frequency			0	24	MHz
t _{LHLL}	ALE Pulse Width	127		2t _{CLCL} -40		ns
t _{AVLL}	Address Valid to ALE Low	28		t _{CLCL} -13		ns
t _{LLAX}	Address Hold After ALE Low	48		t _{CLCL} -20		ns
t _{LLIV}	ALE Low to Valid Instruction In		233		4t _{CLCL} -65	ns
t _{LLPL}	ALE Low to $\overline{\text{PSEN}}$ Low	43		t _{CLCL} -13		ns
t _{PLPH}	$\overline{\text{PSEN}}$ Pulse Width	205		3t _{CLCL} -20		ns
t _{PLIV}	$\overline{\text{PSEN}}$ Low to Valid Instruction In		145		3t _{CLCL} -45	ns
t _{PIX}	Input Instruction Hold After $\overline{\text{PSEN}}$	0		0		ns
t _{PIXZ}	Input Instruction Float After $\overline{\text{PSEN}}$		59		t _{CLCL} -10	ns
t _{PXAV}	$\overline{\text{PSEN}}$ to Address Valid	75		t _{CLCL} -8		ns
t _{AVIV}	Address to Valid Instruction In		312		5t _{CLCL} -55	ns
t _{PLAZ}	$\overline{\text{PSEN}}$ Low to Address Float		10		10	ns
t _{RLRH}	$\overline{\text{RD}}$ Pulse Width	400		6t _{CLCL} -100		ns
t _{WLWH}	$\overline{\text{WR}}$ Pulse Width	400		6t _{CLCL} -100		ns
t _{RLDV}	$\overline{\text{RD}}$ Low to Valid Data In		252		5t _{CLCL} -90	ns
t _{RHDX}	Data Hold After $\overline{\text{RD}}$	0		0		ns
t _{RHDZ}	Data Float After $\overline{\text{RD}}$		97		2t _{CLCL} -28	ns
t _{LLDV}	ALE Low to Valid Data In		517		8t _{CLCL} -150	ns
t _{AVDV}	Address to Valid Data In		585		9t _{CLCL} -165	ns
t _{LLWL}	ALE Low to $\overline{\text{RD}}$ or $\overline{\text{WR}}$ Low	200	300	3t _{CLCL} -50	3t _{CLCL} +50	ns
t _{AVWL}	Address to $\overline{\text{RD}}$ or $\overline{\text{WR}}$ Low	203		4t _{CLCL} -75		ns
t _{QVWX}	Data Valid to $\overline{\text{WR}}$ Transition	23		t _{CLCL} -20		ns
t _{QVWH}	Data Valid to $\overline{\text{WR}}$ High	433		7t _{CLCL} -120		ns
t _{WHQX}	Data Hold After $\overline{\text{WR}}$	33		t _{CLCL} -20		ns
t _{RLAZ}	$\overline{\text{RD}}$ Low to Address Float		0		0	ns
t _{WLHL}	$\overline{\text{RD}}$ or $\overline{\text{WR}}$ High to ALE High	43	123	t _{CLCL} -20	t _{CLCL} +25	ns

External Program Memory Read Cycle

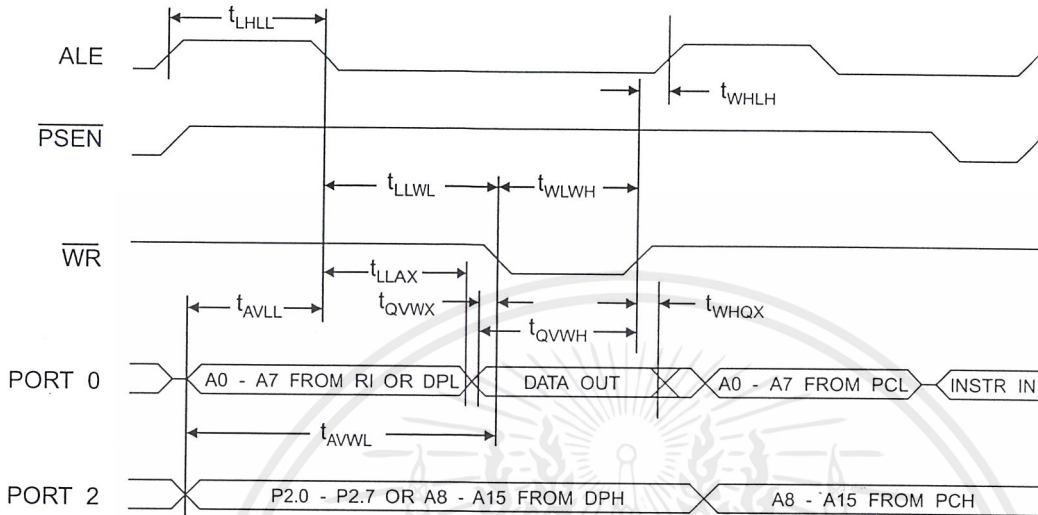


External Data Memory Read Cycle

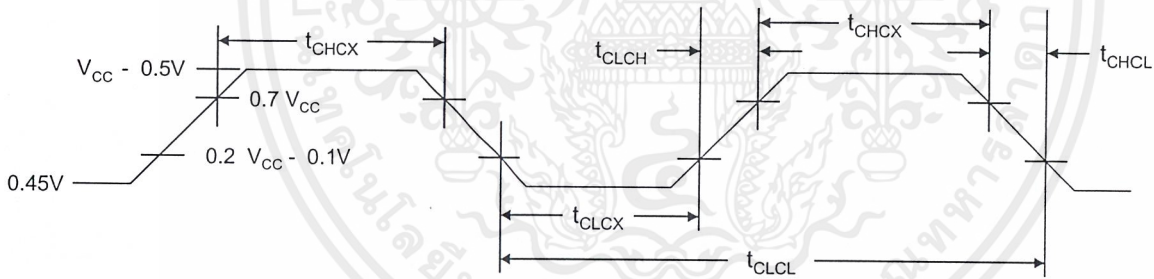




External Data Memory Cycle



External Clock Drive Waveforms



External Clock Drive

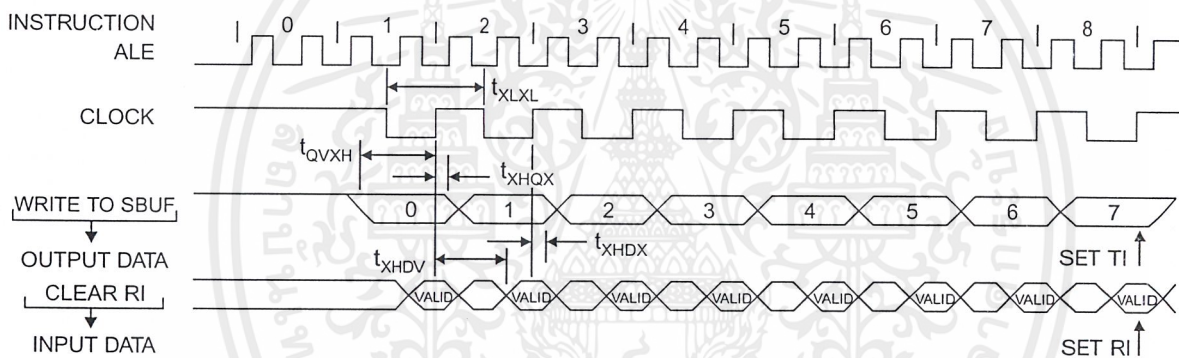
Symbol	Parameter	Min	Max	Units
$1/t_{CLCL}$	Oscillator Frequency	0	24	MHz
t_{CLCL}	Clock Period	41.6		ns
t_{CHCX}	High Time	15		ns
t_{CLCX}	Low Time	15		ns
t_{CLCH}	Rise Time		20	ns
t_{CHCL}	Fall Time		20	ns

Serial Port Timing: Shift Register Mode Test Conditions

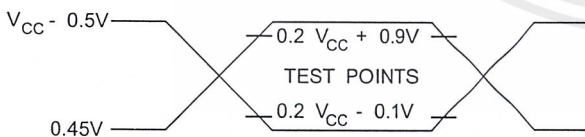
($V_{CC} = 5.0\text{ V} \pm 20\%$; Load Capacitance = 80 pF)

Symbol	Parameter	12 MHz Osc		Variable Oscillator		Units
		Min	Max	Min	Max	
t_{XLXL}	Serial Port Clock Cycle Time	1.0		$12t_{CLCL}$		μs
t_{QVXH}	Output Data Setup to Clock Rising Edge	700		$10t_{CLCL}-133$		ns
t_{XHQX}	Output Data Hold After Clock Rising Edge	50		$2t_{CLCL}-33$		ns
t_{XHDX}	Input Data Hold After Clock Rising Edge	0		0		ns
t_{XHDX}	Clock Rising Edge to Input Data Valid		700		$10t_{CLCL}-133$	ns

Shift Register Mode Timing Waveforms

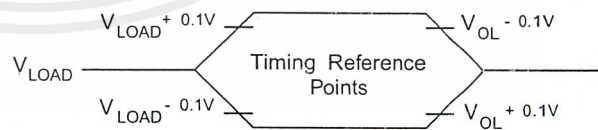


AC Testing Input/Output Waveforms ⁽¹⁾



Note: 1. AC Inputs during testing are driven at $V_{CC} - 0.5\text{ V}$ for a logic 1 and 0.45 V for a logic 0. Timing measurements are made at V_{IH} min. for a logic 1 and V_{IL} max. for a logic 0.

Float Waveforms ⁽¹⁾



Note: 1. For timing purposes, a port pin is no longer floating when a 100 mV change from load voltage occurs. A port pin begins to float when a 100 mV change from the loaded V_{OH}/V_{OL} level occurs.



Ordering Information

Speed (MHz)	Power Supply	Ordering Code	Package	Operation Range	
12	5 V ± 20%	AT89C51-12AC	44A	Commercial (0°C to 70°C)	
		AT89C51-12JC	44J		
		AT89C51-12PC	40P6		
		AT89C51-12QC	44Q		
		AT89C51-12AI	44A		Industrial (-40°C to 85°C)
		AT89C51-12JI	44J		
	AT89C51-12PI	40P6			
	AT89C51-12QI	44Q			
	5 V ± 10%	AT89C51-12AA	44A	Automotive (-40°C to 125°C)	
		AT89C51-12JA	44J		
AT89C51-12PA		40P6			
AT89C51-12QA		44Q			
	5 V ± 10%	AT89C51-12DM	40D6	Military (-55°C to 125°C)	
		AT89C51-12LM	44L		
	5 V ± 10%	AT89C51-12DM/883	40D6	Military/883C Class B, Fully Compliant (-55°C to 125°C)	
		AT89C51-12LM/883	44L		
16	5 V ± 20%	AT89C51-16AC	44A	Commercial (0°C to 70°C)	
		AT89C51-16JC	44J		
		AT89C51-16PC	40P6		
		AT89C51-16QC	44Q		
		AT89C51-16AI	44A		Industrial (-40°C to 85°C)
		AT89C51-16JI	44J		
	AT89C51-16PI	40P6			
	AT89C51-16QI	44Q			
		5 V ± 20%	AT89C51-16AA	44A	Automotive (-40°C to 125°C)
			AT89C51-16JA	44J	
AT89C51-16PA			40P6		
AT89C51-16QA			44Q		
20	5 V ± 20%	AT89C51-20AC	44A	Commercial (0°C to 70°C)	
		AT89C51-20JC	44J		
		AT89C51-20PC	40P6		
		AT89C51-20QC	44Q		
		AT89C51-20AI	44A		Industrial (-40°C to 85°C)
		AT89C51-20JI	44J		
	5 V ± 20%	AT89C51-20PI	40P6		
		AT89C51-20QI	44Q		

AT89C51

Ordering Information

Speed (MHz)	Power Supply	Ordering Code	Package	Operation Range
24	5 V ± 20%	AT89C51-24AC AT89C51-24JC AT89C51-24PC AT89C51-24QC	44A 44J 44P6 44Q	Commercial (0°C to 70°C)
		AT89C51-24AI AT89C51-24JI AT89C51-24PI AT89C51-24QI	44A 44J 44P6 44Q	Industrial (-40°C to 85°C)



Package Type	
44A	44 Lead, Thin Plastic Gull Wing Quad Flatpack (TQFP)
40D6	40 Lead, 0.600" Wide, Non-Windowed, Ceramic Dual Inline Package (Cerdip)
44J	44 Lead, Plastic J-Leaded Chip Carrier (PLCC)
44L	44 Pad, Non-Windowed, Ceramic Leadless Chip Carrier (LCC)
40P6	40 Lead, 0.600" Wide, Plastic Dual Inline Package (PDIP)
44Q	44 Lead, Plastic Gull Wing Quad Flatpack (PQFP)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

การสร้างสรรค์ผลงานชิ้นนี้ให้เสร็จได้ในเทอมเดียวย่อมเป็นไปได้หากไม่ได้การสนับสนุนและช่วยเหลือจากท่านเหล่านี้ซึ่งสมควรแก่การประกาศกิตติคุณไว้เป็นเกียรติ

แต่พระผู้เป็นเจ้าสูงสุดผู้สถับฟังคำอธิษฐาน ประทานกำลังและสติปัญญาและทรงจัดเตรียมทุกอย่างในชีวิตนี้

พ่อและแม่ที่ไม่เคยปิดกั้นโอกาสและกรอบความคิด ให้อิสระทางจินตนาการในการสร้างสรรค์สิ่งใหม่ๆ

ครูบาอาจารย์ผู้ถ่ายทอดวิชาความรู้และวิถีทางการคิด ปฏิบัติ

รศ. อธิชัย อรุณศรีแสงไชย อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ. จำลอง ปราบแก้ว ภาควิชาเครื่องกล ผู้ให้คำแนะนำทั้งในการนำเสนอผลงานทั้งในระดับปริญญาตรีและระดับสูงขึ้นไป รวมทั้งอาจารย์อีกหลายท่านที่ให้ความสนใจและให้คำแนะนำดีชมในทางสร้างสรรค์ และยังมีบุคลากรอีกหลายท่านของสถาบัน โดยเฉพาะภาคเครื่องกล ที่เปิดโอกาสให้ใช้ Workshop ได้ทั้งวัน

เพื่อนๆทุกคนที่ช่วยเหลือด้านเสบียงเมื่อยามอดอยากและคอยอำนวยความสะดวกเมื่อต้องการ เป็นมิตรที่ดี

ขอขอบคุณทุกท่านที่ยังไม่กล่าวถึงแต่มีส่วนร่วมในงานนี้ไปรรับรู้ไว้ด้วยเกียรติและความภาคภูมิใจ และขอบคุณเพื่อนร่วมทีมที่ร่วมอดหลับอดนอนอดเล่นมาทำงานอย่างจริงจัง เป็นเกียรติอย่างยิ่งที่ได้ทำงานร่วมกัน

นาย ทรงปรกรณ์ ภูหนองโอง

หนึ่งในสมาชิกกลุ่มทำโครงการ IVMC